SNIKO 2018

Proceeding

www.sniko.id
ISBN: 978-602-72059-1-8
ISSN: 2461-1441

Seminar Nasional Kontrol, Instrumentasi dan Otomasi (SNIKO) 2018

Kesiapan Masyarakat Otomasi, Kontrol dan Industri dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0 serta Kemandirian Energi Indonesia

Gedung Center for Research and Community Service (CRCS)
Institut Teknologi Bandung
10-11 Desember 2018

CITA ITB
Technology For Quality

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018

Bandung, 10-11 Desember 2018

Prosiding

ISBN: 978-602-72059-1-8

ISSN : 2461-1441

Diselenggarakan Oleh:

Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi ITB

Center for Instrumentation Technology and Automation (CITA) ITB

Didukung Oleh:

Editor:

Tim Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018

Penyunting:

Prof. Dr. -Ing. Ir. Yul Yunazwin Nazaruddin, M.Sc., DIC

Prof. Yudi Samyudia, Ph.D.

Augie Widyotriatmo, S.T., M.T., Ph.D.

Edi Leksono, Ir., M.Eng.,Ph.D.

Eko Mursito, Ir., M.T., Dr

Ely Aprilia, S.Si, M.Si

Endang Juliastuti, Ir., M.Sc, Dr

Endra Joelianto, Ph.D

Estiyanti Ekawati, Ir., M.T., Ph.D

Farid Triawan, Dr. Eng.

Hanifadinna S.T., M.T

Idad Syaeful Haq, S.T., M.T. Dr

Muhammad Salehuddin, S.T., M.T

Nurmalia, Ph.D.

Pepen Arifin, Dr

Riza Muhida, Ph.D

Suprijanto, S.T., M.T., Dr

Tua Agustinus Tamba, Ph.D.

Penerbit:

Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi ITB

Redaksi:

Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi ITB

Alamat : Litbang (ex.PAU) Lt.8 Jl. Ganesa 10 Bandung 40132, Indonesia

Tel. +62-22-2514452 Tel / Fax. +62-22-2534285.

Email : jurnal_oki@instrument.itb.ac

Buku ini berisi mengenai makalah yang dipresentasikan pada Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018, tanggal 10-11 Desember 2018, Ged. CRCS Lt.3 – Institut Teknologi Bandung.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin dari panitia.

© Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018

KATA PENGANTAR

Revolusi Industri 4.0 adalah jargon yang digunakan untuk menggambarkan mimpi manusia tentang pabrik “cerdas” yang mengandalkan berbagai sistem otomasi yang saling berkomunikasi melalui jaringan siber (*Cyber Physical System*). Dalam jaringan ini, diharapkan terjadi pertumbuhan data dan pengetahuan (*Big Data*), pendelegasian tugas perhitungan (*Distributed Computing*) dan desain, termasuk diantaranya pertumbuhan kemampuan kognitif pada berbagai piranti yang terlibat (*Machine Learning*).

Namun, apa artinya Revolusi Industri 4.0 ini bagi Indonesia? Bagaimana jargon ini dapat memenuhi kebutuhan masyarakat yang terpencar di berbagai sudut Nusantara dan meraih kemandirian energi? Selanjutnya, bagaimana sistem pendidikan tinggi Indonesia melahirkan para pelaku industri 4.0 untuk mewujudkan cita-cita tersebut?

Untuk menjawab berbagai pertanyaan tersebut, Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi (*Center for Instrumentation Technology and Automation)* Institut Teknologi Bandung mengadakan wadah interaksi bersama para akademisi, pelaku industri dan pengambil kebijakan pemerintahan untuk berbagi pengalaman kontribusinya dalam Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018, 10-11 Desember 2018.

Tema yang diangkat pada SNIKO 2018 adalah “Kesiapan Masyarakat Otomasi, Kontrol dan Industri (MOKI) dalam Menghadapi Revolusi Industri 4.0 serta Kemandirian Energi Indonesia”.

Sungguh membahagiakan bahwa pada kesempatan ini seluruh unsur pengambil kebijakan pemerintah Indonesia, unsur pendidikan tinggi, dan unsur pelaku industri terwakili dengan lengkap, baik dalam jajaran pembicara utama, pembicara workshop maupun para pemakalah. Seluruh peserta dengan antusias berbagi pengalaman kontribusi mereka dalam perkembangan teknologi instrumentasi, kontrol dan otomasi, khususnya dalam mewujudkan industri 4.0 yang membumi dan memenuhi kebutuhan mendasar masyarakat Indonesia.

Untuk mengabadikan momen berharga itulah, prosiding ini diterbitkan. Semoga dokumen ini menjadi inspirasi bagi tumbuhnya kerjasama nyata dalam mengembangkan teknologi instrumentasi, kontrol dan otomasi dalam format industri 4.0 yang mampu melayani kebutuhan masyarakat Indonesia.

Tak lupa kami sampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya pada seluruh panitia penyelenggara, Dewan Penasihat, Mitra Bestari, Sponsor serta Media Partner yang telah mewujudkan terlaksananya SNIKO 2018. Semoga seluruh kontribusi ini dihitung sebagai amal ibadah yang diridhoi dan dirahmati Allah swt, serta dicurahkan kembali dalam bentuk rezeki yang berlipat ganda.

Bandung, 1 Maret 2019

Ketua Seminar Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi

Ir. Estiyanti Ekawati, M.T. Ph.D

DAFTAR ISI

INSTRUMENTASI

SUPPORT VECTOR CLASSIFIER PADA TINGKAT KENYAMANAN TERMAL DALAM KONDISI RILEKS TERHADAP PERUBAHAN SUHU RUANGAN BERBASIS SINYAL EEG 1

DESAIN AWAL FLIGHT CONTROL PANEL DARI PESAWAT LSA-02 11

SISTEM PENJEJAK MATAHARI MENGGUNAKAN METODE PENGUKURAN TITIK KOORDINAT LOKASI UNTUK OPTIMALISASI PEROLEHAN DATA PENGUKURAN OLEH SUNPHOTOMETER 19

PENGEMBANGAN SKEMA PEMROSESAN CITRA UNTUK PENINGKATAN VISIBILITAS JARUM PADA APLIKASI ULTRASONOGRAFI (USG) UNTUK PENUNTUN PENUSUKAN JARUM MEDIS..... 25

EIT 2D DENGAN DAERAH RUJUKAN (*EIT WITH MATERIAL REFERENCE*) 31

RANCANG BANGUN JIG ROTARY TABLE MENGGUNAKAN MOTOR SERVO HG-KR43B PADA MESIN SPOT WELDING 35

INSTRUMENTASI PENGENDALIAN KUALITAS DENGAN SISTEM DIGITAL..... 41

PEMBACAAN SINYAL OTOT PADA WAJAH DAN SEKITAR KEPALA MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROMIOGRAFI..... 45

TEKNIK PENGAMATAN SAMPEL BIOLOGI DAN NON-KONDUKTIF MENGGUNAKAN *SCANNING ELECTRON MICROSCOPY* 53

PARTICLE SIZE ANALYSER: BEBERAPA PENGGUNAAN INSTRUMEN HAMBURAN CAHAYA..... 59

EVALUASI PERFORMA METODE DEEP LEARNING UNTUK KLASIFIKASI CITRA LESI KULIT THE HAM10000 63

DETEKSI KEJENUHAN SELURUH OTOT MANUSIA MENGGUNAKAN SENSOR EMG BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO 69

PENGUKURAN KEKUATAN KONTRAKSI OTOT PADA BAGIAN TORSO TUBUH MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROMIOGRAFI..... 75

PERANCANGAN SISTEM AKTUATOR LAJU ALIRAN MASUK DAN SIMULASI PROSES NETRALISASI PH PADA PLANT SIMULATOR INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL (IPLIT) 85

PERANCANGAN PENAMPIL GRAFIK SINYAL KETEGANGAN OTOT PERUT DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROMIOGRAFI 91

DETEKSI SINYAL OTOT MANUSIA PADA ANDROID MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROMIOGRAFI BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO 99

PEMBACAAN SINYAL OTOT PADA BAGIAN KEPALA MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROMIOGRAFI (EMG) DAN SCILAB 107

RANCANG BANGUN OHMMETER BERBASIS MODULASI LEBAR PULSA (PWM) 115

RANCANG BANGUN MESIN PEMBERSIH SEPATU PENGAMAN (*SAFETY SHOES CLEANER*) BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* (PLC) 123

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LOW COST BLOOD LEAK DETECTOR FOR DIALYSIS MACHINE APPLICATION 133

EKSTRAKSI CIRI SINYAL SUARA JANTUNG 139

KONTROL

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* PADA *GREENHOUSE* 145

PENGEMBANGAN PROTOTIPE *SMART BLADE* PADA TURBIN ANGIN BERBASIS SERVO PNEUMATIK 151

TEKNOLOGI ROBOT KAWANAN (*SWARM ROBOTICS*) UNTUK MISI PENCARIAN DAN PERTOLONGAN DI INDONESIA 159

LABORATORIUM KIT SEDERHANA UNTUK PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DAN INSTRUMENTASI CERDAS 167

DISEMINASI TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI KAWASAN PULAU CEMARA SEBAGAI PULAU MANDIRI ENERGI 179

OPTICAL FLUORESCENT INSTRUMENTATION DEVELOPEMENT SUITABLE FOR CELL BASED BIOSENSOR 187

STUDI ESTIMASI KAPASITAS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR BERDASARKAN PRODUK DOMESTIK REGIONAL BRUTO (PDRB) MENGGUNAKAN METODE REGRESI LINIER DI GARDU INDUK BUDURAN KABUPATEN SIDOARJO 191

PENGEMBANGAN LABORATORIUM TERBANG BERBASIS UAV: PEMODELAN MOMEN INERSIA 201

PENERAPAN KONTROL LOGIKA FUZZY PADA SISTEM PENGERING IRISAN KRIPIK SINGKONG 213

SISTEM PEMANTAUAN WAKTU NYATA MENGGUNAKAN LABVIEW PADA PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS PID-ROOT LOCUS 221

VIDEO MOTION ANALYSIS UNTUK EVALUASI PERFORMANSI GERAKAN PENUSUKAN PADA ROBOT PEMOSISI JARUM SPINAL 229

OPTIMISASI PENGONTROL LQR MENGGUNAKAN ALGORITMA *STOCHASTIC FRACTAL SEARCH* 235

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI AKTUATOR SISTEM KONTROL PH MENGGUNAKAN ON-OFF SOLENOID VALVE PADA PURWA RUPA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH TEKSTIL.....241

PENGARUH *DUTY CYCLE* TERHADAP PERPINDAHAN ENERGI PADA MOTOR BLDC *(BRUSHLESS DIRECT CURRENT)* SAAT PENGEREMAN REGENERATIF BERBASIS DSPIC30F4012 247

PENGATURAN KECEPATAN PADA MOTOR *BRUSHLESS* DC (BLDC) MENGGUNAKAN PWM (*PULSE WIDTH MODULATION*).....255

ANALISA PENGEREMAN DINAMIK PADA MOTOR BRUSHLESS DC (BLDC) 263

PENGATURAN KECEPATAN MOTOR *SWITCHED RELUCTANCE* DENGAN KONVERTER *ASYMMETRIC* PADA MODE *MAGNETIZING* DAN *DEMAGNETIZING* 269

ANALISA PEMBEBANAN PADA MOTOR *BRUSHLESS DC (BLDC)*.....277

MODIFIKASI KONTROL MESIN *AUTOLOADING* PISTON BERBASIS PLC DI PERUSAHAAN *SPAREPART* OTOMOTIF INDONESIA.....283

KINERJA SISTEM KONTROL LEVEL AIR DRUM BOILER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KAPASITAS 625 MW 291

PROTOTIPE SISTEM MONITORING BALANCED ANGULAR MOMENTUM SEISMOMETER BERBASIS IOT 341

OTOMASI

TRANSFER DAYA NIRKABEL DENGAN KOPLING INDUKSI RESONANSI 297

WIRELESS POWER TRANSFER WITH INDUCTIVE RESONANT COUPLING 297

RANCANG BANGUN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI *QUADCOPTER* MELALUI JARINGAN INTERNET BERBASIS LOKASI MENGGUNAKAN *SMARTPHONE ANDROID* 307

INTEGRASI SISTEM TELEROBOTIK DENGAN SIMULASI VIRTUAL REALITY DAN SENSOR GESTURE..319

MENINGKATKAN KUALITAS PEMBELAJARAN PADA FAKULTAS PERTANIAN UNSYIAH MELALUI PENINGKATAN EFEKTIVITAS PEMANFAATAN E-LEARNING 325

RANCANG BANGUN PROTOTIPE QUADCOPTER DRONE PENYEMPROT TANAMAN 331

DISEMINASI INFORMASI PERINGATAN DINI TANAH LONGSOR BERBASIS TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS.....335

OTOMATISASI PENGAMBILAN DATA PADA ALAT UJI TEKAN PASIR CETAK WGA BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN *LABVIEW*.....347

PEMANFAATAN ALGORITMA *FORWARD KINEMATICS* SEBAGAI PERHITUNGAN ERROR PADA *FIVE BAR PARALLEL ROBOT*.....355

KENDALI KAKI ROBOT OLEH KETEGANGAN OTOT BERBASIS ELEKTROMIOGRAFI DAN MIKROKONTROLER ATMEGA8535 361

PENINGKATAN PERAN RISET IPTEK DAN PENDIDIKAN TINGGI UNTUK MERESPON REVOLUSI INDUSTRI 4.0 369

AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV) PENGIKUT GARIS MENGGUNAKAN RODA *MECANUM* DENGAN KENDALI PID ADAPTIF TERINTERPOLASI 375

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Support Vector Classifier pada Tingkat Kenyamanan Termal dalam Kondisi Rileks Terhadap Perubahan Suhu Ruangan Berbasis Sinyal EEG

[1]Laurentius Kuncoro Probo Saputra, [2]Ignatia Dhian E.K. Ratri

Informatika, Universitas Kristen Duta Wacana, Yogyakarta

kuncoro@staff.ukdw.ac.id

Abstrak

Kontrol suhu ruangan yang ada telah dikembangkan saat ini hanya memanfaatkan keadaan lingkungan/ruangan sebagai parameter untuk mengontrol suhu ruangan. Model kontrol seperti ini mengabaikan kondisi fisologis dan psikologi seseorang yang sedang berada di dalam ruangan. Setiap orang memiliki tingkat kenyamanan yang berbeda-beda saat berada di dalam ruangan berpendingin. Kondisi nyaman tersebut dipengeruhi oleh termoregulasi seseorang untuk memenuhi kenyamanan termal. Sinyal EEG merupakan sinyal yang mampu merefleksikan aktivitas otak. Karena kenyamanan termal erat kaitannya dengan kondisi kepuasan pikirian atas kondisi termal lingkungan, maka sinyal EEG ini dirasa mampu merefleksikan tingkat kenyamanan termal seseorang. Penelitian ini akan menganalisa tingkat kenyamanan termal seseorang berbasis sinyal EEG. Sinyal EEG direkam menggunakan alat mindwave neurosky headset. Sinyal EEG direkam dalam kondisi rileks. Hasil data sinyal yang didapat akan dianalisis dan dilatihkan pada *classifier* SVC. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode k-fold validation dengan menggunakan nilai k = 5. Analisis lebih lanjut terkait performa keseluruhan dari classifier tersebut menggunakan kurva ROC. Hasil yang didapat dengan analisis kurva ROC ialah performa *classifier* SVC sebesar 87%.

Kata Kunci: support vector classifier, sinyal eeg, kenyamanan termal.

1 Pendahuluan

Penghematan energi sangat gencar dilakukan oleh berbagai pihak, baik dari pemerintah maupun dari pihak swasta. Salah satu penghematan energi dilakukan pada penelitian yang mengembangkan sistem kontrol suhu ruangan. Sistem kontrol suhu ruangan berdasarkan sensor thermostat di ruangan sudah banyak dikembangkan [1]–[3].

Beberapa sistem kontrol suhu ruangan yang ada hanya berdasarkan keadaan lingkungan ruangan. Sistem tersebut memanfaatkan sensor untuk mengukur keadaan lingkungan ruangan, seperti sensor suhu, kelembaban, ataupun sensor keberadaan seseorang di dalam ruangan. Model kontrol seperti itu mengabaikan karakteristik fisiologis yang terdapat pada setiap orang, seperti usia, jenis kelamin, kesehatan dan massa tubuh.

Beberapa penelitian lainnya telah mempertimbangkan kondisi fisiologi seseorang dalam membangun sistem kontrol suhu ruangan. Nakayama dkk. Nakayama serta Joon Ho Choi mengembangkan sistem kontrol suhu ruangan dengan melihat signal biologis, seperti suhu permukaan kulit dan detak jantung seseorang [4], [5]. Pola sinyal yang didapat melalui suhu permukaan kulit dan detak jantung lebih dapat menyediakan informasi mengenai kondisi kenyamanan termal individu saat itu.

Kenyamanan termal merupakan kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan atas kondisi termal lingkungan sekitar. Kenyamanan termal individu ditentukan berdasarkan 6 variabel, yaitu: suhu udara, rata-rata suhu radiasi pencahayaan, kecepatan udara, kelembaban, pakaian, serta aktivitas yang dilakukan [5]. Berdasarkan SNI 03-6572-2001, suhu udara juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal individu. Daerah kenyamanan termal individu untuk daerah tropis antara 20,5°C ~ 27,1°C, yang terbagi menjadi 3 yaitu sejuk nyaman, nyaman optimal, dan hangat nyaman.

Kenyamanan termal individu sangat erat kaitannya dengan kondisi fisik dan psikologi seseorang. Ketika seseorang mendapatkan atau kehilangan panas yang berlebih, sistem thermoregulasi seseorang mungkin tidak mampu menjaga keseimbangan suhu, maka akan menyebabkan ketidaknyamanan termal seperti terlalu hangat atau panas dan terlalu dingin. Ketidaknyamanan termal erat kaitannya dengan tingkat stres, sehingga berdampak pada kinerja dan kesehatan seseorang [5].

Kondisi stres maupun rileks merupakan hasil dari tanggapan otak terhadap rangsangan yang berasal dari luar. Sinyal electrochepalogram (EEG) dapat dengan langsung merefleksikan aktivitas elektrik otak. Sinyal EEG merupakan sinyal yang sangat kompleks. Sinyal EEG inilah yang menjadi sumber informasi untuk mempelajari fungsi dan keadaan otak manusia, sehingga banyak digunakan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui aktivitas otak yang erat kaitannya dengan kondisi stres maupun rileks [6]–[8]. Kondisi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

nyaman dalam sebuah ruangan sangat mendukung sekali dalam meningkatkan produktivitas seseorang dan kesehatan. Salah satu faktor yang mendukung ialah kondisi suhu ruangan yang dapat menyesuaikan terhadap kodisi masing-masing individu.

Permasalahan yang dihadapi ialah tiap orang memiliki tingkat kenyamanan termal berbeda-beda di rentang kondisi suhu ruangan 20°C - 34°C. Penerapan sistem kontrol suhu ruangan yang adaptif dengan memperhatikan kondisi tiap orang dapat membuat kenyamanan termal seseorang tercapai. Tingkat kenyamanan termal seseorang akan ditentukan dengan pengukuran menggunakan sinyal EEG dari otak yang ditangkap oleh headset Mindwave Neurosky serta pengolahan data-data sinyal EEG. Pengolahan data akan menghasilkan sistem yang dapat mengklasifikasikan kondisi tingkat kenyamanan termal seseorang pada 3 kondisi suhu ruangan.

2 Tinjauan Pustaka Dan Landasan Teori

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai sinyal EEG telah banyak dilakukan oleh para peneliti terutama berkaitan dengan analisis sinyal EEG untuk mengetahui kondisi atau aktivitas otak manusia serta penelitian mengenai kenyamanan termal seseorang. Sub-bab ini memberikan beberapa kajian dari beberapa penelitian sebelumnya mengenai analisis sinyal EEG dan kenyamanan termal seseorang.

Joon Hoi Choi [5] melakukan penelitian mengenai kondisi kenyaman termal seseorang dengan melihat bio-feedback yang berasal dari kondisi suhu permukaan kulit dan kondisi detak jantung saat kenyamanan termal seseorang tercapai atau tidak. Tujuan dari penelitiannya ialah membuat sebuah sistem adaptive yang dikontrol berdasarkan bio-feedback seseorang.

Saidatul dkk [8] melakukan penelitian untuk melihat perubahan sinyal EEG seseorang pada kondisi rileks dan kondisi stress. Kondisi rileks seseorang didapatkan dengan mengkondisikan orang tersebut pada kondisi duduk secara nyaman dan diperlihatkan sebuah video. Kondisi stress didapatkan dengan memberikan sebuah tugas artimatika untuk dikerjakan. Ekstraksi fitur berdasarkan pada perhitungan power specral density (PSD). Backpropagation neural network digunakan untuk melakukan klasifikasi kondisi rileks atau stress. Hasil penelitian Saidatul dkk memperlihatkan bahwa akurasi klasifikasi tertinggi didapatkan sebesar 91,17% dengan menggunakan metode Burg pada pengukuran power spectral density.

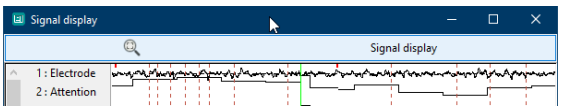
Xiyuan Hou dkk. [6] melakukan penelitian untuk mengukur tingkat stress seseorang. Penelitiannya menggunakan responden sebanyak 9 orang dan membagi tingkat stress menjadi 4 tingkat. Analisis tingkat stress menggunakan 3 kombinasi fitur yaitu power, fractal dimension, dan statistika. Pengklasifikasian dilakukan dengan menggunakan 2 metode klasifikasi yaitu SVM dan k-NN. Dari hasil penelitiannya, akurasi klasifikasi tertinggi didapatkan apabila hanya menggunakan 2 tingkatan stress dengan akurasi sebesar 85,17%. Sedangkan 3 tingkatan stress memiliki akurasi sebesar 75,22%, dan untuk 4 tingkatan stress memiliki akurasi sebesar 67,07%.

Muhammad dkk. [7] mengimplementasikan perangkat low-cost untuk merekam sinyal EEG sehingga dapat mengukur stress seseorang. Validasi kondisi stress seseorang dilakukan dengan menggunakan kuesioner PSS. Hasil dari kuesioner PSS digunakan untuk melabelkan orang tersebut apakah dalam keadaan stress atau tidak. Pengklasifikasian kondisi stress seseorang menggunakan 3 buah metode klasifikasi yaitu, Naïve Bayes, SVM, dan MLP. Dari hasil penelitiannya, metode SVM memiliki akurasi tertinggi mencapai 71,42%.

Lim dan Chia [9] melakukan penelitian pengukuran tingkat kognitif stress dengan menggunakan sinyal EEG yang berasal dari 1 elektroda. Responden yang digunakan sebanyak 25 orang. Metode pengenalan yang digunakan ialah Artificial Neural Network (ANN), k-Nearest Neighbor (k-NN), dan Linear Discriminant Analysis (LDA). Metode pengenalan tersebut dilatihkan dengan menggunakan fitur dari 2% DCT. Hasil yang didapatkan memperlihatkan bahwa k-NN mampu mencapai akurasi klasifikasi hingga 72% dibandingan kan dengan ANN dan LDA.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sinyal Electrochepalograph

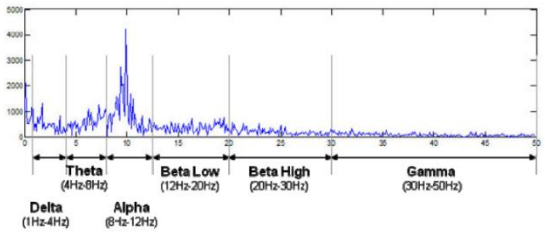


Gambar 1. Sinyal EEG 1 elektroda

EEG atau electrochepalograph merupakan sebuah sinyal yang merepresentasikan aktivitas elektrik otak. Gambar 1 menampilkan sinyal EEG 1 elektroda yang direkam menggunakan aplikasi openVibe. EEG dapat digunakan untuk mempelajari fungsi otak manusia. Proses mendapatkan sinyal elektrik menggunakan sebuah elektroda yang ditempelkan pada lapisan kulit kepala. Elektroda berkerja untuk merekam sinyal elektrik otak yang memiliki skala tegangan microvolt. Sinyal EEG

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

memiliki beberapa area frekuensi yang mengindikasikan karakteristik tertentu [10], yaitu: Delta (1-4 Hz), Theta (4-8 Hz), Alfa atau Mu (8-12 Hz), Beta (12-30 Hz), Gamma (30-45 Hz).



Gambar 2. Pembagian Spektrum Frekuensi Sinyal EEG

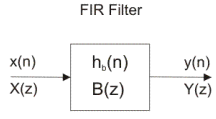
Gambar 2 memperlihatkan spectrum frekuensi masing-masing area frekuensi sinyal EEG. Masing-masing spektrum frekuensi kelompok gelombang EEG juga memiliki karakteristik amplitudo sinyal. Tabel 1 memperlihatkan karakteristik amplitudo sinyal disetiap gelombang EEG dalam satuan mikro volt (μV).

Tabel 1. Karakteristik Amplitudo Sinyal EEG

Nama Gelombang	Amplitudo (μV)
Delta	100-200
Theta	> 30
Alfa	30 – 50 atau lebih
Beta	2 – 20 atau lebih
Gamma	2. – 5 atau lebih

2.2.2 Filter FIR

Filter FIR merupakan filter yang tidak memiliki umpan balik. Filter FIR memiliki karakteristik fase yang linear. Di sisi lain, apabila sebuah sistem sangat memperhitungkan karakteristik fase, maka filter FIR akan menjadi solusi terbaik untuk digunakan. Blok diagram sebuah filter FIR diperlihatkan oleh Gambar 3. Berdasarkan blok diagram tersebut, sebuah persamaan dari filter FIR dapat ditulis seperti pada Persamaan 2.1. memperlihatkan sebuah struktur filter FIR dengan order N=1.



Gambar 3. Blok Diagram Filter FIR

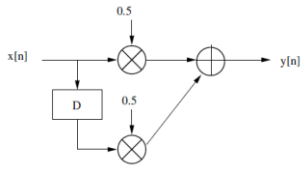
$$y(n) = h_b(n) * x(n) \qquad [2.1]$$

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N} x[k]h[n-k] \qquad [2.2]$$

$$y[0] = 0{,}5x[0] + 0{,}5x[-1] \qquad [2.3]$$

$$y[1] = 0{,}5x[1] + 0{,}5x[0] \qquad [2.4]$$

$$y[n] = 0{,}5x[n] + 0{,}5x[n-1] \qquad [2.5]$$



Gambar 4. Filter FIR dengan koefisien {0,5;0,5}

Persamaan 2.1 memperlihatkan persamaan umum sebuah filter FIR. Berdasarkan persamaan umum tersebut, struktur filter FIR dapat dituliskan seperti pada Persamaan 2.2 – 2.5. Persamaan 2.5 dapat digambarkan seperti pada Gambar 4. Sebuah filter dapat didesain dengan berbagai metode. Tetapi pada dasarnya, sebuah desain filter berdasarkan metode pendekatan sebuah filter ideal. Tujuan akhir ialah mendapatkan filter seideal mungkin, tetapi itu merupakan hal yang tidak mungkin. Sehingga, desain filter dibuat sedemikian menyerupai karakteristik filter ideal.

2.2.3 *Fourier Transform*

Transformasi Fourier digunakan untuk mentransformasikan sinyal kontinyu pada domain waktu ke domain frekuensi. Transformasi Fourier mendeskripsikan spektrum kontinyu dari sinyal non-periodik. Transformasi Fourier $X(f)$ dari waktu kontinyu $x(t)$ dirumuskan seperti pada Persamaan 2.6 berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft}dt \qquad [2.6]$$

Supaya Transformasi Fourier dapat digunakan dalam operasi digital, maka diperlukan sampel-sampel pada kawasan waktu. Sampel-sampel sinyal kontinyu pada kawasan waktu akan merepresentasikan keseluruhan sinyal kontinyu tersebut. Sampel-sampel ini akan mengubah sinyal kontinyu menjadi sinyal diskrit, maka dibutuhkan Transformasi Fourier untuk sinyal diskrit yang sering dikenal dengan Discrete Fourier Transform (DFT). Discrete Fourier Transform diformulasikan seperti Persamaan 2.7:

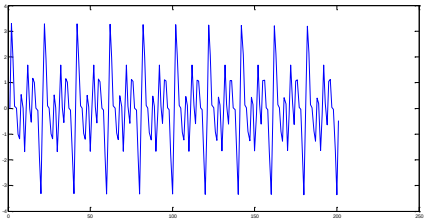
$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]W_N^{kn} \qquad [2.7]$$

dengan:

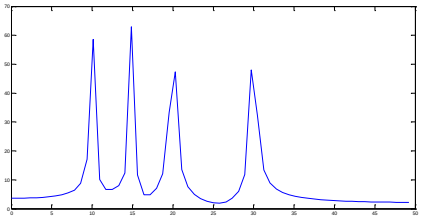
$W_N = e^{-j(\frac{2\pi}{N})}$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Sinyal diskrit pada domain waktu akan ditrasnformasikan ke dalam domain frekuensi seperti yang terlihat pada Gambar 5.



(a) Sinyal Kontinyu pada Domain Waktu



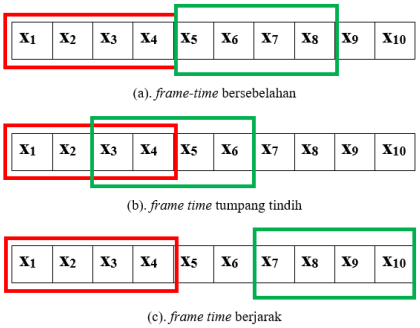
(b) Spektrum Frekuensi Sinyal

Gambar 5. (a) Sinyal Kontinyu, (b)Spektrum Frekuensi

2.2.4 Fitur Sinyal

Sinyal EEG yang telah didapatkan dalam proses pengambilan data untuk 7 responden akan dilakukan ekstraksi fitur. Fitur didapatkan dari hasil olahan data dari domain spasial maupun frekuensi untuk setiap sinyal. Proses ektraksi fitur dilakukan dengan maksud untuk melihat komponen frekuensi dan spektral dari setiap bingkai waktu dan frekuensi pada sinyal EEG. Setiap bingkai waktu dan nilai dalam domain frekuensi informasi yang unik.

Sinyal EEG berbentuk rentetan data dalam domain waktu. Sehingga, proses pengambilan banyaknya data dengan cara time-frame. Pengambilan data dengan membagi dalam bentuk frame-time bisa menggunakan model seperti Gambar 6. Setiap time-frame akan dilakukan ekstraksi fitur. Setiap time-frame yang diekstraksi akan terkena overlapping sebesar n-sample. Fitur spasial dan frekuensi dari sinyal EEG akan digunakan sebagai fitur yang akan membedakan dan mengelompokan kenyamanan termal seseorang.



Gambar 6. Model Pencuplikan frame-time

Fitur *Average Band Value*

Feature ini didapatkan dengan merata-rata nilai magnitude dari hasil *Fourier Transform (FT)* dalam 1 kelompok spektrum pita frekuensi pada sinyal EEG seperti pada **Error! Reference source not found.**.

$$avgBandValue_i = \overline{abs(X[k]_\iota)}$$

dimana:

$X[k] =$ koefisien FT

$i =$ kelompok pita frekuensi ke-*i*, dengan:

i = 1 → frekuensi 1 – 4 Hz

i = 2 → frekuensi 4 – 8 Hz

i = 3 → frekuensi 8 – 12 Hz

i = 4 → frekuensi 12 – 20 Hz

Fitur Higuchi Fractal Dimension (HFD)

Fitur ini menghitung dimensi fraktal pada domain waktu. HFD berdasarkan pada panjang $L(k)$ sebuah kurva yang merepresentasikan cuplikan waktu sesaat menggunakan segmen sampel k sebagai sebuah unit [11].

$$L(k) \sim k^{-D_f} \qquad [2.8]$$

Fitur Petrosian Fractal Dimension (PFD)

Fitur ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan cepat untuk menerjemahkan data dalam deret waktu ke dalam bentuk binerisasi [12]. Algoritma ini akan menetapkan nilai biner '1' untuk setiap perbedaan antara sampel yang berurutan didalam deret waktu yang melebihi standar deviasi dan biner '0' untuk sebaliknya.

$$FD_{Petrosian} = \frac{\log_{10} n}{\log_{10} n + \log_{10} n \left(\frac{n}{n + 0.4N_\Delta}\right)} \qquad [2.9]$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Fitur Multiscale Entropy Analysis (MSE)

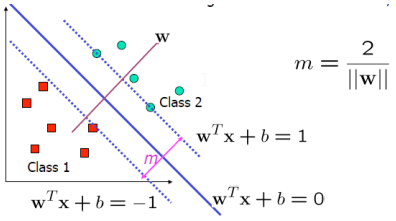
Fitur ini dapat mengukur kompleksitas dari sebuah deret waktu terbatas [13]. MSE menggunakan Algoritma S_E untuk menghitung nilai entropy di setiap skala waktu.

$$S_E(m,r,N) = -ln\frac{\emptyset^{m+1}(r)}{\emptyset^{m}(r)} \qquad [2.10]$$

Complexity Index:

$$C_I = \sum_{i=1}^{N} S_E(i) \qquad [2.10]$$

Support Vector Classifier (SVC)

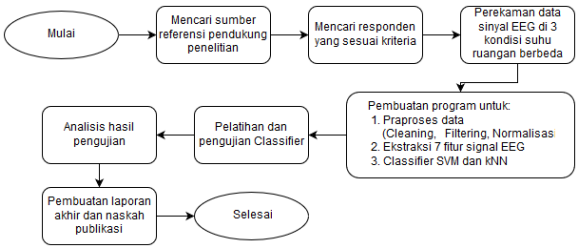


Gambar 7. Ilustrasi SVC

SVC bekerja berdasarkan perhitungan statistic. Jika terdapat 2 kelas dapat dengan mudah dipisahkan dengan sebuah garis linear, seperti Gambar 7. SVC akan mencari sebuah garis pemisah dengan memaksimalkan jarak dari setiap kelas yang ada.

3 Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, beberapa proses utama yang harus dilakukan yaitu pengumpulan responden, pengambilan data, pengolahan data, analisis data. Tahapan penelitian ini diperlihatkan seperti pada Gambar 8. Penelitian diawali dengan pengumpulan referensi pendukung untuk melakukan pengambilan data signal EEG dan beberapa prosedur yang harus digunakan. Pengambilan data signal EEG ini menggunakan data yang diambil langsung dari responden. Setiap responden akan mengalami berada di 3 kondisi suhu ruangan, yaitu dingin, normal, dan panas. Sehingga dalam proses pengambilan data, responden harus benar-benar dalam keadaan yang sehat.



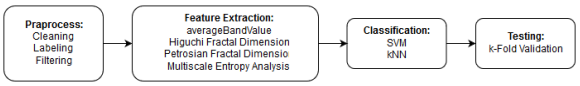
Gambar 8. Alur Penelitian

3.1 Pengambilan Data

Awal pengambilan data, responden akan diperiksa kondisi tubuhnya, baik suhu tubuh. Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan bahwa responden dalam keadaan sehat sehingga proses pengambilan data bisa lebih valid. Kemudian setelah itu, responden akan diberikan waktu 10 menit untuk beristirahat setelah menyelesaikan kuesioner tersebut. Langkah berikutnya adalah responden ditempatkan pada 3 kondisi suhu ruangan yang berbeda dan melakukan kegiatan yang sama. Kondisi yang terdapat dalam ruangan I adalah suhu dingin yang memiliki suhu 16 – 21°C, kemudian ruangan II adalah ruangan dengan suhu normal yaitu 21 - 26° C dan yang terakhir ruangan III adalah ruangan dengan suhu panas (lebih dari 27°C).

Pada saat responden berada dalam ruangan, responden akan dikondisikan pada kondisi rileks selama 10 menit. Penelitian ini akan menghasilkan 15 data dari 10 responden tersebut. Masing-masing responden memiliki dari 5 data sinyal EEG dari 3 model ruangan yang sudah dipersiapkan. Sehingga total data yang didapatkan adalah 150 data sinyal EEG.

3.2 Implementasi Sistem



Gambar 9. Alur Sistem

Proses ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu: praproses, ekstraksi fitur, pembentukan classifier, dan pengujian classifier. Alur setiap proses diperlihatkan pada Gambar 9.

3.2.1 Praprocess

Tahapan ini terdiri dari beberapa proses di dalamnya, yaitu: Cleaning, Labeling, Filtering, dan Normalisasi. Proses cleaning bertujuan untuk menghilangkan data sinyal yang rusak diakibatkan karena pada proses pengambilan data, elektroda tidak menempel secara benar pada kepala. Proses labeling bertujuan untuk memberikan label nyaman atau tidak nyaman dalam setiap data sinyal EEG. Labeling ini akan digunakan dalam classification sebagai target pembelajaran. Proses filtering bertujuan untuk menghilangkan sinyal noise yang ikut terekam pada proses pengambilan data. Sinyal noise bisa bersumber dari frekuensi listrik AC, dan gerakan mata dan mulut.

3.2.2 Feature Extraction

Tahap ini akan mengekstrak sinyal EEG ke dalam 4 fitur utama, yaitu: averageBandValue, Higuchi Fractal Dimension (HFD), Petrosian Fractal

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Dimension (PFD), dan Multiscale Entropy Analysis (MSE). Empat fitur tersebut akan menghasilkan 7 nilai fitur, dimana fitur averageBandValue menghasilkan 4 nilai, HFD menghasilkan 1 nilai, PFD menghasilkan 1 nilai, dan MSE menghasilkan 1 nilai.

3.2.3 Classification

Proses ini merupakan proses pelatihan sebuah classifier agar dapat mengelompkan data sinyal sesuai dengan target label yang telah ditentukan. Classifier yang digunakan ialah Support Vector Classifier (SVC).

3.2.4 Testing

Proses testing bertujuan untuk menguji classifier yang sudah dilatihkan pada tahap sebelumnya. Pengujian menggunakan data baru yang tidak pernah dilatihkan sebelumnya. Proses testing ini menggunakan metode k-Fold Validation. Metode ini akan membagi data set yang ada menjadi bagian pelatihan dan pengujian. Pada penelitian ini, fold yang digunakan yaitu sebanyak 5-fold. Penggunaan k-Fold Validation ini untuk menghindari nilai akurasi classifier yang bias.

3.3 Analisis Hasil Pengujian

Analisis pengujian dengan melihat performa dari classifier berdasarkan data set yang digunakan dalam pelatihan. Performa classifier ditampilkan dalam bentuk kurva Receiver Operating Characteristic (ROC). Kurva ROC dibentuk dari 2 parameter penilaian, yaitu: true positive rate dan false positive rate.

4 Hasil Dan Pembahasan

4.1 Pengambilan Data

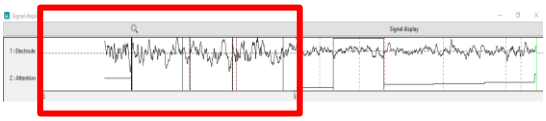
Berdasarkan isian dari 7 responden, kondisi yang membuat responden merasa rileks yaitu mendengarkan musik sambil duduk/ tidur, meditasi, dan berada di ruangan yang sunyi. Oleh karena itu, kondisi yang dibuat saat pengambilan data ialah responden diminta duduk santai di sebuah kursi yang nyaman sambil mendengarkan musik yang disukainya. Kondisi responden saat pengambilan data diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kondisi responden saat pengambilan data

Pengambilan data dilakukan kepada 7 responden, yaitu 5 pria dan 2 wanita. Setiap responden akan diambil 3 data untuk setiap kondisi suhu ruangan. Sehingga total data yang digunakan untuk proses selanjutnya ialah 63 data sinyal dengan perekaman ± 10 menit. Perekaman sinyal EEG menggunakan frekuensi sampling sebesar 512 data/ detik. Setiap kali pengambilan data, responden akan mengisi tingkat kenyamanannya saat itu dengan suhu yang sudah diatur. Tingkat kenyamanan dikelompokkan menjadi 2, yaitu nyaman dan tidak nyaman. Data sinyal yang direkam akan dilabelkan sesuai dengan tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh responden.

4.2 *Preprocessing*

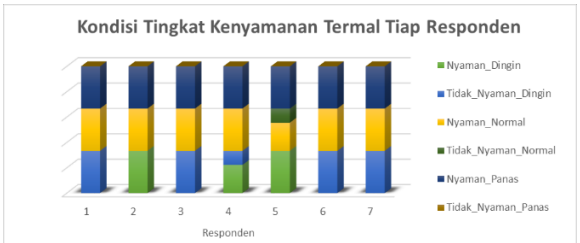


Gambar 11. Data sinyal yang dibersihkan pada 5 detik pertama

Proses *cleaning* dilakukan untuk membersihkan data sinyal yang rusak dari hasil perekaman. Sinyal yang rusak merupakan sinyal yang direkam saat inisialiasi yaitu di 5 detik pertama (Gambar 11), dan juga sinyal yang disebabkan karena putusnya kontak fisik antara elektroda headset dengan dahi responden, sehingga mengakibatkan sinyal tidak terbaca oleh headset Neurosky. Kondisi ini bisa disebabkan karena kelembaban kulit pada dahi responden, kondisi alat yang sudah terlalu lama menyala, dan juga posisi elektroda yang tidak sesuai.

Tabel 2. Jumlah data berdasar tingkat kenyamanan termal

Respon-den	Suhu Dingin (Jml Data)		Suhu Normal (Jml Data)		Suhu Panas (Jml Data)	
	Nyaman	T_Nyaman	Nyaman	T_Nyaman	Nyaman	T_Nyaman
1	0	3	3	0	3	0
2	3	0	3	0	3	0
3	0	3	3	0	3	0
4	2	1	3	0	3	0
5	3	0	2	1	3	0
6	0	3	3	0	3	0
7	0	3	3	0	3	0



(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 12. Kondisi tingkat kenyamanan termal tiap responden

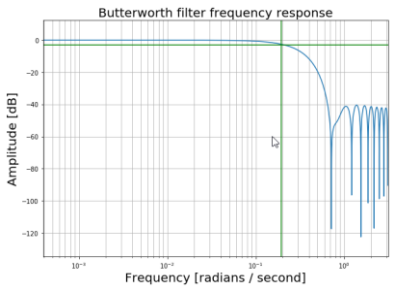
Proses labeling dilakukan berdasarkan form isian responden terkait tingkat kenyamanan yang dirasakan. Dari hasil isian tingkat kenyamanan termal responden, dapat dituliskan pada Tabel 2 dan digambarkan pada Gambar 12.Dari data yang didapat dapat dilihat bahwa tingkat kenyamanan termal seseorang berbeda-beda. Ada responden yang merasakan nyaman di seluruh kondisi suhu. Empat responden merasakan tidak nyaman di kondisi dingin.

Selanjutnya, proses *filtering* dilakukan untuk menghilangkan noise pada signal EEG. Filter digital dibangun dengan model *Finite Impulse Respone* (FIR). Pembuatan model filter digital FIR menggunakan *library* scipy (*https://www.scipy.org/*) dalam bahasa python.

```
In [ ]: b = signal.firwin(20, 0.195, window='hamming'
        w, h = signal.freqz(b, worN=8000)
```

Gambar 13. Code desain filter

Hasil desain filter FIR dengan code di Gambar 13 menghasilkan frekuensi respon seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Frekuensi respon filter FIR

4.3 Feature Extraction

Satu file perekaman signal EEG memiliki durasi selama ± 10 menit dengan Fs = 512 Hz. Proses feature extraction dilakukan untuk setiap time frame 20 detik dengan jarak pengambilan time frame selanjutnya ialah 10 detik. Sehingga, dalam 1 file perekaman, bisa mendapatkan time frame sebanyak 20 buah. Setiap time frame akan diproses untuk mendapatkan 7 nilai feature. Feature extraction menggunakan library eeglib (https://github.com/Xiul109/eeglib) dengan code seperti pada Gambar 15.

```
i = 0
for eeg in helper[::overlap]:
    avg = eeg.getAverageBandValues()

    feature[i][0] = avg[0]['delta']
    feature[i][1] = avg[0]['theta']
    feature[i][2] = avg[0]['alpha']
    feature[i][3] = avg[0]['beta']
    feature[i][4] = eeg.HFD()
    feature[i][5] = eeg.PFD()
    feature[i][6] = eeg.MSE(0)
```

Gambar 15. Code feature extaction

Contoh hasil 5 *time frame* dengan masing-masing 7 *feature*:

```
‘delta’,‘theta’,‘alpha’,‘beta’,‘hfd’,‘pfd’,‘mse’

5.9234 ,5.8790 ,4.4026 ,1.1454 ,2.0681 ,1.0026 ,0.00740

4.2476 ,4.6365 ,3.4119 ,1.0090 ,2.0882 ,1.0025 ,0.00860

2.7721 ,2.8693 ,2.6937 ,0.6819 ,2.0767 ,1.0027 ,0.01280

2.3430 ,2.6321 ,2.8661 ,0.6598 ,2.0746 ,1.0027 ,0.01530

2.4480 ,2.4254 ,2.4961 ,0.7205 ,2.0795 ,1.0029 ,0.02040
```

Feature extraction menghasilkan matrix *feature* dengan dimensi [1337,7]. Jumlah sampel yang didapat dari banyaknya time frame yang terbentuk ialah 1337, dan memiliki 7 nilai *feature.*

4.4 Classification

Pelatihan dilakukan dengan menggunakan *classifier* SVC. Sebelum dilakukan pelatihan, proses normalisasi dilakukan untuk mengubah rentang nilai *feature* menjadi 0 – 1. Selanjutnya dari 1337 sampel dibagi menjadi 2 bagian, bagian untuk pelatihan dan untuk pengujian (*testing*). Proses pelatihan menggunakan *library* sklearn (*http://scikit-learn.org/stable/*) dalam bahasa python. Langkah pertama yang perlu dilakukan ialah membuat model *classifier* SVC. *Classifier* SVC di bangun dengan kernel *radial basis function*.

```
#build classifier using svc (support vector classifier)

classifier =
svm.SVC(kernel='rbf',probability=True,random_state=1234)
```

Hasil dari model *classifier* yang telah dibangun, maka *classifier* tersebut siap digunakan untuk melatih serta menguji data yang sudah terbagi dalam *k-Fold.*

```
scores = cross_val_score(classifier, X, y,cv=cv)
print('Scores on each CV fold: %s' % scores)
print('Mean score: %s' % np.mean(scores))
```

4.5 Pengujian

Proses *testing* dilakukan dengan membagi 1337 sampel data mejadi 75% merupakan data untuk *training* dan 25% merupakan data *testing*. Sampel *training* dan *testing* dengan 5-*fold* dibagi secara acak dengan fungsi *ShuffleSplit*. Agar proses

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

pengacakan selalu sama setiap kali dijalankan, maka nilai *random_state* harus ditentukan.

```
cv=ShuffleSplit(n_splits=5,test_size=.25,random_state=12
34)
```

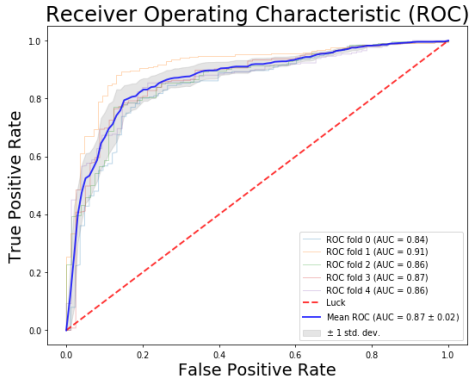
Hasil dari pengujian dengan menggunakan *k-fold validation* dengan nilai k=5 ditunjukan pada Tabel 3. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan akurasi sebesar 82,47%. Nilai akurasi ini belum bisa menjadi patokan, karena pengujian dengan *k-Fold* hanya dilakukan dengan sekali pengacakan sampel *testing*.

Tabel 3. Hasil Pengujian k-Fold dengan nilai k=5

Fold	Akurasi (%)
1	82,09
2	84,32
3	82,09
4	82,84
5	81,34
Rata-rata	**82,53**

Kurva *Receive Operating Characteristic* (ROC) dibuat untuk memperlihatkan performa *classifier* dalam menghadapi berbagai variasi data sampel baru maupun data set yang tidak seimbang. Hasil dari pengujian dibentuk dengan kurva ROC diperlihatkan pada Gambar 16.

Dari hasil yang telah didapatkan dalam pembangunan sistem klasifikasi dengan SVC, nilai rata-rata ROC yang diukur dari luas area di bawah grafik (AUC/ *area under curve*) sebesar 0,87 dengan nilai maksimal 1. Kurva ROC juga memperlihatkan besaran nilai rata-rata AUC dari setiap *fold.* Kurva ROC pada Gambar 16 dibentuk dengan pengujian sebanyak 100 kali pengacakan data sehingga setiap *fold*-nya akan membentuk 1 buah kurva.



Gambar 16. Kurva ROC

5 Kesimpulan

Tingkat kenyamanan termal seseorang berbeda-beda, tidak bisa dikelompokkan berdasarkan suhu ruangan. Prediksi dari hasil klasifikasi berdasarkan data *time frame* setiap signal EEG untuk mendeteksi tingkat kenyamanan termal seseorang mendapatkan nilai performa akurasi secara keseluruhan sebesar 87%.

6 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Penelitian Dosen Pemula) No. 109/SP2H/LT/DRPM/2018. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) dan Fakultas Teknologi Informasi (FTI) Universitas Kristen Duta Wacana.

7 Daftar Pustaka

[1] Z. Cheng, W. W. Shein, Y. Tan, and A. O. Lim, "Energy efficient thermal comfort control for cyber-physical home system," *2013 IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun. SmartGridComm 2013*, pp. 797–802, 2013.

[2] A. Solfia, Ya'umar, and W. A. Asmoro, "Rancang bangun sistem ac otomatis berbasis mikrokontroller atmega 8535 pada," pp. 1–12.

[3] S. M. Zanoli and D. Barchiesi, "Thermal and lighting control system with energy saving and users comfort features," *2012 20th Mediterr. Conf. Control Autom. MED 2012 - Conf. Proc.*, pp. 1322–1327, 2012.

[4] K. Nakayama, T. Suzuki, and K. Kameyama, "Estimation of thermal sensation using human peripheral skin temperature," *Syst. Man Cybern.*, no. October, pp. 2872–2877, 2009.

[5] J. H. Choi, "CoBi : Bio-Sensing Building Mechanical System Controls for Sustainably Enhancing Individual Thermal Comfort," *PHD Diss.*, no. May, 2010.

[6] X. Hou *et al.*, "EEG based Stress Monitoring," *IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, no. November, pp. 3110–3115, 2015.

[7] S. Muhammad and U. Saeed, "Psychological Stress Measurement Using Low Cost Single Channel EEG Headset," pp. 581–585,

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2015.

[8] A. Saidatul, M. P. Paulraj, and S. Yaacob, "Analysis of EEG signals during relaxation and mental stress condition using AR modeling techniques," pp. 477–481, 2011.

[9] L. Chee-Keong Alfred and W. Chong Chia, "Analysis of Single-Electrode EEG Rhythms Using MATLAB to Elicit Correlation with Cognitive Stress," *Int. J. Comput. Theory Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 149–155, 2015.

[10] Z. Khalili and M. H. Moradi, "Emotion recognition system using brain and peripheral signals: Using correlation dimension to improve the results of EEG," *2009 Int. Jt. Conf. Neural Networks*, pp. 1571–1575, 2009.

[11] T. Quang, D. Khoa, V. Q. Ha, and V. Van Toi, "Higuchi Fractal Properties of Onset Epilepsy Electroencephalogram," vol. 2012, 2012.

[12] C. Goh *et al.*, "Comparison of Fractal Dimension Algorithms for the Computation of EEG Biomarkers for Dementia To cite this version : HAL Id : inria-00442374," 2009.

[13] M. A. Busa and R. E. A. Van Emmerik, "Multiscale entropy : A tool for understanding the complexity of postural control," *J. Sport Heal. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 44–51, 2016.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Desain Awal Flight Control Panel dari Pesawat LSA-02

[1]Adi Wirawan*), [1]Eries Bagita Jayanti
[1]Pusat Teknologi Penerbangan - LAPAN
adi.wirawan@lapan.go.id

Abstrak

Pada artikel ini penulis akan membahas mengenai pengembangan Flight Control Panel (FCP) pada pesawat teknologi demonstrator, LSA-02. FCP merupakan interface antara pilot dengan *electronic flight control system* (EFCS) pada pesawat teknologi demonstrator, LSA-02. FCP berfungsi sebagai alat bagi pilot untuk memberikan perintah kepada EFCS dan juga untuk menampilkan informasi terkait dengan kondisi EFCS. Perangkat keras FCP terdiri dari *embedded computer*, LCD, dan *keyboard*. *Keyboard* pada FCP merupakan input dari FCP, terdiri dari tombol dan saklar putar yang diatur oleh sebuah *controller*. FCP dilengkapi dengan perangkat lunak yang dikembangkan untuk mengakomodir tampilan data dari EFCS. FCP menggunakan jalur komunikasi CAN bus untuk berkomunikasi dengan EFCS.

Kata Kunci: electronic flight control system, interface, flight control panel.

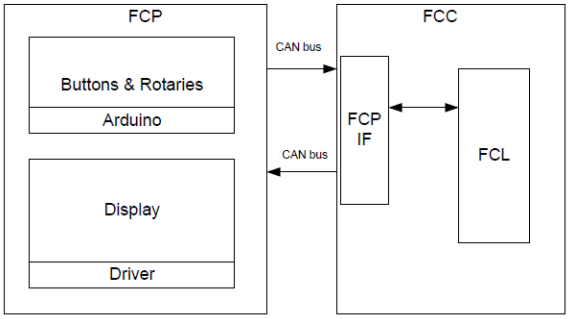
1 Pendahuluan

Light Surveillance Aircraft 02 (LSA-02) merupakan pesawat teknologi demonstrator yang digunakan untuk investigasi dan demonstrasi teknologi *unmanned aerial vehicle* (UAV). LSA-02 merupakan hasil modifikasi dari *basic aircraft* Stemme-15. Pesawat ini memiliki kapasitas muatan yang cukup untuk diintegrasikan dengan *electronic flight control system* (EFCS), instrumen uji terbang dan tambahan muatan ujicoba [1]. Pesawat dioperasikan sebagai pesawat berawak oleh *safety pilot,* untuk melakukan percobaan dan memonitor perintah bidang kendali selama percobaan berlangsung. Sedangkan *Flight Control Panel* (FCP) adalah antarmuka antara *safety pilot* dengan *electronic flight control system* (EFCS). EFCS adalah sistem kendali elektronik yang dipasang pada sistem dasar kendali mekanik pesawat. Sistem ini dikembangkan untuk melakukan ujicoba pada teknologi demonstrator UAV [2]. FCP adalah *human machine interface* (HMI). FCP diletakkan pada panel avionik di depan pilot. FCP memiliki tiga fungsi utama yaitu: untuk memuat dan mengirimkan data inisialisasi ke FCC untuk dibaca oleh FCL, untuk memungkinkan pilot memasukkan data atau memberi perintah secara manual ke EFCS, dan untuk menampilkan informasi ke pilot [3].

Pada penelitian ini akan dijelaskan terkait pembuatan desain awal FCP. Desain mencakup desain perangkat keras dan perangkat lunak FCP. Perangkat keras sebagai media untuk *safety pilot* dalam memberikan masukan kepada EFCS. Perangkat keras terdiri dari *embedded computer*, layar tampilan FCP dan *mikrokontroller* untuk tombol dan saklar putar [4]. Sedangkan perangkat lunak berfungsi untuk mengakomodir tampilan data dari EFCS. Perangkat lunak ini terdiri dari komunikasi data serial, komunikasi data CAN dan *Graphic Interface unit* (GUI) [4].

2 Diskusi

Secara umum posisi FCP terhadap FCC dijelaskan sebagai berikut [4]:



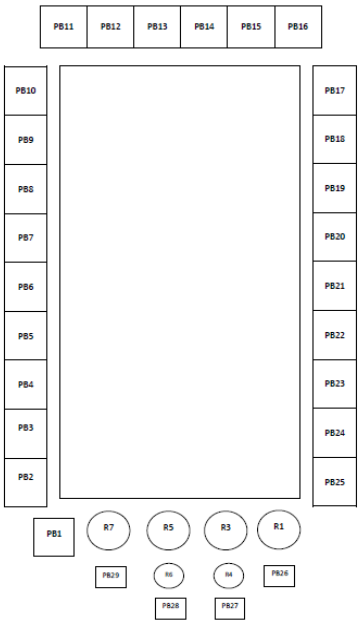
Gambar 17. Posisi FCP terhadap FCC [4]

Gambar (1) menunjukkan konsep dasar interaksi antara FCP dengan FCC. Data masukan dari pilot masuk melalui tombol dan saklar putar dengan Arduino sebagai kontrollernya. Selanjutnya data dikirimkan menuju FCC melalui CAN bus. FCP IF adalah antarmuka antara FCP dan FCL (*Flight Control Law*). Kemudian data masukan tersebut dikirimkan menuju *display* untuk ditampilkan.

Desain konseptual FCP akan ditunjukkan pada gambar (2). Gambar tersebut menunjukkan nama-nama dari tombol dan rotari. Penamaan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

tombol diberikan “PB” yang berarti push button yang selanjutnya diikuti dengan penomoran. Hal tersebut menunjukkan nomor dari tombol (push button). Sedangkan penamaan saklar putar diberikan “R” yang berarti saklar putar (rotary) dan selanjutnya diikuti nomor saklar putar. Perangkat keras terdiri dari 29 tombol dan 8 saklar putar. Namun hanya 6 saklar putar yang digunakan [4].



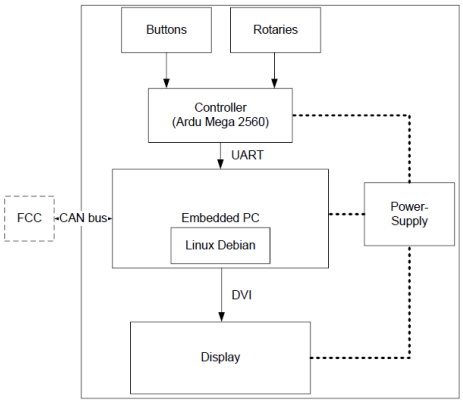
Gambar 18. Desain Konseptual FCP

2.1 Konsep Desain

2.1.1 Perangkat Keras

Terdapat empat komponen utama dalam perangkat keras FCP yaitu *embedded computer*, *LCD display*, tombol dan saklar putar dengan *controller*. Perangkat keras FCP juga terhubung dengan *power supply* yang menggunakan power konverter DC.

Berikut merupakan diagram blok desain konseptual dari FCP [4]:



Gambar 19. Diagram Blok Desain Konseptual FCP [4]

1. Sistem Embedded

Sistem embedded adalah desain sistem elektronik/ elektro mekanikal untuk menunjukkan fungsi spesifik dan kombinasi dari perangkat keras dan perangkat lunak. Sistem embedded menjadi bagian penting dari peralatan rumah tangga, telekomunikasi, peralatan kesehatan, industri dll.

Sistem embedded didesain untuk suatu tujuan atau kombinasi dengan tugas tugas seperti pengumpulan data/penyimpanan/representasi, komunikasi data, pemrosesan data sinyal, monitoring, kendali dan spesifik aplikasi untuk antarmuka pengguna [5].

Embedded computer yang digunakan pada FCP merupakan produk dari Janztec Company.



Gambar 20. CPU Intel Atom E3825 [6]

CPU Intel atom E3825 dengan RAM 2GB, port LAN 2 buah, port RS232 sebanyak 1 buah, port CAN 1 buah, port USB 2.0 3 buah, port DVI sebanyak 1 buah, memori onboard Emmc 4GB, dan memori CFast 32 GB. Sistem operasi yang telah diinstall adalah Linux Debian.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2. Layar Tampilan FCP

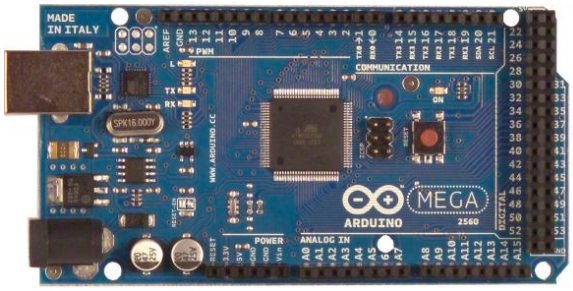
Layar tampilan FCP merupakan produk dari Litemax, dengan tingkat kecerahan sebesar 1000 nits, resolusi 1024x600 dan memiliki port koneksi DVI.

3. Mikrokontroller Arduino Mega 2560

Arduino adalah sebuah platform perangkat keras *open source* yang memiliki masukan/keluaran yang sederhana [7]. Arduino memberikan masukan/keluaran yang sudah fix dan bisa digunakan dengan mudah. Arduino dapat digabungkan dengan modul elektro yang lain sehingga proses perakitan jauh lebih efisien [8].

Arduino mega 2560 adalah papan mikrokontroller berdasar pada ATmega2560. Arduino mega memiliki 54 digital pin masukan/keluaran (14 diantaranya digunakan untuk keluaran PWM), 16 masukan analog, 4 UARTS (port serial perangkat keras), 16 MHz oscillator Kristal, penghubung USB, sebuah powerjack, header ICSP, dan tombol reset.

Terdiri dari apapun yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroller, terhubung sederhana ke komputer dengan kabel USB atau power dengan adaptor AC ke DC atau baterai untuk memulainya [9]. Arduino merupakan mikrokontroller untuk tombol dan saklar putar pada FCP.



Gambar 21. Arduino Mega 2560 [9]



Gambar 22. Tombol [10]

4. *DC to DC converter*

DC to DC converter yang digunakan adalah 24 V dan 12 V, dengan kriteria 9-38 V / 24 V 10 W dan 9-38 V/ 12 V 10 W.

2.1.2 Perangkat Lunak

Pada bagian ini akan dijelaskan *requirement* secara umum perangkat lunak dan *requirement* berdasarkan fungsional. Requirement fungsional menjelaskan tentang input pada perangkat lunak, *output* dan detail hubungan antara *input* dan *output* [4].

1. *Requirement* secara umum

FCP terdiri dari tombol dan saklar putar yang diatur oleh mikrokontroller. FCP juga memiliki sistem *embedded* yang memiliki fungsi untuk mengatur komunikasi dari kontroller ke FCC. Komunikasi dari kontroller ke sistem embedded menggunakan data UART. Sedangkan komunikasi dari sistem embedded ke FCC menggunakan CAN bus. Perangkat lunak FCP menerima masukan tombol dan saklar putar melalui data UART dan meneruskan data ini ke FCC menggunakan CAN Bus. Perangkat lunak FCP juga menerima data CAN dari FCC lalu ditampilkan ke layar FCP. Perangkat keras FCP menggunakan CAN Bus sebagai komunikasi antarmuka FCP karena data rate yang tinggi dan lebih dapat diandalkan dibandingkan UART.

Controller Area Network (CAN) yang selanjutnya disebut CAN Bus adalah bus yang dirancang untuk memungkinkan unit kontrol elektronik dan perangkat untuk berkomunikasi antar satu sama lain dalam aplikasi tanpa komputer host. CAN Bus memungkinkan berbagai jenis komponen elektronik (seperti: unit kontrol elektronik, mikrokontroler, sensor, aktuator dan lainnya) untuk berkomunikasi pada single atau dual data bus hingga 1 Mbit/s [11].

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2. *Requirement* fungsional.

a. Komunikasi data serial

Fungsinya adalah untuk menangani data serial dari port USB dan meginisiasi koneksi port serial.

b. Komunikasi data CAN

Fungsinya adalah untuk menangani data CAN, menginisiasi CAN *interface*, serta mengirim dan menerima CAN message.

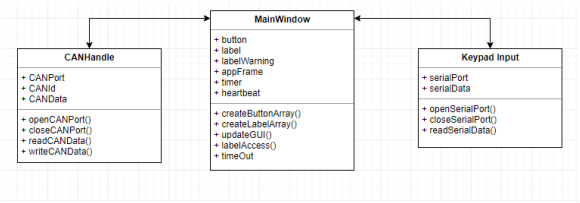
c. *Graphical user interface* (GUI)

Fungsinya adalah untuk menangani *layout* GUI pada FCP.

Arsitektur perangkat lunak ditampilkan dalam bentuk format diagram UML dan menggunakan pemrograman C++ pada QT.

Pemilihan Qt sebagai platform pemrograman karena Qt mendukung pengembangan lintas platform aplikasi GUI. Dapat menggunakan sistem operasi Windows untuk pengembangan PC dan selanjutnya mengcompile sumber pada sistem embedded Linux. Alasan penting lainnya adalah dengan menggunakan pemrograman Qt mendukung untuk library perangkat lunak yang dibutuhkan, seperti contoh library untuk serial bus dan CAN bus [12].

Berikut merupakan diagram UML dari perangkat lunak FCP:



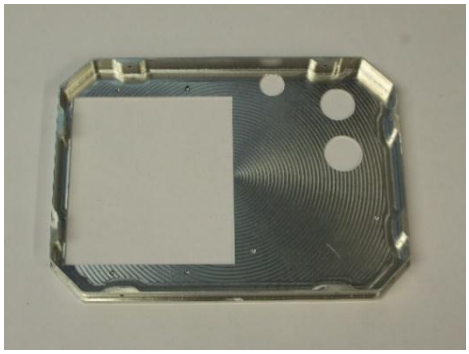
Gambar 23. Diagram UML Perangkat Lunak FCP

Pada diagram tersebut, dijelaskan bahwa perangkat lunak FCP memiliki kelas-kelas. *mainWindow* yang menangani proses utama untuk semua fungsi yang terdiri dari tombol, label, *labelWarning*, *frame*, *timer* dan *heartbeat*. *canHandle* menangani komunikasi CAN bus yang terdiri dari CAN Port, CAN Id, CAN data. *Keypad input* menangani komunikasi data UART yang terdiri dari port serial dan data serial.

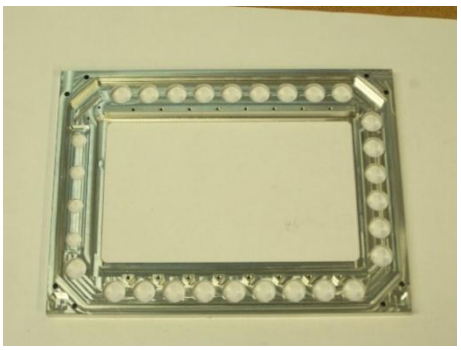
2.2 Implementasi Desain

2.2.1 Perakitan Perangkat Keras

Perakitan dimulai dengan menyiapkan *plate-plate*. Beberapa seperti pada gambar berikut:



Gambar 24. Plate FCP bagian dalam

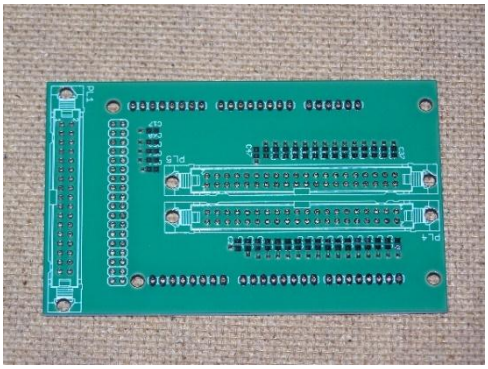


Gambar 25. Tempat Tombol dan Saklar Putar

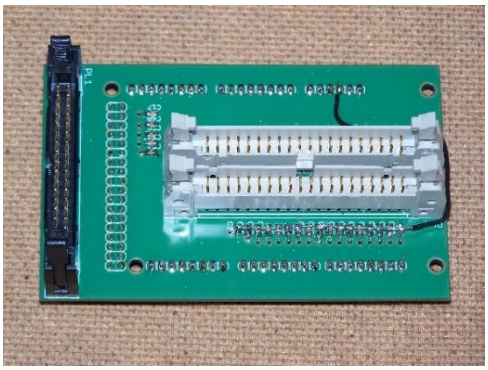
Kemudian melakukan pemasangan tombol pada *frontplate*, menempatkan kaca tampilan dan tempatnya pada bingkai yang telah tersedia, dan memfiksasi layar tampilan tersebut dengan *display holder*.

Selanjutnya adalah memasangkan saklar putar ke *frontplate*. Memasang tombol pada kabel yang longgar. Lalu menghubungkan tombol tersebut ke konektor. Langkah selanjutnya adalah pemasangan board pada *plate boardholder*. Memasangkan koneksi USB SD *CardReader* dan memasangkan SD *Cardreader* pada *frontplate*.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



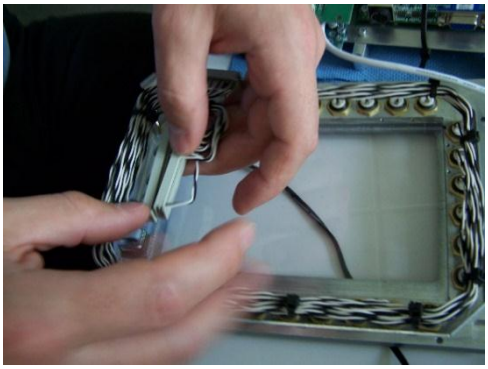
Gambar 26. Plateboard



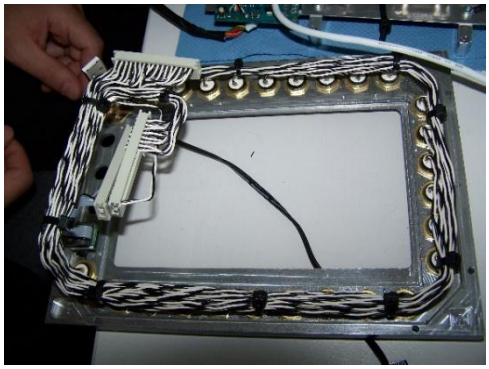
Gambar 27. Plateboard

Langkah berikutnya yaitu melakukan pengkabelan tombol dan saklar putar, menyesuaikan kabel DVI dan konektor power untuk *display control board*, menyesuaikan Arduino mega dan *shield connector* dan membuat Arduino Shield untuk tombol input.

Kemudian menempatkan *board* dan plate board, menghubungkan kabel dari *plate board* ke bagian belakang layar tampilan, melakukan interkoneksi *board* ke *plate board* dan melakukan pemasangan *plate board* ke *holder* layar tampilan dan *frontplate* ke *frame*.



Gambar 28. Pemasangan Kabel



Gambar 29. Kabel telah terpasang

Perakitan dilanjutkan dengan memasang komputer ke *backplate*, membangun konektor ke *backplate*, menyesuaikan konektor pada *backplate*, menempatkan dan mengkoneksikan DC to DC *converter* dan terakhir yaitu pengkabelan *backplate* dan *frontplate*.

Berikut merupakan tampilan dari perangkat keras FCP:



Gambar 30. Perangkat Keras FCP

2.2.2 Implementasi perangkat lunak

Berdasarkan spesifikasi *requirement* dan desain perangkat lunak [4]:

1. Modul 1: Komunikasi data UART

Modul ini menggunakan *library serialhandles header, keyInput header, QTSerialPort (QSerialPort dan QSerialPortInfo)*. Modul menyediakan antarmuka untuk perangkat lunak ke perangkat keras serial port. Sedangkan file *Keyinput header* adalah antarmuka untuk menerjemahkan serial data dari FCP keyboard.
Modul komunikasi data UART memiliki lima fungsi yaitu:

- *checkSerialPort* untuk mendapatkan informasi terkait kesediaan port serial

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

- *openSerialPort* untuk mengatur nama port, baud rate, bit data, parity, bit stop, dan kontrol flow dari port yang telah terplih serta menunjukkan status koneksi.
- *closeSerialPort* memiliki fungsi untuk menutup serial port.
- *readSerialPort* memiliki fungsi untuk membaca data yang masuk.
- *writeSerialPort* memilik fungsi untuk menulis data ke serial port.

2. Modul 2: Komunikasi data CAN

Modul ini menggunakan *library QTSerialBus* (*QCanBusDeviceInfo* dan *QCanBusFrame*) dan *QCanBus*. Modul ini memiliki lima fungsi yaitu:

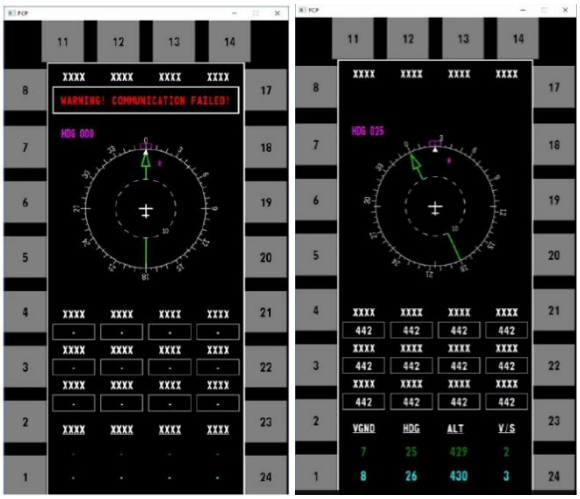
- *CheckCANPort* untuk mengecek kesediaan dari port CAN
- *OpenCANPort* untuk membuka port CAN
- CloseCANPort untuk menutup koneksi port CAN.
- *readCANData* untuk mengecek jika *frame* CAN telah tersedia lalu membaca *frame* tersebut
- *writeCANData* untuk mengatur ID CAN, mengisi muatan CAN lalu menuliskan *frame* dari CAN tersebut ke CAN Bus.

3. Modul 3: GUI

Modul ini memiliki tujuh fungsi yaitu:

- *MainWindow* sebagai inisialisasi terjadinya fungsi lain.
- *timeOut* untuk mengecek status dari pesan *heartbeat* dari FCC.
- *createButtonArray* untuk menciptakan array dari tombol.
- *createLabelArray* untuk menciptakan label array.
- *createLabelAcess* untuk memberikan kemungkinan kepada pengguna dalam mengatur pengaturan dari tombol dan label.
- *showData* untuk membaca data UART yang masuk.
- *showDataCAN* untuk memanggil ketika frame CAN baru telah tersedia, memanggil *frame* dari CAN dan menyimpan data.

Berikut merupakan tampilan perangkat lunak dari FCP:



Gambar 31. Tampilan perangkat lunak FCP

Pada gambar (15) terdapat dua tampilan perangkat lunak yaitu ketika tidak ada data dan ada data. Data-data yang ditampilkan pada FCP versi awal ini adalah terkait *vertical groundspeed*, *heading*, *altitude* dan *vertical airspeed*. Tulisan peringatan berwarna merah akan muncul jika koneksi antara FCP dan FCC gagal.

Masing-masing perangkat keras dan lunak kemudian diintegrasikan sehingga menjadi seperti tampilan berikut ini:



Gambar 32. Integrasi Perangkat Keras dan Lunak FCP

3 Kesimpulan

Berdasarkan pengerjaan yang telah dilakukan, kesimpulannya adalah:

Pembuatan desain awal perangkat keras dan perangkat lunak FCP sudah dilakukan.

Perangkat keras FCP yang dibuat dapat menerima *input* dari pilot berdasarkan komponen yang telah disusun.

Perangkat lunak FCP yang dibuat dapat menampilkan data dari EFCS sesuai dengan modul yang telah disusun.

4 Daftar Pustaka

[1] S. Bahri, "Spesification and Concept of LSA-02 (Technology Demonstrator)," Berlin, 2017.
[2] T. I. Hakim, "EFCS Requirements and Concept," Berlin, 2016.
[3] T. I. Hakim, "BEFCS Definition, Requirement, and concept," Berlin, 2016.
[4] A. Wirawan, "Development and Test of The Software for The Flight Control Panel of LSA-02 Technology Demonstrator Aircraft," Institut Teknologi Bandung, 2018.
[5] Shibu K V. "Intro to Embedded Systems," IE. Tata McGraw Hill. New Delhi, 2009.
[6] Janztec, "emPC-X: Embedded Computing System based on Intel Atom," Janztec, 9 12 2018.[Online].https://www.janztec.com/en/devices/embedded-computer/empc-x/. [Diakses 09 12 2018].
[7] Banzi, "Getting started with Arduino," 2011.
[8] Y. M. Dinata, "Buku Arduino itu pintar", Elex Media Komputindo, Indonesia, 2016.
[9] Arduino, "Arduino Mega 2560 Datasheet ".
[10] Pushbutton Switches, "Series 59", [Online] http://www.itwswitches.com/S59.shtml. [Diakses 09 12 2018]
[11] Quora,"What is a CAN bus?." Quora, 24 9 2017. [Online]. https://www.quora.com/What-is-a-CAN-bus. [Diakses 09 12 2018].
[12] QT, "QT Whitepaper," QT, 24 3 2016. [Online]. https://wiki.qt.io/QtWhitepaper. [Diakses 09 12 2018].

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Sistem Penjejak Matahari Menggunakan Metode Pengukuran Titik Koordinat Lokasi untuk Optimalisasi Perolehan Data Pengukuran oleh Sunphotometer

[1]Anggie Patria Pramagusta*), [1]Hariyanto & [2]Bowo Prakoso

[1]Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

[2]Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

anggiepatria1408@gmail.com)*

Abstrak

Sistem penjejak matahari dimanfaatkan untuk mengoptimalkan perolehan data intensitas radiasi matahari oleh Sunphotometer.
Besaran intensitas radiasi matahari dapat digunakan sebagai bahan analisis Aerosol Optical Depth (AOD), sehingga pada spektrum tertentu dapat dihitung ketebalan optiknya menggunakan Sunphotometer. Sistem penjejak matahari memainkan peranan yang sangat penting karena dengan keakuratannya akan memastikan perolehan data yang optimal.
Sistem penjejak ini dapat menentukan posisi matahari secara akurat dengan mengetahui informasi titik koordinat dan waktu pada lokasi pengamatan sehingga dapat dirumuskan ke dalam waktu matahari (solar time) dan menghasilkan besaran sudut azimut dan elevasi yang akan menggerakkan sunphotometer menghadap matahari.
Hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan koreksi nilai rata-rata Azimut sebesar ±0,06o dan elevasi sebesar ±0,02o. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem penjejak dengan metode pengukuran titik koordinat lokasi ini sangat baik digunakan dalam mengikuti pergerakan matahari.
Kata Kunci : penjejak matahari, koordinat, sunphotometer, aerosol optical depth, intensitas radiasi matahari, meteorologi

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang letak wilayahnya dilewati oleh garis khatulistiwa yang berarti wilayah Indonesia selalu berada dalam garis lintasan matahari. Hal itu menyebabkan Indonesia akan selalu mendapatkan suplai penyinaran matahari secara merata sepanjang tahun. Sunphotometer merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari secara langsung yang kemudian hasil pengukurannya dimanfaatkan untuk bahan analisis kedalaman optik aerosol (AOD).

Pengukuran intensitas radiasi matahari maksimum dapat diukur dengan menggunakan sistem penjejak Matahari. Sistem ini berfungsi untuk mengikuti pergerakan matahari secara kontinu. Sistem penjejak matahari terdiri dari 2 (dua) metode. Metode pertama, sistem penjejak matahari menggunakan 4 buah sensor cahaya sebagai pendeteksi cahaya matahari. Metode kedua, sistem penjejak matahari menggunakan perhitungan gerak matahari berdasarkan pengukuran titik koordinat lokasi.

Metode sensor cahaya masih memiliki beberapa kekurangan yakni dalam hal sensitivitas sensor cahaya dalam mendeteksi cahaya matahari. Kekurangan ini tentunya berdampak cukup signifikan karena tidak didapatkan pengukuran intensitas radiasi matahari maksimum. Jika metode ini diterapkan pada sunphotometer maka cahaya matahari yang datang tidak akan tegak lurus mengenai permukaan sunphotometer. Metode pengukuran titik koordinat lokasi sebagai sistem penjejak dapat menutupi kekurangan sistem penjejak menggunakan sensor cahaya. Metode ini tidak memiliki ketergantungan terhadap sensor cahaya dalam melakukan penjejakkan matahari.

Sistem penjejak matahari menggunakan pengukuran titik koordinat lokasi bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sunphotometer dalam melakukan pengukuran intensitas radiasi langsung secara kontinu. Optimalisasi ini bermanfaat untuk memfokuskan radiasi matahari tegak lurus mengenai sensor sunphotometer. Hasil pengukuran yang optimal akan menghasilkan analisis kedalaman optik aerosol secara akurat.

2. Metode Penelitian

Orbit Bumi adalah elips bukan lingkaran, maka jarak antara Bumi dan Matahari bervariasi sepanjang tahun, yang mengarah ke nilai-nilai radiasi matahari sepanjang tahun diperkirakan dengan[1]:

$$I_0 = I_{SC}\left[1 + 0.033cos\left(\frac{N}{365} \times 360°\right)\right] \qquad (1)$$

Titik terdekat Bumi (sekitar 146 juta km) ke matahari disebut perihelion dan terjadi sekitar 3 Januari. Titik terjauh bumi (sekitar 156 juta km) ke matahari disebut aphelion dan terjadi sekitar tanggal 4 Juli.

Bumi dimiringkan pada porosnya pada sudut 23.45°. Seiring setiap tahunnya Bumi berotasi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

mengelilingi matahari. Matahari melintasi khatulistiwa sekitar 21 Maret (vernal equinox) dan 21 September (autumn equinox). Matahari mencapai garis lintang paling utara sekitar 21 Juni (titik balik matahari musim panas) dan lintang paling selatan di 21 Desember (titik balik matahari musim dingin). [2]

Deklinasi Matahari adalah jarak sudut matahari utara atau selatan khatulistiwa bumi. Sudut deklinasi δ untuk belahan bumi utara (negatif untuk sudut deklinasi belahan bumi selatan) dirumuskan [3]

$$\delta = 23.45° \, sin\left[\frac{N+284}{365} \times 360°\right] \quad (2)$$

Apparent Solar Time, AST (atau waktu matahari lokal) di bujur barat dihitung dari

$$\mathrm{AST} = \mathrm{LST} + 4(\mathrm{Long} - \mathrm{LSTM}) + \mathrm{ET} \quad (3)$$

$$\mathrm{LSTM} = 15° \times \left\lfloor\frac{\mathrm{Long}}{15°}\right\rfloor \quad (4)$$

Perbedaan antara waktu matahari sebenarnya dan perubahan waktu matahari dari hari ke hari berdasarkan siklus tahunan. Kuantitas ini dikenal sebagai persamaan waktu. Equation of Time (ET) dalam hitungan menit, dapat dihitung dengan formula berikut ini. [4]

$$\mathrm{ET} = 9.87 \ \sin(2\mathrm{D}) - 7.53\cos(\mathrm{D}) - 1.5\sin(\mathrm{D}) \quad (5)$$

$$D = 360° \frac{(N-81)}{365} \quad (6)$$

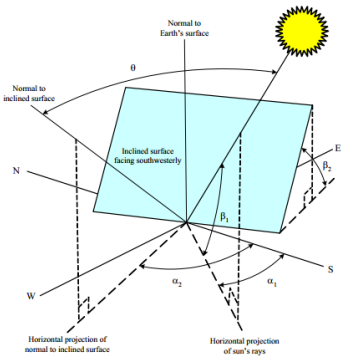
Hour Angle (H) adalah sudut azimut sinar matahari yang disebabkan oleh rotasi bumi, dan H dapat dihitung dari [5]

$$H = \frac{AST - 720\,min}{4min/deg} \quad (7)$$

Hour Angle seperti yang didefinisikan di sini ialah akan bernilai negatif di pagi hari dan bernilai positif di sore hari (H = 0° pada siang hari).

Sudut elevasi matahari (β1) adalah sudut antara cahaya matahari yang datang dan vertikal bumi. Sudut elevasi (β1) dihitung oleh

$$(\beta_1) = arcsin(\sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(H)) \quad (8)$$



Gambar 1 Sudut Matahari [5]

Azimut matahari, α1, adalah sudut jauh dari selatan (utara di belahan bumi selatan).

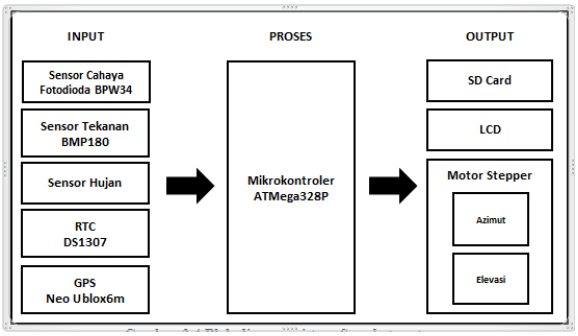
$$\alpha_1 = arccos\left(\frac{sin(\delta)cos(L) - cos(\delta)\sin(L)\cos(H)}{cos(\beta_1)}\right) \quad (9)$$

Dimana α1 positif ke arah barat (siang), dan negatif ke arah timur (pagi), dan oleh karena itu, α1 harus sesuai dengan hour angle.

2.1 *Perancangan Alat*

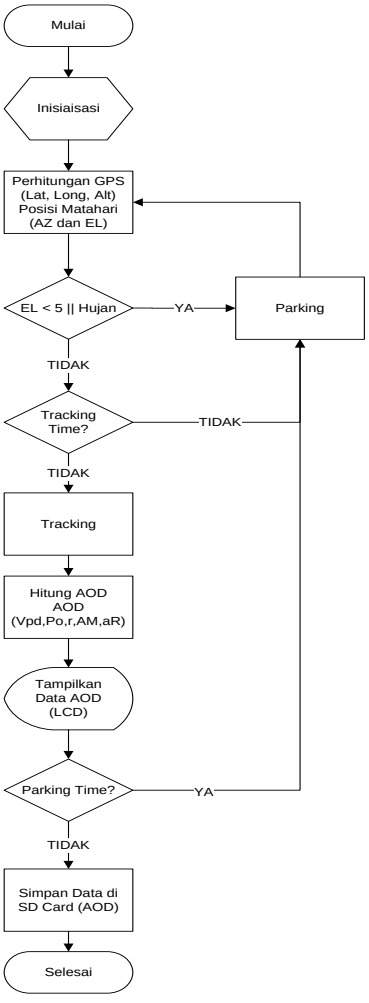
Perancangan sistem penjejak matahari menggunakan pengukuran titik koordinat lokasi terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras terdiri terdiri atas 3 (tiga) bagian utama yaitu, input, proses, dan output seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Unit input terdiri atas sensor cahaya Fotodioda BPW34, sensor tekanan BMP180, sensor hujan, RTC DS1307, dan GPS Neo Ublox6m. Unit-unit tersebut yang bekerja sebagai input pada sistem penjejak matahari adalah unit RTC, GPS, dan sensor hujan sedangkan unit sensor cahaya dan sensor tekanan berfungsi sebagai sunphotometer dalam pengukuran AOD. RTC dan GPS merupakan komponen penting dalam pembuatan sistem penjejak untuk mendapatkan informasi waktu dan koordinat lokasi sedangkan sensor hujan berfungsi sebagai penanda bahwa sedang terjadi hujan. Unit proses terdiri atas mikrokontroler Atmega328P yang berfungsi sebagai penerima input sinyal dan memprosesnya. Unit Output terdiri atas SD Card, LCD, dan aktuator Motor Stepper yang berfungsi sebagai penggerak sunphotometer berdasarkan azimut dan elevasi matahari terhadap bumi. Motor Stepper yang digunakan ialah motor stepper jenis bipolar dengan kemampuan gerak setiap stepnya sebesar 1,8o. Resolusi ini dapat diperkecil menggunakan driver A4988 yang memiliki fitur microstepping hingga 1/32 dari resolusi motor stepper sehingga motor dapat bergerak seakurat mungkin berdasarkan input perhitungan azimut dan elevasi matahari.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

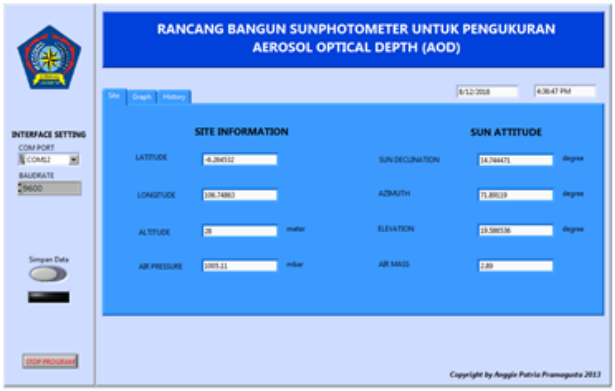


Gambar 2 Blok Diagram Sistem [6]

Perancangan perangkat lunak terdiri atas diagram alir sistem dan juga tampilan GUI (*Graphical User Interface*) untuk menampilkan data pengukuran. Diagram alir berfungsi sebagai acuan dalam pemrograman sistem agar sistem dapat bekerja sesuai dengan tujuannya. Tampilan GUI berfungsi untuk menampilkan data pengukuran yang diperlukan dalam konteks sistem penjejak matahari maka informasi yang ditampilkan berupa data mengenai *solar time*, sudut azimut dan elevasi matahari. Gambar menunjukkan diagram alir dan juga tampilan GUI dari sistem ini.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem [6]



Gambar 4 Tampilan GUI [6]

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

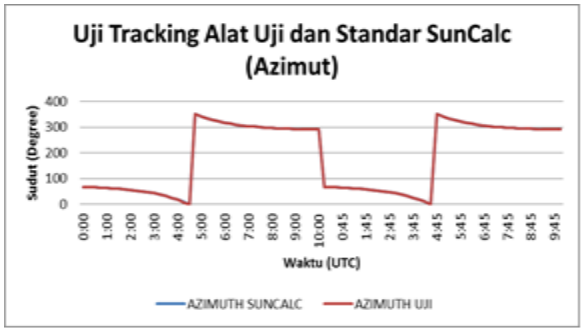
3.1 Uji Lapang Sistem Penjejak Matahari



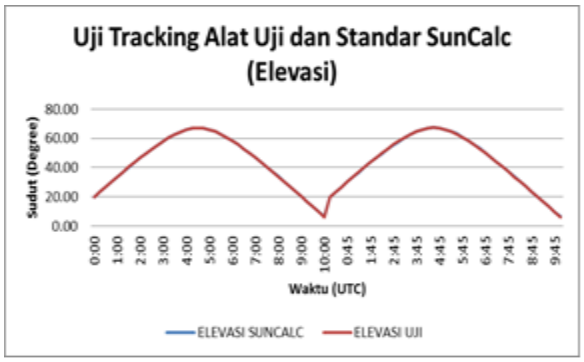
Gambar 5 Hasil perancangan sunphotometer [6]

Pengujian secara langsung dilakukan di Stasiun Meteorologi Tjilik Riwut Palangka Raya dengan koordinat lokasi -2,22799 LU dan 113,94624 BT. Uji *Tracking* dilakukan selama ±10 jam yakni dari jam 07.00 WIB sampai 17.00 WIB. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan *SunCalc*. *SunCalc* merupakan website yang memfasilitasi perhitungan pergerakan matahari. Sistem penjejak matahari berdasarkan titik koordinat lokasi memerlukan validasi untuk memastikan bahwa sistem dapat benar-benar mengikuti pergerakan matahari.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 6 Grafik pengujian sudut azimut terhadap standar SunCalc [6]



Gambar 7 Grafik pengujian sudut elevasi terhadap standar SunCalc [6]

Terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 bahwa hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan koreksi nilai rata-rata Azimut sebesar ±0,06° dan elevasi sebesar ±0,02°. Pengujian tersebut dibandingkan dengan perhitungan *SunCalc* berdasarkan data permenit. Data penjejak didapatkan dari pergerakan motor stepper azimut dan elevasi. Grafik di atas juga menunjukkan pola yang sangat mirip antara pergerakan sistem penjejak matahari dan hasil perhitungan serta simulasi *SunCalc*. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem penjejak matahari dengan metode pengukuran titik koordinat lokasi ini sangat baik digunakan dalam mengikuti pergerakan Matahari.



Gambar 7 Simulasi Pergerakan Matahari [7]

4. Kesimpulan

Pembuatan sistem penjejak berhasil dan sistem berjalan dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koreksi antara Sunphotometer dan SunCalc menunjukkan nilai koreksi azimut sebesar ±0,06° dan elevasi sebesar ±0,02°.

5. Nomenklatur

δ	=	*Sudut Deklinasi Matahari*
N	=	*Jumlah hari dalam 1 tahun*
AST	=	*Apparent Solar Time*
LST	=	*Local Solar Time*
LSTM	=	*Local Solar Time Meridian*
ET	=	*Equation of Time*
D	=	*Hari dalam derajat*
H	=	*Hour Angle*
Long	=	*Longitude*
Lat	=	*Latitude*
β_1	=	*Sudut Elevasi Matahari*
α_1	=	*Sudut Azimuth Matahari*

6. Daftar Pustaka

[1] John Wiley & Sons. (1980). Space Heating and Hot Water Systems. Solar Thermal Engineering, 62-100.
[2] Holbert, K. E. (2007) Solar Calculations.doc
[3] ASHRAE, HVAC Applications Handbook. (1995). Chapter 30, Solar Energy Utilization, 30.1-30.3.
[4] Gueymard, C., 1998. Turbidity determination from broadband irradiance measurements: A detailed multicoefficient approach. J. Appl. Meteorol. 37, 414–435
[5] A.W. Culp, Principles of Energy Conversion, 2nd ed., McGraw-Hill, 1991, pp. 98-107.
[6] A. P. Pramagusta, Rancang Bangun Sunphotometer Untuk Pengukuran Aerosol Optical Depth (AOD) [Skripsi]. Jakarta : Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

[7] SunCalc, "Sunrise, Sunset, Shadow Length, Solar eclipse, and Sun position". Diakses pada tanggal 22 Juli 2018.

[8] (https://www.suncalc.org/)

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengembangan Skema Pemrosesan Citra Untuk Peningkatan Visibilitas Jarum Pada Aplikasi Ultrasonografi (USG) Untuk Penuntun Penusukan Jarum Medis

[1]Arkanty Septyvergy*), [1]Suprijanto & [1]Endang Juliastuti

[1] KK Instrumentasi dan Kontrol – Fakultas Teknologi Industri- Institut Teknologi Bandung

arkanty.septyvergy@gmail.com*)

Abstrak

Pada citra 2-D ultrasonografi untuk keperluan pemandu insersi jarum, sulit untuk menentukan posisi jarum karena ketidak konsistenan visibilitas jarum. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya fenomena akustik yang terjadi ketika gelombang ultrasonik merambat melewati medium perantara dan mengenai permukaan jarum. Selama ini terdapat beberapa usaha untuk mengatasi permasalahan visibilitas jarum yaitu melakukan manipalasi pada *beam steering,* manipulasi interaksi gelombang ultrasonik dengan jarum, dan melakukan *post processing* pada citra USG. Pada penelitian ini dilkakukan usaha *post processing* untuk mengatasi permasalahan visibilitas jarum. *Post processing* yang dikembangkan adalah dengan memanfaatkan informasi perbedaan intensitas antara jarum dan latar pada tiap kolom citra. Data tersebut akan diseleksi, data mana yang merepresentasikan jarum dan yang tidak merepresentasikan jarum. Data yang merepresentasikan jarum dapat dideteksi menggunakan filter *moving median* dan filter *moving median absolute deviation*. Skema yang telah dibangun tersebut diuji pada dua macam citra jarum. Citra pertama adalah citra yang digerakkan oleh robot penusukan. Citra diambil menggunakan kamera digital ketika jarum bergerak melakukan penusukan dan ketika jarum bergerak secara rotasi. Ujung jarum diberi tinta putih agar ketika ditangkap citranya bagian tip merupkan bagian yang paling terang. Hal tersebut dimaksudkan agar citra tip jarum merepresentasikan citra hasil penangkapan menggunaka USG. Citra kedua yang diuji adalah citra pertama ditambahkan derau yang merepresentasikan kerakteristik derau yang dimiliki oleh ultrasonografi. Hasil pengujian dengan skema yang dibangun menunjukkan bahwa skema ini dapat mengestimasi posisi jarum baik pada citra pertama dan citra kedua.

Kata Kunci: pemandu insersi jarum, ultrasonografi, visibilitas jarum, post processing, perbedaan intensitas, filter moving median, fiter moving median absolute deviation, robot penusukan

1 Pendahuluan

Prosedur intervensional invasif minimal adalah suatu prosedur yang sering digunakan di dalam bidang medis dikarenakan prosedur ini hanya memerlukan sayatan yang kecil untuk memasukkan alat perantara sehingga dapat meminimalkan luka dan mempercepat penyembuhan pasien pasca operasi. Salah satu prosedur intervensional invasive minimal yang sering digunakan adalah prosedur anastesi yang menggunakan jarum sebagai alat perantara. Untuk menjamin jarum menusuk pada daerah yang benar, diperlukan alat bantu umpan balik. Alat bantu umpan balik yang sering digunakan adalah Ultrasonografi (USG). USG dipilih karena tidak memiliki risiko radiasi atau ionisasi, mempunyai resolusi temporal yang tinggi [1], dan transmisi citra yang cepat (*realtime*) [2].

Penggunaan USG sebagai umpan balik memiliki kekurangan yaitu jarum sulit untuk dilihat atau dideteksi. Hal tersebut dikarenakan karakteristik derau yang dimiliki oleh citra USG [3] dan terdapat fenomena akustik yang terjadi ketika gelombang akustik merambat melewati medium perantara dan mengenai permukaan jarum yang mengakibatkan visibilitas jarum tidak konsisten [4]. Terdapat beberapa usaha untuk meningkatkan visibilitas jarum, yaitu dengan melakukan peningkatan teknik pencitraan pada USG atau melakukan *post processing* pada citra USG.

Penelitian ini akan berfokus pada usaha peningkatan visibilitas jarum dengan melakukan *post processing*. *Post processing* umumnya dilakukan dengan mendeteksi posisi penusukan jarum. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terkait *post processing*. Metode yang paling umum digunakan untuk melakukan pendeteksian posisi jarum adalah transformasi hough [5]–[7] dan Random Sample Consensus (RANSAC) [8]–[10]. Kedua metode itu memiliki kekurangan, pada transformasi hough dibutuhkan tahapan *edge detection* dimana membutuhkan suatu nilai *thresholding* yang bergantung pada tiap kondisi citra USG. RANSAC merupakan algoritma iterasi sehingga jika jumlah iterasi tidak sesuai, pendeteksian jarum yang didapatkan tidak optimal. Selain itu algoritma RANSAC tidak akan berjalan optimal jika terdapat banyak data *outlier*. Pada penelitian ini akan dikembangkan skema peningkatan visibilitas jarum menggunakan *linear derivative* dan metode gabungan *moving median* + *moving median absolute deviation* (MAD).

2 Dasar Teori

Pada bab ini akan dijelaskan kondisi umum citra USG dan dasar teori yang digunakan pada skema

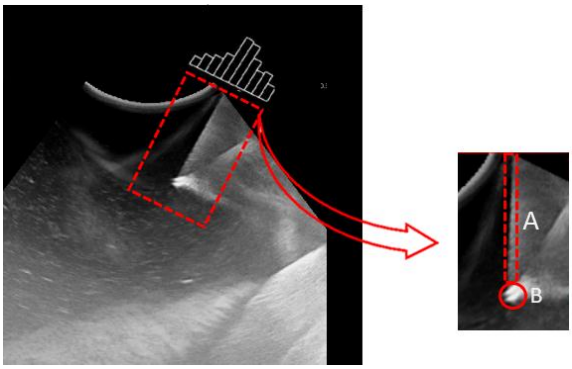
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

pemrosesan citra yang digunakan pada penelitian ini.

2.1 Kondisi Citra USG

Citra USG jarum umumnya memliki kondisi yang serupa. Citra USG jarum memiliki derau khas bertipe *speckle*. Derau inilah yang menjadi salah satu faktor pendeteksian jarum sulit untuk dilakukan. Kondisi umum lain yang dimiliki pada citra USG jarum adalah intensitas jarum yang meningkat dibanding intensitas sekitarnya pada daerah tertentu di sekitar jarum. Informasi intensitas dari ketebalan jarum akan tersimpan pada dua piksel atau lebih. Nilai intensitas pada bagian tersebut memiliki nilai yang hampir sama. Nilai intensitas akan kembali turun setelah melewati piksel jarum.

Jarum terbuat dari logam berbentuk tabung dan memiliki rongga dibagian tengah. Ketika gelombang ultrasonik ditransmisikan dan mengenai bagian jarum, terjadi interaksi yang unik antara gelombang ultrasonik dengan bagian jarum. Hai ini menyebabkan nilai intensitas sepanjang batang jarum (bagian A pada Gambar 1) tidak konsisten, terkadang sangat kecil dan terkadang besar. Nilai intensitas yang tidak konsisten inilah yang menimbulkan permasalahan visibilitas jarum pada citra USG. Pada bagian ujung jarum (bagian B pada Gambar 1), umumnya nilai intensitas akan lebih tinggi dibandingkan bagian batang jarum.



Gambar 1 Kondisi citra jarum USG

2.2 Linear Derivative

Linear derivative merupakan pendekatan yang digunakan untuk menghitung perbedaan intensitas antara setiap piksel. Pada penelitian ini linear derivative yang digunakan merupakan linear derivative satu dimensi, dimana hanya ditinjau pada bagian baris atau kolom piksel suatu citra. Persamaan pendekatan linear derivative yang digunakan dapat lihat pada persamaan 1

$$\frac{d}{dm}I[m] \approx I[m+1] - I[m] \quad (1)$$

dimana I[m] merupakan intensitas pada piksel ke-m sepanjang baris atau kolom piksel citra.

Pada tahapan ini, bagian tepi jarum akan mengasilkan puncak. Tepi pertama dari batang jarum akan menghasilkan puncak positif dan sisi kedua menghasilkan puncak negatif. Hasil pendeteksian pada tahapan ini tidak hanya mendeteksi bagian tepi jarum tetapi juga mendeteksi beberapa derau yang akan diatasi menggunakan gabungan metode *moving median* + *moving MAD*.

2.3 Moving Median dan Moving Median Absolute Deviation

Moving median adalah metode statistik dimana pada metode ini dilakukan perhitungan median terhadap suatu set data dengan besar window tertentu. Seperti namanya, metode ini akan mencari nilai tengah (median) dari suatu set data. Hal yang berbeda dari perhitungan statistik median yang biasa kita gunakan adalah setiap median dihitung pada window yang digeser sepanjang k melintasi setiap elemen data yang ada. Ketika nilai k ganjil, letak window berada di tengah posisi data yang akan dihitung saat ini. Ketika nilai k genap, letak window berada ditengah posisi data yang akan dihitung saat ini dan data sebelumnya. Nilai data yang dilakukan perhitungan tersebut akan digantikan nilainya dengan nilai median yang didapat.

Moving median absolute deviation adalah metode statistik dimana metode ini melakukan perhitungan median absolute deviation terhadap suatu set data dengan besar window tertentu. Median absolute deviation (MAD) sendiri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2

$$MAD=median(|A_i - median(A)|) \quad (2)$$

dengan A_i adalah data intensitas citra A pada intensitas ke - i

Sama seperti sebelumnya, nilai MAD akan dihitung dihitung melalui window yang digeser dengan panjang k melintasi setiap elemen data yang ada. Nilai MAD yang telah didapat akan dikalikan satu persatu dengan suatu angka pembobotan untuk mendapatkan perkiraan parameter skala normal (σ). Hal tersebut dimaksudkan agar data terdistribusi normal. Parameter skala normal (σ) dapat dihitung menggunakan persamaan 3

$$\sigma=1{,}4826 \times MAD \quad (3)$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Penghilangan data outlier yang didapat pada metode sebelumnya dapat dihilangkan menggunakan metode gabungan *moving median* dan *moving MAD.*Data dianggap *outlier* ketika data tersebut tidak berada diantara batas atas dan batas bawah. Perhitungan batas bawah dan batas atas dapat dihitung melalui persamaan 4

$$\begin{aligned} \text{batas bawah} &= B-3\sigma \\ \text{batas atas} &= B+3\sigma \end{aligned} \quad (4)$$

dengan
B = hasil perhitungan moving median
σ = parameter skala normal

3 Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan skema pemrosesan citra yang telah dibangun dan metode pengambilan data.

3.1 Pengambilan Data

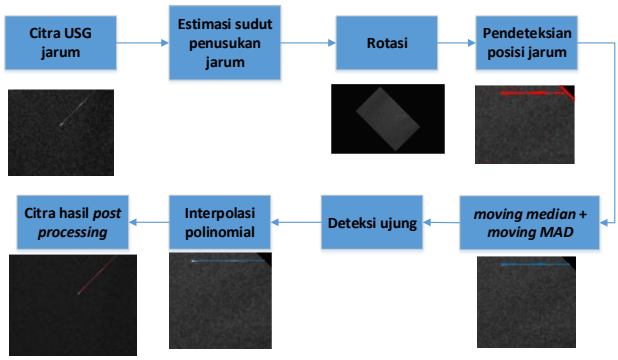
Terdapat dua data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu data 1A dan data 1B. Data 1A diambil menggunakan simulator robot yang dapat bergerak menusuk dengan kedalaman tertentu dan bergerak secara rotasi. Gerakan penuskan yang diambil adalah gerakan penuskan jarum dengan kedalaman 1 cm sampai 3,2 cm dan ditangkap pergerakannya setiap 0,2 cm. Sedangkan gerak rotasi yang diambil adalah pergerakan rotasi dari 0^0 sampai 44^0 dan gerakan ditangkap setiap 4^0. Masing-masing pergerakan jarum tersebut diambil menggunakan kamera digital.

Latar pergerakan jarum dibuat hitam menyerupai warna dasar latar pada citra USG. Jarum yang digunakan dibuat sehingga menyerupai citra jarum ketika diambil menggunakan USG. Bagian ujung jarum diberi tinta putih agar menjadi bagian paling terang dibanding bagian jarum lainnya. Data 1A dibuat untuk menguji apakah skema yang dibuat benar-benar mendeteksi bagian jarum. Data 1B merupakan data 1A yang ditambahkan derau khas yang dimiliki citra USG, yaitu derau tipe *speckle.* Data 1B dibuat dengan tujuan untuk menguji apakah skema pemrosesan citra yang dibangun tahan terhadap derau khas yang dimiliki citra USG.

3.2 Skema Pemrosesan Citra

Pada penelitian ini dilakukan perancangan skema pemrosesan citra untuk meningkatkan visibilitas jarum pada aplikasi USG untuk penusukan jarum medis. Skema yang diusulkan peneiliti dimulai dengan melakukan pengestimasian sudut penusukan jarum dengan menggunakan linear derivative. Estimasi penusukan jarum tersebut dilakukan untuk merotasikan citra sehingga posisi jarum menjadi horizontal. Posisi jarum yang horizontal tersebut mempermudah konsistensi dalam pemilihan ROI. Citra yang telah dirotasi tersebut kemudian dilakukan pendeteksian posisi jarum menggunakan *linear derivative*.

Hasil yang didapat melalui metode linear derivative merupakan data informasi posisi jarum dan data outlier. Gabungan metode *moving median* dan *moving median absolute deviation* digunakan untuk menghilangkan data outlier tersebut. Meskipun begitu, data yang diperoleh merupakan data jarum yang terputus-putus, sehingga untuk menyempurnakan pendeteksian posisi jarum dilakukan interpolasi polinomial. Pendeteksian ujung jarum dilakukan untuk membatasi hasil interpolasi. Pendeteksian ujung jarum dilakukan dengan cara mencari bagian yang memiliki intensitas paling tinggi dibandingkan bagian jarum lainnya pada citra ROI. Hasil pendeteksian tersebut dikembalikan ke posisi semula dengan kembali merotasikan citra menggunakan informasi estimasi sudut penusukan yang telah didapatkan sebelumnya. Skema peningkatan visibilitas jarum yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 2. Skema yang telah dibangun ini dijalankan menggunakan program Matlab R2017b.



Gambar 2 Skema pemrosesan citra yang telah dibangun

4 Hasil dan Analisis

Pada bab ini akan disampaikan hasil dari pengujian skema pemrosesan citra.

4.1 Hasil Pengujian Citra 1A

Hasil pengujian dari masing-masing citra 1A dengan variasi kedalaman dan sudut penusukan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 3. Beberapa contoh citra hasil pendeteksian dapat dilihat pada Tabel 2.

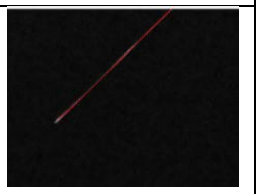
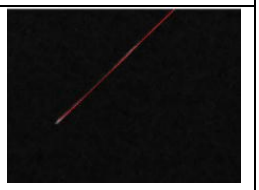
Tabel 1 Hasil pengujian kelompok citra 1A dengan variasi kedalaman

No	Citra pada kedalaman	Hasil
1	1 cm	Berhasil

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2	1,2 cm	Berhasil
3	1,4 cm	Berhasil
4	1,6 cm	Berhasil
5	1,8 cm	Berhasil
6	2 cm	Berhasil
7	2,2 cm	Berhasil
8	2,4 cm	Berhasil
9	2,6 cm	Berhasil
10	2,8 cm	Berhasil
11	3 cm	Berhasil
12	3,2 cm	Berhasil

Tabel 2 Citra akhir hasil pengujian data 1A dengan variasi kedalaman

Kedalaman	Hasil Pendeteksian
1 cm	
2,2 cm	
3,2 cm	

Tabel 3 Hasil pengujian kelompok citra 1A dengan variasi sudut penusukan

No	Citra pada sudut penusukan	Hasil
1	0^0	Berhasil
2	4^0	Berhasil
3	8^0	Berhasil
4	12^0	Berhasil
5	16^0	Berhasil
6	20^0	Berhasil
7	24^0	Berhasil
8	28^0	Gagal
9	32^0	Berhasil
10	36^0	Berhasil
11	40^0	Berhasil
12	44^0	Berhasil

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa terjadi satu kegagalan pada citra 1A dengan variasi sudut penusukan. Hasil kegagalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Kegagalan pada data tersebut dikarenakan bagian jarum yang memiliki intensitas paling tinggi bukanlah bagian ujung jarum, sehingga pendeteksian jarum berakhir di bagian tersebut. Hal tersebut dikarenakan permukaan jarum yang reflektif dan terkena pencahayaan lingkungan saat melakukan penangkapan menggunakan kamera. Pengujian pada kumpulan citra pertama ini membuktikan bahwa skema yang dibangun benar-benar mendeteksi bagian jarum dan bukan hal lainnya. Skema *post processing* yang telah dibangun juga memiliki keterbatasan yaitu hanya bekerja dengan baik ketika ujung jarum merupakan bagian yang paling terang dibanding bagian jarum lainnya.



Gambar 3 Hasil pendeteksian yang mengalami kegagalan

4.2 Hasil Pengujian Citra 1B

Laporan hasil tiap citra dan beberapa citra hasil pendeteksian posisi jarum dengan variasi kedalaman dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Beberapa citra hasil akhir pendeteksian jarum dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4 Hasil pengujian kelompok citra 1B dengan variasi kedalaman

No	Citra pada kedalaman	Hasil
1	1 cm	Berhasil
2	1,2 cm	Berhasil
3	1,4 cm	Berhasil
4	1,6 cm	Berhasil
5	1,8 cm	Berhasil
6	2 cm	Berhasil
7	2,2 cm	Berhasil
8	2,4 cm	Berhasil
9	2,6 cm	Berhasil

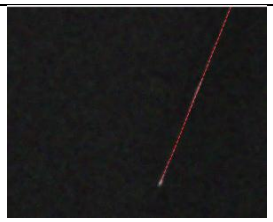
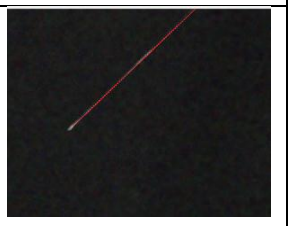
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

10	2,8 cm	Berhasil
11	3 cm	Berhasil
12	3,2 cm	Berhasil

Tabel 5 Hasil pengujian kelompok citra 1B dengan variasi sudut penusukan

No	Citra pada sudut penusukan	Hasil
1	0^0	Berhasil
2	4^0	Berhasil
3	8^0	Berhasil
4	12^0	Berhasil
5	16^0	Berhasil
6	20^0	Berhasil
7	24^0	Berhasil
8	28^0	Gagal
9	32^0	Berhasil
10	36^0	Berhasil
11	40^0	Berhasil
12	44^0	Berhasil

Tabel 6 Citra akhir hasil pengujian data 1B dengan variasi sudut penusukan

Kedalaman	Hasil Pendeteksian
0^0	
20^0	
44^0	

Dari Tabel 4 dan Tabel 5 dapat dilihat bahwa terdapat satu kegagalan yang terjadi. Kegagalan tersebut disebabkan oleh hal yang sama dengan penyebab pada pengujian data sebelumnya. Pendeteksian jarum berakhir pada bagian batang dikarenakan bagian tersebut merupakan bagian yang memiliki intensitas paling tinggi. Tidak terdapat kegagalan lain selain kegagalan tersebut. Dengan demikian, skema pemrosesan citra yang telah dibangun dapat mengatasi derau yang ditambahkan pada citra simulasi.

4.3 Pemvariaasian Intensitas Derau

Intensitas derau yang digunakan pada citra 1B divariasikan untuk mengetahui ketahanan skema pemrosesan citra yang telah dibangun terhadap derau yang ada. Skema dapat mendeteksi posisi jarum pada citra 1B jika intensitas derau yang ditambahkan tidak lebih dari 120% dari rata-rata intensitas batang jarum. Jika intensitas derau *speckle* lebih dari 120% dari intensitas rata-rata batang jarum, bagian jarum dan latar tidak dapat dibedakan karena intensitas jarum dan latar hampir sama. Hal tersebut menyebabkan posisi jarum tidak dapat dideteksi dengan baik.

5 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa skema pemrosesan citra dapat mendeteksi posisi jarum secara baik jika ujung jarum memiliki intensitas paling tinggi dibandingkan bagian jarum lainnya. Skema pemrosesan citra juga memiliki keterbatasan yaitu hanya bisa mendeteksi posisi jarum jika derau yang dimiliki citra USG tidak lebih dari 120% dari rata-rata intensitas batang jarum.

6 Daftar Pustaka

[1] K. Nichols, L. B. Wright, T. Spencer, dan W. C. Culp, “Changes in ultrasonographic echogenicity and visibility of needles with changes in angles of insonation,” *J Vasc Interv Radiol*, vol. 14, hal. 1553–1557, 2003.

[2] F. Xu, D. Gao, S. Wang, dan A. Zhanwen, “MLESAC Based Localization of Needle Insertion Using 2D Ultrasound Images,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018.

[3] A. Noble dan D. Boukerroui, “Ultrasound

image segmentation: A survey," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 25, no. 8, hal. 987–1010, 2006.

[4] H. Susanti, Suprijanto, dan D. Kurniadi, "Two-dimensional mapping of needle visibility with linear and curved array for ultrasound-guided interventional procedure," in *AIP Conference Proceedings*, 2018.

[5] M. Ding dan A. Fenster, "A real-time biopsy needle segmentation technique using Hough Transform," *Med. Phys.*, vol. 30, hal. 2222–2233, 2003.

[6] S. H. Okazawa, R. Ebrahimi, J. Chuang, R. N. Rohling, dan S. E. Salcudean, "Methods for segmenting curved needles in ultrasound images," *Med. Image Anal.*, vol. 10, hal. 330–342, 2006.

[7] G. J. Vrooijink, M. Abayazid, dan S. Misra, "No TitleReal-Time Three-Dimensional Flexible Needle Tracking using Two-Dimensional Ultrasound," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2013, hal. 1688–1693.

[8] M. Uhercik, J. Kybic, H. Liebgott, dan C. Cachard, "Model Fitting Using RANSAC for Surgical Tool Localization in 3-D Ultrasound Images," in *IEEE Trans Biomed Eng*, 2010, hal. 1907–1916.

[9] P. Chatelain, A. Krupa, dan M. Marchal, "Real-time needle detection and tracking using a visually servoed 3D ultrasound probe," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2013, hal. 1668–1673.

[10] M. Waine, C. Rossa, R. Sloboda, N. Usmani, dan M. Tavakoli, "3D Shape Visualization of Curved Needles in Tissue from 2D Ultrasound Images using RANSAC," in *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2015, hal. 4723–4728.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

EIT 2D dengan Daerah Rujukan (*EIT with Material Reference*)

[1]Amanatulhay Pribadi*) & [2]Agah D. Garnadi

[1]Department of Electrical Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

[2]Department of Mathematics, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

(cooresponding author) amanatulhay.pribadi@gmail.com)*

Abstrak

Diusulkan satu sistem pengukuran EIT berupa cincin pelat konduktif; Dengan objek berupa inklusi di dalam cincin pelat konduktif. Dengan menggunakan data phantom virtual, direkonstruksi objek yang dikaji dengan keping cincin konduktif sebagai daerah berbahan rujukan, karena konduktifitasnya diketahui. Dengan menggunakan EIDORS, diperoleh hasil rekonstruksi dari konduktifitas dan bangun phantom.
Kata Kunci: Instrumen EIT, Daerah konduktifitas rujukan, Phantom Virtual, , EIDORS

1 Pendahuluan

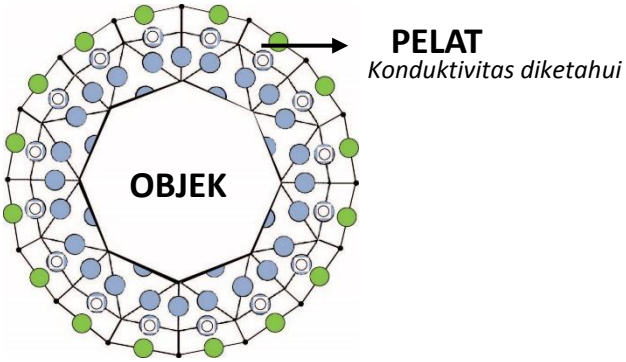
Pencitraan jaringan dalam buah yang tidak invasive dibutuhkan untuk menghindari resiko pembelahan/pengupasan buah. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *electrical impedance tomography* (EIT) yang mencitrakan distribusi impedansi sebuah benda. EIT bekerja dengan mengukur tegangan pada boundary lalu menggunakannya untuk merekonstruksi citra impedansi. Salah satu persoalan dalam rekonstruksi citra adalah tidak adanya referensi material untuk dibandingkan, atau mencari nilai awal yang tepat sehingga diperoleh citra rekonstruksi yang memadai.

Untuk mengkaji kinerja algoritma inversi EIT, salah satu aspek yang dikembangkan adalah benda uji (phantom) yang merepresentasikan objek yang diinginkan. Salah satu phantom yang diusulkan adalah phantom pelat yang disusun dari rangkaian resistive sehingga mirip dengan object yang dikaji. Dipihak lain, algoritma rekonstruksi yang secara *a priori* diketahui bagian-bagian tertentu memiliki sifat material tertentu dapat digunakan untuk nilai awal, sehingga diperoleh citra rekonstruksi yang dihasilkan cukup dipercaya. Karena itu, diusulkan rangkaian *resistive* yang dimodelkan sebagai lapisan rujukan dengan memiliki nilai konduktivitas tertentu.

2 Diskusi

2.1 Usulan Instrumen Tomograf dengan Prior Information

Berikut adalah gambar usulan instrument EIT di mana pelat diasumsikan dapat melekat sempurna dengan objek inklusi yang diukur serta konduktivitas pelat diketahui. Pada Figure 1 diberikan skematik rangkaian resistor dari pelat cincin. Pelat cincin diasumsikan dapat melekat sempurna dengan objek inklusi. Rangkaian resistor yang digunakan diperoleh dari analogi akibat diskretisasi FEM sebagaimana diberikan oleh Gagnon dkk [2].



Gambar 2 Rangkaian resistor dari keping cincin yang diketahui konduktivitasnya sebagai prior information.

2.2 Model Kontinuum dan Diskretisasi Metode Finite Element

Jun Gu dalam papernya [6] memodelkan *Electrical Resistance Tomography* (ERT) sebagai model resistor diskrit dengan menggunakan metode FE (*finite element*). Persamaan yang mengatur medan arus pada sensor ERT secara umum adalah persamaan Poisson:

$$\nabla \cdot [\sigma(x,y)\nabla\phi(x,y)] = 0 \qquad (1)$$

di mana $\sigma(x,y)$ adalah konduktivitas dua dimensi dan $\phi(x,y)$ adalah distribusi potensial elektrik.

Tiga kondisi batas diberikan sebagai berikut (2-4):

$$\int_{\Gamma_i} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = I\,,\ \int_{\Gamma_{i+1}} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = -I\,, \qquad (2)$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

$$\left(\phi + z\sigma\frac{\partial\phi}{\partial n}\right)\Big|_{\Gamma_l} = V_l \qquad (l = 1,2,\ldots N)\,, \quad (3)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial n}\Big|_{\Pi} = 0 \quad (4)$$

dengan, Γ_i dan Γ_{i+1}, adalah domain-domain elektroda untuk injeksi arus yang bersisian, *i=1,..,N*, kemudian Γ_l adalah domain-domain elektroda untuk pengukuran tegangan, Π merepresentasikan domain-domain lain pada batas eksternal sensor, dan *z* menyatakan impedansi pada elektroda.

Finite element model (FEM) yang sesuai dengan persamaan tersebut adalah:

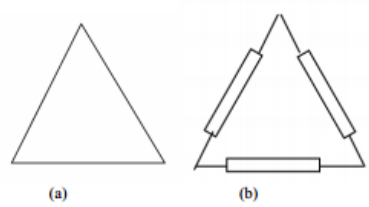
$$K^0\phi = B \quad (5)$$

di mana K^0 adalah matriks koefisien, ϕ adalah potensial elektrik pada seluruh node dan B meliputi kondisi batas.

Entri untuk K^0 dapat dinyatakan sebagai

$$K^0_{i,j} = \sum_{e=E^0} K^e_{i,j} \quad (6)$$

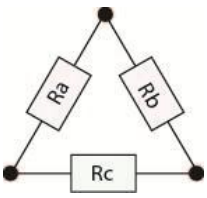
di mana $K^0_{i,j}$ adalah konduktansi antara node *i* dan node *j* untuk elemen *e*, yang mana merupakan fungsi dari konduktivitas elemen dan geometri elemen dan E^0 adalah set elemen.



Gambar 3 a) elemen triangular pada FEM; (b) equivalent resistor network untuk elemen pada (a)

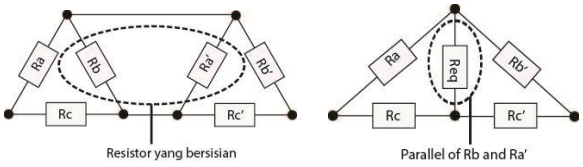
Untuk elemen-elemen triangular, dengan menganalisis entri pada (6), dapat disimpulkan bahwa resistor *network* yang ekuivalen untuk elemen adalah dengan tiga resistor seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini. Nilai resistor dapat diturunkan dari persamaan (6).

2.3 Virtual Discrete Phantom



Gambar 4 segitiga *resistive building block*

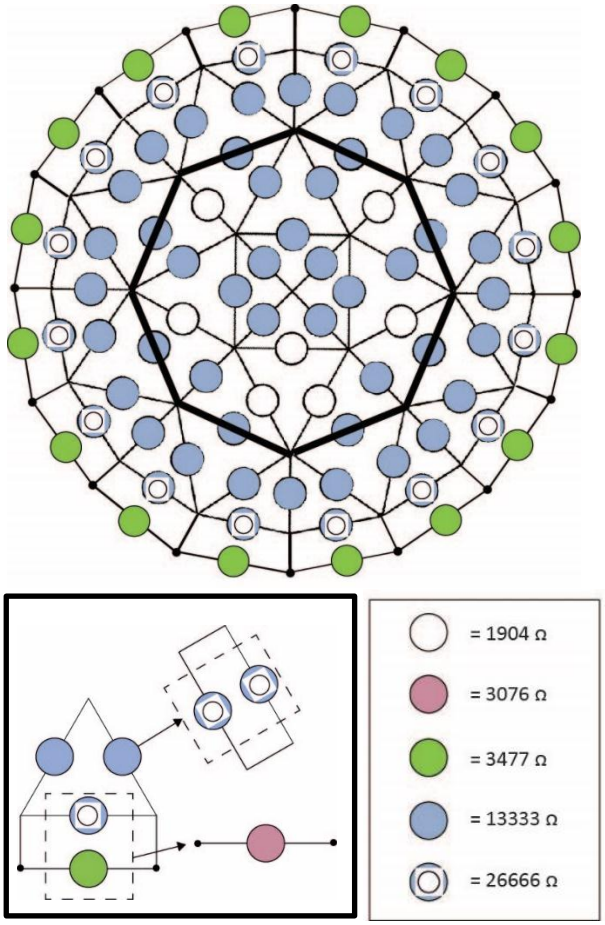
Proses *assembly* dua *building block* memanfaatkan aturan penjumlahan dua resistor parallel.



Gambar 5 proses *assembly*

2.4 Skematik rangkaian resistor sebagai Phantom yang diusulkan

Gambar 5 mengilustrasikan rangkaian penampang melintang yang digunakan pada percobaan. Rangkaian terdiri dari 68 resistor dan 16 elektroda. Pola injeksi arus yang digunakan adalah *adjacent / neighbouring*. Elektroda diposisikan pada noda tepi, sebagai tempat injeksi arus (1 mA AC, 50 kHz) sekaligus pengukuran tegangan. Keluaran yang diukur dari rangkaian adalah data beda potensial masing-masing pasang elektroda.



Gambar 6 Skematik phantom resistive, penggabungan pelat dan objek

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.5 A Resistive-Based Boundary Data Simulator

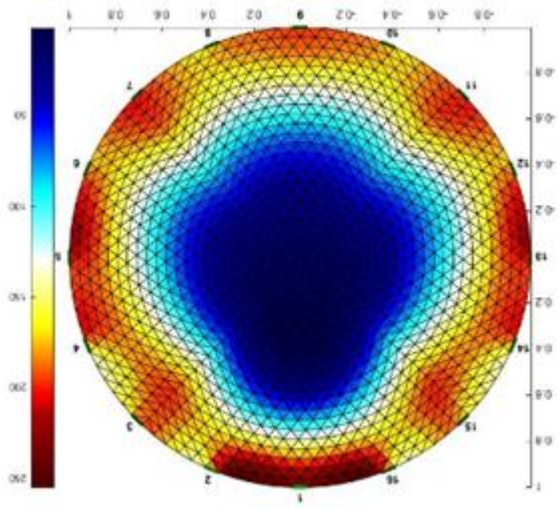
WinSpice1.05.07 merupakan sebuah perangkat lunak untuk mendesain rangkaian listrik dan melakukan simulasi rangkaian tersebut. Elemen rangkaian disusun dengan *script*. Winspice-based BDS ini terdiri dari 3 elemen utama: rangkaian resistor sebagai *virtual phantom*, sumber arus (AC 1 mA 50 kHz) dengan sepasang node sebagai posisi injeksi arus, dan pengukuran tegangan pada elektroda tepi.

2.6 Image Reconstruction

Data tegangan pada *boundary* yang diperoleh pada simulasi Winspice dikumpulkan untuk rekonstruksi. Rekonstruski citra dilakukan menggunakan *Electrical Impedance Tomography and Diffuse Optical Tomography Reconstruction Software* (EIDORS) berlandaskan Metode Newton, yaitu

Linearisasi: $s(k+1) = s(k) + F'[s(k)]\, ds$

NOSER [Newton One Step Reconstruction] : $s = s(0) + F'[s(0)]\, ds.$



Gambar 7 hasil rekonstruksi

Hasil rekonstruksi pada Gambar 6 menunjukkan sebaran nilai impedansi dalam gradasi warna. Walaupun besar impedansi ini belum akurat namun tampak adanya lekukan pada area di mana phantom bernilai sangat rendah yaitu 1904 Ω.

3 Kesimpulan

Untuk meningkatkan akurasi pengukuran EIT, dibutuhkan *prior information* berupa nilai konduktivitas referensi sehingga metode Newton dapat konvergen. Simulasi pengukuran rangkaian listrik serta rekonstruksi dilakukan menggunakan phantom resistif dengan konduktivitas referensi tertentu diketahui. Hasil rekonstruksi menunjukkan kemampuan mereproduksi nilai konduktifitas dan bangun dari phantom. Hasil ini memotivasi untuk diusulkannya sebuah sistem pengukuran EIT yang menggunakan pelat konduktif yang dapat direpresentasikan sebagai sebuah rangkaian resistif dengan benda yang akan diukur menjadi inklusi di dalam pelat kondukti annular tersebut.

4 Daftar Pustaka

[1] A. R. Daniels, R. G. Green, dan I. Basarab-Horwath, Modelling of three-dimensional resistive discontinuities using HSPICE, Measurement Science and Technology 7.3 338 (1996)

[2] H. Gagnon, M. Cousineau, A. Adler, dan A. E. Hartinger, A resistive mesh phantom for assessing the performance of EIT systems, Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, 57(9), 2257-2266 (2010)

[3] G. Hahn, A. Just, J. Dittmar, dan G. Hellige, Systematic errors of EIT systems determined by easily-scalable resistive phantoms, Physiological measurement 29, no. 6: S163 (2008)

[4] M.A. Hussain, B. Noble, dan B. Becker, Computer Simulation of an Inverse Problem for Electric Current Computed Tomography using a Uniform Triangular Discretization, Engineering in Medicine and Biology Society, Images of the Twenty-First Century, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in IEEE (1989)

[5] Péter Krammer, Andreas D. Waldmann, Michel Zogg, Péter L. Róka1, Josef X. Brunner, dan Stephan H. Bohm, Electrical impedance tomography simulator, Proceedings EIT2015, p40 (2015)

[6] Jun Gu, W Yin, YannianRui, Chao Wang, danHuaxiang Wang, A New Resistor Network Based Forward Model for Electrical Impedance Tomography Sensors, International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Singapore, 5-7 May 2009 (2009)

[7] M. H. Padmanaba, F. Ardhy, I. Hariadi, H. Zakaria. Development of Laboratory-Scale Electrical Impedance Tomography Imaging System, 2015 4th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering (ICICI-BME) (2015)

[8] B.W. Watson (Ed.), IEE Medical Electronics Monographs 1-6

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Rancang Bangun Jig Rotary Table Menggunakan Motor Servo HG-KR43B pada Mesin Spot Welding

[1] Suhartinah *), [2]Muhammad Hidayat & [3]Ardi Winata

Program Studi Teknik Produksi & Proses Manufaktur, Konsentrasi mekatronika

Politeknik Manufaktur Astra

Jl. Gaya Motor Raya No.8, Sunter II, Jakarta 14330, Jakarta

[2]Afiliasi Penulis

zahrasaina@gmail.com)*

Abstrak

Semakin ketatnya persaingan antara car maker membuat masing–masing car maker mengeluarkan inovasi mobil dengan model baru andalannya, baik mobil city car, pick up, sedan, dan lain-lain. Salah satu komponen terpenting dari mobil adalah air conditioner (AC) yang didalamnya terdapat condenser. Inovasi model baru mobil ini mempengaruhi permintaan perubahan model condenser dari sebelumnya. Perbedaan itu terletak pada posisi al-bracket yang berada pada posisi modulator dan tank header yang dilakukan dengan proses welding, sedangkan condenser model lain yang sudah diproduksi memiliki posisi al-bracket pada side plate yang dilakukan dengan proses caulking. Tujuan penulisan ini merancang dan membuat mesin spot welding baru yang dapat melakukan pergerakan rotary pada jig table-nya dengan menggunakan motor servo Mitsubishi HG-KR43B. Proses welding tersebut membutuhkan 3 buah jig clamping untuk setiap proses antara tank header, al-bracket, dan modulator. Hasil dari penelitian ini jig rotary table pada mesin spot welding dapat bergerak sesuai dengan sudut welding yang dibutuhkan yaitu 17° sehingga dapat melakukan proses welding untuk memenuhi spesifikasi condenser baru.

Kata Kunci: condenser, jig rotary table, spot welding, motor servo

1 Pendahuluan

Condenser merupakan salah satu dari komponen car AC yang berfungsi untuk membuang suhu panas yang bertekanan tinggi hasil dari pemampatan gas refrigerant dari kompresor sehingga merubah refrigerant tersebut dari gas menjadi cair. Fungsi produk condenser tersebut dapat berjalan dengan adanya kelengkapan dari komponen penyusun utama, yang meliputi fin cooling, main tube, plate header,side plate, tank header, modulator, separator, tube connector in & out. Proses pembuatan condenser dibagi menjadi 5 bagian , yaitu Core Assembling, Part Assembling, Brazing, Leak Test dan Final Assembling. Mengikuti perkembangan teknologi yang semakin pesat mempengaruhi car maker untuk terus berinovasi membuat mobil dengan model baru andalanya, baik mobil city car, pick up, sedan, dan sebagainya. Salah satu car maker di indonesia mengeluarkan mobil pick up baru. Mobil pick up tersebut akan menggunakan condenser baru dari sebelumnya. Permintaan model baru untuk produk condenser ini dinamakan model XY. Condenser XY memiliki desain yang berbeda dengan produk condenser lain yang sudah diproduksi sebelumnya. Perbedaan itu terletak pada posisi albracket yang berada pada posisi modulator dan tank header yang dipasang dengan proses welding, sedangkan condenser model lain yang sudah diproduksi memiliki posisi al-bracket pada side plate yang dilakukan dengan proses caulking. Adanya perbedaan tersebut, maka membutuhkan proses baru yaitu welding. Untuk memenuhi spesifikasi dari model condenser XY itu membutuhkan pembuatan program dan pembuatan mekanisme mesin welding. Jig untuk caulking yang sudah ada tidak memungkinkan untuk melakukan proses assembling antara albracket dengan modulator dan tank header. Untuk memenuhi spesifikasi dari condenser model baru dibutuhkan mesin welding yang dapat melakukan tiga kali proses welding untuk menggabungkanyaitu:

1. Modulator dengan tank header.
2. Al – Bracket dengan modulator.
3. Al – Bracket dengan tank header.

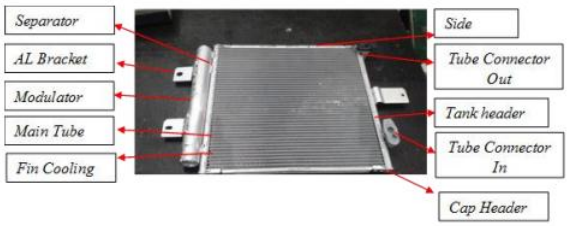
Berdasarkan permasalahan tersebut, makadilakukan pengamatan, analisa dan perancangan untuk menangani hal tersebut. Maka berdasarkan analisa dan pengamatan dirancanglah pembuatan mesin spot welding baru dengan desain dan mekanisme yang sesuai dengan spesifikasi dari condenser XY.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2 Diskusi

2.1 Pengenalan Produk

Condenser yang berfungsi untuk membuang suhu panas yang bertekanan tinggi hasil dari pemampatan gas refrigerant dari kompresor sehingga dapat merubah refrigerant tersebut dari gas menjadi cair. Fungsi produk condenser tersebut dapat berjalan dengan adanya kelengkapan dari komponen penyusun utama, yang meliputi fin cooling, main tube, plate header,side plate, tank header, modulator, separator, tube connector in & out. Berikut bentuk fisik dari condenser model XY.



Gambar 1 condenser model XY

Berdasarkan gambar 1 berikut penjelasan dari masing-masing fungsi penyusun condenser :

1. Fin Cooling

Fin cooling adalah bagian dari condenser yang terbuat dari alumunium strip yang dibentuk sepertigelombang yang didalamnya terdapat sirip yang dibentuk menggunakan mesin fin forming. Fin cooling ini berfungsi untuk membantu pelepasan kalor pada saat gas refrigerant masuk ke condenser dan melewati main tube.

2. Main Tube

Main tube merupakan bagian condenser yang berfungsi sebagai jalur sirkulasi gas refrigerant yang dimana di dalamnya terdapat fin yang berfungsi untuk menjaga main tube agar tidak pecah saat diberikan tekanan gas yang tinggi.

3. Plate Header

Bagian condenser yang berfungsi sebagai tempat fitting main tube dan pada proses berikutnya akan dipasang dengan tank header dengan cara crimping.

4. Tank header

Bagian condenser yang berfungsi untuk tempat fitting modulator dan tube connector in dan out yang dimana proses pemasangannya dengan cara caulking.

5. Side Plate

Bagian condenser yang berada pada sisi paling luar daripada deretan tube dan fin yang berfungsi untuk melindungi fin dari benturan dan memperkokoh condenser.

6. Modulator

Bagian condenser yang berfungsi sebagai tempat penyaringan uap air dan kotoran.

7. Separator

Bagian condenser yang berfungsi untuk mengarahkan jalur sirkulasi gas refrigerant.

8. Tube Connector IN

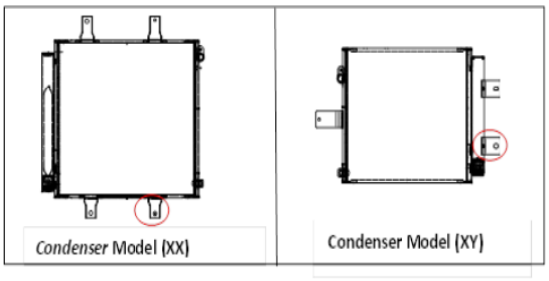
Bagian condenser yang menjadi jalur masuknya gas refrigerant saat diberikan tekanan dari kompresor.

9. Tube Connector Out

Bagian condenser yang menjadi jalur keluarnya gas refrigerant saat telah mengalami proses kondensasi di condenser dan dilanjutkan ke proses selanjutnya.

2.2 Permasalahan Proses Al-Bracket Assembling untuk Model XY

Perbedaan posisi bracket untuk model condenser XY yaitu berada pada modulator dan tank header yang berbeda dengan model condenser lainya, hal itu membuat tidak mungkinnya proses al-bracket assembling dapat dilakukan dengan jig bracket caulking. Berikut gambar 2 menunjukan perbedaan posisi al-bracket.



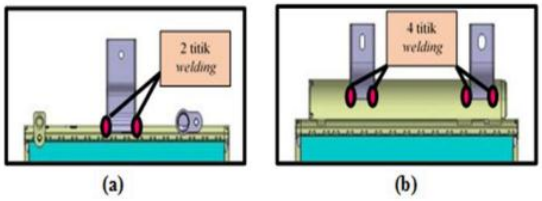
Gambar 2 Perbedaan posisi al-bracket condenser model XX dengan XY

2.3 Solusi

Berdasarkan permasalahan yang dijelaskan pada gambar 2 maka ditemukanlah sebuah solusi yaitu dengan membuat mesin spot welding yang dapat melakukan proses welding secar otomatis dan dapat melakukan pergerakan rotary menggunakan motor servo Mitsubishi HG-KR43B yang sudah terintegrasi encoder dan yang nantinya akan dikontrol pergerakanya menggunakan PLC agar

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

dapat memenuhi sudut welding yang disesuaikan dengan desain dari condenser. Gambar 3 dibawah ini menunjukan posisi dan jumah titik welding albraket pada model condenser baru.



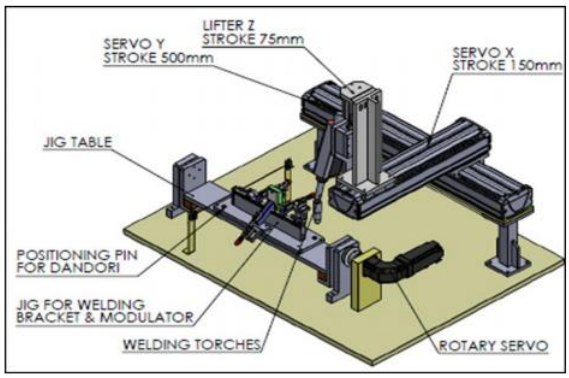
Gambar 3 Posisi dan jumlah titik welding untuk model XY (a) Al-bracket dengan Tank header, (b) Al-bracket dengan Modulator

Berdasarkan desain dari model XY didapatkan bahwa membutuhkan 4 titik welding untuk proses assembling al-bracket ke modulator dan 2 titik welding untuk proses assembling al-bracket ke tank header.

2.4 Perancangan

Perancangan Desain Mekanik Mesin Spot Welding

Penggunaan motor servo pada jig rotary tablebertujuan untuk menggerakan jig secara rotaryagar sudut yang dibutuhkan pada saat proses welding dapat diatur sehingga spesifikasi yang dibutuhkan untuk condenser model XY dapat terpenuhi Berikut ini adalah rancangan desain mesin spot welding.

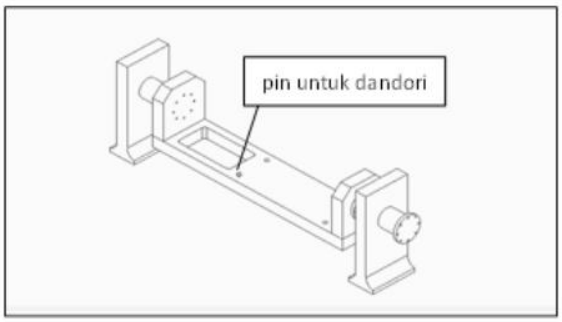


Gambar 4 Desain mekanik mesin spot welding

Mekanisme pergerakannya yaitu,ketika motor servo berputar, putaran motor servo akan memutar coupling yang tersambung dengan jig table yang kemudian jig table pun akan berputar mengikuti pergerakan motor servo.

Perancangan Jig Rotary table

Perancangan jig rotary table sebagai base untuk tempat menyimpan jig clamping disesuaikan dengan mesin spot welding itu sendiri. Berikut gambar perancangan dari jig rotary table ditunjukan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5 Perancangan jig rotary table

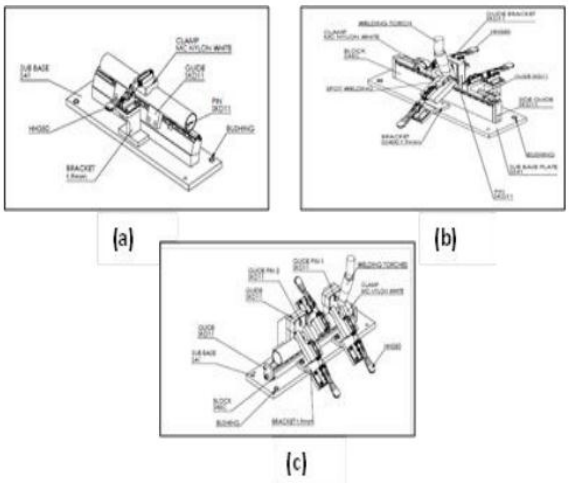
Pada rotary table dibuat sebuah pin yang berfungsi untuk memudahkan operator saat melakukan pergantian jig clamping dan proses welding selalu dengan posisi yang sama. Selanjutnya yaitu perancangan jig clamping, jig ini menyesuaikan dengan bentuk part yang nantinya akan diproses. Proses untuk memenuhi spesifikasi model XY membutuhkan 3 proses yaitu:

a) Proses welding modulator dengan tank header

b) Proses welding modulator dengan al-bracket

c) Proses welding tank header dengan al-bracket

Berdasarkan proses yang dibutuhkan maka dibuatlah perancangan jig untuk setiap prosesnya. Berikut gambar perancangan jig clamping akan ditunjukan pada Gambar 6.

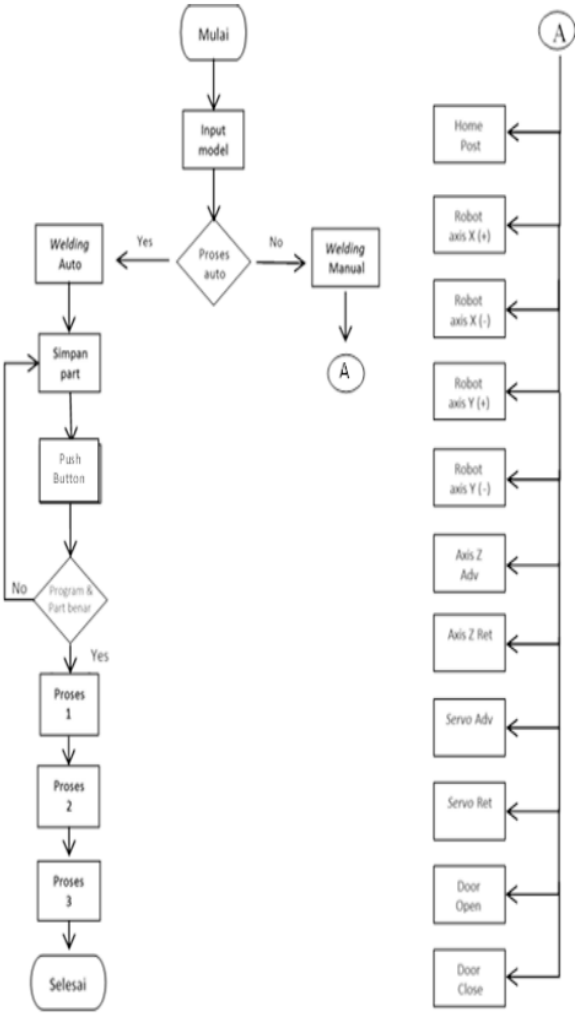


Gambar 6 Preancangan desain jig clamping

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Perancangan Flow Chart Mesin Spot Welding

Berdasarkan perbedaan proses assembling albracket antara model condenser X dan XY yaitu menggunakan proses welding yang membutuhkan pergantian jig untuk setiap prosesnya membuat flow chart proses pada mesin spot welding yang baru seperti gambar 7 berikut:

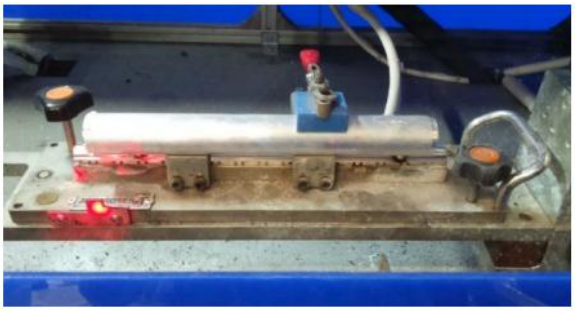


Gambar 7 Preancangan flowchart mesin spot welding

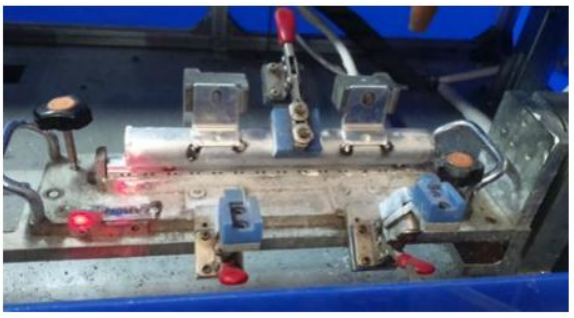
Berdasarkan Gambar 7, urutan flow chart proses spot welding yang baru yaitu dimulai dari input model condenser yang akan diproses, kemudian pilih manual atau otomatis dengan memutar selector switch, jika memilih otomatis maka simpan part pada jig, jika jig dan program telah sesuai maka proses selanjutnya dapat dilakukan yaitu dengan menggerakan nagara switch maka pintu cover akan menutup dan proses welding pun berlangsung, setelah welding selesai lalu pintu cover pun membuka otomatis dan lakukan proses berikutnya dengan urutan yang sama.

3 Pembuatan Mekanik

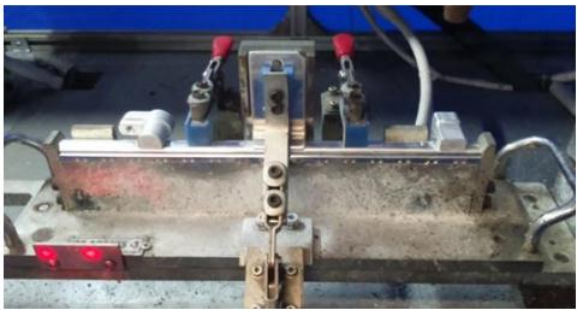
Sesuai konsep desain yang digambarkan pada bagian perancangan, berikut adalah pembuatan mekanik jig dan rotary table mesin untuk ketiga proses welding :



Gambar 8 Realisasi pembuatan jig unit welding modulator dengan tank header



Gambar 9 Realisasi pembuatan jig welding modulator dengan al-bracket



Gambar 10 Realisasi pembuatan jig welding tank header dengan al-bracket

Gambar di atas menunjukan realisasi pembuatan jig rotary table dan jig clamping untuk model XY. Jig clamping ini digunakan untuk menahan part agar tidak terlepas atau berubah posisi saat melakukan proses welding.

3.1 Pembuatan Sistem Kontrol

Pembuatan kontrol pada jig rotary table ini meliputi perakitan sistem elektrik, kontrol motor

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

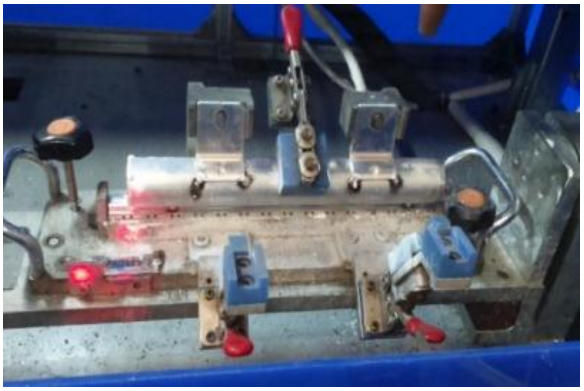
servo, dan pembuatan program. Perakitan sistem elektrik berisi komponen aktual yang digunakan pada perangkat input, proses, dan output. Kontrol motor servo menjelaskan tentang pengkabelan pada driver motor servo, PLC, dan motor servo itu sendiri. Pembuatan program dilakukan sesuai flow chart yang telah dibuat pada penjelasan sebelumnya.

3.2 Analisa Hasil

Setelah dilakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian, maka selanjutnya adalah melakukan analisa hasil yang diperoleh. Hasil dari pembuatan sistem rotary table pada mesin spot welding akan ditunjukan pada gambar di bawah ini.



(a) Mesin spot welding



(b) Rotaty table

Gambar 11 Sistem rotary table pada mesin spot welding

.

Gambar di atas merupakan realisasi pembuatan mesin spot welding dengan sistem rotary table. Spesifikasi sudut welding yang dibutuhkan untuk membuat condenser model XY dapat terpenuhi dan membuktikan bahwa dengan menggunakan sistem kontrol dengan landasan teori yang digunakan dalam pembuatan alat ini dapat menghasilkan alat sesuai dengan harapan. Hasil dari perhitungan pulse yang dibutuhkan motor servo untuk membentuk sudut 17° dapat diaplikasikan pada motor servo. Berikut gambar hasil dari proses welding.



Gambar 12 Hasil welding al-braket menggunakan mesin spot welding

4 Kesimpulan

Pembuatan sistem rotary table menggunakan motor servo HG-KR43B yang dikontrol PLC FX3G-60M berhasil dilakukan dengan tambahan modul posisi FX2N-10PG dan driver motor MR-J4-40A.

5 Daftar Pustaka

[1] Bolton, W. (2009). Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol. Jakarta: Erlangga.
[2] Ogata, K. (1985). Teknik Kontrol Otomatik 1st Ed. Jakarta: Erlangga.
[3] Pakpahan, S. (1998). Kontrol Otomatik. Jakarta: Erlangga.
[4] Setiawan, I. (2006). Programmable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol. Yogyakarta: Erlangga.
[5] Stefano, J. (1996). Sistem Pengendalian dan Umpan Balik. Jakarta: Erlangga.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Instrumentasi Pengendalian Kualitas dengan Sistem Digital

1,Endang Kadar.S, 2,Erlian Supriyanto

[1,]PT. Yeda Presisi Engineering

[2,]Fakultas Teknik Universitas Nurtanio Bandung

(endangkadar59@gmail.com/eks737@yahoo.com)

Abstrak

Persaingan usaha semakin ketat pada setiap produk, tolok ukur parameter persaingan adalah Quality, Cost dan Delivery (QCD). Quality disimpan paling awal karena mempunyai pengaruh signifikan terhadap Cost dan Delivery dan tuntutan Quality tersebut terus mengalami perubahan dari waktu ke waktu.

Namun pada kenyataan di lapangan perhatian terhadap penanganan kualitas sering diabaikan oleh perusahaan, karena dianggap merupakan pengeluaran biaya, tidak mempunyai nilai tambah serta membutuhkan proses panjang serta rumit. Pelaku bisnis lebih suka melakukan perbaikan dibandingkan pecegahan terhadap produk yang out standar, perbaikan tersebut bisa terjadi di dalam proses maupun di Customer. Apabila kondisi tadi dibiarkan, maka akan menurunkan tingkat kepercayaan Customer.

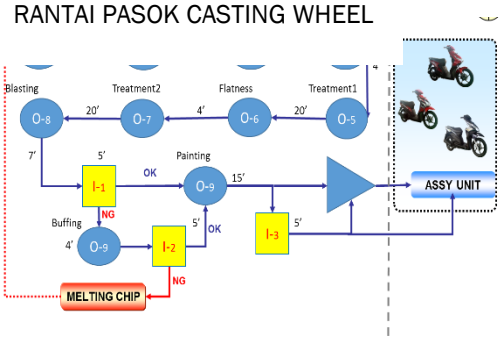
Kemajuan teknologi digital bisa membantu proses pengendalian kualitas dalam Transfer data, Kecepatan proses pengolahan data, Peningkatan tingkat akurasi hasil proses data, Kecepatan dan jangkauan penyebaran informasi lebih cepat dan lebih luas.

Kata Kunci : quality (Kualitas), pengendalian kualitas, sistem digital.

1 Pendahuluan

Produk akhir merupakan rakitan dari beberapa sub-rakitan dan komponen tunggal, komponen tunggal harus sesuai dengan tingkat kualitas yang diminta untuk menjadi sub-rakitan, begitu pula kualitas sub-rakitan harus sesuai dengan kualitas yang diminta supaya pada proses rakit-akhir tidak terjadi masalah. Apabila terjadi Quality Non-Conforming lolos ke Customer akan menimbulkan permasalahan pada proses di tempat Customer.

RANTAI PASOK CASTING WHEEL



Gambar 1 Rantai Pasok Vendor



Gambar 2. Contoh Produk Sheet Metal Forming

Jenis produk di atas akan dikirim ke tempat assembling, harapan pihak assembling akan mendapatkan produk yang sesuai spesifikasi kualitas yang diminta, namun kenyataan dilapangan masih terdapat produk yang out of Quality spec terkirim ke Customer, sehingga mengganggu kelancaran proses assembling yang berakibat menurunnya produktivitas, Cost Up dan kehilangan kesempatan menjual barang.

Apabila vendor sering melakukan kesalahan quality, maka akan dikenakan sanksi berupa pengecekan 100%, piket pemantauan terhadap produk bermasalah ditempat Customer, kena finalti berupa materi atau sanksi lain.

2 Rumusan Masalah

Sebelum kualitas penyimpangan terjadi akan ditandai dengan munculnya gejala yang tidak stabil pada proses, seperti terjadi variasi tinggi pada ukuran produk, yang seharusnya gejala tersebut bisa teridentifkasi pada saat proses berlangsung. Teknik Pengendalian Kualitas dibutuhkan pada saat proses berlangsung dengan tool Statistic Quality Control (SQC). Tujuan dari diadakannya quality control dalam suatu proses adalah sebagai berikut:

a. Evaluasi produk.
b. Membandingkan dengan tujuan.
c. Perbaikan.

Pemantauan proses merupakan bagiam dari manajemen kualitas.Suatu program jaminan kualitas yang efektif sebagai alat untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Hal tersebut tidak dilakukan karena ada beberapa alasan, antara lain :

a. Bagi pengusaha, monitoring proses merupakan kegiatan yang rumit, memakan waktu lama serta butuhkan ketelitian.
b. Dibutuhkan tenaga kompeten dalam pengolahan data.
c. Kegiatan monitoring bukan merupakan nilai tambah.
d. Budaya Kualitas belum terbentuk.

Apabila kelolosan kualitas terjadi akibat tidak menerapkan manajemen kualitas maka akan menimbulkan Biaya tambahan, Biaya produk menjadi tinggi, Delivery akan terhambat serta tingkat kepercayaan Customer menurun. Hal tersebut akan mengancam kelangsungan bisnis.

3 Tujuan Penelitian

Sesuatu yang baik tetapi dianggap beban sehingga tidak dilaksanakan, bagi pengamat merupakan tantangan untuk mencari jalan keluarnya. Apa yang menjadi topik bahasan pada tulisan ini mempunyai tujuan :

a. Kegiatan monitoring proses menjadi lebih ringan.
b. Tenaga yang dibutuhkan cukup pada keterampilan mampu menerapkan SOP.
c. Kecepatan proses pengolahan data cukup pada hitungan menit.
d. Hasil monitoring mempunyai nilai asset (Intangible assets) bagi perusahaan.
e. Mendorong tumbuhnya budaya kualitas diberbagai lini organisasi.

Hasil dari proses monitoring dengan tool Statistic Quality Control bisa disebar ke bagian terkait termasuk Customer dengan teknologi digital dalam waktu singkat.

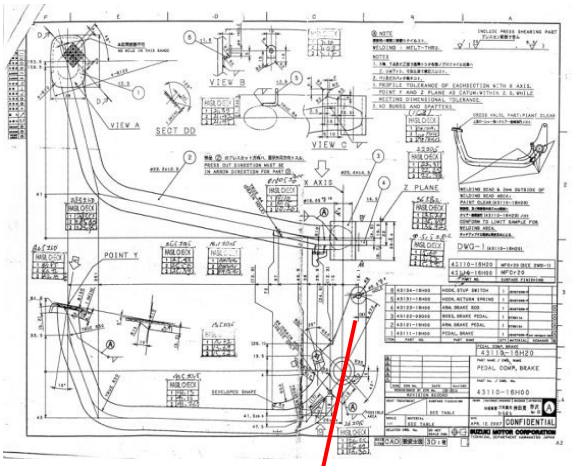
4 Manfaat Penelitian

a. Bagaimana membuat sistem informasi terhubung bagi yang mempunyai kepentingan.
b. Kecepatan, Ketelitian dan Daya sebar akan lebih luas dari informasi yang sangat dibutuhkan dalam mendukung pengambilan keputusan.
c. Era digital harus bisa dimanfaatkan semaksimal untuk kemajuan perusahaan dalam meningkatkan daya saing.

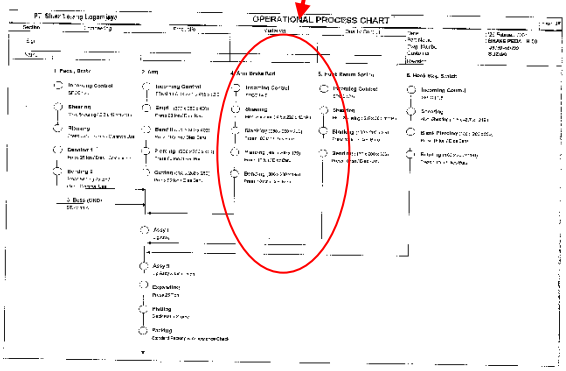
5 Pembahasan

Setiap produk tunggal maupun assembling akan melalui beberapa tahap proses yang saling mempengaruhi, apabila proses sebelum mengalami penyimpangan maka proses berikut akan mengalami kesulitan atau hasil akhir akan terjadi out standar.

Supaya terhindar dari permasalahan di atas pada setiap proses harus terkendali dengan menggunakan Statistic Quality Control yang akan memberikan inrfomasi variabilitas yang terjadi pada setiap proses.



Gambar. 3. Gambar Produk

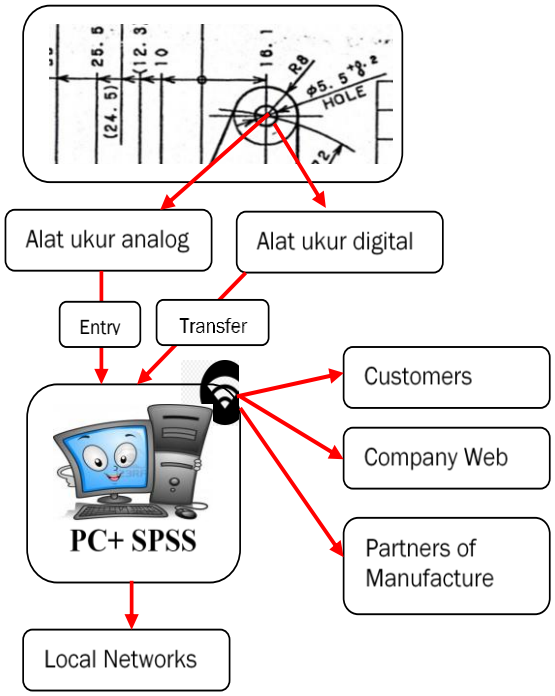


Gambar 4. Operation Process Chart (OPC)

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 5. Foto Produk



Gambar 6. Input-Output Data

Poses pengendalian lubang ukuran Ø5 (0/+0,2) dilakukan dengan pengukuran dari sampel diambil, data hasil ukur diproses oleh Komputer untuk mengahsilkan peta kendali untuk melihat variabilitas lubang terjadi pada proses pembuatan lubang tersebut.

Bila pengukuran dengan alat output analog, maka hasus dilakukan entry data ke komputer yang membutuhkan waktu dan kemungkinan terjadi kesalahan pada saat entry ke komputer. Berbeda dengan output hasil ukur berupa digital, data tersebut bisa langsung transfer ke computer pengolah data, kecepatan waktu akan lebih cepat, tingkat akurasi data lebih terjamin.

6 Kesimpulan

Manfaat Pengendalian dikalangan industri belum begitu populer dan masih dianggap pekerjaan yang tidak mempunya nilai tambah serta membutuhkan proses lama harus teliti dengan tenaga kerja skill tinggi. Semua pebiayaan dianggap pemborosan bagi industry.

Dengan dilaksanakan sistem pengedalian kualitas akan memberikan informasi mengenai perfomansi proses yang sedang berjalan, hasil dari pengolahan data pengendalian kualitas berfunsi untuk membuat keputsan kualitas, sehingga non conforming output bisa terjaga dengan baik. Apabila proses pengendalian kualitas diinformasikan ke customer menjadi kredit point positip atau meingkatnya kepercayaanEra teknologi digital dibutuhkan tingkat kreativitas yang tinggi dalam pengembangan sistem jaminan mutu yang selalu dituntut oleh customer, diantaranya kecepatan pengolahan data, tingkat akurasi data dan daya sebar infomasi lebih luas.

7 Saran

Perkembangan teknologi digital pada saat ini sangat signifikan, namun implementasi masih kurang pada dunia industry. Penerapan teknologi digital pada dunia industri tidak bisa dilakukan oleh pelaku industri saja, tetapi harus melibatkan dunia pendidikan sebagai insan pemikir dalam dalam merancang suatu sistem yang efektif, efisien serta tepat guna. Saatnya sudah tiba membangun sinergitas kalangan pendidikan denga kelangan industri dalam membangun bangsa yang berdaulat dalam bidang teknologi.

Industri punya Masalah → objek penelitian

Universitas punya Ilmu → solusi pemecahan masalah

Manfaat Sinergi

Industri → nilai tambah ekonomi

Universitas → nilai tambah Ilmu Pengetahuan

8 Daftar Pustaka

[1] Hidayatullah Elmas, Muhammad Syarif. Pengendalian Kualitas Dengan Menggunakan

Metode Statistical Quality Control (Sqc) Untuk Meminimumkan Produk Gagal Pada Toko Roti Barokah Bakery. 328 Oktober 2018. https://www.neliti.com/id/publications/164404/pengendalian-kualitas-dengan-menggunakan-metode-statistical-quality-control-sqc.

[2] Douglas C, Montgomery. 1985. Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik.. Diterjemahkan oleh : Zanzawi Soejoeti. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

[3] Keyence. "Produk Inspeksi Pandangan Mesin, Sistem Pengukuran, Mikroskop, dan Pembaca Kode". 31 Oktober 2018. https://www.keyence.co.id/about-us/technology/inspection.jsp.

[4] Md. Hazrat Ali ; Akio Katsuki . Camera based monitoring system for deep hole measurement. 25 Otober 2018. https://ieeexplore.ieee.org/document/7385618

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pembacaan Sinyal Otot Pada Wajah Dan Sekitar Kepala Menggunakan Sensor Elektromiografi

Johanes Christo Adi Purnama[1)] Florentinus Budi Setiawan[2)]

Prog.DI Teknik Elektro-Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata

Jl. Pawiyantan Luhur IV/1 BendanDuwur, Semarang, Indonesia

Email : Johanes_christo@yahoo.com

Email :fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Pada jaman modern ini,Pada dunia teknologi sudah mengalami kemajuan sangat pesat.Diantaranya adalah di bidang biomedis.Di bidang biomedis terdapat alat yang bernama sensor Elektromiografi,yaitu sebuah alat yang dapat membaca sinyal pada otot manusia.Alat ini sangat banyak pengaplikasianya di dunia bio medis.Sensor Elektromiografi,yaitu sebuah alat yang dapat membaca sinyal pada otot manusia,Yang selanjutnya akan diolah sinyalnya untuk menghasilkan sebuah output tertentu.
Pada paper ini penulis melakukan pembacaan sinyal otot atau Elektromiografi menggunakan sensor Elektromiografi yang di inputkan ke Mikrokontroler AT MEGA 8535 untuk mengendalikan LCD sebagai tampilan dari hasil pengukuran tersebut.Sinyal yang di hasilkan dari prngukuran ini dapat digunakan juga untuk mengendalikan output dalam bentuk lain seperti contoh aplikasinya untuk mengendalikan lengan robot atau mengendalikan output dalam bentuk audio.

Kata Kunci : Elektromiografi ,Mikrikontroler AT MEGA 8535 , LCD

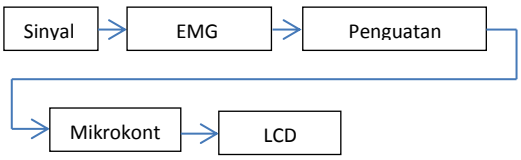
1. Pendahuluan

Pada kegiatan sehari-hari setiap orang menggunakan otot wajah ,contohnya untuk berbicara ,tersenyum,mengunyah dan masih banyak lainya.Namun pada dasarnya otot wajah dapat mengeluarkan pulsa elektronik dan dapat dibaca dengan menggunakan suatu sensor.Pembacaan pulsa elektronik pada otot wajah dapat di fungsikan untuk mengetahui seberapa besar pulsa elektronik yang terdapat pada suatu otot dan dapat difungsikan untuk mengendalikan keluaran dalam bentuk visual,audio,maupun mekanis.Dalam perkembangan nya pembacaan otot sendiri sudah di aplikasikan dalam beberapa alat seperti pembaca detak jatung lengan robot kaki robot dan masih banyak lainya.

Pada pembacaan sinyal otot sekitar wajah menggunakan elektroda ini dapat menghasilkan sinyal elektronik.Sinyal ini yang nantinya akan di deteksi lalu bisa digunakan untuk mengendalikan keluaran.Keluaran tersebut bisa dalam bentuk audio atau suara maupun dapat berbentuk mekanis.Rencana desain alat yang akan dibuat adalah ,dengan menggunakan sensor EMG(Electromyography) yang merupakan elektroda yang akan di tempelkan ke otot lalu keluaran EMG ini akan menghasilkan pulsa elektronik,lalu akan di kuatkan oleh OP AMP dengan tipe AD8226.Setelah itu baru bisa di identifikasi lalu di gunakan untuk mengendalikan suatu keluaran/output.

2. Landasan Teori

Sebelum membahas perancangan alat Elektromiografi penulis akan menjelaskan bagaimana terjadinya sinyal yang dihasilkan oleh otot manusia, asal mula terjadinya sinyal tegangan yang akan di baca oleh elektroda yang menempel pada permukaan kulit, sinyal dihasilkan dari proses Polarisasi dan Depolarisasi 2 Ion penting dalam sel-sel otot, Ion tersebut adalah Natrium(Na^+) dan Potasium(K^+), Proses terjadinya tegangan di bagi menjadi 3 bagian, yaitu Polarisasi (*Penegangan otot*) , Depolarisasi (*Pelemasan otot*), dan Kondisi istirahat.Dalam membaca sinyal yang dihasilkan oleh otot juga terdapat sebuah satuan yaitu MUAP (*Motor Unit Action Potential*).Maka dari teori diatas dapat diuat diagram,[5]

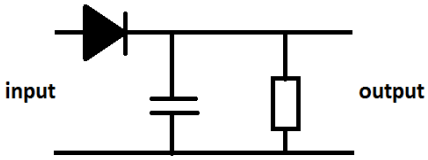


- **Elektromiografi**

Elektromiografi adalah mengukur aktivitas otot melalui potensi listrik.Secara tradisional elektromiografi sudah diaplikasikan untuk penilitian medis dan diagnosis gangguan neuromuscular,namun pada perkembangan sekarang ini elektromiografi sudah di aplikasikan untuk prostethics,robotika,dan system control lainya.Cara kerja dari Elektromiografi yaitu dengan cara menguatkat sinyal yang terdeteksi

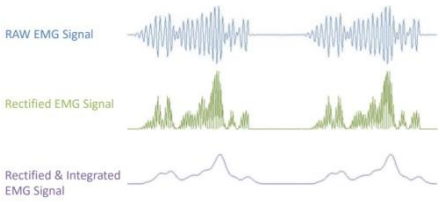
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

oleh elektroda,setelah itu sinyal otot yang emiliki besaran sekian millivolt akan dikuatkan dengan suatu komponen yang bertipe AD8226 hingga sebesar 1000 kali. Pada penelitian ini menggunakan modul electromiografi v3.Pada modul ini terdapat beberapa macamkomponen penting yaitu adalah penguat,filter,dan penyearah,dan EMG envelope. Modul ini juga menyediakan envelope detector. Envelope detector adalah sirkuit yang menggunakan input amplituda berfrekuensi tinggi dan menghasilkan output berupa titik-titik puncak yang dihasilkan oleh proses penguatan sebelumnya.



Gambar 2. Skematik Envelope Detector

Beberapa keuntungan dari modul elektromiografi v3 adalah modul ini dirancang untung digunakan langsung pada mikrokontroler,sehingga output dari sensor elektromiografi bukan EMG RAW tetapi sinyal yang sudah di perkuat ,disearahkan dan diintegrasi,sehingga akan bekerja baik pada mikrokontroler dengan ADC (*Analog Digital Converter*).



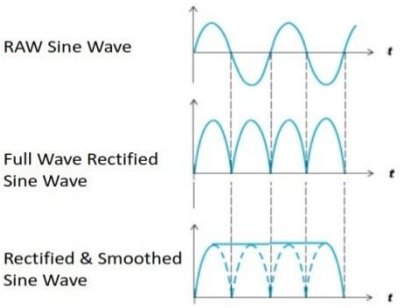
Gambar 3 Sinyal Output Modul Sensor Elektromiografi v3[2]

3.Perancangan Alat

Pada pengukuran dengan sensor Elektromiografi menggunakan modul muscle sensor v3.Dengan modul muscle sensor ini dikombinasikan dengan mikrokontroler untuk menampilkan data hasil dari pengukuran otot.Muscle sensor ini di fungsikan sebagai rangkaian analog sedangkan mikrokontroler difungsikan sebagai rangkaian digital.

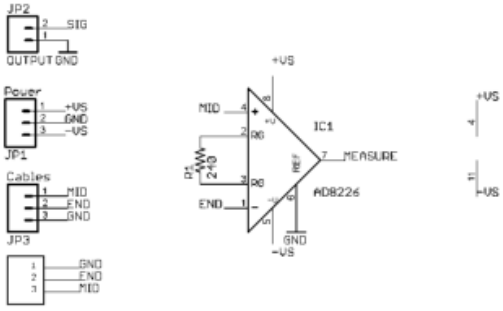
a. Rangakaian Analog

Pada rangakaian ini Modul muscle sensor v3 di fungsikan sebagai rangkaian analog.Dalam modul muscle sensor ini terdapat beberapa komponen didlamnya yaitu penguat dengan tipe AD8266 dan filter dengan tipe TL084.Selain itu modul ini juga mempunyai envelope detector sehingga sinyal yang dihasikan bisa lebih baik bekerja pada ADC mikrokontroler.

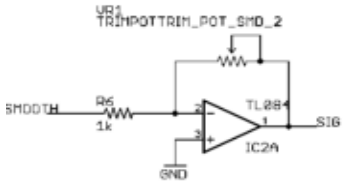


Gambar 4 Sinyal output dari Muscle sensor[2]

Gambar diatas adalah sinyal output dari muscle sensor yang sudah disearahkan dan sudah di integrasikan.

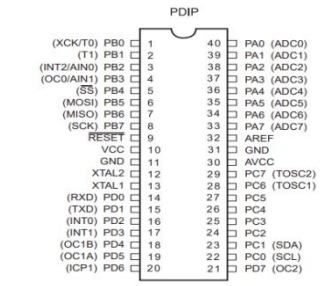


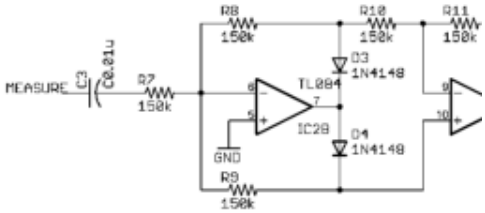
(a) Penguat AD8226



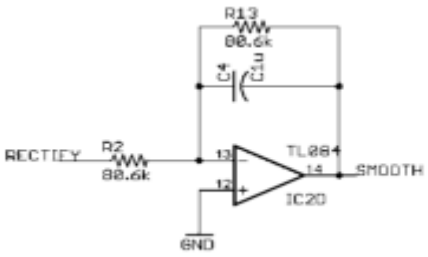
(b) Trimer TL 084

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)





(c) Envelope detector



(d) Filter dan penintegrasi sinyal

Gambar 5 Rangkaian skematik pada muscle sensor[2]



Gambar 6 Bentuk fisik muscle sensor v3[2]

Dari rangkaian diatas bisa kita dapatkan rumus penguata atau gain yang nantinya diaplikasikan untuk mencari penguatan pada sinyal otot

$$G = 1 + (49.4\ k\Omega/RG)$$

b. Rangkaian Digital

Pada rangkaian digital mennggunakan Mikrokontroler ATMEGA 8535.Mikrokontroler ini memiliki 8 bit dengan kecepatan maksimal 16 Mhz.Mikrokontroler ini juga memiliki ADC pada salah satu portnya.berikut adalah konfigurasi pin dari mikrokontroler AT Mega 8535.

Gambar 7 Konfigurasi Pin[1]

Tentunya mikrokontroler ini memerlukan system minimum untuk membuatnya bekerja.Sistem minimum ini yang nanti akan menghubungkan ke rangkaian lain untuk menjalankan fungsi tertentu,dan juga system minimum ini yang akan dihubungkan suatu input atau output dari sebuah alat.



Gambar 7 Bentuk Fisik Sistem Minimum

c. Elektroda

Elektroda yang di gunakan dalam rangkaian ini adalah elektroda tipe gel, Alasan di pilih elektroda tipe gel adalah elektroda tersebut memiliki noise level yang lebih rendah daripada elektroda tipe perak klorida.

Elektroda juga merupakan komponen yang paling penting karena menjadi sarana masuknya sinyal dari permukaan kulit menuju AD8226 melalui konektor.



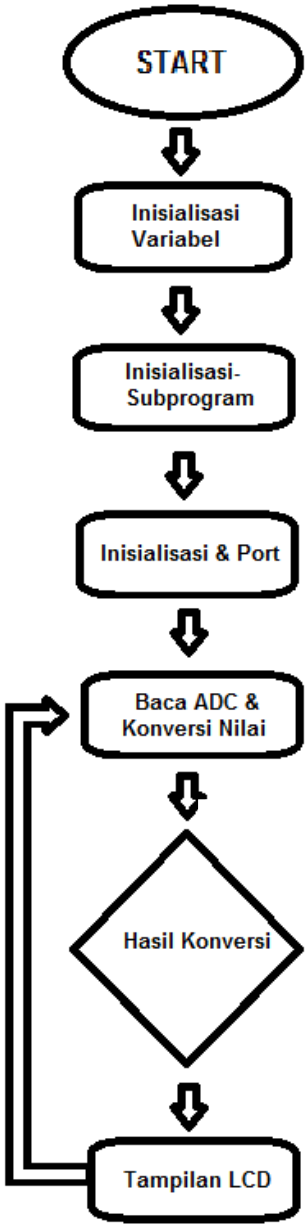
Gambar 8 Bentuk Fisik Elektroda

d. Software

Tentunya dalam menjalankan fungsi suatu alat seuah mikrokontroler harus di program dengan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

sebuah program.Program inilah yang menjadi software dalam suatu alat.Sebalum membahas program yang akan di masukan ke mikrokontroler berikut adalah flow chart dari perintah program sensor Elektromiografi



Dan berikut adalah Program yang dimasukan ke Mikrokontroler untuk menjalankan fungsi sebagai pengukuran sensor.

```
// LCD module initialization
                lcd_init(16);
                lcd_gotoxy(0,0);
                lcd_putsf("Pengukuran Otot Wajah");
                delay_ms(500);
                while (1)
                    {
                    // Place your code here
                dataADC=read_adc(0);
                     Temp=(dataADC*4.9/10);
                     lcd_gotoxy(0,0);
                     lcd_putsf("Elektro Unika");
                     lcd_gotoxy(3,1);
                     lcd_putsf("0 mVOLT");
                     Temp=(dataADC*4.9/10);
                     lcd_gotoxy(0,1);
            tampil(Temp);
                     }
```

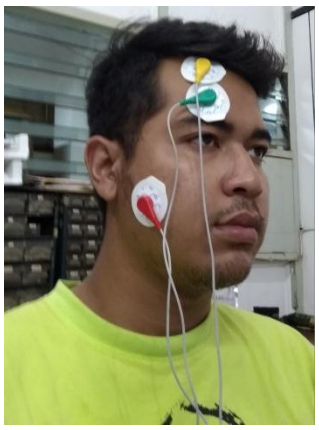
4. Pengujian dan Hasil

Pengujian yang di lakukan dapat memberikan gambaran sinyal yang nantinya akan di olah lebih lanjut oleh mikrokontroler.

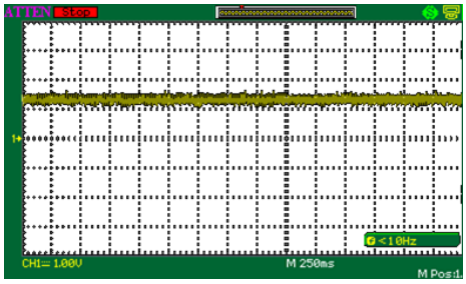
Sama seperti pada rancangannya, rangkaian dalam simulasi di sesuaikan dengan desain yang terdiri dari 3 buah Op-Amp yaitu AD8226 dan TL084, selain itu parameter lainnya juga di sesuaikan agar output Op-Amp hanya menghasilkan 5V agar mempermudah pengolahan sinyal dalam mikrokontrol, maka dari itu tegangan Op-Amp hanya di batasi di +/- 5Volt.

Pada saat pengujian dilakukan pegukuran ke beberapa otot yaitu diantaranya adalah otot frontalis/dahi,otot pipi atau zygomaticus,otot belakang telinga atau sternocleidomastoideus.otot rahang atau masseter dan otot leher atau sternohyoideus berikut adalah titik titik pengukuran dan hasilnya

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



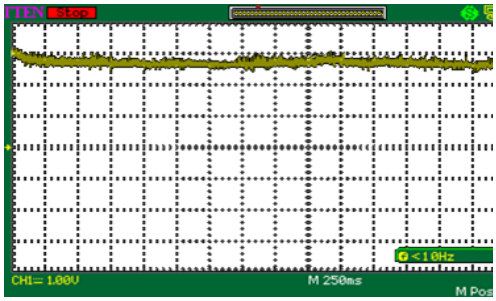
Gambar 9 Titik otot dahi atau frontalis



Gambar 10 Hasil sinyal dari Otot dahi



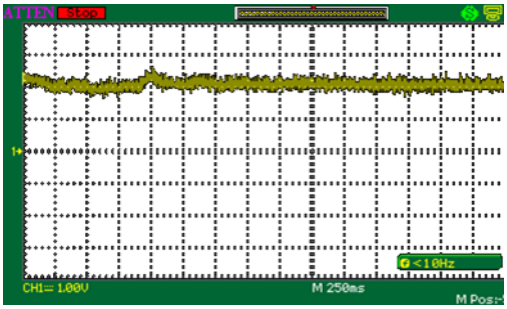
Gambar 11 Titik otot belakang telinga atau sternocleidomastoideus



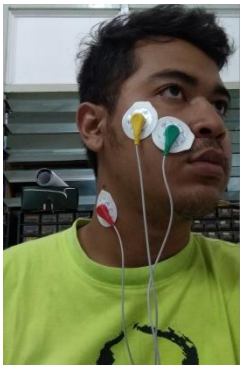
Gambar 12 Hasil sinyal dari otot belakang telinga atau sternocleidomastoideus



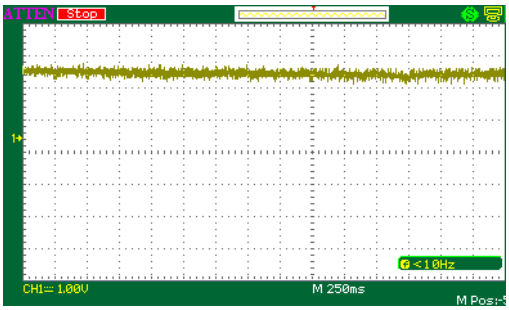
Gambar 13 Titik otot rahang atau maseter



Gambar 14 Hasil sinyal otot rahang atau maseter

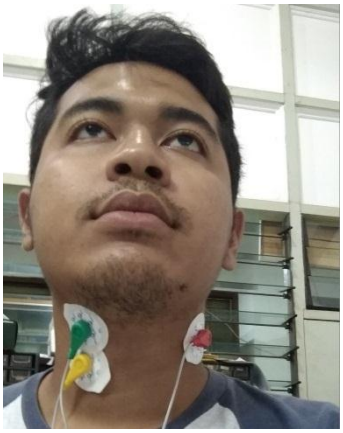


Gambar 15 Titik dari otot pipi atau zygomaticus

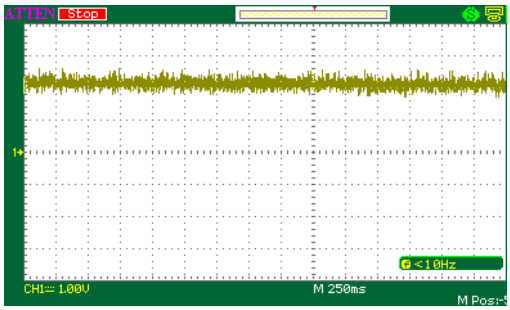


Gambar 16 Hasil dari otot pipi atau zygomaticus

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 17 Titik otot leher atau omohyioideus



Gambar 18 Hasil otot leher atau omohyioideus

Diatas adalah titik dari beberapa otot yang diukur secara analog,pengukuran ini bedasarkan keluaran dari sensor Elektromiografi yang sudah di searahkan dan di integerasikan.

Disamping pengukuran secara analog dilakukan juga pengukuran secara digital yaitu mengukur keluaran dari sensor EMG yang sudah terolah dengan ADC dari mikrokontroler dan ditamplikan dengan LCD sebagai output dari mikrokontroler.Berikut adalah hasil dari beberapa pengukuran secara digital

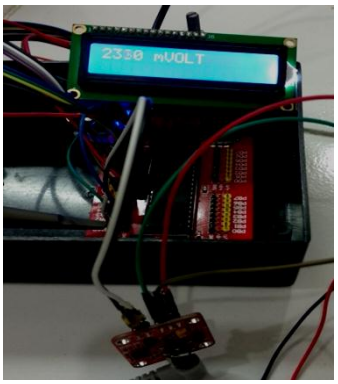


Gambar 19 Hasil dari salah satu otot sebelum ditegangkan

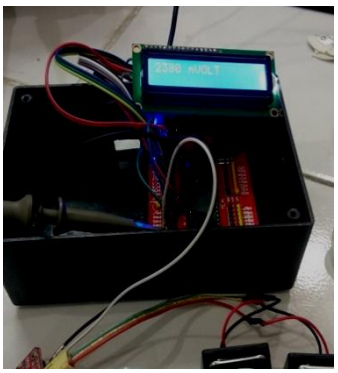
Pada hasil diatas adalah adalah hasil dari pengukuran salah satu otot,padaLCD menunjukan 0530 mVolt, memang pada kondisi otot belum di tegangkan tampilan LCD tidak akan menujukan hasil yang 0 sempurna dikarenakan keluaran dari sensor elektromiografi mendeteksi adanya tegangan kecil yang dikuatkan oleh AD822 dari sebuah otot,dan berikut adalah hasil dari pengukuran digital dari beberapa macam otot.



Gambar 20 Hasil dari otot frontalis atau dahi

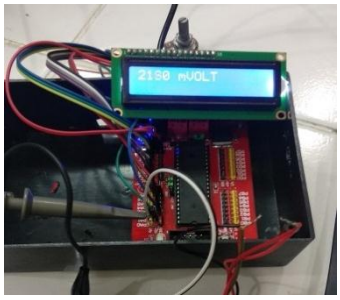


Gambar 21 Hasil dari pipi atau zygomaticus



Gambar 22 Hasil otot belakang telinga

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 23asil otot rahang atau masseter



Gambar 24 Hasil otot leher atau omohyoideus

Jika diperhatikan hasil dari pengukuran beberapa otot yang ditunjukan oleh LCD angka yang dihasilkan berbeda beda saat di tegangkan dikarenakan oleh lapisan pada tiap tiap titik otot berbeda dan lapisan pada setiap orang juga berbeda terutama pada titik otot disekitar wajah.Otot pada wajah tidak sekuat otot pada tangan atau pada kaki jadi hasil yang di tamplikan juga rendah.Dan juga hasil yang di tampil kan pada hasil yang stuck atau diam dikarenakan pada saat ditegangkan otot tidak stabil pada kekuatan yang sama.

5. Kesimpulan dan Saran

3.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan pengamatan telah didapatkan kesimpulan yang berdasarkan dari pengukuran sensor Elektromiografi yaitu:

1.Rangkaian analog dan digital pada pengukuran otot wajah dapat berfungsi dengan baik yaitu menguatkan sinyal yang dihasilkan otot untuk ditampilkan pada tampilan LCD

2.Program yang diinputkan pada mikrokontroler dapat berjalan dengan baik dan tepat dibuktikan menyamakan pengukaran dengan osiloskop dan nilai yang ditampilkan dari LCD

3. Nilai yang dihasilkan pada saat pengukuran berbeda beda dikarenakan lapisan lemak dan kekuatan pada tiap titik otot berbeda.Begitu juga otot pada setiap orang berbeda juga sinyal yang dihasilkan

4.Otot pada wajah juga bisa menghasilkan sinyal yang dapat di kuatkan dengan sensor Elektromiografi walapun sinyal yang dihasilkan tidak sekuat otot pada tangan dan kaki namun dapat terdeteksi dengan baik

3.2 Saran

Pada alat ini masih dapat dikembangkan terutama pada output yang dihasilkan ,alat ini bisa dikembangkan dengan output audio dan mekanik,sebagai bentuk perkambangan dalam dunia biomedis,yang dapat membantu penderita difabel.

6. Daftar Pustaka

[1] Atmel.Datasheet AT Mega 8535 : AVR Mikrokontroller with 8k Bytes in-system programmable flash.
[2] Advancer technologies.Datasheet muscle sensor :Three- lead Drifferential Elektromiografi Sensor for Mikrokontrol
[3] Sellers, Bill. Introduction to EMG.http://mac-huwis.lut.ac.uk/~wis/lectures/
[4] Norali A.N,Mat Son M.H.Surface Elektromiography Signal Processing and review (Procceding of the international conference on man-machine system.2009)
[5] “Surface Electromyography: Detection and Recording,” DelSysIncorporated, 1996
[6] Analog Device,Data sheet AD 8226,Wide Supply Range, Rail-to-Rail Output Instrumentation Amplifier,2009
[7] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, “Multi Channel Electromyography (EMG) Signal”, Proc. of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.
[8] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, “Multi Channel Electromyography (EMG) Signal Acqiusition using Microcontroller with Rectifier”, Proc. of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.
[9] Ricky Fajar Adiputra, Florentinus Budi Setiawan, “ROBOT ARM CONTROLLED BY MUSCLE TENSION BASED ON ELECTROMYOGRAPHY AND PIC18F4550”, Proc. Of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.
[10] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, “Electromyography (EM G) Signal Compression using Sinusoidal Segmental Model”, Proc. of 20I5 2nd Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2015.

[11] Analog Devices. 2003. "Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier". One Technology Way.
[12] Kevin Eka Pramudita, F.Budi Setiawan, Siswanto, "Interface and display of Electromyography signal wireless measurements", 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014.
[13] Ricky Fajar Adiputra, Florentinus Budi Setiawan, "ROBOT ARM CONTROLLED BY MUSCLE TENSION BASED ON ELECTROMYOGRAPHY AND PIC18F4550", Proc. Of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.
[14] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Electromyography (EM G) Signal Compression using Sinusoidal Segmental Model", Proc. of 20l5 2nd Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2015.
[15] Analog Devices. 2003. "Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier". One Technology Way.
[16] Kevin Eka Pramudita, F.Budi Setiawan, Siswanto, "Interface and display of Electromyography signal wireless measurements", 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014.
[17] Yohanes Oxa Wijaya, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Desain dan Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot", Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS), 2014

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Teknik Pengamatan Sampel Biologi dan Non-konduktif Menggunakan *Scanning Electron Microscopy*

[1,2]Damar Rastri Adhika*), [2]Atsarina Larasati Anindya, [2]Viny Veronika Tanuwijaya & [2,3]Heni Rachmawati

[1]Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

[2]Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

[3]Kelompok Keilmuan Farmasetika, Sekolah Farmasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

*(corresponding author) damar@tf.itb.ac.id *)*

Abstrak

Scanning electron microscope (SEM) banyak dimanfaatkan untuk mengamati struktur morfologi permukaan sampel dalam perbesaran yang tinggi dengan menggunakan berkas elektron berenergi tinggi. Pengamatan berbagai jenis material dengan beragam karakter dan properti fisis yang berbeda dapat dilakukan menggunakan SEM, namun tentu saja diperlukan pertimbangan dan pendekatan yang khusus untuk setiap jenis sampel yang berbeda agar pengamatan menggunakan SEM dapat dilakukan serta mampu memberikan hasil pengamatan SEM dengan kualitas yang baik dan mampu memberikan informasi keadaan struktur sampel yang sebenarnya. Pembahasan dalam makalah ini akan berfokus pada teknik-teknik khusus yang perlu ditempuh dalam melakukan pengamatan sampel biologi menggunakan SEM yang relatif lebih sulit untuk dilakukan daripada pengamatan sampel konduktif seperti logam. Pengamatan SEM dilakukan dalam kondisi vakum yang tinggi sehingga cukup sulit untuk mengamati sampel biologi yang secara alami memiliki kandungan air yang tinggi dan memiliki struktur yang rapuh karena memiliki banyak pori didalamnya. Selain itu penembakan berkas elektron secara terus menerus pada permukaan sampel membuat sampel biologi menjadi bermuatan negatif karena elektron terlalu banyak tersimpan pada sampel dan tidak dapat dialirkan keluar karena sifat sampel biologi yang tidak konduktif. Beberapa teknik preparasi, pengaturan nilai parameter pengamatan, dan beberapa jenis SEM yang dapat digunakan untuk mengamati sampel-sampel biologi dan non-konduktif akan dibahas disini.

Kata Kunci: SEM, teknik preparasi, sampel biologi, sampel non-konduktif

1 Pendahuluan

Mikroskop adalah alat bantu yang digunakan untuk mengamati benda-benda kecil yang tidak dapat dilihat dengan mata. Mikroskop yang paling umum digunakan adalah mikroskop cahaya yang memanfaatkan berkas cahaya tampak dan lensa optik. Batas resolusi dari mikroskop cahaya dibatasi oleh panjang gelombang cahaya tampak yang digunakan yaitu setengah dari panjang gelombang, sesuai dengan teori Abbe[1] yang dapat dilihat di persamaan (1), dimana λ adalah panjang gelombang dan NA adalah *numerical aperture*. Untuk meningkatkan batas resolusi maka dikembangkan mikroskop elektron dimana panjang gelombang berkas elektron dapat diatur dengan mengubah nilai tegangan akselerasi yang diberikan[1] ketika membangkitkan berkas elektron sesuai dengan persamaan (2), dimana λ adalah panjang gelombang dan E adalah energi akselerasi.

$$d = \frac{\lambda}{2(NA)} \tag{1}$$

$$\lambda = \frac{1.22}{E^{1/2}} \tag{2}$$

Terdapat dua jenis mikroskop elektron yaitu *scanning electron microscope* (SEM) dan *transmission electron microscope* (TEM). SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan sampel dalam perbesaran tinggi sementara TEM digunakan untuk mengamati struktur internal sampel dalam perbesaran yang tinggi. Perbedaan fungsi ini menyebabkan perbedaan cara mempersiapkan sampel untuk SEM dan TEM. Perbedaan mendasar adalah sampel TEM harus dapat ditembus oleh berkas elektron sehingga harus sangat tipis yaitu disarankan pada ketebalan dibawah 100nm[2]. Untuk dimensi sampel SEM hanya dibatasi oleh ukuran bilik sampel dari alat SEM itu sendiri karena sampel tidak harus ditembus oleh berkas elektron. Komponen-koponen utama dari SEM diantaranya adalah *electron gun* yang berfungsi untuk membangkitkan berkas elektron, beberapa lensa elektromagnetik untuk mengkondisikan berkas elektron, serta detektor untuk beberapa jenis berkas yang berbeda. Berkas elektron yang sampai ke sampel akan berinteraksi dengan sampel dan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

menghasilkan beberapa jenis berkas yang berbeda seperti *secondary electron* (SE), *backscattered electron* (BSE), dan *characteristic x-ray*[1]. SE dan BSE adalah berkas yang digunakan untuk mendapatkan citra SEM.

Agar berkas elektron dapat mencapai sampel dengan optimal maka mikroskop elektron dioperasikan dalam keadaan vakum. Sampel biologi memerlukan penanganan khusus sebelum diamati menggunakan mikroskop elektron karena mikroskop bekerja dalam keadaan vakum sementara sampel biologi mengandung cairan, memiliki ikatan yang lemah, serta pada umumnya memiliki banyak rongga udara.

Karena berkas elektron akan terus menerus menumbuk sampel maka akan ada kelebihan elektron pada sampel yang akan dibuang melalui *conductive tape* ke *sample stage* kemudian ke *ground*. Apabila sampel tidak konduktif maka kelebihan elektron akan sulit terbuang dari permukaan sampel sehingga akan memperburuk kualitas citra SEM. Oleh karena itu perlu diterapkan beberapa cara untuk menangani sampel yang tidak konduktif yang akan dibahas dalam makalah ini. Selain itu juga dikembangkan beberapa teknik khusus untuk pengamatan sampel biologi yang akan sedikit dibahas disini.

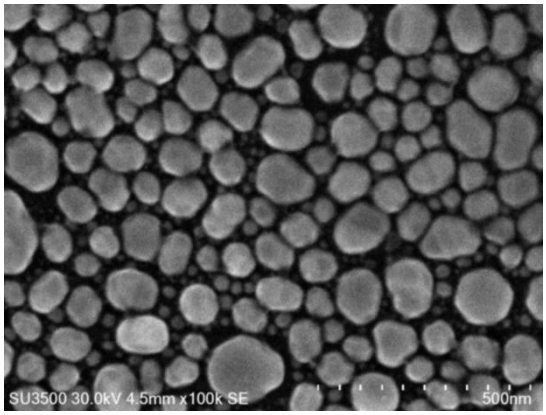
2 Metoda, Hasil, dan Diskusi

Tahapan persiapan sampel sebelum diamati dengan SEM sangat penting untuk bisa mendapatkan hasil pengamatan yang berkualitas serta untuk bisa memberikan analisis yang tepat. Seluruh perlakuan yang diberikan pada saat persiapan sampel tidak boleh merubah struktur asli dari sampel tersebut agar hasil pengamatan SEM merepresentasikan struktur asli dari sampel.

Tahapan utama preparasi sampel biologi sebelum diamati menggunakan SEM adalah pemotongan sampel dengan orientasi yang diinginkan, fiksasi, dehidrasi, pengeringan, serta melapisi dengan lapisan konduktif. Tahapan fiksasi dilakukan untuk menjaga struktur asli dari sampel agar tidak mudah kempis atau hancur. Fiksasi yang umumnya dilakukan memiliki dua tahap yaitu tahapan pertama menggunakan *glutaraldehyde* ditambah dengan *cacodylate buffer* kemudian tahapan kedua adalah menggunakan osmium tetroxide pada *buffer*[3]. Dehidrasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dari sampel. Dehidrasi dilakukan dengan proses perendaman dalam alkohol dengan tingkat konsentrasi yang bertambah secara bertahap hingga mencapai 100%. Pengeringan biasanya dilakukan menggunakan critical point drying (CPD)[4] atau mengaplikasikan bahan kimia tertentu seperti hexamethyldisilazane[5] yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan cairan dari sampel tanpa membuat sampel menjadi kempis[6]. Pelapisan dengan material konduktif dapat dilakukan menggunakan *sputtering machine* dengan material konduktif yang digunakan pada umumnya adalah C, Au, Pt. Pengamatan terhadap beberapa jenis sampel yaitu sampel konduktif, sampel biologi tanpa dan dengan preparasi, serta sampel biologi yang diamati dengan mode pengamatan khusus yaitu *variable pressure* (VP)-SEM akan dibahas disini. Pengamatan dilakukan menggunakan SEM Hitachi SU3500 yang ada di pusat penelitian nanosains dan nanoteknologi (PPNN) ITB.

2.1 Pengamatan sampel konduktif

Untuk pengamatan sampel konduktif tidak dibutuhkan tahapan preparasi khusus, hanya membersihkan sampel tersebut dari debu kemudian menempelkannya pada *sample stage* menggunakan *conductive tape* seperti *carbon* atau *copper tape* untuk memudahkan kelebihan elektron pada sampel untuk dialirkan menuju *ground*. Contoh hasil pengamatan sampel konduktif dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Citra SEM dari nanopartikel emas

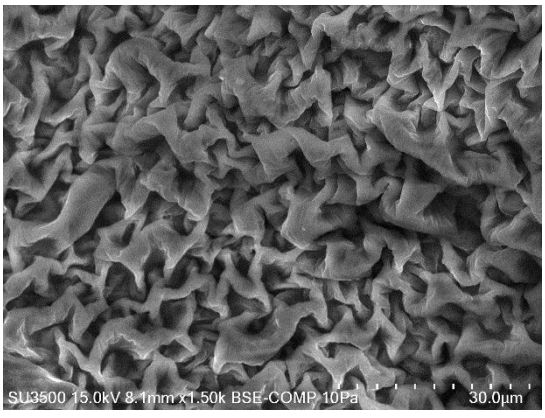
Hasil pengamatan nanopartikel emas tersebut menunjukkan bahwa untuk sampel konduktif pengamatan dapat dilakukan dalam energi akselerasi yang cukup tinggi yaitu 30kV dan dengan perbesaran yang tinggi yaitu 100.000 kali tanpa menimbulkan efek *charging* dan kerusakan pada sampel. Untuk pengamatan sampel non-konduktif maka semakin tinggi perbesaran dan energi akselerasi akan meningkatkan efek *charging*[7]. Selain itu untuk sampel biologi yang memiliki ikatan lemah maka pengamatan dengan energi akselerasi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

dan perbesaran yang semakin tinggi akan lebih mudah menimbulkan kerusakan pada sampel.

2.2 Pengamatan sampel biologi dan non-konduktif tanpa preparasi sampel

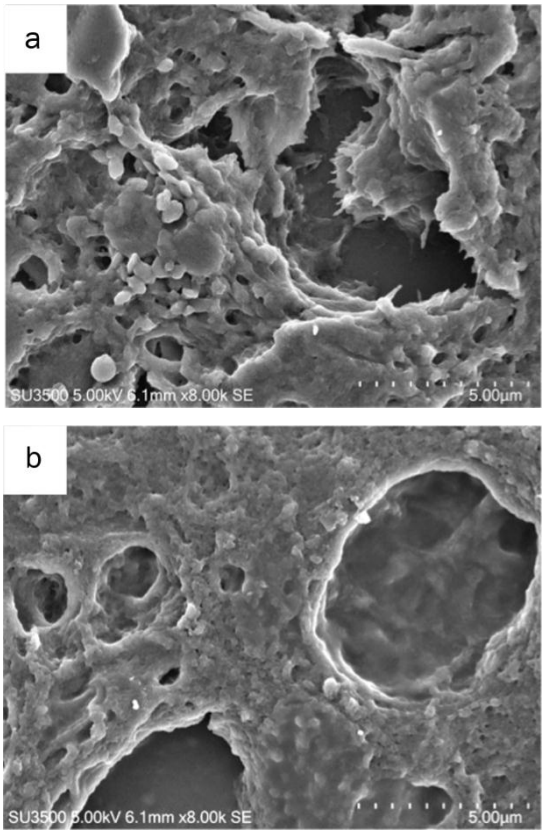
Hasil pengamatan SEM pada selembar mahkota bunga tanpa melakukan tahapan preparasi dapat dilihat pada Gambar 2. Dapat dilihat dari gambar tersebut bahwa terdapat distribusi gelap terang yang tidak merata dimana pada bagian yang sangat terang terjadi efek *charging* dimana penembakan elektron yang terus menerus menyebabkan terlalu banyak elektron pada permukaan sampel non-konduktif yang tidak dapat dialirkan ke *ground*. Perlu diperhatikan bahwa gambar ini diambil pada energi akselerasi 15 kV dan perbesaran 1500 kali yang nilainya jauh lebih rendah daripada yang diberikan ketika mengambil gambar 1 untuk nanopartikel emas, namun untuk sampel non-konduktif, efek *charging* sudah sangat terlihat pada nilai energi akselersi dan perbesaran yang relatif rendah ini. Selain itu sampel yang diamati kelihatan berkerut pada gambar, kondisi ini disebebkan karena tanpa preparasi sampel yang tepat maka sampel biologi mudah mengalami kerusakan yaitu karena strukturnya yang rapuh dan banyak rongga udara, maka ketika diamati dalam keadaan vakum, struktur tersebut tidak dapat bertahan sehingga menjadi kempis atau hancur.



Gambar 2. Citra SEM dari mahkota bunga tanpa preparasi khusus

2.3 Pengamatan sampel biologi setelah melakukan preparasi sampel

Pengamatan SEM dilakukan terhadap sampel kolon tikus yang menderita inflamasi kolon sebelum dan setelah diobati seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Tahapan preparasi yang dilakukan pada sampel ini adalah fiksasi menggunakan formalin, dehidrasi, dan *paraffin embedding*. Sampel yang telah ditanam dalam paraffin kemudian disayat menggunakan mikrotom dengan ketebalan akhir sampel adalah 3µm, kemudian sayatan diletakkan diatas *cover glass*. Selanjutnya dilakukan deparafinasi[8] terhadap sayatan tersebut yaitu melakukan pencucian dengan xylene pada 37^{o}C selama 4x30 menit. Setelah itu sampel dicuci menggunakan ethanol 100% pada suhu ruang selama 4x15 menit. Sampel kemudian dibiarkan semalam pada suhu ruang agar kering. Sebeum diamati dengan SEM, sampel direkatkan dengan carbon tape pada sample stage kemudian dilapisi dengan lapisan konduktif yaitu lapisan emas menggunakan *ion sputtering machine*.



Gambar 3. Citra SEM sampel kolon tikus yang telah melewati tahapan preparasi yaitu sampel kolon tikus (a) sebelum diobati (b) setelah diobati.

Pengamatan SEM dilakukan terhadap sampel kolon tikus yang menderita inflamasi kolon menunjukkan perbedaan morfologi yang cukup signifikan pada kolon sebelum dan setelah diobati dimana kolon yang belum diobati pada gambar 3(a) menunjukkan banyak kerusakan pada jaringan dibandingkan dengan kolon yang sudah diobati pada gambar 3(b). Dari pengamatan ini dapat diketahui bahwa obat yang diberikan telah dapat

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

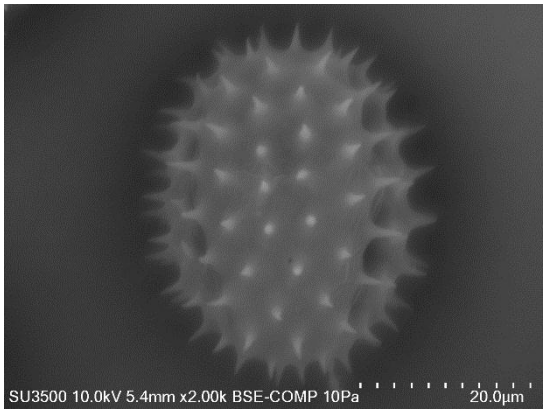
bekerja dengan baik dalam mengatasi inflamasi kolon. Untuk jenis pengamatan seperti ini perlu dilakukan tahapan preparasi sampel yang benar agar kerusakan jaringan yang diamati menggunakan SEM adalah benar-benar kerusakan yang disebabkan oleh penyakit atau perlakuan tertentu yang diberikan, bukan kerusakan disebabkan oleh kesalahan preparasi sampel sebelum pengamatan SEM.

2.4 Beberapa jenis SEM yang dikembangkan untuk pengamatan sampel non-konduktif dan biologi

Pengembangan SEM dari sisi instrumen telah banyak dilakukan untuk memudahkan pengamatan sampel konduktif dan sampel biologi seperti *cryo*-SEM[9] dan VP-SEM. Penambahan *cryo-chamber* pada SEM memungkinkan pengamatan sampel SEM dalam keadaan beku karena pada *cryo-chamber* akan dialirkan nitrogen cair secara kontinu yang menjaga sampel agar tetap beku. Menjaga sampel dalam keadaan beku memungkinkan pengamatan sampel biologi tanpa perlu didahului dengan tahapan preparasi seperti fiksasi dan dehidrasi.

Sementara untuk mode VP-SEM dilakukan pada kondisi vakum yang lebih buruk daripada kondisi vakum pengamatan SEM standar. Kondisi vakum pada pengamatan SEM standar untuk SEM yang menggunakan filamen tungsten sebagai *electron gun* adalah 10^{-5} torr atau sekitar $1.5x10^{-3}$ Pa[1]. SEM yang digunakan pada studi kali juga dilengkapi dengan mode VP-SEM dengan nilai tekanan yang dapat diatur pada rentang 10 – 650 Pa dimana nilai ini menunjukkan kondisi vakum yang lebih buruk daripada kondisi vakum untuk pengamatan SEM standar. Pada mode VP-SEM, udara dimasukkan ke dalam sample chamber sehingga kondisi vakum semakin buruk. Molekul udara di dalam *chamber* SEM akan terionisasi kemudian ion-ion positif akan tertarik ke permukaan sampel yang kelebihan elektron sehingga membantu mengurangi efek charging ketika mengamati sampel-sampel non-konduktif.

Pengamatan dengan mode VP-SEM dilakukan terhadap sampel serbuk sari yang dapat dilihat pada Gambar 4. Sampel serbuk sari diamati tanpa melalui tahapan preparasi sampel biologi dan juga tanpa penambahan lapisan konduktif. Pengamatan dilakukan pada kondisi vakum 10 Pa, tegangan akselerasi 10 kV, serta perbesaran 2000 kali. Hasil pengamatan menunjukkan gambar SEM yang baik tanpa adanya efek *charging* akibat penggunaan mode VP-SEM.



Gambar 4. Hasil VP-SEM untuk sampel serbuk sari tanpa tahapan preparasi.

3 Kesimpulan

Mikroskop elektron digunakan untuk mengamati benda dengan resolusi yang tinggi yaitu melebihi batasan resolusi dari mikroskop optik. Dalam proses pengamatan menggunakan mikroskop elektron diperlukan teknik preparasi khusus untuk mengkondisikan sampel agar sesuai dengan spesifikasi alat. Khususnya untuk pengamatan sampel biologi diperlukan sejumlah preparasi khusus agar dapat mengamati sampel sesuai dengan kondisi aslinya. Hal ini dikarenakan bahwa sampel biologi memiliki ikatan yang lemah, struktur yang rapuh karena pada umumnya berongga, serta memiliki kandungan air yang tinggi. Tahapan umum preparasi sampel biologi adalah fiksasi untuk menjaga struktur asli dari sampel, dehidrasi untuk menghilangkan kandungan air dari sampel, pengeringan untuk menghilangkan kandungan cairan dari sampel, serta melapisi dengan lapisan konduktif untuk menambah konduktivitas permukaan sampel. Selain itu juga terdapat beberapa jenis mode khusus yang dapat ditambahkan pada instrumen SEM untuk pengamatan sampel biologi seperti *cryo*-SEM dan VP-SEM.

4 Daftar Pustaka

[1] Williams D.B. and Carter C.B., “Transmission Electron Microscopy - A Textbook for Materials Science”, Springer, 2009.
[2] Salzer, R., Graff, A., Simon, M., & Altmann, F., “Standard free thickness determination of thin TEM samples via backscatter electron image correlation”, Microscopy and Microanalysis 15(S2), 2009, pp.340-341.
[3] Bozolla, J. J. & Russel L., D., “Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists”, Jones & Bartlett Learning, 1999.

[4] Gusnard, D. & Kirschner, R. H., "Cell and organelle shrinkage during preparation for scanning electron microscopy: effects of fixation, dehydration and critical point drying", Journal of microscopy, 110(1), 1977, pp.51-57.
[5] Nation, J. L., "A new method using hexamethyldisilazane for preparation of soft insect tissues for scanning electron microscopy", Stain technology, 58(6), 1983, pp.347-351.
[6] Bray, D. F., Bagu, J., & Koegler, P., "Comparison of hexamethyldisilazane (HMDS), Peldri II, and critical-point drying methods for scanning electron microscopy of biological specimens", Microscopy research and technique, 26(6), 1993, pp.489-495.
[7] Murakami, T., A revised tannin-osmium method for non-coated scanning electron microscope specimens. Archivum histologicum japonicum, 36(3), 1974, pp.189-193.
[8] Widáhn, S., & Kindblom, L. G., "A rapid and simple method for electron microscopy of paraffin-embedded tissue", Ultrastructural Pathology, 12(1), 1988, pp.131-136.
[9] Hassan, A. N., Frank, J. F., & Elsoda, M. "Observation of bacterial exopolysaccharide in dairy products using cryo-scanning electron microscopy", International Dairy Journal, 13(9), 2003, 755-762.
[10] Debbie Stokes, "Principles and Practice of Variable Pressure / Environmental Scanning Electron Microscopy (VP-ESEM)", John Wiley & Sons, 2008.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Particle size analyser: beberapa penggunaan instrumen hamburan cahaya

[1]Atsarina Larasati Anindya*)

[1]Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

(cooresponding author) atsarinalarasatianindya@gmail.com)*

Abstrak

Instrumen *particle size analyser* memanfaatkan sebuah devais sumber cahaya dan detektor; umumnya memakai detektor berupa tabung *photomultiplier* dan fotodioda. Selain analisis ukuran partikel, instrumen tersebut seringkali dilengkapi dengan pengukuran bobot molekul dan potensial zeta. Setiap jenis pengukuran menggunakan teknik hamburan cahaya yang berbeda: hamburan cahaya dinamis untuk ukuran partikel, hamburan cahaya elektroforesis untuk potensial zeta, dan hamburan cahaya statis untuk bobot molekul. Pada teknik hamburan cahaya dinamis, intensitas cahaya terhambur setelah mengenai sampel yang terdispersi dalam cairan diukur oleh instrumen. Fluktuasi intensitas ini digunakan untuk menghitung koefisien difusi sehingga radius partikel dapat diketahui dengan persamaan Stokes-Einstein. Pada teknik hamburan cahaya elektroforesis, terjadi pergeseran Doppler pada cahaya terhambur saat sampel koloidal dikenai suatu medan listrik. Pergeseran ini dapat dikaitkan dengan kecepatan gerak partikel, yang dapat digunakan untuk menghitung potensial zeta. Pada hamburan cahaya statis, intensitas hamburan cahaya yang berlebih diukur pada beberapa konsentrasi sampel yang berbeda untuk mendapatkan koefisien virial kedua, yang akan digunakan dalam persamaan Rayleigh untuk mendapatkan bobot molekul sampel. Dikarenakan kecepatan difusi pada hamburan cahaya dinamis berbanding terbalik dengan viskositas, perhitungan sifat-sifat reologi seperti viskositas menjadi salah satu fitur dalam beberapa instrumen *particle size analyser*, sehingga secara keseluruhan instrumen ini merupakan alat yang sangat berguna untuk karakterisasi material.

Kata Kunci: particle size analyser*, hamburan cahaya, potensial zeta, bobot molekul, karakterisasi material*

1 Pendahuluan

Saat suatu berkas cahaya mengenai suatu partikel, berkas cahaya tersebut terhambur ke berbagai sudut sehingga intensitas cahaya yang diteruskan berkurang. Peristiwa ini diistilahkan sebagai hamburan cahaya atau *light scattering*. Hamburan cahaya pada rentang cahaya tampak dapat memberikan beberapa informasi mengenai suatu partikel, seperti ukuran, potensial zeta, dan bobot molekul, sehingga banyak instrumen komersil yang dapat mengukur beberapa parameter berbeda dari suatu partikel dengan sumber cahaya yang sama [1].

Secara sederhana, instrumen hamburan cahaya terdiri dari suatu sumber cahaya yang akan menghasilkan berkas cahaya, yang mana akan melewati sampel, dan detektor. Umumnya detektor yang digunakan ada dua, satu untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan dan yang lain untuk mengukur intensitas cahaya terhambur pada sudut tertentu, Berkas cahaya tampak yang digunakan umumnya berasal dari lampu Helium atau Neon, sedangkan detektor yang digunakan umumnya berupa *photomultiplier* atau fotodioda, masing-masing memiliki kekurangan dan kelebihan.

Pada makalah ini akan dibahas tiga pengukuran parameter, yaitu ukuran, potensial zeta, dan bobot molekul partikel dengan instrumen hamburan cahaya. Pengukuran ukuran partikel menggunakan teknik *dynamic light scattering*, Potensial zeta menggunakan teknik *electrophoretic light scattering*, dan pengukuran bobot molekul menggunakan *static light scattering*.

1.1 Pengukuran Ukuran Partikel

Teknik *dynamic light scattering* meliputi pengukuran intensitas hamburan cahaya pada sudut tertentu saat mengenai partikel Brownian Ukuran partikel diperoleh dengan memasukkan data fluktuasi intensitas hamburan cahaya pada persamaan Stokes-Einstein.

Partikel yang terdispersi dalam suatu cairan akan mengikuti suatu pola pergerakan acak tertentu yang disebut gerak Brown. Persamaan Stokes-Einstein yang digunakan pada teknik *dynamic light scattering* memodelkan hubungan antara mobilitas partikel Brownian dengan ukuran partikel, sehingga pada pengukuran *dynamic light scattering*, sampel yang ingin diukur harus dalam bentuk terdispersi [2].

Adapun persamaan Stokes-Einstein adalah sebagai berikut:

$$\frac{\overline{x^2}}{2t} = D = \frac{RT}{6\pi\eta r N} \quad (1)$$

Dimana D adalah koefisien difusi atau mobilitas partikel terdispersi, yang terukur dari kecepatan perpindahan suatu partikel pada jarak x dalam waktu t. η merupakan viskositas cairan sampel, N

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

merupakan bilangan Avogadro, dan r adalah ukuran partikel [3].

Intensitas cahaya suatu partikel dihitung dalam fungsi waktu, sehingga akan didapat beberapa sinyal intensitas cahaya dari satu partikel yang sama, yang akan dibandingkan dengan sebuah devais korelator pada instrumen. Gerak partikel Brownian sangat acak, sehingga untuk melihat korelasi sinyal, diperlukan pembandingan dalam rentang waktu yang sangat singkat, umumnya dalam satuan milidetik. Kemungkinan sinyal masih dapat dibandingkan dengan t = 0 pada

$$t = t + dt \quad (2)$$

akan lebih besar dibandingkan dengan

$$t = t + At \quad (3)$$

dimana A adalah variabel angka (mis. 2t). Korelator akan membandingkan waktu yang diperlukan hingga suatu sinyal hamburan tidak dapat dikorelasikan lagi dengan sinyal pada t = 0. Hal ini berhubungan dengan mobilitas partikel tersebut, dimana makin besar ukuran suatu partikel, geraknya akan semakin lambat, sehingga waktu yang diperlukan untuk mencapai jarak dimana sinyal sudah tidak berkorelasi lagi dengan sinyal pada t = 0 semakin besar [4].

1.2 Pengukuran Potensial Zeta

Jika suatu partikel yang mempunyai muatan permukaan negatif terdispersi dalam suatu fluida, permukaan negatif tersebut akan segera menarik ion-ion positif dari fluida sehingga akan terbentuk suatu lapisan ion positif yang menempel erat pada permukaan partikel negatif; lapisan ini disebut lapisan Stern. Suatu lapisan lain yang lebih fleksibel, terdiri dari campuran ion-ion positif dan negatif dari fluida, akan terbentuk di luar Lapisan Stern dan dinamakan lapisan ion difusif. Kedua lapisan ini secara bersamaan dapat diistilahkan sebagai lapisan ion ganda. Di luar lapisan ion ganda, ion-ion positif dan negatif dari fluida bercampur bebas dan tidak mempunyai bentuk yang terdefinisi. Saat partikel terganggu oleh suatu medan listrik, partikel akan bergerak dan lapisan ion ganda ini akan mempunyai bentuk yang terdefinisi dan dapat terukur. Potensial zeta sendiri adalah muatan permukaan lapisan tersebut [5][6][7].

Pada instrumen hamburan cahaya, potensial zeta diukur dengan teknik *electrophoretic light scattering*, dimana suatu medan listrik diaplikasikan pada sampel, dan pergeseran frekuensi Doppler cahaya terhambur akan dibandingkan dengan berkas cahaya referensi untuk menghitung potensial zeta.

Perhitungan potensial zeta dilakukan dengan persamaan Doppler untuk hamburan cahaya:

$$\omega_D = \vec{q} \bullet \vec{V} \quad (4)$$

$$\mu_e = \frac{V}{E} \quad (5)$$

Dimana w_D adalah pergeseran frekuensi Doppler, q adalah vektor hamburan, dan V adalah kecepatan partikel, μ_e adalah mobilitas elektroforetik, dan E adalah kuat medan listrik.

Potensial zeta didapatkan dari data mobilitas elektroforetik menggunakan persamaan Henry:

$$\mu_e = \frac{2 \cdot \epsilon \cdot z \cdot f(k \cdot \alpha)}{3 \cdot \eta} \quad (6)$$

Persamaan Henry memodelkan mobilitas elektroforetik partikel sferis, dimana ε adalah konstanta dielektrik, z adalah potensial zeta, η adalah viskositas medium. Fungsi Henry f(kα) yang umum digunakan berdasarkan pendekatan Smoluchowski atau Hückel, dimana α adalah radius partikel, dan k adalah parameter Debye atau tebal lapisan ion ganda. Pendekatan Smoluchowski mempunyai nilai fungsi Henry maksimum 1.5 dan berlaku pada sistem dispersi dengan medium polar, dimana lapisan ion ganda akan lebih tebal dengan banyaknya ion yang tersedia dalam medium. Pendekatan Hückel diterapkan pada sistem dispersi dengan medium nonpolar dan mempunyai nilai fungsi Henry maksimum 1, dimana sedikitnya ion pada medium akan menyebabkan tebal lapisan ion ganda lebih tipis dibandingkan dengan lapisan ion ganda pada medium polar [8].

1.3 Pengukuran Bobot Molekul

Selain ukuran partikel dan potensial zeta, instrumen hamburan cahaya juga dapat dimanfaatkan untuk pengukuran bobot molekul dengan teknik *static light scattering*. Pada teknik ini, digunakan plot Debye yang dibuat dengan mengukur intensitas hamburan cahaya pada sudut tertentu (umumnya instrumen komersil menggunakan sudut 90°) dengan beberapa konsentrasi sampel [9].

Dari plot Debye yang terbentuk, akan didapat nilai gradien plot yang disebut koefisien virial kedua. Koefisien ini akan dimasukkan dalam persamaan di bawah ini untuk mendapatkan bobot molekul:

$$\lim_{\theta \to 0} \frac{Kc}{\Delta R_\theta} = \frac{1}{M_w} + 2A_2 c \quad (7)$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Dimana K adalah konstanta Debye, c adalah konsentrasi sampel, R_θ adalah rasio Rayleigh, M_w adalah bobot molekul, dan A_2 adalah koefisian virial kedua [10].

Pengukuran bobot molekul juga memungkinkan untuk dilakukan dengan teknik *dynamic light scattering* menggunakan persamaan Mark-Houwink-Sakurada sebagai berikut:

$$D_t = kM^{\alpha} \tag{8}$$

Dimana D_t adalah koefisien difusi dan M adalah bobot molekul. Konstanta k dan α diperoleh secara empiris dan khas untuk masing-masing partikel dan medium sistem dispersi yang digunakan [11][12].

Dikarenakan pengukuran bobot molekul dengan teknik *dynamic light scattering* memerlukan data empiris yang cukup banyak, instrumen hamburan cahaya komersil biasanya hanya mengakomodasi pengukuran bobot molekul dengan teknik *static light scattering,* meskipun jika diinginkan pengukuran yang lebih akurat dan untuk partikel non-sferis, teknik *dynamic light scattering* dapat dipertimbangkan.

2 Diskusi

Teknik-teknik pengukuran menggunakan hamburan cahaya umumnya mengharuskan partikel berada dalam sistem dispersi, sehingga satu partikel yang sama bisa jadi akan menghasilkan data pengukuran yang berbeda untuk satu parameter.

Medium dispersi yang digunakan akan mempengaruhi viskositas system dispersi dan laju difusi partikel, dimana laju difusi berbanding terbalik dengan viskositas. Oleh karena itu, penting bagi pengguna untuk melakukan pengukuran pada medium dispersi yang sesuai dengan tujuan penggunaan partikel.

Hal ini terutama berlaku untuk material biomedis, dimana medium dispersi yang banyak digunakan mengandung garam, yang akan membentuk lapisan ion yang dapat mempengaruhi ukuran partikel yang terdeteksi pada instrumen. Selain garam, media biologis seperti darah, urin, dan medium komersil umumnya mengandung protein yang mempunyai muatan permukaan. Adanya muatan ini seringkali membuat protein berkumpul di permukaan partikel dan membentuk lapisan. Lapisan ini dapat menarik protein-protein lain untuk membentuk lapisan baru sehingga ukuran partikel yang terukur bisa sangat besar melebihi ukuran aslinya; peristiwa ini dikenal dengan istilah korona.

Aglomerasi dan agregasi merupakan peristiwa lain yang patut diperhatikan dalam pengukuran sistem dispersi. Aglomerasi merupakan kumpulan partikel yang hanya saling menempel di permukaan masing-masing satuan partikel, sehingga bentuk satuan partikel tersebut masih dapat dikenali. Aglomerasi mudah ditangani dengan ultrasonikasi sebelum pengukuran. Lain halnya dengan agregasi, dimana partikel-partikel tidak lagi hanya menempel di permukaan, namun sudah berdifusi menjadi bentuk baru sehingga bentuk satuan partikel tidak lagi dapat dikenali. Agregasi biasanya ireversibel, sehingga harus dibuat sampel baru dengan mempertimbangkan medium dispersi alternatif.

Viskositas total sistem dispersi perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi hasil perhitungan ukuran partikel pada persamaan (1). Umumnya instrumen hanya memperhitungkan viskositas medium dispersi yang digunakan dari *database* yang ada atau *input manual* dari pengguna, sehingga pengukuran dilakukan dengan konsentrasi partikel rendah (< 1%) agar konsentrasi partikel tidak terlalu mempengaruhi viskositas total sistem dispersi.

Karena pengukuran potensial zeta menggunakan medan listrik, pengguna harus memastikan medium dispersi memiliki konduktivitas yang baik. Medium dispersi dengan konduktivitas yang buruk seperti air akan membuat elektroda pada instrumen terpolarisasi sehingga sinyal voltase yang terukur tidak konstan dan pengukuran terganggu. Perlu diperhatikan pula untuk penggunaan medium dengan konduktivitas yang terlalu tinggi juga memiliki resiko membuat sampel terdegradasi atau membuat elektroda cepat rusak. Medium biologis berupa buffer umumnya merupakan medium yang baik untuk pengukuran potensial zeta.

Pengukuran potensial zeta terutama sangat dibutuhkan dalam bidang material biomedis, dimana muatan permukaan akan menentukan efek partikel pada komponen biologis. Potensial zeta yang negatif menyebabkan gaya tolak antarpartikel lebih kuat sehingga dapat mencegah agregasi yang tidak diinginkan. Selain mencegah agregasi, target biologis seperti jaringan dan sel mempunyai muatan permukaan yang berbeda yang dapat mempengaruhi *uptake* partikel. Suatu target biologis juga dapat memiliki mekanisme *uptake* yang berbeda untuk partikel dengan muatan permukaan tertentu, sehingga penting bagi pengguna untuk menyesuaikan muatan permukaan partikel dengan target biologisnya.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

3 Kesimpulan

Instrumen hamburan cahaya merupakan alat yang sangat berguna dalam karakterisasi partikel dikarenakan kemampuannya untuk mengukur beberapa parameter yang berbeda dengan sumber cahaya yang sama, seperti ukuran partikel, potensial zeta, bobot molekul, dan parameter reologi. Pengukuran potensial zeta dan parameter reologi terutama sangat dibutuhkan dalam bidang biomedis dan material yang akan digunakan langsung oleh konsumen.

4 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi Institut Teknologi Bandung (PPNN ITB) sebagai penyedia instrumen hamburan cahaya, Damar Rastri Adhika (Teknik Fisika ITB), dan Yuniwarty (Fisika ITB).

5 Daftar Pustaka

Pada teks, dafar pustaka harus disitasi dengan menuliskan no urut daftar pustaka

Contoh penulisan daftar pustaka :

[1] L. Øgendal, Light Scattering: a brief introduction, Copenhagen: University of Copenhagen, 2017, pp. 3.
[2] G. Metcalfe, M. F. M. Speetjens, D. R. Lester, H. J. H. Clercx, “Beyond Passive: Chaotic Transport in Stirred Fluids,” Advances in Applied Mechanics, vol. 45, pp. 109-188, 2012.
[3] R. C. Murdock, et al., “Characterization of nanomaterial dispersion in solution prior to in vitro exposure using dynamic light scattering technique,” Toxicological Sciences, vol. 101, pp. 239–253, 2008.
[4] D. A. Boas, Diffuse Photon Probes Of Structural And Dynamical Properties Of Turbid Media: Theory And Biomedical Applications, Pennsylvania: University of Pennsylvania, 1996, pp. 91-142
[5] Center for optical and laser materials research, Zeta potential measurement principle (Laser Doppler Electrophoresis). Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2014.
[6] W. I. I. Goldburg, “Dynamic light scattering,” American Journal of Physics, vol. 67, pp. 1152–1160, 1999.
[7] R. J. Hunter, Zeta potential in colloid science: principles and applications, London: Academic Press, 1981, pp. 1–2.
[8] S. Bhattacharjee, “DLS and zeta potential – What they are and what they are not?,” Journal of Controlled Release, vol. 235, pp. 337-351, 2016.
[9] P. J. Wyatt, Method and apparatus for characterizing solutions of small particles. U.S. Patent No. 7,294,513, 2007.
[10] P. J. Wyatt, Method for measuring the 2nd virial coefficient. U.S. Patent No. 6,411,383, 2002.
[11] E. Saldıvar-Guerra, E. Vivaldo-Lima, Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing, First Edition, John Wiley & Sons, Inc, 2013, pp. 364-365.
[12] K. Ito, T. Ukai, “Determination of Mark-Houwink-Sakurada Constants for Measurements of the Molecular Weights by Gel Permeation Chromatography I. On the Generalization of Mathematical Procedure,” Polymer Journal, vol. 18, pp. 593-600, 1986.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Evaluasi Performa metode Deep Learning untuk Klasifikasi Citra Lesi Kulit The HAM10000

[1]Harits Abdurrohman*), [1] Robih Dini& [2]Arief Purnama Muharram

[1]Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya

[2]Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

(cooresponding author) harits.abdr@gmail.com)*

Abstrak

The HAM10000 Dataset merupakan koleksi besar citra dermatoskopi untuk lesi kulit berpigmen yang umum. The HAM10000 Dataset terdiri atas 10.015 data citra lesi kulit berpigmen yang terbagi untuk penyakit Bowen, karsinoma sel basal, benign keratosis-like lesion,dermatofibroma, melanoma, melanocytic nevi, dan lesi vaskular. Data citra yang terdapat dalam dataset telah terkonfirmasi baik melalui histopatologi, pemeriksaan follow-up, konsensus pakar, maupun konfirmasi melalui in-vivo confocal microscopy. Pada penelitian ini kami melakukan pengujian performa terhadap model deep learning dan melakukan evaluasi. Tahap pre-processingcitra meliputi analisis distribusi citra pada setiap kelas lesi, pengelompokan ulang kelas lesi berdasarkan letak pada bagian tubuh, dan augmentasi citra. Oleh karena keterbatasan data citra setelah dilakukan analisis distribusi maka model yang dibangun pada penelitian ini hanya berfokus pada kelas lesi untuk abdomen, punggung, ekstremitas atas dan bawah. Evaluasi ini dilakukan terhadap beberapa metode yang terkenal InceptionV3, MobileNet dan MobileNetV2. Ukuranperforma yang dilakukan meliputi analisis confusion matrix yakni dengan mengambil nilai precision dan recall, dan f1-score.

Kata Kunci: Deep Learning, Performance, The HAM10000 Dataset, Skin Lesion

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dermatoskopi digunakan untuk membantuk melakukan diagnosa terhadap lesi kulit berpigmen sebagai pembanding dari pemeriksaan dari mata telanjang [8]. Untuk melakukan diagnosa terhadap lesi kulit, ada beberapa cara yang dapat dilakukan yakni dengan histopatologik. Histopatologikmerupakan teknik pemeriksaan mikroskopik terhadap suatu jaringan untuk melihat perkembangan dari suatu penyakit dimana jaringan tersebut sudah dipindahkan dalam suatu wadah yang diberi pengawet untuk mencegah pembusukan. Selain histopatologik, metode lain yang dapat dilakukan adalah dengan in-vivoconfical microscopy. Teknik ini merupakan teknik pencitraan dengan resolusi mendekati tingkat sel yang pada umumnya facial benign keratoses terbantu dengna metode ini [11]. Lesi kulit terkadang membutuhkan waktu 1.5 hingga 3 tahun untuk mengetahui dan membuktikan bahwa lesi kulit tersebut jinak. Pemeriksaan ini disebut dengan pemeriksaan follow-up. Sedangkan cara lain adalah melakukan konsensus kepada para ahli.Lesi dengan jenis ground-truth ini biasanya difoto untuk alasan pendidikan dan tidak perlu tindak lanjut atau biopsi untuk konfirmasi[13].

The HAM10000 (Human Against Machine) dataset merupakan dataset yang berisi citra dermatoskopikuntuk lesi kulit berpigmen umum. Kumpulan citra ini dikumpulkan selama 20 tahun dari dua tempat berbeda, yakni dari Departemen Dermatologi di Medical university of Vienna, Austria dan praktik kanker kulit Cliff Rosendahl di Queensland, Australia. Dataset ini terdiri dari 10.015 citra dermatoskopik [13]. Tujuan dari dibentuknya dataset ini sendiri sebagai data latih bagi machinelearning untuk kebutuhan akademik. Data yang diperoleh ini telah divalidasi oleh para ahli dengan empat jenis validasi yakni histopatologi, konfokal, konsensus pakar dan pemeriksaan follow-up.Dengan jumlah data yang banyak, the HAM10000 dapat dijadikan sebagai data latih untuk metode machine learning.

Machine learning terdiri dari beberapa sub bagian, yakni supervised, unsupervised dan reinforcement learning Masing-masing bagian memiliki pendekatannya sendiri. Algoritme supervisedlearning terbagi lagi menjadi beberapa subberdasarkan pendekatannya, yaitu logic-based algorithms, perceptron-based algorithms, dan statistical learning algorithms [6]. Dalam pengembangannya, metode dari machine learning tersebut berubah sesuai dengan kebutuhan atau mengikuti dari bentuk data yang tersedia, seperti sequential, time series, berupa teks maupun foto. Pada tahun 1986, istilah deep learning muncul sebagai salah satu dari metode machine learningoleh Rina Dechter [2] kemudian beralih ke subbagian lain terkhusus perceptron-based algorithms, yakni jaringan syaraf tiruan.

Pada tahun 1998, Yann LeCun merancang sebuah arsitektur yang disebut dengan convolutional neural network yang bekerja dengan data berupa citra [7]. Convolution neural network sendiri terdiri dari layer konvolusi yang mengekstraksi tekstur dari sebuah citra. Diikuti dengan backpropagation untuk memperbarui bobotnya.Seiring berjalannya waktu, arsitektur dari deep learning semakin beragam. Salah satunya adalah inception V3 yang merupakan arsitektur pertama dengan parameter yang lebih sedikit dan komputasi yang efisien [12]. Pada inception V3 ini ada faktorisasi untuk mengurangi parameter. Meskipun komputasinya sudah rendah, inception V3 tidak dapat digunakan pada perangkat dengan ruanglingkup komputasi rendah. Pada tahun 2017,

Mobilenet diciptakan oleh Google untuk menjawab masalah tersebut. Mobilenet mempunyai layer khusus yang disebut dengan depthwise separable convolution. Layer depthwise separable convolution ini digunakan untuk mereduksi kompleksitas dan lebih sedikit parameter sehingga menghasilkan model yang lebih ukurannya. Perkembangan lebih lanjut dari mobilenet adalah mobilenet V2. Pada mobilenet V2, dua fitur terbarunya adalah linear bottleneck pada setiap layer dan koneksi shortcutantara bottlenecks [9].

1.2 Tujuan

Merujuk pada penelitian Binder pada tahun 1994 [1], bahwa citra dermatoskopi dapat digunakan sebagai data latih untuk jaringan syaraf tiruan, maka pada penelitian ini kami melakukan eksperimen yang serupa namun dengan modelyang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji ketiga model deep learning (mobilenet V1, mobilenet V2, dan inception V3) dalam melakukan klasifikasi jenis lesi kulit berpigmen umum. Adapun pengukuran yang dilakukan denganmembandingkan nilai precision, recall dan F-1 score serta analisis dari confusion matrix

2 Landasan Kepustakaan dan Metodologi Penelitian

2.1 Factorizing Convolutions

Factorizing convolutions merupakan novelty yang dihadirkan pada model deep learning inception. Factorizing convolutions melakukan faktorisasi terhadap kernel konvolusi. Tujuan dari faktorisasi ini untuk mereduksi jumlah dari parameter yang dihasilkan dari setiap layer [12]. Faktorisasi ini bisa dilakukan dengan dua cara yakni:

1 Faktorisasi menjadi konvolusi yang lebih kecil. Proses yang dilakukan adalah mengganti ukuran kernel konvolusi menjadi ukuran yang lebih kecil. Sebagai contoh jika menggunakan filter berukuran 5 × 5 akan menghasilkan 25 parameter. Filter ini bisa digantikan dengan menggunakan 2 kernel berukuran 3 × 3 dan menghasilkan 18 parameter saja, dimana hal tersebut mereduksi jumlah parameter sebanyak 28%.

2 Faktorisasi menjadi konvolusi yang asimetrik. Berbeda dengan faktorisasi sebelumnya, faktorisasi ini membagi ukuran kernel dengan faktornya. Sebagai contoh filter dengan ukuran kernel 3 × 3 difaktorisasi menjadi 3 × 1 dan 1 × 3. Ketika filter dengan kernel berukuran 3 × 3 menghasilkan 9 parameter, dua filter hasil faktorisasinya yakni 3 × 1 + 1 × 3 menghasilkan 6 parameter, yang berarti jumlah parameter tersebut tereduksi sebanyak 33%

2.2 Depthwise Separable Convolution

Depthwise separable convolution merupakannovelty yang dihadirkan pada model mobilnet V1.Depthwise separable convolution merupakan sebuah blok pada deep learning yang terdiri dari depthwise convolution dan pointwise convolution.Tujuan dari depthwise separable convolution ini untuk mereduksi komputasi dan ukuran dari model [4]. Depthwise separable convolution sendiri diciptakan pada tahun 2014 sebagai disertasi [10]. Depthwise convolution merupakan hasil faktorisasi dari konvolusi standar. Dari N jumlah input, depthwise convolution melakukan prosesnya untuk setiap kanalnya. Sebagai contoh, input dari layer depthwise convolution ada 10 kanal, maka akan menghasilkan 10 hasil konvolusi baru. Pointwise convolution merupakan kernel dengan ukuran 1 × 1 yang digunakan untuk menggabungkan seluruh hasil konvolusi dari depthwise convolution.Berikut adalah total biaya operasi yang dilakukan, dimana bagian kiri adalah depthwise convolutiondan bagian kanan adalah pointwise convolution:

$$Dk \cdot Dk \cdot M \cdot DF \cdot DF + M \cdot N \cdot DF \cdot DF \quad (1)$$

Dimana Dk adalah ukuran atau dimensi dari kernel, M adalah jumlah kanal input, N adalah jumlah dari kanal output dan DF adalah ukuran dari fitur atau filter. Sedangkan untuk konvolusi standar, biaya komputasinya adalah sebagai berikut:

$$Dk \cdot Dk \cdot M \cdot N \cdot DF \cdot DF \quad (2)$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pada konvolusi standar, operasi konvolusi dilakukan oleh setiap filter dengan seluruh kanal. Dengan melakukan faktorisasi ini, depthwise separable convolution mereduksi biaya komputasi tersebut. Berikut adalah reduksi dari komputasi yang dilakukan oleh depthwise separable convolution:

$$\frac{D_k \cdot D_k \cdot M \cdot D_F \cdot D_F + M \cdot N \cdot D_F \cdot D_F}{D_k \cdot D_k \cdot M \cdot N \cdot D_F \cdot D_F} = \frac{1}{N} + \frac{1}{D_k^2} \quad (3)$$

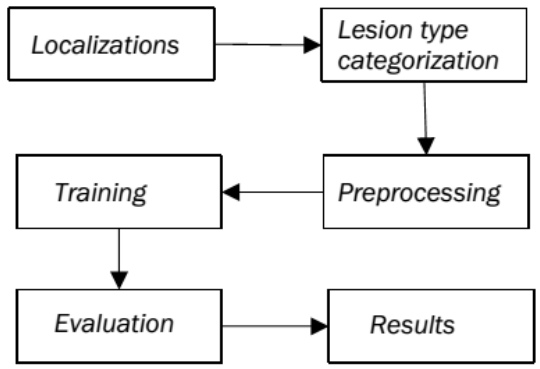
Maka dapat dikatakan jika ukuran dari kernel $Dk \times Dk$ adalah 3 × 3, maka komputasinya akan tereduksi 8 hingga 9 kali lebih sedikit.

2.3 Linear Bottlenecks

Linear bottlenecks adalah sebuah blok yang diciptakan pada model mobilenet V2. Linear bottleneck menggunakan depthwise separable convolution untuk membantu dalam mereduksi komputasi. Linear bottleneck sendiri dibentuk dari blok yang berkebalikan dari residual block, yakni inverted residual block. Residual block membantu untuk mengembalikan informasi yang hilang saat aktivasi oleh ReLU dengan menggunakan skip connection[3]. Linear bottleneck menghapus aktivasi ReLU di akhir proses inverted residual block. Sehingga informasi yang diberikan tidak ada yang hilang.

2.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang kami kerjakan antara lain adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, dalam mengolah dataset The HAM10000 yang pertama kali dilakukan adalah melakukan lokalisasi, yakni membagi data sesuai dengan lokasi tubuh yang ada. Adapun dari beberapa bagian yang diberikan, pada penelitian ini kami memilih empat lokasi tubuh, yaitu perut(abdomen), ekstremitas atas, ekstremitas bawah dan punggung. Kedua, setelah melakukan lokalisasi, pada masing-masing lokasi tersebut kami membaginya berdasarkan kategori tipe lesinya. Adapun tipe lesi kulit yang digunakan adalah penyakit Bowen, karsinoma sel basal, Benign keratosis-like lesion, melanoma,dermatofibroma, melanocytic nevi, dan lesi vaskular. Ketiga, kami melakukan preprocessing terhadap data yang telah dibagi tersebut karena persebarannya yang tidak merata pada setiap kelas. Preprocessing yang dilakukan adalah melakukan augmentasi data. Augmentasi data adalah proses penggandaan data dengan melakukan translasi, transformasi, penambahan noise, rotasi, pembesaran, atau flipping [5].Augmentasi data membantu untuk menambah data jika datanya terlalu sedikit untuk kebutuhan deep learning. Masing-masing citra juga diubah ukurannya menjadi 224 × 224 piksel. Keempatmelakukan proses pelatihan terhadap model dari deep learning. Adapun proses yang dilakukan disamakan untuk semua model yang diujikan.Proses pelatihan dilakukan hingga nilai dari learning rate yang dihasilkan telah mencapai 0.00001. Proses pelatihan dilakukan di masingmasing lokasi yang telah dibagi. Kelima adalah evaluasi dari masing-masing model untuk setiap lokasi lesi kulit. Pada bagian ini kami mencoba melakukan analisis terhadap confusion matrix yang dihasilkan serta satuan metrik pengujian yakni precision, recall, dan F-1 score. Terakhir, kami menyajikan hasilnya dalam pembahasan.

3 Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini kami menyampaikan hasil dari evaluasi dalam penelitian ini.

3.1 Performa

Hasil pengujian terhadap performa dari ketiga model ditampilkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4. Ketiga metrik pengujian ini memiliki tujuannya masing-masing. Recall menunjukkanjumlah objek dalam suatu kelas secara aktual dan prediksi adalah benar atau sama sedangkan precision menunjukkan jumlah objek yang dipilih adalah benar. F-1 score menunjukkan rata-rata harmonik dari recall dan precision. Dalam kehidupan nyata jika nilai recall terlalu rendahmaka akan sangat berbahaya jika diaplikasikankarena recall menentukan suatu objek dikenali sebagai objek yang berbahaya atau tidak. Precisionakan baik digunakan jika model dapat membedakan antara aktual negatif dengan aktual positif. Jika aktual negatif diprediksi banyak diprediksi dengan benar oleh model, maka kemungkinan suatu objek yang tidak

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

berbahaya dapat dikenali sebagai objek yang berbahaya. F-1 score membantu mengetahui kemampuan model dalam mengenali false negative dan false positive.

Tabel 1 Nilai rata-rata pengujian pada abdomen

	Precision	*Recall*	*F1-score*
Mobilenet	0.76	0.32	0.37
Mobilenet V2	0.69	0.81	0.75
Inception V3	0.77	0.80	0.76

Tabel 2 Nilai rata-rata pengujian pada punggung

	Precision	*Recall*	*F1-score*
Mobilenet	0.71	0.69	0.65
Mobilenet V2	0.66	0.62	0.60
Inception V3	0.55	0.65	0.58

Tabel 3 Nilai rata-rata pengujian pada ekstremitas bawah

	Precision	*Recall*	*F1-score*
Mobilenet	0.85	0.71	0.73
Mobilenet V2	0.62	0.69	0.62
Inception V3	0.65	0.59	0.61

Tabel 4 Nilai rata-rata pengujian pada ekstremitas atas

	Precision	*Recall*	*F1-score*
Mobilenet	0.66	0.66	0.64
Mobilenet V2	0.51	0.54	0.52
Inception V3	0.55	0.51	0.50

Dari hasil pengujian yang dilakukan, nilai precision terendah ada pada lokasi ekstremitas atas dengan nilai hanya 51% dapat mengenali tipe lesi kulit pada model Mobilenet V2. Nilai recall paling rendah dihasilkan oleh model mobilenet pada lokasi abdomen dengan nilai 32%. Ini menunjukkan model buruk dalam mengenali tipe lesi kulit. Nilai F-1 score terendah ada pada model mobilenet pada lokasi abdomen. Nilai ini menujukkan bahwa model ini memiliki nilai false negative dan false positive yang besar.

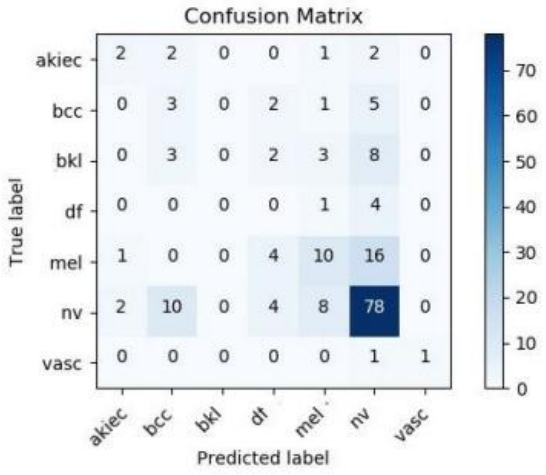
Sedangkan untuk nilai terbaik pada precision ada pada model mobilenet di lokasi ekstremitas bawah dan recall terbaik ada pada model mobilenet V2 di lokasi abdomen. Untuk nilai F-1 score terbaik ada pada model inception V3 pada lokasi abdomen.

Nilai-nilai ini dapat memberikan gambaran bahwa model yang dibangun belumlah baik. Oleh karena itu dari nilai-nilai tersebut, kami melakukan analisis dari confusion matrix yang dihasilkan.

3.2 Analisis

Analisis dilakukan dengan merujuk pada confusion matrix yang dihasilkan oleh masing-masing model.Pada penelitian kami memfokuskan pada nilai terburuk dan terbaik dari pengujian performa yang telah dilakukan.

Pre

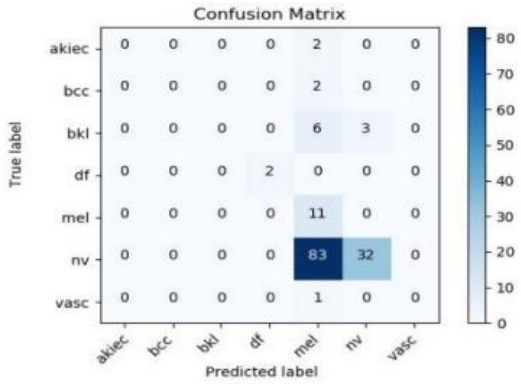


Gambar 2 Confusion martrix ekstremitas atas mobilenet V2

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan model dapat mengenali lesi kulit nevi dan untuk beberapa tipe lesi lainnya dikenali salah, yakni pada dermatofibroma, benign keratosis-like lesion, dan melanoma. Pada model ini, melanoma hanya dapat dikenali sebanyak 62.5% sedangkan jenis tipe lesi dermatofibromadan benign keratosis-like lesion bernilai 0%. Model ini tidak dapat mengenali citra lesi tersebut dengan baik dikarenakan oleh jumlah data yang terlalu sedikit atau ada kemiripan dari tesktur dengan kelas yang dikenalinya.

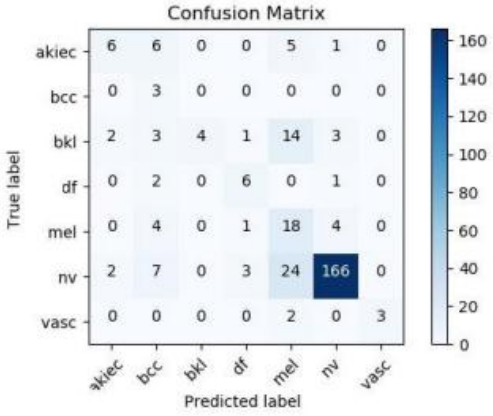
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Abdomen V1 recall



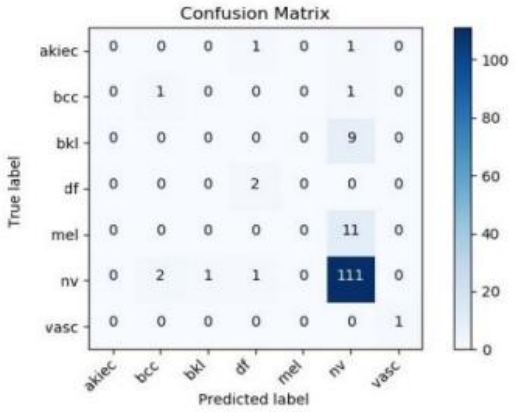
Gambar 3 Confusion matrix abdomen mobilenet

Pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa model mobilnet untuk abdomen sangatlah buruk dengan hanya ada tiga kelas saja yang dapat dikenali dengan baik. Citra lesi nevi banyak diklasifikasikan sebagai melanoma, yang berarti model ini mempunya false negative error yang tinggi. Model ini tidak baik digunakan pada kasus nyata.



Gambar 4 Confusion matrix ekstremitas bawah mobilenet

Gambar 4 merupakan contoh dari model yang baik karena semua kelas dapat dikenali dengan baik dengan nilai galat yang lebih sedikit dibandingkan dengan model pada Gambar 2 dan Gambar 3. Model tersebut dapat mengenali karsinoma sel basal dengan baik. Nilai galat paling besar ada pada kelas benign keratosis-like lesion, dengan nilai false negative error sebesar 85.18%. Dari model ini juga dapat diambil kesimpulan bahwa citra lesi melanoma berbagi nilai fitur yang sama terhadap citra lesi lainnya yang menyebabkan model memiliki kecenderungan mengidentifikasi sebuah citra lesi dengan melanoma.



Gambar 5 Confusion matrix abdomen mobilenet V2

Gambar 5 memiliki hasil yang sama dengan Gambar 3, hanya saja nilai recall yang dihasilkan lebih tinggi. Hal ini berkat model dapat mengenali tipe lesi nevi dengan baik. Namun hal tersebut tidak diikuti dengan precision yang baik. Dengan hanya 4 kelas yang dapat dikenali, model ini tidak layak digunakan pada kehidupan nyata, karena akan berbahaya jika suatu lesi tidak dikenali sama sekali oleh model tersebut.

4 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah model yang baik adalah model dengan nilai F-1 score terbaik, karena hal tersebut menentukan nilai dari precision dan recall dari model yang bersangkutan. Namun pada realitanya, nilai tersebut perlu dibuktikan dengan confusion matrix.Dari penelitian kami menyimpulkan model terbaik ada pada mobilenet untuk lokasi ekstremitas bawah, ekstremitas atas, dan punggung. Kemudian model mobilenet V2 untuk lokasi abdomen. Masingmasing lokasi tidak dapat diambil model yang terbaik karena jumlah data yang digunakan juga berbeda. Ketiga model baik mobilenet, mobilenet V2 dan inception V3 masing-masing memiliki keunggulannya sendiri, tapi karena terbatas oleh dataset yang rendah dengan sedikit variasi menyebabkan nilai yang diperoleh jauh dari ekspektasi sebelumnya. Hasil dari model penelitian tidak dapat digunakan untuk kasus nyata terkait masih banyaknya hal yang perlu dianalisis lebih lanjut.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan dataset The HAM10000 dengan langsung membaginya berdasarkan kategorinya saja karena informasi seperti testur dari kulit tidak dapat diekstraksi dengan model deep learning jika input atau ukuran dari citra tersebut berukuran 224 × 224 piksel. Saran lain berupa membuat model yang dibangun atas layer-layer yang ada

pada ketiga model yang diujikan pada penelitian in.

5 Daftar Pustaka

[1] Binder, M. et al., 1994. Application of an artificial neural network in epiluminescence microscopy pattern analysis of pigmented skin lesions: a pilot study. British Journal of Dermatology, 4(130), pp. 460-465.

[2] Dechter, R., 1986. Learning While Searching in Constraint-Satisfaction-Problems. University of California, Computer Science Department, Cognitive Systems Laboratory.

[3] He, K., Zhang, X., Ren, S. & Sun, J., 2016. Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition , pp.770-778.

[4] Howard, A. G. et al., 2017. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint .

[5] Hussain, Z., Gimenez, F., Yi, D. & Rubin, D., 2017. Differential Data Augmentation Techniques for Medical Imaging Classification Tasks. AMIA Annual Symposium Proceedings, Volume 2017, p. 979.

[6] Kotsiantis, S. B., Zaharakis, I. & Pintelas, P.,2007. Supervised machine learning: A review of classification techniques. Emerging artificial intelligence applications in computer engineering, Volume 160, pp. 3-24.

[14]

[7] LeCun, Y., Haffner, P., Bottou, L. & Bengio, Y., 1999. Object recognition with gradient-based learning. Shape, contour and grouping in computer vision, pp. 319-345.

[8] Rosendahl, C., Tschandl, P., Cameron, A. & Kittler, H., 2011. Diagnostic accuracy of dermatoscopy for melanocytic and nonmelanocytic pigmented lesions. J Am Acad Dermatol, Volume 64, p. 1068–1073.

[9] Sandler, M. et al., 2018. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 4510-4520.

[10] Sifre, L. & Mallat, S., 2014. Rigid-motion scattering for image classification. Doctoral dissertation, PhD thesis, Ph. D. thesis.

[11]Stevenson, A. D., Mickan, S., Mallett, S. & Ayya, M., 2013. Systematic review of diagnostic accuracy of reflectance confocal microscopy. Dermatol Pract Concept, Volume 3, p. 19–27.

[12]Szegedy, C. et al., 2016. Rethinking the inception architecture for computer vision. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 2818-2826.

[13]Tschandl, P., Rosendahl, C. & Kittler, H., 2018. The HAM10000 Dataset: A Large Collection of Multi-Source Dermatoscopic Images of Common Pigmented Skin Lesions. arXiv preprint .

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Deteksi Kejenuhan Seluruh Otot Manusia Menggunakan Sensor EMG Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO

Firdhan Tri Abyanto[1)] , Florentinus Budi Setiawan[2)]

Prog.Di Teknik Elektro-Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata

Jl. Pawiyantan luhur IV/1 Bendan Duwur, Semarang, Indonesia

Email : firdhan.triabyanto@gmail.com

Email : fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Pada perkembangan zaman yang pesat ini di butuhkan suatu peralatan medis yang modern, maka pada peper ini menjelaskan tentang *Electromyography* (EMG) dimana untuk mendeteksi listrik yang ada di dalam otot manusia. Untuk adanya suatu aktivitas listrik pada suatu otot manusia dilakukan analisis terhadap rangkaian penguat sinyal. Sinyal ini mempunyai suatu amplituda yang sangat kecil maka dibutuhkan suatu komponen yaitu elektroda gel sebagai media untuk mendeteksi sinyal otot tersebut. Elektroda di tempelkan ke bagian otot yang ingin di ukur. Kemudian sinyal dikuatkan dengan menggunakan rangkaian AD620AN dengan 500 kali penguatan dan komparator pada penggunannya di aplikasikan dalam mode *Inverting* dan *Buffer*. Dalam pengkondisian sinyal dibuat rangkaian *Low Pass Filter* dengan *envelope detector* untuk merata rata sinyal otot yang dikeluarkan menjadi tegangan DC. Pada paper ini membahas tentang aplikasi alat EMG yang berfungsi sebagai pengukur tegangan seluruh otot untuk mendeteksi otot dalam keadaan tegang dan relaksasi dengan bantuan mikrokontroler. Pada output sinyal EMG kemudian menuju ke ADC lalu ke mikrokontroler Arduino uno.

Kata Kunci: electromyography, Otot manusia, *rectifier*, *amplifier*, arduino uno.

1. Pendahuluan

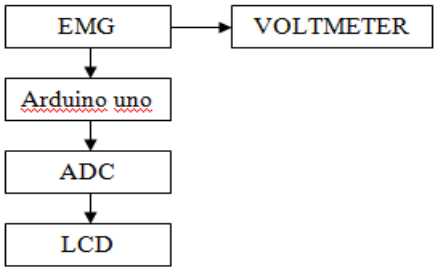
Dalam aktivitas sehari – hari, otot memiliki peranan yang sangat penting untuk menunjang proses kegiatan manusia. Semua aktivitas yang dilakukan manusia menggunakan otot, seperti makan, minum, mandi, berjalan, bahkan tidur. Apabila otot tidak bekerja secara maksimal, maka aktivitas sudah pasti akan terganggu [1][2].

Otot adalah sebuah jaringan konektif dalam tubuh dengan tugas utamanya kontraksi. Kontraksi otot berfungsi untuk menggerakkan bagian-bagian tubuh dan substansi dalam tubuh. Ada tiga macam sel otot dalam tubuh manusia yaitu: jantung, lurik dan polos, namun yang berperan dalam pergerakan kerangka tubuh manusia adalah otot lurik (otot rangka). Kelelahan otot adalah penurunan kemampuan otot untuk menciptakan kekuatan, berkontraksi dan gaya yang dihasilkan berkurang. Elektromiografi (EMG)

adalah teknik medis untuk mengukur respon otot terhadap stimulasi syaraf selama otot berkontraksi, power spectrum EMG bergeser ke arah frekuensi yang lebih rendah, efek ini disebabkan oleh kelelahan otot. Kelelahan otot sering merupakan hasil dari kerja otot yang tidak sehat. Tidak seperti evaluasi khas subjektif, yang biasanya menentukan titik waktu ketika subjek tidak dapat lagi menjalankan tugas, analisis sinyal EMG dapat memberikan informasi pengukuran metabolisme kontinyu di seluruh bagian 2 otot yang menunjukkan kelelahan selama kontraksi. Namun, ambang batas kelelahan otot tidak dapat didefinisikan sebagai fungsi sederhana dari besarnya beban otot dan *timing*, karena karakteristik dan kemampuan otot ervariasi pada setiap individu [1][2].

Dalam rencana desain pembuatan alat ini, sensor yang digunakan adalah sensor EMG untuk mendeteksi sinyal kejenuhan seluruh otot yang sedang bekerja, dari sinyal output EMG maka akan di clamping terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam ADC lalu ke mikrokontroler Arduino uno untuk mengirim data digital ke LCD. kemudian sinyal ini dikuatkan oleh AD620 dan dilewatkan ke filter untuk mendapatkan hasil sinyal yang diperlukan dan menggunakan output LCD dan voltmeter tersebut berfungsi untuk mengecek presentase baterai 1 dan baterai 2. Berikut blok diagram dari perancangan system.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Alat.

2. Dasar Teori

2.1 EMG (*Electromyography*)

EMG adalah teknik untuk memeriksa dan merekam aktivitas sinyal otot. Pengukuran sinyal EMG dilakukan dengan instrument bernama elektromiograf, dan sedangkan hasil rekamannya dinamakan elektromiogram. Elektromiograf mendeteksi listrik yang dihasilkan otot ketika otot ini aktif dan non aktif. Dan untuk menghasilkan suatu sinyal EMG dimana otot akan mengalami tahapan yaitu membrane potensial, muscle fiber action potensial ditambah noise dan artifact sehingga menghasilkan suatu kumpulan yang disebut MUAP (*Motor Unit Action Potential)* [4][6] [7][8][9].

2.2 Elektroda

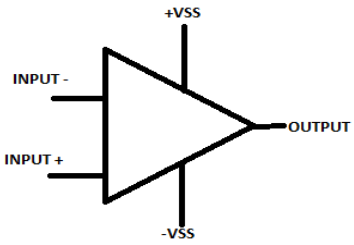
Pada pengukuran ini peran yang sangat penting yaitu elektroda, karena dimana pertama masuknya sinyal otot yang akan dibaca oleh alat ini, fungsi dari komponen ini sebagai penghantar sinyal untuk mengirimkan sinyal ke tubuh yaitu dengan cara ditempelkan.



Gambar 2. Elektroda Perak Klorida dengan Gel

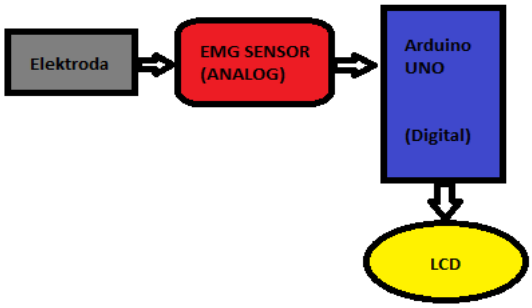
2.3 OP AMP

OP AMP merupakan penguat sinyal masukan baik DC maupun AC juga sebagai penguat diferensiasi impedansi masukan tinggi dan penguat keluaran impedansi rendah [2] [4].



Gambar 3. Penguat Operasional

3. Perancangan Alat



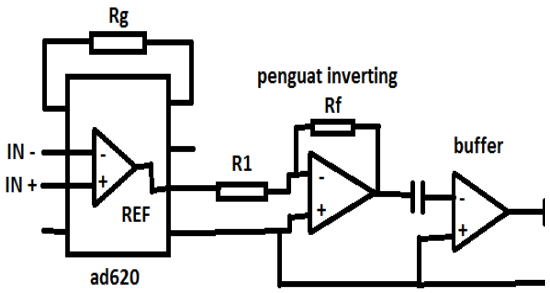
Gambar 4. Diagram Blok Alur Sinyal EMG

Pada gambar diatas terdapat blok diagram alur sinyal EMG yang dimana dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian rangkaian analog dan rangkaian digital.

3.1 Rangkaian Analog

Pada rangkaian ini EMG sensor di fungsikan sebagai rangkaian analog. Pada rangkaian analog ini terdapat sebuah komponen yaitu AD260 AN yang berfungsi sebagai penguat sinyal dan TL062 sebagai *inverting* dan *buffer*, serta alat ini memiliki rangkaian *envelope detector* sebagai filter.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 5. Rangkaian EMG

3.1.1 AD 620AN

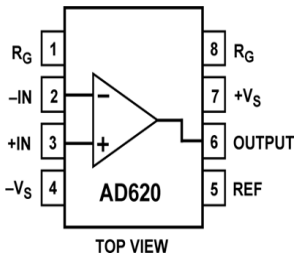
AD 620AN ini merupakan IC yang sering digunakan pada aplikasi pembacaan sinyal EMG dan berfungsi sebagai memperkuat sinyal dan komponen ini memiliki kelebihan tidak rentan terhadap suatu noise, butuh daya yang rendah dan hanya menggunakan satu resistor untuk mengatur penguatannya. Terdapat sebuah rumus untuk menentukan nilai resistor yang digunakan dan penguatan yang dihasilkan [5][10].

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G-1} \qquad (1)\ [11]$$

Keterangan :

RG = Nilai Resistor yang ingin digunakan.

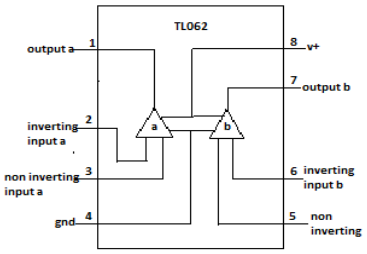
G = Nilai penguatan yang di inginkan.



Gambar 6. AD 620AN

3.1.2 Dual op-amp TL062

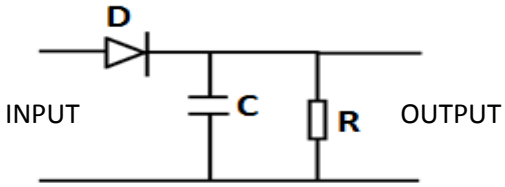
Dalam aplikasi ini IC yang digunakan yaitu sebuah IC TL062, IC ini digunakan dalam mode *inverting* dan *buffer*. Pada mode inverting tujuannya untuk mengatur penguatan sinyal dari AD 620AN dan pada mode *buffer* yang bersamaan dengan diode dan *envelope detector* tujuannya untuk menyearahkan sinyal keluaran yang telah dikuatkan sebelumnya [4].



Gambar 7. IC TL062

3.1.3 Envelope detector

Envelope detector yaitu memiliki tujuan untuk mempertahankan nilai puncak yang dikeluarkan pada tahap pengutan sebelumnya. Pada *envelope detector* memiliki 3 buah komponen yaitu terdiri dari dioda, capasitor dan resistor [4].

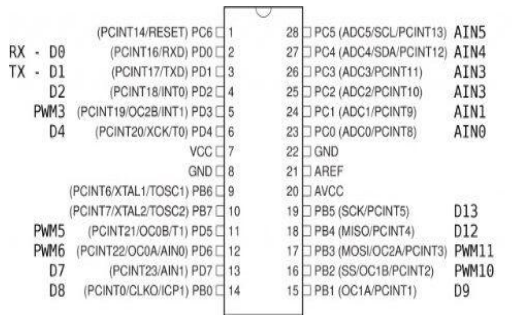


Gambar 8. Rangkaian *Envelope Detector*

3.2 Rangkaian digital

Pada sebuah rangkaian digital menggunakan mikrokontroler Arduino, sebuah board mikrokontroller yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu men-support mikrokontroler; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB [3].

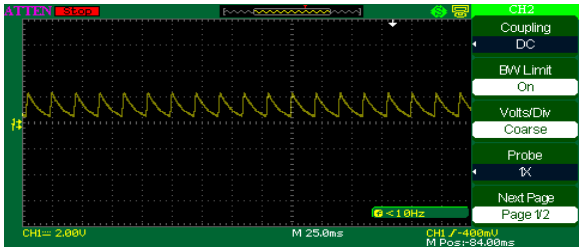
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



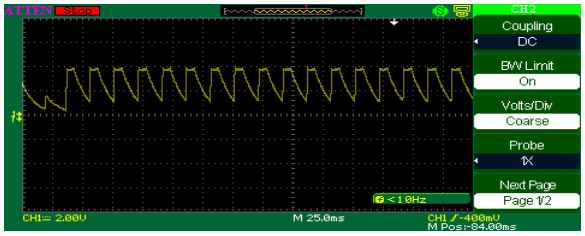
Gambar 9. Konfigurasi Pin Arduino Uno Berbasis ATmega328

4. Hasil Pengujian dan Analisa

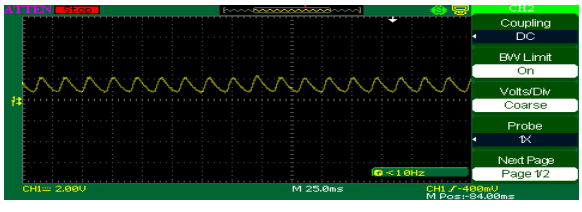
Dibawah ini adalah hasil pengukuran otot dalam keadaan relaksasi serta otot dalam keadaan kontraksi dengan hasil tegangan yang berbeda-beda pada setiap otot, dari 10 titik otot yang berbeda berdasarkan orang yang sama.



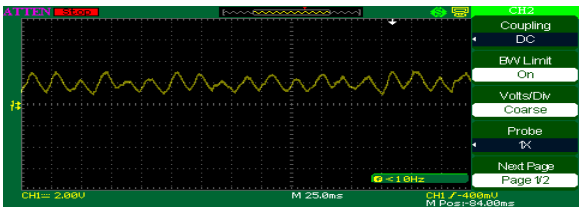
Gambar 10. Otot *Trapezius* Saat Relaksasi Bernilai 1140 mV



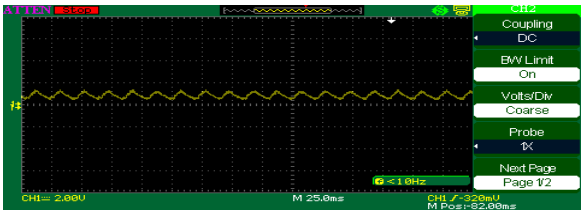
Gambar 11. Otot *Trapezius* Saat Kontraksi Bernilai 3430 mV



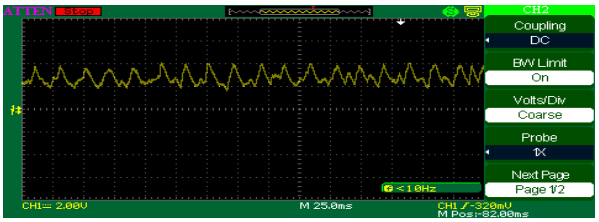
Gambar 12. Otot *Pectoralis Major* Saat Relaksasi Bernilai 960 mV



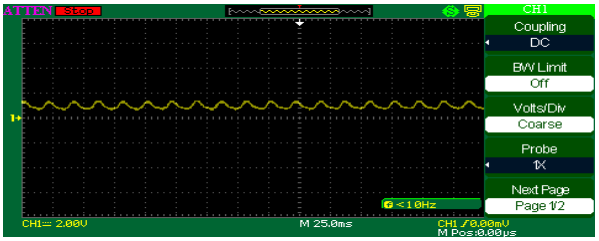
Gambar 13. Otot *Pectoralis Major* Saat Kontraksi Bernilai 1237 mV



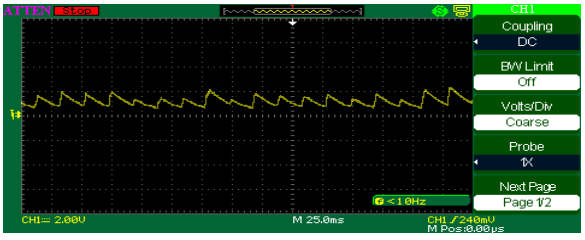
Gambar 14. Otot *Deltoid* Saat Relaksasi Bernilai 170 mV



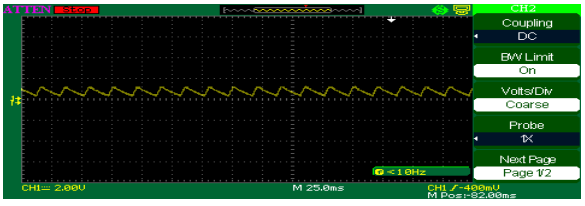
Gambar 15. Otot *Deltoid* Saat Kontraksi Bernilai 1800 mV



Gambar 16. Otot Platysma Saat Relaksasi Bernilai 940 mV

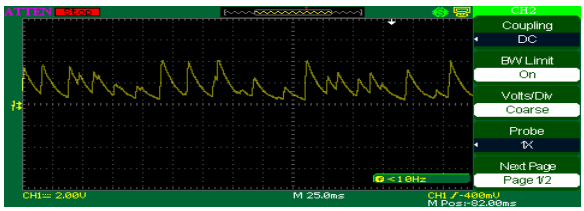


Gambar 17. Otot *Platysma* Saat Kontraksi Bernilai 1740 mV

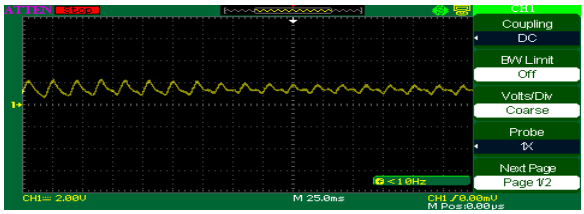


Gambar 18. Otot *Brachioradialis* Saat Relaksasi Bernilai 480 mV

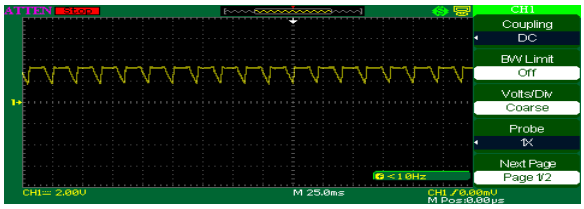
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



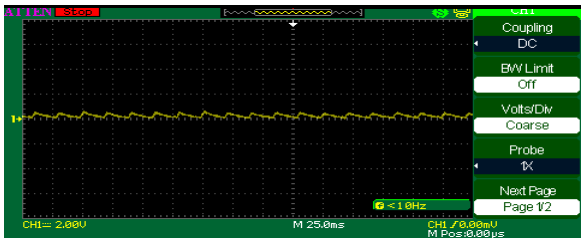
Gambar 19. Otot *Brachioradialis* Saat Kontraksi Bernilai 2180 mV



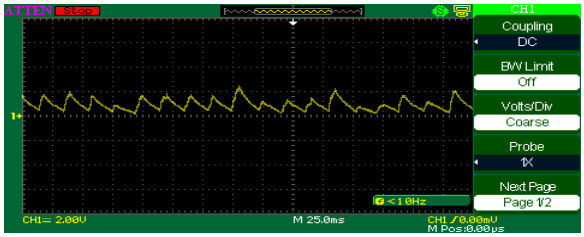
Gambar 20. Otot *Latissimus Dorsi* Saat Relaksasi Bernilai 500 mV



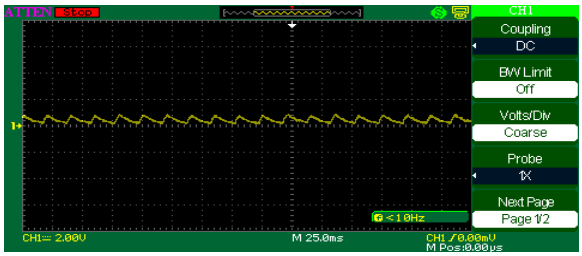
Gambar 21. Otot *Latissimus Dorsi* Saat Kontraksi Bernilai 3320 mV



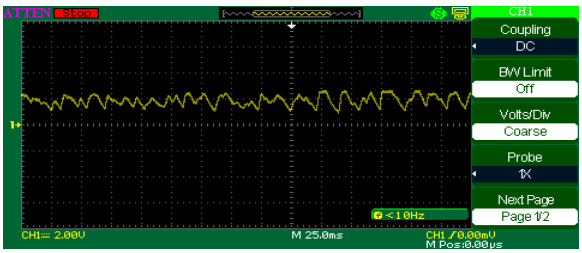
Gambar 22. Otot Rhomboid Saat Relaksasi Bernilai 830 mV



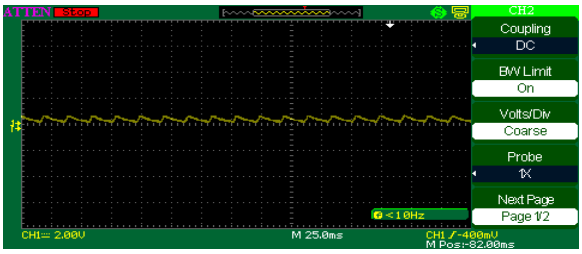
Gambar 23. Otot *Rhomboid* Saat Kontraksi Bernilai 2180 mV



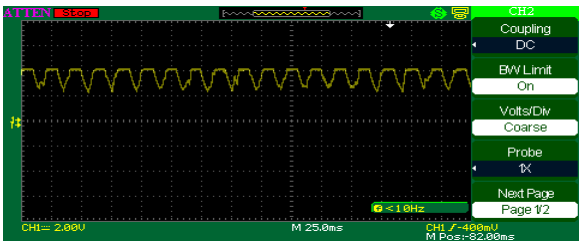
Gambar 24. Otot *Serratus Anterior* Saat Relaksasi Bernilai 800 mV



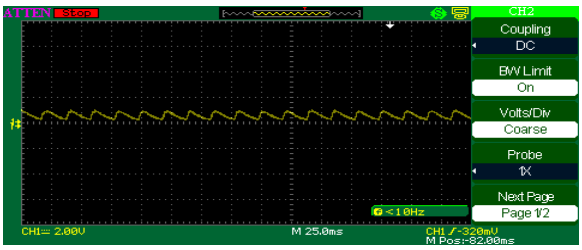
Gambar 25. Otot *Serratus Anterior* Saat Kontraksi Bernilai 2440 mV



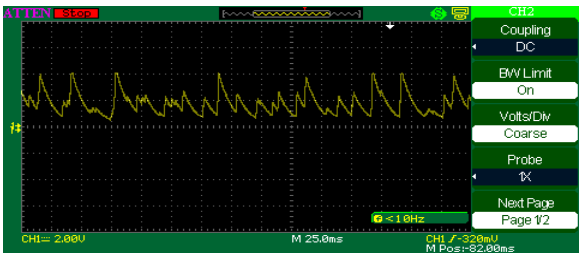
Gambar 26. Otot *Extensor Carpi Ulnaris* Saat Relaksasi Bernilai 740 mV



Gambar 27. Otot *Extensor Carpi Ulnaris* Saat Kontraksi Bernilai 3970 mV



Gambar 28. Otot *Trisep* Saat Relaksasi Bernilai 890 mV



Gambar 29. Otot *Trisep* Saat Kontraksi Bernilai 2530 mV

5. Kesimpulan

Penulis melakukan pengukuran pada 10 titik otot yang berbeda tetapi dalam satu orang yang

sama, dimana nantinya terdapat hasil pengukuran tegangan otot yang berbeda-beda. Sinyal dikuatkan dengan menggunakan rangkaian AD620AN berfungsi sebagai penguat dalam aplikasi EMG dan komparator (TL062) pada penggunannya di aplikasikan dalam mode *Inverting* dan *Buffer*, komparator di pasang dalam mode *inverting*, tujuannya sebagai penguat sinyal, kemudian sinyal di masukkan ke *Buffer Amplifier* yang di beri dioda dan *Envelope Detector* pada keluarannya, Tujuan dari proses penyearahan dan pemfilteran adalah untuk merata-rata sinyal otot yang telah di kuatkan menjadi sinyal DC yang kemudian dapat di baca oleh ADC mikrokontroler Arduino uno/ATmega 328. Sample nilai keluaran yang didapat yaitu ketika otot dalam keadaan relaksasi bernilai 100 mV dan ketika otot keadaan kontraksi bernilai 5000 mV. Jadi pada penelitian ini pada pengukuran otot tidak bisa diukur asal-asalan dan harus mengetahui keberadaan titik otot terlebih dahulu pada seluruh bagian tubuh.

Daftar Pustaka

[1] Rizki Multajam dan Mada Sanjaya, "DESAIN DAN ANALISIS ELECTROMYOGRAPHY (EMG) SERTA APLIKASINYA DALAM MENDETEKSI SINYAL OTOT", ALHAZEN Journal of Physics, Vol. 2, No. 2, 2016.

[2] Yohanes Oxa Wijaya, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Desain dan Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot", Industrial Research Workshop and National Seminar, 2014.

[3] Ai Fitri Silvia, Erik Haritman, Yuda Muladi, "RANCANG BANGUN AKSES KONTROL PINTU GERBANG BERBASIS ARDUINO DAN ANDROID", ELECTRANS, VOL.13, NO.1, 2014.

[4] Ricky Fajar Adiputra, Florentinus Budi Setiawan, "ROBOT ARM CONTROLLED BY MUSCLE TENSION BASED ON ELECTROMYOGRAPHY AND PIC18F4550", Int. Conf. on Information Tech., Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Oct 19-21st, 2016.

[5] Fitri Rohmaisa, Endah Rahmawati dan Imam Sucahyo, "RANCANG BANGUN ALAT ELEKTROKARDIOGRAF LEAD 1 BERBASIS SOUNDCARD PADA KOMPUTER", Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, Vol. 04, No 03, 2015.

[6] Gregory S. Rash, EdD. Electromyography Fundamentals.

[7] Konrad,Peter. The ABC of EMG : A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. April 2005.

[8] Florentinus Budi Setiawan, siswanto, "Electromyography (EMG) Signal Compression using Sinusoidal Segmental Model", ", Int.l Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2015.

[9] Kevin Eka Pramudita, F Budi Setiawan, Siswanto, "Interface and display of Electromyography signal wireless measurements", International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014.

[10] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Multi Channel Electromyography (EMG) Signal Acqiusition using Microcontroller with Rectifier", Int. Conf. on Information Tech., Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Oct 19-21st, 2016.

[11] AD620 datasheet, Analog Device, 2010.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengukuran Kekuatan Kontraksi Otot Pada Bagian Torso Tubuh Menggunakan Sensor Elektromiografi

Fernando[1)] . Florentinus Budi Setiawan[2)]

Prog.Di Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata

Jl. Pariwayatan luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, Indonesia

Email : thisisnando.fn@gmail.com

Email : fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Dengan seiring perkembangan jaman dibutuhkan teknologi yang digunakan untuk mendeketsi kemampuan otot dalam melakukan suatu tugas, dalam bidang biomedis teknologi ini akan sangat bermanfaat untuk umat manusia dan keberlangsungan hidup. Teknik ektromiografi akan digunakan dalam penelitian ini. Elektromiografi (EMG) adalah sebuah metode teknik eksperimen yang digunakan untuk merekam sinyal elektris yang dihasilkan oleh serat otot manusia [8][9].
Dalam kesempatan kali ini penulis ingin membahas tentang pembacaan sinyal otot pada bagian torso tubuh manusia menggunakan sensor elektromiografi dengan mikrokontroler berbasis ATMega8535 dan alat ini akan menggunakan LCD sebagai keluaran tampilan pengukuran yang akan dilakukan. Titik otot yang akan dilakukan pengecekan yaitu antara lain: trapezius, deltoid, triceps, pectoralis major, serratus anterior, platysma, brachioradialis, extensor ulnaris carpi, rhomboid, latissimus dorsi.

Kata Kunci : Elektromiografi, ATMega 8535, sistem otot manusia, LCD, Rectifier

1 Pendahuluan

Dalam melaksanakan kegiatan sehari-hari seseorang menggunakan banyak otot yang ada di dalam tubuh. Akan tetapi kadang saat melakukan pekerjaannya orang cenderung tidak memperhatikan keadaan dan tingkat kejenuhan ototnya, orang-orang cenderung memaksakan ototnya untuk berkerja berlebihan dengan tujuan agar cepat selesai. Hal ini dapat berdampak buruk bagi kesehatan otot tubuh manusia, Padahal otot yang terlalu sering dibebani terlalu intens akan menimbulkan gangguan-gangguan yang dapat mengganggu atau menghambat kinerja otot itu sendiri.

Untuk menanggulangi terjadinya masalah-masalah otot tersebut, seseorang harus tahu kapan ototnya dalam keadaan bugar dan kapan otot mengalami kejenuhan. Untuk mengetahui keadaan-keadaan tersebut, dibutuhkan sebuah alat yang dapat melihat tingkat kekuatan kontraksi otot manusia. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk membuat alat yang dapat mendeteksi tingkat kekuatan kontraksi otot tersebut.

Dalam rencana desain pembuatan alat ini, sensor yang digunakan sebagai pendeteksi ketegangan otot ini adalah sensor elektromiografi(EMG). Sensor EMG adalah sensor yang memiliki fungsi untuk merekam aktivitas elektris yang dihasilkan oleh otot. Proses pengambilan sinyal otot dilakukan dengan menempelkan elektroda EMG ke titik otot yang telah ditentukan. Sinyal yang telah didapat dari sensor akan dikuatkan melalui OP AMP dan selanjutnya akan dilewatkan filter sebelum dilakukan proses identifikasi. Sinyal yang telah lewat dari filter akan diproses menggunakan mikrokontoler untuk menjadi input mikrokontoler dan mengendalikan LCD sebagai outputnya. Kekuatan sinyal merepresentasikan penekanan sinyal otot. [1]

2 Studi Pustaka

Untuk mengetahui bagaimana cara kerja alat ini, sebelumnya kita harus mengetahui terlebih dahulu cara kerja otot melakukan aktivitasnya. Otot melakukan kerjanya dengan perintah dari otak yang dikirimkan melalui saraf berupa impuls. Neuron(sistem saraf) memiliki sifat tersendiri yaitu permukaan luar neuron mengandung muatan positif, dan bagian dalam neuron mengandung muatan negatif. Untuk melakukan suatu gerakan maka akan terjadi pertukaran antara kalium(K+) dan Natrium(Na+) yang menjadi ransangan untuk otot. Saat melakukan kontraksi, otot akan mengalami beberapa fase, yaitu: Fase istirahat, Fase Depolarisasi(peregangan otot), dan polarisasi(pelemasan otot). Elektromiografi digunakan untuk mengukur aktivitas elektris yang dihasilkan oleh pergerakan natrium dan kalium dalam lapisan otot tubuh[8][10]. Berikut adalah penjelasan dari fase-fase otot tersebut:

- Fase istirahat : Dalam fase ini terjadi sirkulasi yang seimbang antara ion soidum (Na+) dan Kalium (K+). Dalam fase ini ini otot akan lemas, tidak melakukan pergerakan.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

- Fase depolarisasi: Pada fase ini otot akan berkontraksi dan ion sodium akan menggantikan ion kalium dari luar, masuk kedalam sel otot dalam porsi yang lebih besar dibandingkan dengan pelepasan ion kalium dari dalam sel otot. Hal ini yang menstimulasi otot untuk bergerak.
- Fase polarisasi : Dalam fase ini terjadi pelemasan pada otot yang menghasilkan perpindahan ion sodium keluar sel otot dengan proporsi lebih besar dari ion kalium yang masuk ke sel otot.

Dalam melakukan kontraksi, otot akan mengalami perubahan masa otot dan juga otot akan menimbulkan suatu gelombang yang biasa disebut dengan MUAP(Motor Unit Action Potential).Beda potential inilah yang akan diukur saat dilakukannya pengukuran kekuatan kontraksi otot menggunakan sensor EMG. Jumlah serat otot berhubungan dengan jumlah fluktuasi sinyal. Pada kontraksi otot kekuatan penuh, kita akan mendapatkan amplitude sinyal yang tinggi [2] Pengukuran menggunakan sensor EMG ini dilakukan dengan cara memasangkan elektroda di bagian serat otot yang akan diukur lalu dilakukan penguatan sebesar 1000 kali menggunakan OP AMP. Sinyal dari sistem elektromiografi tidak langsung diproses oleh mikrokontroler, tapi dikuatkan terlebih dahulu, karena sinyal yang dihasilkan oleh sistem elektromiografi terlalu kecil untuk dibaca oleh mikrokontroler [3]. Berdasarkan teori diatas, maka bisa dibuat alur sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alur Sistem

2.1 Elektroda

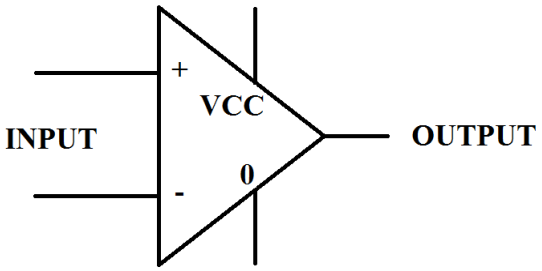
Untuk melakukan pendeteksian tegangan otot dalam tugas akhir ini dibutuhkan sesuatu yang dapat membaca perubahan potensial yang terjadi dalam otot, maka dari itu elektroda adalah komponen yang penting dalam pengukuran ini. Dalam elektromiografi, tedapat dua cara pemasangan elektroda yaitu intramuscular EMG dan Surface EMG. Intramuscular EMG menggunakan media jarum sebagai penghubung antara sensor dengan serat-serat otot yang akan dideteksi. Sedangkan teknik surface EMG menggunakan elektroda yang dipasang dibagian permukaan kulit dimana otot yang akan diukur berada. Penggunaaan teknik intramuscular memang lebih presisi dalam melakukan pengukuran, karena jarum yang digunakan akan langsung menyentuh lapisan serat otot tetapi penggunaan jarum sendiri berbahaya jika dilakukan oleh orang awam. Surface EMG memiliki hasil yang kurang presisi karena potensial yang dikeluarkan oleh unit penggerak akan lebih sulit dibaca disebabkan oleh adanya lapisan lemak yang ada diantara permukaan elektroda dan otot yang akan diukur. Jumlah jaringan yang ada diantara permukaan otot dan elektroda dapat mempengaruhi penyaringan spasial dari sinyal. [4]



Gambar 2. Elektroda Perak Klorida Dengan Gel

2.2 Operational Amplifier

Op-Amp adalah sebuah IC (integrated circuit) yang memiliki dua terminal input yang bersifat inverting dan non-inverting dengan sebuah terminal output. Op-amp menghasilkan tegangan output yang berkali-kali lipat dari tegangan input. Dalam penggunaannya, bisa ditambahkan dengan feedback negatif untuk mengendalikan karakteristik respon op-amp. Op-amp sering digunakan pada komputer analog, dimana op-amp biasa dimanfaatkan untuk melakukan operasi matematika pada operasi linear, non-linear, dan sirkuit yang bergantung dengan frekuensi.

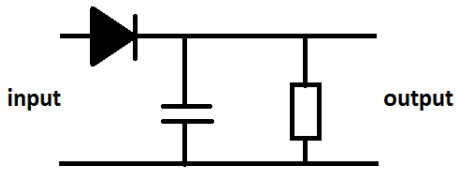


Gambar 3. Simbol OP-AMP

2.3 Envelope Detector

Envelope Detector adalah sirkuit yang memiliki sebuah dioda, resistor dan kapasitor. Fungsi dari sirkuit ini dalam sistem elektromiografi adalah untuk menjaga setiap puncak nilai yang telah dihasilkan oleh penguatan sinyal otot sebelumnya.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 4. Envelope Detector

2.4 Liquid Crystal Display(LCD)

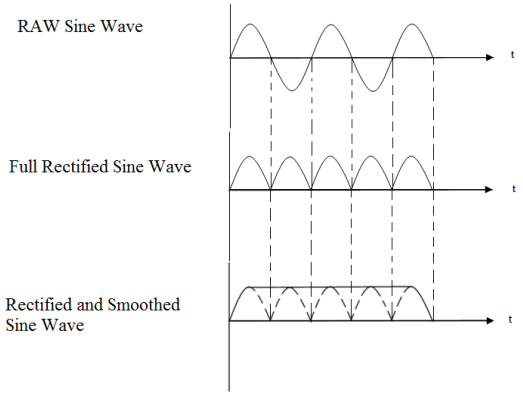
Liquid crystal display(LCD) adalah layar panel datar yang menggunakan sifat modulasi cahaya liquid crystal. Liquid crystal tidak memancarkan cahayanya secara langsung untuk mengeluarkan gambar, melainkan menggunakan backlight atau reflector untuk memancarkan tampilan gambar. LCD digunakan untuk menampilkan gambar-gambar acak seperti gambar bergerak dalam komputer maupun gambar tetap dengan rendah informasi seperti kata-kata, digit, dan juga tampilan 7segmen. LCD hanya akan mentransmisikan cahaya yang diterima dari backlight atau cahaya latar belakang yang menjadi sumber cahayanya. Liquid crystal atau kristal cair adalah cairan yang berada diantara kedua lembar kaca transparan yang memiliki sifat konduktif.

3 Rancangan Alat

3.1 Rektifikasi dan Penguatan

Setelah sinyal otot terdeteksi oleh sensor EMG, sinyal akan masuk ke bagian penguatan. Dibagian ini sinyal otot dengan besaran millivolt akan dikuatkan menggunakan AD8226 sebesar 1000 kali. Dalam penelitian ini digunakan muscle sensor v3. Dalam modul ini terdapat Operasional amplifier yang berfungsi sebagai pengali. Dan juga modul ini dilengkapi dengan envelope detector yang memiliki tujuan agar hasil sinyal output penguat bisa stabil. Hal ini diperlukan karena hasil dari penguatan pertama merupakan sinyal sinusoidal yang tidak beraturan.

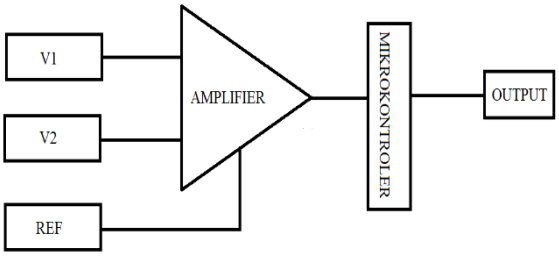
Jadi sinyal yang nantinya akan digunakan pada mikrokontoler bukanlah sinyal murni atau mentah. Melainkan sinyal yang sudah melalui tahap penguatan, integrasi, dan juga penyearahan. Sehingga sinyal yang dihasilkan akan berjalan baik sebagai input analog mikrokontroler.



Gambar 5. Contoh Penyearahan Menggunakan Sinus Sederhana

Dalam melakukan pengecekan kekuatan kontraksi ini digunakan modul sensor otot v3 yang digunakan sebagai input analog. Rangkaian penguat ini dibutuhkan karena sinyal otot yang dihasilkan oleh otot memiliki kisaran millivolt. Maka agar dapat dibaca oleh mikrokontroler, modul penguat ini digunakan. Didalam modul ini terdapat OP AMP dengan tipe AD8226 yang berfungsi sebagai penguat dan OP AMP dengan tipe TL084 yang digunakan sebagai rangkaian penyearah dan filter. Modul ini menggunakan variable resistor di bagian gainnya yang memungkinkan untuk mengubah-ubah gain pada AD8226. Mengubah gain pada amplifier berpengaruh pada penguatan yang akan dilakukan.

$$R_G = 49.4k\Omega/G\text{-}1 \text{ [5]} \quad (1)$$



Gambar 6. Jalur Pengolahan Sinyal

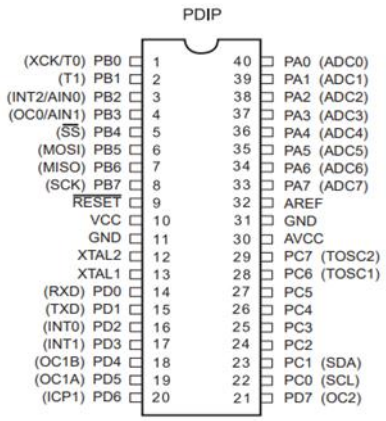
Pada modul sensor otot ini memiliki 4 buah amplifier. Penguatan utama yang ada pada modul ini terdapat pada amplifier dengan tipe AD8226 ini. Tugas AD8226 adalah memperkuat sinyal yang ditangkap oleh sensor dan mengalikannya berdasarkan gain yang ada. Operasional amplifier yang kedua adalah konfigurasi dua Op-Amp yang berfungsi sebagai buffer dan penguatan terbalik, sementara Op-Amp kedua digunakan untuk melakukan mode penguatan terbalik dan resistor

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

variabel digunakan untuk mendapatkan gain yang bisa diubah dengan tujuan untuk mempermudah penyesuaian pada amplituda output yang dihasilkan oleh input penguatan. Kemudian sinyal dimasukan ke Op-Amp ketiga yang diberi dioda dan envelope detector pada bagian outputnya. Tujuan dari proses penyearahan dan filtering ini adalah untuk merata-ratakan sinyal yang telah disearahkan menjadi sinyal DC yang dapat dibaca oleh mikrokontroler ATMega8535.

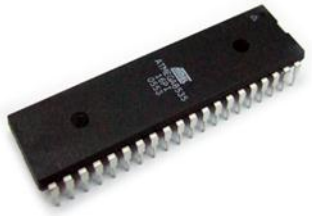
3.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu integrated circuit(IC) yang digunakan untuk menerima dan mengolah sinyal masukan yang kemudian diubah menjadi keluaran berdasarkan oleh program yang sudah dimasukan kedalam IC tersebut. Mikrokontroler bisa memiliki banyak masukan dan keluaran. Mikrokontroler adalah komputer sederhana, karena di dalam suatu mikrokontroler terdapat beberapa jalur input dan output, memori, dan fitur-fitur pelengkap lainya. Input dari mikrokontroler biasanya adalah informasi yang telah ditangkap oleh sensor, kemudian program yang telah dimasukan akan mengolah data yang telah diperoleh dari sensor untuk menjadi keluaran yang nantinya ditujukan ke aktuator yang diinginkan.



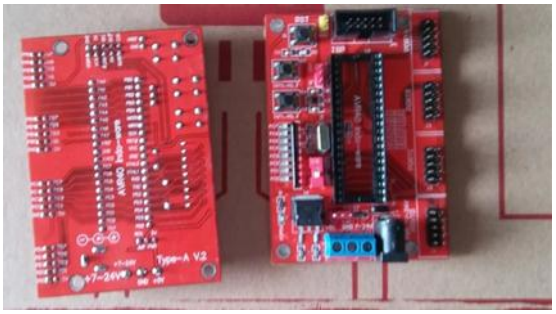
Gambar 7. Pinout Mikrokontroler ATMega 8535

Rangkaian yang digunakan untuk mengolah data yang telah didapat dari penguat adalah mikrkontroler dengan tipe ATMega8535. Mikrokontroler ini menggunakan 8 bit dan memiliki kecepatan proses maksimum 16Mhz. Sinyal input akan masuk kebagian port a pada chip yang memiliki fungsi sebagai ADC(Analog Digital Converter). Sedangkan dalam percobaan ini port c digunakan sebagai port output.



Gambar 8. Chip ATmega 8535

Untuk menggunakan mikrokontrol ini tentunya kita membutuhkan komponen pendukung agar chip ini bisa digunakan. Komponen pendukung ini disebut dengan sistem minimum. Sistem minimum digunakan untuk membantu pengguna lebih mudah melakukan pengalokasian input dan output.



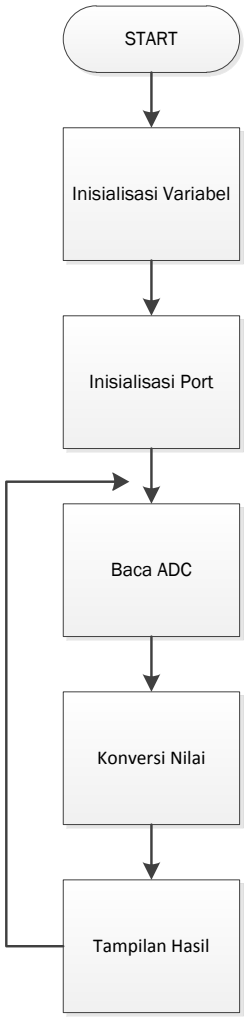
Gambar 9. Sistem Minimum Mikrokontroler

3.3 Software

Dalam penggunaan mikrokontroler dibutuhkan suatu program yang harus dibuat berdasarkan kebutuhan yang diperlukan. Program ini akan berisikan tentang bagaimana input dan output diolah. mikrokontroler ini akan berfungsi sebagai otak atau bisa disebut sebagai komputer sederhana. Jadi software ini adalah salah satu komponen penting yang dibutuhkan.

Dari flowchart berikut dibuat lah program seperti yang tertera dibawah ini, untuk menjalankan sistem sensor EMG.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 10. Flowchart Pemrograman EMG

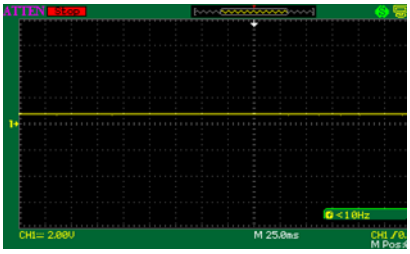
```
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("PEMBACAAN TEGANGAN OTOT TORSO");
delay_ms(500);
while (1)
    {
dataADC=read_adc(0
      lcd_gotoxy(0,0);
      lcd_putsf("Elektro Unika");
      lcd_gotoxy(3,1);
      lcd_putsf("0 mVOLT");
      Temp=(dataADC*4.9/10);
      Tamp=(dataADC*4.9/1000);
      lcd_gotoxy(0,1);
      tampil(Temp);
    }
```

4 Pengujian dan Analisis

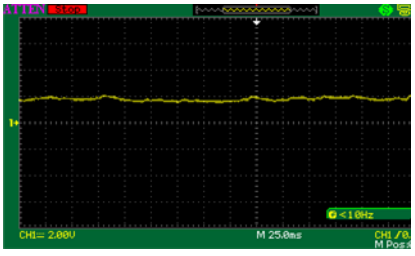
4.1 Hasil Pengukuran

Sinyal yang telah dihasilkan oleh sensor EMG akan diproses oleh mikrokontroler dan akan menghasilkan tampilan pada LCD bergantung pada hasil pendeteksian yang tertangkap oleh sensor. Dalam pengujian ini, digunakan rangkaian regulator 7805 dan 7905 untuk menjaga komponen dari kelebihan tegangan..

Pengujian dilakukan pada 10 titik pada tubuh bagian torso yaitu diantaranya otot Platysma, Pectoralis major, Deltoid, Brachioradialis, Extensor carpi ulnaris, Trapezius, Rhomboid, Latissimus dorsi, Triceps, dan Seratus anterior. Hasil yang telah didapatkan dari titik otot satu dan lain memiliki tingkat keandalan yang berbeda. Keandalan satu parameter EMG tidak selalu berarti bahwa parameter EMG lain untuk otot yang sama dapat diandalkan [6] . Jika otot dalam keadaan letih, akan sulit untuk membedakan sinyal pada saat rileks atau santai maupun tegang ataupun kontraksi [7]. Berikut adalah hasil pengukuran dan juga titik-titik dan yang digunakan dalam penilitian.



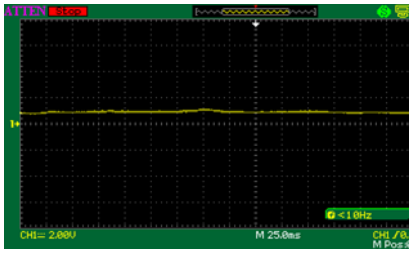
Gambar 11. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Trapezius



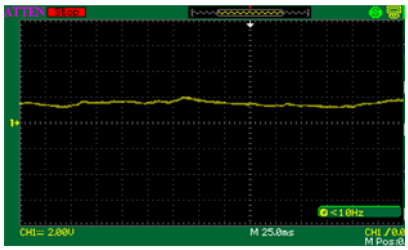
Gambar 12. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Trapezius

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Titik otot trapezius berada dibagian pada bagian bahu. Menurut pengukuran yang telah dilakukan ke orang yang memiliki indeks masa tubuh yang normal menghasilkan tegangan berkisar 1000mV saat relaksasi hingga 2100mV saat kontraksi.

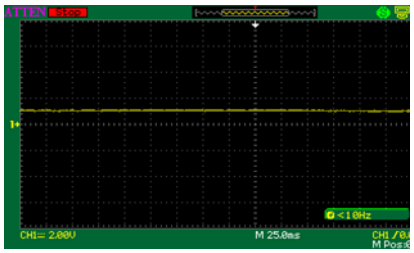


Gambar 13. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Deltoid

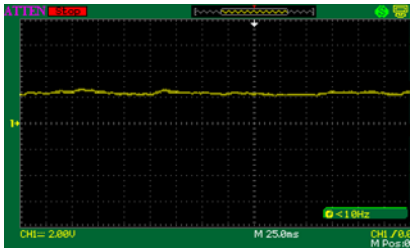


Gambar 14. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Deltoid

Titik otot deltoid berada pada bagian lengan atas yang berfungsi menggerakan tangan keatas dan kebawah. Menurut pengukuran yang telah dilakukan, otot ini bisa menghasilkan tegangan sebesar 1000mV saat relaksasi dan 2300mV saat kontraksi

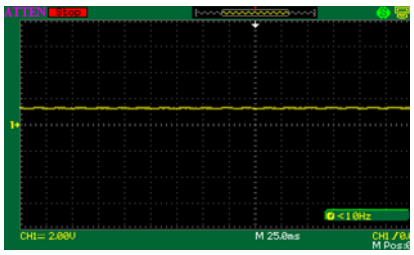


Gambar 15. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Triceps

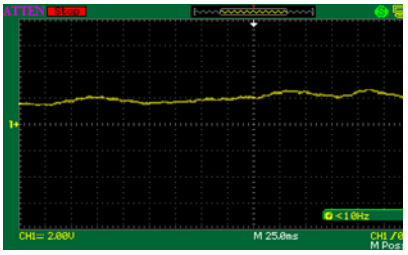


Gambar 16. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Triceps

Titik otot triceps ada pada bagian belakang lengan dapat menghasilkan tegangan sebesar 980mV saat relaksasi hingga 2200mV saat melakukan kontraksi.

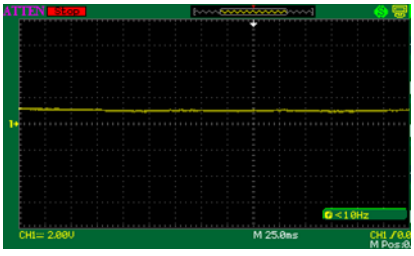


Gambar 17. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Pectoralis Major

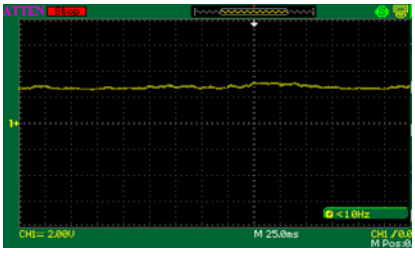


Gambar 18. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Pectoralis Major

Titik otot pectoralis major berada pada bagian dada. Menurut pengukuran yang telah dilakukan otot ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 940mV saat relaksasi hingga 2450mV saat kontraksi.



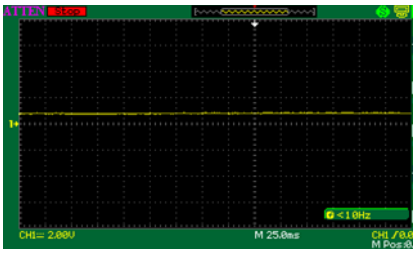
Gambar 19. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Serratus Anterior



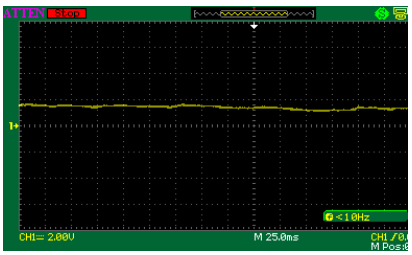
Gambar 20. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Serratus Anterior

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Otot serratus anterior memiliki posisi pada bagian sayap di dekat dada. Otot ini bisa menghasilkan tegangan sebesar 1200mV saat relaksasi dan 2500mV saat kontraksi

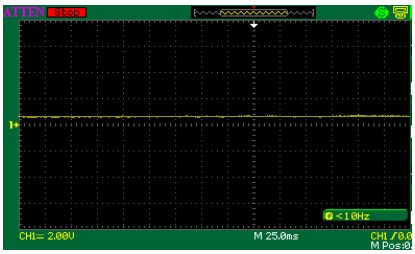


Gambar 21. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Platysma

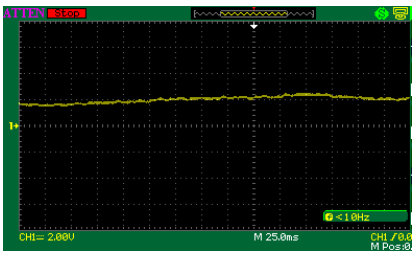


Gambar 22. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Platysma

Otot platysma terletak pada bagian leher seseorang. Otot ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 700mV saat relaksasi hingga 1800mV saat kontraksi

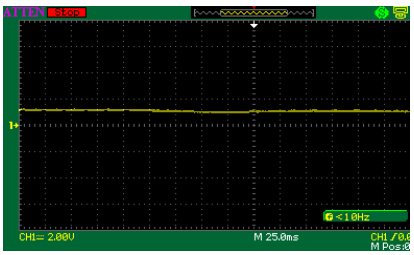


Gambar 23. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Brachioradialis

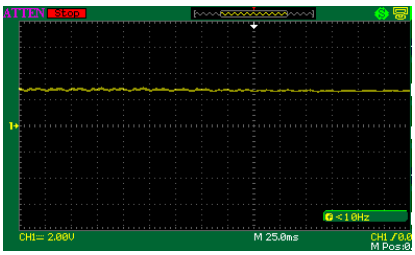


Gambar 24. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Brachioradialis

Otot brachioradialis pada tangan dapat menghasilkan tegangan sebesar 800mV saat relaksasi dan 1800 hingga 2200 saat melakukan kontraksi

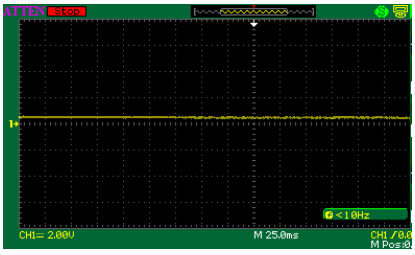


Gambar 25. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Extensor Carpi Ulnaris

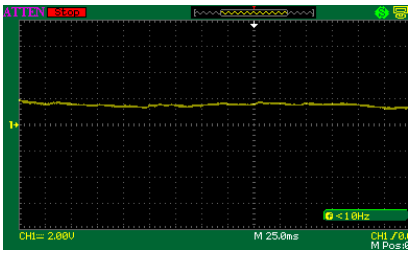


Gambar 26. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Extensor Carpi Ulnaris

Otot exstensor carpi ulnaris terletak di dekat otot brachioradialis, otot ini dapat menghasilkan tegangan 1300mV saat relaksasi dan 2300mV saat kontraksi



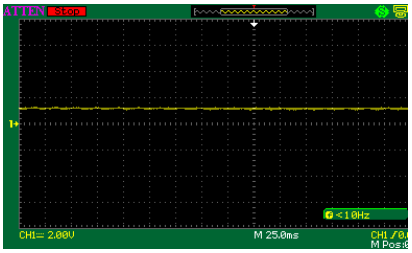
Gambar 27. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Rhomboid



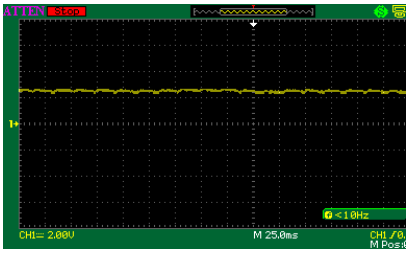
Gambar 28. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Rhomboid

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Otot rhomboid terletak diantara bagian bahu dan punggung. Otot ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 600mV saat relaksasi hingga 2150mV saat kontraksi.



Gambar 29. Sinyal Hasil Relaksasi Otot Latissimus Dorsi



Gambar 30. Sinyal Hasil Kontraksi Otot Latissimus Dorsi

Otot latissimus dorsi berada pada bagian punggung, otot ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 1500 saat relaksasi dan 2400 saat kontraksi.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Pengukuran Sinyal Otot

No	nama otot	relaksasi (millivolt)	kontraksi (milivolt)
1	Trapezius	1000	2100
2	Deltoid	1000	2300
3	Triceps	980	2200
4	Pectoralis major	940	2450
5	Serratus anterior	1200	2500
6	Platysma	700	1800
7	Brachioradialis	1800	2200
8	Extensor carpi ulnaris	1300	2300
9	Rhomboid	600	2150
10	Latissimus dorsi	1500	2400

4.2 Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan dan hasil percobaan yang telah dilakukan. Bisa di simpulkan bahwa:

1. Rangkaian emg sederhana yang telah dibuat bekerja dengan baik dalam membaca dan memperkuat sinyal otot yang didapatkan dari elektroda gel yang terpasang pada kulit seseorang.
2. Program yang telah dibuat berjalan dengan baik dalam mengolah sinyal yang telah didapatkan, sehingga LCD bisa menampilkan hasil pengukuran yang setara dengan output dari sensor EMG.
3. Karena perbedaan bentuk postur tubuh, perhitungan tidak selalu presisi. Orang yang memiliki berat lebih sulit untuk diukur, dikarenakan lapisan lemak akan menghadang elektroda.
4. Alat dapat melakukan pendeteksian pada bagian badan tubuh manusia dengan baik walaupun otot yang dideteksi tergolong kecil. Hasil yang didapatkan dari otot yang lebih kecil menghasilkan tegangan yang lebih kecil juga.

5 Daftar Pustaka

[1] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, Siswanto. Multi Channel Electromyography (EMG) Signal Acquisition Using Microcontroller with Rectifier. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 2016.
[2] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Electromyography (EMG) Signal Compression Using Sinusoidal Segmental Model. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering. 2015.
[3] Ricky Fajar Adiputra. Robot Arm Controlled By Muscle Tension Based on Electromyography and PIC18F4550. Conference on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 2016.
[4] Carlo J. De Luca. The Use of Surface Electromyogrpahy in Biomechanics. Journal of Applied Biomechanics. 1997.
[5] Analog Devices. Data Sheet AD8226. Wide Supply Range, Rail-to-Rail Output Instrumentation Amplifier.
[6] James M. Smoliga, Joseph B. Myers, Mark S.Redfern, Scott M. Lephart. Reliability and Precision of EMG in Leg, Torso, and Arm Muscle

During Running. Journal of Electromyography and Kinesiology.2010.
[7] Yohanes Oxa Wijaya, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Desain dan Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot. Industrial Research Workshop and National Seminar. 2014.
[8] Kevin Eka Pramudita, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Interface and Display of Electromyography Signal Wireless Measurements. 1st International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE). 2014.
[9] Nitish V. Thakor. Biopotential and Electrophysiology Measurements. CRC Press LLC. 2000.
[10] Carlo J. De Luca, M. Knaflitz. Surface Electromyography: What's New?. C.L.U.T. 1992.
[11] Atmel. Datasheet ATMega 8535 : AVR microcontroller with 8k Bytes in-system programmable flash.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Perancangan Sistem Aktuator Laju Aliran Masuk dan Simulasi Proses Netralisasi pH pada Plant Simulator Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil (IPLIT)

[1]Elfi Yulia *), [2]Estiyanti Ekawati & [2]Eko Mursito Budi

[1]Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung

[2]Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Institut Teknologi Bandung

elfi@instrument.itb.ac.id)*

Abstrak

Peningkatan produk tekstil diiringi dengan peningkatan jumlah limbah tekstil namun pengolahan limbah belum memenuhi standar dan menyebabkan pencemaran lingkungan seperti di DAS Citarum. Keluaran limbah industri tekstil memiliki tingkat keasaman pH 8-10 sedangkan standar pH limbah berada di rentang 6-9. Untuk mendukung upaya penurunan pH limbah dilakukan penelitian yang difokuskan terhadap proses netralisasi pH pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil (IPLIT).

Proses netralisasi pH pada simulator IPLIT merupakan proses reaksi kimia untuk menurunkan pH limbah dengan melibatkan limbah mengandung basa kuat NaOH dan penetral asam lemah CH_3COOH. Pada penelitian ini, dirancang sistem aktuator laju aliran masuk air limbah dan penetral menggunakan pompa DC jenis s*ubmersible water pump* yang dihubungkan dengan modul L298 dan pengontrol mikrokontroller. Modul L298 berperan dalam mengontrol kecepatan dan arah putaran motor DC berdasarkan *Pulse Width Modulation* yang ditentukan pengontrol. Selanjutnya sensor flowmeter akan membaca jumlah pulsa sebanding dengan laju aliran masuk yang terhubung ke mikrokontroller. Hasil pengukuran antara pompa, flowmeter dan pH meter menunjukkan bahwa laju aliran masuk limbah pada proses netralisasi pH adalah antara 0.8 L/m hingga 1 L/m dan laju aliran masuk penetral antara 0.6 L/m hingga 1 L/m. Berdasarkan parameter laju aliran masuk tersebut diperoleh hasil simulasi proses netralisasi pH dari simulator iplit IPLIT berupa konsentrasi limbah yang dapat diproses adalah pH 9-10 dan penetral yang dapat digunakan adalah pH 4 dan 5.

Kata Kunci: limbah tekstil, netralisasi pH, simulasi netralisasi pH, IPLIT, aktuator pompa

1 Pendahuluan

Sektor industri tekstil merupakan sektor penting untuk meningkatkan perekonomian Indonesia dengan ekspor mencapai US$ 7,12 miliar dan menyerap tenaga kerja hingga 2,73 juta jiwa di tahun 2017 [1]. Peningkatan produk tekstil diiringi dengan peningkatan jumlah limbah tekstil namun pengolahan limbah belum dilakukan sesuai standar menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan seperti di DAS Citarum[2].

Menurut CNN Indonesia, pencemaran di sekitar DAS Citarum disebabkan oleh kurangnya penggunaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Diketahui, 64 perusahaan dari 444 perusahaan industri tekstil yang berada di DAS Citarum belum memiliki IPAL. Sedangkan sisanya, 380 perusahaan yang telah memiliki IPAL pun belum sepenuhnya mengolah limbah sesuai dengan mutu yang disyaratkan disebabkan oleh biaya pengolahan limbah yang mahal dan waktu yang lama [3].

Limbah tekstil termasuk golongan limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) berdasarkan PP No. 101 tahun 2014. Pembuangan limbah harus sesuai dengan baku mutu limbah yang ditetapkan pada KEP-51/MENLH/10/1995 salah satunya harus berada pada pH direntang 6-9 [4]. Sedangkan limbah industri tekstil memiliki karakteristik pH dalam kondisi basa tinggi berasal dari proses *scouring* dan *mercerizing*. Gabungan dari proses proses pembuatan tekstil menghasilkan limbah dengan pH antara 8-10 [5].

Untuk mendukung upaya pembuangan limbah industri tekstil sesuai dengan baku mutu limbah, penelitian ini difokuskan untuk merancang sistem proses netralisasi pH pada simulator Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil (IPLIT). Perancangan difokuskan pada sistem laju aliran masuk air limbah dan penetral dan simulasi proses netralisasi pH menggunakan perangkat lunak.

2 Proses Netralisasi pH

Proses netralisasi pH merupakan proses reaksi kimia yang terjadi antara larutan asam dan basa untuk mencapai pH yang diinginkan. Proses netralisasi pH pada IPLIT bertujuan menetralkan limbah industri tekstil yang telah homogen dari tangki equalisasi (pH 8-10) menjadi limbah yang

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

sesuai dengan standar (pH 6-9). Proses ini melibatkan limbah kondisi basa kuat dengan penetral asam lemah untuk mencapai nilai pH sesuai diinginkan.

Berdasarkan literatur, model dinamik (1) dan (2) proses netralisasi pH untuk pengolahan air limbah pertama kali diperkenalkan oleh McAvoy, dkk tahun 1972 menggunakan tangki *Controlled Stirred Tank Reactor* (CSTR) antara basa kuat dan asam lemah. Model dinamik ini telah digunakan untuk beberapa penelitian terdahulu seperti pada penelitian perancangan purwarupa instalasi pengolahan air limbah industri tekstil antara basa kuat dan asam lemah [6]. Selanjutanya, untuk merancang *Internal Mode Control* pada proses netralisasi limbah melibatkan basa kuat dan asam kuat [7]. Kemudian, model ini digunakan untuk perancangan *kontrol Neural Network PID Control* antara basa kuat dan asam kua [8].

Model dinamik yang digunakan merupakan 2 buah turunan differential berupa proses disosiasi asam (x_1) dan disosiasi basa (x_2) dipengaruhi oleh laju aliran masuk asam F_a , laju aliran masuk limbah F_b , konsentrasi asam C_a dan konsentrasi limbah C_b . Persamaan (1) dan (2) menunjukkan persamaan dinamik pada tangki netralisasi

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{F_a.C_a}{V_t} - \frac{F_a + F_b}{V_t} x_1 \quad (1)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{F_b.C_b}{V_t} - \frac{F_a + F_b}{V_t} .x_2 \quad (2)$$

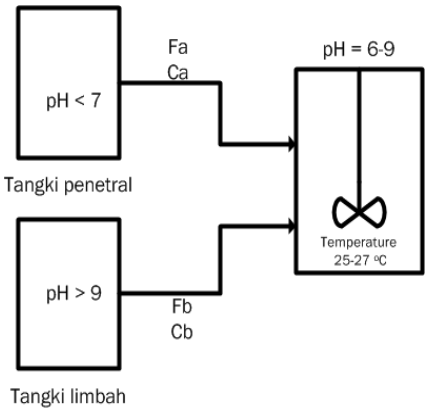
Sedangkan volume akhir larutan pada tangki V_t pada persamaan (3) dipengaruhi oleh volume awal larutan di tangki V_o ditambah banyaknya aliran yang masuk tiap waktu

$$V_t = V_O + Fa.t + Fb.t \quad (3)$$

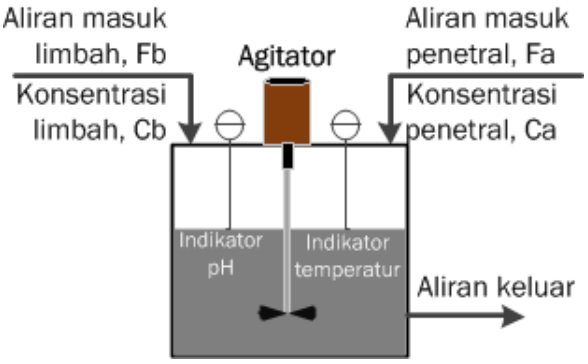
3 Perancangan Sistem Laju Aliran Masuk

Proses perancangan sistem laju aliran masuk berdasarkan pada *process flow diagram* pada Gambar 1 dengan proses netralisasi pH ditunjukkan oleh Gambar 2. Gambar 1 memperlihatkan tangki limbah memiliki pH besar dari 9 sedangkan tangki penetral memiliki pH kecil dari 7. Guna mencapai pH yang diinginkan, dilakukan pengaturan terhadap laju aliran masuk dari limbah dan penetral serta konsentrasi dari kedua larutan tersebut. Pada penelitian ini, air limbah yang digunakan mengandung basa kuat NaOH sedangkan penetral berupa asam lemah CH_3COOH.

Perancangan sistem laju aliran masuk proses netralisasi pH melibatkan beberapa sensor dan aktuator. Sensor yang digunakan adalah sensor pHmeter yang merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman suatu cairan dengan rentang pengukuran pH 0-14 tingkat akurasi ± 0.1pH, 25 °C. Selanjutnya, sensor temperatur untuk mengukur temperatur larutan yang berada di tangki netralisasi pH dengan rentang pengukuran -55°C hingga 125°C dengan keakuratan ± 0.5°C.



Gambar 33 Process Flow Diagram



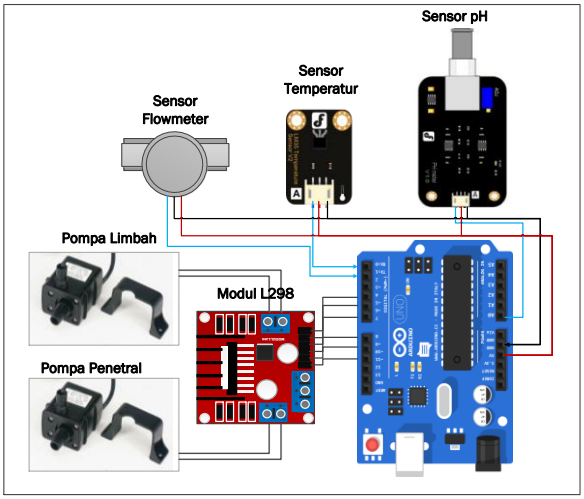
Gambar 34 Proses Netralisasi pH

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Kemudian sensor flowmeter 5 Volt menggunakan putaran turbin untuk menghitung jumlah pulsa yang terukur setiap detiknya. Sedangkan aktuator yang digunakan adalah pompa 12 DC *Submersible Water Pump Pompa* 12 yang tahan terhadap asam dengan debit maksimum 4 L/m maksimal ketinggian 3 meter.

Rancangan modul dapat dilihat pada Gambar 3 dimana sensor dan aktuator terhubung ke mikrokontroller sebagai pengontrol. Pompa limbah dan pompa penetral akan dihubungkan dengan modul L298. Modul L298 berperan dalam mengontrol kecepatan dan arah putaran motor DC berdasarkan *Pulse Width Modulation* yang ditentukan pengontrol. Modul L298 merupakan driver motor menggunakan IC L298 (*dual full bridge driver*) yang banyak digunakan untuk mengontrol kecepatan dan arah putaran motor DC. Modul L298 terdiri atas transistor-transistor logik (TTL) yang mudah digunakan menggunakam gerbang logika NAND dan dapat mengendalikan 2 buah motor DC. Tegangan minimum untuk masukan power adalah 5V-35V sedangkan tegangan operasi adalah 5V dengan arus masukan antara 0-36mA.

Pompa limbah akan memompakan air limbah yang berasal dari tangki equalisasi dengan tinggi maksimum cairan limbah 30 cm. Sedangkan pompa penetral akan memompakan larutan penetral yang berasal dari tangki penetral dengan ketinggian maksimum 22 cm.



Gambar 35 Rancangan Modul

4 Analisis

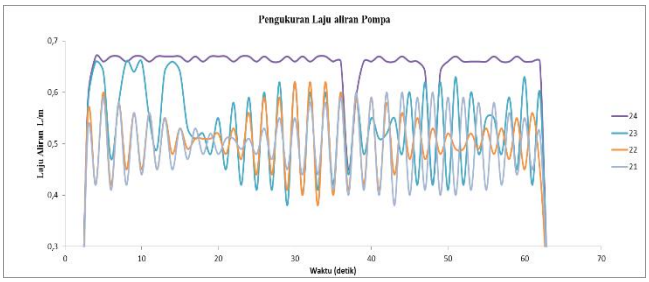
Ketinggian dari cairan memengaruhi rentang debit yang bisa dapat dipompakan oleh pompa. Diketahui, tangki limbah dan penetral memiliki tinggi maksimum cairan adalag 35 cm dan 22 cm. Untuk itu pompa dijangga agar ketinggiannya selalu stabil.

Pengujian terlebih dahulu untuk membaca laju aliran larutan melalui flowmeter selama 60 detik dengan PWM (Pulse Width Modulation) pompa dikontrol oleh pengontrol mikrokontroller. PWM yang digunakan rentang 0-255 dan ketinggian cairan pada tangki penetral tetap pada 20 cm. Pembacaan sensor flowmeter akan dimonitoring menggunakan mikrokontroller Arduino dengan keluaran laju aliran fluida dalam liter/menit.

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, laju aliran fluida yang masuk ke tangki cenderung stabil saat PWM besar sama dengan 25. Sedangkan ketika PWM pompa lebih kecil dari nilai tersebut, laju aliran fluida tidak stabil dan berubah setiap waktu

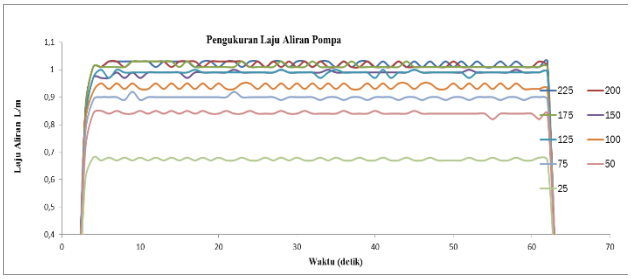
Pengujian berikutnya dilakukan pengamatan terhadap respon laju aliran fluida saat PWM pompa divariasikan.Gambar 6 memperlihatkan pompa juga dapat merespon perubahan PWM dengan cepat dan dibutuhkan waktu selama 2 detik bagi pompa untuk setiap perubahan dari kondisi mati ke nyala.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan juga dapat diperoleh hubungan linearitas dari PWM pompa dan pembacaan laju aliran fluida yang terukur

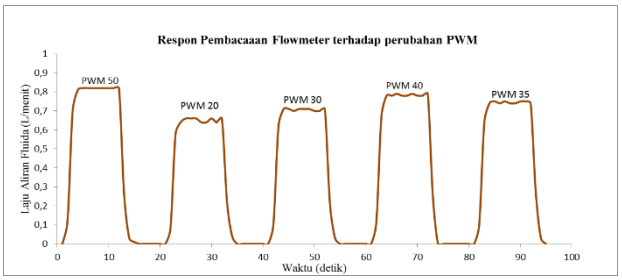


Gambar 36 Pengukuran Laju Aliran Pompa PWM 21-24

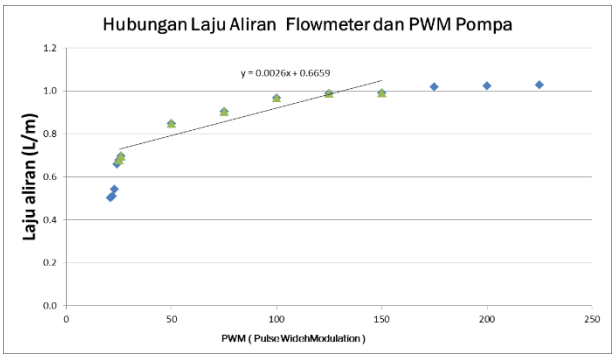
Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 37 Pengukuran Laju Aliran Pompa PWM 25-225



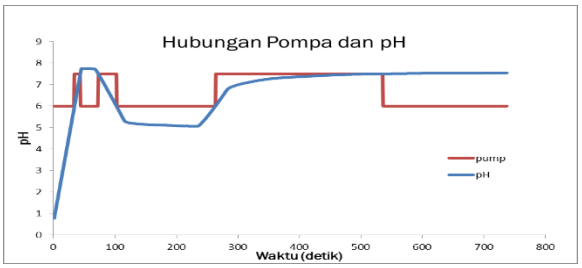
Gambar 38 Pembacaan laju aliran saat PWM bervariasi



Gambar 39 Hubungan PWM pompa dan pembacaan laju aliran larutan

Gambar 7. menyatakan bahwa laju aliran fluida akan linier saat PWM pompa 25-150 dengan flow 0.69 L/m hingga 1 L/m. Hasil pengujian ini akan digunakan sebagai masukan pada simulasi proses netralisasi pH.

Pengujian juga dilakukan untuk mengamati respon pompa terhadap perubahan pH. Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan modul pompa yang dirancang saat ini mampu membaca perubahan pH dengan baik dimana pompa penetral akan otomatis menyala saat larutan di tangki netralisasi pH memiliki pH diatas 9 dan pompa penetral akan mati saat larutan memiliki pH kurang dari 9.



Gambar 40 Kecepatan respon pompa terhadap perubahan pH



Gambar 41 Bagan Simulasi Proses Netralisasi pH

5 Simulasi Proses Netralisasi pH

Simulasi proses netralisasi pH dirancang pada perangkat lunak matlab dengan menggunakan persamaan dinamik dari proses netralisasi pH. Alur simulasi ditunjukkan oleh gambar 9 diawali dengan inisialisasi parameter berupa laju aliran masuk limbah, konsentrasi limbah, laju aliran masuk penetral, konsentrasi penetral, konstanta disosiasi asam (Ka). Selanjutnya, persamaan dinamika proses netralisasi pH untuk menghitung disosiasi asam dan disosiasi basa guna menentukan pH larutan yang dihasilkan. Terakhir digunakan solusi persamaan differensial sehingga diperoleh respon kalang terbuka

Respon kalang terbuka ditunjukkan Gambar 11 dimana pH awal limbah adalahh pH 9.5 dengan

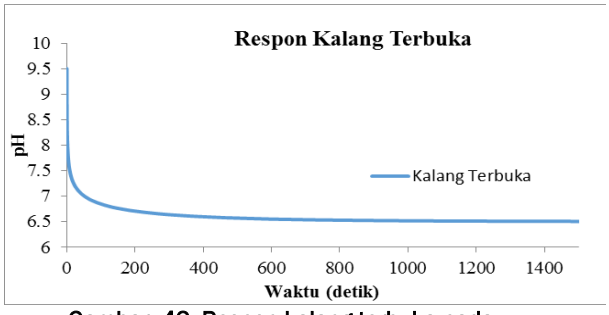
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

penambahan penetral yang konstan diperoleh pH akhir larutan mendekati pH 6.5.

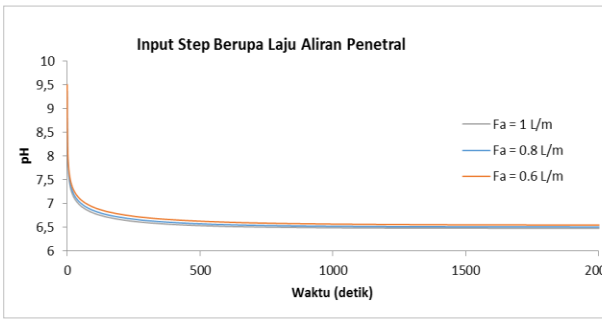
Selanjutnya simulasi dilakukan dengan mengamati pengaruh laju aliran penetral yang bervariasi terhadap laju aliran limbah tetap pada Gambar 12. Pemberian penetral dengan laju aliran 0.6 L/m, 0.8 L/m dan 1 L/m dapat menurunkan limbah pH 9.5 dengan laju aliran limbah 0.8 L/m hingga berada di sekitar pH 6.5. Semakin besar laju aliran penetral, penurunan pH limbah akan lebih cepat.

Simulasi berikutnya adalah mengamati pengaruh dari konsentrasi penetral yaitu pH 4 dan pH 5 dengan laju aliran limbah 1 L/m dan laju penetral 0.8 L/m. Hasil menunjukkan pada Gambar 13, penambahan penetral pH 4 pada limbah lebih cepat menurunkan pH limbah dibandingkan dengan penetral 5, akan tetapi hasilnya tidak terlalu signifikan. Berdasarkan hasil ini, masih bisa dipilih pH penetral 5 untuk pengujian IPLIT dikarenakan jumlah penetral yang dibutuhkan akan lebih sedikit dan memberikan keuntungan dari segi ekonomi.

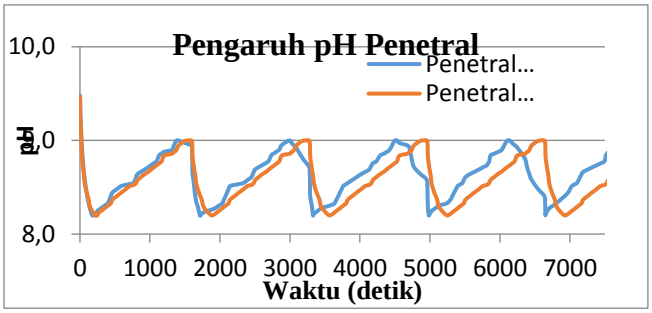
Simulasi dilanjutkan pada Gambar 14 dengan input step berupa penambahan laju aliran penetral pada kondisi tertentu terhadap limbah dengan laju aliran konstan 0.8 L/m. Penetral asam pH 5 akan dinyalakan saat limbah berada di pH 9 dan akan mati saat pH 8.2 Hasil menunjukkan pada aliran maksimum 1 L/m dibutuhkan waktu menyala hanya selama 190 detik sedangkan siklus 1 limbah mencapai 1542 detik. Berdasarkan kondisi ini, diharapkan dapat dilakukan penghematan terhadap penetral asam.



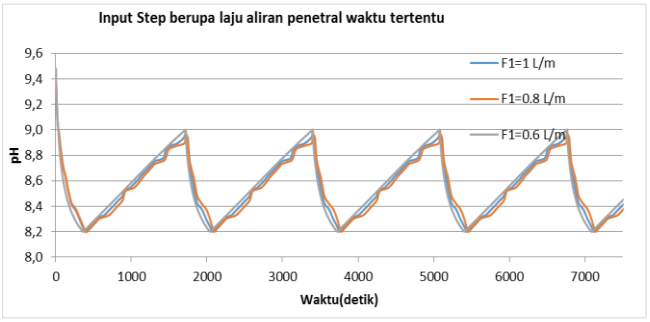
Gambar 42 Respon kalang terbuka pada pH limbah 9.5



Gambar 43 Respon pH terhadap perubahan laju aliran penetral



Gambar 44 Respon pH terhadap perubahan laju aliran penetral



Gambar 45 Respon pH 5 terhadap perubahan laju aliran penetral

6 Kesimpulan

1. Pada proses netralisasi plant simulator IPLIT dapat digunakan laju aliran masuk limbah 0.8 L/m dan 1 L/m, laju aliran masuk penetral asam antara 0.6L/m-1.0L/m.
2. Konsentrasi limbah pada proses netralisasi pH adalah pH 9-10 dan konsentrasi penetral adalah pH 4-5.

7 Daftar Pustaka

[1] Kemenperin: Industri Tekstil Tumbuh Baik. (26 September 2017). Data diperoleh melalui situs internet : http://industri.bisnis.com/ read/20170926/257/693248/kemenperin -industri-tekstil-tumbuh-baik. Diunduh pada tanggal 15 Februari 2018.

[2] Birry, A. A., dan Meutia, H., (2012) : Bahan Beracun Lepas Kendali " Sebuah Potret Pencemaran Bahan Kimia Berbahaya dan

Beracun di Badan Sungai Serta Beberapa Titik Pembuangan Industri Tak Bertuan, Studi Kasus Sungai Citarum", Green Asia Tenggara Walhi Jawa Barat.

[3] Lebih dari 64 industri tekstil diduga buang limbah ke Citarum. (12 Januari 2018). CNN Indonesia, berita diperoleh melalui situs internet:https://www.cnnindonesia.com/ ekonomi/20180111214632-92-268281/ lebih-dari-64-industri-tekstil-diduga-buang-limbah-ke-citarum. Diunduh pada tanggal 18 Februari 2018.R.

[4] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, data diperoleh melalui situs internet: https://toolsfortransformation.net/wp-content/uploads/2017/05/51-tahun-1995-Baku-mutu-limbah-cair-industri.pdf. Diunduh pada tanggal 30 Januari 2018..

[5] Khandegar, V., Saroha, A.K., (2013) : *Electrocoagulation for the treatment of tekstile industry effluent - a review, Journal of Environmental Management*, **128**, 949-963.

[6] Salehah, N.A., dan Hikmah, Q.M., (2016) : Pengolahan Air Limbah Industri Limbah Tekstil, Tugas Akhir Sarjana Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung.

[7] Alina, B., dan Madalina, C., (2016) : *Internal model control for wastewater pH neutralization process*, 8th International Conference Edition on Electronics, Computers, and Artificial Intelligence (ECAI).

[8] Youlin, Y., Qinghui, Wu.,(2016) : *A neural network PID control for pH neutralization process*, Proceeding of the 35th Chinese Control Conference, 3480-3483

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Perancangan Penampil Grafik Sinyal Ketegangan Otot Perut dengan Menggunakan Sensor Elektromiografi

[1] Hans Yandi Gunawan, [2] Florentinus Budi Setiawan

[1,2]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang, Indonesia

hansyandigunawan@yahoo.com, fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Kemajuan teknologi dalam bidang kesehatan dapat dimanfaatkan untuk menentukan IMT (Indeks Massa Tubuh) seseorang berada dibawah, sesuai standard maupun diatas standard (18,55 – 22,9).[4] Dengan memanfaatkan sensor pembaca otot atau EMG (Elektromiograph) yang akan mendeteksi tegangan yang dihasilkan otot pada perut, maka akan didapat data berupa angka. Data yang didapat akan digunakan sebagai perbandingan untuk menentukan IMT seseorang. Semakin banyak lemak yang tertimbun pada lapisan kulit maka hasil pembacaan dari sensor EMG ini pun akan menjadi tidak maksimal, berbeda dengan orang yang memiliki kadar lemak yang sedikit. Maka dari itu penelitian ini akan memanfaatkan sensor otot EMG dan kadar lemak pada perut sebagai pembanding untuk menentukan IMT seseorang. Alat yang saya buat ini terdiri dari elektroda yang difungsikan sebagai penangkap sinyal, sensor otot yang akan menguatkan sinyal dan memperhalus sinyal, ATmega8535 yang akan mengolah sinyal masukan dari sensor otot, lalu ada juga LCD yang akan digunakan sebagai keluaran dari ATmega 8535.

Kata Kunci : Sensor otot EMG (Elektromiograph), IMT (Indeks Massa Tubuh), AD8226, ATmega 8535.

1 Pendahuluan

Akibat dari kemajuan jaman yang membuat segala sesuatu menjadi praktis, banyak orang menjadi malas untuk melakukan segala sesuatu dengan menggunakan tenaga mereka sendiri. Hal ini tentunya akan menyebabkan mereka tidak memperhatikan bentuk tubuh dan berat badan mereka. Tubuh yang jarang melakukan aktifitas akan cenderung menyimpan banyak lemak. Dimana tubuh yang menyimpan banyak lemak cenderung mudah terserang oleh berbagai penyakit.

IMT atau Indeks Massa Tubuh adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengidentifikasi massa tubuh seseorang. IMT akan dibagi menjadi 4 kategori yaitu berat badan kurang, normal, berlebih dan obesitas. Cara menghitung IMT yaitu dengan menggunakan rumus :

$$\text{IMT} = \frac{\boldsymbol{Berat\ Badan\ (kg)}}{\boldsymbol{Tinggi\ Badan\ (m)^2}} \quad [1]$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan rumus tersebut, berikut kategori berat badan yang didapat :

- Dibawah 18,5 = kurang
- 18,5-22,9 = normal
- 23-29,9 = berlebih
- >30 = obesitas [2]

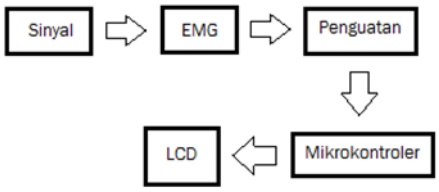
Pada penelitian ini penulis akan menggunakan sensor otot EMG (Elektromiograph) untuk pengambilan data. EMG (Elektromiograph) adalah suatu sensor otot yang dapat merekam kegiatan suatu otot berupa beda potensial listrik saat otot rileks dan berkontraksi. Sensor otot tersebut akan digunakan untuk membaca sinyal otot pada perut pada beberapa orang dengan berat badan yang berbeda. Setelah data terkumpul, akan dilakukan pembandingan untuk menentukan masuk dalam kategori apa berat badannya. [6][8][9]

Dalam makalah ini akan dibahas tentang bagaimana prinsip kerja sensor otot EMG (Elektromiograph), perancangan alat dan data hasil uji alat.

2 Studi Pustaka

Dasar dari penelitian ini adalah memanfaatkan terdapatnya beda potensial listrik saat otot bekerja. Beda potensial listrik tersebut dapat direkam melalui alat yang bernama sensor otot EMG dibantu dengan elektroda sebagai penangkap sinyal tegangan tersebut. Proses yang menyebabkan otot dapat berkontraksi yaitu adanya perpindahan ion Natrium (Na^+) dan Kalium (K^+). Saat otot berkontraksi, terdapat 3 tahap yaitu Polarisasi (Otot berkontraksi), Depolarisasi (Otot rileks) dan tahap otot berisitirahat. Beda potensial saat otot berkontraksi disebut MUAP (Motor Unit Action Potential). [7][8][9] Berdasarkan teori yang didapat tersebut maka berikut adalah diagram alur tahap kerja alat :

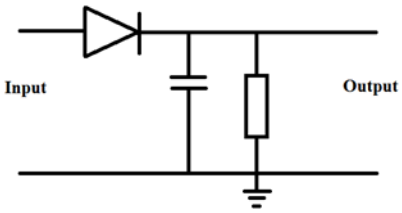
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 1. Diagram Alur Tahap Kerja Alat

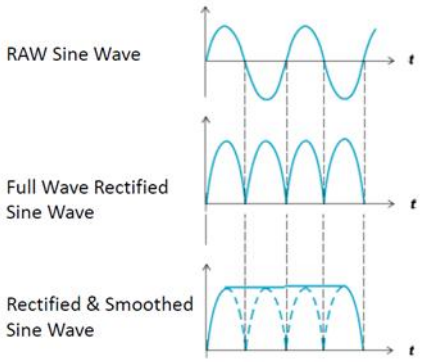
2.1 EMG (Elektromiografi)

EMG atau Elektromiografi adalah sebuah teknik yang digunakan untuk membaca aktivitas listrik pada otot. Sinyal yang ditangkap oleh sensor ini bukanlah sinyal yang dihasilkan oleh kekuatan otot melainkan sinyal listrik yang dikirim melalui sistem saraf menuju ke serat-serat otot yang akan membuat otot dapat berkontraksi. Sedangkan Elektromiogram adalah hasil sinyal listrik yang tertangkap oleh elektroda. Elektroda yang terpasang pada lapisan kulit ataupun dipasang pada otot berfungsi sebagai penguat atau penangkap sinyal tegangan. Sehingga dengan menggunakan sensor EMG ini kita dapat mengetahui berbagai hal mengenai otot tubuh manusia. Tetapi hasil sinyal tegangan yang dihasilkan oleh otot sangatlah kecil sehingga dibutuhkan sebuah komponen yang berfungsi sebagai penguat. Komponen yang digunakan sebagai penguat pada penelitian kali ini yaitu modul sensor sinyal otot EMG V3. Didalam modul ini terdiri dari penguat, filter, penyearah, EMG envelope dan envelope detector. Modul ini mampu menguatkan sinyal sampai 1000 kali. Envelope detector akan mengeluarkan hasil output berupa titik-titik puncak dari hasil penguatan sebelumnya menggunakan input yang mempunyai amplituda berfrekuensi tinggi. [6][7][8][9][10]



Gambar 2. Envelope Detector

Dengan menggunakan sensor otot ini maka kita dapat menggunakan mikrokontroler secara langsung karena alat ini memang didesain sedemikian rupa sehingga dapat memudahkan penggunaannya. Sinyal yang dihasilkan pun sudah diperkuat, diperbaiki dan dihaluskan sehingga dapat bekerja dengan baik dengan konverter ADC (*Analog-to-Digital Converter*).



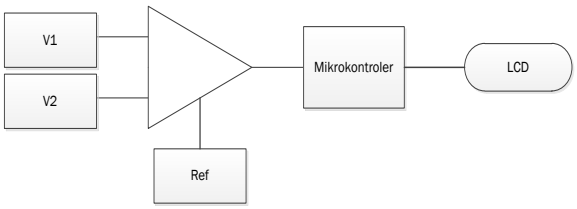
Gambar 3. Sinyal Output Modul Sensor Otot V3 [3]

3 Perancangan Alat

Pada penelitian kali ini akan menggunakan konverter ADC (*Analog-to-Digital Converter*) yang akan mengubah data analog yang didapat dari modul sensor otot EMG V3 menjadi data digital yang akan dimasukkan ke ATmega8535.

a. Modul Sensor Otot EMG V3

Modul sensor otot EMG V3 ini bertugas sebagai komponen analog dimana didalamnya terdapat komponen sebagai penguat yaitu AD8226 yang mampu menguatkan sampai 1000 kali, dan filter TL084. Selain 2 komponen tersebut terdapat juga evelope detector yang berfungsi sebagai rangkaian demodulasi sehingga sinyal outputnya lebih baik saat bekerja pada ADC mikrokontroler.



Gambar 4. Alur Pengolahan Sinyal



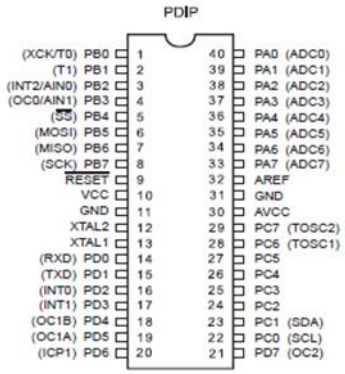
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 5. Modul Sensor Otot V3 [3]

Untuk mengatur penguatan pada output sinyal otot maka dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$R_G = \frac{49.4\ k\Omega}{G-1} \quad [4]$$

b. ATmega8535



Gambar 6. Pinout ATmega8535 [5]

Mikrokontroler ATmega8535 merupakan mikrokontroler 8 bit berdaya rendah yang mampu mencapai kecepatan maksimal hingga 16MHz. Untuk menjalankan mikrokontroler ATmega 8535 akan diperlukan suatu sistem minimum yang berfungsi sebagai penghubung pinout ATmega8535 dengan Input dan Output data. [5]



Gambar 7. Sistem Minimum ATmega8535

c. Elektroda

Untuk menangkap sinyal tegangan yang dihasilkan oleh otot maka diperlukan elektroda sebagai antenna. Teknik pemasangan elektroda yang digunakan pada penelitian kali ini adalah teknik pemasangan intramuscular EMG. Cara ini dipilih karena lebih praktis dan mudah karena cukup menggunakan elektroda tipe gel yang dipasang pada lapisan kulit yang akan dideteksi sinyal tegangan ototnya. Sinyal tegangan yang ditangkap oleh elektroda nantinya akan diteruskan ke modul sensor otot dan data akan diolah oleh mikrokontroler. [7]



Gambar 8. Elektroda Perak Klorida dengan Lapisan Gel

d. LCD (*Liquid Crystal Display*)

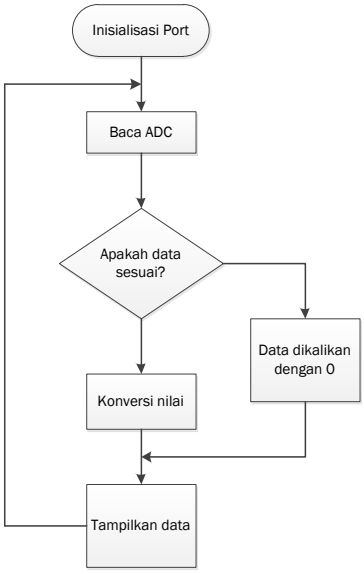
LCD atau Liquid Crystal Display merupakan komponen yang berfungsi untuk menampilkan gambar dengan memanfaatkan sifat modulasi cahaya dari liquid crystal. Liquid crystal adalah sebuah lapisan yang terdiri dari banyak kristal cair yang diletakkan pada kaca transparan dan memiliki sifat konduktif. Untuk menampilkan suatu gambar, liquid crystal membutuhkan backlight atau reflector sebagai sumber cahaya.

e. *Software*

Untuk menjalankan suatu mikrokontroler maka dibutuhkan sebuah software atau program yang akan diinput kedalam mikrokontroler. Program yang diinput berisikan tentang bagaimana pengolahan data input maupun output dari mikrokontroler. Tanpa ada nya program mikrokontroler tidak dapat bekerja, jadi program ini sangatlah berpengaruh dengan kinerja mikrokontroler.

Berikut adalah flowchart jalannya program yang akan diinput dalam mikrokontroler bekerja :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 9. *Flowchart* Jalannya Program EMG

Program yang akan diinput ke mikrokontroler merupakan program yang berisi perintah untuk menampilkan data pada LCD dan bagaimana cara mengolah data yang masuk menjadi sesuai dengan yang diinginkan. Berikut ini adalah program yang dibuat untuk penelitian kali ini :

```
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("PEMBACAAN TEGANGAN OTOT PERUT");
delay_ms(500);
while (1)
    {
     dataADC=read_adc(0
      lcd_gotoxy(0,0);
      lcd_putsf("Elektro Unika");
      lcd_gotoxy(3,1);
      lcd_putsf("0 mVOLT");
      Temp=(dataADC*4.9/10);
      Tamp=(dataADC*4.9/1000);
      lcd_gotoxy(0,1);
tampil(Temp);
        }
```

4 Pengujian dan Analisis

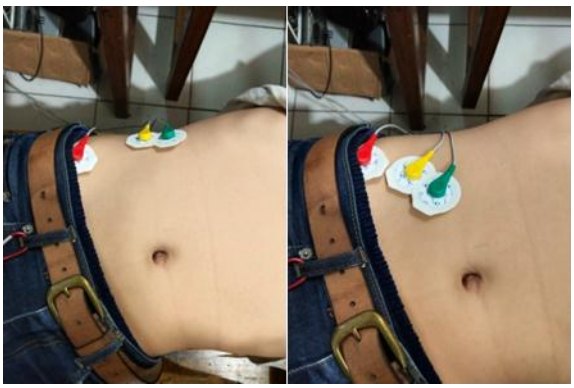
Penelitian kali ini akan menggunakan ATmega8535 sebagai mikrokontroler dan *Muscle Sensor V3* sebagai sensor otot untuk pengambilan data. *Muscle Sensor V3* akan dibantu oleh elektroda sebagai antenna yang akan menangkap hasil sinyal tegangan otot yang kemudian akan diolah didalam ATmega8535. Otot yang akan dideteksi sinyal tegangannya akan dipasang oleh elektroda gel pada lapisan kulitnya, kemudian saat otot berkontraksi sensor otot akan mendapat kan data berupa beda potensial listrik yang dihasilkan oleh otot. Data ini akan diolah didalam mikrokontroler sesuai dengan program yang dibuat lalu hasilnya akan ditampilkan ke LCD.

Karena beda potensial yang dihasilkan pada saat otot berkontraksi maka harus dikuatkan terlebih dahulu sebelum data diolah oleh mikrokontroler. Didalam modul *Muscle Sensor V3* terdapat komponen AD8226 yang berfungsi sebagai penguat dan mampu menguatkan hingga 1000 kali.

Letak otot yang akan diteliti berada pada bagian otot perut dimana akan diambil 3 titik otot yaitu *Rectus abdominis, Internal oblique* dan *External oblique.* Objek penelitian yang diambil juga dikategorikan berdasarkan jumlah IMT (Indeks Massa Tubuh) yang didapat dengan menggunakan rumus perhitungan IMT. Kategori yang diambil yaitu berat badan kurang, normal dan berlebih. Dari hasil pengujian alat akan dapat diketahui termasuk dalam kategori IMT apa mereka dengan perbandingan hasil dari ketiga objek percobaan tersebut.

Berikut ini adalah hasil dari penelitian pembacaan grafik sinyal otot perut dengan menggunakan sensor elektromiografi.

a. Hasil Penelitian IMT 17,71



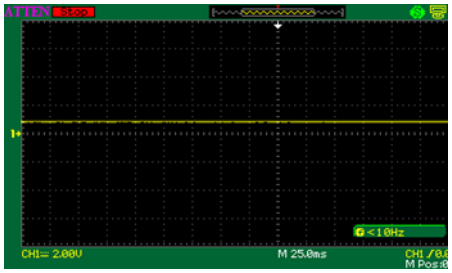
a **b**

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

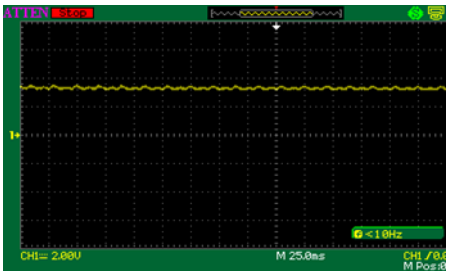


c

Gambar 10. Titik Otot Perut a. *Eksternal Oblique*; b. *Internal Oblique;* c. *Rectus Abdominis*.

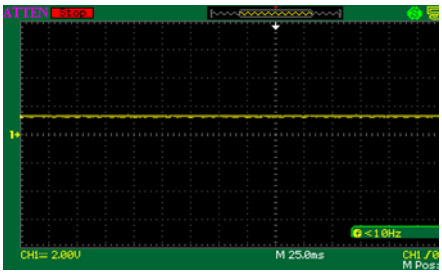


a

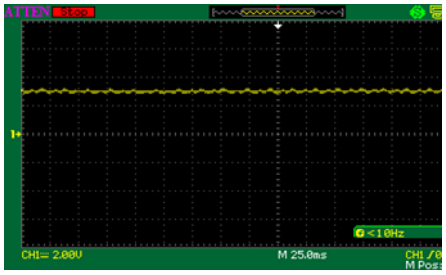


b

Gambar 11. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Eksternal Oblique* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi

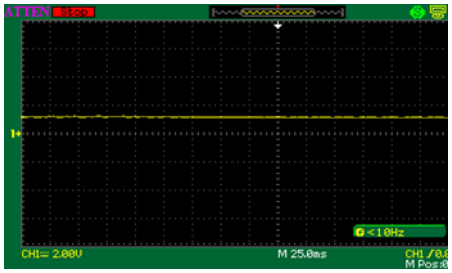


a

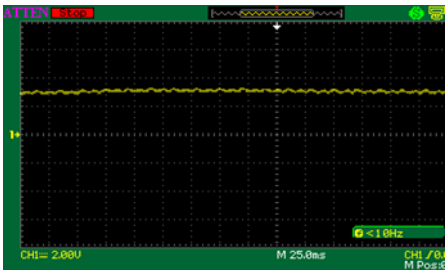


b

Gambar 12. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Internal Oblique* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi



a



b

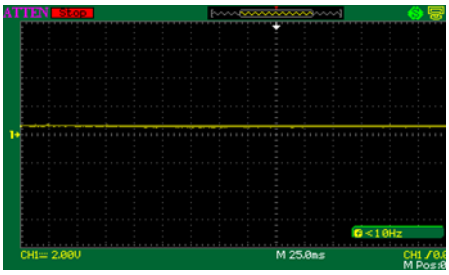
Gambar 13. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Rectus Abdominis* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

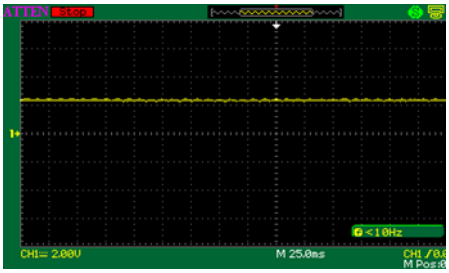
b. Hasil Penelitian IMT 19,48



Gambar 14. Titik Otot Perut a. *Eksternal Oblique;* b. *Internal Oblique;* c. *Rectus Abdominis*

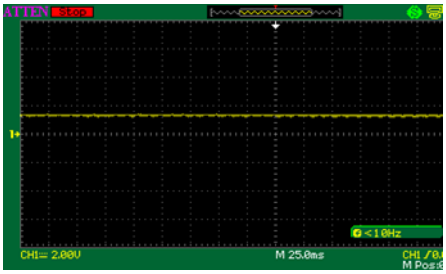


a

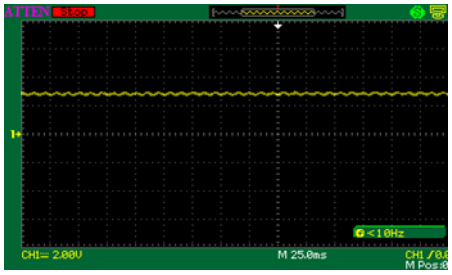


b

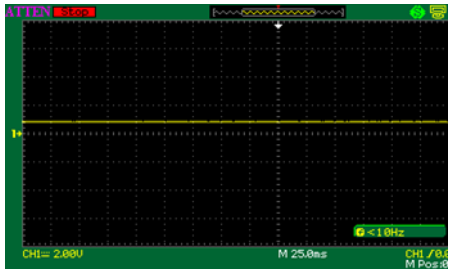
Gambar 15. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Eksternal Oblique* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi



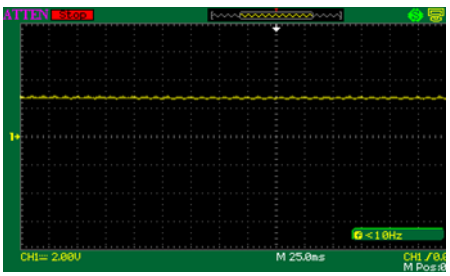
a



Gambar 16. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Internal Oblique* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi



a



b

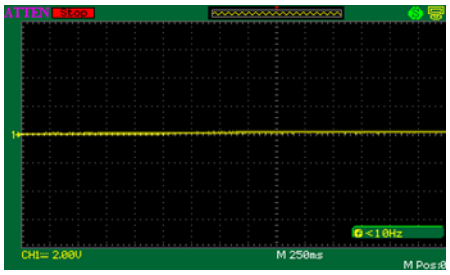
Gambar 17. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Rectus Abdominis* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

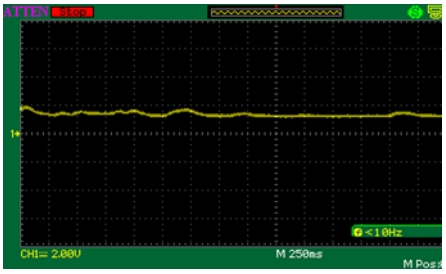
c. Hasil Penelitian IMT 24,8



Gambar 18. Titik Otot Perut a. *Eksternal Oblique;* b. *Internal Oblique;* c. *Rectus Abdominis*

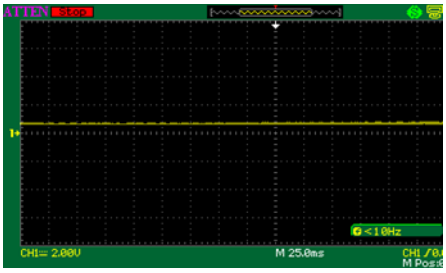


a

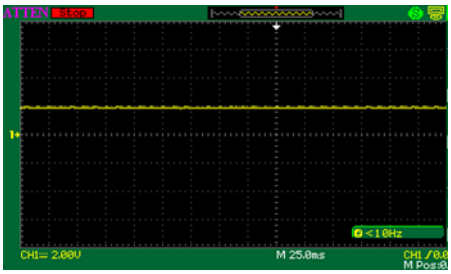


b

Gambar 19. Tampilan Osiloskop Otot Perut *Eksternal Oblique* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi

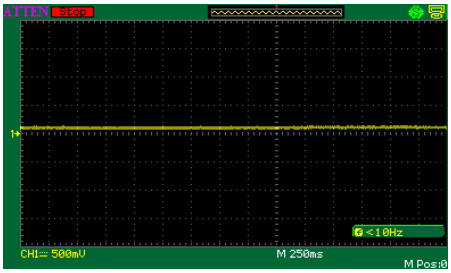


a

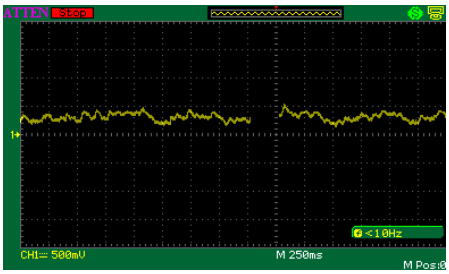


b

Gambar 20. Tampila Osiloskop Otot Perut *Internal Oblique* a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi



a



b

Gambar 21. Tampilan Osiloskop Otot Perut Rectus Abdominis a. Kondisi Rileks; b. Kondisi Kontraksi

Menurut data penelitian yang sudah dilakukan seperti gambar diatas, maka didapat tabel data seperti berikut :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 1. Hasil Pengukuran Otot Perut dengan Nilai IMT 17,71

Jenis Otot	Rileksasi	Kontraksi
Rectus Abdominis	±600mv	±2500mv
Internal Oblique	±1300mv	±3000mv
Eksternal Oblique	±780mv	±3800mv

Tabel 2. Hasil Pengukuran Otot Perut dengan Nilai IMT 19,48

Jenis Otot	Rileksasi	Kontraksi
Rectus Abdominis	±700mv	±2300mv
Internal Oblique	±1800mv	±2900mv
Eksternal Oblique	±600mv	±2400mv

Tabel 3. Hasil Pengukuran Otot Perut dengan Nilai IMT 24,8

Jenis Otot	Rileksasi	Kontraksi
Rectus Abdominis	±100mv	±370mv
Internal Oblique	±620mv	±1910mv
Eksternal Oblique	±160mv	±1100mv

5 Kesimpulan

Dari data yang diperoleh maka dapat disimpulkan bahwa besar kecilnya data yang diperoleh bisa dipengaruhi oleh banyaknya lemak yang tertimbun pada lapisan kulit dan semakin kecil data maka nilai IMT nya tinggi karena banyaknya lemak yang menghambat perolehan data.

6 Daftar Pustaka

[1] State of Alaska. 2011. State of Alaska Measuring Height/Weight and Calculating BMI.
[2] Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. Body Mass Index: Considerations for Practitioners.
[3] Advancer Technologies. 2013. Three-lead Differential Muscle/Electromyography Sensor for Microcontroller Aplications.
[4] Analog Devices. 2012. Wide Supply Range, Rail-to-Rail Output Instrumentation Amplifier.
[5] Atmel. 2006. Mikrokontroler with 8K Bytes In-System Programmable Flash.
[6] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Multi Channel Electromyography (EMG) Signal Acqiusition using Microcontroller with Rectifer. Int. Conf. on Information Tech, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 2016.
[7] Ricky Fajar Adiputra, Florentinus Budi Setiawan. Robot Arm Controlled by Muscle Tension Based on Electromyography and PIC18F4550. Int. Conf. on Information Tech, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 2016.
[8] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Electromyography (EMG) Signal Compression using Sinusoidal Segmental Model. Int. Conf. on Information Tech, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE). 2015.
[9] Kevin Eka Pramudita, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Interface and Display of Electromyography signal Wireless Measurements. International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE). 2014.
[10] Yohanes Oxa Wijaya, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto. Desain dan Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot. Industrial Research Workshop and National Seminar. 2014.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Deteksi Sinyal Otot Manusia pada Android Menggunakan Sensor Elektromiografi Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO

[1]Tyle Yan H.H Lukar [2]Florentinus Budi Setiawan

[1,2]Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang, Indonesia

tyle.yan97@gmail.com, fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Saat ini perkembangan dunia medis sudah sangat maju, diantaranya dalam bidang Biomedis. Pada bidang tersebut terdapat alat sensor Elektromiografi yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal otot pada manusia sehingga memudahkan kita dalam mengukur sinyal otot pada manusia. Sinyal Elektromiografi mempunyai amplituda yang sangat kecil maka dibutuhkan suatu komponen tambahan yaitu elektroda gel, sebagai media untuk mendeteksi sinyal otot tersebut. Pada kesempatan ini penulis membuat alat untuk mendeteksi sinyal otot tubuh manusia menggunakan hasil output sinyal Elektromiografi. Hasil sinyal tersebut dikuatkan oleh IC Op-Amp AD620 sebanyak 500 kali dan komparator dalam mode *Inverting* serta *Buffer*. Setelah itu diinputkan ke Mikrokontroler Arduino, yang terbagi menjadi dua hasil output yaitu menampilkan hasil pengukuran tersebut ke LCD dan *Bluetooth* HC-05 yang sudah terkoneksikan dengan *smartphone* android, sehingga hasil tersebut dapat muncul pada aplikasi *smartphone* android. Aplikasi yang digunakan untuk memunculkan hasil keluaran sinyal otot pada *smartphone* yaitu *Bluetooth* Terminal HC-05.

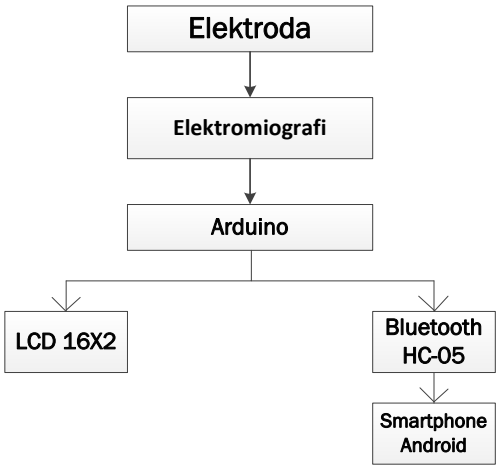
Kata Kunci: elektroda, elektromiografi,amplifier, mikrokontroler arduino, bluetooth hc-05, smartphone android.

1 Pendahuluan

Dalam melakukan kegiatan sehari-hari seseorang menggunakan banyak otot yang ada dalam tubuh. Bila sering beraktivitas menggunakan otot yang berlebih untuk bekerja keras khususnya otot pada tangan, perut, dan leher biasanya akan mengalami kram, sakit pinggang, keseleo, terkilir, dan masih banyak lagi. Untuk mendeteksi otot-otot tersebut maka dibutuhkan sensor alat yang bernama Elektromigrafi. Pada dasarnya semua titik otot pada manusia dapat mengeluarkan sinyal elektrik yang dapat difungsikan untuk mengetahui ukuran otot.

Elektromiografi digunakan untuk mengukur aktivitas listrik yang dihasilkan oleh pergerakan zat Na^+ dan K^+ didalam jaringan otot tubuh [1]. Agar terjadi sinyal tegangan pada otot manusia maka dibutuhkan elektroda. Proses terjadinya tegangan dibagi menjadi tiga yaitu Polarisasi (otot ditegangkan), Depolarisasi (otot dilemaskan), dan Repolarisasi (fase istirahat)[2]. Sinyal EMG terdiri oleh tegangan dari MUAP[3], sehingga saat melakukan kontraksi pada otot, maka akan mengalami perubahan masa otot sehingga menimbulkan suatu gelombang yang disebut MUAP *(Motor Unit Action Potential)*. Beda potensial saat kontraksi otot ini akan diukur menggunakan sensor EMG *(Electromyograph)*, dengan memasangkan elektroda ke bagian permukaan kulit otot yang akan diukur dilakukan penguatan sebesar 500x dengan menggunakan AD620 dan komparator dual op-amp menggunakan TL062 dengan mode *Inverting* dan *Buffer*. Agar sinyal tegangan dapat terbaca pada rangkaian *Low Pass Filter* dengan *envelope detector* untuk mendapatkan hasil rata-rata sinyal otot yang dikeluarkan menjadi tegangan DC[2]. Sinyal *output* tersebut masuk ke mikrokontroler arduino untuk mengirimkan data digital dan ditampilkan pada LCD serta Bluetooth HC-05 yang telah terhubung dengan pin RX-TX pada Arduino. Bluetooth HC-05 harus sudah terkoneksi pada Bluetooth android sehingga pada aplikasi Bluetooth Terminal HC-05 di android akan menerima data yang dikirim melalui Bluetooth HC-05.

Berikut blok diagram dari perancangan sistem alat tersebut.



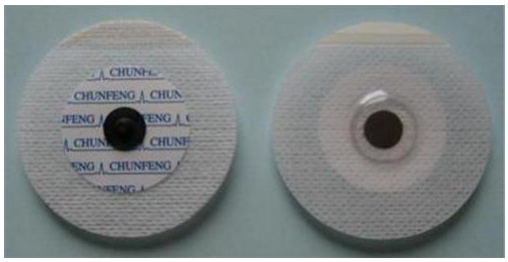
Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Sistem Alat

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2 Studi Pustaka

2.1 Elektroda

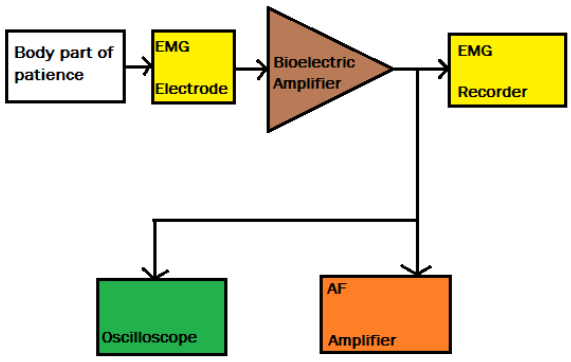
Merupakan alat sebagai penghubung yang bersifat kimiawi antara permukaan kulit dan bagian metal dari elektroda. Jenis yang digunakan dalam perancangan system ini yaitu menggunakan elektroda jenis gel. Adanya reaksi oksidatif dan reduktif pada permukaan metal dan gel tersebut yang membuat pengukuran pada sinyal otot dapat akurat karena *noise* yang masuk jauh lebih sedikit[2].



Gambar 2. Elektrode Perak Klorida dilapisi Gel

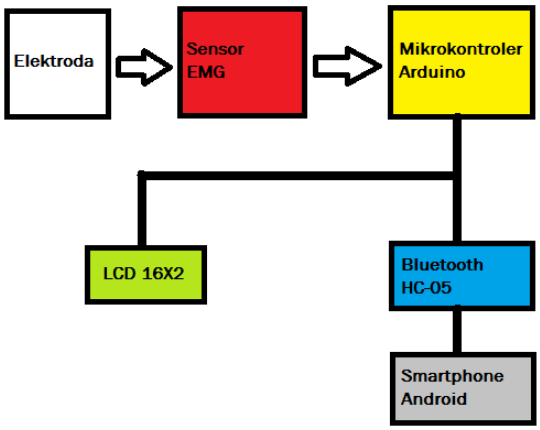
2.2 Elektromiografi (EMG)

Elektromiografi merupakan suatu teknik untuk mengevaluasi dan rekaman aktivitas listrik pada tegangan otot. Untuk menghasilkan suatu rekaman aktivitas listrik biasanya disebut Elektromiogram. Cara kerja EMG dengan mendeteksi potensial listrik yang dihasilkan sel-sel otot saat *neurologis* atau sel-sel elektrik diaktifkan, sehingga sinyal tersebut dapat dianalisis untuk mendeteksi kelainan medis pada gerakan manusia[2].



Gambar 3. Blok Diagram Elektromiografi

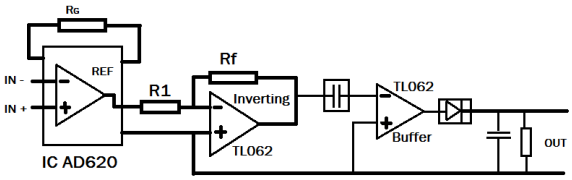
3. Rancangan Peralatan



Gambar 4. Rancangan Alat

3.1 Rangkaian Analog

Pada rangkaian EMG yang dibuat ini, sensor EMG berfungsi sebagai rangkaian analog. Rangkaian ini terdiri dari tiga komponen Op-Amp, Op-Amp pertama yang digunakan yaitu IC AD620, karena memiliki fungsi dari penguat instrumentasi sendiri dalam menguatkan sinyal otot dari EMG. Op-Amp kedua ialah dual Op-Amp yang diaplikasikan pada mode Inverting dan Buffer serta penyearah setengah gelombang. Untuk TL062 dipasang pada mode Inverting sehingga mempermudah pengaturan sinyal keluaran amplituda yang dihasilkan dari penguatan masukan. Op-Amp ketiga dimasukkan sinyal ke Buffer Amplifier yang diberi diode dan Envelope Detector pada keluarannya[2]. Tujuan dari proses penyearahan dan pemfilteran agar merata-rata sinyal otot yang telah dikuatkan menjadi sinyal DC sehingga dapat dibaca oleh ADC mikrokontroler Arduino Uno.



Gambar 5. Rangkaian EMG

3.1.1IC AD 620

IC AD620 dipilih karena didasari dari pengaplikasian dalam datasheet produk tersebut serta sangat efisien karena hanya membutuhkan satu buah resistor dalam menentukan nilai penguatnya[2][4]. Berikut rumus untuk menentukan nilai resistor yang akan digunakan dan penguat yang dihasilkan sebagai berikut :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

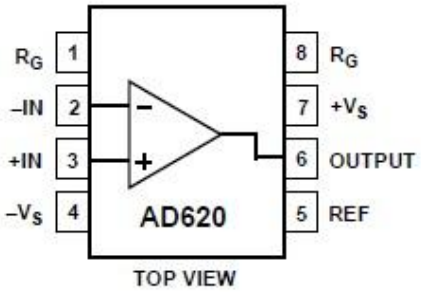
$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G-1} \quad (1)[7]$$

Keterangan :

R_G : Nilai resistor yang akan digunakan

G : Nilai penguatan yang diinginkan

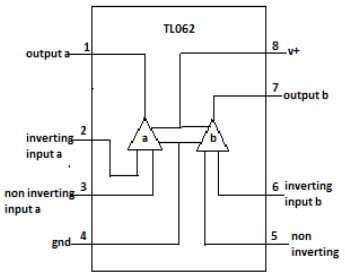
Sehingga nilai penguatan dalam tugas akhir ini adalah 500 kali, serta resistor yang digunakan adalah 100Ω.



Gambar 6. Pinout IC AD620

3.1.2 Dual Op-Amp TL062

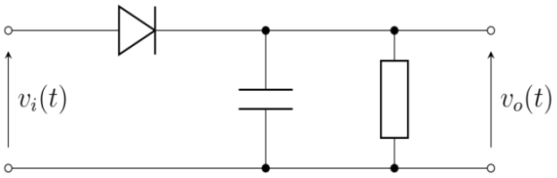
IC TL062 dipilih karena didasari atas tingginya impedansi masukan dari Op-Amp. IC ini digunakan dalam mode Inverting dan Buffer, sehingga menguatkan sinyal yang dihasilkan AD620[2].



Gambar 7. IC TL062

3.1.3 *Envelope Detector*

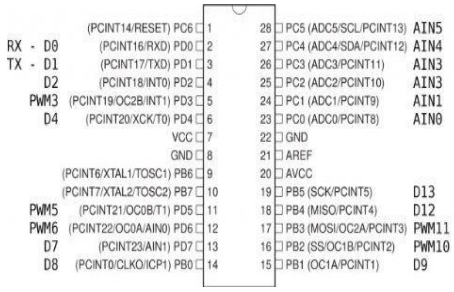
Envelope Detector merupakan rangkaian yang terdiri dari sebuah dioda, sebuah resistor dan sebuah kapasitor. Dioda sebagai menyearahkan setengah gelombang, lalu resistor dan kapasitor berfungsi sebagai Low Pass Filter[2].



Gambar 8. Rangkaian *Envelope Detector*

3.2 Rangkaian Digital

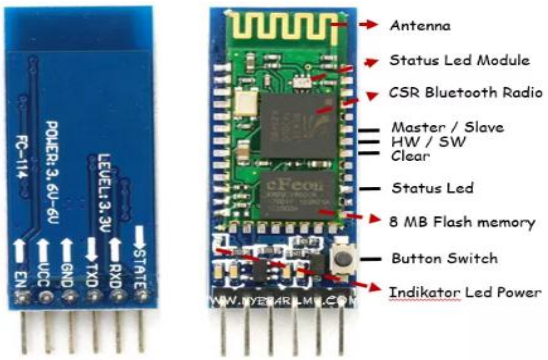
Rangkaian digital ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang terdapat ATMega328. Pada konfigurasinya memiliki 14 pin *input/output* dimana 6 pin digunakan sebagai *output* PWM, 6 *input* analog, 16 MHz crystal osilator, koneksi USB, *jack power*, ICSP *header* dan tombol *reset*. *Board* Arduino menyupport dua sumber masukkan yaitu kabel USB dan adaptor AC ke DC 7-12volt[6].



Gambar 9. Konfigurasi Pinout Arduino Uno

3.3 *Bluetooth* HC-05

Merupakan alat komunikasi wireless yang bekerja pada frekuensi radio 2.4 GHz agar dapat mempermudah koneksi dengan laptop dan *handphone*. Modul *Bluetooth* HC-05 terdapat 6 pin konektor, setiap pin konektor mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Modul *Bluetooth* HC-05 di *supply* tegangan sebesar 3.6V – 6V[8].



Gambar 10. Modul *Bluetooth* HC-05

3.4 *Smartphone* Android

Smartphone android merupakan sistem operasi perangkat lunak, bertugas untuk melakukan kontrol dan memanajemen perangkat keras serta beroperasi pada dasar sistem termasuk menjalankan *software* aplikasi pada *smartphone*. Pada pengujian alat ini *smartphone* digunakan untuk menjadi salah satu *output* dari keluaran alat ini. Agar dapat mengirimkan hasil data keluaran

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

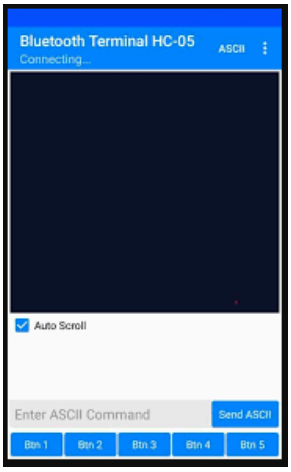
tersebut maka *Bluetooth* pada *smartphone* harus terhubung dengan *Bluetooth* hc-05.



Gambar 11. Contoh *Smartphone*

3.5 Aplikasi *Bluetooth* Terminal HC-05

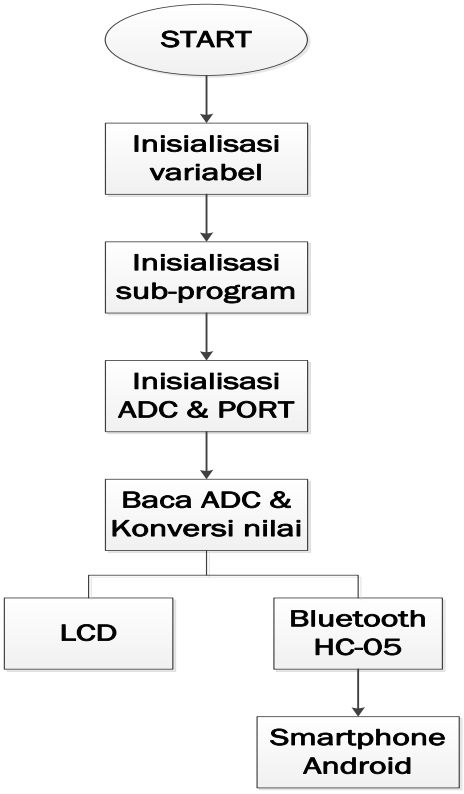
Ini adalah aplikasi terakhir yang digunakan pada android untuk menerima data dari *Bluetooth* HC-05. Aplikasi *Bluetooth* Terminal HC-05 adalah salah satu aplikasi yang dapat menghubungkan android dengan alat mikrokontroler sinyal otot yang sudah menggunakan komunikasi *Bluetooth* secara serial. Sehingga data yang diterima dapat dimunculkan dalam aplikasi android yang bernama *Bluetooth* Terminal HC-05 tersebut.



Gambar 12. Tampilan Aplikasi *Bluetooth* Terminal HC-05

3.6 Algoritma program

Pada bagian ini dijelaskan secara singkat mengenai algoritma yang dipakai dalam pembuatan program yang dipakai untuk menampilkan hasil keluaran sinyal otot dari alat EMG ke *Bluetooth* HC-05.

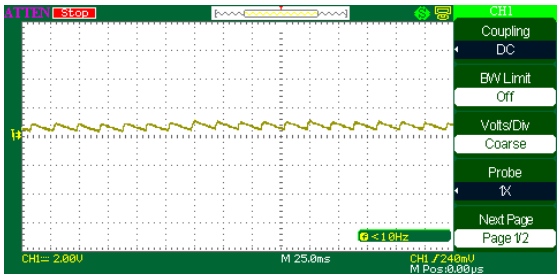


Gambar 13. Diagram Algoritma Program

4 Hasil Pengujian

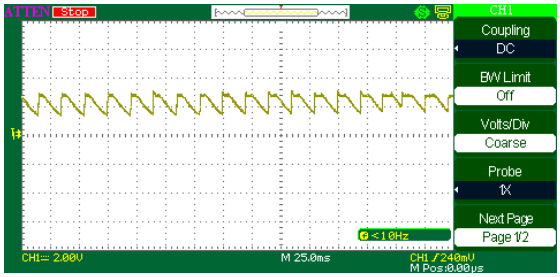
Pada dibawah ini adalah hasil pengujian alat, dimana terdapat hasil sinyal dari tiga titik otot tersebut pada sinyal osiloskop dan hasil tegangan keluaran otot pada android.

Hasil pengujian terhadap tiga titik otot orang pertama atau dikategorikan mempunyai badan yang kurus.



Gambar 14. Hasil Sinyal Otot *Platysma* saat Relaksasi

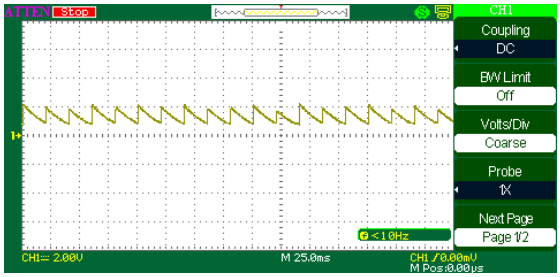
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



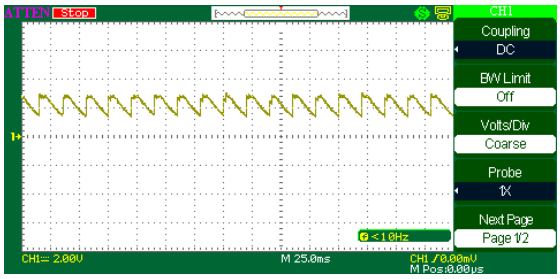
Gambar 15. Hasil Sinyal Otot *Platysma* saat Kontraksi



Gambar 16. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot *Platysma* Kontraksi



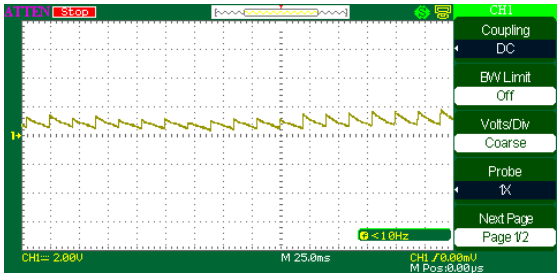
Gambar 17. Hasil Sinyal Otot Tangan Bisep saat Relaksasi



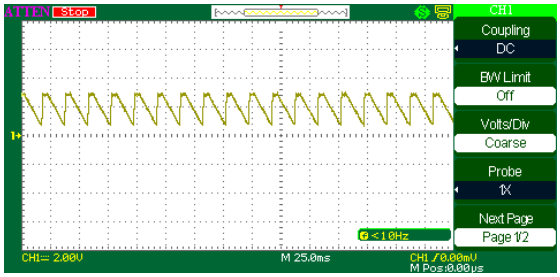
Gambar 18. Hasil Sinyal Otot Tangan Bisep saat Kontraksi



Gambar 19. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot Tangan Bisep Kontraksi



Gambar 20. Hasil Sinyal Otot Perut saat Relaksasi



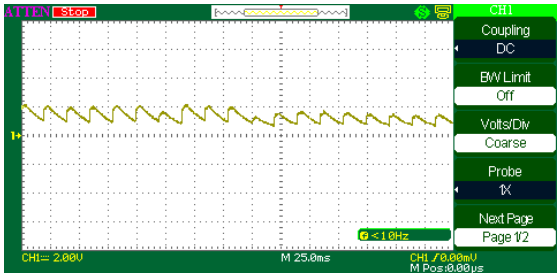
Gambar 21. Hasil Sinyal Otot Perut saat Kontraksi



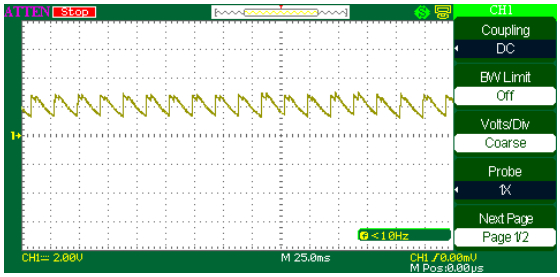
Gambar 22. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot Perut Kontraksi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Hasil pengujian terhadap tiga titik otot orang kedua atau dikategorikan mempunyai berat badan yang normal.



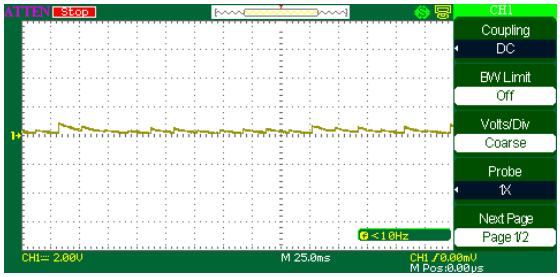
Gambar 23. Hasil Sinyal Otot *Platysma* saat Relaksasi



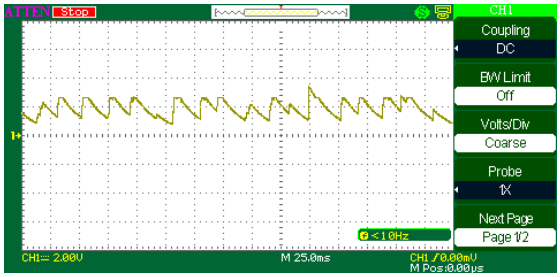
Gambar 24. Hasil Sinyal Otot *Platysma* saat Kontraksi



Gambar 25. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot *Platysma* Kontraksi



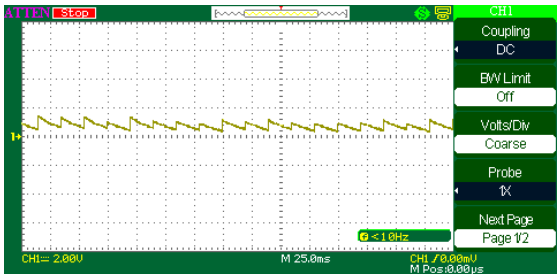
Gambar 26. Hasil Sinyal Otot Tangan Bisep saat Relaksasi



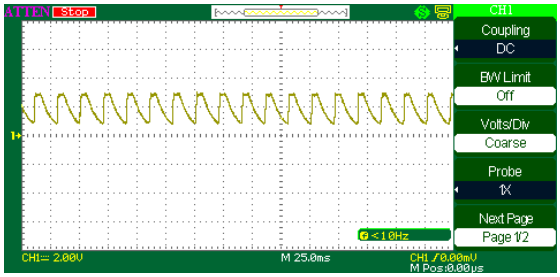
Gambar 27. Hasil Sinyal Otot Tangan Bisep saat Kontraksi



Gambar 28. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot Tangan Bisep Kontraksi



Gambar 29. Hasil Sinyal Otot Perut saat Relaksasi



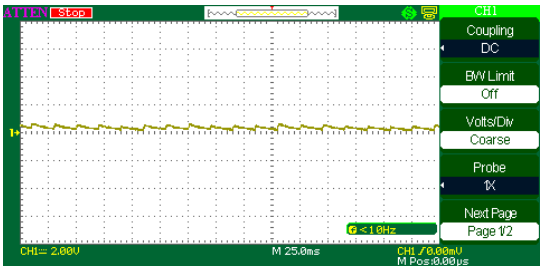
Gambar 30. Hasil Sinyal Otot Perut saat Kontraksi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

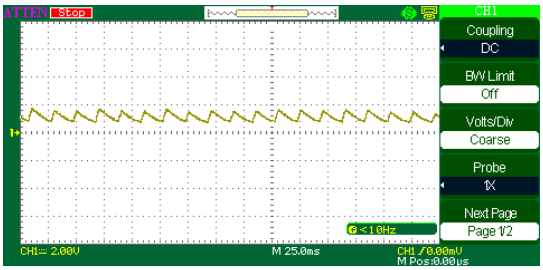


Gambar 31. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot Perut Kontraksi

Hasil pengujian terhadap tiga titik otot orang ketiga atau dikategorikan mempunyai berat badan yang lebih.



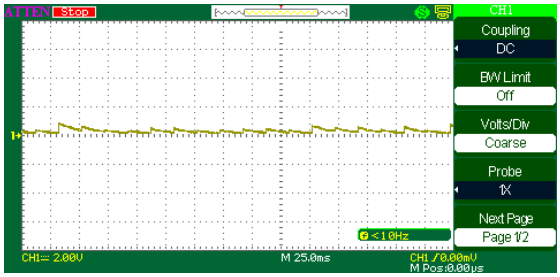
Gambar 32. Hasil Sinyal Otot *Platysma* saat Relaksasi



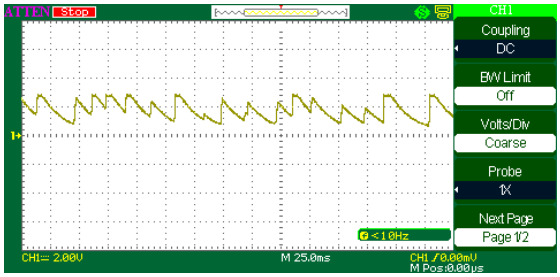
Gambar 33. Hasil Sinyal Otot *Platysma* saat Kontraksi



Gambar 34. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot *Platysma* Kontraksi



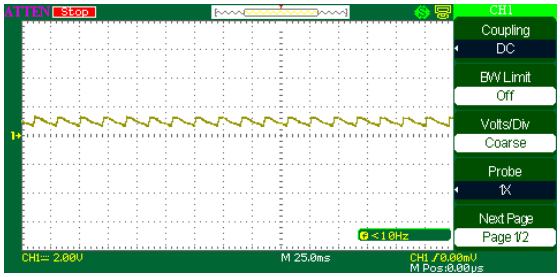
Gambar 35. Hasil Sinyal Otot Tangan Bisep saat Relaksasi



Gambar 36. Hasil Sinyal Otot Tangan Bisep saat Kontraksi

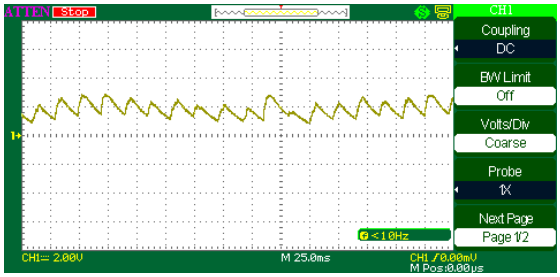


Gambar 37. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot Tangan Bisep Kontraksi



Gambar 38. Hasil Sinyal Otot Perut saat Relaksasi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 39. Hasil Sinyal Otot Perut saat Kontraksi



Gambar 40. Hasil Pengukuran dari *Smartphone* saat Otot Perut Kontraksi

5. Kesimpulan

Pada pengujian alat ini, penulis melakukan pengukuran pada tiga titik otot berbeda dengan kriteria orang yang berbeda. Ketiga titik otot tersebut terdiri dari otot *platysma*, otot tangan bisep dan otot perut di setiap orangnya, dimana hasil pengukuran tegangan sinyal otot akan berbeda-beda. Dari hasil pengukuran otot *platysma* paling kecil sebesar 1420mV dan paling besar 2170mV. Hasil pengukuran otot tangan bisep paling kecil yaitu 2330mV dan paling besar yaitu 2390mV. Hasil pengukuran otot perut paling kecil yaitu 2040mV dan paling besar yaitu 2710mV.

6 Daftar Pustaka

[1] Kevin Eka Pramudita, F Budi Setiawan, Siswanto, "Interface and display of Electromyography signal wireless measurements", International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014.

[2] Ricky Fajar Adiputra, Florentinus Budi Setiawan, "ROBOT ARM CONTROLLED BY MUSCLE TENSION BASED ON ELECTROMYOGRAPHY AND PIC18F4550", Int. Conf. on Information Tech., Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Oct 19-21st, 2016.

[3] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Electromyography (EMG) Signal Compression using Sinusoidal Segmental Model", International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2015.

[4] Nasiqin, Imam, Arif Surtono dan Gurum Ahmad Pauzi, "Rancang Bangun Penguat Biopotensial Elektrokardiografi(EKG) Berbasis AD620", JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika, 2015.

[5] Konrad,Peter. The ABC of EMG : A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography. April 2005.

[6] Arduino datasheet, octopart, 2014.

[7] AD620 datasheet, Analog Device, 2010.

[8] HC-05 datasheet, ITead Studio, 2010.

[9] J. Gotuzzo, S. Vu, S. Dee and K. George, "Electromyography Based Orthotic Arm and Finger Rehabilitation System," *2018 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*, New York City, NY, USA, 2018, pp. 338-339.

[10] Yohanes Oxa Wijaya, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Desain dan Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot", Industrial Research Workshop and National Seminar, 2014.

[11] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Multi Channel Electromyography (EMG) Signal Acqiusition using Microcontroller with Rectifier", Int. Conf. on Information Tech., Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Oct 19-21st, 2016.

[12] Rizki Multajam dan Mada Sanjaya, "DESAIN DAN ANALISIS ELECTROMYOGRAPHY (EMG) SERTA APLIKASINYA DALAM MENDETEKSI SINYAL OTOT", ALHAZEN Journal of Physics, Vol. 2, No. 2, 2016.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

PEMBACAAN SINYAL OTOT PADA BAGIAN KEPALA MENGGUNAKAN SENSOR ELEKTROMIOGRAFI (EMG) DAN SCILAB

Nico Hendrawan Santoso,[1]), Florentinus Budi Setiawan,[2])

Program Studi Teknik Elektro-Fakultas Teknik Universitas katolik soegijapranata

Jl.pawiyatan luhur IV/1 Bendan Dhuwur,Semarang,Indonesia

Email : nicohendrawan@gmail.com

Email : fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Seiring dengan perkembangan jaman, pengaplikasan ilmu robotika juga semakin berkembang dan mulai masuk ke berbagi bidang, khususnya bidang biomedis yang akan sangat bermanfaat untuk umat manusia untuk kelangsungan hidupnya.
Pada penelitian ini penulis akan membahas tentang perancangan electromiografi (EMG) untuk mendeteksi adanya aktivitas listrik di dalam otot manusia. Pada penelitian ini penulis mengukur pada bagian kepala yaitu otot dahi, otot pipi, otot rahang, otot belakang telinga dan otot leher. amplitudo yang sangat kecil maka diperlukan elektroda sebagai media untuk mendeteksi sinyal tersebut, elektroda di lekatkan pada bagian otot besar yang mempunyai denyut nadi paling kuat. Kemudian sinyal dikuatkan menggunakan rangkaian penguat AD620 dengan 1000 kali penguatan. Hasil dari pengukuran otot wajah dikuatkan menggunakan elektromiografi supaya dapat direkam kemudian rekaman berupa suara diolah menggunakan Scilab.

Kata Kunci : Elektromiografi, Amplifier, Elektroda

1 Pendahuluan

Di jaman yang serba modern ini, perkembangan teknologi berkembang sangat pesat serta berperan penting dalam kehidupan sehari-hari manusia. Electromyography (EMG) adalah proses merekam aktivitas elektrik dari otot, untuk menentukan apakah sedang melakukan kontraksi atau tidak. Sinyal elektromiografi adalah sinyal biomedis yang diperoleh melalui respons listrik yang dihasilkan dalam otot selama kontraksi yang merepresentasikan aktivitas neuromuskuler[1]. Fungsi otot sangat berperan penting dalam setiap aktivitas manusia, misalnya dalam bekerja, berolah raga, belajar bahkan tidur tidak terlepas dari kerja otot. Semakin besar otot mengeluarkan tenaga maka frekuensinya akan semakin besar, sebagian besar perangkat elektronika ini merupakan perangkat elektronika dengan sinyal lemah. Perangkat elektronika dengan sinyal lemah ini diantaranya banyak terdapat pada instrumentasi medis. Beberapa instrumentasi medis ini membutuhkan filter untuk melewatkan sinyal dengan rentang frekuensi tertentu. Penelitian tentang EMG memanfaatkan sinyal elektrik yang ada dalam tubuh manusia agar dapat digunakan sebagai input kendali suatu sistem yang dalam hal ini mengambil sinyal-sinyal EMG hasil dariaktivitas otot yang mengandung informasi tentang keadaan otot tersebut.

Pada saat otot berkontraksi maka akan menghasilkan sinyal-sinyal impuls yang dapat di baca oleh elektroda yang kemudian dapat di kuatkan dan di olah menggunakan Scilab.

2 Dasar Teori

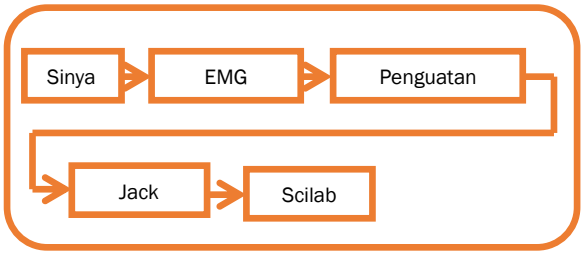
Sebelum membahas rancangan yang di buat, harus di pahami terlebih dahulu mekanisme kerja otot manusia. Otot merupakan alat gerak aktif dalam sistem gerak manusia, rangka yang menyokong tubuh manusia di gerakkan oleh otot yang menempel pada rangka. Otot memiliki karakteristik yang berbeda, namun pada dasarnya tersusun atas protein kontraktil yang mampu membangkitkan gerakan. Impuls yang di hasilkan saat otot sedang tegang dibaca menggunakan elektroda sebagai ACTION POTENTIAL yang dikenal sebagai MOTOR UNIT ACTION POTENTIAL (MUAP). Saat terjadinya MUAP, terdapat peranan ion Natrium(Na^+) dan Potasium(K^+), yang berpindah pindah menyebabkan perbedaan potential otot.

Sinyal tegangan ini terjadi karena terjadi proses Polarisasi dan Depolarisasi 2 Ion penting

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

dalam sel-sel otot, Ion tersebut adalah Natrium(Na+) dan Potasium(K+), Proses terjadinya tegangan di bagi menjadi 3 bagian, yaitu Polarisasi (Penegangan otot) , Depolarisasi (Pelemasan otot), dan Kondisi istirahat[2].

Dengan teori diatas, maka di buatlah diagram sederhana untuk memberi gambaran secara sederhana dalam pengolahan sinyal otot agar mudah untuk di olah menggunakan aplikasi Scilab.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Dari gambar 1 diatas terdapat elemen yang tidak di ikut sertakan tetapi memiliki peran penting, seperti elektroda yang di gunakan sebagai input dari sistem elektromiografi.

Sinyal dari sistem Elektromiografi tidak langsung di olah menggunakan scilab melainkan di kuatkan terlebih dahulu, karena sinyal yang di hasilkan sensor elektromiografi terlau kecil untuk di baca. selain di kuatkan, Dan sinyal yang di hasilkan setelah penguatan adalah sinyal AC.

2.1 Elektromiografi

Elektromiografi adalah sinyal yang dihasilkan oleh otot yang mengandung informasi ttentang keadaan otot tersebut. Peristiwa – pristiwa listrik yang terjadi pada otot dapat di rekam oleh elektromiografi. Sinyal EMG digunakan dalam aplikasi biomedis. Ic utama dalam penelitian ini menggunakan AD620 yang mempunyai presisi atau ketepatan yang baik untuk penguatan sebuah sinyal yang lemah

AD620 adalah komponen penting yang berfungsi sebagai penguat yang presisi, dan komponen ini dapat menguatkan 1 sampai 1000 kali tergantung pengali yang diinginkan. Pengali AD620 dapat di atur dengan mengubah Rg, dan dalam penggantian Rg harus disesuaikan dengan pengali yang kita inginkan sesuai dengan rumus.

$$Rg = 1 + \frac{49{,}4k}{G-1} \text{ [3]}$$

Rg = Nilai Resistor yang akan digunakan

G = Nilai penguatan yang diinginkan

Sinyal yang dihasilkan oleh tubuh manusia memiliki amplitude yang sangat kecil Yang berorder mikro Volt. Oleh karena itu sinyal tersebut perlu dikuatkan Penguat Instrumentasi merupakan rangkaian elektronika yang didefinisikan sebagai suatu rangkaian untuk memperbesar daya, arus dan amplitude. Komponen yang digunakan sebagai penguat adalah IC tipe AD620 besar penguatannya di cari menggunakan persamaan di atas.

2.2 Elektroda

Elektroda merupakan faktor penting dalam pengukuran ini, karena sebagai awal masuknya sinyal yang akan dibaca oleh alat ini, dalam pengujian alat di gunakan elektroda jenis Gel.Elektroda yang digunakan adalah bipolar 2 elektroda yang aktif diletakkan secara berdekatan di otot yang akan di ukur dan 1 sebagai ground. Elektroda diletakan pada permukaan kulit yang mengalami kontraksi sesuai dengan gerakan yang dilakukan.

Elektroda berfungsi untuk membaca dan menghantarkan sinyal otot dari permukaan kulit ke rangkaian EMG[4]. Sensor tersebut terbuat dari bahan Ag | AgCl, Bagian AgC1 memudahkan arus yang melewati belokan antara Electrolit dan Elektroda. Dalam elektroda ini terdapat gel yang menempel langsung pada kulit, gel ini yang akan mendeteksi listrik dalam tubuh manusia yang kemudian ion yang di tangkap oleh elektroda ini masuk dan di proses di dalam penguat Elektromiografi (EMG). Dengan menggunakan elektroda gel ini pengukuran yang dilakukan lebih efektif karena noise yang masuk jauh lebih sedikit.

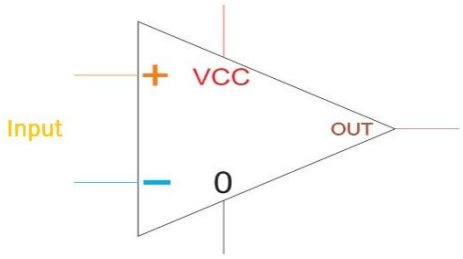
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 2. Elektroda Perak klorida dengan dilapisi Gel

2.3 Operasional Amplifier

Operasional amplifier (Op-Amp) adalah komponen elektronika yang merupakan suatu rangkaian integrated circuit (IC) yang memiliki dua input inverting dan non-inverting dengan sebuah terminal output. Dimana rangkaian umpan balik dapat ditambahkan untuk mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhan pada operasional amplifier (Op-Amp). Pada dasarnya operasional amplifier (Op-Amp) merupakan suatu penguat diferensial yang memiliki 2 inputdan 1 output. Op-amp ini digunakan untuk membentuk fungsi-fungsi linier yang bermacam-macam atau dapat juga digunakan untuk operasi-operasi tak linier, dan seringkali disebut sebagai rangkaian terpadu linier dasar. Penguat operasional (Op-Amp) merupakan komponen elektronika analog yang berfungsi sebagai amplifier multiguna dalam bentuk IC[5]. dan memiliki simbol sebagai berikut :



Gambar 3. Simbol OP-AMP

2.4 Konektor Audio Jack 3.5mm

Konektor 3.5mm jack dijadikan standart internasional karena kemampuan dan fiturnya yang lebih memadai ketimbang konektor audio jack 2.5mm. kata 3.5mm jack sendiri diambil dari ukuran diameter konektor tersebut. Konektor 3.5mm jack ini juga memiliki tipenya sendiri-sendiri.



Gambar 4. Jenis – jenis audio jack

a. Audio Jack TS (Tip-Sleeve)

Audio Jack TS (*Tip-Sleeve*) adalah Audio Jack yang terdiri dari dua konduktor saja yaitu bagian konduktor Tip dan bagian Konduktor Sleeve. Tip biasanya dihubungkan ke signal audio sedangkan bagian Sleeve dihubungkan ke Ground. Audio Jack TS ini biasanya digunakan untuk mikrofon ataupun Audio yang bermodel mono (suara kanan dan suara kiri sama saja).

b. Audio Jack TRS (Tip-Ring-Sleeve)

Audio Jack TRS (*Tip-Ring-Sleeve*) ini memiliki tiga bagian konduktor yaitu konduktor Tip, konduktor Ring dan konduktor Sleeve. Pada umumnya, bagian konduktor Tip dihubungkan ke kanal kiri audio (Left Channel) dan bagian Ring dihubungkan ke kanal kanan audio (Right Channel) sedangkan bagian konduktor Sleeve dihubungkan ke Ground. Audio Jack TRS ini mendukung audio dengan mode Stereo.

c. Audio Jack TRRS (Tip-Ring-Ring-Sleeve)

Audio Jack tipe TRRS (*Tip-Ring-Ring-Sleeve*) adalah tipe Audio Jack yang paling lengkap karena terdapat empat bagian konduktor yaitu 1 konduktor Tip, 2 konduktor Ring dan 1 konduktor Sleeve. Biasanya, Audio Jack TRRS yang berukuran 3,5mm ini digunakan untuk mendengarkan musik dan berkomunikasi di hampir semua jenis Smartphone yang beredar di pasaran saat ini. Konfigurasi Audio Jack TRRS ini pada umumnya adalah konduktor Tip untuk audio kanal kiri (*Left Channel*), konduktor Ring pertama untuk audio kanal kanan (*Right Channel*), konduktor Ring kedua

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

untuk Ground dan konduktor Sleeve untuk Mikrofon.

3 Perancangan Alat

Pada pengukuran otot, menggunakan sensor elektromiografi tanpa filter yang dikombinasikan dengan audio. Hasil dari pengukuran otot diolah menggunakan scilab.

a. Rangkaian Analog

Rangkaian analog yang di gunakan terdiri dari tiga buah OP-AMP, OP-AMP pertama adalah Penguat Instrumentasi AD620 yang secara spesifik di gunakan dalam aplikasi EMG, fungsi dari penguat instrumentasi sendiri adalah untuk menguatkan sinyal otot yang di peroleh dari permukaan kulit. Pemilihan penguat instrumentasi AD620 di dasari oleh aplikasi pokok yang di cantumkan dalam *Datasheet* produk tersebut[3].

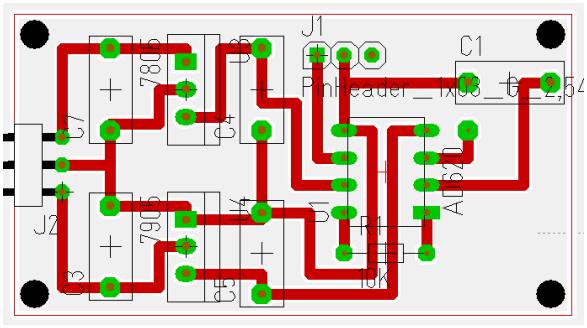
AD620 sangatlah minimalis karena hanya membutuhkan 1 buat resistor untuk menentukan nilai penguatannya, Rumus untuk menentukan nilai resistor yang di gunakan dan penguatan yang di hasilkan adalah sebagai berikut :

$$Rg = 1 + \frac{49{,}9k}{G-1} \text{ [3]} \qquad (1)$$

Rg = Nilai Resistor yang akan digunakan

G = Nilai penguatan yang diinginkan

dan dapat di jabarkan tiap-tiap bagian rangkaiannya.



Gambar 5. Desain komponen pada PCB

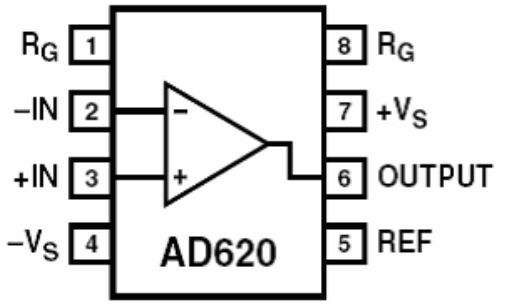
b. IC AD620

IC AD620 berfungsi untuk menguatkan sinyal otot yang dibaca oleh elektroda dalam bentuk MUAP (Motor Unit Action Potential). Penguat ini digunakan karena sinyal otot yang terbaca oleh elektroda sangatlah kecil, sehingga dibutuhkan penguat agar sinyal dapat diproses dengan lebih mudah[2]. IC AD620 yang spesifik untuk di gunakan dalam aplikasi pembacaan sinyal EMG maupun ECG selain itu pemakaiannya relatif jauh lebih mudah di bandingkan dengan memakai rangkaian Op-Amp lainnya.

Dengan hanya menambahkan sebuah resistor untuk mengatur nilai penguatan Op-Amp tersebut maka rangkaian yang di gunakan dapat di buat seminimalis mungkin.



Gambar 6. Bentuk fisik AD620



Gambar 7. Pinout AD620

c. Scilab

Scilab adalah suatu perangkat lunak yang dikembangkan untuk komputasi numeric dan visualisasi data, Proses rekaman otot yang berupa audio dapat kita olah menggunakan scilab dengan program[5][6]. Sebagai berikut :

Step 1

t=1:8000; *(Range Gelombang)*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

y=wavread('lokasi file'); *(Upload file)*

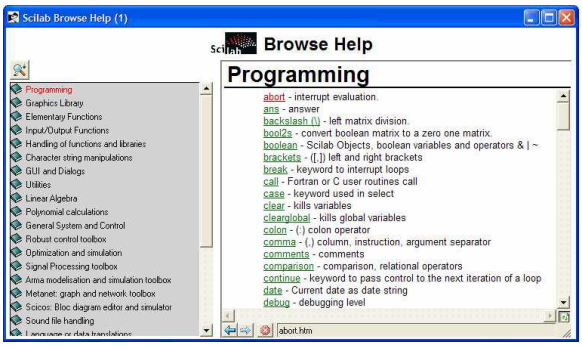
plot(y) *(Menampilkan Gelombang)*

Step 2

x=abs(fft(y)); *(Mengubah suatu data dalam domain waktu menjadi data dalam domain frekuensi)*

plot(x) *(Menampilkan Gelombang)*

Scilab juga dilengkapi dengan sistem bantuan (*help*) yang cukup baik, untuk melihat sistem bantuan (help), gunakan menu ? _ Scilab Help. Pada jendela bantuan, kita dapat memperoleh penjelasan yang detail mengenai suatu fungsi atau operator tertentu[5].



Gambar 8. Jendela bantuan

4 Pengujian dan Analisis

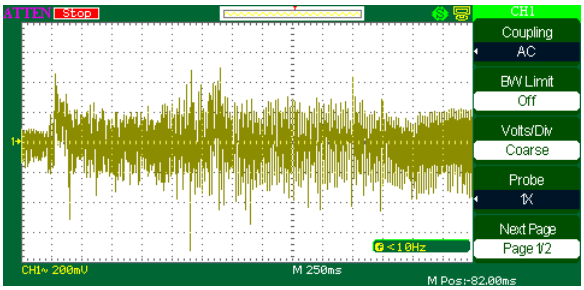
Pada penelitian ini menggunakan elektromiografi sebagai sensor otot untuk pengambilan data. Hasil sinyal tegangan otot kemudian direkam dan diolah menggunakan scilab.

Karena sinyal otot pada wajah dan sekitar kepala sangat kecil maka harus dikuatkan terlebih dahulu sebelum direkam dan diolah dengan Scilab. Dalam rancangan elektromiogafi terdapat IC AD620 yang berfungsi sebagai penguat dan dapat menguatkan hingga 1000 kali.

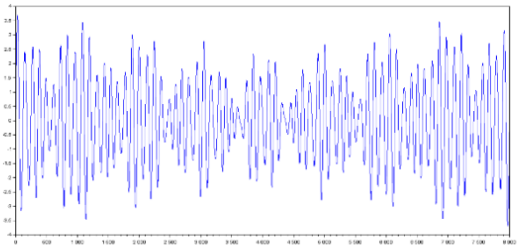
Saat pengujian dilakukan pengukuran beberapa otot pada kepala diantaranya adalah otot frontalis atau dahi, otot zygomaticus atau pipi, otot sternocleidomastoideus atau belakang telinga, otot maseter atau rahang dan otot sternohyoideus atau leher. Berikut adalah titik-titik pengukuran, hasil osiloskop dan hasil scilab :



Gambar 9. Otot dahi atau frontalis



Gambar 10. Hasil sinyal otot dahi pada osiloskop

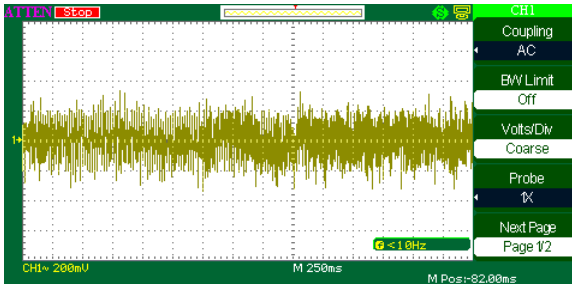


Gambar 11. Hasil sinyal pada scilab

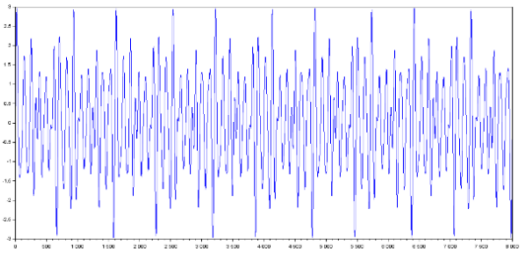


Gambar 12. Otot rahang atau maseter

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



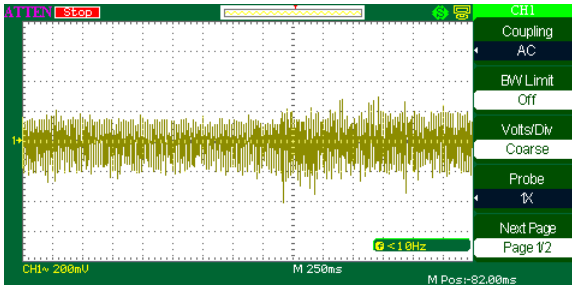
Gambar 13. Hasil sinyal otot rahang pada osiloskop



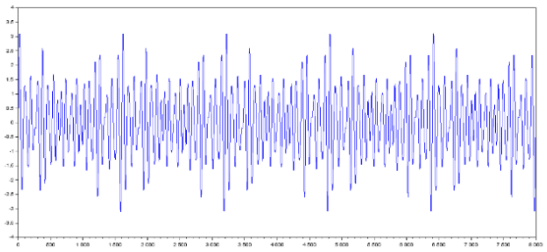
Gambar 14. Hasil sinyal pada scilab



Gambar 15. Otot pipi atau zygomaticus



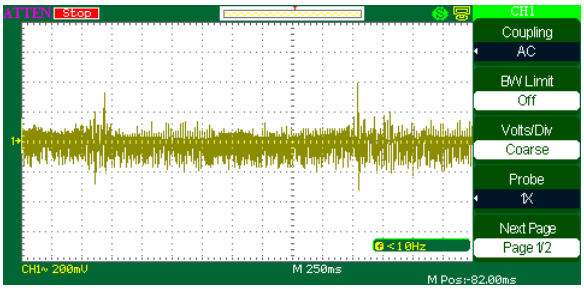
Gambar 16. Hasil sinyal otot pipi pada osiloskop



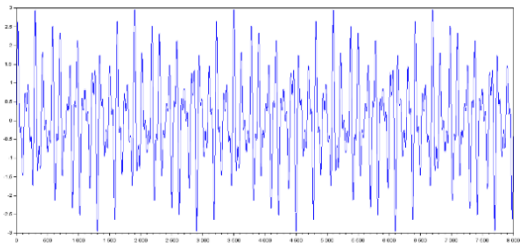
Gambar 17. Hasil pada scilab



Gambar 18. Otot belakang telinga atau sternocleidomastoideus



Gambar 19. Hasil sinyal otot belakang telinga pada osiloskop

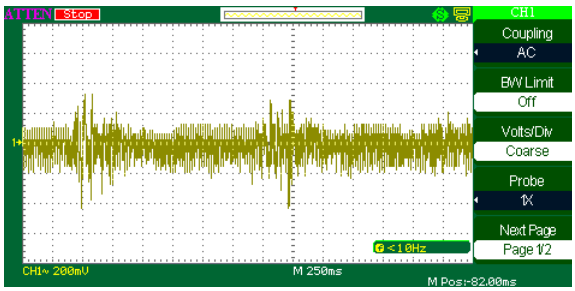


Gambar 20. Hasil pada scilab

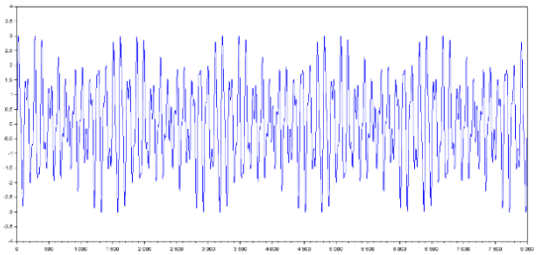
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 21. Otot leher atau sternohyoideus



Gambar 22. Hasil sinyal otot leher pada osiloskop



Gambar 23. Hasil pada scilab

5 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan pengamatan telah didapatkan kesimpulan yang berdasarkan dari pengukuran sensor elektromiografi yaitu :

1. Rangkaian penguat sinyal pada pengukuran otot wajah dapat berfungsi dengan baik yaitu menguatkan sinyal otot kemudian direkam dan diolah menggunakan Scilab

2. Program pada pengolahan suara otot yang direkam kemudian diolah dengan Scilab berjalan dengan baik

3. Hasil dari pengukuran otot wajah dikuatkan menggunakan elektromiografi supaya dapat direkam.

4. Nilai yang dihasilkan pada saat pengukuran berbeda-beda dikarenakan tingkat ketebalan lemak dan kekuatan pada tiap otot manusia

Daftar Pustaka

[1] Kevin Eka Pramudita, FB. Setiawan, Siswanto, “Interface and display of Electromyograph signal wireless measurements” Proc. of 2014 1st Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014.
[2] FB. Setiawan, Siswanto, “Multi Channel Electromyograph (EMG) Signal Acqiusition using Microcontroller with Rectifier”, Proc. of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.
[3] AD620 datasheet, Analog Device, 2010.
[4] Rietsh, E., An Introduction to Scilab from a Matlab User’s Point of View Version 2.6-1.0,2002.
[5] Ricky Fajar Adiputra, FB. Setiawan, “ROBOT ARM CONTROLLED BY MUSCLE TENSION BASED ON ELECTROMYOGRAPHY AND PIC18F4550” Proc. of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.
[6] Arief,S., Scilab – Perangkat lunak gratis untuk komputasi numeric dan visualisasi data. 2003.
[7] Chapra, S.C., Canale, R.P., Numerical Methods for Engineers with Programming and Software Applications. WCB/McGraw Hill,Singapore, 1998.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Rancang Bangun Ohmmeter Berbasis Modulasi Lebar Pulsa (PWM)

[1,2]Dika Setiawan*), [1]Wifda Rahmatiya Hasna, [1]Atikah Ardi & [1]Hendro

[1] Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Bandung

[2]UPT Balai Pengembangan Instrumentasi, LIPI

dikasetiawan09@gmail.com *)

Abstrak

Pada makalah ini akan dibahas mengenai sistem pengukuran hambatan listrik dari suatu komponen resistif atau *Device Under Test* (D.U.T) dengan metode volt-ampere yang memanfaatkan sinyal PWM. Alat ukur hambatan listrik atau ohmmeter yang bekerja berdasarkan metode volt-ampere terdiri dari sistem pembangkit (sumber) arus konstan dan sistem pengukur tegangan. Arus uji dari ohmmeter yang dibahas pada makalah ini dihasilkan dari pengolahan sinyal PWM (dengan resolusi 10-bit) yang dibangkitkan oleh modul Arduino Uno. Sinyal PWM tersebut kemudian dirata-ratakan oleh rangkaian filter RC berpenyangga sehingga dihasilkan tegangan searah (DC) yang sebanding dengan lebar pulsa dari sinyal PWM yang dibangkitkan. Tegangan DC ini kemudian diumpankan ke rangkaian HCP sehingga dihasilkan arus uji yang sebanding dengan lebar pulsa dari sinyal PWM tersebut. Tegangan jatuh pada D.U.T akan sebanding dengan arus uji yang mengalir padanya. Tegangan jatuh pada D.U.T kemudian ditangkap oleh rangkaian penguat awal (*pre-amp*) kemudian diukur menggunakan Digital Voltmeter. Hasil pengukuran dari ohmmeter yang dibuat memiliki akurasi terbaik dibawah 0.1% jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan ohmmeter referensi.

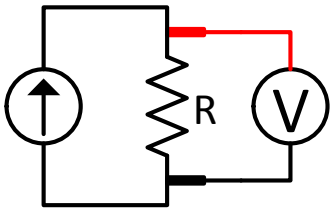
Kata Kunci: ohmmeter, Pulse Width Modulation, filter RC, Howland Current Pump

1 Pendahuluan

Pada tahun 1826, seorang fisikawan bernama Georg Simon Ohm menemukan hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan listrik dimana besarnya arus I yang mengalir melalui hambatan R pada sebuah rangkaian tertutup akan sebanding dengan sumber tegangan V yang menyebabkannya dan berbanding terbalik dengan hambatan listrik yang dilaluinya [1]. Pernyataan tersebut dikenal sebagai Hukum Ohm yang secara matematis dapat diungkapkan sebagai

$$I = \frac{V}{R} \qquad (1)$$

Ungkapan diatas menyiratkan makna bahwa hambatan listrik dari suatu objek dapat diketahui dengan cara mengalirkan arus (yang besarnya sudah diketahui) melalui objek tersebut kemudian mengukur tegangan jatuhnya. Metode tersebut dikenal sebagai metode Volt-Ampere dan dapat diilustrasikan seperti gambar 1. Penerapan metode Volt-Ampere untuk pengukuran hambatan listrik pada berbagai media dan rentang ukur dapat dijumpai pada referensi [2], [3], dan [4]. Untuk selanjutnya, objek yang akan diukur hambatan listriknya disebut *Device Under Test* atau D.U.T.



Gambar 1 ilustrasi pengukuran hambatan listrik berdasarkan Hukum Ohm

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa untuk mengukur hambatan listrik menggunakan metode Volt-Ampere, setidaknya dibutuhkan dua hal yakni sumber arus konstan dan alat ukur tegangan (voltmeter). Sistem pengukuran hambatan seperti pada gambar 1 akan bekerja dengan optimal apabila arus uji yang dihasilkan oleh sumber arus nilainya selalu konstan (tidak terpengaruh oleh hambatan D.U.T). Selain itu, voltmeter yang digunakan juga harus memiliki impedansi input yang sangat tinggi sehingga arus uji sepenuhnya mengalir ke D.U.T (tidak ada arus uji yang mengalir ke voltmeter).

Hambatan listrik dari sebuah D.U.T juga dapat diketahui dengan cara menempatkan D.U.T tersebut sebagai salah satu komponen dari rangkaian osilator, seperti dikemukakan pada referensi [5]. Konstanta-waktu (dan juga frekuensi osilasi) dari osilator akan berbeda untuk nilai hambatan yang berbeda. Nilai hambatan dari D.U.T dapat diketahui dengan mengukur frekuensi osilasi yang dihasilkan osilator kemudian membaginya

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

dengan sebuah konstanta dan kapasitansi dari kapasitor yang digunakan. Namun sayangnya metode ini kurang efektif untuk pengukuran hambatan listrik dibawah 100Ω.

6.1 1.1 Sumber Arus

Sumber arus pada hakikatnya adalah sebuah sumber tegangan yang memiliki impedansi sangat tinggi dimana nilai tegangan yang dibangkitkan dapat berubah (secara otomatis) sehingga arus yang mengalir menuju beban akan tetap sama berapapun besar bebannya [6]. Pada sistem pengukuran hambatan (seperti diilustrasikan pada Gambar 1), D.U.T merupakan beban bagi sumber arus. Dalam prakteknya, tegangan internal dari sebuah sumber nilanya terbatas sehingga arus yang dihasilkan oleh sebuah sumber arus akan berkurang seiring bertambahnya beban.

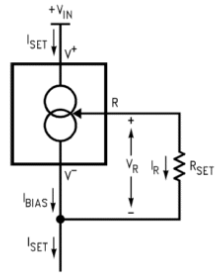
Terbatasnya kemampuan sumber arus menyebabkan terbatasnya pula rentang pengukuran hambatan. Alat ukur hambatan (ohmmeter) dengan rentang ukur yang lebar tentunya harus memiliki kemampuan untuk menghasilkan arus uji yang bervariasi sesuai dengan rentang pengukuran yang digunakan. Sebagai contoh, Tabel 1 memberikan informasi mengenai arus uji dari sebuah produk multimeter yang memiliki fitur pengukuran hambatan [7].

Tabel 4 arus uji untuk pengukuran hambatan dari sebuah produk multimeter

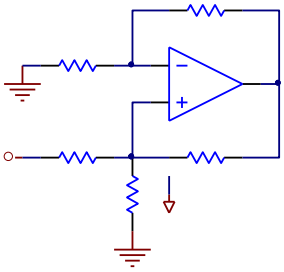
Rentang Ukur	Arus uji maksimum
400 Ω	200 µA
4 kΩ	80 µA
40 kΩ	12 µA
400 kΩ	1.4 µA
4 MΩ	0.2 µA
40 MΩ	0.2 µA

Dengan kecanggihan teknologi semikonduktor yang ada sekarang, berbagai macam rangkaian terpadu (*Integrated Circuit* atau I.C.) telah dikembangkan. LM334 adalah salah satu contoh sumber arus dalam bentuk IC yang memiliki tiga pin [8]. Arus output (I_{SET}) yang dihasilkan dapat diatur dengan cara mengubah-ubah nilai resistor (R_{SET}) antara pin *R* dan pin *V-*. Pemanfaatan LM334 pada aplikasi ohmmeter multi-rentang (seperti pada tabel 1) membutuhkan beberapa buah R_{SET} dan sebuah multiplekser untuk memilih R_{SET} yang akan dipakai pada rentang ukur tertentu.

Konfigurasi ini dinilai kurang praktis setidaknya karena dua alasan. Pertama, multiplekser memiliki hambatan dalam yang tidak kecil (antara puluhan hingga ratusan ohm) sehingga mempengaruhi perhitungan nilai R_{SET}. Kedua, penyesuaian (*adjustment*) untuk mendapatkan nilai arus uji yang tepat harus dilakukan sebanyak jumlah R_{SET}.



Gambar 2 skema rangkaian sumber arus berbasis I.C. LM334 [4]



Gambar 3 skema rangkaian Howland Current Pump

Alternatif lain untuk membuat sumber arus adalah dengan menggunakan rangkaian *Howland Current Pump* (HCP) seperti terlihat pada gambar 3 [9]. Rangkaian ini pertama kali dirancang oleh Prof. Bradford Howland dari Massachusetts Institute of Technology (MIT) pada tahun 1962. Rangkaian ini akan menghasilkan arus (I_{OUT}) yang proporsional dengan tegangan input (V_{IN}) yang diterimanya. Rasio antara tegangan input dan arus output yang mengalir ke beban (Z) dinyatakan dengan [10]

$$I_{OUT} = \frac{V_{IN}}{R_2} \qquad (2)$$

Dengan syarat:

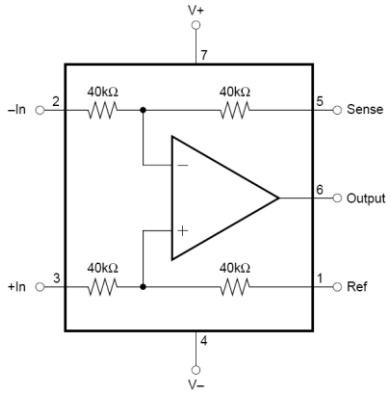
$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_1}{R_3}$$

Berdasarkan persamaan (2) diatas, implementasi rangkaian pada gambar 3 menuntut derajat kesesuaian (*matching*) yang sangat tinggi sehingga dibutuhkan resistor dengan toleransi yang sangat kecil (lebih baik dari 0.5%). Resistor semacam itu memang sulit untuk ditemui di Indonesia.

Solusi alternatif untuk menyelesaikan persoalan tersebut adalah dengan menggunakan penguat diferensial (*differential amplifier*). INA132 adalah

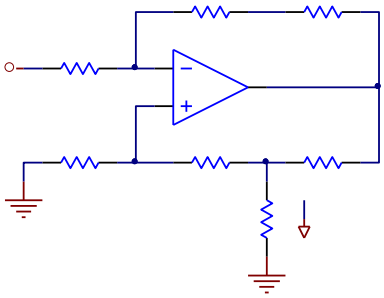
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

salah satu contoh rangkaian terpadu penguat diferensial yang cukup populer. INA132 terdiri dari sebuah penguat operasi yang presisi dan empat buah resistor presisi yang dikemas dalam bentuk chip 8 pin, seperti ditunjukkan pada gambar 4 [11].



Gambar 4 penguat diferensial INA132 [11]

Dengan mencocokkan gambar 4 dengan gambar 3 maka nilai R2 adalah 40kΩ. Untuk nilai tegangan input (VIN) sebesar 5 Volt, arus maksimum yang dapat dihasilkan (berdasarkan persamaan 2) adalah 125µA. Untuk mendapatkan arus keluaran yang lebih besar, maka rangkaian HCP pada gambar 3 harus dimodifikasi, seperti terlihat pada gambar 5. Hubungan antara tegangan input dan arus output yang mengalir ke beban (Z) dinyatakan dengan [12]



Gambar 5 skema rangkaian HCP termodifikasi

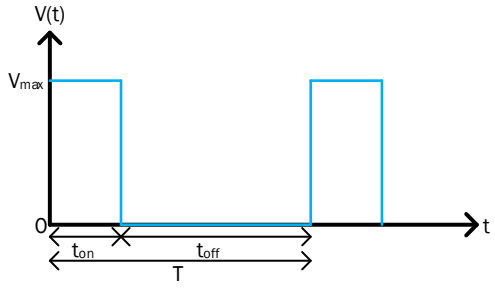
$$I_{OUT} = \frac{(R_3 + R_A)}{(R_1 \times R_B)} V_{IN} \qquad (3)$$

Dengan syarat $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$, dan $R_A = R_B$. Jika rangkaian pada gambar 5 diimplementasikan menggunakan penguat diferensial, maka hanya dibutuhkan *matching* antara R_A dan R_B saja.

6.2 1.2 Modulasi Lebar-Pulsa

Arus output yang dihasilkan oleh rangkaian HCP akan sebanding dengan tegangan input yang diterimanya. Jika rangkaian HCP tersebut hendak diimplementasikan pada sistem pengukuran hambatan listrik dengan rentang ukur yang cukup besar, maka dibutuhkan tegangan input yang stabil dan juga dapat divariasikan pada rentang yang cukup lebar. Variasi tegangan semacam ini dapat diperoleh menggunakan *multi-turn trimpot* sebagai pembagi tegangan. Namun pengubahan tegangan input hanya bisa dilakukan secara manual sehingga kurang fleksibel. Solusi dari permasalahan ini salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknik modulasi lebar-pulsa (*pulse-width modulation* atau PWM).

Sinyal PWM pada hakikatnya merupakan sebuah gelombang persegi (*square-wave*) yang divariasikan lebar pulsanya (pada frekuensi tetap) sehingga menghasilkan tegangan rata-rata yang bervariasi [13]. Konsep ini dilukiskan pada gambar 6 berikut.



Gambar 6 sinyal modulasi lebar-pulsa

Lalu tinjaulah sebuah kurva tegangan V(t) (seperti pada gambar 6) dengan periode T dengan amplitudo (tegangan) maksimum V_{max}. Harga tegangan rata-ratanya adalah [14]

$$\bar{V} = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)dt \qquad (4)$$

Kurva tegangan V(t) tersebut berharga V_{max} pada $0 < t < t_{on}$ dan berharga nol pada $t_{on} < t < T$ sehingga persamaan (4) diatas menjadi

$$\bar{V} = \frac{1}{T}\left(\int_0^{t_{on}} V_{max}\, dt + \int_{t_{on}}^{T} 0\, dt\right)$$

$$\bar{V} = \frac{t_{on}}{T}.V_{max} = D.V_{max} \qquad (5)$$

Variabel D pada persamaan (5) dikenal sebagai *duty-cycle*, yang merupakan rasio antara waktu terjadinya tegangan maksimum dengan periode. Dengan mengubah-ubah nilai D, maka akan dihasilkan nilai tegangan rata-rata $\bar{V}$ yang bervariasi antara nol hingga V_{max}.

Jika tegangan $\bar{V}$ diumpankan ke rangkaian HCP, maka arus output yang dihasilkan rangkaian HCP tersebut akan sebanding dengan nilai *duty-cycle*

dari sinyal PWM yang digunakan. Dengan demikian, pengaturan arus output dari rangkaian HCP dapat dilakukan hanya dengan mengatur *duty-cycle* D.

Kombinasi rangkaian HCP dan sinyal PWM seperti diatas dapat menghasilkan sumber arus dengan harga yang relatif murah jika dibandingkan dengan sumber arus yang digunakan pada referensi [2]. Pengaturan arus juga dapat dilakukan secara digital (bukan secara manual seperti pada referensi [4]) dan tanpa menggunakan selektor (seperti pada referensi [3])

6.3 1.3 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah proyek *open-source* yang terdiri dari perangkat keras berbasis mikrokontroler (komputer kecil) dan perangkat lunak yang memudahkan dalam membuat program (disebut sketch) sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antara program yang dibuat dengan dunia fisik [15, 16]. Interaksi yang dimaksud dapat berupa penginderaan suatu besaran fisik (melalui sensor) maupun pengendalian besaran fisik lainnya (melalui aktuator).

Arduino Uno merupakan salah satu varian dari Arduino yang menggunakan mikrokontroler ATMega 328P. Arduino Uno memiliki fitur yang sangat lengkap sehingga banyak digunakan dalam aplikasi instrumentasi. Tiga fitur utama yang dimanfaatkan dalam pembuatan sistem pengukuran hambatan pada makalah ini adalah PWM, ADC (*Analog-to-Digital Converter*), dan sistem komunikasi serial. Dua fitur terakhir memungkinkan modul Arduino Uno untuk membaca sinyal keluaran dari sebuah sensor, mengolah, lalu menampilkannya di komputer.

2 Diskusi

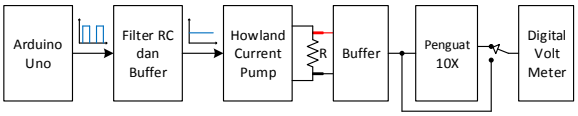
6.4 2.1 Perancangan Sistem

Ohmmeter yang dibuat pada makalah ini bekerja berdasarkan metode volt-ampere dan diharapkan mampu melakukan pengukuran hambatan listrik dari 1Ω hingga 4MΩ yang terbagi dalam enam rentang pengukuran. Sumber arus uji didesain berdasarkan rangkaian *Howland Current Pump* (HCP) seperti pada gambar 5. Jatuh tegangan pada D.U.T ditangkap oleh rangkaian penguat awal (*pre-amp*) sebelum disalurkan ke multimeter digital (DMM). Rangkaian *pre-amp* sendiri terdiri dari sebuah penyangga (buffer) ditambah dengan rangkaian penguat untuk meningkatkan resolusi pengukuran untuk nilai hambatan yang kecil. Resolusi pengukuran pada rentang ukur dibawah 400 ohm juga dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan nilai arus uji yang digunakan. Namun hal tersebut tidak dilakukan karena pemberian arus uji diatas 1 mA dapat menghasilkan pemanasan-sendiri (*self-heating*) pada resistor yang diukur.

Arus uji dan nilai penguatan (gain) dari masing-masing rentang ukur ditunjukkan pada tabel 2. Adapun interkoneksi antara modul Arduino Uno dengan elemen pengukuran ditunjukkan pada gambar 7.

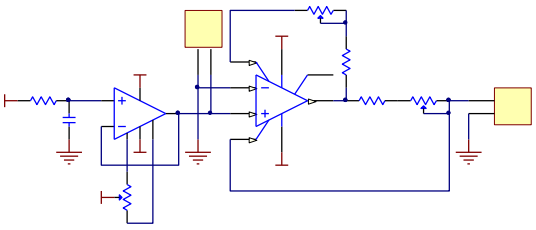
Tabel 5 rentang ukur, arus uji, dan gain yang diharapkan dari ohmmeter yang akan dibuat

Range	Rentang Ukur	Arus uji	Gain
1	200kΩ - 2MΩ	1 µA	1
2	40kΩ - 200kΩ	10 µA	1
3	4kΩ - 40kΩ	100 µA	1
4	400Ω - 4kΩ	1 mA	1
5	40Ω - 400Ω	1 mA	10
6	1Ω - 40Ω	1 mA	10



Gambar 7 diagram sistem ohmmeter

Tegangan masukan bagi rangkaian HCP bersumber dari sinyal PWM yang dibangkitkan oleh modul Arduino Uno melalui pin 9. Sebelum dihubungkan ke rangkaian HCP, sinyal PWM ini dirata-ratakan terlebih dahulu oleh rangkaian filter R-C yang diberi penyangga (buffer). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan DC yang stabil (untuk diumpankan ke rangkaian HCP) serta untuk menjaga agar sinyal PWM tersebut tidak cacat akibat efek pembebanan dari rangkaian HCP.



Gambar 8 skema rangkaian awal sumber arus

Gambar 8 menunjukkan rangkaian pembangkit arus uji untuk sistem ohmmeter. Sinyal PWM dari modul Arduino Uno dirata-ratakan oleh rangkaian filter R1 dan C1. Penguat operasi (op-amp) U1 berfungsi sebagai buffer. Tegangan output dari buffer yang juga merupakan tegangan input bagi rangkaian HCP dapat diukur melalui terminal P2.

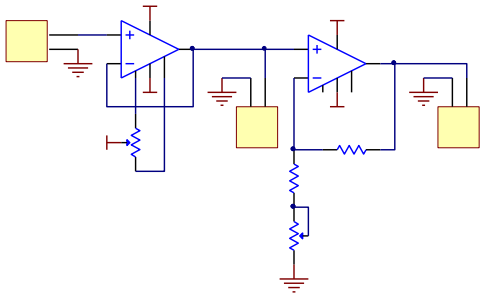
Rangkaian HCP sendiri dibangun dari penguat diferensial U2 serta resistor R5, R6, VR5 dan VR6. Arus output dari HCP dapat diukur melalui terminal

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

P3. Pengukuran tegangan pada terminal P2 dan arus pada terminal P3 dilakukan menggunakan DMM referensi Hewlett-Packard 3458A. DMM ini juga yang nantinya akan digunakan untuk mengukur tegangan jatuh pada D.U.T

Sinyal PWM yang dibangkitkan oleh Arduino Uno diset memiliki resolusi 10-bit (1024 step) dimana nilai maksimum yang dihasilkan adalah 5 Volt. Penguat diferensial U2 menggunakan I.C. INA132 sehingga jika disesuaikan dengan gambar 5, maka nilai R1 = R2 = R3 = R4 = 40kΩ, R_A = R5 + VR5, dan R_B = R6 + VR6. Nilai R5 = R6 = 5 kΩ dan nilai VR5 = VR6 = 1 kΩ. Dari persamaan (3), untuk menghasilkan arus maksimum sebesar 1,024mA maka R_A dan R_B harus bernilai 5561.74 Ω. Jika nilai arus maksimum dibagi dengan resolusi PWM, maka akan dihasilkan arus sebesar 1μA/step PWM.

Sebuah Kelvin Probe yang terdiri dari dua pasang kabel digunakan untuk menghubungkan D.U.T dengan sistem pengukuran yang dibuat. Dua kabel pertama dihubungkan ke terminal P3 dari rangkaian HCP. Sedangkan dua kabel sisanya digunakan untuk menghubungkan D.U.T ke rangkaian penguat *pre-amp* sehingga tegangan jatuh pada D.U.T akibat mengalirnya arus uji dapat diukur. Adapun skema rangkaian *pre-amp* ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9 skema rangkaian *pre-amp* yang terdiri dari buffer dan penguat 10X

Pengukuran tegangan jatuh pada D.U.T untuk range 1 hingga 4 dilakukan dengan cara menghubungkan terminal P5 ke terminal input dari DMM referensi. Sedangkan untuk range 5 dan 6, DMM referensi dihubungkan ke terminal P6.

6.5 2.2 Pengujian Sistem dan Analisa

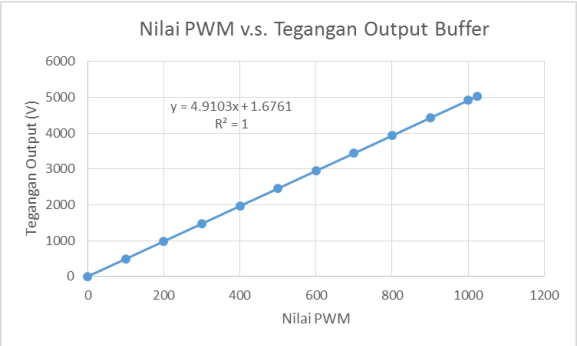
Pengujian sistem dibagi kedalam dua tahap, yaitu pengujian sumber arus tanpa D.U.T dan dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan untuk semua rentang ukur menggunakan D.U.T dengan berbagai macam nilai. D.U.T yang digunakan untuk pengujian berupa 62 buah resistor metal film yang masing-masing memiliki toleransi 1%. Nilai hambatan aktual dari masing-masing D.U.T terlebih dahulu diukur menggunakan DMM referensi dengan sistem pengukuran 4-kawat. Nilai hambatan aktual ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil bagi antara tegangan output rangkaian *pre-amp* dengan arus uji yang diberikan.

Sebelum kegiatan pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan proses *adjustment* terhadap rangkaian sumber arus dan rangkaian *pre-amp*. Proses *adjustement* terhadap rangkaian sumber arus diawali dengan menghubungkan kaki R1 (yang terhubung ke pin 9 modul Arduino Uno) ke titik nol (ground). Kemudian trimpot VR1 diatur sedemikian hingga tegangan pada terminal P2 bernilai 0mV. Setelah itu trimpot VR5 dan VR6 diatur sedemikian hingga (R5 + VR5) ≈ (R6 + VR6) ≈ 5561.74 Ω.

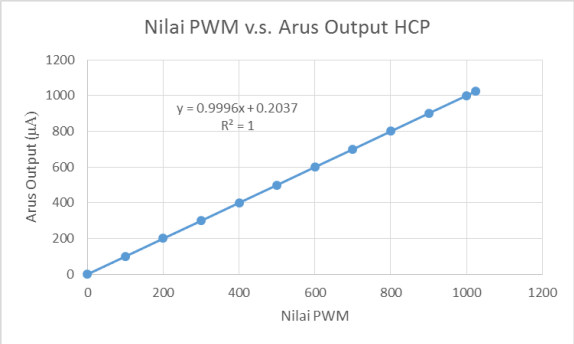
Adapun proses *adjustment* terhadap rangkaian pre-amp diawali dengan menghubung-singkatkan terminal P4. Kemudian trimpot VR2 diputar sedemikian hingga tegangan pada terminal P5 bernilai 0 mV. Kemudian tegangan DC sebesar ± 200 mV diberikan pada terminal P4. Trimpot VR3 kemudian diatur sedemikian hingga tegangan pada terminal P6 bernilai ± 2 V.

Pengujian tahap pertama dilakukan dengan terlebih dahulu menghubungkan terminal P2 dari rangkaian buffer ke DMM referensi. Nilai PWM dari modul Arduino Uno kemudian diubah-ubah secara bertahap mulai dari nol hingga 1023. Nilai tegangan yang terbaca pada DMM referensi kemudian dicatat untuk masing-masing step. Selanjutnya arus keluaran dari HCP diukur dengan cara menghubungkan terminal P3 dengan DMM referensi. Nilai PWM dari modul Arduino Uno lalu diubah-ubah secara bertahap mulai dari nol hingga 1023 kemudian nilai arus yang terbaca pada DMM referensi dicatat untuk masing-masing step.

Hasil pengukuran tegangan dan arus pada terminal P2 dan P3 terhadap nilai PWM ditunjukkan pada gambar 10 dan 11. Adapun nilai-nilai yang tercantum pada tabel 3 merupakan nilai-nilai yang mendekati *set-point* yang diinginkan pada tabel 2. Hasil pengukuran pada tabel 3 akan dijadikan referensi perhitungan nilai hambatan D.U.T.



Gambar 10 grafik hubungan antara nilai PWM dan tegangan output rangkaian filter-RC dan buffer



Gambar 11 grafik hubungan antara nilai PWM dan arus output rangkaian HCP

Tabel 6 hasil pengujian awal rangkaian sumber arus

Nilai PWM	Tegangan Output Buffer (pada P2)	Arus Output HCP (pada P3)
0	3,183 mV	0,6223 µA
1	8,102 mV	1,6242 µA
10	51,637 mV	10,4814 µA
100	0,49164 V	100,018 µA
1000	4,9124 V	1,00001 mA
1023	5,0237 V	1,02273 mA

Grafik pada gambar 10 menunjukkan bahwa kombinasi rangkaian filter-RC dan buffer dapat digunakan untuk mengubah sinyal PWM menjadi tegangan DC yang besarnya yang sebanding dengan duty-cycle dari sinyal PWM tersebut dan dengan sendirinya membuktikan persamaan (5). Sedangkan grafik pada gambar 11 menunjukkan bahwa arus output dari rangkaian HCP berbanding lurus dengan nilai PWM yang dibangkitkan oleh modul Arduino Uno.

Pengujian tahap kedua dimulai dari rentang ukur pertama (range 1) hingga rentang terakhir (range 6). Pengujian diawali dengan memasang D.U.T pada sistem pengukuran menggunakan Kelvin Probe. Dua kabel pertama dari Kelvin Probe dihubungkan ke terminal P3 dan dua kabel sisanya dihubungkan ke terminal P4. Kemudian terminal P5 dihubungkan ke DVM.

Nilai PWM yang dibangkitkan oleh modul Arduino Uno diset bernilai 1. Nilai tegangan yang terbaca pada DMM referensi kemudian dicatat. Nilai ini kemudian dibagi dengan 1,6242 µA (sesuai tabel 3) sehingga diperoleh nilai resistansi dalam satuan ohm. Pengujian pada range 2 hingga range 4 dilakukan dengan metode yang sama. Sedangkan untuk pengujian pada range 5 dan 6, DMM dihubungkan ke terminal P6. Data hasil pengukuran untuk berbagai nilai D.U.T pada masing-masing range ditunjukkan pada tabel 4 – 9.

Tabel 7 hasil pengujian ohmmeter pada rentang 200kΩ - 2MΩ

Range 1 : Arus uji = 1,6242 µA, Gain = 1		
Nilai Aktual (kΩ)	**Hasil Percobaan (kΩ)**	**Error (%)**
2025.6	1961.5	3.17
1006.48	988.79	1.76
921.91	906.54	1.67
830.16	817.94	1.47
767.76	756.80	1.43
649.09	641.36	1.19
516.48	511.22	1.02
403.88	400.17	0.92
388.92	385.20	0.96
303.98	301.38	0.86
199.73	198.47	0.63
100.96	100.52	0.43
	Error Rata-rata (%)	1.29

Tabel 8 hasil pengujian ohmmeter pada rentang 40kΩ - 200kΩ

Range 2 : Arus uji = 10,4814 µA, Gain = 1		
Nilai Aktual (kΩ)	**Hasil Percobaan (kΩ)**	**Error (%)**
199.73	199.10	0.32
100.96	100.84	0.12
90.787	90.651	0.15
81.836	81.743	0.11
73.569	73.513	0.08
61.780	61.740	0.06
50.034	50.004	0.06
40.131	40.121	0.03
29.785	29.779	0.02
20.190	20.201	0.05
9.973	9.964	0.09
	Error Rata-rata (%)	0.10

Tabel 9 hasil pengujian ohmmeter pada rentang 4kΩ - 40kΩ

Range 3 : Arus uji = 100,018 µA, Gain = 1		
Nilai Aktual (kΩ)	**Hasil Percobaan (kΩ)**	**Error (%)**
40.131	40.130	0.003
29.785	29.790	0.02
20.190	20.197	0.04
9.9730	9.9787	0.06
9.1025	9.1077	0.06
8.0715	8.0762	0.06
7.4702	7.4729	0.04
6.1798	6.1852	0.09
4.9535	4.9585	0.10
3.9757	3.9797	0.10

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.9991	3.0013	0.07
1.9874	1.9922	0.24
0.99558	0.99797	0.24
	Error Rata-rata (%)	0.09

Tabel 10 hasil pengujian ohmmeter pada rentang 400Ω - 4kΩ

Range 4 : Arus uji = 1,00001 mA, Gain = 1		
Nilai Aktual (Ω)	**Hasil Percobaan (Ω)**	**Error (%)**
3975.7	3979.0	0.08
3873.1	3876.2	0.08
2999.1	3001.9	0.09
1987.4	1989.5	0.10
995.58	996.68	0.11
908.43	909.63	0.13
818.44	819.57	0.14
767.13	768.20	0.14
619.19	620.17	0.16
495.93	496.93	0.20
400.72	401.64	0.23
	Error Rata-rata (%)	0.13

Tabel 11 hasil pengujian ohmmeter pada rentang 40Ω - 400Ω

Range 5 : Arus uji = 1,00001 mA, Gain = 10		
Nilai Aktual (Ω)	**Hasil Percobaan (Ω)**	**Error (%)**
400.72	401.05	0.08
298.76	299.16	0.13
199.41	199.90	0.24
99.717	100.299	0.58
90.787	91.365	0.64
81.792	82.374	0.71
74.692	75.274	0.78
62.060	62.667	0.98
50.733	51.337	1.19
	Error Rata-rata (%)	0.69

Tabel 12 hasil pengujian ohmmeter pada rentang 1Ω - 40Ω

Range 6 : Arus uji = 1,00001 mA, Gain = 10		
Nilai Aktual (Ω)	**Hasil Percobaan (Ω)**	**Error (%)**
38.985	39.585	1.54
29.921	30.565	2.15
19.913	20.575	3.32
9.9905	10.6289	6.39
9.1553	9.8155	7.21
8.1393	8.8187	8.35
7.4728	8.1255	8.73
6.2046	6.8458	10.33
5.0680	5.7232	12.93
3.9319	4.5760	16.38
3.0077	3.6484	21.30
1.9925	2.6379	32.39
1.0080	1.6538	64.07
	Error Rata-rata (%)	16.13

Dari data hasil pengujian pada tabel 4 hingga 9 dapat dilihat bahwa akurasi terbaik yang dapat dicapai oleh ohmmeter ini adalah 0,003% (pada titik ukur 40 kΩ) dan akurasi terendah sebesar 64.07% (pada titik ukur 1Ω).

3 Kesimpulan

Sistem pengukuran hambatan listrik dengan metode volt-ampere yang diimplementasikan menggunakan kombinasi pembangkit sinyal PWM, rangkaian filter RC, Howland Current Pump, Buffer, serta voltmeter resolusi tinggi dapat digunakan untuk melakukan pengukuran hambatan listrik pada rentang 1Ω hingga 2MΩ. Performa terbaik dari ohmmeter ini diperoleh pada rentang pengukuran diatas 40Ω.

4 Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin berterima kasih kepada :

- Kementrian Ristekdikti yang telah menyeleng-garakan program Beasiswa Saintek 2018.
- Laboratorium Kalibrasi UPT BPI – LIPI (LK-006 IDN) yang telah menyediakan meter referensi untuk keperluan pengambilan data.

5 Daftar Pustaka

[1] M. E. Schultz, "Grob's Basic Electronics 11th ed," New York: McGraw-Hill, 2007.

[2] T. Chang, J. Zhang, dan W. Chen, "Digital DC Resistance Tester," International Conference on Future Networks, 2010.

[3] R. V. Shwetank, S. Bhagwat, A. Banode, S. Khobragade, K. Gorale, dan N. Munde, "Arduino Based Customized Ohm-Meter for Industrial Utilization," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 3, March 2016.

[4] Mikailu A., Abdullahi I., Sani M.G. dan Muhammad S, "Development of Digital Resistivity Meter," Advances in Physics Theories and Applications, Vol.42, 2015

[5] N. Khasnabish, "Design and Development of 8051 Based Resistance Meter for Interfacing with Sensors," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) Vol. 2 Issue 12, December 2013.

[6] A. P. Malvino dan D. J. Bates, "Electronic Principles 8th ed," New York: McGraw-Hill, 2016.

[7] "Fluke 80 Series III Product Manual Rev.2," U.S.A, 1998.

[8] "LM134 / LM234 / LM334 3-Terminal Adjustable Current Sources," National Semi-conductor Product Datasheet, U.S.A, 2000.

[9] D. H. Sheingold, "Impedance & Admittance Transformations using Operational Amplifiers," "Lightning Empiricist", U.S.A, Vol 12, No. 1, January 1964.

[10] "AN-1515 – A Comprehensive Study of the Howland Current Pump," Texas Instrument Application Report, U.S.A, 2013.

[11] "INA132 – Low Power, Single-Supply Difference Amplifier," Burr-Brown Product Datasheet, U.S.A, 1996.

[12] "OP177 – Ultraprecision Operational Amplifier" Analog Device Product Datasheet, U.S.A, 2016.

[13] https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width _modulation

[14] N. Mohan, T.M. Undeland, dan W.P. Robbins, "Power Electronics – Converters, Applications and Design," 3rd ed, New Jersey: John Wiley & Sons. Inc, 2003.

[15] M. Margolis, "Arduino Cookbook," 2nd ed, California: O'Reilly Media, 2011.

[16] M. B. Agung, "Arduino for Beginners," Jakarta: Surya University, 2011.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

RANCANG BANGUN MESIN PEMBERSIH SEPATU PENGAMAN (*SAFETY SHOES CLEANER*) BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* (PLC)

Agus Salim Opu[1], Muhammad Alfian[2], Fahrul[3], Ika Fitriani Juli Palupi[4]

Jurusan teknik kimia mineral politeknik industri logam morowali

Jurusan teknik perawatan mesin politeknik industri logam morowali

Jurusan teknik instalasi listrik politeknik industri logam morowali

Jurusan teknik kimia mineral politeknik industri logam morowali

Abstrak

Sepatu pengaman *(safety shoes)* merupakan salah satu APD yang harus dipakai oleh seseorang ketika bekerja untuk menghindari resiko kecelakaan. Cara Pembersihan sepatu safety dari lumpur, yang umum digunakan berupa sikat, air dan kain dengan cara, menyikat sepatu secara merata sampai kotoran lumpur terlepas kemudian menyiramnya dengan air dan kain sebagai finishingnya. sehingga pembersihan sepatu dengan metode konvensional ini dirasakan kurang efisien, Penelitian sebelumnya tentang mesin sepatu polishing pernah dilakukan, M. A. P. Santoso, Sehingga pada penelitian ini akan merencanakan mesin pembersih sepatu pengaman (safety shoes) berbasis programmable logic controller (plc)

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan efesiensi waktu pembersihan sepatu pengaman *(Safety Shoes)* dengan efesiensi waktu pembersihan sekitar 8-10 detik, dengan menggunakan metode pendekatan rancangan secara umum yaitu berdasarkan pendekatan rancangan pada kontruksi dan pendekatan rancangan pada bahasa pemograman mikrokontrol PLC

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa rancang bangun mesin pembersih sepatu pengaman (safety shoes) sudah sesuai dengan apa yang di rencanakan dengan menggunakan bantuan aplikasi desain autodesk inventor, Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan sepatu safety pada mesin pembersih sepatu pengaman (safety shoes), waktu pembersihan rata-rata yang dibutuhkan perpasang sepatu sekitar 11 detik, sehingga masih perlu pengembangan.

Kata Kunci - Sepatu, Pengaman, Safety, Mikrokontroller, PLC

Abstract

Safety shoes are one of the APD that must be worn by someone when working to avoid the risk of accidents. The cleaning method of mud safety shoes, which are commonly used in the form of brushes, water and cloth by means of, brushing the shoes evenly until the dirt is removed, then watering it with water and cloth as a finish. so that cleaning shoes with conventional methods is felt to be less efficient, Previous research on shoes polishing machines has been done, M. A. P. Santoso, so that in this study will plan a safety shoes cleaning machine based on programmable logic controller (PLC)

This study aims to improve productivity and efficiency of safety shoe cleaning time with an efficiency of cleaning time of about 8-10 seconds, using a general design approach method that is based on the design approach to construction and design approaches in PLC microcontroller programming languages.

From this study it can be concluded that the design of a safety shoe cleaning machine (safety shoes) is in accordance with what was planned by using the help of autodesk inventor design applications, based on the results of testing using safety shoes on a safety shoe cleaning machine (safety shoes), cleaning time the average required shoe attachment is around 11 seconds, so it still needs development.

Keyword: Shoes, Safety, Microcontroller, PLC

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Alat Pelindung Diri (APD) adalah alat atau pengaman yang berguna untuk melindungi atau meminimalisir terjadinya kecelakaan (T.A.E. Praseya & Yudi, 2016). Alat pelindung diri (APD) dirancang atau dibuat untuk mencegah bahaya yang mengancam ditempat kerja yang disebabkan adanya kontak dengan bahan kimia, sengatan listrik, bahan mekanik atau bahaya lain di tempat kerja yang terdiri dari pelindung kepala (mata, telinga, wajah), *respiratory*, pelindung tangan, pelindung kaki, serta baju pelindung tubuh (D.N.Sari, 2013.hal 31)

Sepatu pengaman *(safety shoes)* merupakan salah satu APD yang harus dipakai oleh seseorang ketika bekerja untuk menghindari resiko kecelakaan. Dengan memakai sepatu pengaman *(safety shoes)* pekerja akan lebih leluasa bergerak sehingga dapat meningkatkan efektivitas dan hasil produksi sesuai target yang diharapkan (http://www.safetyshoe.com. 2018)

Sepatu pengaman *(safety shoes)*, terbuat dari bahan karet dengan bagian bawah yang anti slip dan dapat menutupi kaki hingga betis. Fungsinya untuk melindungi kaki dari benturan dan bahan-bahan yang tajam (Martini & Y. Darnas, 2015).

Sepatu pengaman *(safety shoes)* sangat menunjang dalam dunia industri, namun juga menimbulkan masalah baru. Hal ini terjadi karena tenaga kerja yang bekerja di lapangan kebanyakan bersentuhan dengan tanah basah (lumpur) terutama pada saat musim hujan, menyebabkan sepatu pengaman *(safety shoes)* kotor. Contohnya Ketika karyawan yang bekerja di lapangan masuk ke kantor yang menggunakan lantai keramik. Lumpur yang menempel di sepatu pengaman, akan meninggalkan jejak yang dapat mengotori lantai. Begitupun ketika mereka pulang ke *mess* masing-masing,

Cara Pembersihan sepatu safety dari lumpur, yang umum digunakan berupa sikat, air dan kain dengan cara, menyikat sepatu secara merata sampai kotoran lumpur terlepas kemudian menyiramnya dengan air dan kain sebagai finishingnya. sehingga pembersihan sepatu dengan metode konvensional ini dirasakan kurang efisien dan cenderung membutuhkan tenaga dan waktu kerja yang lebih lama.

Penelitian tentang mesin pembersih sepatu masih sangat terbatas, kebanyakan penelitian sebelumnya hanya mengacu pada mesin *polishing*. Dimana prinsip kerja pembersihan sepatu sama dengan *polish* sepatu yaitu dengan cara menggosokkan kain, kuas ataupun sikat yang ditambahkan bahan kimia krim poles sepatu yang digosokkan ke dasar sepatu secara merata hingga mengkilap (A. S. Sudarsono, 2015. Hal 4).

Penelitian sebelumnya tentang mesin sepatu polishing pernah dilakukan, M. A. P. Santoso (2015.hal 2) Menulis, Secara teoritis putaran dengan rpm yang standar cepat dan gesekan busa pembersih yang digesekkan ke sepatu akan membersihkan sepatu, karena debu dan kotoran yang menempel pada permukaan sepatu akan tersapu secara otomatis oleh busa pembersih dan dengan tambahan cream polishing yang berguna untuk mengkilatkan sepatu secara maksimal.

Penelitian A. S. Sudarsono. (2015. Hal 2) menulis Tujuan dari Shoes Polisher with Footware Cleaner adalah alat yang dibuat untuk mengefisiensi waktu karena kebiasaan orang untuk menyemir sepatu setiap hari untuk kepentingan dalam hal kebersihan dan kerapihan penampilan sepatu. Selain dari pada itu alat ini juga dibuat untuk memanjakan manusia, karena pada umum nya penyemiran sepatu dilakukan secara manual atau dengan menggunakan tangan. Tentunya hal itu adalah pekerjaan yang tidak efesien waktu dan merepotkan.

Penelitian R. Wiwongko (2011) menulis Mekanisme dari mesin pembersih sepatu adalah dengan menggunakan mekanisme putaran yang menggunakan pembersih pada kedua ujung poros, yang dimaksud dengan pembersih berupa sikat kasar dan sikat halus. Poin penting dari mekanisme ini adalah bahwa gerakan memutar yang dilakukan oleh sikat lebih efisien daripada gerak bolak-balik yang biasa dilakukan secara manual oleh tangan manusia.

Atas dasar permasalahan di atas, dimana penelitian sebelumnya mengarah ke penggunaan mesin secara manual untuk membersihkan sepatu dari lumpur maka pada penelitian ini akan melakukan rancang bangun mesin otomatis pembersih sepatu tenaga kerja industri pertambangan dari tanah dan lumpur. Penelitian ini diharapkan mampu membantu meningkatkan kinerja tenaga kerja industri.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang dihadapi terkait dengan penelitian Rancang Bangun Mesin Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* Berbasis Programmable Logic Controller (PLC), sebagai berikut:

1. Cara merancang-bangun Alat Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dengan lebih baik dibandingkan dengan cara konvensional.
2. Meningkatkan produktivitas dan efesiensi waktu mesin pembersih sepatu pengaman *(safety shoes)* dengan target waktu pembersihan 8-10 detik per pasang sepatu.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dari kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang-bangun Alat Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) supaya bisa bekerja secara otomatis.
2. Meningkatkan produktivitas dan efesiensi waktu pembersihan sepatu dengan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

efisiensi waktu pembersihan sekitar 8-10 detik per pasang sepatu.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Sepatu Pengaman (Safety)

Kaki memiliki peran yang begitu utama dalam kehidupan, dengan anggota badan ini kita dapat melakukan apa pun seperti mengambil langkah, bekerja dan yang lain hingga kita perlu melindunginya dari berbagai bahaya. Salah satunya dengan memakai sepatu pengaman *(Safety Shoes)*.

Sepatu pengaman *(Safety Shoes)*.adalah salah satu Alat Pelindung Diri (APD) yang harus dipakai oleh seseorang ketika bekerja guna menghindari resiko kecelakaan. Bukan sekedar membuat perlindungan bagian tubuh pekerja pada adanya resiko kecelakaan saja, tetapi dengan memakai *Safety Shoes* pekerja akan lebih leluasa bergerak hingga dapat meningkatkan efektivitas dan hasil produksi yang diharapkan.

Sepatu ini terbuat dari kulit dipadukan dengan metal, di bagian bawahnya terbuat dari karet yang tebal. Dengan bahan itu, pekerja akan aman dari berbagai kecelakaan pada kakinya. Sangat banyak manfaat yang diperoleh dengan memakai *Safety Shoes*, Berikut adalah Manfaat Menggunakan *Safety Shoes* antara lain:

a) Melindungi dari Benda Tajam dan Berbahaya
b) Mencegah Kecelakaan Kerja yang Fatal
c) Membuat perlindungan dari Benda Panas
d) Melindungi dari Cairan Kimia Berbahaya
e) Membuat Pengguna Tidak Terpeleset

Untuk memiliih sepatu pengaman dengan kualitas terbaik dan sesuai dengan pekerjaan proyek, Berikut adalah tips memilih sepatu safety untuk pekerjaan proyek.

1. Pilihlah sepatu dengan bahan *nitrille rubber*
2. Pilihlah sepatu *safety* pekerjaan proyek dengan kulit asli sapi.
3. Pilihlah sepatu *safety* dengan Model *Boot*.
4. Pilih sepatu *safety* dengan model yang mudah di gunakan dan juga mudah untuk di lepas.

2.2 Prinsip Kerja Shoes Polisher

Shoes Polisher adalah produk konsumen yang digunakan untuk menggosok, membuat tahan air, dan membuat penampilan sepatu jadi lebih baik, sehingga memperpanjang daya tahan alas kaki. Biasanya semir sepatu terbuat dari pasta maupun krim. Sejumlah zat telah digunakan sebagai semir sepatu selama ratusan tahun, berawal dengan zat alami seperti lilin dan minyak gemuk. Formula semir sepatu modern dikenalkan awal abad ke-20 dan beberapa produk dari masa itu masih dipakai sekarang. Sekarang, semir sepatu biasanya terbuat dari campuran bahan alami dan sintesis, termasuk nafta, minyak tusam, bahan celup, dan getah arab, menggunakan proses teknik lurus. Semir sepatu dapat beracun, dan jika salah dipakai dapat berakibat mewarnai kulit. Popularitas semir sepatu sejajar dengan naiknya penggunaan kulit dan produksi sepatu sintesis, bermula di abad ke-19 dan berlanjut hingga abad ke-20. Kedua Perang Dunia menyaksikanledakan permintaan produk ini untuk menyemir sepatu prajurit. (A. S. Sudarsono. (2015. Hal 4-5)

Selama ini orang menyemir sepatu secara manual dengan cara menggosokkan kain, kuas atau pun *brush* yang ditambahkan bahan kimia krim poles sepatu yang digosokkan ke dasar sepatu secara merata hingga mengkilap.

2.3 Mekanisme pembersih sepatu

6.6 Mekanisme manual

Mekanisme yang ada pada saat ini adalah mekanisme dengan menggunakan tenaga manusia (manual). Cara manual ini adalah bekerja dengan cara mengoleskan cairan pembersih berupa spoon pada permukaan sepatu secara manual dengan bantuan tangan. Cara kerja separti ini dianggap terlalu memakan waktu dan sudah tidak cocok untuk perkembangan zaman yang serba otomasi separti sekarang ini.

6.7 Mekanisme *Polishing* sepatu dengan prinsip gerinda

Pada mekanisme *polishing* ini, konsep yang digunakan adalah konsep dengan menggunakan alat gerinda yaitu dimana lebih mengandalkan elemen yang terdapat pada gerinda, yaitu pada bagian batu gerinda diganti dengan komponen sikat yang akan digunakan. Pada alat yang sudah ada dipasaran ini, mempunyai kekurangan. Yaitu pada mesin ini tidak terdapat yang namanya *blower.* Seperti yang kita ketahui *blower* mempunyai fungsi sebagai penyedot. Jadi pada mesin pembersih yang sudah ada di pasaran tanpa

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

kehadiran *blower* ini efektifitas pembersihan berlangsung lebih lama, karena dari tahap awal pembersihan hingga tahap akhir menggunakan sikat sebagai pembersihnya. Berbeda dengan alat yang mempunyai fasilitas *blower*, sehinggal debu tipis yang terdapat pada sepatu dapat disedot terlebih dahulu.

3 Metode Penelitian

3.1 Bahan dan Alat yang Digunakan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Alat dan bahan

No	Kelompok		Nama Peralatan
1.	Peralatan Bengkel	a. b. c. d. e. f. g. h.	Las listrik Gurinda tangan Mesin bor tangan Gurinda potong duduk Tang rivet Penggaris dan meteran
2.	Alat Pengujian	a. b. c. d. e. f. g.	Unit pembersih sepatu safety Limit switch Papan board Mikrokontrol PLC Sensor Photodioda Motor DC/AC
3.	Alat Bantu	a. b. c. d. e. f. g.	Laptop dengan software Autodesk Inventor Stopwatch Kabel Pompa air Selang Printer
4.	Bahan	a. b. c. d. e. f. g.	Besi siku 4x4 Besi plat Bulu sikat Bearing Cat minyak Kertas Tintah printer

3.2 Tempat Penelitian

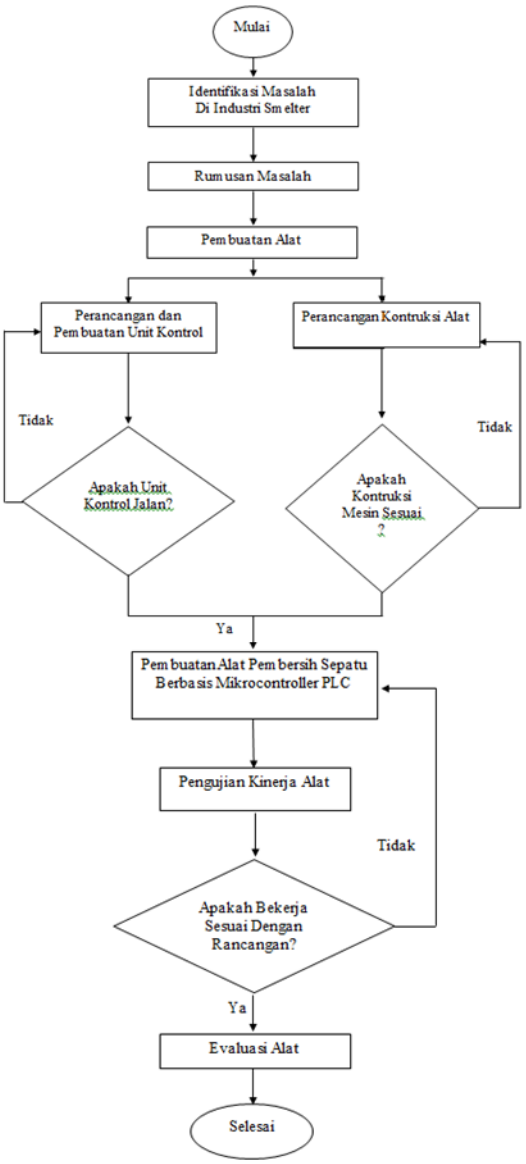
Penelitian di laksanakan di beberapa laboratorium dan workshop di Politeknik Industri Logam Morowali antara lain Laboratorium Listrik, Laboratorium Microkontrol dan Workshop Proses Produksi.

3.3 Metode penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pendekatan rancangan secara umum yaitu berdasarkan pendekatan rancangan pada kontruksi dan pendekatan rancangan pada bahasa pemograman mikrokontrol PLC.

Adapun tahapan penelitian disajikan dalam diagram alir penelitian pada gambar 3.1 dibawah ini.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



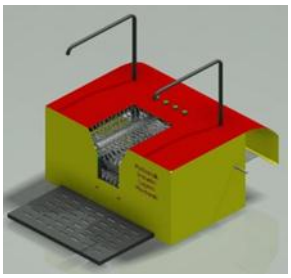
3.1 Gambar diagram alir penelitian

3.4 Rancangan Penelitian

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam mendesain dan membuat Mesin Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* Berbasis Mikrokontroller antara lain mendesain model Mesin Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* dengan software desain Inventor, pembuatan program pada mikrokotroller dan simulasi pada mesin pembersih sepatu yang telah dirancang.

Mendesain Model Mesin Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)*

Tahap mendesain model Mesin Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* dimana model mesin dirancang dalam bentuk gambar dua dimensi dan tiga dimensi dengan ukuran dan dimensi yang disesuaikan dengan data dimensi sepatu safety yang sudah ada dipasaran. Kemudian digambar dengan menggunakan software desain autodesk inventor.



Gambar 3.2 desain perencanaan mesin

Perancangan Sistem Mikrokontroller *Programmable Logic Control (PLC)*

Tahap perancangan system mikrokontroller mesin pembersih sepatu pengaman *(safety shoes)* dimulai dengan Pembuatan pemograman yang diinput masuk kedalam cpu *Programable logic control (PLC)* yang bertujuan untuk membuat mesin bekerja secara otomatis dan maksimal dalam proses pembersihannya.

Pembuatan program ini untuk menentukan bagaimana mesin pembersih sepatu pengaman *(safety shoes)* bisa bekerja sesuai dengan apa yang diinginkan, mulai dari system pembacaan sensor photodioda, pergerakan motor dan volume air yang disemprotkan pada saat sepatu dibersihkan, diagram alir *Programmable logic control (PLC).*

Pada perancangan program mikrokotroller *Programmable logic control (PLC)* ini Software yang digunakana dalah *SoMashine Basic*, program yang telah dibuat di upload ke *Programmable logic control (PLC)* dari computer melalui kabel *USB*, Berikut contoh database pemograman mikrokontrol pada Mesin Pembersih Sepatu Pengaman *(Safety Shoes)* dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah.



(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 3.3 Software *SoMachine Basic PLC*

4 Hasil Dan Pembahasan

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam mendesain dan membuat model mesin pembersih sepatu pengaman *(safety shoes cleaner)* berbasis *programmable logic controller* (PLC) antara lain:

4.1 Kontruksi mesin

Pada tahap ini peneliti merancang bangun sebuah kontruksi mesin pembersih sepatu *safety* dengan permodelan sebagai berikut:

4.1.1 Perencanaan Sikat

A. Model bulu sikat

Pada penentuan jenis bulu sikat yang digunakan, peneliti mengalami kendala yang cukup rumit, hal ini disebabkan karena kontruksi jenis sikat yang kami gunakan sangat langka atau tidak ada dijual dipasaran, sehingga pada penelitian ini, peneliti membangun (membuat) sendiri kontruksi bulu sikatnya, pada gambar dibawah dapat dilihat kontruksi bulu sikat yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4.1 Bulu Sikat

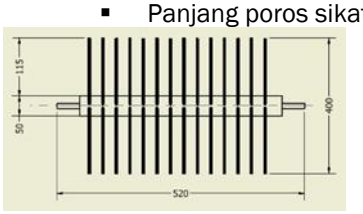
B. Dimensi bulu sikat

Dimensi bulu sikat yang digunakan pada mesin pembersih sepatu pengaman ada 2 macam yaitu:

1. Sikat bagian atas

Pada sikat bagian atas ukuran sikat yang digunakan yaitu:

- Diameter sikat : 40 cm
- Diameter poros sikat: 5 cm
- Panjang bulu sikat : 11,5 cm
- Panjang poros sikat : 52 cm

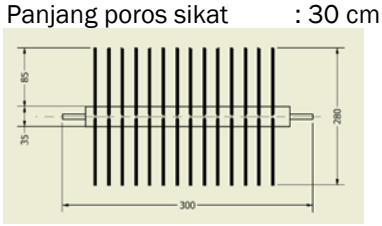


Gambar 4.2 Ukuran Bulu Sikat Bagian Atas

2. Sikat bagian bawah

Sedangkan ukuran sikat bagian bawah yang digunakan yaitu:

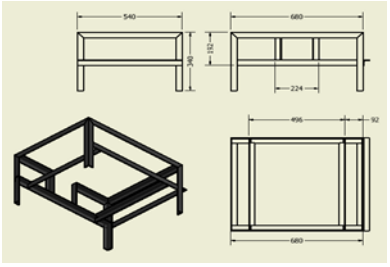
- Diameter sikat : 28 cm
- Diameter poros sikat : 3,5 cm
- Panjang bulu sikat : 8.5 cm
- Panjang poros sikat : 30 cm



Gambar 4.3 Ukuran Bulu Sikat Bagian Bawah

4.1.2 Perencanaan rangka mesin

Pada perencanaan rangka mesin dilakukan dengan bantuan permodelan software AutoDesk Inventor, dengan mengggunakan Software autodesk Inventor ini peneliti merancang model rangka mesin dengan berdasarkan pada dimensi sikat, Ukuran rangka mesin dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



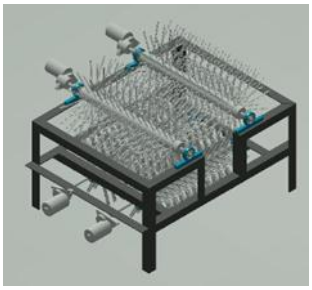
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 4.4 Rangka Mesin

4.1.3 Perencanaan sistem transmisi daya

Sistem transmisi daya yang digunakan pada mesin pembersih sepatu pengaman (safety shoes) menggunakan transmisi defauld dari jenis motor yang digunakan pada kursi roda, jenis transmisi yang digunakan yaitu transmisi gear dengan perbandingan 1:12 sehingga torsi yang dihasilkan sekitar 150 kg.cm

Transmisi gear yang bersumber dari motor kemudian diteruskan dengan kopling tetap keporos sikat, untuk mendapatkan pembebanan yang minimal digunakan bantalan (*bearing* duduk) sebagai dudukan sikat pada rangka, sesuai yang di perlihatkan pada gambar dibawah.



Gambar 4.5 Sistem Transmisi

4.2 Perencanaan Kelistrikan Mesin

4.2.1 Daya Motor

Berdasarkan jenis motor yang digunakan diperoleh data-data sebagai berikut:

- Jenis motor : DC
- Daya motor : 12 Volt
- Kuat arus : 5 Ampere
- Torsi Motor : 150 kg/cm
- Rasio gear : 1:12
- Putaran : 500 rpm

Dari data diatas peneliti melakukan pengambilan data pertama pada motor dengan menggunakan alat pengukur tegangan dan alat pengukur kuat arus sehingga diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Motor Tanpa beban

Motor DC	Tegangan (volt)	Kuat Arus (Ampere)
1	15,2	25,4
2	15,2	22,1
3	15,2	17,3
4	15,2	18,5

Selanjutnya dilakukan pengambilan data kedua pada motor dengan menggunakan alat yang sama dan diberikan pembebanan pembersihan dengan sepatu safety, diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Motor Dengan beban

Motor DC	Tegangan (volt)	Kuat Arus (Ampere)
1	15,2	32,0
2	15,2	30,1
3	15,2	32,2
4	15,2	30,4

Berdasarkan tabel 4.2 diperoleh putaran dan momen torsi yang dihasilkan pada saat mesin beroperasi dengan menggunakan Rumus:

a) Menghitung gaya yang terjadi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

$$F = m \times \omega^2 \times r$$
$$F = 1{,}5 \times \frac{500 \times 2 \times 3.14}{60} \times 0{,}15$$
$$F = 1{,}5 \times 52{,}33 \times 0{,}15$$
$$F = 11.77\ N$$

Dimana:
F = Gaya yang terjadi
m = Massa Poros
ω = Kecepatan sudut (rad/s)
r = Jari-jari poros

b) **Menghitung moment torsi**

$$M_t = F \times r$$
$$= 11.77 \times 0{,}15$$
$$= 1{,}77\ Nm$$

Dimana:
M_t = Moment torsi
F = Gaya yang terjadi
r = Jari-jari poros

c) **Menghitung jumlah putaran motor**

$$n = \frac{P}{M_t}$$
$$n = \frac{v \times I}{M_t}$$
$$n = \frac{15{,}2 \times 32}{1{,}77}$$
$$n = \frac{486{,}4}{1{,}77} = 274\ rpm$$

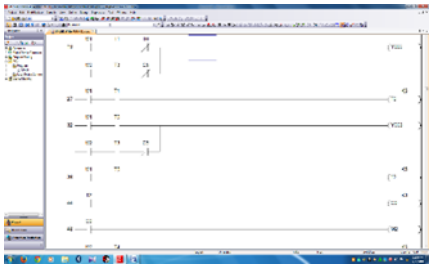
Kecepatan Putaran setelah diberi pembebanan dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah:

Tabel 4.3 Kecepatan Motor Dengan Pembebanan Pembersihan

Motor DC	v (volt)	I (A)	F (N)	r (cm)	M_t (Nm)	P (Watt)	n (rpm)
1	15,2	32,0	15.699	0.2	3.1398	486.4	154.914
2	15,2	30,1	15.699	0.2	3.1398	457.52	145.716
3	15,2	32,2	10.989	0.14	1.5385	489.44	318.136
4	15,2	30,4	10.989	0.14	1.5385	462.08	300.352

4.3 Pemograman Pada Programmable Logic Controller (PLC)

Pembuatan program ini untuk menentukan bagaimana mesin pembersih sepatu *safety* bisa bekerja secara otomatis, mulai dari system pembacaan sensor, pengaturan pergerakan motor, pompa dan pengering sepatu. Software yang digunakana dalah Mitsubishi FX1S 14MR seperti yang terlihat pada gambar 4.6, program yang telah dibuat di upload ke *Programmable Logic Controller* (PLC) melalui Komputer, kemudian dilakukan uji coba jika sudah sesuai maka dilanjutkan dengan simulasi di lapangan jika tidak, program dicek ulang sampai program yang dibuat berjalan dengan benar.



Gambar 4.7 *Alur Programmable Logic Controller (PLC)*

Simulasi mesin pembersih sepatu dilaksanakan di workshop politeknik industri logam morowali dengan maksud untuk mengetahui pengaturan pergerakan motor, dari simulasi tersebut didapatkan hasil bahwa motor dapat berputar dengan normal walaupun mendapatkan tahanan yang berasal dari tidak sumbunya antara dua titik poros pada bearing.

4.4 Pengujian Kinerja Mesin

Sesuai dengan tujuan penelitian maka dilakukan pengujian kemampuan pada mesin dalam membersihkan sepatu *safety* yang berlumpur, pada pengujian ini dilakukan 10x pengambilan data. Dimana data tersebut diambil dari proses pembersihan sepatu *safety* karyawan industri yang ada di sekitar politeknik industri logam morowali.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 4.8 Sepatu safety sebelum pembersihan

Jenis sepatu *safety* yang dibersihkan adalah sepatu *safety* 3/4, yang sering digunakan dilapangan pada industri pertambangan, pada gambar 4.9 dibawah dapat dilihat jenis kotoran yang melengket di sepatu adalah lumpur tanah merah.



Gambar 4.9 Proses pembersihan

Pada pengujian ini dihasilkan waktu pembersihan yang berbeda disetiap pengujiannya, hal ini terjadi karena tingkat kebersihan setiap sepatu safety relative, tergantung dari individunya masing-masing. Pada tabel 4.3 dapat dilihat hasil pengujian mesin pembersih sepatu safety dengan variasi waktu yang berbeda-beda.

Tabel 4.4 waktu pembersihan sepatu *safety*

Percobaan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Waktu pembersihan (s)	10	12	12	11	12	11	10	10	12	10

Selain itu dilakukan juga pengambilan data berdasarkan waktu konstan yang dibutuhkan dalam proses pembersihan sepatu *safety*, Pada tabel 4.4 dapat dilihat hasil pengujian mesin pembersih sepatu *safety* dengan menggunakan waktu konstan.

Tabel 4.5 Hasil pembersihan selama 12 detik

Waktu pembersihan (s)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Waktu pembersihan	B	B	B	CB	B	B	CB	CB	B	CB

Keterangan:

B = Bersih

CB = cukup bersih

TD = tidak Bersih

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat perbedaan yang cukup signifikan antara sepatu sebelum dilakukan pembersihan dan sesudah pembersihan, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini



Gambar 4.10 Perbandingan hasil pembersihan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

5 Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian pada rancang bangun mesin pembersih sepatu pengaman (*safety shoes*), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

a. Perencanaan rancang bangun mesin pembersih sepatu pengaman (*safety shoes)* sudah sesuai dengan apa yang di rencanakan dengan menggunakan bantuan aplikasi desain autodesk inventor, dan dapat bekerja secara otomatis
b. Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan sepatu safety pada mesin pembersih sepatu pengaman *(safety shoes),* waktu pembersihan rata-rata yang dibutuhkan perpasang sepatu sekitar 11 detik, hal ini disebabkan karena jarak antara bulu sikat yang terlalu renggang.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas penulis mencoba memberikan saran – saran yang mungkin berguna, yaitu :

a. Untuk mengefisienkan kinerja motor penggerak perlu dilakukan peninjauan terhadap system transmisi.
b. Pemilihan jarak dan bahan sikat perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anonim (2018). http://alatproyek.com/1611-sepatu-safety-boots-cheetah-2288.html. diakses pada 12 Agustus 2018 pukul 20.00
[2] Dewanto Joni (1999). Kajian Teoritik Sistem Peredam Getaran Satu Derajat Kebebasan: Jurnal Teknik Mesin Vol. 1, No. 2. (Hlm 4-5). Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra: Jawa Timur.
[3] Martini & Darnas Yessy (2015). Pengaruh Pemakaian Alat Pelindung Diri (Apd) Terhadap Infeksi Cacing Pada Pekerja Pengangkut Sampah Di Dinas Kebersihan Pertamanan Dan Pemakaman Kota Jambi: Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi Vol.15 No.2 (hlm. 17): Jambi
[4] Osha (2018).”Think safety, think dr. Osha”. https://www.safetyshoe.com/ diakses pada 10 Mei 2018 pukul 20.00
[5] Praseya. Topan. A. E & A. Yudi (2016). Gambaran Penggunaan Alat Pelindung Diri Pekerja Bongkar Muat Petikemas PT. X Surabaya: Jurnal of Industrial Hygiene and Occupational Health Vol. 1, No. 1 (hlm. 16): Tanjung Perak Surabaya
[6] Profesor Beruang (2017).”Cara Membersihkan Sepatu (Kulit, Converse, Wakai, Beludru, Vans, Sneakers, Suede, dll)”. https://neuhauslabs.com/cara-membersihkan-sepatu/ diakses pada 12 Agustus 2018 pukul 21.00
[7] Santoso. M. Agung Putra (2015). Rancang Bangun Shoes Polishing With Footwear Cleaner Khusus Sepatu Berbahan Kulit (Pembuatan dan Perhitungan Biaya). Tugas Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya: Palembang
[8] Sari. desi Nurtrika (2013). Identifikasi Bahaya Dan Gambaran Perilaku Penggunaan Alat Pelindung Diri Pada Pekerja Laundy Pada Rumah Sakit Anak Dan Bunda Harapan Kita Jakarta Tahun 2013. Tugas Akhir. Tidak di terbitkan. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah: Jakarta.
[9] Sudarsono. Ariefqi Shafaussarirah (2015). Rancang Bangun Shoes Polishing With Footwear Cleaner Khusus Sepatu Berbahan Kulit (Perawatan Dan Perbaikan). Tugas Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya: Palembang
[10] Wiwongko Randy (2011). Perancangan dan Pembuatan Mesin Pembersih Sepatu. Tugas Akhir. Universitas Kristen Petra: Jawa Timur

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Design and Development of a Low Cost Blood Leak Detector for Dialysis Machine Application

Pratondo Busono*) , Rony Febryarto dan I Made Astawa

Pusat Teknologi Elektronika, BPPT

*)*pratondo.busono@bppt.go.id*

Abstrak

Blood leak detector is an important safety components in the dialysis machine. It is intended to protect patients from loss of too much blood and infusion of non-sterile dialysate, through a rupture in the dialyzer membrane. Immediate corrective action was needed for preventing the blood leak developing in the membrane. Such a detector together with the alarm system were usually mounted in the machine and triggered when the amount of blood leaks in the dialysate line. This research was focused on the development of an optical detection instrument for blood leak detection in the dialysate line of the dialysis machine. The specially developed instrument consists of LEDs, photodetectors, signal conditioning system, and digital signal processing system. An important design criteria for the detector is that it must be sensitive to the blood concentration. The optical detector used in this experiment matches the spectral properties of blood, in order to achieve a maximum sensitivity while minimizing false alarms. An algorithm was developed to detect the amount of blood concentration of the sample from a set of optical transmission parameters recorded from the sample. The results shows that the detection limit of the sensor is 0.2 ml/cm3

Keywords: blood leak detector; dialysis machine; optical sensor

1 Introduction

End stage renal disease is a chronic renal failure that is permanent and irreversible. It is one of the major deseas in the developed and developing countries. There are many life-saving treatment methods for end stage renal diseases. Such methods are hemodialysis (HD), periothenal dialysis (CAPD) and kidney transplant [1].

The incident of end stage renal failure requiring renal replacement therapy is rising. According to annual report of 2013 United State Renal Data Report, it is mentioned that the rate of incident of end stage renal diseases across the globe tends to increase. Currently, the hemodialysis therapy is to be the most common method for treating the end stage renal diseases worldwide [2]. Hemodialysis treatment for end stage renal disease patients involves pumping of blood outside the body using haemodialysis machine which removes toxins, impurities and excess of water before entering it to the body. The removal process was conducted through semipermiable membrane in the dialyzer with ultrafiltration process. To protect the patient from extracorporeal blood loss to the environtment which can cause hazard, a protective system such as blood leak detector were installed in the dialysis machine [3].

The presence of blood leak detector in haemodialysis machine is a mandatory [4]. Its main function is to detect and signal various faults which are not normally monitored, therefore avoiding certain danger such as loss amount of blood. This blood leakage is caused by the used to protect the patient from loss of blood through ruptures of dialyser membrane. These ruptures occure mainly due to manufacturing faults. However, due to the improvent of quality control and assurance in manufacturing process, such ruptures in dialyzer can be minimized [5].

Commercial blood leak detection system was very expensive and only suitable for certain dialysis machine. Therefore, this research was focused on the development of a low cost optical based blood leak detection system installed in the dialysate line of the dialysis machine. The specially developed instrument consists of LED, photodetector, signal conditioning system, and digital signal processing system. An important design criteria for the detector is that it must be sensitive to the blood concentration. The optical detector used in this experiment matches the spectral properties of blood, in order to achieve a maximum sensitivity while minimizing false alarms. An algorithm was developed to detect the amount of blood concentration of the sample from a set of optical transmission parameters recorded from the sample. The results shows that the detection limit of the sensor is 0.2 ml/cm3.

2 Method

Block diagram of the blood leak detection system is shown in Fig.1. It consits of LED pulsing circuit, photodetectors, transimpedance amplifiers, inverting amplifier, buffer and voltage devider, and microcontroller.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

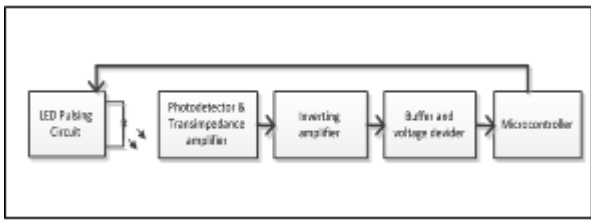


Figure 1. Block diagram of blood leak detector and safety system

6.8 2.1. Optical Sensor Construction

The principle of the present method is based on the light attenuating theory. Light is attenuated by the presence of blood cells in the optical path in the dialysate line. The measurement of the intensities of attenuated light gives the concentration of the blood cells. The sensitivity and accuracy may depend on the sensitivity and the accuracy of the intensity of the measurement system as well as fluctuation of the incident light [7]. Narrow beam light is used to avoid over-enlarging beam size on the output. The light intensities at a distance x from the entrance is related to the incident light intensities as follows,

$$I_o = I_i \exp(-\alpha x) \qquad (1)$$

where α is an absorption coefficient which depends on the blood concentration to be measured.

The schematic diagram of blood leak detector is shown in Fig. 2. It consits of light sources which are used to direct the lights through the examining chamber. To transduce the optical signal to current, a photodiodes is used. It is used to detect the transmitted light after passing the examining chamber. The LEDs with diameter of 3 mm and various wave lengths of near infrared and green were chosen since these wave lengths are the best suited for the blood detection. This LEDs are used as light sources.

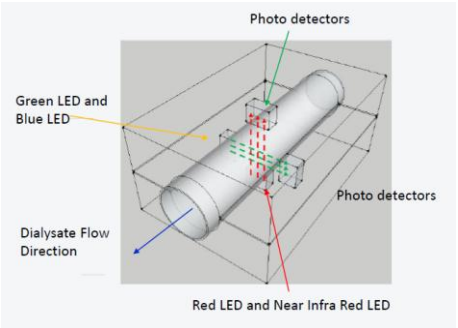


Figure 2. Schematic diagram of blood leak detector housing

In this work, near infrared and green wave length were chosen. The photodiode used in this work is monolitic photodiode detector, Texas Instrument, USA. This photodiode and transimpedance amplifier is integrated into the printed circuit board. The photodiode size is 2.29 mm x 2.29 mm. The photodiode is not biased since V_{REF} is only 7.5 mV. The output voltage level and bandwith of the amplifier can be adjusted by feedback resistor.

6.9 2.2. Electronic system

The electronic system consists of three modules, namely data acquisition module, alarm handling module and main processor.

The data acquisition module consist of transimpedance amplifier, inverting amplifier and LED pulsing circuit. The transimpedance amplifier was used to convert the current to voltage. The transimpedance amplifier is integrated with photodiode. It has the following specification : supply voltage of 2.7-36 V (rail to rail), bandwidth of 14 kHz. In designing transimpedance amplifier, the maximum possible gain, while preserving enough bandwith to still pass a signal is required. This is conducted by chosing a large feedback resistance and feedback capacitor. These two components will eleminate transimpedance ringing and ensuring the signal bandwidth above the 10 Hz 1/f noise corner frequency.

The 482 Hz low pass cut-off frequency filter were used in this work, keeping the signal and noise bandwidth below the ADC Nyquist frequency, thus reducing aliasing of high frequency noise. The total generated current in the photodiode is very small in the orde of 50-100 femto ampere. It corresponds to a transimpedance voltage output of 50-100 micro volt.

In this work, ADC has 12 bit resolution. It leads to signal resolution of approximately millivolt. Therefore, it is not enough to resolve the input voltage of transimpedance amplifier. Instrumentation amplifier to amplify the signals from transimpedance amplifier. After the optical signal have been amplified, the signal has to digitized usig the analog to digital converter. The microcontroller STM32F411 provide the ADC for digitizing the analog signal [8]. Such ADC usually having sampling rate (f_S) and Nyquist frequency of $f_N = f_S/2$. The digitized signals usually contain noises. The are two most common types of broadband electronic in circuit noises that should be filtered. Such noises are 1/f noise and white noise. The 1/f noise usually dominant at low frequency.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

The high frequency white noise is suppressed by moving average low pass filter. This moving average smoothing out data by suppressing changes in the signal on a time scale shorter than the averaging window. The *1/f* noise is combated by shifting the signal frequency to DC for simple measurement, while simultaneously moving the *1/f* noise content of the noise to higher frequency, so the along with the white noise. Using such a tehnique, low pass filter moving average filter can be used to filter out such noise.

The I/O pin of STM32F4 was used to pulse the LEDs. The generated voltage signal is in between 0 to 3 Volt. This pulse signal will trigger the base of the BC537 transitor allowing a current to pass through and the LED emitting the light.

6.10 2.3. Signal Processing Method

The use of optical sensors for concentration detection is based on the attenuation of the visible light passing through the medium. Thus, if the concentration of the medium is changed, the measurement result will also chenge. Some of the parameters causing the changes are parameters such as optical path length, light spectrum, and concentration of medium [6]. For this reason, an artificial neural network algorithm (NN) will be used in this work. The NN algorithm will evaluate data which are generated by optical sensor sensor, optical path length and concentration of the medium.

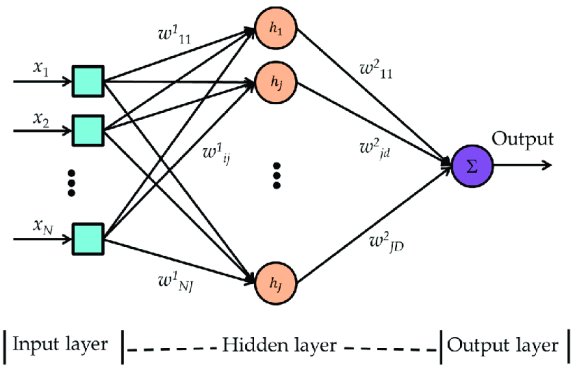


Figure 3 MLP Neural Network [6]

In this work, a multi-layer perceptron (MLP) neural network (NN), and Back-Propagation Algorithm. The Back- Propagation Algorithm is used for learing purpose. It is generalization of the delta rule which is used for learning algorithm of single-layer neural networks. The network as shown in Fig. 3 has inputs layer (infrared sensor, green sensor, optical path length, dialysate flow rate, and blood concentration), hidden layer, and single output layer [8]. Input parameters are infrared sensor, green sensor, optical path length, dialysate flow rate, and blood concentration measurement data.

The output of network which was trained is desired accurate concentration measurement for fluids. It is necessary to provide data set for training and testing of the network using the approximate formula published in [7]. For training and testing of the network, data set of input of the blood concentration varies in the interval [0.05-1000 ml/cm3], For training and testing of the network, output data set of the network is in the value of [0, 1]. Minimum-error goal and number of iteration is also calculated in this work.

3 Results

The experimental setup for blood leak detection inside the dialysate line is shown in Fig. 4. It simulates the dialysate line in the hemodialysis machine. It consists of plastic container filled with dialysate, gear pump, plastic tube filled with bovine blood, turbine flow meter, blood leak detector. The temperature of the dialysate is maintained at 35-38 ^{o}C. Bovine blood was collected with some anticoagulant to prevent the blood clotting. The bovine blood temperature was set similar to the temperature of human blood. Using the infusion pump, the bovine blood in the plastic tube was injected to the dialysate line. The volume of bovine blood injected can be estimated from the infusion pump reading.

Figure 5 shows the blood leak detector. The connector were used to obtain the signal from the voltage inputs as well as voltage output were connected to signal conditioning and LED driver circuit. First, the optical path length effects were be investigated. It was conducted by changing the size of the transparent tube and keeping the concentration and LED source constant. The inner diameter of tubes used were 4 mm, 6 mm and 9 mm. The tube wall thickness is 1 mm. Second a series of experiments were carried out for various of blood concentrations.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

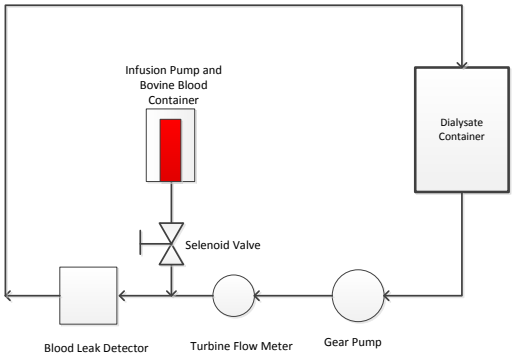


Figure 4. Experimental setup



Figure 5 Blood leak detector

Figure 6 shows the sensitiviy of the blood leak detector for various blood concentration. The sensitivity measurement was conducted by mixing various concentration of bovine blood in 1 cm^3 of dialysate. Measurement was performed on the cuvette. It was reported that small amount of blood concentration of 0.2 ml/cm^3 can be detected by the blood leak detector.

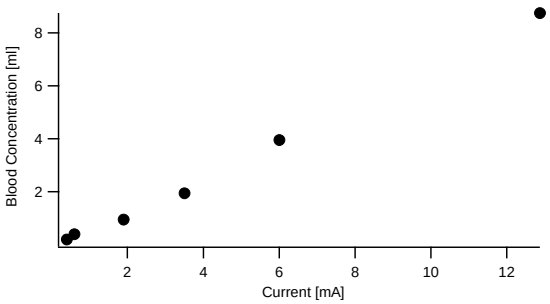


Figure 6. Sensitivity of photodetector

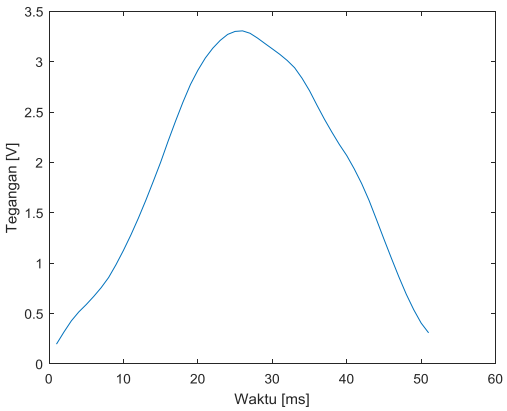


Figure 7. Ouput signal of the photodetector for infrared light.

Figure 7 and 8 show the outputs of the photodetectors for infra red light and green light, respectively. The time duration to activate infra red LED and green LED is 0.5 s. These outputs were used as inputs for MLP Neural Network algorithm. The output of the MLP Neural Network algorithm is either 0 or 1 as shown in Figure 9. These signals are used to trigger the alam board.

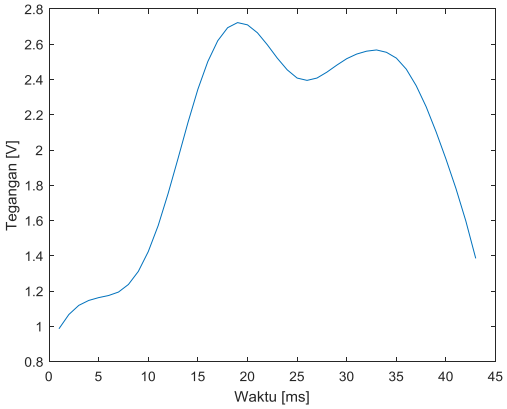


Figure 8. Ouput signal of the photodetector for green light.

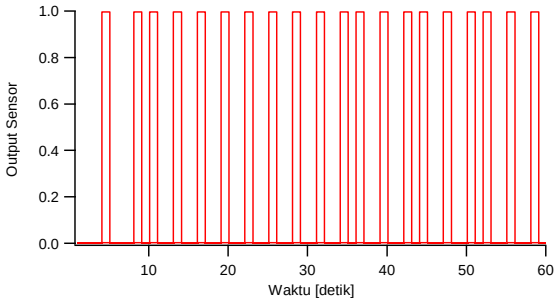


Figure 9. Output of the sensor board to trigger the alarm system.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Table 1. Comparison between the prototype of blood sensor and commersial

No	Blood Volume	Prototype	Commersial
1	0.05	-	Alarm Active
2	0.1	-	Alarm Active
3	0.2	Alarm Active	Alarm Active
4	0.5	Alarm Active	Alarm Active
5	1.0	Alarm Active	Alarm Active
6	2.0	Alarm Active	Alarm Active
7	4.0	Alarm Active	Alarm Active
8	8.0	Alarm Active	Alarm Active

Table 1 shows the comparison between present prototype and commercial product. It is seen that the detection minimum of the present prototype is 0.2 ml/cm3.

4 Conclusion

The following concluding remark can be drawn from the following research:

The process of design, fabrication, and assembly of the blood leak detector have been performed.in this work.

The blood leak detector has demonstrated its capability to detect the presence of various blood concentration in the dialysate line.

From the experimental data, it was reported that the minimum detection limit of the blood leak detector is about 0.2 ml/cm^3.

5 Acknowledgement

This work was financially supported by the Ministry of Research, Technology and Higher Education, Republic of Indonesia, through a research grant, SINAS 2016.

6 References

[1] E. Lindley, D. Finney, P. Jones, A. Lewington, A. O'Reagan and G. Webb, "Unexpected triggering of the dialysate blood leak detector by haemolysis", Acta Clinica Belgica, Vol.70, No.3, pp.226-229.

[2] A. Chadayan, Ms.D.Rasi, " A Survey on Blood Leakage Monitoring in Hemodialysis Therapy", International Journal on Applications in Information and Communication Engineering Volume 1: Issue 11: November 2015, pp 14-16.

[3] Ho-Chiao Chuang, Chen-Yu Shih, Chin-Hui Chou, Jung-Tang Huang, and Chih-Jen Wu, " The Development of a Blood Leakage Monitoring System for the Applications in Hemodialysis Therapy", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 15, NO. 3, MARCH 2015.

[4] G. Murcutt, "Guarding against hidden haemolysis during dialysis: an overview. Summary of the EDTNA/ERCA Journal Club discussion", Spring 2007. J Ren Care. 2007, 33, pp.191–5..

[5] J. Yoon , Thapa S, Chow RD, Jaar BG. "Hemolysis as a rare but otentially life-threatening complication of hemodialysis: a case report". BMC Res Notes. 2014, 7, p.475.

[6] P. Busono, R. Febryarto,and I.M. Astawa, Ultrasonic Based Liquid Level Measurement in Dynamic Dialysate Preparation Chamber Using Neural Network, The 3rd International Seminar on Sensors, Instrumentation, Measurement and Metrology, Depok, 4-5 Desember 2018

[7] F. Uhlin, "Haemodialysis Treatment Monitored on line by ultraviolet absorbance", Medical Dessertation No. 962, Department of Nephrology, University Hospital of Linköping, 2006.

[8] ---Discovery Kit for STM32F411-VE MCU, UM 1842 User Manual, Desember 2014.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Ekstraksi Ciri Sinyal Suara Jantung

Pratondo Busono

Pusat Teknologi Elektronika, BPPT

*)*pratondo.busono@bppt.go.id*

Abstrak

Suara detak jantung dihasilkan dari akselerasi maupun deselerasi dari aliran darah yang dipengaruhi karena pembukaan maupun penutupan katup jantung secara tiba-tiba dan tegangan tiba-tiba struktur intracardiac. Proses ini akan memunculkan suara detak jantung yakni suara S1 dan suara S2 pada keadaan pasien normal. Pada penderita gangguan jantung, diantara suara S1 dan S2 akan muncul suara S3 dan S4. Pada auskultasi jantung, dokter mendiagnosa pasien dengan mendengarkan suara jantung menggunakan stetoskop. Untuk kegunaan analisa otomatis, seluruh informasi yang dibutuhkan untuk diagnosa perlu digitasi dan ditampilkan pada perangkat visual. Sehingga segmentasi dan klasifikasi dapat menghasilkan diagnose dan tindakan medis yang tepat.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan algorihma untuk ekstraksi ciri sinyal suara jantung. Metoda yang digunakan mencakup akusisi sinyal jantung, pemrosesan awal dan segmentasi/extraksi ciri. Sinyal jantung diperoleh dari stetoskop elektronik. Pemrosesan awal digunakan filter lolos pita. Segmentasi digunakan model semi Markov tersebunyi.

Hasil percobaan menunjukan bahwa ekstraksi ciri dari sinyal suara jantung menghasilkan beberapa paremeters seperi segmen suara S1, segmen sistolis, segmen suara S2 dan segmen diastolis. Performa algorithma ditest dengan menggunakannya untuk evaluasi rekaman dari beberapa objek yang mencakup pasien normal atau upnormal.

Kata Kunci: auskultasu; suara jantung; elektronik stetoskop; segmentasi, Hidden Semi Markov Model

1 Pendahuluan

Penyakit kardiovaskular merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia. Pada tahun 2015, sekitar 17.5 juta orang meninggal akibat penyakit kardiovarkular, yang mereprestasikan 31% dari kematian global. Di Indonesia, penyakit jantung merupakan salah satu penyebab kematian, yakni sekitar 20% penduduk mengidap penyakit jantung [1]. Peralatan medis yang biasa digunakan untuk mengetahui kesehatan jantung adalah ECG. Akan tetapi, alat ini hanya dapat mengukur kelistrikan jantung dan tidak dapat digunakan untuk mengetahui gangguan mekanis seperti gangguan pada katup jantung pada saat jantung bekerja. Auskulasi adalah salah satu metoda pemeriksaan jantung dengan mendengarkan suara jantung melalui stetoskop. Akan tetapi tidak semua petugas medis maupun dokter yang terbiasa menggunakan stetoskop untuk memeriksa kelainan jantung. Stetoskop elektronik merupakan perangkat medis elektronik yang dapat digunakan untuk merekam suara jantung, menyimpannya atau mengirim ke dokter spesialis untuk dianalisa lebih lanjut. Aktivitas pengiriman suara detak jantung maupun analisanya banyak dijumpai pada telemedicine. Salah satu tantangan dalam auskulasi adalah sulitnya mendeteksi dan menginterpretasi dari karakteristik akustik yang terkait dengan suara jantung untuk jantung yang tidak normal.

Segmentasi suara jantung merupakan salah satu tahapan dalam pengembangan aplikasi untuk analisa jantung secara otomatis. Banyak peneliti tentang segmentasi sinyal bunyi jantung. Liang et al [2] melakukan segmentasi suara jantung dengan menggunakan envalogram. Fanfula et al. [3] menggunakan Fuzzy Logic untuk segmentasi maupun identifikaksi suara jantung yang dapat beroperasi meskipun pada kondisi adanya anomali jantung dan tanpa ada sinyal acuan lainnya seperti sinyal ECG. Kerangka untuk deteksi arrhythmia yang didasarkan pada variabilitas jantung, juga disajikan pada penelitian mereka.

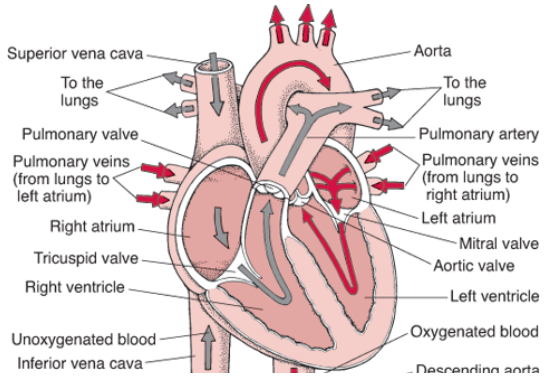
Fokus dari penelitian ini adalah pengembangan aplikasi untuk segmentasi dari suara jantung dengan menggunakan algorithma model semi Markov tersembunyi.

2 Suara Jantung

Jantung memiliki 4 ruang utama, yakni serambi kanan dan serambi kiri (atrium) serta bilik kanan dan bilik kiri (ventrikel), seperti yang terlihat pada Gambar 1. Darah kotor baik yang berasal dari bagian atas tubuh maupun bagian bawah tubuh masuk ke serambi kanan jantung melalui vena kava. Darah tersebut selanjutnya dipompa ke bilik kanan melalui katup tricuspid. Darah tersebut selanjutnya dipompa ke paru-paru melalui katup

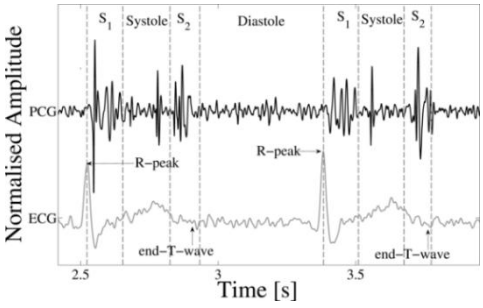
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

pulmonary dan arteri paru-paru (pulmonary artery) untuk mendapatkan tambahan oksigen. Dari paru-paru darah yang telah mendapatkan oksigen tersebut mengalir ke serambi kiri melalui vena paru-paru. Dari serambi kiri darah dipompa ke bilik kiri melalui katup mitral. Dari serambi kiri darah tersebut selanjutnya dipompa ke seluruh tubuh melalui pembuluh arteri.



Gambar 1. Anatomi Jantung

Suara jantung dihasilkan dari proses aktivitas mekanis maupun dinamis dari aliran darah dalam rongga jantung. Dalam identifikasi penyakit jantung, maka analisa terhadap suara jantung yang dihasilkan dapat digunakan untuk identifikasi penyakit jantung. Auskulasi merupakan aktivitas medis untuk mendengar suara jantung dengan menggunakan stetoskop.



Gambar 2. Suara pertama (S1) dan kedua (S2) [5]

Suara jantung yang dapat didengar selama auskulasi adalah suara pertama (S1) dan suara kedua (S2), seperti yang terlihat pada Gambar 2. Untuk kebanyakan pasien sehat, maka yang terdengar adalah suara jantung normal yakni suara pertama dan suara kedua. Suara pertama (S1) merepresentasikan penutupan katup mitral mau katup tricuspid, yang berlangsung hampir serempak, setelah darah kembali dari tubuh maupun paru-paru. Setelah itu mulailah segmen tekanan sistolis. Suara ke dua (S2) menyatakan mulai penutupan katup aorta dan katup paru-paru yang berlangsung hampir bersamaan, dimana darah keluar dari jantung dan dipompa keseluruh tubuh. Inilah akhir dari segmen tekanan sistolis dan mulainya segmentasi daerah diastolis.

3 Metoda

3.1 Pengumpulan Data

Rekaman suara jantung yang digunakan untuk uji coba diperoleh dari kumpulan data yang disediakan oleh PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge 2016 [6]. Kumpulan data mengandung 3000 rekaman dengan berbagai durasi, karakteristik derau, dan karakteristik akustik. Kondisi jantung ditampilkan dalam sejumlah rekaman yang mencakup penyakit jantung valvular, murmur jinak, penyakit pada arteri, dan arrhythmia. Rekaman dalam kumpulan data tersebut diambil dari berbagai lokasi pada permukaan tubuh baik anak-anak maupun dewasa. Data banyak yang rusak karena adanya beberapa derau seperti misalnya suara percakapan, gerakan stetoskop, suara pernapasan, dan suara saluran pencernakan.

3.2 Pemrosesan Awal

Preprocessing dilakukan untuk menghilangkan derau pada suara jantung agar diperoleh hasil segmentasi yang akurat. Dalam preprocessing, dilakukan pula kegiatan resampling dan normalisasi sinyal suara jantung yang telah direkam. Sebelum dilakukan resampling, sinyal suara jantung terlebih dahulu ditapis dengan menggunakan filter lolos rendah Chebyshev Tipe-I dengan frekuensi potong pada 882 Hz. Informasi yang dapat diekstrak dari sinyal suara jantung terletak pada rentang frekuensi 50-700 Hz.

3.3 Ekstraksi Ciri

Model Markov tersembunyi (HMM) adalah model statistik dimana suatu sistem yang dimodelkan sebagai proses Markov dengan keadaan (*state*) yang tersembunyi, dengan kata lain urutan keadaan tidak terobservasi.

Diantara perluasan model Markov konvensional (HMM), model semi Markov tersembunyilah (HSMM) yang banyak digunakan Salah satu keuntungan dari HSMM adalah bahwa model ini memperbolehkan bentuk fungsi distribusi yang

lebih umum dan bervariasi, jadi tidak hanya sebuah bentuk geometri sederhana. Dalam HSMM setiap keadaan tersembunyi merupakan rantai semi Markov dengan penambah distribusi durasi keadaan (state duration). Dengan kata lain bahwa dalam model Markov biasa (HMM), setiap keadaan (state) hanya dapat menhasilkan satu output observasi, sedangkan pada HSMM, setiap keadaan (state) dapat memancarkan serangkaian output observasi. Rentang waktu urutan output observasi ditentukan oleh variabel durasi dari masing-masing keadaan (state).

Implementasi HSMM untuk segmentasi sinyal suara jantung, diawali dengan mendefinisikan terlebih dahulu keadaan (state) siklus jantung. Siklus jantung didefinisikan sebagai model semi Markov dengan 4 keadaan (state), yakni segmen S1,segmen sistolis, segmen S2 dan segmen diastolis. Algorithma HSMM yang digunakan dalam penelitian ini mengadopsi pendekatan HSMM yang dikembangkan oleh Schimdt [7], yakni dengan menambahkan model HMM dengan probabiltas durasi waktu pada setiap keadaan. Sehingga model HSMM dapat ditulis dengan persamaam berikut:

$$\lambda = (\pi, A, B, P) \quad (1)$$

dimana π adalah distribusi keadaan awal suara jantung, A adalah matrik transmisi dari empat keadaan suara jantung, B adalah matrik distribusi observasi dan p adalah fungsi kerapatan probabilitas dari waktu yang diharapkan untuk tetap pada setiap keadaan suara jantung tertentu.

Komponen dari matrik transmisi, a_{ij}, yakni probabilitas keadaan *j* pada *t+1* dari keadaan *i* pada t, yang dapat dinyatakan dengan pesamaan berikut [8]:

$$aij = P(qt + 1 = Sj|qt = Si) \quad (2)$$

dimana q_t adalah *time-state vector* yang menyatakan keadaan pada waktu t, S adalah keadaan individual, dimana untuk siklus jantung S dapat dinyatakan S={S1, systolis, S2, diastolis}. Karena *p* ditambahkan pada proses iterasi dari *B*, hanya matrik transisi keadaan *A* yang Markovian. Maka model disebut sebagai model semi-Markov tersembunyi (HSMM). Model HSMM yang dikembangkan oleh Springer et al merupakan peningkatan dari model HSMM yang dikembangkan oleh Schmidt dalam 3 cara : 1) menggunakan fungsi observasi yang diturunkan dari regresi logistik untuk matrik B untuk menggantikan fungsi distribusi Gaussian, 2) memperluas algorithma Viterbi untuk memprediksi durasi keadaan yang memungkinkan di luar berawalnya maupun berakhirnya sinyal suara jantung untuk memberikan durasi keadaan pada titik batas, 3) menggunakan 4 fitur *envelope* dari suara jantung untuk *input model*, termasuk *homomorphic envelope*, *Hilbert envelope*, *wavelet envelope* dan *power spectral density envelope* [Springer et al, 2016]. Penetapan parameter dapat dijelaskan sebagai berikut. Probabilitas transmisi pada matrik A diinisialisasi dengan nilai 0, kecuali transisi yang memungkinkan antara keadaan keadaan yang berututan (S1→systole, systole→S2, S2→diastole dan diastole→S1) yang diberi nilai 1. Probabilitas distribusi keadaan awal pada matrik π diberi nilai sampa dengan 0.25 untuk keseluruhan empat keadaan. Matrik B dan p dilatih dengan menjalankan algorithma Viterbi yang dimodifikasi untuk keseluruhan training data. Empat buah envelope yang telah disebut sebelumnya dihitung dan dinormalisasi dengan basis per perekaman dikurangi dengan mean dan dibagi dengan standar deviasi untuk setiap recording. Setelah proses normalisasi ke empat *envelope feature vectors* di downsampling ke 50 Hz dengan menggunakan poly-phase antialiasing filter untuk meningkatkan kecepatan komputasi. Envelope feature vector demikian pula anotasi acuan terkait untuk keempat keadaan suara jantung dimasukan ke model HSMM untuk pelatihan. Model berbasiskan HSMM yang dilatih dievaluasi dengan 11 database yakni training-b, training-c, training-d, training-e, training-f, test-b, test-c, test-d, test-e, test-g and test-l databases yang diperoleh dari PhysioNet/CinC Challenge [6].

3.4 Evaluasi

Misal $\{x_1,x_2,x_3,...x_N\}$ merupakan munculnya posisi salah satu dari empat keadaan suara jantung. Parameter toleransi δ digunakan untuk menentukan segmentasi true positive (TP), false positive (FP), dan false negative (FN) untuk mengevaluasi algorithma segmentasi suara. Untuk notasi ke-i, ditandai dengan munculnya posisi x_i, kita hitung jumlah keadaan yang muncul dari hasil segmentasi automatis pada dua daerah waktu, yakni $x_i-\delta \leq$ keadaan yang mucul $\leq x_i + \delta$ dan $x_i + \delta \leq$keadaan yang muncul $\leq x_{i+1} - \delta$ [5]. Misal N_1 dan N_2 adalah jumlah keadaan yang muncul pada daerah 1 dan daerah 2.

- TP : Jika N> 0, TP= TP + 1, ini berarti muncul keadaan yang diharapkan, pada daerah waktu yang diharapan.
- FP : 1) Jika N1<0, FP=FP+N1-1, berarti bahwa ada kemunculan keadaan yang disegmentasi lebih dari satu pada daerah

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

waktu yang diharapkan, 2) jika N2 > 0, FP=FP+N2, berarti ada lebih dari satu kemunculan keadaan yang disegmenteasi pada daerah waktu yang tak diharapkan.

- FN : If N< 0, FN = FN+1, ini berarti hilangnya keadaan yang diharapkan muncul pada derah waktu yang diharapkan.

Pengukuran Sensitivitas Se, positive predictivity (P+, presisi), dan akurasi (Acc), dan F1 didefinisikan sebagai [5]:

$$Se = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (3)$$

$$P+= \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (4)$$

$$Acc = \frac{TP}{TP+FP+FN} \times 100\% \quad (5)$$

$$F1 = \frac{2 \times Se \times P+}{Se+P+} \times 100\% \quad (6)$$

Parameter tolerasi δ memiliki pengaruh kunci pada besarnya evaluasi.

Untuk sinyal suara jantung, ada empat keadaan dalam satu siklus jantung. Schmidt et. Al [7] menggunakan toleransi sekitar 60 ms dan suara jantung dinyatakan dengan TP jika nilai tengah antara keadaan (state) suara jantung yang disegmentasikan (S1 dan S2) lebih dekat nilainya dengan dibandingkan toleransi ke titik tengah keadaan yang ditandai. Pada pendekatan HSMMnya Springer et al [8], nilai toleransinya diberikan nilai sekitar 100 ms. Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa nilai toleransi yakni 30, 50, 70 dan 90 untuk menguji pengaruh parameter pada metrik evaluasi dan untuk mengidentifikasi konsistensi dari interval yang digunakan.

4 Hasil dan Pembahasan

Sebelum perangkat lunak digunakan untuk aplikasi telemedicine, proses training terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan database yang diambil dari Physionet/ Computing in Cardiology Challenge 2016, seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kumpulan Database

Database	#Pasien	#Recording
Training-a	121	409
Training-b	106	490
Training-c	31	31
Test-BPPT1	45	205
Test-BPPT2	14	14
Test-BPPT3	17	24

Database	Segmentasi (%)			#beat
	Abnormal	Normal	Tak Pasti	(stl koreksi)
Training-a	67.5	28.4	4.2	14,559
Training-b	14.9	60.2	24.9	3,353
Training-c	64.5	22.6	12.9	1,808
Training-d	47.3	47.3	5.5	835
Test-b	15.6	48.8	35.6	1,269
Test-c	64.3	28.6	7.1	853
Test-d	45.8	45.8	8.3	260

Tabel 2. Hasil Evaluasi untuk empat keadaan suara jantung dengan data training-a

Keadaan	TP	FN	FP	Se	P_+	Acc	F1
S1	14.277	282	307	98.1	97.9	96.0	98.0
Systolis	14.323	283	310	98.1	97.9	96.0	98.0
S2	14.148	390	412	97.3	97.2	94.6	97.2
Diastolis	14.278	429	462	97.1	96.9	94.1	97.0

Catatan: parameter tolerasnsi δ=90

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 3. Hasil Evaluasi untuk empat keadaan suara jantung dengan data training-b

Sate	TP	FN	FP	Se	P_+	Acc	F1
S1	3.325	28	7	99.2	99.8	99.0	99.5
Systolis	3.349	29	7	99.1	99.8	98.9	99.5
S2	3.268	71	47	97.9	98.6	96.5	98.2
Diastolis	3.415	77	50	97.8	98.6	96.4	98.2

Catatan: parameter tolerasnsi δ=90

Tabel 4. Hasil Evaluasi untuk empat keadaan suara jantung dengan data training-c

State	TP	FN	FP	Se	P_+	Acc	F1
S1	1.719	89	36	95.1	97.9	93.2	96.5
Systolis	1.713	95	42	94.7	97.6	92.6	96.2
S2	1.589	218	163	87.9	90.7	80.7	89.3
Diastolis	1.603	226	173	87.6	90.3	80.1	88.9

Catatan: parameter tolerasnsi δ=90

Tabel 6. Hasil Evaluasi untuk empat keadaan suara jantung dengan data Test-BPPT1

Keadaan	TP	FN	FP	Se	P_+	Acc	F1
S1	14.277	282	307	98.1	97.9	96.0	98.0
Systolis	14.323	283	310	98.1	97.9	96.0	98.0
S2	14.148	390	412	97.3	97.2	94.6	97.2
Diastolis	14.278	429	462	97.1	96.9	94.1	97.0

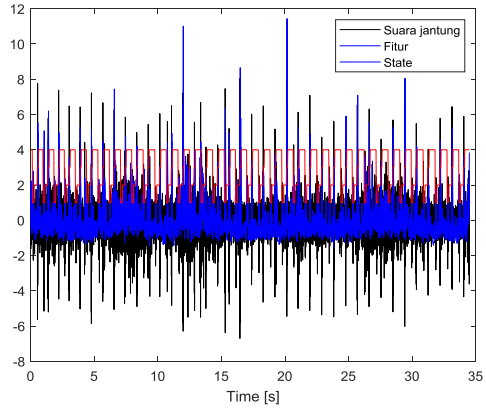
Catatan: parameter tolerasnsi δ=90

Tabel 7. Hasil Evaluasi untuk empat keadaan suara jantung dengan data Test-BPPT2

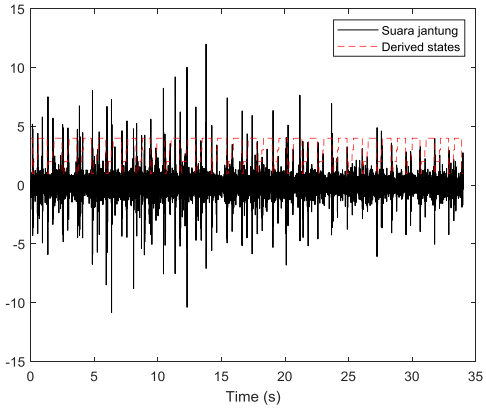
Keadaan	TP	FN	FP	Se	P_+	Acc	F1
S1	1.269	0	0	100	100	100	100
Systolis	1.275	0	0	100	100	100	100
S2	1.258	0	0	100	100	100	100
Diastolis	1.314	0	0	100	100	100	100

Catatan: parameter tolerasnsi δ=90

Gambar 3 adalah signal suara jantung, fitur suara jantung dan keadaan (state) suara jantung. Untuk sebuah siklus jantung, ada 4 state yang dinyatakan dengan 4 segmen, seperti yang ditunjukan pada garis merah. Sedangkan gambar 4 adalah sinyal suara jantung dan derived state.



Gambar 3. Signal suara jantung, fitur signal dan keadaan jantug jantung



Gambar 4. Sinyal suara jantung dan states turunan

Table 1. Nilai Ekstraksi Ciri

Fitur	Nilai rata-rata	Kategori
S1	0.253 ±0.048	Normal
Systolic	0.854±0.067	Ubnormal
S2	0.268±0.041	Ubnormal
Diastolic	0.898±0.056	Ubnormal

Tabel 1 menunjukan nilai rata-rata dari ekstraksi ciri (S1, Segmen Sistolic, S2 dan segmen diastolic) untuk sinyal suara jantung.

5 Kesimpulan

Perangkat lunak berbasis Java untuk ekstraksi ciri sinyal suara jantung telah dikembangkan, dievaluasi dan telah berhasil diimplementasikan pada sistem telemedicine. Algoritma segmentasi berbasis pada Model Semi Markov Tersembunyi (HSMM) telah berhasil digunakan untuk segmentasi /ekstraksi ciri sinyal suara jantung dari berbagai kondisi kesehatan pasien, baik yang sehat (normal) maupun mengidap gangguan penyakit jantung (abnormal). Perangkat lunak telah berhasil diimplementasikan pada sistem telemedicine untuk perekaman, pemrosesan awal maupun segmentasi.

6 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini sebagian dibiayai dari DIPA BPPT 2017 – Inovasi Konvergensi Teknologi Eletronika dan Telekomunikasi Untuk Sistem Elektromedika.

7 Daftar Pustaka

[1] WHO 2015. World Statistics on Cardiovascular Disease. URL who.int/mediacentre/ factsheets/ fs317/en/. Cardiovascular Division & Health Services Research Center. *Reducing the burden of CVD in Indonesia*. Newtown: The George Institute for Global Health, 2017.

[2] H. Liang, S. Lukkarinen and I. Hartimo, "Heart sound segmentation algorithm based on heart sound envelogram," Computer in Cardiology, 1997.

[3] M. Fanfulla, M. Malcangi, M. Riva, D. Della Giustina, F. Belloni, "Cardiac Sounds Segmentation Algorithm for Arrhythmias Detection by Fuzzy Logic", International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, Issue 2, Vol.5, pp. 192-199, 2012.

[4] P. Wang, C.S. Lim, S. Chauhan, J.Y. Foo, V. Anantharaman, "Phonocardiographic signal analysis method using a modified hidden markov model", Ann Biomed Eng, 35, pp. 367-374, 2007.

[5] PhysioNet/CinC Challenge 2016 2016 Classification of normal/abnormal heart sound recordings: the PhysioNet/Computing in Cardiology Challenge 2016. (http://physionet.org/challenge/2016/

[6] Liu C Y, Springer D B, Li Q, Moody B, Juan R A, Chorro F J, Castells F, Riog J M, Silva I, Johnson A E W, Syed Z, Schmidt S E, Panadaniil C D, Hadjileontiadis L, Naseri H, Moukadem A, Dieterlen A, Brandt C, Tang H, Samieinasab M, Samieinasab M R, Sameni R, Mark R G and Clifford G D, 2016 An open access database for the evaluation of heart sound algorithms, *Physiol Meas,* **37** pp. 2181-213.

[7] Schmidt S E, Holst-Hansen C, Graff C, Toft E and Struijk J J 2010a Segmentation of heart sound recordings by a duration-dependent hidden Markov model *Physiol Meas* **31** 513-29.

[8] Springer D B, Tarassenko L and Clifford G D 2016 Logistic regression-HSMM-based heart sound segmentation *IEEE Trans Biomed Eng* **63,** pp. 822-32

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis *Programmable Logic Controller* pada *Greenhouse*

Muhammad Arman, Tandi Sutandi, Susilawati, Gina Sonia Hidayat

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung

Korespondensi: akangarman@polban.ac.id

Abstraksi

Greenhouse adalah sebuah bangunan untuk membudidayakan tanaman, parameter didalamnya dapat diatur sesuai dengan kebutuhan tumbuh kembang tanaman. Di Indonesia masih banyak sistem greenhouse yang dikontrol secara manual. Sistem *greenhouse* ini menggunakan *programmable logic controller* yang digabungkan dengan arduino uno sebagai driver sensor *electrical conductivity* dan pH. Parameter yang dikontrol pada sistem ini yaitu: pH, *electrical conductivity*, temperatur, dan level tanki. Aktuator yang digunakan untuk sistem ini adalah pompa air dan motor agitator. Sistem ini juga mengitegrasikan LCD untuk menampilkan nilai pH, *electrical conductivity* dan temperatur, sehingga memudahkan pengamatan. Hasil dari pengujian sistem untuk nilai EC kurang dari 1,5 pompa nutrisi A dan B menyala sampai nilai *electrical conductivity* mencapai 1,5. Pompa asam menyala jika nilai pH lebih dari 7 dan mati jika pH kurang dari. Pompa penyiraman menyala pada pukul 6 pagi sampai pukul 6 sore atau ketika temperatur greenhouse lebih dari 26^{o} C.

Kata Kunci : Pengisian Nutrisi, Penyiraman Tanaman, Programmable Logic Controller

ABSTRACT

Greenhouse is a building to cultivate plants where the parameters in it can be arranged in accordance with the needs of growing plants. Indonesia there are still many greenhouse systems that are controlled manually. This greenhouse system uses Programmable Logic Controller which is combined with arduino uno as driver of electrical conductivity and PH sensor. Parameters controlled on this system are: PH sensor, electrical conductivity, temperature, and level tank. The actuators used for this system are water pumps and agitator motors, the system is also integrated with the LCD to display the value of PH, electrical conductivity and temperature, making it easier to make observations. The results of the electrical conductivity test score of less than 1.5 pumps of nutrients A and B burn up until the electrical conductivity value reaches 1.5. The PH value of more than 7 acid pumps ON, if the PH value is less than 4 then the acid pump is off, for the watering pump will start at 6 am to 6 pm but when the greenhouse temperature is above 26^{o} C the watering pump ON.
Keywords : Filling nutrients, Watering plants, Programmable Logic Controller

1. PENDAHULUAN

Greenhouse adalah bangunan yang terbuat dari bahan bening atau tembus cahaya yang dapat meneruskan cahaya secara optimum untuk proses tumbuh kembang dan melindungi tanaman dari kondisi iklim yang merugikan bagi pertumbuhan tanaman. Budidaya tanaman di dalam *greenhouse* memiliki keunggulan tanaman yang lebih terkontrol dan keseragaman hasil produksi pada setiap tanaman. Pengaturan temperatur sangat berpengaruh untuk tumbuh kembang tanaman pada greenhouse secara umum greenhouse dirancang pada temperatur 25-27^{o}C.

Teknologi hidroponik dapat menghasilkan daun tanaman yang lebih besar dan mampu menghasilkan kualitas yang baik. Salah satu sistem yang paling baik dalam teknologi budidaya hidroponik adalah Sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT), sistem ini lebih efisien dikarenakan media yang digunakan bukan tanah melainkan dengan air tentunya dapat menghemat lahan. Metode NFT lapisan tipis larutan nutrisi mengalir melalui pipa atau talang yang berisi akar-akar tanaman didalamnya. Larutan bersirkulasi secara terus menerus diatur pada waktu-waktu tertentu dengan pengatur waktu. Akar tanaman terendam dalam larutan nutrisi. Pemilihan media tanam (substrat) yang digunakan dalam teknologi hidroponik adalah salah satu hal yang perlu diperhatikan. Selain itu media tanam juga harus diperhatikan misalnya, media yang mampu menyediakan air, dan unsur hara dalam jumlah cukup bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pengaturan nutrisi adalah hal yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dalam budidaya tanaman hidroponik. Larutan nutrisi AB mix adalah pupuk kimia yang banyak dipakai dalam budidaya tanaman hidroponik. Pengaturan nutrisi ditentukan dengan nilai *electrical conductivity* (EC) yang dapat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman, nilai *electrical conductivity* (EC) yang terlalu rendah akan menghambat pertumbuhan, sedangkan nilai *electrical conductivity* (EC) yang terlalu tinggi akan menyebabkan toksisitas dan keracunan (Sutiyoso, 2003). Larutan yang diberikan harus memiliki kepekatan unsur hara dan tingkat keasaman (pH) yang sesuai untuk jenis tanaman tertentu, menurut penelitian yang dilakukan mahasiswa IPB (Manurung, 2011) nilai *electrical conductivity* larutan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman selada yaitu sebesar 1– 2,0 mS cm-1, dan nilai tolerannya sebesar 2,5 mS cm untuk sayuran daun, nilai PH yang direkomendasikan untuk tanaman selada ini dalam keadaan netral yaitu sebesar 5-7.

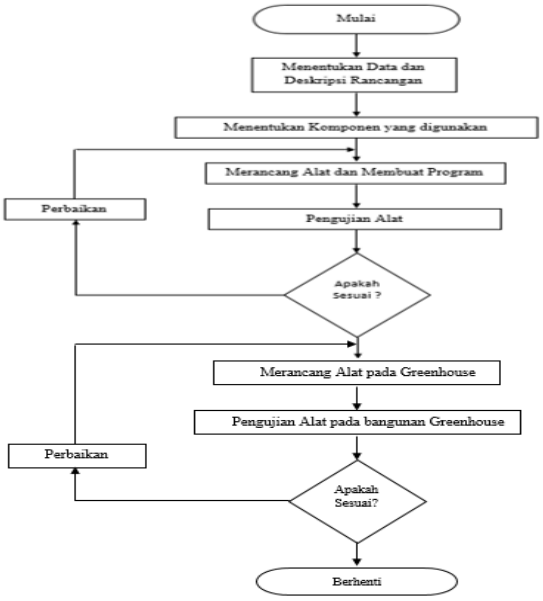
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Di Indonesia masih banyak yang menggunakan sistem *greenhouose* yang diatur secara manual. Apabila *greenhouse* cukup luas maka diperlukan banyak pekerja untuk mengontrol tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh kembang dengan baik. Untuk mengurangi upah pekerja dan membuat tanaman menjadi tetap terkontrol maka harus mengikuti perkembangan zaman yang serba canggih yaitu dengan menambahkan kontrol otomatis pada *greenhouse*. Sistem *greenhouse* berbasis *programmable logic controller* ini diharapkan dapat membantu petani di Indonesia menjadikan hasil tanaman yang unggul dan memiliki nilai jual yang lebih besar.

Tulisan ini membahas dan mendiskusikan proses perancangan dan implementasi sistem kontrol berbasis PLC pada suatu sistem *greenhouse*.

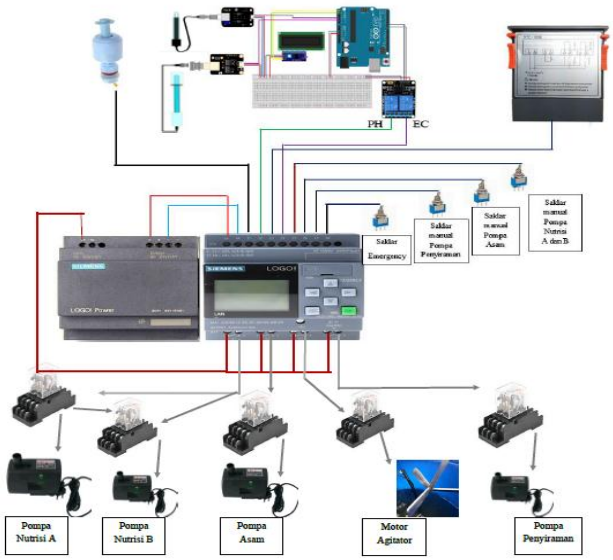
2. METODE PENELITIAN

Riset yang diusulkan mengikuti diagram alir pada Gambar 1. Pertama membuat deskripsi cara kerja alat yang akan dirancang dengan membuat simulasi program pada logo Softcomfort dan melakukan survey pada greenhouse yang akan dijadikan tempat penelitian. Kemudian membuat gambar rancangan melalui aplikasi Sketch Up. Gambar tersebut menjadi referensi untuk menentukan komponen dan alat yang digunakan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Selanjutnya merancang program sensor PH, temperatur, EC dengan Arduino Uno. Perancangan sistem kontrol ini menggunakan *Progammable Logic Controller*, di mana *PLC* digabungkan dengan arduino sebagai *microcontroller* untuk menjalankan sensor PH dan sensor EC seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian *PLC* Siemens keseluruhan

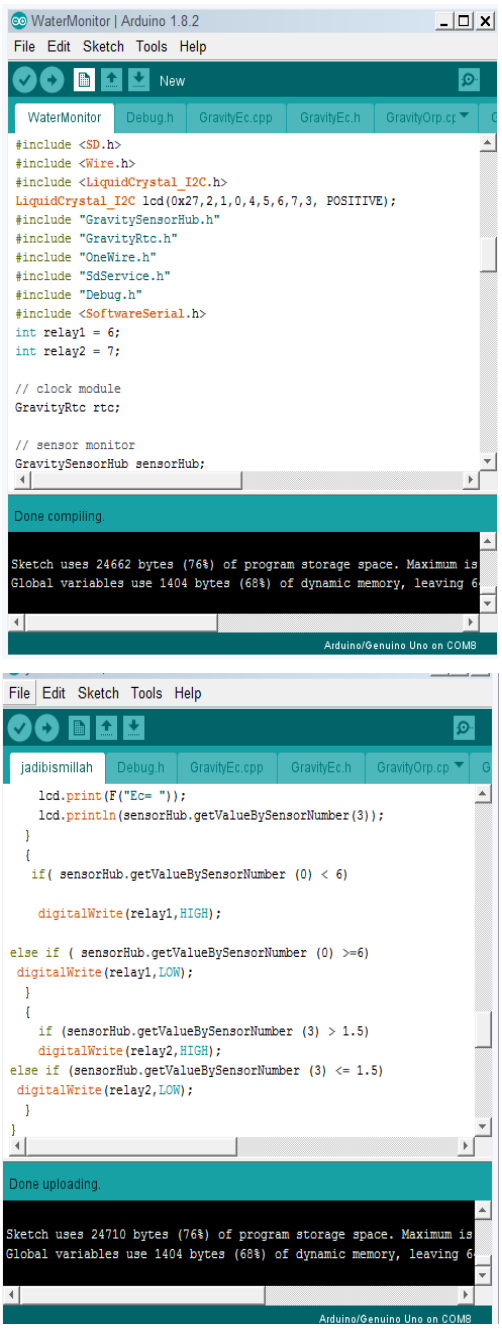
Pengujian dilakukan pada *greenhouse* sebenarnya dengan menguji sensor temperatur, PH, EC, dan sensor *float*, selain itu dilakukan pengujian pada aktuator yaitu pompa dan agitator.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Pengujian Arduino Uno R3

Pengujian pertama yaitu software arduino uno dilakukan melalui proses *compile.* Apabila program tersebut telah berhasil di*compile* maka digabungkan dengan rangkaian sensor lainnya. Kemudian dilakukan proses *upload* sampai berhasil seperti terlihat pada Gambar 3.

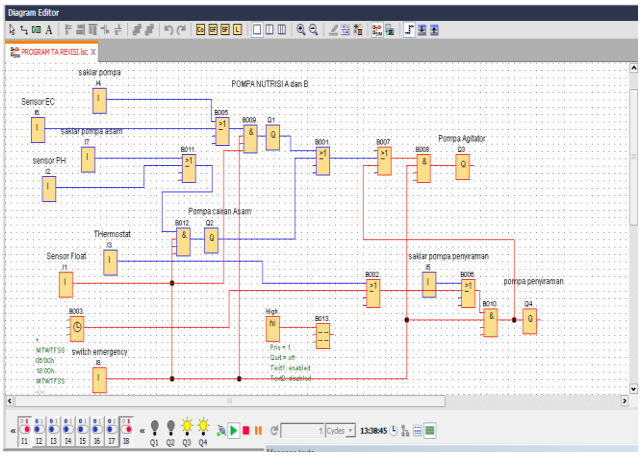
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 3 Hasil Pengujian *Compile* dan *Uploading* Arduino Uno 1.8.2

3.2. Pengujian Simulasi LOGO!Soft Comfort V8.0

Pengujian selanjutnya software Logo soft comfort dilakukan dengan melakukan proses simulasi mengklik sim pada *software* LOGO!Soft Comfort V8.0 seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil pengujian simulasi LOGO!Soft Comfort V8.0

3.3. Pengujian Sistem pada Bangunan *Greenhouse*

Setelah pengujian *software* berhasil, selanjutnya dilakukan pengujian pengintegrasian *software* dan *hardware* secara keseluruhan dengan mengimplementasikan langsung pada bangunan *greenhouse*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah perancangan yang dilakukan sesuai dengan yang diharapkan. Gambar 5 menunjukkan hasil rancang bangun yang diimplementasikan langsung pada *Greenhouse* yang berisi tanaman bibit selada untuk dibudidayakan dengan sistem kontrol pemberian nutrisi, pengadukan nutrisi, dan penyiraman secara otomatis.



Gambar 5 Hasil rancang bangun secara keseluruhan

Tabel 1 menjelaskan mengenai deskripsi target pada proses pengujian integrasi *software* dan *hardware* yang diimplementasikan pada bangunan *Green House*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem pada *Greenhouse*

No	Deskripsi Target	Hasil	Keterangan
1	Untuk tanaman bibit seladah nilai EC telah ditentukan yaitu 1-1,5 ms/cm. Apabila sensor EC kurang dari nilai yang telah ditentukan maka pompa nutrisi A dan nutrisi B akan menyala.	Berhasil	Nilai EC yang terbaca adalah 0 sehingga pompa nutrisi A dan B hidup secara bersamaan untuk meyalurkan nutrisi kedalam tanki mix
2	Apabila EC telah mencapai 1,5 maka pompa nutrisi A dan B akan mati.	Berhasil	Nilai EC yang terbaca adalah 1,7 sehingga pompa nutrisi A dan B mati secara bersamaan dan tidak meyalurkan nutrisi kedalam tanki mix
3	Nilai PH pada tanaman bibit seladah adalah 6-7 apabila nilai PH lebih dari 7 makan pompa asam akan menyala.	Berhasil	Nilai PH yang terbaca adalah 8,67 sehingga pompa asam hidup dan meyalurkan larutan asam kedalam tanki mix
4	Apabila nilai PH telah dibawah 7 maka pompa asam akan mati.	Berhasil	Nilai PH yang terbaca adalah 5,683 sehingga pompa asam mati dan berhenti meyalurkan larutan asam kedalam tanki mix
5	Sensor Float digunakan ketika tanki sudah penuh maka pompa Nutrisi A,B dan pompa Asam akan mati(tidak dapat mengisi)	Berhasil	Larutan yang terdapat pada tanki mix telah melebihi batas sensor float sehingga pompa nutrisi A,B, dan pompa asam mati secara bersamaan meskipun nilai PH dan EC belum tercapai sehingga harus mengeluarkan sedikit larutan yang terdapat pada tanki mix agar larutan mencapai nilai PH dan EC yang diinginkan.
6	Agitator akan terus berputar apabila terjadi proses penyiraman dan apabila tidak terjadi proses penyiraman maka agitator tidak akan berputar	Berhasil	Pengujian dilakukan ketika pukul 10 pagi sehingga terjadi proses penyiraman dan agitator terus berputar dan ketika pengujian dilakukan pukul 20.49 maka tidak terjadi proses penyiraman sehingga agitator tidak berputar
7	Penyiraman bibit seladah dilakukan pada pukul 6 pagi sampai pukul 6 sore namun ketika temperatur *greenhouse* diatas 26^{o}C maka harus dilakukan penyiraman meskipun sudah lebih dari pukul 6 sore	Berhasil	Pengujian dilakukan ketika pukul 20.09 sehingga tidak terjadi proses penyiraman lalu untuk menaikan suhu maka sensor di beri suhu panas sampai 28^{o} C sehingga terjadi proses penyiraman .

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada proses pengujian *hardware*, *software* dan pengimplementasian pada bangunan *greenhouse* ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rancang bangun sistem kontrol pemberian nutrisi, pengadukan nutrisi dan penyiraman secara otomatis pada greenhouse dengan menggunakan PLC dan Arduino Uno telah berhasil dilakukan.
2. Parameter nilai PH yaitu tidak boleh lebih dari 7 dan tidak boleh kurang dari 4 dapat dikontrol oleh sensor PH dan aktuator pompa larutan asam.
3. Parameter nilai EC yaitu tidak boleh lebih dari 1,5 dan tidak boleh kurang dari 1 dapat dikontrol oleh sensor EC dan aktuator pompa nutrisi A dan B.
4. Parameter nilai temperatur greenhouse tidak boleh lebih dari 26oC dapat dikontrol oleh thermostat dan aktuator pompa penyiraman.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

7 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Liston S. Depari atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan pengujian di Greenhouse milik beliau, di Lembang

8 Daftar Pustaka

[1] Factory Automatic Omron (CPM 1Training Manual, 1998:8)
[2] Heldi. 2016 Penyiraman Otomatis pada Greenhouse Menggunakan LM35[skripsi]. Universitas Brawijaya.
[3] Manurung. 2011. Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Sawi terhadap Perbedaan Pemberian Nilai EC. Universitas Sumatra Utara
[4] Putra, Agfianto Eko. 2004. PLC: Konsep, Pemrograman dan Aplikasi. Gava Media : Yogyakarta.
[5] Rukmana. 1994. Bertanam Selada da Andewi. Kanisius, Yogyakarta.
[6] Setiawan, Iwan. *Programmable Logic Controller* dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol. Yogyakarta. 2006.
[7] Sutiyoso. 2003. Pengaruh Nilai EC terhadap Tanaman selada [Skripsi]. Politeknik Negeri Yogyakarta.
[8] Syafiq. 2016. Penyiraman Otomatis pada Greenhouse Menggunakan DHT11[skripsi]. Yogyakarta: Universitar Negeri Yogyakarta.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengembangan Prototipe *Smart Blade* pada Turbin Angin berbasis Servo Pneumatik

[1]Nuryanti*), [1]Ridwan, [1]Muhammad Ramadhan

Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika Politeknik Manufaktur Bandung

nuryanti@polman-bandung.ac.id*)

ridwan@polman-bandung.ac.id)*

Abstrak

Sistem otomasi pada smart blade sebagai kontrol kecepatan angin jika mencapai maksimal. Karena Daya angin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan maka kecepatan angin yang melebihi kecepatan maksimal dapat melonjakkan daya sehingga generator mengalami kelebihan kapasitas selain itu getaran turbin yang terlampau kencang dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi penopang turbin. Oleh karena itu kontrol pitch menjadi salah satu metode untuk membatasi kecepatan angin di atas kecepatan Cut Out. Kontrol pitch atau kontrol sudut baling-baling mengubah sudut serang angin sehingga penangkapan angin berkurang dan pergerakan turbin tidak melampaui batas maksimal. Pembuatan prototype kontrol pitch telah dilakukan baik pada aspek mekanik yaitu pembuatan aktuator berbasis pneumatik yang dapat menggerakkan pitch dan sistem sensor dengan pemrograman pada mikrokontroler. Untuk metode kontrol menggunakan metode *cascade* dimana komponen-komponen yang digunakan meliputi *encoder incremental*, silinder pneumatik, mikrokontroler, potensiometer geser, dan katup pneumatik 5/3. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, hasil pengukuran kecepatan putar turbin angin tanpa pitching mencapai 80 rpm dan kecepatan saat pitching mencapai 0 rpm. Namun pada kontrol *cut* out kecepatan turbin angin dalam melakukan *pitching* ditetapkan pada nilai 40 rpm. Pergerakan silinder penumatik dengan pembebanan (*plant*) dapat bergerak sebesar 8mm. Sedangkan pergerakan tanpa pembebanan dapat mencapai error maksimum sebesar 22,4 % dengan rata-rata error 7,13%. Dengan diterapkannya metode *pitching* pada prototipe turbin angin, kecepatan turbin angin dapat dibatasi.

Kata Kunci: turbin angin, kontrol pitch, servo pneumatik

1 Pendahuluan

Dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Indonesia salah satu kendala nya adalah fluktuasi kecepatan angin. Fluktuasi di sini adalah berubah-rubahnya kecepatan angin dari kecil ke besar atau sebaliknya dalam waktu singkat. Atau adakalanya angin tidak berhembus samasekali. Oleh karena itu pada sistem smart blade atau smart rotor yang didefinisikan sebagai suatu unit sistem yang dapat merasakan gangguan kemudian mengkomputasikan reaksi secara aktif untuk mengendalikan beban aerodinamik sebagai respon terhadap gangguan tersebut [1]. Salah satu smart blade adalah blade yang dilengkapi sistem kontrol pada Pitch atau pada yaw. Pada pitch yaitu pada pangkal blade/bilah, sedangkan yaw adalah pada leher rotor. Pada kontrol pitch dimana blade dapat bereaksi terhadap gangguan berupa kecepatan angina yang terlalu tinggi atau di atas kecepatan angina Cut Out kemudian dengan mikrokontroler dapat mengkomputasikan gangguan tersebut dengan memberikan reaksi berupa pergeseran sudut pitch melalui servo pneumatik. Pada sistem kontrol Pitch dilakukan untuk mencegah terjadinya daya dan getaran berlebih jika terdapat angin dengan kecepatan di atas kecepatan Cut Out-nya dengan asumsi angin bergerak sejajar dengan arah normal rotor. Karena daya sebanding dengan pangkat tiga kecepatan angin sehingga angin kencang akan menghasilkan lonjakan daya yang diluar kapasitas generator, selain itu dengan getaran yang berlebih dapat membuat aus sistem atau berpotensi mematahkan bilah.

Sejauh ini penelitian pada *pitch kontrol* dimana pergerakan blade atau bilah yang dapat merespon beban aerodinamik akibat angin kencang masih banyak yang baru pada tahap konsep simulasi modelling. Seperti yang dikembangkan oleh Bossanyi et al [2] dengan melakukan kontrol per-bilah sehingga dapat menanggung beban asimetris. Metode pengontrolannya dengan mengembangkan algoritma Linier-Quadratic-Gaussian Control (LQG) yang dapat mengatasi masalah dengan multivariable. Begitupula yang telah dilakukan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

oleh Andersen [3] yang menemukan perancangan bilah inovatif dimana terdapat bagian yang membuka dan menutup untuk mengurangi beban aerodinamik (sistem Deformable Trailing Edge Geometri, DTEG) dan menggunakan kontrol LQG dan PID. Keduanya melakukan simulasi dengan menggunakan software untuk menganalisa sejauh mana sistem kontrol tersebut dapat mengatasi permasalahan. Meski secara simulasi menunjukkan hasil yang baik namun Bossanyi masih menyarankan untuk melakukan modifikasi jika akan diaplikasikan karena model turbin nyata mungkin berbeda dengan model yang dibuat. Untuk penelitian yang dikembangkan yaitu penelitian pada bagian kontrol pitch sudah dilakukan baik dengan merancang sistem mekanik, sistem elektropneumatik, maupun sistem kontrol dengan menggunakan mikrokontroler. Prototipe yang dibangun yaitu blade yang dilengkapi bagian mekanik untuk melakukan perubahan sudut bilah sehingga bilah akan berhenti jika dikenai kecepatan di atas kecepatan Cut Out. Bagian servo pneumatik yang terdiri atas potensiometer geser, katup silinder 5/3 dan silinder double acting. Metode kontrol dengan menggunakan pneumatik didasari atas beberapa pertimbangan antara lain aplikasi untuk pembangkit listrik skala kecil (kurang dari 100 KW). Sedangkan jika aplikasi skala Megawatt menggunakan hidrolik sebagai sistem aktuasi kontrolnya.

Proses penangkapan energy angin dipengaruhi oleh factor luas permukaan penampang rotor yang dipengaruhi oleh diameter bilah dan juga factor lainnya yaitu sudut serang rotor terhadap angin. Sudut serang yang paling optimal menurut AR.Jha adalah 0.1 radian atau 5.73 derajat [4]. Sudut serang yang dimaksud adalah sudut antara angin yang datang terhadap garis normal rotor. Sehingga secara umum rotor selalu berhadapan dengan datangnya angin. Sudut serang yang semakin besar akan menurunkan daya tangkap angin. Adapun daya angin ($P_{delivered}$) dirumuskan sebagai [5]:

$$P_{delivered} = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Dengan C_p adalah koefisien daya, ρ adalah masa jenis udara, A adalah luas penampang yang disapu oleh turbin, dan v adalah kecepatan angin. Di sini dapat kita lihat bahwa daya angin sebanding dengan pangkat 3 dari kecepatan angin. Koefisien daya menunjukkan efisiensi aerodinamik turbin dan sebagai fungsi dari tip speed ratio, λ. Dimana λ didefinisikan sebagai :

$$\lambda = \frac{V_{blade}}{V_{angin}} \quad (2)$$

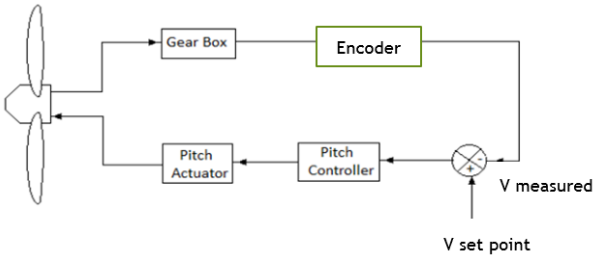
$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (3)$$

Dengan ω adalah kecepatan putar bilah, R adalah panjang bilah (jari-hari turbin). Atau tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan bilah atau turbin dengan kecepatan angin.

2. Perancangan Sistem

2.1. Gambaran Umum Sistem

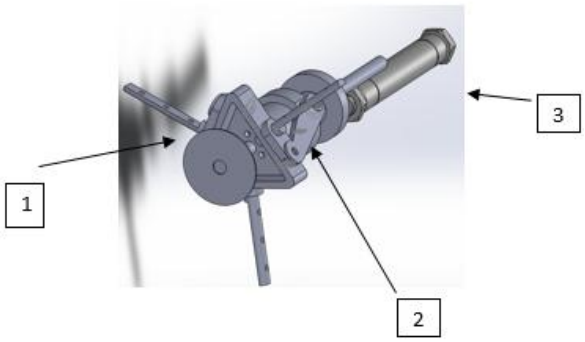
Untuk mengendalikan bilah agar tidak bergerak saat angin di atas Cut out, maka sudut pitch diubah sehingga bilah tidak menangkap angin secara maksimum dan rotor tidak lagi berputar. Seperti terlihat pada Gambar 1 dimana dari encoder diketahui kecepatan angin yang sebanding dengan putaran turbin yang pergerakannya melalui gearbox. Jika kita masukkan set point yaitu nilai kecepatan angin tertentu (disesuaikan dengan kapasitas turbin), maka Jika kecepatan terukur ($V_{measured}$) lebih besar dari kecepatan setpoint ($V_{set\ point}$) maka Pitch controller akan bekerja mendorong pitch actuator untuk mengubah sudut pitch, sehingga rotor akan berhenti.



Gambar 1 Gambaran umum sistem

Dapat dilihat pada Gambar 2 rancangan mekanik *smart blade* dimana terdapat bagian batang bilah (1), bagian yang mentransfer pergerakan linier silinder menjadi pergerakan sudut bilah (2) dan actuator berupa silinder pneumatik (3)

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

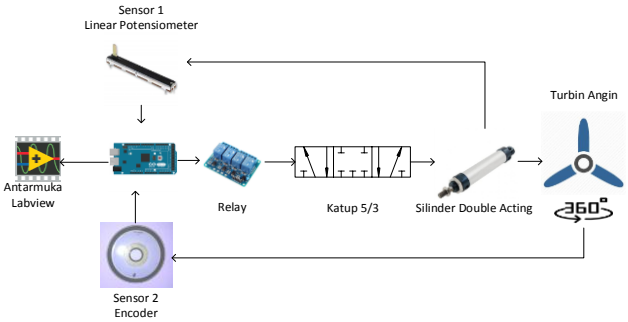


Gambar 2. Sistem Mekanik Kontrol Pitch

2.2. Konsep Sistem Kontrol Pitch dengan Servo Pneumatik

Pengendalian sistem dilakukan oleh sebuah mikrokontroler Arduino Mega baik dalam pembacaan sensor ataupun memberi perintah pada aktuator. Arduino Mega menerima data pembacaan kecepatan putar turbin dari sensor encoder incremental dan menerima pembacaan sudut baling-baling dari sensor potensiometer geser. Pengolahan data yang didapat dari sensor dilakukan oleh Arduino Mega untuk menghitung error antara kecepatan putar motor dari encoder (berupa kecepatan linier dalam satuan meter/detik) dengan posisi baling-baling dari linier potensiometer. Jika terjadi error/kecepatan motor berkurang, maka mikrokontroler akan memberi sinyal pada aktuator berupa katup pneumatik untuk menjalankan silinder agar sudut baling-baling dapat berubah untuk menyesuaikan kecepatan putar turbin.

Sudut baling-baling dapat berubah secara variatif karena digerakkan oleh engkol yang berfungsi seperti siku dimana ujung engkolnya digerakkan oleh aktuator pneumatik. Aktuator yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan silinder pneumatik SKC MAL 20-50 yang dikendalikan oleh sebuah katup. Katup yang dipakai adalah katup SMC 5/3 closed center dengan pemilihan ruang tengah yang tertutup (closed center). Pemilihan katup closed center dimaksudkan agar silinder pneumatik dapat beroperasi lebih dari dua posisi yang umum (awal – akhir) sehingga memungkinkan untuk berhenti di tengah, agak menengah, agak akhir. Hal ini sangat diperlukan untuk pengendalian baling-baling sehingga dapat berputar dalam sudut yang bervariasi. Sensor umpan balik yang digunakan untuk silinder pneumatik adalah potensiometer geser yang dihubungkan pada mikrokontroler. Data dari potensiometer dan encoder akan ditampilkan pada LabVIew visa. Konsep sistem dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Konsep sistem kontrol pitch dengan servopneumatik

Servopneumatik memungkinkan pergerakan yang disesuaikan dengan posisi. Adapun bagian servopneumatik terdiri dari :

a) Silinder double acting sebagai aktuator
b) Katup 5/3 sebagai komponen proses yang memungkinkan silinder berhenti di antara posisi maksimum dan minimumnya
c) Relay sebagai elemen proses yang memungkinkan sinyal input elektrik dari mikrokontroler yang dapat menyalakan solenoid pada silinder
d) Sensor Linier Potensiometer sebagai sensor posisi dari beban dan silinder

2.3. Diagram Alir Sistem

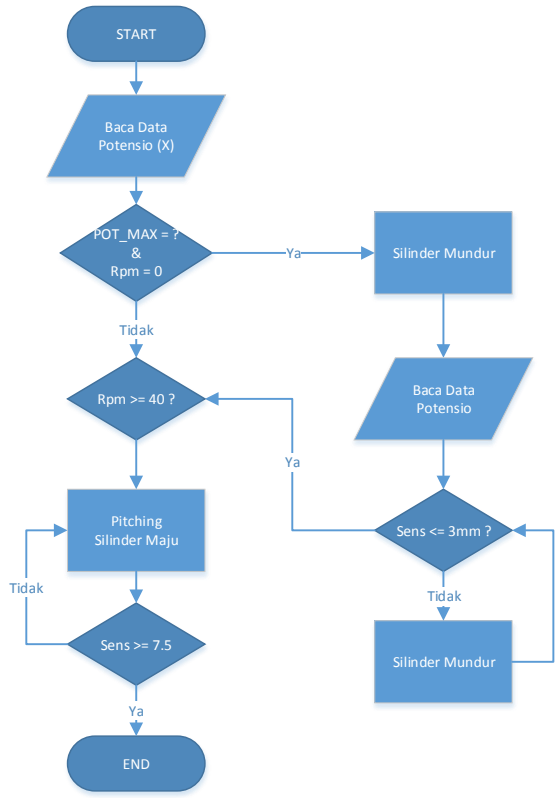
Diagram alir sistem menjelaskan tentang logika kerja sistem pada penelitian ini. Diagram terdiri dari satu diagram umum kontrol. Diagram kontrol secara umum dapat dilihat pada gambar 4. Diagram kontrol menjelaskan kerja sistem secara berurutan. Pergerakan aktuator secara spesifik dijelaskan dalam diagram ini. Sistem dimulai dengan membaca data potensiometer. Namun dalam realisasi untuk pembacaan jarak potensiometer dan kecepatan putar tetap ditampilkan secara real time dalam antarmuka (LabView). Pada sistem ini dimulai dengan pembacaan apakah silinder berada dalam posisi maksimal. Dalam sistem ini pergerakan dibatasi karena kesalahan dalam pembuatan sistem mekanik yaitu maksimal sepanjang 8mm. Sehingga posisi tersebut merupakan posisi maksimal dari sistem. Namun pada sebenarnya silinder dapat mencapai posisi 60mm.

Diawali dengan membaca data potensiometer sistem kemudian akan mendeteksi apakah silinder berada dalam posisi maksimal atau tidak. Apabila silinder tidak dalam posisi maksimal namun tetap berputar maka eksekusi program akan menunggu hingga kecepatan putar turbin melebihi 40 rpm.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Sedangkan apabila kondisi rpm sama dengan 0 maka silinder akan mundur kembali untuk melakukan penangkapan angin. pada sistem ini silinder akan mundur pada posisi potensio 3 mm. Posisi ini dipilih agar pembacaan mikrokontroler untuk memerintahkan relay dapat dilaksanakan tanpa adanya konflik karena pembacaan yang terlalu dekat.

Sedangkan untuk pembacaan kecepatan putar turbin angin apabila telah melebihi 40 rpm maka sistem akan memerintahkan silinder untuk melakukan pitching. Pitching pada sistem ini hanya dapat dilakukan sepanjang 8 mm. Hal ini dikarenakan keterbatasan dalam pembangungan sistem mekanik. Jika potensiometer sudah membaca lebih dari 7.5 mm maka silinder akan bertahan dalam posisi tersebut. Hal ini merupakan penerapan dari sistem servo pneumatik yang membuat silinder dapat berhenti dalam posisi manapun.

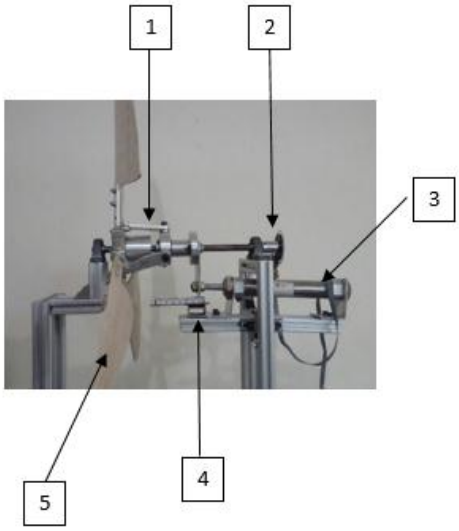


Gambar 4. Diagram alir kontrol utama

3. HASIL PENGUJIAN

3.1. Hasil Pengujian Servo Pneumatik

Aplikasi smart blade pada turbin angin seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 dimana (1) adalah bagian transfer mekanik dari pergerakan maju mundur silinder menjadi pergeseran sudut pitch, (2) menunjukkan sensor encoder, bagian (3) menunjukkan silinder, bagian (4) menunjukkan sensor posisi potensiometer dan bagian (5) adalah *blade foil* atau lembar bilah.



Gambar 5. Aplikasi smart blade pada prototype turbin angin

Pengujian pergerakan silinder ini bertujuan untuk mengetahui respon silinder saat diminta untuk mencapai jarak tertentu secara acak. Selain itu tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah servo pneumatik dapat diaplikasikan pada sistem mekanik atau tidak. Pengujian dilakukan secara manual melalui perangkat lunak Arduino IDE.

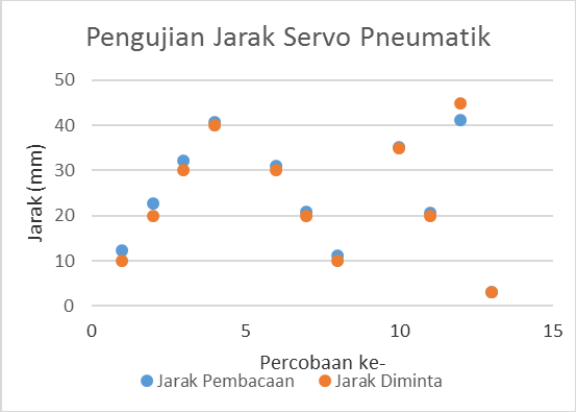
Pengujian ini memiliki hasil rata-rata error 7,13%. Pengujian dilakukan dengan tiga langkah. Langkah pertama yaitu pengujian dengan jarak bertambah 10mm. Pengujian kedua dilakukan dengan mengurangi jarak sebesar 10mm. Sedangkan pengujian terakhir dilakukan dengan mengambil jarak yang acak. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa error memiliki batas atas dan bawah masing-masing sebesar 3mm. Apabila batas error dibuat menjadi kurang dari 3mm maka respon silinder tidak akan berhenti dan berusaha untuk berhenti pada nilai yang pas (maju-mundur). Hal ini terjadi karena kemampuan maju silinder, katup, dan flow control yang membutuhkan tekanan minimum untuk beroperasi secara lebih teliti. Sehingga setelah melakukan berbagai percobaan didapatkan batas error atas dan bawah masing-

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

masing sebesar 3mm. Tabel berikut menunjukkan hasil percobaan pergerakan silinder pneumatik.

Tabel 1 Data pengujian silinder tanpa pembebanan

Jarak pembacaan (mm)	Jarak diminta (mm)	Error (mm)	Error (%)
12,24	10	2,24	22,4
22,59	20	2,59	12,95
32,23	30	2,23	7,43
40,64	40	0,64	1,6
31,01	30	1,01	3,37
20,89	20	0,89	4,45
11,04	10	1,04	10,4
35,2	35	0,2	0,57
20,56	20	0,56	2,8
41,09	45	3,91	8,69
3	3,12	0,12	3,85



Gambar 6. Grafik hasil uji motor *stepper* tanpa pembebanan

Dapat dilihat dari table 1 pada uji jarak yang pendek akan mendapatkan nilai eror yang lebih besar dibandingkan dengan pembacaan jarak yang lebih panjang. Hal ini seperti yang sudah diperkirakan oleh Saravanakumar [6] dimana sistem kontrol dengan menggunakan pneumatik akan menghadapi hal-hal ketidakakurasian dikarenakan karakteristik non linier dari sistem penumatik akibat pengaruh dari gaya gesekan udara, sifat termodinamika dari udara yang bertekanan dan ketidaklinieran dari katup. Namun untuk aplikasi smart blade dimana tidak memerlukan perpindahan posisi yang sangat akurat, maka nilai eror seperti yang ditunjukkan masih memadai. Karena yang diperlukan pada smart blade adalah perpindahan posisi sehingga blade mengalami penurunan dalam menangkap angin.

Dalam aplikasi yang lebih akurat maka dapat menggunakan sistem actuator hybrid pneumatik dan piezoelektrik seperti yang dilakukan oleh Chiang [7] dimana menggunakan silinder pneumatik yang memiliki langkah besar, kecepatan tinggi dan actuator piezoelektrik yang dapat bekerja dengan halus pada setiap perpindahan posisi di setiap sumbu.

3.2. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

- **Pengujian tanpa *Pitching***

Pada pengujian ini baling-baling berputar dengan menggunakan angin yang bersumber dari kipas angin. Pengujian dilakukan dengan memakai sumber angin dari fan yang memiliki rentang kecepatan angin yang tidak terlampau besar yaitu hanya dari 2.6 m/s – 4 m/s

Tabel 2 Pengukuran umum kecepatan sumber angin

Klasifikasi	Tingkat	Kecepatan (rpm)	Kecepatan rata-rata (m/s)
UMUM	1	722	2,648
	2	846	2,924
	3	981	3,904

Setelah didapatkan kecepatan rata-rata pada sumber angin maka dilakukan pengujian perputaran baling-baling. Pengujian dilakukan dengan angin bebas dari sumber angin tanpa menggunakan lorong angin. pengujian perputaran baling-baling tanpa pitching dilakukan dengan cara memberikan sumber angin pada turbin tanpa melakukan pitching. Pengujian kecepatan turbin angin tersaji pada tabel berikut.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 3 Pengukuran kecepatan turbin angin tanpa pitching

Klasifikasi	Tingkat	Kecepatan (rpm)
Pengukuran *tacho*mode *contact*	1	0
	2	19
	3	32

Hasil dari pengujian didapatkan bahwa pada kecepatan 1 turbin angin tidak berputar sama sekali meskipun posisi sumber angin berada pada posisi yang berbeda. Sedangkan untuk kecepatan 2 dan 3 turbin mulai berputar meskipun kecepatan putar turbin sangat jauh berbeda dengan kecepatan putarsumber angin. hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu;

- Baling-baling turbin angin yang terbuat dari kayu balsa sehingga daya angkat tidak cukup kuat untuk memutarkan turbin angin,
- Konstruksi mekanik tidak terlalu ringan untuk berputar sehingga menyebabkan turbin angin sulit melakukan putaran.

- **Pengujian dengan *Pitching***

Karena turbin berputar dalam keadaan maksimal dapat mencapai kecepatan putar 40 rpm. Sehingga nilai 40 rpm pada program digunakan sebagai nilai cut out turbin angin untuk melakukan pitching. Sedangkan setelah melakukan pitching atau pengereman maka kecepatan putar turbin angin dapat mencapai 0 rpm. Hal ini karena saat pengereman kecepatan angin yang diterima oleh baling-baling tidak dirubah menjadi gerak angkat (lift).

Tabel 4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Kecepatan Setelah *Pitching*	Kecepatan Sebelum *Pitching*	Posisi Silinder Sebelum *Pitching*	Posisi Silinder Setelah *Pitching*
0 rpm	40 rpm	3.12 mm	8 mm

Pada sistem ini hanya dapat dilakukan pengujian sistem kes,eluruhan saat posisi *no pitching* dan posisi *full pitching*. Hal ini dikarenakan keterbatasan sistem mekanik yang hanya mampu memberikan pannjang gerakan silinder sebesar 8mm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai rancang bangun pitch kontrol pada prototipe turbin angin berbasis servo pneumatik, seperti :

1. Kendali pitch pada turbin angin dengan menggunakan servopneumatik dapat membatasi kecepatan putar turbin angin
2. Servo pneumatik meski terkendala karakteristik nonlinier dari angin sehingga akurasinya dan presisinya yang rendah, namun masih memadai pada aplikasi kontrol pitch pada turbin angin
3. Servo pneumatik yang diterapkan pada sistem hanya mampu bergerak sepanjang 8mm
4. Kecepatan putar turbin angin tanpa melakukan pitching (kecepatan angina di bawah set point) dapat mencapai 40 rpm. Sedangkan kecepatan putar turbin angin setelah pitching (kecepatan angina di atas set point) dapat mencapai 0 rpm.

5. SARAN

Dalam pengembangan penelitian pitch kontrol prototipe turbin angin berbasis servo pneumatik masih kurang pada sistem kontrol aliran udara pneumatik. Kontrol aliran udara adalah salah satu komponen utama servo pneumatik sehingga jika belum ada sistem kontrol aliran udara maka rotor akan mengalami kesulitan untuk kembali berputar setelah proses pitching. Rotor dapat kembali berputar dengan pengaturan secara manual yaitu kontrol aliran udara diputar dengan tangan agar aliran udara cukup untuk mendorong silinder mundur agar rotor kembali berputar

6. Daftar Pustaka

Pada teks, dafar pustaka harus disitasi dengan menuliskan no urut daftar pustaka

[1] Bryce B.Aquino,"New Generator Control Algorithms for Smart Bladed Wind Turbines to Improve Power Capture in Below Rated

Conditions," Master Theses, *University of Massachusetts Amherst,* pp 6, September 2014

[2] Bossanyi, E, "Individual blade pitch control for load reduction" *Wind energy*, 6(2), pp.119–128, 2003

[3] Andersen, P.B.,"Load alleviation on wind turbine blades using variable airfoil geometry (2D and 3D study)", *Technical University of Denmark*, 2005

[4] AR.Jhe.PhD,"Wind Turbine Technology", pp 96, 2011

[5] Sandra Eriksson, Hans Bernhoff, Mats Leijon," Evaluation of different turbine concepts for wind power, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.12 1419–1434, 2008

[6] D.Saravanakumar ,B.Mohan, T. Muthuramalingam, A review on recent research trends in servo, pneumatic positioning systems, Precision Enginering (49) pp 481-492, 2017

[7] Chiang MH.,"Development of X-Y servopneumatic-piezoelectric hybrid actuator for position control with high response,large stroke and nanometer accuracy,"Sensors Vol.10(4) pp 2675–93, 2010

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Teknologi Robot Kawanan (*Swarm Robotics*) untuk Misi Pencarian dan Pertolongan di Indonesia

[1,2,3]Faqihza Mukhlish*), [3]John Page & [4]Michael Bain

[1]Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, ITB, Indonesia

[2]Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi (CITA), ITB, Indonesia

[3]School of Mechanical and Manufacturing, UNSW, Australia

[4]School of Computer Science and Engineering, UNSW, Australia

(cooresponding author) f.mukhlish@student.unsw.edu.au, faqihza_m@instrument.itb.ac.id, faqihza@tf.itb.ac.id, *)

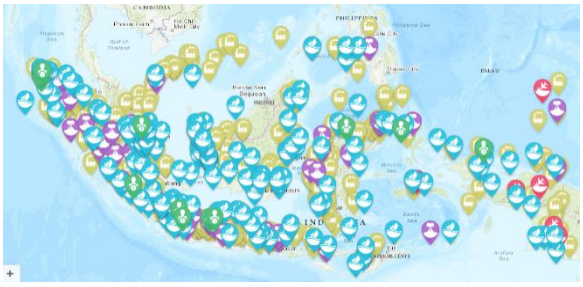
Abstrak

Efektivitas tahap operasi pada misi pencarian dan pertolongan (*search and rescue mission*, SAR) tergantung dari jumlah aset pencarian melingkupi daerah pencarian. Keterbatasan jumlah aset dan personel dalam melakukan misi SAR menjadi salah satu kendala dalam meliputi daerah pencarian yang luas. Untuk memberikan kontribusi dalam meningkatkan performansi tahap operasi pada misi SAR, kemungkinan aplikasi teknologi swarm, yang merupakan kelompok agen nirawak kolaboratif, akan dibahas pada artikel ini. Misi pencarian dan pertolongan semakin mendapat perhatian di Indonesia. Kondisi geografis wilayah Indonesia dan peningkatan transportasi serta frekuensi lalu lintas baik darat, air dan udara, menjadi faktor utama dalam melakukan perencanaan dan operasi misi pencarian dan pertolongan. Salah satu faktor yang menghambat misi pencarian adalah titik kecelakaan yang membutuhkan waktu untuk dijangkau dari markas sementara tim SAR. Dengan menggunakan teknologi swarm, waktu pencarian pada daerah musibah dapat dikurangi dan dapat membantu tim pencarian melingkupi daerah pencarian yang lebih luas. Teknologi swarm yang terinspirasi dari kelakuan kelompok hewan sosial mampu bekerja tanpa awak, memiliki desentralisasi kendali, dan mampu menjalankan misi secara kolektif. Bagaimana aplikasi teknologi swarm secara khusus untuk misi pencarian dan pertolongan dibahas pada artikel ini beserta dengan skenario-skenario terkait.

Kata Kunci: swarm, sistem nirawak, misi pencarian dan pertolongan, instrumentasi, kontrol, kecerdasan buatan

1 Pendahuluan

Misi penyelamatan dan pencarian (*search and rescue,* SAR) di Indonesia memiliki tantangan yang besar. Daerah cakupan Badan Nasional Pencarian dan Pertolongan (BASARNAS) yang begitu luas memerlukan aset pencarian dalam jumlah besar. Selain daerah cakupan yang luas, hal lain yang mempengaruhi misi penyelamatan adalah kondisi geografis yang berbahaya dan cuaca yang tak menentu di Indonesia. Dua hal tersebut pun mempengaruhi keselamatan korban dan tim pencari di titik lokasi musibah. Dalam kurun waktu 5 tahun dari 2012 sampai 2018 telah terjadi 894 musibah di Indonesia seperti dilansir pada halaman daring BASARNAS [1], lihat Gambar 8. Secara rata-rata, kejadian musibah yang telah terjadi adalah 3.75/minggu. Pada kurun waktu tersebut, BASARNAS telah memberikan kemampuan terbaiknya dalam melaksanakan pencarian dan pertolongan korban. Namun, efektivitas operasi pencarian masih sangat tergantung dari kondisi geografis dan cuaca di area kejadian dan kemampuan aset pencarian yang tersedia.



Gambar 8 kecelakaan di Indonesia pada kurun waktu 1 Januari 2012 – 9 Desember 2018 [1]

Dukungan dari masyarakat teknologi dan sains sangat diperlukan untuk meningkatkan kapasitas BASARNAS. Pengembangan dan penerapan teknologi perlu dilakukan dalam rangka meningkatkan kualitas penanganan pasca musibah, khususnya proses misi pencarian dan penyelamatan di Indonesia. Salah satu teknologi yang dapat dikembangkan untuk misi pencarian adalah robot kawanan (*swarm robotics*). Teknologi ini merupakan sebuah sistem tanpa awak yang mampu bekerja secara kolaboratif dan kolektif tanpa adanya sistem kendali utama, yang lebih dikenal sebagai sistem kontrol terdistribusi dan terdesentralisasi. Robot kawanan ini mendapatkan perhatian dewasa ini karena kemampuannya yang baik dalam fleksibilitas, skalabilitas (*scalable*), dan robas (*robust*) [2]. Hal ini sangat menguntungkan dalam melaksanakan misi di lingkungan yang berbahaya dan tak menentu. Sebagai contoh, jika

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

salah satu anggota dari kawanan mengalami kegagalan, kawanan yang lain akan mampu menyelesaikan misi karena sistem kontrol yang terdistribusi dan terdesentralisasi. Oleh karena itu, pengembangan teknologi robot kawanan untuk misi pencarian dan pertolongan akan membantu peningkatan kapasitas BASARNAS.

Pada artikel ini, pertama-tama, misi pencarian dan pertolongan di Indonesia akan dibahas untuk memperlihatkan peluang masyarakat dalam mendukung program BASARNAS. Lalu, teknik pencarian pada misi SAR akan dibahas sebagai pengetahuan dasar dalam pengembangan teknologi robot kawanan. Selanjutnya, penjelasan secara umum tentang teknologi robot kawanan akan diulas. Dilanjutkan dengan pembahasan tentang implementasi robot kawanan untuk misi SAR. Akhirnya, diskusi dan kesimpulan akan mengulas arah pengembangan di masa yang akan datang.

2 Misi Pencarian dan Pertolongan di Indonesia

Sistem misi pencarian dan pertolongan di Indonesia mengadopsi pedoman-pedoman dari *International Maritime Organization* (IMO) dan *International Civil Aeronautical Organization* (ICAO). Sebagai anggota dari kedua organisasi tersebut, BASARNAS memiliki 3 bagian utama dalam melaksanakan misi pencarian dan pertolongan yaitu struktural (komponen SAR), kesiagaan (fase gawat darurat) dan fungsional (tahap SAR). Berdasarkan undang-undang yang berlaku, masyarakat dapat mendukung BASARNAS dari segi struktural dan tahap SAR [3].

Tabel 1 Peluang dukungan

Komponen SAR	Tahap SAR
Organisasi	Kesiagaan
Komunikasi	Penanganan awal
Fasilitas	Persiapan
Pertolongan darurat	Pencarian dan pertolongan
Dokumentasi	Kesimpulan

Dari Tabel 1, sebagai masyarakat teknologi dan sains, khususnya instrumentasi, kontrol dan otomasi, pengembangan dapat dilakukan pada perihal komunikasi, fasilitas, kesiagaan, penanganan awal, persiapan, serta pencarian dan pertolongan. Dasar hukum yang mengatur peluang-peluang tersebut akan dibahas pada paragraf selanjutnya.

Untuk meningkatkan kemampuan misi pencarian dan pertolongan, masyarakat teknologi dan sains diharapkan dapat turut serta dalam penyelenggaraan misi pencarian dan pertolongan. Berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia nomor 29 tahun 2014 tentang pencarian dan pertolongan, masyarakat dapat turut berperan serta dalam rangka meningkatkan penyelenggaraan pencarian dan pertolongan secara optimal [3]. Pada pasal 80, ayat 2c, dijelaskan bahwa masyarakat dapat memberikan masukan kepada BASARNAS dalam rangka pembinaan, penyelenggaraan, dan pengawasan kegiatan pencarian dan pertolongan. Selanjutnya, pada ayat 2d, masyarakat pun dapat memberikan bantuan pada penyelenggaraan operasi pencarian dan penyelamatan.

Melalui Undang-Undang yang sudah dijabarkan sebelumnya, hal-hal yang berpotensi mendukung kegiatan BASARNAS adalah:

a. Mengembangkan sistem simulasi untuk melatih sumber daya manusia dalam melakukan kegiatan pencarian dan pertolongan.
b. Mengembangkan sistem pendeteksian dini bencana.
c. Mengembangkan teknik optimasi perencanaan misi pencarian dan pertolongan.
d. Mengembangkan teknologi pencarian dan pertolongan.

Dari empat poin tersebut, (b) dan (d) adalah dua poin yang berhubungan langsung dengan bidang instrumentasi, kontrol dan otomasi. Untuk poin (a), dukungan yang dapat dilakukan adalah membangun sistem simulasi yang mengakomodasi pengembangan sumber daya manusia pada lingkungan yang terpadu beserta skenario-skenario yang sesuai dengan kemungkinan situasi di tempat musibah. Teknologi pendeteksian dini bencana pada poin (b) perlu dikembangkan dan disesuaikan dengan kondisi geografis, cuaca dan budaya masyarakat di Indonesia. Selanjutnya, pengembangan teknik perencanaan secara analitik, stokastik, maupun para metrik dapat dilakukan untuk mendukung poin (c).

Khusus pada poin (d), pengembangan pada teknik pencarian pada misi SAR akan dibahas pada artikel ini. Teknik pencarian menjadi salah satu komponen penting dalam pencarian korban kecelakaan. Hal ini akan dibahas pada bagian selanjutnya.

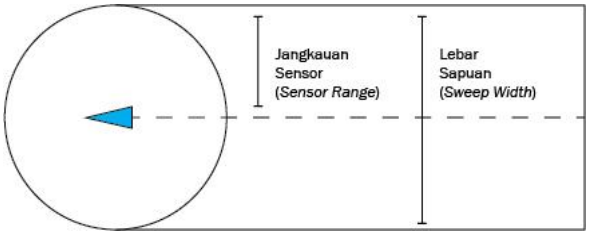
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

3 Teknik pencarian pada misi SAR

Dalam melakukan pencarian, tim SAR mengikuti beberapa ketentuan yang dirangkum dalam *IAMSAR manual* [4]. Pada buku panduan yang diterbitkan oleh ICAO ini terdapat beberapa teknik pencarian dan persiapan yang perlu dilakukan dalam menghadapi sesuatu kejadian kecelakaan darat, laut, maupun udara. Salah satu topik yang dibahas adalah penggunaan aset udara, contohnya adalah pesawat udara, beserta teknik pengukuran yang digunakan dalam melakukan misi pencarian. Selanjutnya, Beberapa teknik pencarian akan dibahas berdasarkan aturan yang umum digunakan.

3.1 Teknik pencarian pada misi SAR

Pesawat udara yang digunakan untuk melakukan misi pencarian umumnya memiliki sensor yang disematkan pada bagian bawah pesawat dan menghadap ke permukaan bumi. Sensor yang digunakan dapat berupa kamera, sonar, maupun radar. Dalam melakukan pencarian, kemampuan sensor yang tersedia pada badan pesawat harus diperhatikan untuk meliput area pencarian. Jangkauan sensor dapat dilihat pada Gambar 9Gambar 8.



Gambar 9 jangkauan sensor pada aset pencari

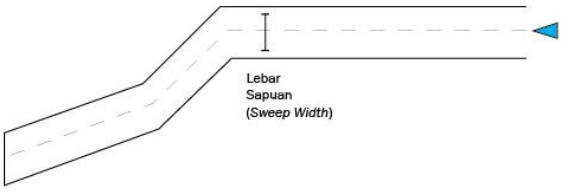
Lebar sapuan sensor (*sweep width*) adalah dua kali dari jangkauan sensor (*sensor range*) dari badan pesawat. Jangkauan sensor dengan menggunakan kamera dan sonar dipengaruhi oleh ketinggian aset pencari. Semakin tinggi posisi sensor maka semakin lebar jangkauan. Tapi, resolusi data yang diterima menjadi berkurang karena area yang ditangkap menjadi terlalu luas. Dengan perancangan sensor seperti ini, metode pencarian dimodelkan menjadi beberapa teknik untuk menghindari *blank area* yang akan dibahas pada sub-pembahasan selanjutnya.

3.2 Metode Pencarian

Dalam misi SAR, beberapa metode pencarian telah dirumuskan secara standar oleh IMO [4]. Pada sub-bagian ini akan dibahas beberapa teknik pencarian yang dilakukan dengan menggunakan aset udara.

3.2.1 Teknik Penjejakan *(Track Line Search)*

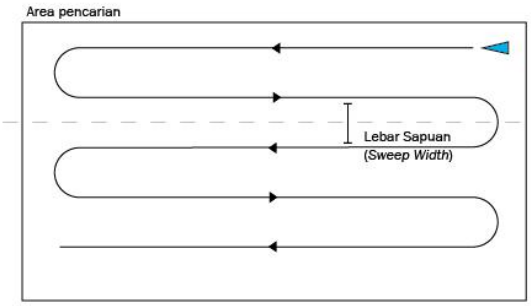
Metode penjejakan ini digunakan untuk melakukan pencarian pada aset yang diperkirakan masih berada dalam jalur pelayaran atau perjalanan yang mengikuti trajektori tertentu. ilustrasi dari penjejakan dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 teknik pencarian dengan penjejakan

3.2.2 Teknik Paralel *(Parallel Search)*

Teknik ini digunakan untuk melakukan pencarian pada daerah yang luas dan berbentuk persegi panjang sesuai strategi pencarian yang ditentukan pada tahap persiapan. Jalur pencarian dilakukan secara paralel atau sejajar dengan sisi terpanjang pada area pencarian. Jarak antara trajektori pencarian ditentukan berdasarkan lebar sapuan dari sensor.



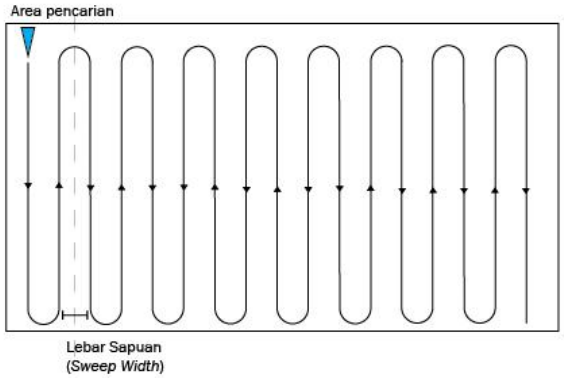
Gambar 11 teknik pencarian paralel

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa jarak antara jalur pencarian tergantung dari lebar sapuan sensor. Pola pencarian ini dapat berubah tergantung dari kepadatan kontak dengan korban dan arah arus laut jika pencarian dilakukan di laut.

3.2.3 Teknik Merayap (*Creeping Line Search)*

Untuk daerah pencarian yang luas dan panjang, teknik pencarian yang dilakukan serupa dengan teknik paralel. Namun, jalur penjejakan yang diambil adalah sejajar dengan sisi terpendek untuk menyusuri daerah pencarian yang luas dan panjang seperti diilustrasikan pada Gambar 12.

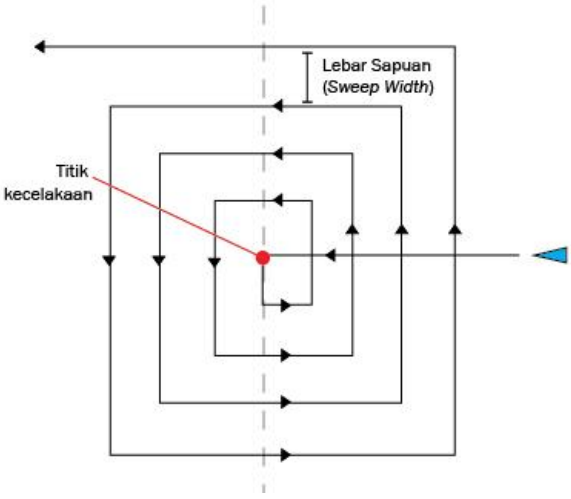
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 12 teknik pencarian merayap

3.2.4 Teknik Pencarian Persegi (Expanding Square Search)

Model pencarian ini banyak digunakan jika tempat kejadian kecelakaan telah diketahui secara spesifik. Pencarian yang bergerak meluas ini dilakukan untuk mencari korban yang tersebar dari titik kecelakaan. Jarak antara jalur pencarian pun tergantung pada lebar sapuan dari sensor yang digunakan. Titik awal pencarian dimulai dari titik kecelakaan, lihat Gambar 13.



Gambar 13 teknik pencarian kotak meluas

Selanjutnya, teknik-teknik pencarian ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa aset pencarian. Pada tahap perencanaan, daerah pencarian dibagi menjadi beberapa bagian disesuaikan dengan kemampuan dan jumlah aset pencarian yang dikerahkan. Kecelakaan yang terjadi di area perairan membutuhkan aset pencarian dalam jumlah banyak. Tahap perencanaan pun mengalami hambatan tatkala kondisi cuaca yang buruk dan arus laut yang besar. Kondisi seperti ini mempengaruhi keselamatan anggota tim pencari dan keandalan aset pencarian. Inilah yang menyebabkan misi pencarian dan pertolongan di Indonesia terkadang membutuhkan waktu yang tidak sedikit untuk melakukan misi pencarian dan pertolongan, khususnya di perairan.

Untuk menanggulangi permasalahan yang dibahas pada paragraf sebelumnya, suatu teknologi dibutuhkan untuk melindungi keselamatan tim pencari dan mampu melakukan pencarian pada kondisi yang buruk. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan untuk misi SAR adalah teknologi robot kawanan. Penjelasan tentang teknologi ini akan dibahas selanjutnya.

4 Teknologi Robot Kawanan (*Swarm Robotics*)

Berdasarkan definisi yang dikemukakan oleh Sahin pada tahun 2005, *swarm robotics* merupakan:

> *"sebuah pendekatan baru dalam mengkoordinasikan robot-robot dalam jumlah besar dan sebuah studi tentang bagaimana kawanan dengan kemampuan terbatas secara individu dapat didesain sedemikian sehingga perilaku kolektif dapat muncul dari interaksi antar individu secara lokal dan interaksi individu dengan lingkungan"* [5].

Teknologi robot kawanan ini terinspirasi dari perilaku kolektif yang diperlihatkan oleh hewan sosial. Sebagai contoh, suatu kawanan semut, lebah dan ikan dapat memperagakan perilaku kolektif yang sangat rumit saat saling bekerja sama. Faktanya, perilaku kolektif yang rumit ini muncul dari interaksi dan kerja sama antara individu tanpa adanya sistem kendali utama. Terinspirasi dari hal tersebut, pada tahun 1987, perilaku kolektif yang terdesentralisasi dan terdistribusi ini kemudian dimodelkan oleh Reynolds, yang selanjutnya dikenal sebagai model perilaku terdistribusi (*a distributed behavioural model*) [6]. Beliau memperlihatkan bahwa perilaku kompleks pada strata kawanan, dapat muncul dari interaksi perilaku-perilaku kecil antara anggota kawanan. Pada penelitiannya, perilaku-perilaku yang dimodelkan adalah pencegahan benturan, penyelarasan kecepatan dan pemusatan kawanan. Dengan model tersebut, perilaku kawanan yang didapatkan menyerupai perilaku dari kawanan burung yang terbang bersama (*flocking behaviour*). Hal ini pun didukung oleh penelitian-penelitian pada bidang Biologi, khususnya pada hewan sosial, yang menyimpulkan bahwa kecerdasan kolektif pada strata kawanan yang muncul dari interaksi perilaku antar individu [7]–[9].

Berikut ini adalah beberapa karakteristik yang dimiliki oleh teknologi robot kawanan adalah:

a. Memiliki sistem kendali otonom,
b. Berada pada lingkungan dinamis yang disebabkan oleh interaksi antar individu dan interaksi individu dengan lingkungan,
c. Setiap individu memiliki sensor dan kemampuan komunikasi dengan individu lain dalam area terbatas,
d. Memiliki sistem kendali yang terdesentralisasi,
e. Setiap individu tidak memiliki pengetahuan tentang perilaku pada strata kawanan,
f. Dapat memiliki kemampuan untuk menerima atau mengirim data pelaporan.

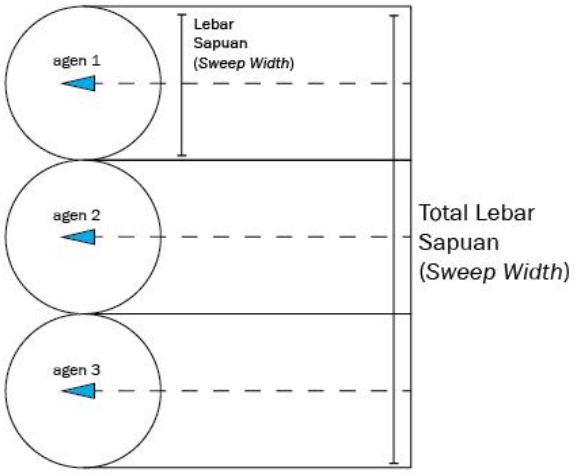
Pada saat artikel ini ditulis, penelitian tentang teknologi robot kawanan berada pada tahap pengembangan awal [2]. Pengembangan-pengembangan yang sudah dilakukan adalah:

a. Memodelkan perilaku kawanan menjadi perilaku-perilaku individu. Umumnya terinspirasi dari perilaku hewan sosial [10].
b. Memodelkan perilaku kawanan secara komputasi, Umumnya menggunakan komputasi evolusioner [11].
c. Mengimplementasikan perilaku kawanan pada grup robot sederhana untuk menyelesaikan misi sederhana [12].

Tiga pengembangan ini telah banyak diteliti untuk mendapatkan perilaku-perilaku spesifik seperti ditulis oleh Bayindir [12]. Namun, menurut beliau, pengembangan yang dilakukan masih sangat terbatas pada penyelesaian permasalahan khusus dan sederhana. Pengembangan teknologi robot kawanan perlu dilakukan secara berkelanjutan sebelum diimplementasikan untuk menyelesaikan permasalahan yang lebih kompleks maupun riil, contohnya adalah misi pencarian dan pertolongan yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

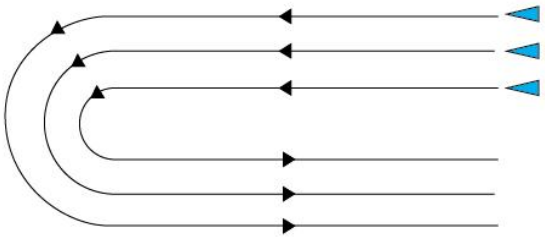
5 Aplikasi teknologi robot kawanan pada misi SAR

Seperti yang sudah dibahas pada bagian sebelumnya, teknologi robot kawanan menggunakan perilaku kolektif dan kolaboratif dalam menyelesaikan suatu permasalahan. Pada misi pencarian, robot kawanan dapat diadopsi sebagai aset pencari dengan menggunakan teknik pencarian yang ada. Dengan menggunakan teknologi robot kawanan, lebar sapuan akan semakin besar jika anggota kawanan semakin besar, seperti ilustrasi Gambar 14 berikut.



Gambar 14 lebar sapuan dengan menggunakan robot kawanan

Dengan menggunakan kawanan, teknik pencarian pun dapat dikembangkan dan memiliki area pendeteksian yang lebih luas. Penyelarasan kecepatan dan penghindaran benturan dapat diaplikasikan pada kawanan pencari. Sebagai contoh, teknik pencarian dengan pola paralel dapat dimodifikasi seperti diperlihatkan pada Gambar 15 berikut.



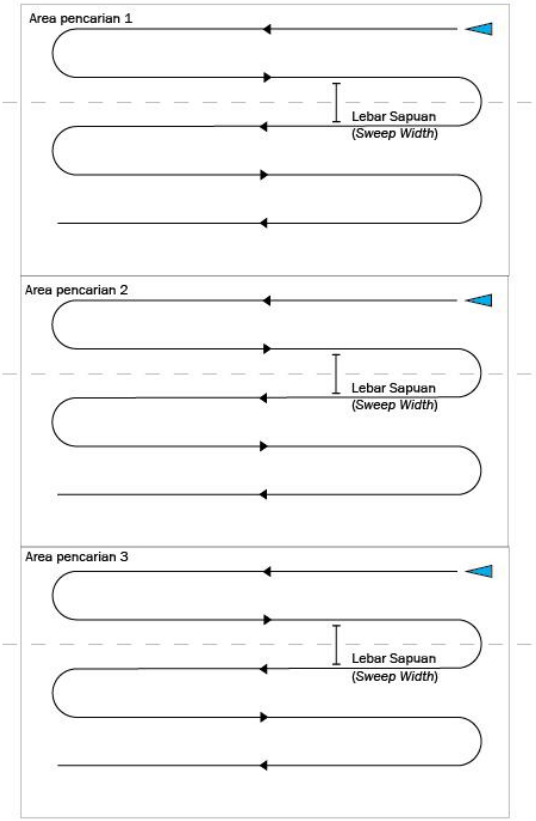
Gambar 15 adaptasi kawanan pada pencarian paralel

Selain bergerak bersama, penggunaan sistem kawanan pun dapat dilakukan dengan membagi area pencarian seperti pada Gambar 16.

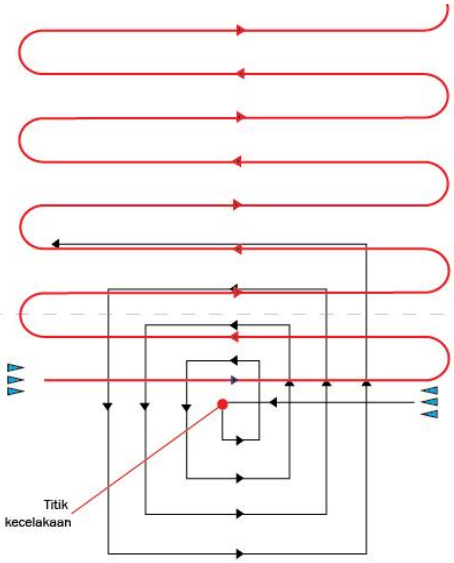
Aplikasi selanjutnya adalah dengan memberikan tugas dan konsensus berbeda pada setiap anggota kawanan. Misalkan, untuk daerah pencarian yang penuh dengan ketidakpastian, seperti adanya kemungkinan korban terseret arus laut, pembagian tugas dapat dilakukan. Pembagian tugas dimungkinkan pada robot kawanan pencari, misalkan antara tim pencarian lokal dan tim pencari berdasarkan arus laut. Jumlah anggota pada pembagian tugas ini dapat ditentukan berdasarkan statistik pendeteksian korban pada

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

setiap tugas. Semakin besar deteksi korban, semakin besar jumlah anggota yang dikerahkan pada tugas yang bersangkutan. Pembagian tugas ini dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 17.



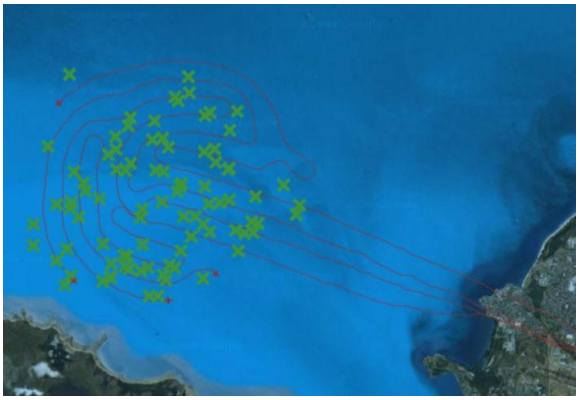
Gambar 16 Pembagian area pencarian pada kawanan pencari



Gambar 17 pembagian tugas berdasarkan konsensus

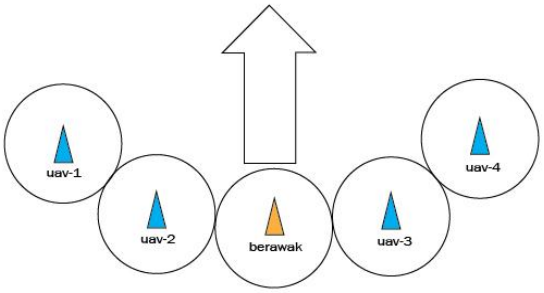
Pada aplikasi ini, kawanan dapat menentukan kemungkinan adanya korban yang terbawa arus atau tidak. Jika jumlah pencarian lokal lebih sedikit dari pencarian berdasarkan arus laut, kawanan dapat menentukan arah pencarian dengan adanya konsensus di antara anggota kawanan.

Aplikasi lain yang dapat dilakukan adalah berhubungan dengan pola pencarian yang didasari pada statistik. Pola pencarian yang dihasilkan oleh kawanan pencari tidak mengikuti pola pencarian standar, tetapi mengikuti distribusi nilai probabilitas sebelum dan sesudah dari setiap titik pada area pencarian. Teknik probabilitas ini dikenal sebagai probabilitas Bayes dan perilaku dari pola pencarian kawanan dapat dilihat pada



Gambar 18 pola pencarian dengan menggunakan teknik probabilitas dan statistik [13]

Aplikasi lain yang dapat dilakukan adalah dengan menempatkan manusia sebagai kawanan dari kawanan, sehingga anggota kawanan dapat membantu tim yang terdiri dari manusia dalam mencari korban. Contoh sederhana adalah menggunakan kawanan mengikuti kecepatan tim pencari dengan formasi tertentu dan memberikan informasi jika terdeteksi korban pada area yang diliputi oleh kawanan seperti dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 interaksi manusia dan robot kawanan

Pada ilustrasi di atas, perlu ditekankan bahwa kendaraan berawak tidak berlaku sebagai pemimpin, tetapi berlaku seperti halnya anggota dari tim. Sehingga, jika kendaraan nirawak lain menganggap kendaraan berawak ini sebagai agen lainnya. Perilaku setiap kendaraan nirawak yang ada tentu akan dipengaruhi oleh perilaku dari manusia, konfigurasi ini dikenal sebagai *human-swarm interface* [14].

6 Diskusi

Pada saat artikel ini ditulis, teknologi robot kawanan masih terus dikembangkan. Pengembangan teknologi kawanan terbagi menjadi dua bagian, yaitu pengembangan teknik kendali kolaboratif dan prototipe robot kawanan. Semenjak dicetuskan topik penelitian "*swarm robotics*" pada tahun 2005 oleh Sahin [5], belum terdapat aplikasi dari robot kawanan yang otonom dalam menyelesaikan permasalahan riil. Inilah alasan mengapa Indonesia memiliki kesempatan yang besar untuk berkontribusi dalam mengaplikasikan sistem kolektif ini terutama pada misi pencarian dan pertolongan.

Seperti disinggung sebelumnya, pengembangan teknologi kendali dari sistem kawanan memiliki dua pendekatan desain, yaitu pendekatan desain secara perilaku dan pendekatan desain secara otomatik dalam mendapatkan perilaku kawanan [2]. Desain secara perilaku dapat diaplikasikan dengan cepat karena sudah banyak model kolektif yang tersedia, umumnya diadaptasi dari hewan sosial. Namun, perlu diperhatikan model kolektif ini hanya akan efektif untuk permasalahan khusus sesuai dengan perilaku yang dikembangkan. Berbeda dengan desain secara perilaku, pendekatan otomatik dapat menghasilkan model kolektif sesuai dengan permasalahan yang ingin diselesaikan. Dengan segala kelebihan dalam beradaptasi pada masalah yang ada, desain secara otomatik ini masih membutuhkan pengembangan. Masalah yang muncul adalah dinamika sistem kawanan dan lingkungan yang penuh dengan ketidakpastian memberikan arah penyelesaian secara otomatik cenderung belum optimal, sehingga perlu cermat dalam mendesain teknik otomatik ini [11]. Inilah alasan mengapa pengembangan desain secara otomatik masih menggunakan permasalahan sederhana.

Misi pencarian merupakan suatu kegiatan yang rumit, karena banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilannya. Faktor lingkungan yang dinamis perlu diperhatikan dalam mendesain perilaku kawanan [15]. Prototipe yang dikembangkan harus memiliki ketahanan terhadap keadaan lingkungan, begitu pun dengan kendali perilaku kawanan.

7 Kesimpulan

Pada artikel ini telah dibahas bagaimana misi pencarian dan pertolongan di Indonesia beserta dengan kesempatan yang dimiliki oleh masyarakat Indonesia, khususnya masyarakat teknologi dan sains, dalam berkontribusi meningkatkan kualitas misi pencarian dan pertolongan. Salah satu teknologi yang berpotensi untuk meningkatkan kualitas misi SAR adalah dengan menggunakan teknologi robot kawanan, yang memiliki pendekatan secara kolektif dan kolaboratif dalam menyelesaikan sebuah misi. Namun pengembangan perilaku kolektif dari teknologi robot kawanan masih perlu dikembangkan. Teknologi robot kawanan ini terbilang baru dalam dunia penelitian di bidang robotika, khususnya pada bidang pencarian dan pertolongan. Dengan demikian pengembangan lanjutan dari teknologi robot kawanan perlu dilakukan khususnya di Indonesia sehingga dapat berkontribusi pada perkembangan teknologi robot kawanan (*swarm robotics*) secara internasional.

8 Daftar Pustaka

[1] "http://simasda.basarnas.go.id," *Simasda Basarnas*. [Online]. Available: http://simasda.basarnas.go.id:8088/. [Accessed: 21-Jan-2019].

[2] M. Brambilla, E. Ferrante, M. Birattari, and M. Dorigo, "Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective," *Swarm Intell.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–41, Mar. 2013.

[3] "Undang - Undang No 29 Tahun 2014 Tentang Pencarian dan Pertolongan." Pemerintah Republik Indonesia, 2014.

[4] International Maritime Organization and International Civil Aviation Organization, Eds., *International aeronautical and maritime search and rescue manual: IAMSAR manual. Volume 1: Organization and management*, 2016 edition, tenth edition. London: International Maritime Organization, 2016.

[5] E. Şahin, "Swarm Robotics: From Sources of Inspiration to Domains of Application," in *Swarm Robotics*, vol. 3342, E. Şahin and W. M. Spears, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 10–20.

[6] C. W. Reynolds, "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model," *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.*, vol. 21, no. 4, pp. 25–34, Aug. 1987.

[7] J. M. Ame, J. Halloy, C. Rivault, C. Detrain, and J. L. Deneubourg, "Collegial decision making based on social amplification leads to optimal group formation," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 103, no. 15, pp. 5835–5840, Apr. 2006.

[8] S. Camazine, Ed., *Self-organization in biological systems*. Princeton, N.J: Princeton University Press, 2001.

[9] I. D. Couzin, J. Krause, N. R. Franks, and S. A. Levin, "Effective leadership and decision-making in animal groups on the move," *Nature*, vol. 433, no. 7025, pp. 513–516, Feb. 2005.

[10] G. Francesca, M. Brambilla, V. Trianni, M. Dorigo, and M. Birattari, "Analysing an Evolved Robotic Behaviour Using a Biological Model of Collegial Decision Making," in *From Animals to Animats 12*, vol. 7426, T. Ziemke, C. Balkenius, and J. Hallam, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 381–390.

[11] F. Mukhlish, J. Page, and M. Bain, "Evolutionary-learning framework: improving automatic swarm robotics design," *Int. J. Intell. Unmanned Syst.*, vol. 6, no. 4, pp. 197–215, Oct. 2018.

[12] L. Bayindir, "A review of swarm robotics tasks," *Neurocomputing*, vol. 172, pp. 292–321, Jan. 2016.

[13] P. J. Sammon and J. Page, "Experimentation and Validation of Vehicle Cluster Simulator using NetLogo," Adelaide, SA, Australia, 2009.

[14] G. Podevijn, R. O'Grady, N. Mathews, A. Gilles, C. Fantini-Hauwel, and M. Dorigo, "Investigating the effect of increasing robot group sizes on the human psychophysiological state in the context of human–swarm interaction," *Swarm Intell.*, vol. 10, no. 3, pp. 193–210, Sep. 2016.

[15] X. Yi, A. Zhu, S. X. Yang, and C. Luo, "A Bio-Inspired Approach to Task Assignment of Swarm Robots in 3-D Dynamic Environments," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 47, no. 4, pp. 974–983, Apr. 2017.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Laboratorium Kit Sederhana Untuk Pengolahan Citra Digital dan Instrumentasi Cerdas

Dede Irawan Saputra*), Susanto Sambasri, Jena Maulana, Cecep Andi Mulyadi & Lucky Aunillah

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani

dedeirawan.saputra@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Proses utama dalam pembelajaran adalah adanya keterlibatan seluruh potensi mahasiswa baik dari segi kognitif, afektif dan psikomotor. proses pembelajaran pada praktikum merupakan salah satu proses yang cocok untuk mengamati mahasiswa dari segi kompetensi. Ketrbatasan alat peraga praktikum/*trainer*/laboratorium kit terkadang menjadi permasalahan pada sebuah praktikum yang memerlukan pemahaman konsep yang luas seperti pada mata kuliah citra digital dan instrumentasi cerdas. Tujuan dari penelitian yang dilaksanakan adalah untuk mendemonstrasikan konsep pembuatan laboratorium kit sederhana untuk praktikum. Kit tersebut diperuntukan bagi dosen atau asisten praktikum pada mata kuliah pengolahan citra digital dan insrumentasi cerdas. Laboratorium kit tersebut terdiri dari skenario tiga persimpangan jalan raya terskala yaitu 1:100. Adapun luas dari laboratorum kit adalah 90 cm x 48 cm. Kit tersebut dipasangkan tiga buah kamera sebagai sensor untuk mengambil gambar dari tiap simpang, serta kendaraan mini yang digunakan sebagai objek yang akan dideteksi dapat diletakan disetiap lajur. Laboratorium kit dilengkapi pula satu buah mikrokontroler dan komputer sebagai media pemrograman dan kontroler beserta LCD. Dalam rangka memeriksa dampak dari penggunaan laboratorium kit tersebut, sebuah model pembelajaran PBL dapat digunakan pada proses praktikum. Berdasarkan hasil aplikasi laboratorium kit untuk pengolahan citra digital dan instrumentasi cerdas, menunjukan bahwa kit tersebut dapat memberikan ilustrasi tentang proses pengolahan citra dan instrumentasi cerdas serta dapat memahami aplikasi secara rill. Kedepannya pengembangan hasil dari penelitian dapat berpotensi untuk diaplikasikan pada kegiatan praktikum tingkat sarjana.

Kata Kunci: laboratorium kit, pengolahan citra digital, instrumentasi cerdas, problem based learning

1 Pendahuluan

Pada program studi teknik elektro dengan kelompok keahlian teknik kendali dan instrumentasi terdapat mata kuliah diantaranya memerlukan praktikum, diantara mata kuliah tersebut terdapat mata kuliah Pengolahan Citra Digital dan mata kuliah Instrumentasi Cerdas. Adapun capaian pembelajaran pada mata kuliah tersebut mahasiswa mampu memahami tentang piranti dan algoritma yang digunakan dalam menunjang sistem. Mata kuliah tersebut mencakup kuliah tatap muka dan praktikum agar pemahaman konseptual dapat diintegrasikan dengan kondisi rill. Setiap kegiatan praktikum biasanya ditunjang dengan media pembelajaran yang digunakan sebagai sarana aplikasi teori yang sudah dipelajari. Di berbagai negara berkembang, mata kuliah biasanya di dukung dengan media pembelajaran caggih untuk mengarahkan kegiatan praktikum pada kondisi yang ideal [1]. Akan tetapi di beberapa tempat memiliki keterbatasan perlengkapan penunjang mata kuliah sehingga membuat mahasiswa mengalami kesulitan dalam untuk menuangkan pengalaman secara konsep dalam proses pembelajaran [2].

Proses pembelajaran pada praktikum merupakan salah satu proses yang cocok untuk mengamati kompetensi mahasiswa. Pada praktikum biasanya digunakan metode pembelajaran aktif serta model pembelajaran yang menuntut mahasiswa dapat menyelesaikan suatu permasalahan atau pun proyek. Kegiatan tersebut merupakan hal yang sangat penting dalam pembelajaran teknik. Keluaran dari kegiatan praktikum diharapkan mahasiswa dapat mempermudah untuk melaksanakan pekerjaan dimasa yang akan datang serta mempunyai pengalaman secara teknis dan teori [3].

Permasalahan yang dihadapi pada proses pembelajaran salah satunya adalah keterbatasan sumber pembelajaran dan perlengkapan praktikum sehingga mahasiswa tidak bertambah pengalaman praktiknya dalam pembelajaran dan proses pembelajaran tidak optimal karena peralatan praktikum tidak memadai. Salah satu solusi alternatif untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dapat menggunakan komputer dan simulasi. Akan tetapi di butuhkan perangkat lunak seperti Matlab, Scilab, Labview dll.

Peragka lunak tersebut ada yang bersifat versi ujicoba dan ada yang berlisensi. Di beberapa tempat, untuk membeli lisensi untuk aktivasi perangkat lunak tersebut terkadang tidak dapat dijangkau oleh keuangan lab. Begitu pun sulitnya realisasi plan yang menggunakan sistem fisik

karena harganya yang sangat mahal. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan sebuah pengembangan perlengkapan praktikum sesuai dengan kepentingan masing-masing.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut dengan berbagai strategi seperti pemanfaatan pemodelan dan simulasi hardware in the loop [4], perancangan modul embeded berbasis mikrokontroler [5], dan simulator SCADA [6]. Sedangkan terkait pengolahan citra dapat dijumpai pada [7] yang menggunakan simulator, serta simulasi lampu lalu lintas otomatis berbasis logika fuzzy [8] dan untuk subjek instrumentasi cerdas dapat dijumpai seperti pengembangan trainer kit logika fuzzy berbasis mikrokontroler [9], simulasi logika fuzzy berbasis mikrokontroler dengan antar muka menggunakan Labview [10], dan simulasi logika fuzzy berbasis mikrokontroler dan Matlab [11]. Bagaimana pun masih ditemukan permasalahan yang bertahan seperti kit lab tidak dapat secara detail mendeskripsikan dan mengilustrasikan kondisi rill di lapangan.

Adapun tujuan dari penelitian adalah untuk mendemontrasikan sebuah perancangan baru dari kit praktikum yang sederhana dan terjangkau dengan tujuan agar mendukung proses pembelajaran dan praktikum pada mata kuliah pengolahan citra digital dan mata kuliah instrumentasi cerdas. Perbedaan dengan kit praktikum lain adalah dapat dikategorikan sebagai kit yang mudah di buat. Kit tersebut terdiri dari mikrokontroler, LCD display, GUI simulator dan simulator. Dimensi dari kit tersebut disusun sedemikian rupa agar menjadi kit yang relatif kompek dan portabel sehingga dapat digunakan pada tempat yang berbeda.

Pada kit tersebut mencakup sistem kendali antrian tiga persimpangan jalan dengan skenario menghitung jumlah kendaraan menggunakan algoritma pengolahan citra Bacground Substrtaction dan skenario pengambilan keputusan menggunakan algoritma logika fuzzy dengan dua buah masukan dan satu keluaran dengan metode Mamdani. Kedua skenario tersebut merupakan dasar dari beberapa algoritma yang sering digunakan di industri.

2 Diskusi

2.1 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra adalah suatu metode yang digunakan untuk mengolah gambar sehingga *menghasilkan* gambar yang sesuai dengan yang diinginkan. Pengambilan gambar dalam pengolahan citra dapat dilakukan dengan memasukan gambar dari berkas yang sudah disiapkan ataupun masukan citra dapat berupa hasil sensor kamera.

adapun tahap pengolahan citra digital adalah:

1. Akuisisi citra, merupakan tahap awal untuk mendapatkan citra digital. Tujuan akuisisi citra adalah untuk menentukan data yang diperlukan dan memilih metode perekaman citra digital.
2. Pre-*processing*, menjamin kelancaran proses berikutnya misalnya dengan menentukan bagian citra yang akan di observasi.
3. Segmentasi adalah salah satu metode penting untuk mengubah citra input kedalam citra output berdasarkan atribut yang diambil.
4. Representasi dan deskripsi, bagian ini untuk mempresentasikan suatu wilayah sebagai suatu daftar titik-titik koordinat. Selanjutnya melakukan deskripsi dengan cara seleksi ciri yakni untuk memilih informasi kuantitatif dari ciri yang ada untuk membedakan kelas-kelas objek secara baik dan ekstrasi ciri yakni untuk mengukur besaran kuantitatif ciri setiap *pixel*.
5. Pengenalan dan interpretasi, tahap ini bertujuan untuk memberi label pada objek yang informasinya disediakan oleh descriptor, kemudian interpretasi untuk memberi arti pada objek-objek yang dikenali.
6. Basis Pengetahuan, Sebagai basis data pengetahuan berguna untuk memandu operasi dari masing-masing modul proses dan mengontrol interaksi antar modul-modul tersebut.

2.2 Instrumentasi Cerdas

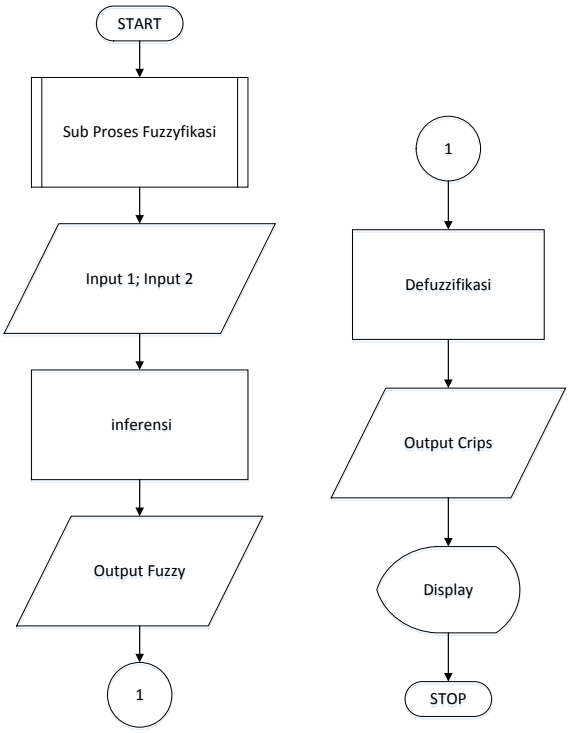
Algoritma kecerdasan yang digunakan adalah logika fuzzy. Kendali logika *fuzzy* disebut juga *Fuzzy* Inference *System*/FIS adalah sistem kendali yang menggunakan konsep teori himpunan *fuzzy*, aturan *fuzzy if-then*, dan *fuzzy consequent*.

Dalam rangka membentuk sistem *fuzzy*, terdapat tiga *tahapan* yang harus dilakukan yaitu seperti pada Gambar 1 menunjukkan tiga tahap tersebut lengkap dengan parameter-parameter yang diperlukan. Kecerdasan yang dibangung menggunakan logika *fuzzy* merupakan sebuah teknik *reasoning* atau penalaran yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan merepresentasikan masalah tersebut menjadi sebuah pengetahuan menggunakan bahasa yang lazim digunakan manusia sehari-hari.

Masalah yang biasa diselesaikan oleh algoritma logika *fuzzy* adalah masalah ketidakpastian

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

sehingga algoritma tersebut sangat cocok digunakan untuk diimplementasikan sehari-hari.



Gambar 1 Tahapan sistem *fuzzy* logic control

Fuzzifikasi adalah Memproses *crisp input* menjadi *Fuzzy input* yang berupa *membership function*, *crisp input* jumlah kendaraan 5 akan ditransformasikan sebagai "Padat". Didalam Fuzzifikasi terdapat proses *Subset membership function* antara lain *triangle trapezium* dan *gaussian.*

Rule evaluation adalah penggunaan *Rule* untuk menentukan aksi *Control* apa yang harus *dilakukan* dalam merespon *masukan*. Berikut adalah format *rule* yang biasa *digunakan* dalam *Fuzzy* : *If Antecedent* 1 *AND Antecedent 2 AND ...Then Consequent 1 AND Consequent 2.* Untuk menentukan jumlah *Rule Base* yang digunakan, dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$nRules = ZxV \quad (1)$$

Defuzzifikasi adalah mengubah hasil dari inferensi merupakan himpunan logika *fuzzy* atau fungsi keanggotaan logika *fuzzy* dengan keluaran yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada *domain* himpunan *fuzzy* tersebut menjadi output tegas agar dapat digunakan untuk mengendalikan suatu proses.

2.3 Perancangan Perangkat Keras

Mikrokontroler yang digunakan pada kit simulator adalah jenis ATmega16. Rangkaian sistem minimum ATmega16 untuk laboratorium kit menggunakan *oscilllator* 16MHz seperti pada Gambar 2 yang disimulasiakn sebelumnya menggunakan perangkat lunak proteus.

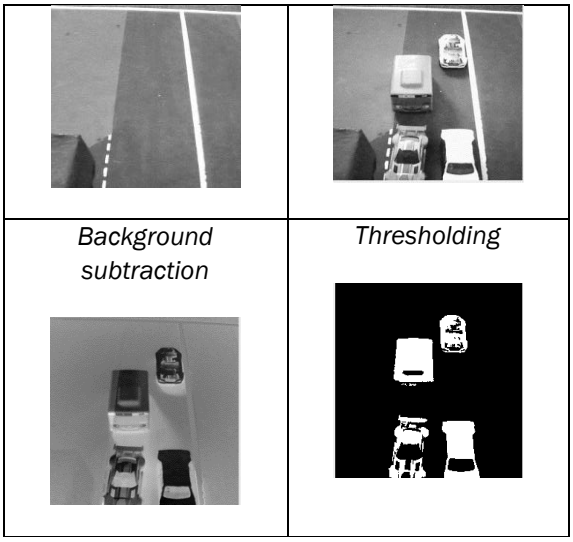
2.4 Perancangan Sistem pada laboratorium kit

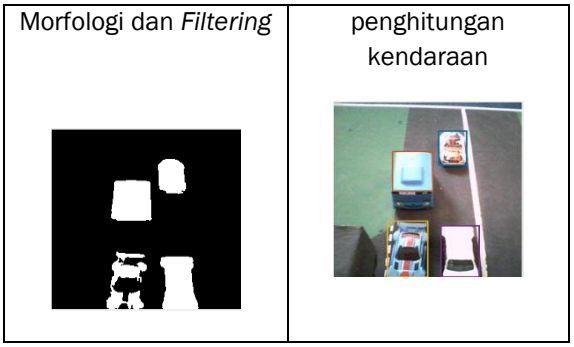
Pada sistem laboratorium kit menggunakan skenario *traffic light adaptive* karena sangat menunjang proses pengolahan citra dan pengolahan algoritma kecerdasarn buatan. Gambar 3 menunjukkan beberapa blok sistem untuk mendukung proses kerja sistem laboratorium kit. Adapun tahapan-tahapan blok diagram pada Gambar 3 dijelaskan sebagai berikut. Proses dari pengolahan dan analisa citra pertama-tama yaitu dengan pengambilan referensi citra dan citra objek dari kamera kemudian setelah pengambilan data, citra dimuat untuk diolah menjadi masukan, dengan dikonversi tiap-tiap citra ke ruang warna *grayscale*, untuk memudahkan proses *background subtraction*. Tahapan proses pengolahan citra *background subtraction* tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 1.

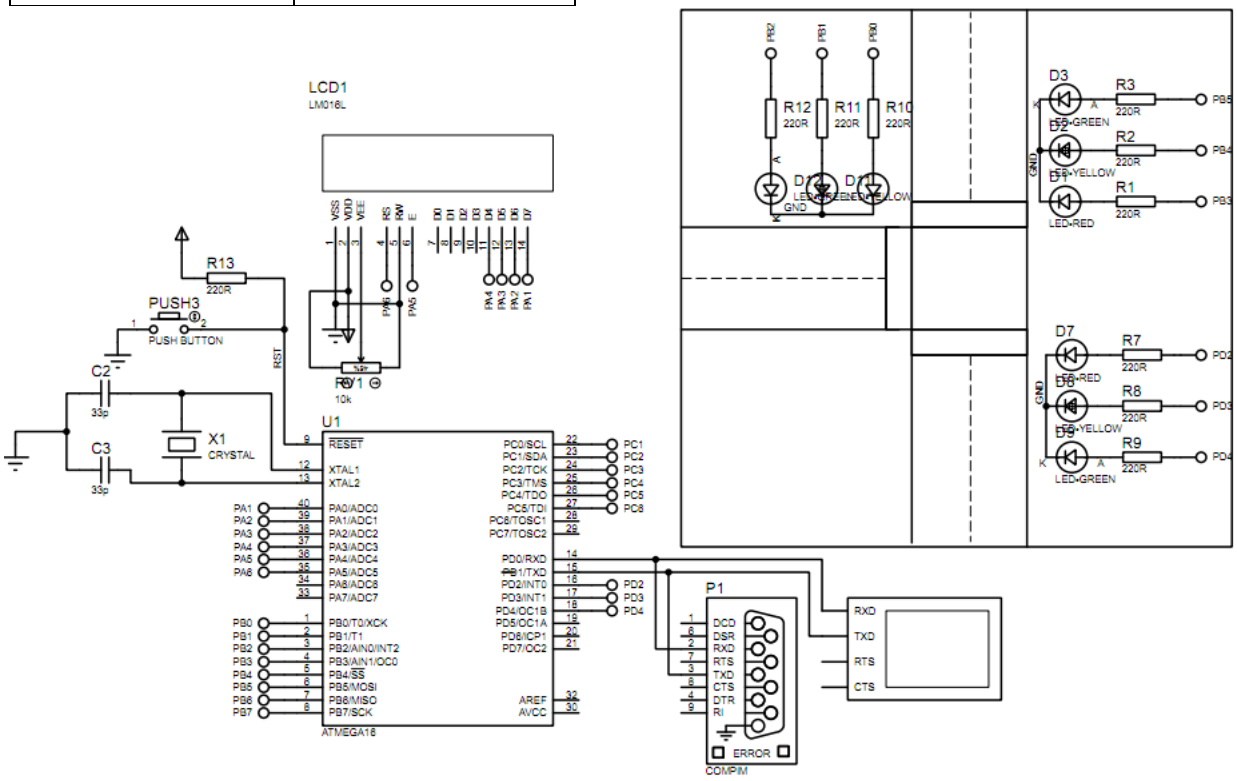
Tabel 13 Tahapan *background subtraction*

Citra referensi	Citra sampel
	
Citra referensi (*grayscale*)	Citra sampel (*grayscale*)

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

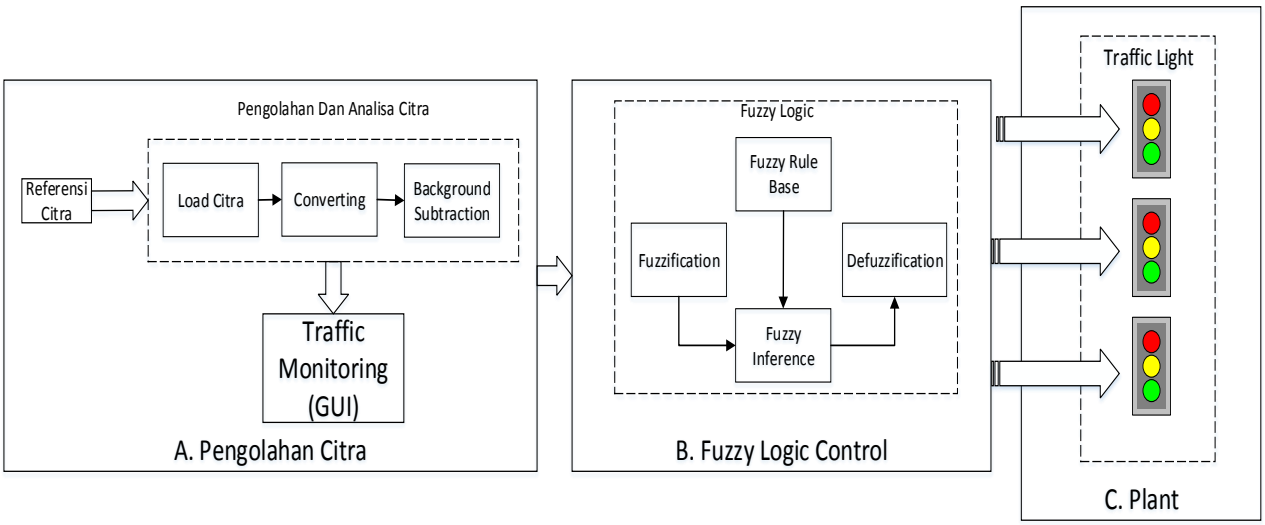






Gambar 2. Skematik perangkat keras laboratorium kit

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 3 Diagram blok skema *traffic light adaptive*

Prinsip dari *background subtraction* yaitu dengan cara mengurangkan antara citra masukan dengan citra referensi menggunakan metode pengurangan pada citra *grayscale* untuk memisahkan atau mempartisi antara citra *background* dan citra objek kemudian setelah proses segmentasi atau mempartisi objek, data tersebut kemudian diubah ke dalam citra biner, karena hanya mempunyai warna yaitu hitam atau putih.

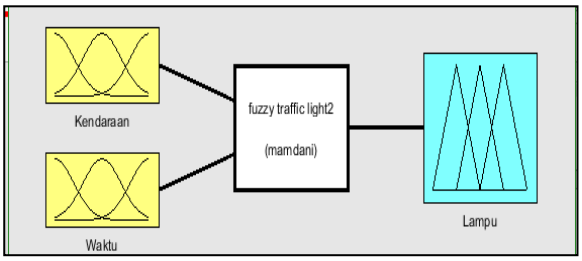
Proses *pengubahan* citra biner agar memudakan untuk mengidentifikasi jumlah kendaraan dengan menghitung luasan area *pixel* objek dengan parameter yang ditentukan untuk kendaraan. Kemudian data proses pengindentifikasian kendaraan akan ditandai pada *traffic monitoring* dan penghitungan jumlah kendaraan akan ditampilkan di *Graphical User Interface* (GUI) *visual traffic monitoring* dan dijadikan masukan untuk kendali logika fuzzy.

Kendali logika fuzzy yaitu bagian yang berfungsi untuk mengontrol lama nyala waktu hijau dari keluaran yang dihasilkan oleh pengolahan citra digital. Keluaran dari proses pengolahan citra dijadikan masukan *fuzzy logic control (*FLC*)* dengan beberapa tahapan dari proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi untuk mendapatkan nilai *crisp output* untuk lama waktu hijau kemudian waktu tunggu jalur selanjutnya yaitu jumlah dari lama waktu hijau di kedua jalur *traffic light*.

Masukan kendali logika *fuzzy* sistem *traffic light* terdiri atas dua macam variabel yaitu jumlah kendaraan (JK) dalam satuan buah, waktu tunggu (WT) dalam satuan detik. Keluaran berupa durasi waktu hijau (WH) dalam satuan detik.

Masukan pertama, JK akan dibagi menjadi 4 fungsi keanggotaan yaitu sedikit (Sd), Sedang (Md), padat (Pd), dan sangat padat (Sp) dengan rentang [0;9]. Masukan kedua, WT akan dibagi menjadi 4 fungsi keanggotaan yaitu Sebentar (Sb), Normal (Nm), Lama (Lm), dan Sangat Lama (SL) dengan rentang [5;50].

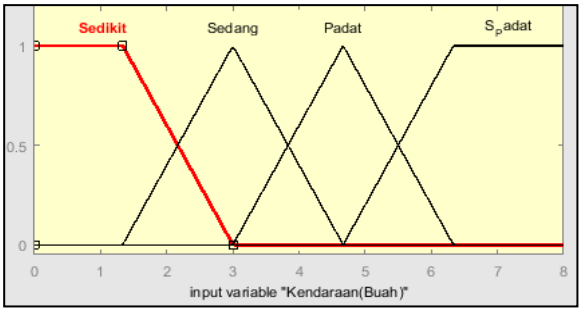
Sedangkan keluaran, WH akan dibagi menjadi 4 fungsi keanggotaan yaitu cepat (Cpt), normal (Nrm), Lama (Lma), sangat lama (Slm) dengan rentang [0;45]. Sistem *fuzzy* tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 .Sistem *fuzzy* dengan 2 Masukan

Sedangkan fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran sistem *fuzzy* ditunjukkan seperti pada Gambar 5 s.d Gambar 7 berikut.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 5 Fungsi keanggotaan jumlah kendaraan (JK)

a) Derajat keanggotaan sedikit JK

$$\mu(x) = \begin{cases} 1; & 0 \le x \le 1{,}33 \\ \frac{3-x}{3-1{,}33}; & <1{,}33\ x \le 3 \end{cases} \quad (2)$$

b) Derajat keanggotaan sedang JK

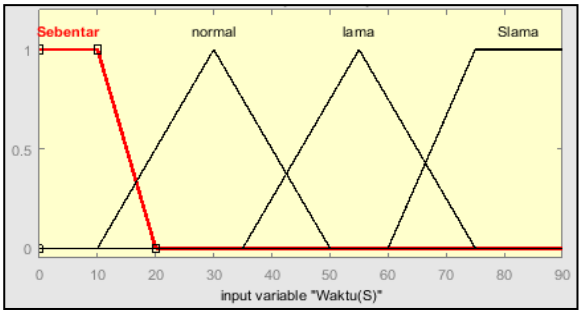
$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \le 1{,}33, x \ge 4{,}66 \\ \frac{x-1{,}33}{3-1{,}33}; & 1 < x \le 3 \\ \frac{4{,}66-x}{4{,}66-3}; & 3 < x \le 4{,}66 \end{cases} \quad (3)$$

c) Derajat keanggotaan Padat JK

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \le 3, x \ge 6{,}33 \\ \frac{x-3}{4{,}66-3}; & 3 < x \le 4{,}66 \\ \frac{6{,}33-x}{6{,}33-4{,}66}; & 4{,}66 < x \le 6{,}33 \end{cases} \quad (4)$$

d) Derajat keanggotaan sangat padat JK

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-4{,}66}{6{,}33-4{,}66}; & 4{,}66 < x < 6{,}33 \\ 1; & 6{,}34 \le x \le 8 \end{cases} \quad (5)$$



Gambar 6 Fungsi keanggotaan waktu tunggu (WT)

e) Derajat keanggotaan sebentar WT

$$\mu(x) = \begin{cases} 1; & 0 \le x\ 10 \\ \frac{10-x}{20-10}; & 10 <\ x \le 20 \end{cases} \quad (6)$$

f) Derajat keanggotaan normal WT

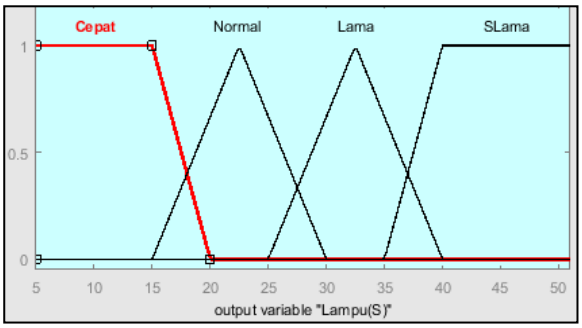
$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \le 10, x \ge 50 \\ \frac{x-10}{30-10}; & 10 < x \le 30 \\ \frac{50-x}{50-30}; & 30 < x \le 50 \end{cases} \quad (7)$$

g) Derajat keanggotaan lama WT

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \le 35, x \ge 75 \\ \frac{x-35}{55-35}; & 35 < x \le 55 \\ \frac{75-x}{75-55}; & 55 < x \le 75 \end{cases} \quad (8)$$

h) Derajat keanggotaan sangat lama WT

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-60}{75-60}; & 60 < x < 75 \\ 1; & 75 \le x \le 90 \end{cases} \quad (9)$$



Gambar 7 Fungsi keanggotaan waktu hijau (WH)

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

i) Derajat keanggotaan cepat WH

$$\mu(x) = \begin{cases} 1; & 5 \leq x\ 15 \\ \frac{20-x}{20-15}; & 15 < \ x \leq 20 \end{cases} \quad (10)$$

j) Derajat keanggotaan normal WH

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 10, x \geq 50 \\ \frac{x-15}{22{,}5-15}; & 15 < x \leq 22{,}5 \\ \frac{30-x}{30-22{,}5}; & 22{,}5 < x \leq 30 \end{cases} \quad (11)$$

k) Derajat keanggotaan lama WH

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 25, x \geq 40 \\ \frac{x-25}{32{,}5-25}; & 25 < x \leq 32{,}5 \\ \frac{32{,}5-x}{40-32{,}5}; & 32{,}5 < x \leq 40 \end{cases} \quad (12)$$

l) Derajat keanggotaan sangat lama WH

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-32{,}5}{40-32{,}5}; & 32{,}5 < x < 40 \\ 1; & 75 \leq x \leq 90 \end{cases} \quad (13)$$

Tabel 14 Basis kaidah *traffic light*

JK / WT	Sd	Md	Pd	SP
Sb	Cpt	Cpt	Nrm	Nrm
Nm	Cpt	Nrm	Nrm	Lma
Lm	Nrm	Nrm	Lma	Slm
SL	Lma	Lma	Slm	Slm

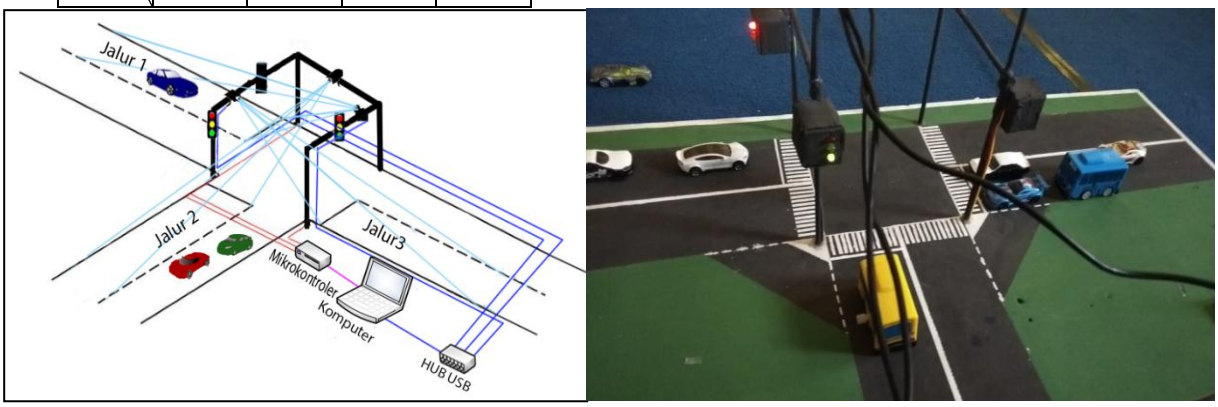
Sistem *fuzzy* pada penelitian ini dibangun dengan 16 aturan. Adapun aturan-aturan tersebut ditunjukkan seperti pada Tabel 2

Plant yaitu pada *traffic light*s yaitu sebagai wadah atau peralatan, yang menginterpretasikan atau memvisualisasikan lama waktu hijau dan waktu tunggu dari keluaran proses FLC.

2.5 Perancangan Miniatur *Traffic light*

Perangkat keras pada Tugas Akhir berupa miniatur *Traffic light* persimpangan Jl. Baros yang di daerah Cimahi. Sebelum proses pembuatan miniatur telah dilakukan observasi untuk mengetahui desain dan ukuran tempat tersebut, selanjutnya dicari ukuran yang tepat untuk diterapkan dalam bentuk miniatur menggunakan skala perbandingan sehingga hasil program bisa mendekati hasil sesungguhnya apabila diterapkan secara *real* seperti pada Gambar 8.

Skla perbandingan yang digunakan adalah 1:100 yang didapatkan berdasarkan hasil perhitungan.



(a) (b)

Gambar 8 Kit simulator; (a) ilustrasi, (b) rill

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Skala perbandingan 1:100, sehingga panjang miniatur yang ingin dibuat menjadi 90cm, dan lebar 48cm. Hasil dimensi miniatur tersebut diperoleh dari penghitungan sebagai berikut:

Diketahui: Skala 1:100

- lebar jalan sesungguhnya(LS)=15.5m : 2 = 7,75m/jalur
- Panjang sesungguhnya(PS) 20m=2000 cm
- Ketinggian Kamera sesungguhnya (KS)=15m = 1500 cm

Dicari: Pm, Tm, Km

Penyelesaian:

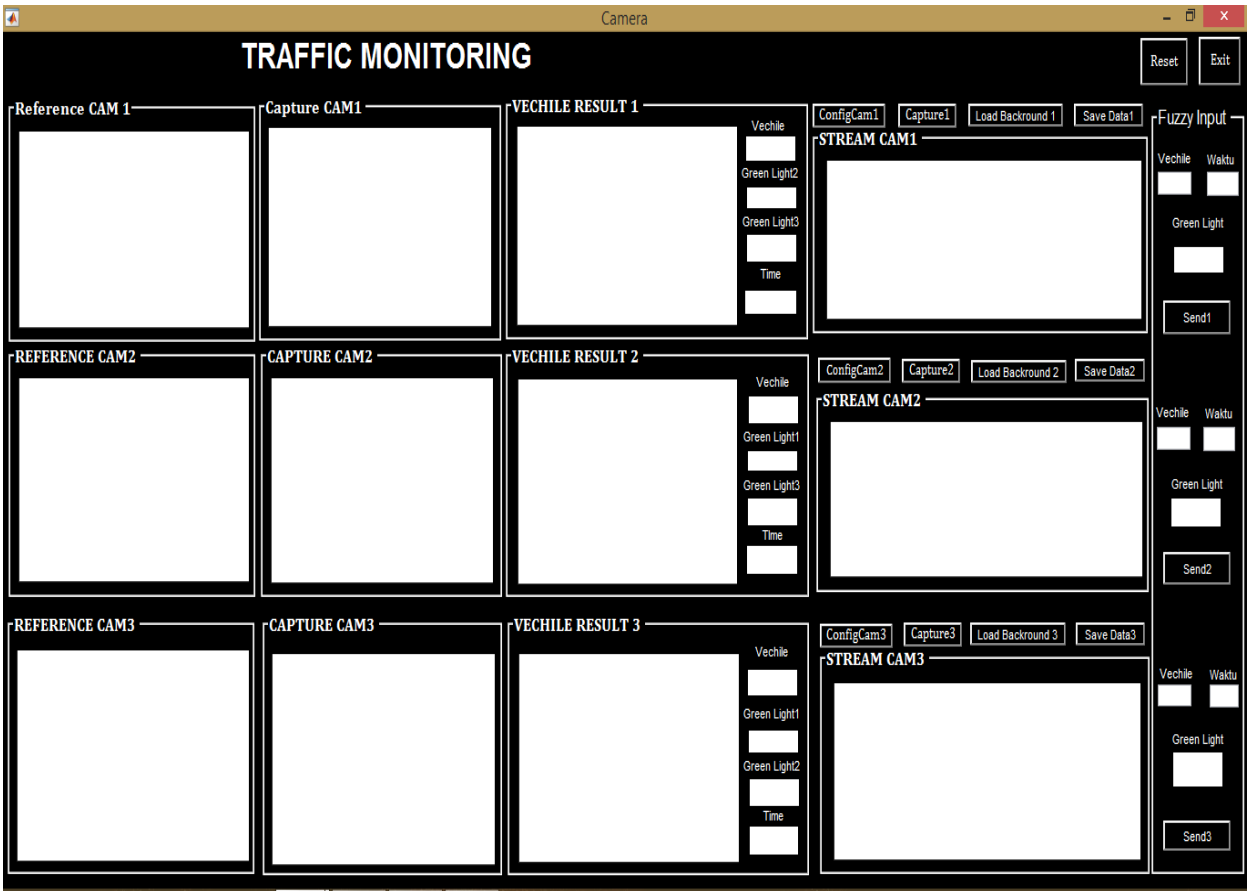
- Panjang miniatur (Pm)=2000/100 = 20 cm/jalur 20x2=40cm
- Lebar miniatur (Lm)=1550/100 =15,5 cm 15.5:2=7,75cm/jalur
- Ketinggian kamera miniatur (Km)

= 1500/100= 15 cm

2.6 Pengujian citra digital laboratorium kit

Pengujian keseluruhan merupakan pengujian dengan menggabungkan seluruh bagian dari sistem yang berupa perangkat keras maupun perangkat lunak. Hasil gambar masukan dari sensor kamera akan diterima oleh PC yang selanjutnya dilakukan proses grayscale, backround subtraction, thresholding sehingga didapatkan kondisi kepadatan kendaraan, yaitu sepi, normal atau padat. Data kondisi kepadatan kendaraan akan dikirimkan ke mikrokontroler melalui port serial.

Mikrokontroler akan mengatur nyala lampu lalu lintas disetiap simpang. Arah pergerakan lampu lalu lintas adalah searah jarum jam. Berikut gambar tampilan program simulasi pengaturan lampu lalu lintas berbasis pengolahan citra digital pada Gambar 9 dan diberi nama perangkat lunak *visual traffic monitoring*.



Gambar 10 perangkat lunak laboratorium kit

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengujian pengambilan citra dilakukan dengan *streaming* kamera yang mengintegrasikan *MATLAB* 2015b melalui *library Osgeneric webcam*. Tujuannya untuk menampilkan data citra dari *webcam* ke aplikasi pada *visual traffic monitoring* dan dapat langsung diproses oleh program. Adapun konfigurasi *visual traffic monitoring* ditunjukkan pada Tebel 3. Integrasi tersebut merupakan langkah pengolahan citra digital dan hasilnya dapat langsung di tampilkan pada perangkat lunak.

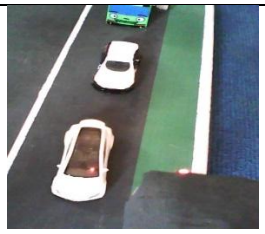
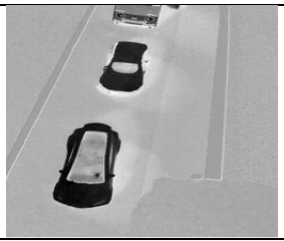
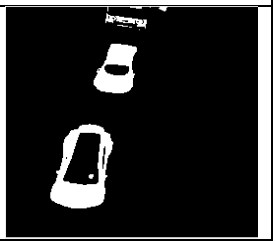
Tebel 3 Konfigurasi perangkat lunak laboratorium kit

Nama Tombol	Fungsi
ConfigCam 1 s.d 3	Memilih konfigurasi kamera yang akan digunakan
Load 1 s.d 3	Mengambil gambar referensi untuk proses *background subtraction*
Capture 1 s.d 3	Mengambil gambar masukan atau citra sampel untuk proses *background subtraction*
Save data 1 s.d 3	Untuk memulai menghitung jumlah kendaraan yang terdeteksi.
Reset	Untuk mengubah data kembali menjadi 0 atau seperti awal kembali
Exit	Keluar dari menu program citra digital
Send 1 s.d 3	Mengirimkan keluaran lampu hijau dari proses logika *fuzzy* ke Mikrokontroler

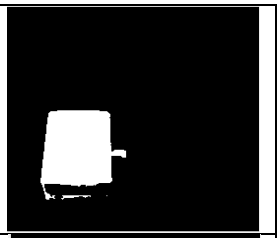
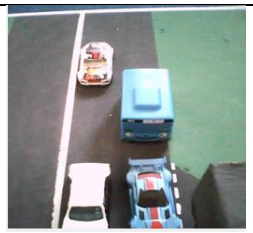
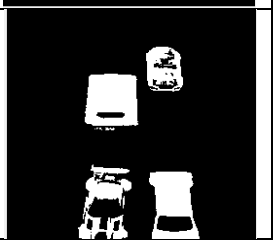
Pengujian *Background Subraction* dilakukan dengan membandingkan antara citra referensi dan citra sampel dengan cara menampilkan *window image* yang berisi hasil subtraksi dari area kondisi jalan. Tujuan pengujian yaitu untuk mengetahui aplikasi dapat melakukan subtraksi/pengurangan *pixel* citra referensi dengan citra sampel. Hasil dari pengujian adalah mengetahui program dapat mengurangkan antara *pixel grayscale* dari citra referensi dan dari citra sampel dengan *pixel grayscale*.

Berikut merupakan hasil proses *background subtraction* dari hasil pengujian di *MATLAB* di setiap jalur dengan kondisi yang berbeda-beda di tiap-tiap jalur persimpangan maket. Berdasarkan Tabel 4-5 dapat dilihat hasil proses background *subtraction* untuk tiap persimpangan. kelebihan dari proses *background subtraction* yaitu hasil segmentasi antara citra referensi dan citra sampel bagus atau terlihat jelas, namun kelemahan metode *background subtraction* yaitu apabila citra sampel yang tidak sesuai dengan citra referensi atau ada perbedaan posisi maka objek tersebut akan dianggap objek karena tidak tersubtraksi, maka harus dilakukan proses *filtering* untuk mengurangi kesalahan. Apabila citra sampel yang terdapat objek yang warnanya sesuai dengan *background image*, objek tersebut akan tersubtraksi sehingga bentuk objek ada sebagian hilang ataupun hilang semua karena proses dari *background subtraction* dan *filtering*-nya. Tahap akhir dari proses pengolahan citra adalah menghitung jumlah kendaraan serta menandai kendaraan tersebut dengan memebrikan kotak.

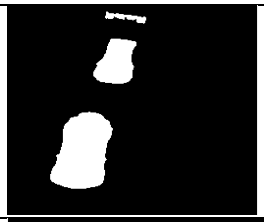
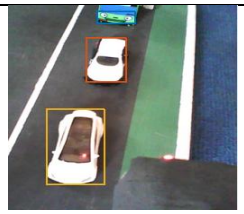
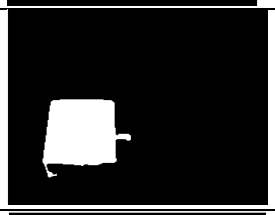
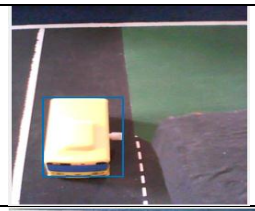
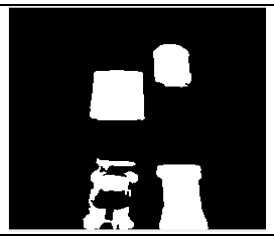
Tabel 4 Hasil proses pengolahan citra digital

Jalan	Citra referensi	Citra sampel	*Background subtraction*	*Thresholding*
1				

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2				
3				

Tabel 5 Hasil proses pengolahan citra digital

Jalan	Citra referensi	Citra sampel	*Filtering*	Menghitung jumlah kendaraan
1				
2				
3				

2.7 Pengujian algoritma logika fuzzy

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil program kendali logika *fuzzy* yang di unggah pada mikrokontroler ATmega16 dengan simulasi modul *fuzzy* menggunakan *fuzzy logic Toolbox* pada *MATLAB*. Pengujian dilakukan dengan berbagai nilai masukan untuk melihat nilai keluaran. Nilai jumlah kendaraan didapat dari kondisi jalan sesuai *dengan capture traffic* persimpangan jalan yang didapat dari *visual traffic monitoring.*

Pada pembuatan sistem terdapat dua masukan, masing-masing masukan mempunyai empat fungsi keanggotaan sehingga basis kaidah yang digunakan adalah sebanyak 16.

Dalam menganalisis logika *fuzzy* diambil 2 penghitungan yang pertama melihatkan hasil logika *fuzzy* menggunakan *MATLAB* dan penghitungan manual. Pada penghitungan manual diambil 9 sampel penghitungan keluaran *fuzzy* menggunakan rumus *Mean of Maxima* (*MOM*) pada Tabel 6.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 6 Perbandingan hasil algoritma logika *fuzzy*

Siklus	∑ Kendaraan		∑ Hijau Sebelumnya (s)	Output			Error (%)
				Analisa *Fuzzy*	FLT	Lampu Hijau (s)	
1	fase 1	3	0	10	9,83	10	1,729
	fase 2	1	10	10	9,83	10	1,729
	fase 3	4	20	22,5	22,5	22	2,222
2	fase 4	5	32	22,5	22,5	22	2,222
	fase 5	2	44	22,6	22,7	23	1,321
	fase 6	3	45	22,49	22,5	22	2,222
3	fase 7	6	45	43,7	44,3	44	0,677
	fase 8	2	66	22,6	22,7	23	1,321
	fase 9	2	67	32,65	32,6	33	1,226
Rata Rata		2,8	32,9	23,23	23,27	23,22	1,467

Berdasarkan hasil pengujian keluaran lama lampu hijau pada Tabel 2 yaitu kondisi untuk mempertahankan lama lampu hijau fase yang sedang aktif sesuai dengan data masukan jumlah kendaraan, semakin banyak data jumlah kendaraan pada proses kendali logika *fuzzy* maka keluaran lampu hijau yang dikeluarkan semakin lama.

3 Kesimpulan

Kit laboratorium untuk mata kuliah pengolahan citra digital dan mata kuliah instrumentasi cerdas dapat dibangun dengan skenario menghitung jumlah kendaraan pada suatu simpang dan agar dapat mendapatkan kesempatan lama lampu hijau tertentu dapat dikombinasikan dengan algoritma kecerdasan berupa logika *fuzzy* untuk menentukan dan memutuskan lama lampu hijau menyela.

Konsep lalu lintas adaptif untuk laboratorium kit dapat dibangun menggunakan GUI sebagai perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan proses pendeteksian jumlah kendaraan menggunakan yang erdeteksi kamera pada setiap simpang jalan. komponen lain yaitu mikrokontroler yang dapat ditanam algoritma kecerdasan buatan sehingga dapat memberikan keputusan berdasarkan masukan yang diberikan.

Berdasarkan hasil pengujian ada perancangan kecerdasan menggunakan logika *fuzzy* pada tiap-tiap percobaan memiliki *output* yang dapat menyesuaikan dengan kondisi masukan yang diberikan. Dari percobaan 3 siklus tersebut menunjukan bahwa kendali logika *fuzzy* dapat mengatur waktu lampu hijau sesuai dengan masukan jumlah kendaraan pada setiap simpang, kondisi tersebut sudah dihitung secara manual dan diverifikasi menggunakan simulasi *fuzzy logic toolbox* pada *MATLAB* dengan presentase error 1,467%.

Berdasarkan hasil simulasi lampu lalu lintas adaptif menggunakan pengolahan citra dan instrumentasi cerdas yaitu dapat menggambarkan performansi dari penyalaan waktu lampu hijau pada lampu lalu lintas, sehingga waktu tunggu kendaraan yang hendak melintasi persimpangan dapat diminimasi.

4 Daftar Pustaka

[1] A. G. Abdullah, D. L. Hakim, M. A. Auliya, and A. B. Dani, "Low-cost and Portable Process Control Laboratory Kit," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 1, pp. 232–240, 2018.

[2] I. Kukliansky and H. Eshach, "Evaluating a Contextual-Based Course on Data Analysis for the Physics Laboratory," *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 23, no. 1, pp. 108–115, 2014.

[3] B. H. Sababha, "Project-Based Learning to Enhance Teaching Embedded Systems," *EURASIA J. Math. Sci. Technol. Educ.*, vol. 12, no. 10, pp. 2575–2585, 2016.

[4] M. Petkovski and M. Kostov, "Model Based Design and Hardware in the Loop Testing in Power Electronics Courses," *TEM J.*, vol. 1, no. 4, pp. 292–296, 2012.

[5] I. Indrianto, M. N. I. Susanti, R. Arianto, and R. Ruli, "Embedded System Practicum Module Design to Increase Student Comprehension of Microcontroller," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 1, pp. 53–60, 2018.

[6] E. Nugraha, A. G. Abdullah, and D. L. Hakim, "Designing a SCADA system simulator for fast breeder reactor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 128, no. 1, 2016.

[7] B. A. Khan and N. S. Lai, "An intelligent traffic controller based on fuzzy logic," in *SDIWC*, 2013, pp. 89–93.

[8] Toar-lumimuut, R. E. P. Tolah, R. Sengkey, and Y. D. Y. Rindengan, "Perancangan Simulasi Otomatis Traffic light Menggunakan Citra Digital Studi Kasus," *E-journal Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 4, pp. 35–45, 2015.

[9] Z. Jamal, M. Rusydi, F. I. Komputer, J. Z. A. Pagar, A. No, B. L. Indonesia, and T. Fax, "Development of Fuzzy Logic Controller For Trainer Kit Based on Microcontroller," no. 93, pp. 36–41, 2016.

[10] D. Handaya, D. Handaya, Y. Prima, and I. Auditia, "Simulasi Mesin Cuci Industri Tekstil Berbasis Kendali Fuzzy dan Interface LabVIEW 2014 Simulasi Mesin Cuci Industri Tekstil Berbasis Kendali Fuzzy dan Interface LabVIEW 2014," in *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2016 (SNIPS 2016)*, 2016, July.

[11] D. I. Saputra, A. S. Muharrom, I. Taufiqurrahman, R. Fauziah, and A. Junaidi, "Simulasi Kendali Logika Fuzzy Di Ruang Merokok Menggunakan Mikrokontroler," in *Seminar Nasional Microwave, Antena dan Propagasi (SMAP 2017)*, 2017, no. 1, pp. 80–82.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Diseminasi Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Kawasan Pulau Cemara Sebagai Pulau Mandiri Energi

[1,2]Jaka Windarta*), [1]Hartuti Purnaweni, [1,3] Asep Yoyo Wardaya, [2]Bimo Bagaskoro, [2]Ardhito Pratama

[1]Magister Energi Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang

[2]Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang.

[3]Departemen Fisika Universitas Diponegoro, Semarang.

(cooresponding author) jokowind@yahoo.com)*

Abstrak

Energilistrik merupakan sumber energi yang paling banyak dimanfaatkan oleh teknologi penunjang kehidupan manusia saat ini. Kondisi geografis Indonesia yang berupa kepulauan mengakibatkan distribusi energi listrik belum dapat menyeluruh merambah hingga ke pulau-pulau kecil disekitar pulau utama. Ketersediaan sumber energi listrik secara tidak langsung mempengaruhi laju pembangunan infrastruktur padasuatu daerah. Salah satu pulau yang belum terjangkau oleh energi listrik adalah Pulau Cemara di Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes. Pulau Cemara merupakan salah satu alternatif tempat wisata akan tetapi belum terdapat fasilitas umum seperti penerangan jalan. Kondisi ini antara lain diakibatkan belum terdapatnya sumber energi listrik di Pulau Cemara. Berangkat dari kondisi tersebut tim pengabdian masyarakat Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro merencanakan inisiasi PLTSsebagai sumber energi listrik terbarukan yang dapat diimplementasikan di Pulau Cemara. PLTS yang digunakan akan menggunakan konfigurasi off grid, kapasitas pembangkitan setara 1.200 Wp, dilengkapi baterai 4x100 Ah, dan menggunakan inverter berkapasitas 2.000 VA. Dengan ketersediaan sumber energi listrik di Pulau Cemara diharapkan dapat memacu laju pembangunan infrastruktur di Pulau Cemara, sehingga dapat berdampak pula pada peningkatan daya tarik Pulau Cemara sebagai salah satu destinasi wisata di Kabupaten Brebes dan sebagai ikon pulau mandiri energi.

Kata Kunci: PLTS, Off grid, Pulau Cemara, Energi Terbarukan

1 Pendahuluan

Salah satu daerah berpotensi pariwisata dengan nuansa alan adalah Pulau Cemara yang terletak di Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes. Pulau tersebut merupakan pulau kecil dengan ukuran 0,12 x 5 kilometer di sebelah utara Kabupaten Brebes. Pulau ini menawarkan keindahan menawan panorama pantai dengan deretan dan sejuknya pohon cemara. Objek wisata ini mulai banyak diminati oleh wisatawan wisatawan domestic dari dalam maupun luar Kabupaten Brebes karena keindahan alamnya. Namun demikian, pulau tersebut belum memiliki sumber energi listrik sendiri. Belum adanya instalasi kelistrikan ini menjadikan kendala utama warga setempat untuk menggunakan layanan energy listrik yang optimal. Fasilitas berupa instalasi penerangan dan instalasi kelistrikan tambahan lainnya menjadi tidak optimal akibat belum adanya penyaluran suplai energi listrik di Pulau Cemara tersebut. Oleh karena itu, warga setempat yang memiliki usaha di tempat tersebut terkendala akibat belum tersambungnya energy listrik dan menyebabkan tidak optimalnya aktivitas wisata pantai dan alam wilayah tersebut. Potensi energi matahari seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternative warga dalam memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Cemara. Dengan memperhatikan potensi dan permasalahan yang ada, diperlukan pengembangan sumber energi listrik alternatif yang dapat diimplementasikan di Pulau Cemara. Dengan adanya sumber energi listrik diharapkan dapat memacu pembangunan sekaligus meningkatkan daya tarik Pulau Cemara sebagai destinasi wisata. Sumber energi listrik yang dapat diimplementasikan di Pulau Cemara adalah memanfaatkan energi matahari dengan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panel Surya (PLTS). Harapannya dengan pemasangan PLTS akan dapat memacu pembangunan fasilitas umum seperti bangunan permanen, penerangan jalan, sistem distribusi air menggunakan pompa air. Dengan memadahinya fasilitas umum dapat meningkatkan daya tarik Pulau Cemara. Maka tim pengabdian masyarakat Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro merencanakan inisiasi PLTS (Off-Grid) sebagai sumber energi listrik terbarukan yang dapat diimplementasikan di Pulau Cemara dan untuk meningkatkan daya Tarik destinasi wisata yang ada di Kabupaten Brebes.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2 Diskusi

2.1 Analisis Situasi

Perkembangan sektor pariwisata dewasa ini telah memberikan sumbangan yang cukup besar terhadap perkembangan perekonomian Indonesia. Indonesia memiliki banyak sekali potensi pariwisata bernuansa alam. Keindahan alam tersebut sangat banyak diminati oleh wisatawan domestik maupun asing. Akan tetapi, pengelolaan terhadap potensi pariwisata belum dilaksanakan secara optimal. Hal ini dibuktikan dengan masih banyaknya daerah-daerah di pelosok Indonesia yang memiliki potensi wisata alam yang sangat indah, namun belum dikembangkan secara infrastruktur. Tidak adanya akses listrik, air bersih, dan bangunan permanen sebagai sarana penunjang pariwisata dinilai menghambat perkembangan potensi pariwisata.Kondisi tersebut memicu ketertarikan masyarakat di sekitar daerah berpotensi pariwisata serta civitas akademik untuk menunjang perkembangan potensi pariwisata. Salah satu daerah berpotensi pariwisata dengan nuansa alam adalah Pulau Cemara, Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasari di Kabupaten Brebes. Objek wisata ini mulai banyak diminati oleh wisatawan-wisatawan domestik dari dalam maupun luar Kabupaten Brebes karena keindahan alam yang ditawarkan olehnya. Namun demikian, pulau tersebut belum memiliki sumber energi listrik sendiri.



Gambar 1 belum terpasoknya listrik di pulau cemara

Potensi wisata yang ditawarkan oleh Pulau Cemara antara lain adalah keindahan pantai pasir di sepanjang pesisir pulau, deretan pohon cemara, hutan mangrove di sepanjang sungai menuju ke pulau, dan spot yang menarik untuk berfoto. Sudah terdapat juga beberapa fasilitas umum seperti toilet, mushola dan warung-warung makan meskipun masih dibuat dengan kondisi seadanya. Tidak adanya sumber energi listrik menyebabkan keterbatasan pengembangan potensi pariwisata tersebut. Pengelolaan potensi pariwisata pada Pulau Cemara ini masih dilakukan oleh kelompok masyarakat sekitar yang tergabung dalam Wana Lestari.

Wisata Pantai Pulau Cemara (WPPC) dikelola oleh sekelompok orang yang mana peduli akan wilayah sekitar Pulau Cemara untuk dijadikan sebagai destinasi wisata baru di Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes yang menyediakan pemandangan alam berupa pantai, pohon cemara, dan indahnya lautan pesisir utara Brebes. Hal ini menjadikan sarana dan prasana wilayah tersebut haruslah terjamin khususnya dalam penyediaan suplai energi listrik.



Gambar 2. potensi wisata pantai pulau cemara dengan lokasi

Belum adanya instalasi kelistrikan ini menjadikan kendala utama warga setempat untuk menggunakan layanan energi listrik yang optimal. Fasilitas berupa instalasi penerangan, penyediaan air, dan instalasi kelistrikan tambahan lainnya menjadi tidak optimal akibat belum adanya penyaluran suplai energi listrik di Pulau Cemara tersebut. Oleh karena itu, mitra terkendala akibat belum tersambungnya energi listrik dan menyebabkan tidak optimalnya aktivitas wisata pantai dan alam wilayah tersebut. Luas wilayah sebesar 120 m x 5000 m tampak gelap gulita pada malam hari akibat kurangnya penyediaan energi listrik. Potensi energi matahari seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif warga dalam memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Cemara. Namun, hal ini sulit untuk direalisasikan akibat kurangnya pengetahuan warga setempat

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

dan mitra terhadap kemampuan praktiknya dalam merancang teknologi panel surya.

2.2 Permasalahan

Permasalahan-permasalahan yang telah dipaparkan pada bagian pendahuluan menyimpulkan dibutuhkannya suatu solusi yang relevan. Penggunaan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan hemat energi menjadi salah satu solusi dalam menanggulangi permasalahan tersebut. Salah satu cara membangkitkan listrik dengan energi terbarukan adalah penggunaan sel surya, sel surya adalah peralatan yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik, baik pengkonversian secara langsung melalu photovoltaic effect atau tidak langsung melalui perubahan menjadi panas terlebih dahulu atau energi dengan bahan kimia.[1]

Belum adanya sistem instalasi listrik di Pulau Cemara menjadikan fasilitas sarana dan prasarana menjadi kurang optimal pada desa mitra tersebut. Sehingga belum banyak bangunan permanen yang dijadikan tempat tinggal warga desa mitra setempat. Pulau Cemara mempunyai potensi energi baru dan terbarukan yang cukup menjanjikan, yaitu energi matahari dan energi angin. Namun, akibat kurangnya pengetahuan mitra Pokdarwis dan warga akan teknologi energi terbarukan, dan belum adanya teknisi yang dapat membantu sistem kelistrikan di desa mitra tersebut menjadikan warga setempat kesulitan dalam memperoleh akses energi listrik.

Energi listrik menjadikan salah satu faktor penting dalam menjamin aksesibilitas warga setempat khususnya wisatawan yang ingin berkunjung ke desa wisata Pulau Cemara tersebut. Energi matahari merupakan salah satu energi yang cocok diaplikasikan untuk memberikan layanan penggunaan listrik ke rumah-rumah penduduk yang ramah lingkungan. Namun, keterbatasan kemampuan SDM di bidang teknologi PLTS yang ada di wilayah setempat menjadikan kendala utama untuk mengaplikasikan sumber energi matahari sebagai instalasi kelistrikan dan penerangan pulau Cemara, selain itu terdapat keterbatasan biaya untuk pengadaan PLTS di Pulau Cemara

Kemudian dari beberapa permasalahan tersebut dapat disimpulkan 3 permasalahan utama. 3 Permasalahan tersebut adalah :

a) Belum adanya sistem kelistrikan yang memadai di Pulau Cemara, Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes sehingga fasilitas dalam menunjang kontinuitas listrik menjadi tidak optimal.
b) Kondisi sarana dan prasarana Pulau Cemara, Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasri, Kabupaten Brebes kurang memadai seperti belum adanya fasilitas penerangan dan sanitasi air bersih menjadikan warga setempat kurang nyaman dan wisatawanpun kurang tertarik terhadap Pulau Cemara akibat belum tersalurkannya akses sumber energi listrik.
c) Mitra Kelompok Sadar Wisata Pulau Cemara dan Mitra Kelompok Pelestari Sumber Daya Alam Wana Lestari serta warga setempat Pulau Cemara, Desa Sawojajar, Kecamatan Wanasri, Kabupaten Brebes belum mengerti secara teknis terkait pemasangan instalasi danpenggunaan energi terbarukan khususnya energi matahari (PLTS).

2.3 Solusi yang Ditawarkan

Kondisi geografis pulau cemara yang berukuran 0,12 x 5 km belum memiliki bangunan permanen di dalamnya, selain itu fasilitas umum yang terdapat di dalam pulau tersebut juga masih minim. Kondisi ini diakibatkan karena tidak tersedianya sumber energi listrik sebagai sumber energi utama bagi kegiatan masyarakat lokal, akan tetapi pulau cemara cukup terkenal sebagai salah satu destinasi wisata di Kabupaten Brebes.

Dengan ketidaktersediaan sumber energi listrik di Pulau Cemara mengakibatkan tidak terdapatnya fasilitas penerangan ketika malam hari. Untuk sumber air sudah terdapat sumur artesis, akan tetapi untuk distribusi air masih manual menggunakan timba air. Ketidaktersediaan sumber energi listrik mengakibatkan pembangunan di Pulau Cemara terhambat.

Oleh sebab itu diperlukan pengembangan sumber energi listrik alternatif yang dapat diimplementasikan di Pulau Cemara. Dengan adanya sumber energi listrik diharapkan dapat memacu pembangunan sekaligus meningkatkan daya tarik Pulau Cemara sebagai destinasi wisata.Sumber energi listrik yang dapat diimplementasikan di Pulau Cemara adalah memanfaatkan energi matahari dengan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Panel Surya (PLTS). Harapannya dengan pemasangan PLTS akan dapat memacu pembangunan fasilitas umum seperti bangunan permanen, penerangan jalan, sistem distribusi air menggunakan pompa air.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Dengan memadahinya fasilitas umum dapat meningkatkan daya tarik Pulau Cemara sebagai salah satu destinasi wisata di Kabupaten Brebes. Selain itu, PLTS terbilang sangat ramah lingkungan baik dari polusi udara maupun polusi suara.

Selain penguasaan teknologi juga dilakukan kegiatan pemberdayaan masyarakat untuk melakukan pengoperasian dan pemeliharaan PLTS Pulau Cemara, sehingga PLTS tersebut dapat beroperasi secara berkelanjutan dan dikelola oleh masyarakat setempat-kelompok mitra.

2.4 Luaran dan Rencana Capaian

Luaran yang dihasilkan berupa PLTS dengan kapasitas pembangkitan 8 x 150 Wp atau setara dengan 1.200 Wp, dilengkapi dengan baterai 2 x 100 Ah untuk menyimpan energi listrik yang dibangkitkan, dan Inverter 2.000 VA untuk mengkonversi listrik DC dari baterai menjadi listrik AC untuk keperluan peralatan listrik. Sumber energi listrik AC dapat digunakan sebagai sumber energi peralatan listrik seperti: Lampu penerangan jalan, Kipas angin dan penerangan untuk mushola atau fasilitas umum lain, Pompa air bersih, Suplai listrik untuk warung/ rumah makan, Dll. Dengan tersedianya sumber energi listrik, akan dapat memacu pembangunan infrastruktur di Pulau Cemara.

Berikut adalah tabel yang menunjukan rencana capaian beserta indikator keberhasilan program pengabdian masyarakat di Pulau Cemara

Rencana Capaian	Indikator Capaian
Menyediakan sumber energi listrik siap pakai.	Terdapat terminal sumber energi listrik yang dapat dimanfaatkan kelompok masyarakat pengelola-mitra.
Meningkatkan daya tarik Pulau Ceamara sebagai destinasi wisata.	Jumlah wisatawan Pulau Cemara meningkat dibandingkan dari kondisi sebelum adanya PLTS.
Memacu pembangunan infrastruktur di Pulau Cemara.	Dibangunnya bangunan permanen dan fasilitas umum yang lebih memadahi di Pulau Cemara.

2.5 Deskripsi Teknologi dan Hasil Uji

A. Deskripsi Teknologi

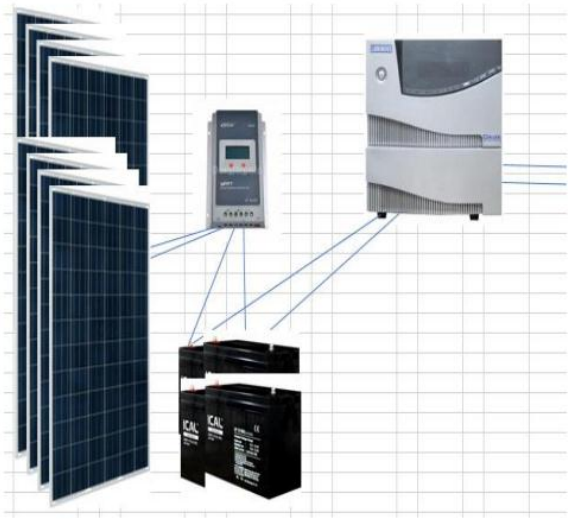
Energi yang dipancarkan matahari berupa foton mengenai permukaan solar panel, kemudian akan membangkitkan energi listrik DC pada solar panel. Energi listrik DC kemudian disalurkan menuju ke baterai untuk disimpan. Energi listrik dalam baterai masih berupa listrik DC, kemudian dikonversi oleh inverter untuk mengubah arus listrik DC menjadi AC agar dapat dimanfaatkan pada berbagai alat-alat elektronik.[3]

Ketika pagi hingga sore hari solar panel melakukan pengisian daya ke dalam baterai disamping itu daya yang tersimpan dalam baterai dikonsumsi untuk keperluan energi listrik di siang hari, seperti pompa air bersih, kipas angin, dll. Ketika malam hari solar panel tidak melakukan pengisian daya ke dalam baterai, karena tidak ada sumber foton dari matahari. Pada malam hari energi listrik yang disimpan di dalam baterai dikonsumsi untuk kepentingan penerangan jalan.

Dibidang industri atau komersial, akademik, dan penelitian dibutuhkan kerjasama dalam memproduksi beberapa inovasi di bidang energi, khususnya pada bidang energi panas matahari sebagai energi alternatif dikarenakan di Indonesia energi panas matahari memiliki potensi yang sangat besar dan dapat dikembangkan.[2]

Sedangkan untuk konfigurasi PLTS yang akan diimplementasikan pada Pulau Cemara adalah menggunakan konfigurasi Off Grid System.Off grid System adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan photovoltaic modul (Solar PV) untuk menghasilkan energi listrik, sistem ini biasa disebut dengan Stand-Alone PV System. Off Grid System PLTS biasanya diterapkan padadaerah-daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN ataupun sumber energi listrik yang lain.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 3. konfigurasi PLTS

B. Hasil Uji

Dari beberapa peralatan tersebut, diperlukan pengujian terlebih dahulu untuk memastikan keamanan dan efisiensi dari peralatan yang akan digunakan. Beberapa pengujian itu meliputi pengujian pada Solar PV, pengujian pada baterai, dan pengujian pada inverter sebagai komponen utama dalam pembuatan PLTS. Adapun solar charger controller tidak dilakukan pengujian, karena hanya dapat dilihat ketika PLTS sudah beroperasi secara menyeluruh yang kemudian dapat diasumsikan sudah beroperasi dengan baik. Berikut beberapa gambar hasil pengujian komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya :

- Pengujian solar PV

Lokasi	Solar Panel	Isc (A)	Voc (V)	Irradiance (W/m^2)	Suhu (^OC)
Pulau Cemara	PV 1	4.04	19.34	902	52.9
	PV 2	4.54	19.58	902	54
	PV 3	4.60	19.6	903	53.6
	PV 4	4.64	19.63	900	57.6
	PV 5	4.64	19.61	902	55.2
	PV 6	4.40	19.62	903	56.7
	PV 7	4.47	19.56	886	54.7
	PV 8	4.51	19.57	890	54.2
Pintu Gerbang	PV 9	4.32	20	904	55.4
	PV 10	4.93	20	893	56.2
	PV 11	4.87	20	934	57.1

Dari tabel 2, ditampilkan hasil uji 11 solar PV yang dipasang di dua lokasi berbeda. Pengujian dilakukan per unit untuk mengetahui keadaan solar PV. Dari hasil pengujian didapatkan rata-rata irradiance yang didapat berkisar antara 886-934 W/m2 dan menghasilkan arus hubung singkat sebesar 4-4.93 A. Kemudian dalam kondisi suhu 52.9-57.6 OC dapat menghasilkan tegangan open circuit antara 19.3-20 Volt.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

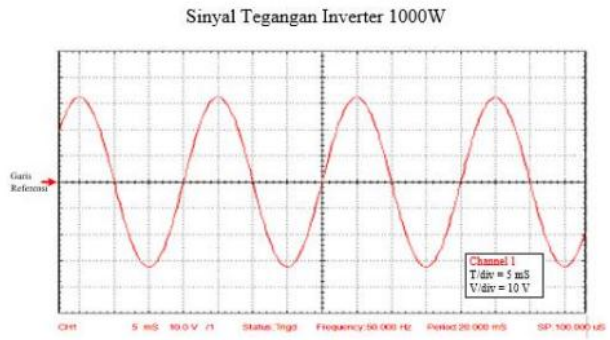
- Pengujian baterai

Tabel 3. Hasil Uji Baterai

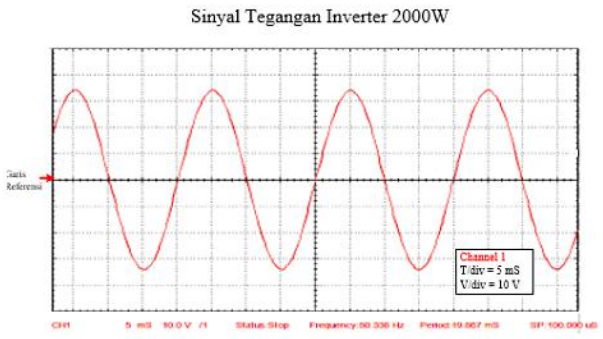
Lokasi	Baterai	Vout (V)	SOH (%)	SOC (%)	CCA	Internal Resistance (mΩ)
Pulau Cemara	Batt 1	12.37	100	57	769	4.04
	Batt 2	12.30	100	50	896	3.47
	Batt 3	12.51	100	69	929	3.34
	Batt 4	12.74	100	94	692	4.49
Pintu Gerbang	Batt 5	13.03	100	100	1055	2.94
	Batt 6	13.09	100	100	1050	2.92

Dari hasil pengujian baterai di tabel 3, dapat dilihat bahwa kondisi baterai dapat dikatakan baterai dalam kondisi baik dimana SOH (State of Health) dari baterai bernilai 100 % serta memiliki internal resistance dibawah 5 mΩ.

- Pengujian inverter



Gambar 4. sinyal tegangan output inverter 1000 watt



Gambar 5. sinyal tegangan output 2000 watt

Pada gambar 4 dan gambar 5 dapat dilihat memiliki gelombang sinus yang sempurna, sehingga dapat dikatakan bahwa inverter berfungsi sebagaimana semestinya, yaitu mengubah tegangan dan arus DC menjadi berbentuk AC

3 Kesimpulan

1. Permasalahan di kawasan wisata pantai pulau cemara adalah tidak adanya listrik sebagai sarana untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam mengelola kawasan wisata pantai pulau cemara.

2. Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang sangat ramah lingkungan dapat menjadikan wisata pantai pulau cemara sebagai wisata mandiri energi yang ramah lingkungan, dan dapat menjadi sebuah wisata edukatif.

3. Dari hasil pengujian PLTS, solar PV dikatakan dalam kondisi yang baik, karena sesuai dengan spesifikasi yang ditampilkan solar PV. Penggunaan solar PV juga sesuai dengan kondisi lingkungan dimana irradiance yang didapat berkisar antara 886-934 W/m2dan menghasilkan arus hubung singkat sebesar 4-4.93 A. Kemudian dalam kondisi suhu 52.9-57.6 OC dapat menghasilkan tegangan open circuit antara 19.3-20 Volt.

4. Pengujian baterai juga menunjukkan kondisi baterai yang 100% dari segi SOH (State of Health). Sehingga baterai dapat dipastikan berfungsi hingga waktu yang maksimal.

5. Dalam pengujian inverter didapatkan gelombang sinus yang sempurna, dan juga hasil tegangan keluaran berkisar antara 220-230 Volt, dimana sudah sesuai dengan tegangan keluaran yang telah ditetapkan PLN (Perusahaan Listrik Negara).

9 4 Daftar Pustaka

[1] Swami Rashmi, 2012, Solar Cell, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, ISSN 2250-3153.
[2] Wijnker Mara, 2011, Capacity development and strengthening for energy policy formulation and implementation of sustainable projects in Indonesia CASINDO, Development and execution of pilot research projects at the CASINDO partner universities (Eindhoven University of Technology).
[3] Windarta Jaka, 2017, Studi Energi Pada Industri Garmen dan Tekstil, Laporan

Penelitian Kerjasama Universitas Diponegoro dan H&M.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Optical fluorescent instrumentation developement suitable for cell based biosensor

Totok Mujiono*) dan Tasripan

Jurusan Teknik Elektro FTE- ITS

totok_m@ee.its.ac.id *)

Abstrak

Biosensor semakin mendapat perhatian dari para peneliti akhir-akhir ini terutama karena memiliki kelebihan dalam hal selektivitas dan sensitivitasnya. Biosensor ditemukan di banyak bidang aplikasi terutama untuk kesehatan dan keamanan makanan. Biosensor terdiri dari bioreceptor dan transduser. Salah satu jenis bioreceptor dan transdusernya yang sedang berkembang adalah biosensor berbasis sel dengan transduser fluoresens optik. Di antara kelebihan transduser fluoresen optik adalah perangkat yang tidak invasif dan tidak memerlukan probe yang sering menyebabkan kesulitan karena ukuran bioreceptor yang sangat kecil. Instrumentasi fluoresens optik pada dasarnya terdiri dari sumber cahaya untuk eksitasi, beberapa perangkat optik untuk membimbing cahaya dan detektor foto untuk menangkap fluoresen yang dipancarkan. Makalah ini membahas instrumentasi fluoresens untuk sensor bau berbasis sel. Sensor memiliki kepekaan terhadap eksitasi cahaya biru dan mengemisikan cahaya hijau. Ketika sensor berinteraksi dengan bau tertentu, intensitas emisi akan meningkat dengan bertambahnya intensitas bau. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa instrumentasi fluoescent optik yang dikembangkan dapat digunakan sebagai transduser untuk bioelemen berbasis sel secara efisien.

Kata Kunci: biosensor; instrumentasi fluorescenl; bioreceptor sel.

1 Pendahuluan

Sensor berdasarkan fenomena biologis (sensor biologi atau biosensor) saat ini mendapatkan lebih banyak perhatian karena kinerjanya diperkirakan melebihi sensor jenis yang lain seperti sensor kimia atau fisika. Seekor anjing dapat mendeteksi aroma jauh lebih akurat dan lebih cepat dibandingkan dengan sensor buatan yang ada saat ini. Biosensor terdiri dari dua bagian, elemen penginderaan (sensing) dan transduser. Bagian penginderaan merupakan elemen biologi (bioreceptor) yang merespons rangsangan dari luar seperti suhu, kelembaban, bau, dan sebagainya. Sementara transduser digunakan untuk mengubah sinyal biologi yang dihasilkan bioreceptor untuk diubah menjadi sinyal fisik seperti listrik dan optik.

Ada banyak elemen biologi yang dapat digunakan sebagai bioreceptor seperti enzim, antibodi, sel, jaringan, organ dan sebagainya. Misalnya, dalam biosensor berbasis sel, sel hidup digunakan untuk mengekspresikan reseptor penciuman (OR) dan digunakan sebagai elemen penginderaan. Biosensor berbasis sel memiliki potensi memberikan keuntungan dengan sensitivitas tinggi, respon cepat dan biaya rendah [1].

Beberapa teknik dapat digunakan untuk mengubah sinyal biologis menjadi sinyal listrik seperti elektrokimia, optik, akustik, teknik kolorimetri, dan lain-lain. Sebagai contoh, sel *Xenopus oocyte* yang mengekspresikan reseptor penciuman (OR) dengan transduser amperometrik berhasil digunakan sebagai sensor bau [2]. Penelitian pada paper ini membutuhkan elektroda yang ditusukkan ke dalam sel (teknik invasif) sehingga sel mudah rusak dan rentang hidup sel menjadi pendek. Untuk itu, teknik non-invasif perlu dikembangkan karena dimensi sel yang sangat kecil dan mudah rusak. Salah satu teknik non-invasif adalah menggunakan transducer fluoresens optik. Transducer jenis ini pada dasarnya memanfaatkan fenomena fluoresen dengan memanfaatkan komponen optik [3]. Teknik fluoresen adalah salah satu teknik optik non-invasif yang cocok untuk sistem penginderaan berbasis sel [4].

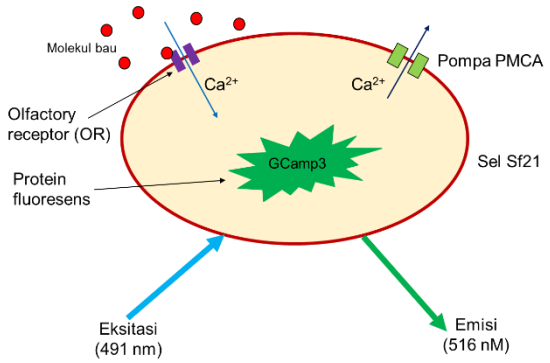
2 Sistem Biosensor

2.1 Bioreceptor sel

Gambar 1 menunjukkan ilustrasi sebuah bioreceptor sel. Sel Sf21 yang mengekspresikan reseptor bau atau olfactory receptor (OR) dan protein fluoresen GCaMP3 [5]. Diameter dari sel Sf21 dalah sekitar 20μm. Pada sel tersebut OR, pompa PMCA dan protein fluoresens. OR berfungsi sebagai kanal ion (kalsium) yang akan mengalirkan ion kalsium masuk ke dalam sel jika ditriger oleh molekul bau (odoran). Protein fluoresent GCaMP3 akan mengemisikan sinar hijau dengan panjang gelombang 516nm ketika menerima sinar emisi biru dengan panjang gelombang 491nm. Untuk sinar eksitasi dengan intensitas yang sama,

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

intensitas sinar emisi yang bergantung pada konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) disekitarnya. Semakin besar konsentrasi ion kalsum akan semakin besar pula emisi yang dihasilkan. Pompa PMCA (plasma membrane Ca^{2+} ATPase) akan memompa kalsium ion keluar sel apabila konsentrasinya melebihi normal.



Gambar 20 Sel sebagai bioreceptor.

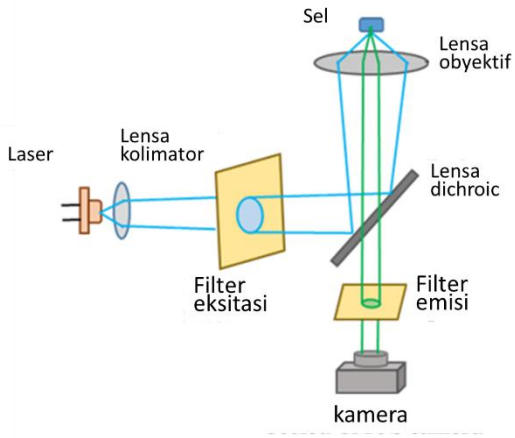
Pada saat OR mengikat molekul bau, kanal ion akan terbuka dan menyebabkan ion kalsium masuk kedalam sel (Gambar 1) sehingga menyebabkan konsentrasi ion kalsium dalam sel meningkat. Semakin banyak konsentrasi molekul bau akan semakin banyak ion kalsium yang masuk karena ada banyak OR (kanal) pada dinding sel. Untuk memantau konsentrasi atau aktivitas ion kalsium dalam sel digunakan protein fluorescens dari jenis GCaMP3. Semakin besar konsentrasi ion kalsium dalam sel akan menyebabkan intensitas sinar emisi meningkat apabila mendapatkan sinar eksitasi. Emisi cahaya yang dikeluarkan sel dipantau oleh instrumentasi optik. Metode fluoresens optik terbukti cocok untuk aplikasi dengan sensitivitas tinggi dan untuk miniaturisasi perangkat.

2.2 Instrimentasi fluoresens

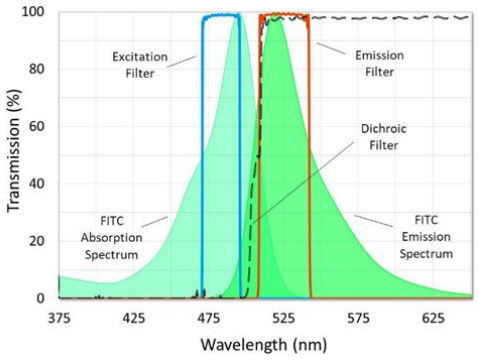
Fluoresensi adalah emisi cahaya oleh suatu zat yang telah menyerap cahaya atau radiasi elektromagnetik lainnya. Instrumentasi fluore-sensi memanfaatkan fenomena di mana panjang gelombang cahaya yang dipancarkan (emisi) oleh sampel lebih panjang daripada panjang gelombang cahaya yang diserap (eksitasi). Pergeseran panjang gelombang ini dikenal sebagai pergeseran Stokes dan memungkinkan pemisahan kedua macam cahaya tersebut menggunakan optik yang sesuai. Instrumentasi fluoresens standar terdiri atas sumber cahaya eksitasi, filter, lensa, cermin dichroic, meja sampel, dan sensor optik. Teknik fluoresensi digunakan di banyak area aplikasi. Sistem hidung artifisial berbasis fluoresensi yang menggabungkan sensor serat optik sebagai elemen sensor telah dikembangkan [6].

Skema dasar instrumentasi fluoresens ditunjukkan oleh gambar 2. Sinar eksitasi biru yang dihasilkan oleh sistem laser dikonsentrasikan menggunakan lensa kolimator dan kemudian difilter (filter eksitasi) untuk memungkinkan hanya cahaya dengan panjang gelombang warna biru untuk melewatinya. Panjang fokus lensa kolimator adalah 3,41mm. Sinar eksitasi biru ini kemudian dipantulkan oleh cermin dichroic dan diarahkan ke lensa objektif untuk dipusatkan pada sel. Cermin dichroic dipilih dan ditempatkan sehingga dapat memandu cahaya biru dari sistem laser untuk ditujukan kearah sel.

Karena mendapatkan eksitasi, sel akan mengemisikan cahaya hijau. Lensa objektif dengan pembesaran (M) dan fokus masing-masing 10 dan 18mm ditempatkan di depan sel. Lensa objektif dengan pembesaran yang tepat diperlukan karena ukuran sel kecil (20 µm). Filter optik hijau (filter emisi) ditempatkan untuk melewatkan hanya cahaya hijau sebelum ditangkap oleh kamera. Karakteristik filter eksitasi, lensa dichroic, dan filter emisi ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 2 Blok diagram instrumentasi fluoresens



(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

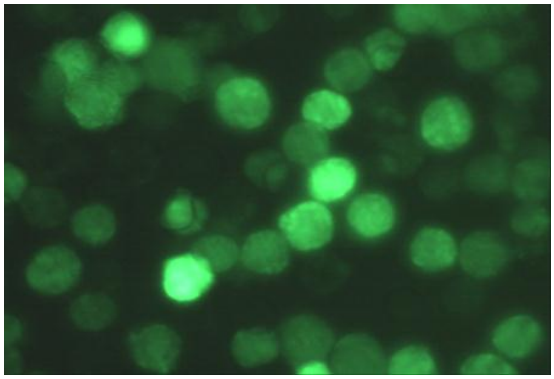
Gambar 3 Karakteristik filter eksitasi, lensa dichroic, dan filter emisi [7]

Dalam merancang instrumentasi fluoresens, jarak panjang fokus kedua lensa objektif (f_{obj}) dan lensa kolimator (f_{col}) harus ditentukan secara tepat, f_{col} perlu disesuaikan untuk sinar laser yang tepat sementara f_{obj} perlu disesuaikan untuk mendapatkan gambar yang jelas. f_{col} adalah jarak antara dioda laser dan lensa kolimator sedangkan f_{obj} adalah jarak antara objek (sel) dan lensa objektif.

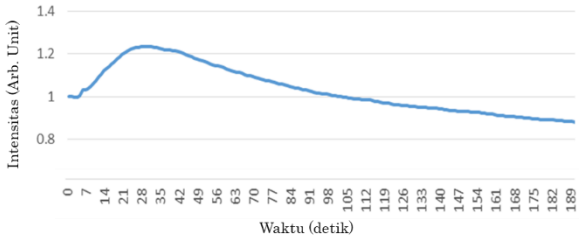
3 Uji coba dan diskusi

Uji coba dilakukan dengan mengamati intensitas cahaya fluoresens hijau yang diemisikan oleh sel. Pengamatan dilakukan dalam kondisi gelap dimana instrumentasi fluoresens diletakkan dalam kotak hitam. Pengamatan dilakukan baik sebelum dan setelah bau (geosmin) diberikan. Gambar 4 menunjukkan gambar yang ditangkap kamera sesaat setelah bau diberikan kepada sensor. Setiap bulatan kecil adalah sebuah sel. Diameter sel lebih kurang 20 micrometer. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa intensitas dari emisi yang dihasilkan tidak merata. Hal ini disebabkan oleh tidak atau belum meratanya konsentrasi molekul bau diantara sel-sel sensor.

Gambar 5 menunjukkan kurva intensitas terhadap waktu. Intensitas cahaya fluoresens merupakan gabungan (resultan) dari semua cahaya fluoresens yang dihasilkan oleh sel-sel yang dapat ditangkap oleh kamera. Intensitas cahaya fluoresens dinormalisasi terhadap intensitas pada awal pengamatan (t = 0 detik) sehingga pada t = 0 kurva intensitas bernilai 1. Pada t = 5 detik, bau geosmin diberikan pada sensor. Beberapa saat setelah diberikan bau, sensor merespons dengan naiknya intensitas cahaya fluoresens sampai mencapai puncaknya pada t = 28 detik dimana besarnya intensitas adalah sebesar lebih kurang 1,25. Pada kondisi ini terjadi kenaikan intensitas kira-kira sebesar 25%, sebelum akhirnya menurun karena konsentrasi ion kalsium damal sel menurun



Gambar 4 Gambar sel-sel yang ditangkap kamera



Gambar 4 Respon sensor terhadap waktu

Menurunnya intensitas cahaya fluoresens adalah akibat berkurangnya konsentrasi ion kalsium dalam sel akibat aktifnya pompa PMCA (Lihat Gambar 1). Pompa PMCA ini akan aktif secara otomatis apabila konsentrasi ion kalsium dalam lebih besar dari nilai normalnya. Namun demikian, intensitas intensitas cahaya fluoresens terus menurun dibawah nilai 1. Hal ini adalah akibat efek *photobleaching* karena terpaparnya sel oleh sinar laser cukup lama sehingga mempengaruhi kemampuan fluoresensi dari sel. Pengaruh *photobleaching* dapat dikurangi dengan mengurangi intensitas sinar eksitasi. Sebagai konsekuensi dari pengurangan intensitas sinar eksitasi, akan mengurangi sensitivitas dari sensor.

4 Kesimpulan dan saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan, biosensor dengan menggunakan bioreceptor sel yang telah dimodifikasi melalui teknik dibidang bioteknologi yang digabungkan dengan transducer optik telah dilakukan. Hasil pengamatan menunjukkan biosensor dapat merespon bau geosmin dengan baik. Namun demikian, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk melakukan kuantisasi terhadap konsentrasi dari bau tersebut. Setelah itu, perlu dilakukan kalibrasi terhadap alat yang dibuat sehingga dapat digunakan untuk melakukan pengukuran. Eksperimen menggunakan alat ini dilakukan pada malam hari atau didalam kotak

hitam (black box). Hal ini dilakukan untuk menghindari cahaya selain warna hijau masuk. Intensitas cahaya luar ini jauh lebih besar dari emisi fluoresens. Supaya alat ini dapat dipakai pada kondisi biasa (tidak dalam kamar gelap atau black box) perlu ditambahkan teknik yang lain misalnya lock-in amplifier [8].

5 Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Prof. Takamichi Nakamoto dari Institut Teknologi Tokyo dan Prof. Ryohei Kanzaki dari Universitas Tokyo yang telah memberikan fasilitas untuk penelitian ini.

6 Refference

[1] R. Monosika, M. Stredanskyb, E. Sturdik, "Biosensors-classification, characterization and new trends", Acta Chimica Slovaca, Vol. 5, No. 1, 2012, pp. 109—120.

[2] N. Misawa, H. Mitsuno, R. Kanzaki, and S. Takeuchi, "Highly sensitive and selective odorant sensor using living cells expressing insect olfactory receptors", PNAS, Vol. 107, pp. 15340–15344 (2010).

[3] Jennifer C. Walters, "Accuracy and precissin in quantitative fluorescence microscopy", J. Cell Bio. Vol. 185 No 7, pp 1135-1148 (2009).

[4] T. Mujiono, Y. Sukekawa. T. Nakamoto, H. Mitsuno, R. Kanzaki, N. Misawa, "Odor sensing method using olfactory receptors and fluorescent instrumentation", Proceeding of the 2015 ASCC – Kota Kinabalu (Malaysia), May 31 – June 3.

[5] H. Mitsuno, T. Sakurai, S. Namiki, H. Mitsuhashi, and R. Kanzaki, "Novel cell-based odorant sensor elements based on insect odorant receptors", Biosensor and Bioelectronics, Vol. 65, pp. 287-294 (2015).

[6] Matthew J. Aernecke, David R. Walt, Optical-fiber arrays for vapor sensing, Volume 142, Issue 2, 5 November 2009, Pages 464–469.

[7] https://www.alluxa.com/learning-center/optical-filter-applications/fluorescence-filters-microscopy-imaging/

[8] T. Mujiono, T. Nakamoto, Y. Sukekawa, H. Mitsuno, R. Kanzaki, N. Misawa. "A Cell-Based Odor Sensing System Using Fluorescent Technique and Lock-in Measurement Robust Against Disturbance", IEEE Sensors 2015, Nov. 2015.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Studi Estimasi Kapasitas Pembebanan Transformator Berdasarkan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Menggunakan Metode Regresi Linier di Gardu Induk Buduran Kabupaten Sidoarjo

[1]Nanda Rizki*), [2] Yuni Rahmawati & [3]Dwi Prihanto

Jurusan Teknik Elektro

Universitas Negeri Malang

[1]nandarizki593@gmail.com, [2]yuni.rahmawati.ft@um.ac.id, [3]dwiprihanto0524@gmail.com)*

Abstrak

Kebutuhan daya di Kabupaten Sidoarjo dalam 5 tahun terakhir, mengalami kenaikan sebesar 33,08 % setiap tahunnya. Gardu Induk (GI) Buduran merupakan sub sistem dari sistem transmisi tenaga listrik di Kabupaten Sidoarjo Semakin bertambahnya permintaan konsumsi listrik Kabupaten Sidoarjo maka semakin besar pula pembebanan daya yang ditanggung oleh transformator Gardu Induk (GI) Buduran. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode estimasi kapasitas pembebanan transformator untuk mengantisipasi overload pada transformator dan menjaga kualitas distribusi listrik di KabupatenSidioarjo. Pada penelitian ini untuk mengetahui kapasitas pembebanan transformator dilakukan estimasi beban per-golongan pelanggan (rumah tangga, industri, bisnis, sosial, dan publik) dengan variabel yang mempengaruhi merupakan sektor perekoniomian pada data produk domestik regional bruto (PDRB). Selanjutnya, hasil estimasi tersebutakan dihubungkan dengan estimasi beban pada masing-masing transformator yang mensuplai jenispergolongan pelanggan tersebut. Metode yang digunakan adalah metode regresi linier. Hasil estimasi dari penelitian ini, transformator II overload pada tahun 2022 dengan beban mencapai 49,0 MVA (82%) dari kapasitas terpasang, transformator III overload pada tahun 2026 dengan beban mencapai 49,3 MVA (82%) dari kapasitas terpasang, transformator IV overload pada tahun 2021 dengan beban mencapai 46,9 (80%) dari kapasitas terpasang, dan transformator V overload pada tahun 2027 dengan beban mencapai 16,1 MVA (80%) dari kapasitas terpasang.

Kata Kunci: estimasi, kapasitas, regresi linier, overload

1 Pendahuluan

Kebutuhan daya di Kabupaten Sidoarjo dalam 5 tahun terakhir, mengalami kenaikan sebesar33,08 % setiap tahunnya. Besarnya jumlah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) perkapital menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku 2010 s.d 2016, dari setiap tahun mengalami peningkatan dan terbesar dari sektor industri pengolahan [1], membuat konsumsi tenaga listrik yang disebabkan oleh PDRB meningkat, dimana terdapat asumsi bahwa ada hubungan antara kebutuhan energi listrik industri dengan produk domestik regional bruto [2]-[3].

Gardu Induk (GI) Buduran merupakan sub sistem dari sistem transmisi tenaga listrik di Kabupaten Sidoarjo Semakin bertambahnya permintaan konsumsi listrik Kabupaten Sidoarjo maka semakin besar pula pembebanan daya yang ditanggung oleh transformator GI Buduran. Sedangkan pembebanan transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas terpasang [4]-[5]. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode estimasi kapasitas pembebanan transformator untuk mengantisipasi overload pada transformator dan menjaga kualitas distribusi listrik di Kabupaten Sidioarjo.

Estimasi kapasitas pembebanan trasformator dapat dilakukan mengunakan metode regres linier[6]-[7]. Metode regresi linier terdapathubungan antara variabel dipendent danindependent [8].berdasarkan studi kasus pada penelitian ini dilakukan estimasi beban per-golongan pelanggan(rumah tangga, industri, bisnis, sosial, dan publik) dengan variabel independent merupakan sektor perekoniomian pada data PDRB. Selanjutnya, hasil estimasi tersebut akan dihubungkan dengan estimasi beban pada masing-masing transformator yang mensupla jenis per-golongan pelanggan tersebut.

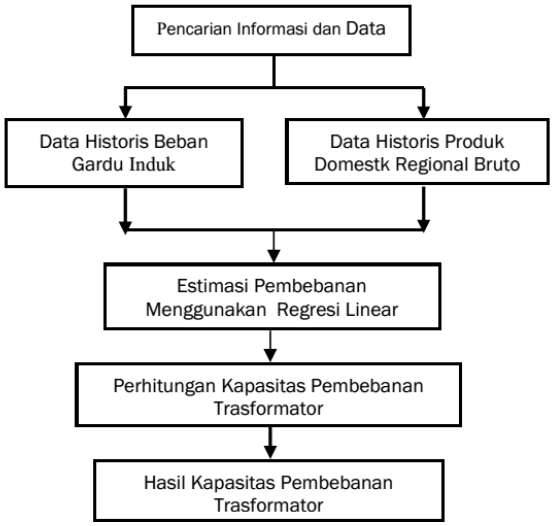
2 Diskusi

Pada bab diskusi dijelaskan prihal metodepenelitian yang digunakan. Selain itu pada bab ini juga dijabarkan hasil penelitian yang didapatkan.

2.1 Metode penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian-bagian pada pada analisis data antara lain yaitu (1) peramalanbeban, dan (2) menghitung kapasitas pembebanan trasformator. Gambar 1 menunjukan alur proses anaisis data pada peneitian ini.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 1 Alur Analisis Data

Analisis data dimulai dengan proses estimasi beban melalui data historis beban GI Buduran yang diperoleh dari PLN dan PDRB yang diperoleh dari BPS Kabupaten Sidorjo. Data yang digunakan adalah data beban GI dan data PDRB yang akan diolah mengunakan metode regresi linier. Hasil estimasi pembebanan tersebut digunakan untuk menghitung kapasitas pembebanan trasformator, selanjutnya dilakukan analisis kapasitas pembebanan trasformator menurut standart SPLN 17:1979.

Data yang digunakan akan diuji terlebih dahulu korelasi antara variabel dipendend dan independend, menggunakan perhitungan pearson product moment (r) [9]

$$r = \frac{n.\Sigma xy - (\Sigma x).(\Sigma y)}{\sqrt{\{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2\}.\{n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2\}}} \quad (1)$$

Representasi dari hasil pearson product moment (r) dapat menunjukkan tingkat korelasiantar variabel. Tingkat korelasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 [10]

Tabel 1 Tabel tingkat korelasi pearson product moment

Nilai r	Tingkat korelasi
0	Tidak ada korelasi
0,01 – 0,25	Korelasi sangat lemah
0,26 – 0,50	Korelasi cukup
0,51 – 0,75	Korelasi kuat
0,76 – 0,99	Korelasi sangat kuat
1	Korelasi sempurna

Prakiraan estimasi pembebanan dilakukandengan menggunakan metode regresi linier, Persamaan 2 dan 3 adalah perhitungan matematis dari regresi linier [11]

$$y = a + bx \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan 2, y merupakan variabel tidak bebas, x merupakan variabel bebas, a merupakan konstanta, dan b merupakan koefisien.

$$y = a + b_1X_1 + b_2 + \dots\dots\dots b_kX_k \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan 3, y merupakan variabel tidak bebas. X merupakan variabel bebas dengan rincian x_1, x_2, x_3, x_k merupakan variabel bebas 1, 2, 3 dan variabel bebas ke-k. Simbol a merupakan konstanta, dan b merupakan koefisien.Evaluasi hasil estimasi beban mengunakan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Persamaan 4 merupakan rumus matematis MAPE[12-[13].

$$\text{MAPE} = \frac{|\grave{y}_t - \grave{y}_{t-1}|}{\grave{y}_{t-1}} \text{ x } 100\% \quad (4)$$

$\grave{y}t$ adalah hasi prakiraan suatu variabel pada periode t, sedangkan $\grave{y}t-1$adalah hasil prakiraan sebelum periode t. Tabel 2 menunjukan pengelompokan tingkat akurasi berdasarkan MAPE.[14]

Table 2 Prosentase MAPE dan Akurasi Prakiraan

Variabel	Akurasi Prakiran
MAPE ≤ 10%	Tinggi
10% < MAPE ≤ 20%	Baik
20% < MAPE ≤ 50%	Reasonable
MAPE > 50%	Rendah

Penentuan batas kapasitas pemebebanan di hitung mengunkan perhitungan persentase pembebanan, persamaan 5 merupakan rumus matematis persentase pembebanan [15].

$$\%\, pembebanan = \frac{S_t}{K_{trasformator}} \times 100\% \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 5, St merupakan pembebanan transformator sudah terpakai selama beropasi (MVA). Sedangkan $Ktrasformator$merupakan kapasitas transformator yang terpasang (MVA).

2.2 Hasil dan Pembahasan

Pada sub bab hasil dan pembahasan akan ditampilkan hasil dari penelitian yang dilakukan. Berdasarkan hasil penelitian, selanjutnya dilakukan analisis.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.2.1. Hasil Korelasi Beban Golongan Pelanggan dengan PDRB

Perhitungan korelasi pada penelitian ini mengunakan pearson product moment (r)mengunakan software spss, Pada penelitian inimasing-masing baban golongan pelanggan akan dikorelasikan dengan sektor perekonomian yang di asumsikan berhubungan dengan beban golonganpelanggan berikut hasil korelasi mengunakan software spss :

Tabel 3 Pengujian Korelasi Daya RT dengan PDRB

Correlation					
Daya Rumah Tangga (Y)	*Person corelation*	(X1) ,985**	(X2) ,992**	(X3) ,998**	(X4) ,992**
	Sig (2-tailed)	,000	,000	,000	,000

Berdasarkan Tabel 3, nilai person corelation variabel real estate (X1), penguluaran konsumsi Rumah Tangga (X2), pengeluaran LPNRT (X3), dan perubahan inventori (X4). dengan daya rumah tangga (Y) pada rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah 0,000 < 0,005 yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi siginifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 4 Pengujian Korelasi Daya Industri dengan PDRB

Correlation			
Daya Industri (Y)	*Person corelation*	(X1) ,985**	(X2) ,936**
	Sig (2-tailed)	,000	,000

Berdasarkan Tabel 4 nilai person corelation variabel Industri Pengolahan (X1), dan Pertambangan dan Penggalian (X2) dengan daya industri (Y) pada rentan 0,76 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah 0,000 < 0,005 yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi siginifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 5 pengujian Korelasi Daya Bisnis dengan PDRB

Correlation							
Daya Bisnis (Y)	*Person corelation*	(X1) ,993	(X2) ,861	(X3) ,996	(X4) ,991	(X5) ,983	(X6) ,987
	Sig (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Berdasarkan Tabel 5 nilai person corelation

variabel konstruksi (X1), pengadaan Listrik dan Gas (X2), perdagangan besar dan eceran reparasi mobil da sepeda (X3), pertania kehutanan dan perikanan (X4), jasa perusahaan (X5), dan pengadaan air pengololaan sampa limba dan daur Ulang (X6). dengan daya bisnis (Y) pada rentan 0,76 – 0,99, dan nilai signifikasi yang didapat adalah 0,000 < 0,005 yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi siginifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 6 Pengujian Korelasi Daya Sosial dengan PDRB

Correlation							
Daya Sosial (Y)	*Person corelation*	(X1) ,979	(X2) ,945	(X3) ,995	(X4) ,991	(X5) ,992	(X6) ,992
	Sig (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Berdasarkan Tabel 6, nilai person corelation variabel akomodasi makan dan minum (X1), admin pemerintah pertanahan dan jasmos (X2), jasa keuangan dan asuransi (X3), jasa pendidikan (X4), jasa kesehatan dan kegiatan sosial (X5), dan jasa lainnya (X6). dengan day sosial (Y) pada rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah 0,000 < 0,005 yang berarti terdapatkorelasi sangat kuat, dan korelasi siginifikan antara masing-masing variabel.

Tabel 7 Pengujian Korelasi Daya Publik dengan PDRB

Correlation			
Daya Industri (Y)	*Person corelation*	(X1) ,978**	(X2) ,992**
	Sig (2-tailed)	,000	,000

Berdasarkan Tabel 7 nilai person corelationvariabel transportasi da pergudangan (X1), dan informasi dan komunikasi (X2) dengan daya publik(Y) pa rentan 0,76 – 0,99 dan nilai signifikasi yang didapat adalah 0,000 < 0,005 yang berarti terdapat korelasi sangat kuat, dan korelasi siginifikan antara masing-masing variabel.

2.2.2. Hasil Estimasi beban golongan Pelanggan berdasarkan PDRB

Estimasi beban golongan pelanggan berdasarkan PDRB dibagi menjadi 5 jenis golongan pelanggan, dimana Pertumbuhan daya pergolongan pelanggan menjadi variabel dipendent(Y), yang dipengaruh oleh unit perekonomian PDRB sebagai variabel independend (X). Perhitungan beban per-golongan pelanggan berdasarkan PDRB dibagi menjadi 5 jenis, yaitu (a) estimasi pertumbuhan daya pelanggan rumah tangga (b) estimasi pertumbuhan daya pelanggan industri, (c) estimasi pertumbuhan daya pelanggan bisnis, (d) estimasi pertumbuhan daya pelanggan sosial, dan (e) perhitungan pertumbuhan daya pelanggan publik.

a. **Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Rumah**

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

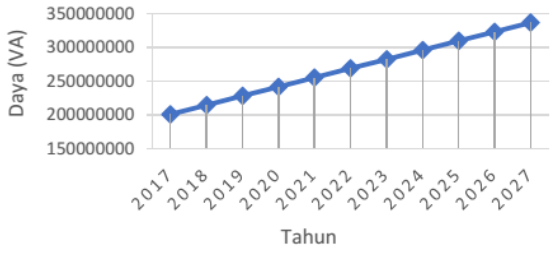
Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya rumah tanggasebagai berikut :

$$Y = -159119722 - 131{,}79X_1 + 51{,}90X_2 + 72{,}56X_3 - 415{,}96X_4 \quad (5)$$

Berdasarkan persamaa 5, Y merupakan daya rumah tangga (VA). X mrupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X1, X2, X3, X4 berturur-turutyaitu nilai Real Estate tahun ke-t, nilai konsumsi rumah tangga tahun ke-t, pengeruaran LNPRT tahun ke-t, dan perubahan inventori tahun ke-t.Berdasarkan persamaan 5 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil Estimasi Daya Industri 2017 s.d 2027

Tahun	Daya rumah tangga (VA)
2017	200931374,8
2018	214519350,1
2019	228107325,4
2020	241695300,7
2021	255283276,0
2022	268871251,3
2023	282459226,6
2024	296047201,9
2025	309635177,2
2026	323223152,5
2027	336811127,8
Persentase Kenaikan	**67,62 %**



Gambar 2 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Rumah

Tangga GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 2 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan rumah tangga pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 67,62 %.

b. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Industri

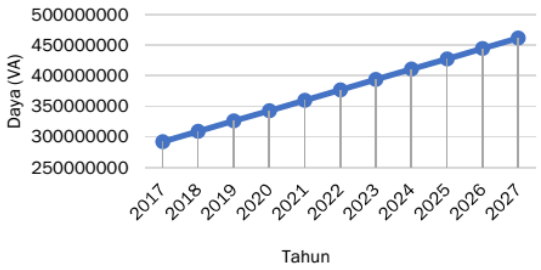
Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya industri yaitu:

$$Y = -524385229{,}87 + 5{,}56X_1 - 8{,}075X_2 \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan 6 Y merupakan daya industria (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X1, X2 berturur-turut yaitu nilaiindustri pengolahan tahun ke-t, dan nilai pertambangan dan penggalian ke-t.Berdasarkan persamaan 6 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 9 Hasil Estimasi Daya Industri 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Industri (VA)
2017	292232973,3
2018	309164205,9
2019	326095438,5
2020	343026671,1
2021	359957903,8
2022	376889136,4
2023	393820369
2024	410751601,6
2025	427682834,2
2026	444614066,8
2027	461545299,5
Persentase Kenaikan	**57,94 %**



Gambar 3 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Industri

GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 3 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan Industri pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 57,94 %.

c. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Bisnis,

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimai daya bisnis sebagai berikut:

$$Y = 32713986.74 - 60.25X_1 + 18{,}81X_2 + 31{,}17X_3 - 70.19X_4 + 1417{,}67X_5 - 6{,}063 \times 10^{-13}X_6 \quad (7)$$

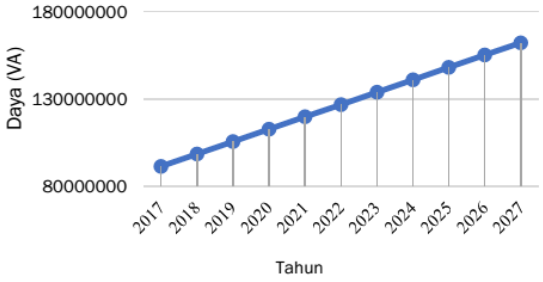
Berdasarkan persamaan 7, Y merupakan daya bisnis (VA) X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X1, X2, X3, X4, X5, X6 berturur-turut yaitu nilai Konstruksi tahun ke-t, nilai pengadaan listrik dan gas tahun ke-t, nilai perdagangan besar dan eceran tahun ke-t, nilai pertanian kehutanan dan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

perikanan tahun ke-t, nilai jasa perusahaan tahun ke-t, dan nilai pengadaan air pengolahan sampah dan daur ulang tahun ke-t.Berdasarkan persamaan 7 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 10 Hasil Estimasi Daya Bisnis 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Bisnis (VA)
2017	91692705,33
2018	98760603,05
2019	105828500,8
2020	112896398,5
2021	119964296,2
2022	127032193,9
2023	134100091,6
2024	141167989,3
2025	148235887
2026	155303784,8
2027	162371682,5
Persentase Kenaikan	**77,08 %**



Gambar 4 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Bisnis GI

Buduran Tahun 2017 s.d 2027Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 4 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan Bisnis pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 77,08 %.

d. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Sosial

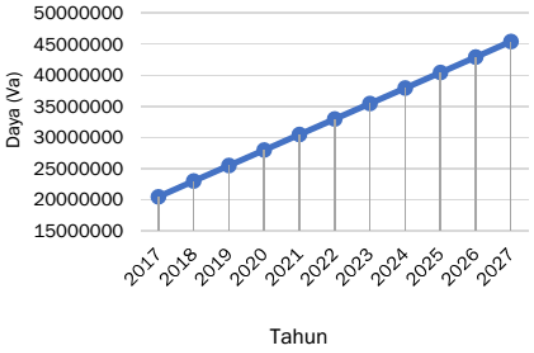
Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya sosial sebagai berikut:

$$Y = 259083628{,}2 + 90{,}44X_1 - 141{,}97X_2 + 297{,}52X_3 - 419{,}84X_4 - 390{,}35X_5 + 2{,}69 \times 10^{-12}X_6 \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan 8, Y merupakan daya sosial (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X1, X2, X3, X4, X5, X6 berturur-turut yaitu nilai akomodasi makan dan minum tahun ket, nilai admin pemerintah pertanahan dan jasmos tahun ke-t, nilai jasa keuangan dan asuransi tahun ke-t, nilai jasa pendidikan tahun ke-t, nilai jasa kesehatan dan kegiatan sosial tahun ke-t, dan nilai jasa lainnya.Berdasarkan persamaa 8 didapat hasil pertumbuhan daya sebagai berikut:

Tabel 11 Hasil Estimasi Daya Sosial 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Sosial (VA)
2017	20524172
2018	23017484
2019	25510796
2020	28004108
2021	30497420
2022	32990732
2023	35484044
2024	37977356
2025	40470668
2026	42963980
2027	45457292
Persentase Kenaikan	**121,48 %**



Gambar 5 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Sosial GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 11 dan Gambar 5 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan sosial pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 121,48 %.

e. Estimasi Pertumbuhan Daya Pelanggan Publik

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi daya publik yaitu:

$$Y = -505534{,}26 + 0{,}19X_1 + 1{,}67X_2 \quad (9)$$

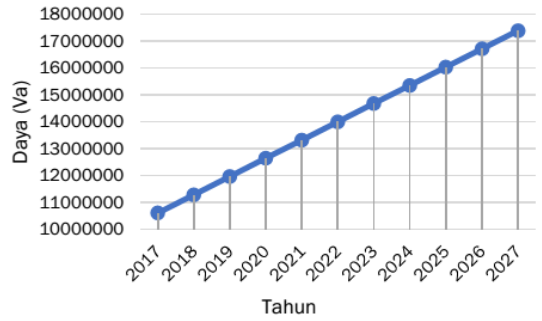
Berdasarkan persamaan 9, Y merupakan daya publik (VA). X merupakan variabel bebas (Rupiah) dengan X1, X2 berturur-turut yaitu nilai Transportasi dan Pergudangan Tahun ke-t, dan nilai Informasi dan Komunikasi ke-t.

Berdasarkan persamaan 8 didapat hasil pertumbuhan daya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12 dibawah ini:

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 12 Hasil Estimasi Daya Publik 2017 s.d 2027

Tahun	Daya Publik (VA)
2017	10617317
2018	11294438
2019	11971559
2020	12648680
2021	13325801
2022	14002922
2023	14680043
2024	15357164
2025	16034285
2026	16711406
2027	17388527
Persentase Kenaikan	**63,78 %**



Gambar 6 Grafik Pertumbuhan Beban Golongan Publik GI

Buduran Tahun 2017 s.d 2027Berdasarkan Tabel 12 dan Gambar 6 dilihat bahwa pertumbuhan daya yang dipengaruhi unit PDRB golongan sosial pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan sebesar 121,48 %

2.2.3. Hasil Estimasi beban Tranformator

Estimasi beban transformator didasarankan pada jenis golongan pelanggan yang disuplai transformator tersebut. Berikut hasil estimasi beban masing-masing transformator GI Bduran.

a. Estimasi beban transformator II

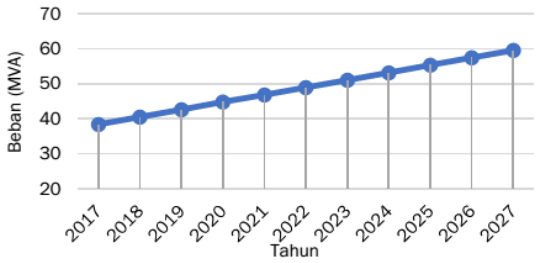
Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator II sebagai berikut:

$$Y = 18{,}71 - 0{,}000000079X_1 + 0{,}000000427X_2 + 0{,}0000001749X_3 \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan 10, Y merupakan beban transformator II (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X1, X2, X3, berturur-turut yaitu daya industri tahun ke-t, daya bisnis tahun ke-t, daya sosial tahun ke-t. Berdasarkan persamaan 10 didapat hasil pertumbuhan beban transformator II sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 13 dibawah ini:

Tabel 13 Hasil Estimasi Beban Trafo II 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo II (MVA)
2017	38,4
2018	40,5
2019	42,6
2020	44,8
2021	46,9
2022	49,0
2023	51,1
2024	53,2
2025	55,4
2026	57,5
2027	59,6
Persentase Kenaikan	**55,21 %**



Gambar 7 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator II Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 13 dan Gambar7 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator II pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 55,21 % mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformato II pada tahun 2017 s.d 2017.

b. Estimasi beban transformator III

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator III sebagai berikut:

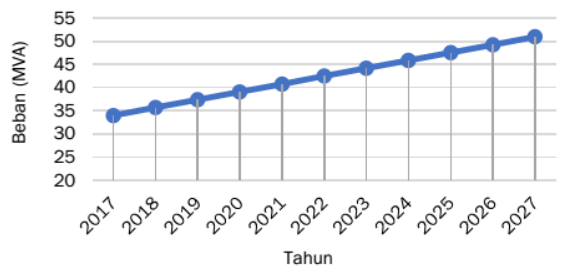
$$Y = 8{,}039983077 + 0{,}000000064X_1 + 0{,}0000012X_2 \quad (11)$$

Berdasarkan persamaan 11, Y merupakan beban transformator III (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) denan X1, X2, berturur-turut yaitu daya rumah tangga tahun ke-t, daya publitahun ke-t, daya sosial tahun ke-t. Berdasarkan persamaan 11 didapat hasil pertumbuhan beban transformator III berikut:

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 14 Hasil Estimasi Beban Trafo III 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo III (MVA)
2017	34,0
2018	35,7
2019	37,4
2020	39,1
2021	40,8
2022	42,5
2023	44,2
2024	45,9
2025	47,6
2026	49,3
2027	51,0
Persentase Kenaikan	**50 %**



Gambar 8 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator III Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 14 dan Gambar 8 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator III pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 50% mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformator III pada tahun 2017 s.d 2017.

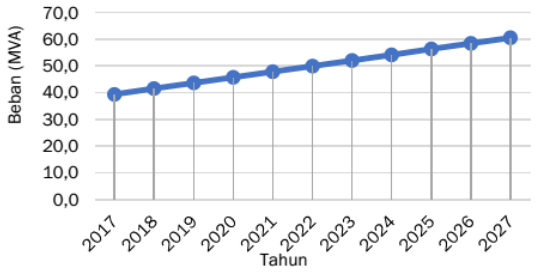
Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda maka didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator IVsebagai berikut:

$$Y = 10{,}28 + 0{,}00000015X_1 10{,}28 + 0{,}00000015X_2 + 0{,}000000074X_3 \quad (12)$$

Berdasarkan persamaan 12, Y merupakan beban transformator IV (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X1, X2, X3, berturur-turut yaitu daya rumah tangga tahun ke-t, daya industritahun ke-t, daya bisnis tahun ke-t. Berdasarkan persamaan 12 didapat hasil pertumbuhan beban transformator IV sebagai berikut:

Tabel 15 Hasil Estimasi Beban Trafo IV 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo IV (MVA)
2017	38,4
2018	40,5
2019	42,6
2020	44,8
2021	46,9
2022	49,0
2023	51,1
2024	53,2
2025	55,4
2026	57,5
2027	59,6
Persentase Kenaikan	**55,21 %**



Gambar 9 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator IV Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 15 dan Gambar 9 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator IV pada tahun 2017 s.d 2027 mengalami peningkatan 55,21% mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformator III pada tahun 2017 s.d 2017.

d. Estimasi beban transformator V

Berdasarkan penyusunan model persamaan regresi linier berganda mak didapat model persamaan untuk estimasi beban Transformator Vsebagai berikut:

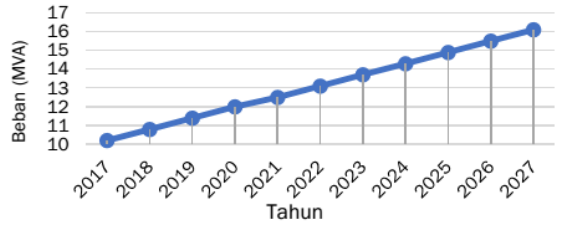
$$Y = -0{,}597031652 - 0{,}000000021X_1 + 0{,}000000051X_2. \quad (13)$$

Berdasarkan persamaan 13, Y merupakan beban transformator V (MVA). X merupakan variabel bebas (VA) dengan X1, X2, berturur-turut yaitu dayarumah tangga tahun ke-t, daya industri tahun ke-t, daya sosial tahun ke-t. Berdasarkan persamaan 11 didapat hasil pertumbuhan beban transformator III sebagai berikut:

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 15 Hasil Estimasi Beban Trafo V 2017 s.d 2027

Tahun	Beban Trafo V (MVA)
2017	10,2
2018	10,8
2019	11,4
2020	12,0
2021	12,5
2022	13,1
2023	13,7
2024	14,3
2025	14,9
2026	15,5
2027	16,1
Persentase Kenaikan	**57,84 %**



Gambar 9 Grafik Pertumbuhan Beban Transformator V Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan Tabel 15 dan Gambar 8 dilihat bahwa pertumbuhan beban transformator III pada tahun 2017 s.d 2027 mengaami peningkatan 50% mengikuti pertumbuhan daya yang mempengaruhi transformato III pada tahun 2017 s.d 2017.Setelah didapatkan hasil beban masing-masingtransformator dilakukan evaluasi Hasil Akurasi Estimasi Beban Transformator mengunakan MAPE

hasil evaluasi dapat dilihat pad tabel 16 sebagai berikut:

Tabel 16 Hasil Error MAPE Estimasi Beban Transformator GI Buduran

Trafo	Data Aktual Beban Trafo (MVA)	Hasil Estimasi Beban Trafo (MVA)	*Error* MAPE (%)
II	38,7	38,4	32
III	34,2	34,0	24
IV	39,7	39,5	23
V	10,4	10,2	23

Berdasarkan Tabel 16 Nilai error estimasi beban trasnformator II sebesar 32%, Transformator III 24%, Transformator IV 23 %, dan Transformator V 23% nilai tersebut masih di kategorikan Reasonable (Layak).

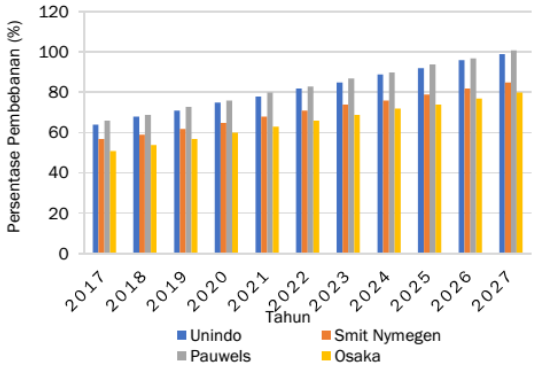
2.2.4. Hasil kapasitas pembebanan transformator

Perhitungan kapasitas pembenanan transformator dapat menggunakan persamaan 5, pada penelitian ini pembebana transformator didapat dari hasil peramalan beban transformatordibagi dengan kapasitas transformator, terpasang.

Hasil Kapasitas pembebanan transformator dapat dilihat pada Tabel 17 sebagai berikut:

Tabel 17 Hasil Perhitungan Persentase PembebananTransformator GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Tahun	Transformator Persentase Pembebanan (%)			
	II	III	IV	V
2017	64	57	66	51
2018	68	59	69	54
2019	71	62	73	57
2020	75	65	76	60
2021	78	68	80	63
2022	82	71	83	66
2023	85	74	87	69
2024	89	76	90	72
2025	92	79	94	74
2026	96	82	97	77
2027	99	85	101	80



Gambar 10 Grafik Persentase Pembebanan Transformator GI Buduran Tahun 2017 s.d 2027

Berdasarkan tabel 17 dan Gambar 10 transformator II overload pada tahun 2022 dengan persentase pembenanan 82% dari kapasitas terpasang, transformator III overload pada tahun 2026 dengan persentase pembenanan 82% dari kapasitas terpasang, transformator IV overloadpada tahun 2021 dengan persentase pembenanan80% dari kapasitas terpasang, dan transformator V overload pada tahun 2027 dengan persentase pembenanan 80% dari kapasitas terpasang.

3 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian, korelasi antara pertumbuhan beban listrik golongan pelanggan Gardu Induk (GI) Buduran dengan sektor

perekonomian pada data Produ Domestik Regional Bruto (PDRB masing-masin sektor golongan pelaggan berkoleras sangat kuat dan signifikan

Prakiraan beban tahun 2017 sampai 027per-golongan pelanggan GI Buduran diperkirakan akan terus naik pada setiap sektornya. Beban pergolongan pelanggan tersebut akan mempenguruhi pertumbuhan beban pada transformator di GI Buduran, dimana diestimasikan beban masingmasing transformator pada tahun 2017 sampai 202 juga mengalami kenaikan, dengan akurasi estimasi menggunakan MAPE dalam kategori re Reasonable (Layak).

Berdasarkan hasil estimasi bebantranformator, Kondisi kapasitas transformator GI Buduran akan mengalami overload pada rentan tahun 2017 s.d 2027, dimana pada transformatorII overload pada tahun 2022, transformator III overload pada tahun 2026, transformator IV overload pada tahun 2021, dan transformator V overload pada tahun 2027 dengan beban mencapai 16,1 MVA (80%) dari kapasitas terpasang.

4 Daftar Pustaka

[1] . Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sidoarjo. .Kabupaten Sidoarjo Dalam Angka 2017. Sidoarjo: Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sidiorajo, 2017

[2] [Suswanto, D. Sistem Distribusi Tenaga Listrik untuk Mahasiswa Elektro, Edisi pertama. Padang: Universitas Negeri Padang, 2007

[3] [H.L.Willis, "Spatial Electric Load Forecasting: Spatial Load Forecasting in Developing Economies," in Marcel Dekker Inc, pp. 631-671, 2002.

[4] PLN. SPLN 17:1979 Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak. Jakarta: PLN, 1979

[5] M. Ferry, Sukma D.Y, dan Ervianto E. "Analisis Keberadaan dan Pengembangan Gardu Induk Distribusi 20 K di Kota Pekanbaru" jomFTEKNIK vol. 2 no. 2, Oktober 2015

[6] [Amral. N, Özveren. C, And King. D, "Short Term Load Forecasting using Multiple Linear Regression", UPEC – 1192, 2007

[7] M. Syarifruddi, Lukmal H Dikpride. D, "Metode Regresi Linier Untuk Prediksi Kebutuhan Energi ListrikJangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung)", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, Vol: 1 (No. 2), 2014:http://garuda.ristekdikti.go.id/journal/article/329982

[8] Jay, H.,& Render, B Manajemen Operasi. Jakarta: Selemba Empat, 2010

[9] Harring, Jeffrey R. and Wasko, John A., "Probabilistic Inferences for the Sample Pearson Product Moment Correlation," Journal of Modern Applied Statistical Methods, vol. 10,Iss. 2, Article 8, 2011.

[10] Kurz A.K. and Mayo. S.T. Statistical Method in Education and Psychology. Springer Science & Business, LLC. Verlag-Berlin Heidelberg, New York, 1979

[11] Sugiyono. Statistika untuk Penelitian Cetakan Keduabelas. Bandung : Alfabeta, 2000

[12] Vanajakshi, L., & Rilett, I. R. A Comparison Of The Performance Of Artificial NeuralNetwork And Support Vector Machines For TheP rediction Of Traffic Speed. IIEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 194-199, 2004

[13] Yuan O, A.N. Afandi, H. Putranto, "Power Demand Forecasting Considering Actual Peak Load Using Artificial Neural Network," in 2018 5thInternational Conference on Electrical Engineering, Computer Science, and I nformatics (ICEECSI), 2018.

[14] Gustriansyah, R. 2017 Analisis Metode Single Exponential Smoothing dengan Brown Exponential Smoothing pada Studi Kasus Memprediks Kuantitif Penjualan Produk Farmasi di Apotek. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia 2017. Darihttp://researchgate.net/publication/314233752

[15] Bawan,E.K. "Estimasi Pembebanan Trasformator Gardu Induk 150 KV", Jurnal Ilmiah Foristek, Vol: 3 (No. 2), 289-293. 2014 http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/FORISTEK/article/view/1618/1072

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengembangan Laboratorium Terbang Berbasis UAV: Pemodelan Momen Inersia

Ony Arifianto & Imam Safi'i

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung (ITB)

ony@ftmd.itb.ac.id

Abstrak

Makalah ini membahas tentang pembuatan model matematika dari laboratorium terbang yang dikembangkan oleh FTMD-ITB. Laboratorium terbang ini merupakan pesawat udara nirawak bersayap tetap yang telah dilengkapi dengan instumentasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan data untuk pengujian terbang. Pengujian terbang tersebut dilakukan untuk memperkaya pengajaran dalam kuliah-kuliah mekanika terbang. Model matematika yang dikembangkan nantinya akan digunakan untuk merancang sistem kendali otomatik untuk membantu operator dalam mendapatkan data uji terbang. Makalah akan secara khusus membahas tentang pemodelan momen inersia dari pesawat nirawak yang digunakan sebagai laboratorium terbang. Pemodelan momen inersia dilakukan dengan menggunakan uji bifilar pendulum. Untuk melihat apakah pengujian dapat memberikan hasil yang logis dan cukup akurat, uji validasi dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan balok kayu. Hasil momen inersia dari balok kayu kemudian dibandingkan dengan hasil dari perhitungan dengan menggunakan metode analitik. Baik uji bifilar pendulum pada balok kayu maupun laboratorium terbang menunjukkan hasil
momen inersia yang relatif wajar untuk pesawat sekelasnya.

Kata Kunci: UAV, laboratorium terbang, momen inersia,

bifilar pendulum

1 Pendahuluan

Program Studi Teknik Dirgantara, Institut Teknologi Bandung (ITB), saat ini tengah mengembangkan sebuah laboratorium terbang berbasis unmanned aerial vehicle (UAV) bersayap tetap. UAV yang digunakan dilengkapi dengan peralatan sensor, autopilot, data akuisisi, dan sistem telemetri. UAV juga dilengkapi dengan sebuah ground control station yang akan menerima, menampilkan, dan merekam data penerbangan. Laboratorium terbang ini akan digunakan sebagai bagian dari proses belajar-mengajar di Program Studi Teknik Dirgantara, utamanya dalam kuliah-kuliah mekanika terbang. Dengan adanya laboratorium terbang ini, mahasiswa dapat melakukan berbagai eksperimen, seperti uji kestabilan statik, uji drag ploar, dan uji kestabilan dinamik.

Pada pekerjaan sebelumnya [1][2][3], graphical user interface (GUI) untuk pengujian kestabilan statik longitudinal dan drag polar telah dikembangkan. Untuk melanjutkan pengembangan dari laboratorium terbang, selanjutnya perlu dikembangkan model matematika dari UAV yang digunakan, salah satunya model dari momen inersianya.

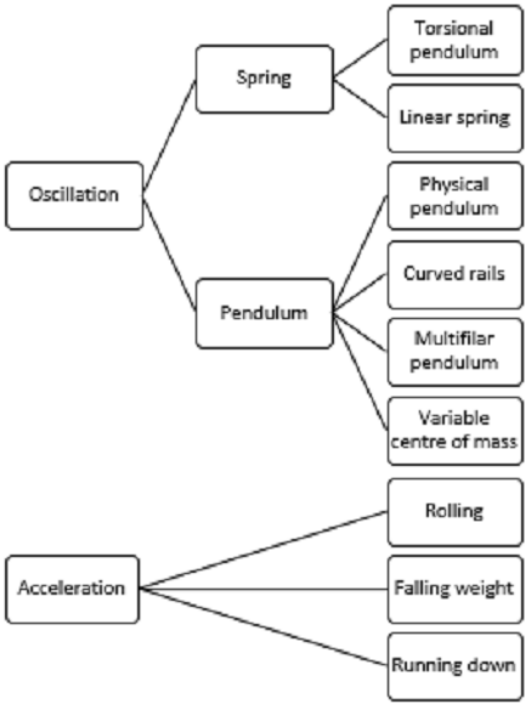
Terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan untuk memperoleh model momen inersia, yakni dengan metode perhitungan analitik dan eksperimental. Pada metode perhitungan analitik, momen inersia dari UAV akan dihitung dengan menggunakan berat dan jarak dari masing-masing komponen penyusun UAV terhadap titik center of gravity (CG) dari UAV. Pemodelan momen inersia dengan menggunakan metode ini tidaklah praktis [4]. Hal ini dikarenakan cukup rumit untuk menentukan berat dan jarak dari masing-masing komponen relatif terhadap titik CG UAV secara akurat. Di lain sisi, metode eksperimen sudah terbukti sesuai untuk digunakan dalam pemodelan momen inersia pada UAV kecil [4]. Berbeda dengan metode perhitungan analitik yang cukup kompleks, metode eksperimen relatif lebih mudah untuk dilakukan.

Prosedur uji eksperimental untuk penentuan momen inersia dapat dibagi ke dalam dua kategori besar, yakni metode akselerasi dan osilasi [5]. Pada metode akselerasi, momen inersia diperoleh dari akselerasi rotasional objek pada sumbu yang diperlukan, sedangkan pada metode osilasi momen inersia diperoleh dari periode osilasi.

Berbagai pengujian momen inersia yang termasuk ke dalam metode osilasi itu sendiri dapat dipilah ke dalam dua bagian besar lagi berdasarkan gaya pemulih yang digunakan dalam pengujian. Ada pengujian yang menggunakan pegas atau peralatan elastis lainnya sebagai pemberi gaya pemulih, ada pula pengujian yang menggunakan gaya gravitasi sebagai gaya pemulih atau biasa disebut dengan metode pendulum. Referensi [6] mengklasifikasikan metode eksperimental yang

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

dapat digunakan untuk mengestimasikan momen inersia dari suatu objek sebagai berikut.



Gambar 1 klasifikasi metode eksperimental untuk pemodelan momen inersia

Salah satu metode pendulum yang biasa digunakan untuk memodelkan momen inersia dari suatu objek adalah bifilar pendulum. Makalah ini akan secara khusus membahas tentang pengembangan model momen inersia dari laboratorium terbang dengan uji bifilar pendulum.

Bersama dengan model dari gaya aerodinamika dan sistem propulsi, model momen inersia yang diperoleh ini nantinya akan digunakan untuk merancang sistem kendali otomatik untuk membantu operator dalam mendapatkan data uji terbang.

2 Model Laboratorium Terbang

Model pesawat nirawak yang digunakan sebagai platform dasar dari laboratorium terbang adalah model pesawat glider bermesin bernama Sky Surfer 1400X8. UAV ini merupakan produk dari pabrikan pesawat model X-UAV. UAV ini memiliki bentang sayap sepanjang 1,4 m, dengan panjang 0,915 m.

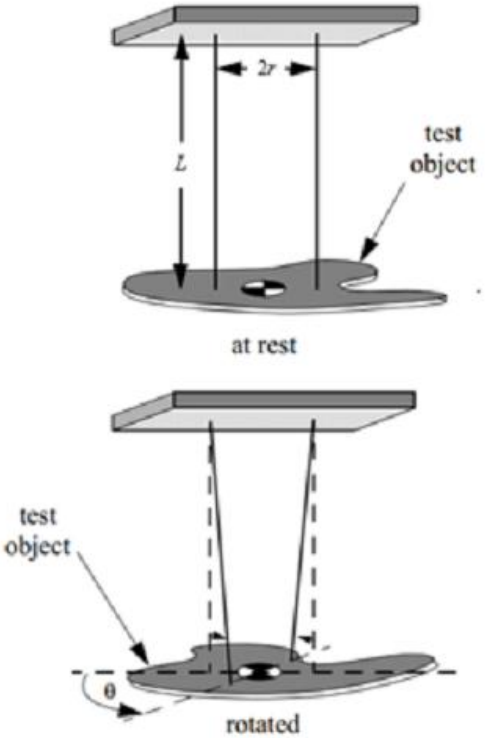
Laboratorium terbang dilengkapi dengan berbagai macam peralatan sensor dan sistem autopilot sebagai payload. Berat keseluruhan dari pesawat beserta seluruh sistem yang ada di dalamnya adalah 0,73 kg.



Gambar 2 pesawat Sky Surfer 1400X8 yang digunakan sebagai model laboratorium terbang

3 Bifilar Pendulum

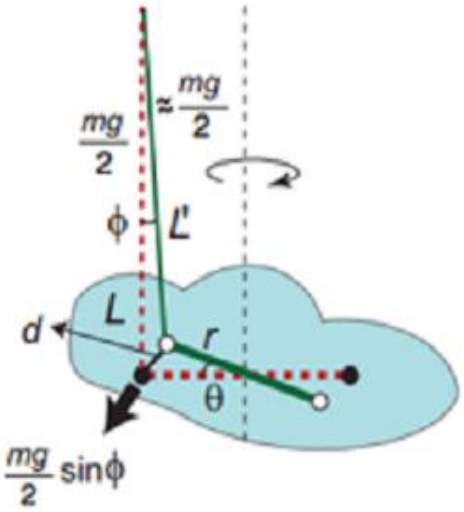
Bifilar pendulum, sebagaimana yang nampak pada Gambar 3, adalah pendulum torsional yang terdiri dari sebuah objek yang digantung dengan menggunakan dua buah tali tipis dan paralel dengan panjang L yang terpisah pada jarak 2r.



Gambar 3 skema uji bifilar pendulum [7]

Jika pendulum diberi simpangan dengan diputar pada bidang horizontal, maka tidak akan ada akselerasi pada arah sumbu vertikal. Jika kemudian pendulum dilepaskan, maka ia akan berosilasi sampai kembali ke posisi kesetimbangannya. Diagram benda bebas dari setengah bagian bifilar pendulum ketika berosilasi ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 4 diagram benda bebas ketika bifilar pendulum berosilasi [8]

Berdasarkan Gambar 4 di atas, torsi yang bekerja pada objek yang digantung dapat dituliskan dalam persamaan berikut,

$$\tau = -2\left(\frac{mg}{2}\right) r\sin\phi = -mgr\sin\phi \quad (1)$$

dengan angka 2 menyatakan bahwa momen pemulih pada kedua ujung objek menghasilkan osilasi pada arah yang sama, sedangkan tanda negatif menunjukkan bahwa gaya pemulih bekerja pada arah yang berlawanan dengan arah gerak objek.

Berdasarkan hukum kedua Newton untuk gerak angular, torsi dari benda yang berputar dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\tau = I\alpha = I\left(\frac{d^2\theta}{dt^2}\right) \quad (2)$$

Persamaan gerak angular dari bifilar pendulum dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) di atas. Kendati demikian, persamaan (1) menyatakan gerak angular dalam fungsi Φ, sedangkan Persamaan (2) menyatakan gerak angular dalam fungsi θ. Oleh karena itu, diperlukan persamaan yang dapat menyatakan hubungan antara Φ dengan θ terlebih dahulu.

Dengan melihat segitiga vertikal pada Gambar 4 di atas, maka dapat diperoleh persamaan berikut.

$$d = L'\sin\phi \approx L\sin\phi \quad (3)$$

Karena Φ bernilai kecil, maka besarnya L' dapat diasumsikan sama dengan L. Kemudian dari segitiga horizontal pada Gambar 4 dapat diperoleh persamaan berikut.

$$d = r\tan\theta \approx r\sin\theta \approx r\theta \quad (4)$$

Sama seperti halnya Φ, nilai dari θ dapat diasumsikan kecil. Kemudian dengan menggunakan persamaan (3) dan (4) di atas, maka dapat diperoleh hubungan antara Φ dengan θ sebagai berikut.

$$\sin\phi \approx \left(\frac{r}{L}\right)\theta \quad (5)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (5) pada persamaan (1), kemudian memasukkan hasil dari kedua persamaan terebut ke dalam persamaan (2), maka diperoleh persamaan gerak pada bifilar pendulum sebagai berikut.

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(\frac{mgr^2}{IL}\right)\theta = 0 \quad (6)$$

Dari persamaan (6) di atas, nampak bahwa persamaan gerak dari bifilar pendulum memiliki bentuk yang mirip dengan persamaan gerak pada pendulum sederhana. Dengan demikian, dapat diperoleh persamaan untuk kecepatan angular dari bifilar pendulum adalah sebagai berikut.

$$\omega = \sqrt{\frac{mgr^2}{IL}} \quad (7)$$

Dengan demikian, maka persamaan periode osilasi untuk bifilar pendulum dapat dituliskan sebagai berikut.

$$T = \frac{2\pi}{r}\sqrt{\frac{LI}{mg}} \quad (8)$$

Dengan menggunakan persamaan (8) di atas, maka besarnya momen inersia dari suatu objek dapat diestimasikan jika nilai dari periode osilasi objek tersebut diperoleh melalui uji bifilar pendulum.

4 Setup dan Prosedur Uji Bifilar Pendulum

Bifilar pendulum dapat dibuat dengan sederhana, yakni dengan menggantung objek uji pada dua buah tali dengan panjang dan jarak tertentu, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3 di atas. Untuk itu, peralatan uji yang diperlukan antara lain adalah test stand dan dua buah tali.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Test stand digunakan untuk menggantung objek, dapat berupa kerangka atau tiang. Jika objek uji sulit digantung dengan menggunakan tali, maka diperlukan sebuah dudukan untuk menggantung objek tersebut.

Untuk uji bifilar pendulum pada laboratorium terbang, test stand dibuat dari kayu. Test stand didesain agar dapat dibongkar-pasang, sehingga dapat disimpan pada tempat dengan ukuran terbatas. Panjang dari test stand adalah 1,6 m, dengan tinggi 1,5 m.

Agar laboratorium terbang dapat digantung pada test stand, ia harus dipasangkan terlebih dahulu pada sebuah dudukan. Laboratorium terbang dengan dudukannya digantung dengan menggunakan benang wol.

Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, direkomendasikan untuk menggunakan tali yang lebih pendek [4]. Dengan menggunakan tali yang lebih pendek, momen inersia dari UAV pada sumbunya akan memiliki persentase yang besar dari total momen inersia pendulum pada sumbu osilasinya [9].

Setup uji bifilar pendulum pada laboratorium terbang ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 5 setup uji bifilar pendulum pada laboratorium terbang

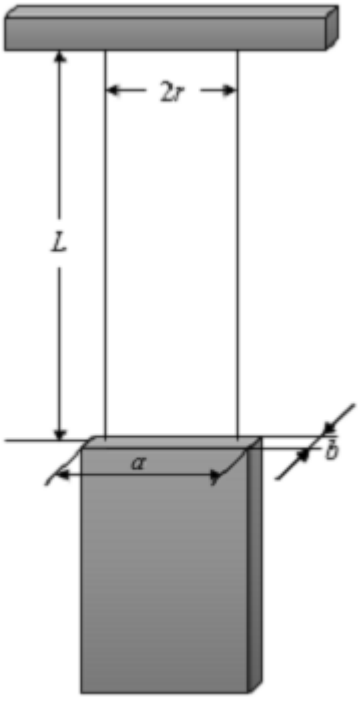
Dengan adanya dudukan yang digunakan untuk menyangga laboratorium terbang, tentunya akan mempengaruhi nilai dari momen inersia yang diperoleh. Oleh karena itu, nantinya perlu dilakukan pengurangan antara hasil momen inersia dari laboratorium terbang dan dudukannya dengan hasil momen inersia dari dudukan kosong.

Uji bifilar pendulum dilakukan dengan memberikan simpangan dengan memutar pendulum pada bidang horizontal. Simpangan yang diberikan tidak boleh terlalu besar karena perhitungan yang digunakan menggunakan asumsi simpangan kecil. Kemudian simpangan dilepaskan dan waktu yang dibutuhkan oleh pendulum untuk melakukan sejumlah osilasi tertentu diukur dengan menggunakan stopwatch. Hasil yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung besarnya periode osilasi dari pendulum. Dari hasil perhitungan periode osilasi tersebut, momen inersia dari laboratorium terbang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 di atas.

5 Validasi Peralatan Uji

Akurasi dari hasil pengujian sangat bergantung pada konstruksi pendulum, dimensi dan juga kepresisian dari pengukuran [4]. Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 5 di atas, konstruksi dari bifilar pendulum dibuat dengan sederhana. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji validasi pada peralatan uji untuk melihat apakah hasil momen inersia yang diperoleh dapat mewakili karakteristik yang sebenarnya dari objek.

Uji validasi dilakukan dengan melakukan pengujian pada sebuah balok kayu berukuran kecil. Balok kayu tersebut terbuat dari particle board dengan berat hanya 1,006 kg



Gambar 6 skema uji bifilar pendulum pada balok kayu

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Selain karena mudah diperoleh, besarnya momen inersia dari balok kayu juga mudah untuk dihitung dengan menggunakan metode analitik. Besarnya momen inersia untuk sebuah balok dapat diestimasikan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$I_{Balok} = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \quad (9)$$

Dengan menggunakan persamaan di atas, untuk lebar dan tebal balok masing-masing sebesar 0,235 m dan 0,015 m, diperoleh nilai momen inersia sebesar 0,0046 kg m2. Hasil ini selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil uji bifilar pendulum.

Setup pengujian bifilar pendulum dengan menggunakan balok kayu sebagai objek ujiditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 7 setup uji validasi dengan balok kayu sebagai objek uji



Balok kayu dipasang pada dua buah tali dengan panjang 0,32 m dengan jarak antara kedua tali adalah 0,2 m. Hasil uji validasi ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1 Hasil uji validasi dengan menggunakan balok kayu

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
10	8,2	0,82	0,0053
10	8,2	0,82	0,0053
10	8,1	0,82	0,0051
15	12,1	0,81	0,0051
15	12,1	0,81	0,0051
15	12,2	0,81	0,0052
20	16	0,8	0,0050
20	16,1	0,81	0,0050
20	16	0,8	0,0051
rata-rata			0,0051

Berdasarkan hasil uji bifilar pendulum, diperoleh nilai momen inersia sebesar 0,0051 kg m2. Jika melihat hasil dari kedua metode, diperoleh perbedaan hasil sebesar 0,0005 kg m2. Error yang diperoleh sebenarnya cukup signifikan, yakni 10,87%. Kendati demikian, selain diakibatkan oleh adanya ketidakpastian dalam pengukuran dan konstruksi pendulum, error juga dapat disebabkan oleh ketidakhomogenan material dari balok kayu itu sendiri. Balok kayu terbuat dari particle board yang tersusun dari serbuk gergaji, potongan kayu kecil, serpihan kayu, dan bahan kimia resin yang dipadatkan dengan tekanan tinggi lalu kemudian dikeringkan. Particle board dapat memiliki poripori yang cukup besar. Oleh karena itu, besar kemungkinan material penyusun balok kayu tidak bersifat homogen. Dengan demikian, hasil uji dari bifilar pendulum masih dapat diterima dan digunakan untuk memodelkan momen inersia dari laboratorium terbang.

6 Uji Bifilar Pendulum pada Model Laboratorium Terbang

Uji bifilar pendulum pada laboratorium terbang dilakukan dalam tiga bagian, yakni uji momen inersia roll (Ixx), momen inersia pitch (Iyy), dan momen inersia yaw (Izz).

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

6.1 Uji momen inersia roll

Untuk uji momen inersia roll, laboratorium terbang dipasang pada test stand dengan posisi sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sumbu x benda dipasang secara vertikal, sejajar dengan tali.



Gambar 8 setup uji momen inersia roll untuk laboratorium terbang dan dudukan

Karena pengujian pada laboratorium terbang melibatkan dudukan, maka perlu dipastikan bahwa lokasi dari titk pusat massa dari dudukan yang kosong dan dudukan yang telah memuat laboratorium terbang berada pada sumbu rotasi yang sama dengan bidang yang dibentuk oleh tali. Berikut adalah pemasangan dudukan kosong untuk uji momen inersia roll.



Gambar 9 setup uji momen inersia roll untuk dudukan kosong

Rincian setup untuk uji momen inersia roll ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2 Rincian setup uji momen inersia roll

properti	nilai
massa dudukan (kg)	1,218
panjang tali (m)	0,5
jarak antara dua tali (m)	0,61

Hasil uji momen inersia roll untuk ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 3 Hasil uji momen inersia roll untuk laboratorium terbang dan dudukan

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
3	3,5	1,17	0,1227
3	3,7	1,23	0,1371
3	3,5	1,17	0,1227
5	5,8	1,16	0,1213
5	6,1	1,22	0,1342
5	5,9	1,18	0,1255
7	8,2	1,17	0,1237
7	8,3	1,19	0,1267
7	8,1	1,16	0,1207
rata-rata			0,1261

Tabel 4 Hasil uji momen inersia roll untuk dudukan kosong

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
5	6,8	1,36	0,1043
5	6,5	1,3	0,0953
5	6,7	1,34	0,1012
10	13,4	1,34	0,1012
10	13,6	1,36	0,1043
10	13,3	1,33	0,0997
15	19,9	1,33	0,0992
15	20,1	1,34	0,1012
15	19,9	1,33	0,0992
rata-rata			0,1006

Dengan mengurangkan hasil uji dari laboratorium terbang dan dudukan dengan hasil uji daridudukan kosong, maka diperoleh nilai dari momen inersia roll laboratorium terbang adalah sebesar 0,0255 kg m^2.

6.2 Uji momen inersia pitch

Uji momen inersia pitch dilakukan dengan memasang laboratorium terbang dan dudukan pada test stand sebagai berikut.



Gambar 10 setup uji momen inersia pitch untuk laboratorium terbang dan dudukan

Karena test stand tidak terlalu tinggi, maka panjang tali harus diatur sedemikian rupa agar sayap dari laboratorium terbang tidak bergesekan dengan tiang penyangga ataupun lantai. Untuk pemasangan dudukan kosong pada test stand ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 11 setup uji momen inersia pitch untuk dudukan kosong

Rincian setup pada uji momen inersia pitch ditunjukkan pada tabel berikut.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 5 Rincian setup uji momen inersia pitch

properti	nilai
massa dudukan (kg)	1,218
panjang tali (m)	0,38
jarak antara dua tali (m)	0,26

Diperoleh hasil uji momen inersia pitch sebagai berikut.

Tabel 6 Hasil uji momen inersia pitch untuk laboratorium terbang dan dudukan

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
3	4	1,33	0,0383
3	3,7	1,23	0,0328
3	3,8	1,27	0,0346
5	6,7	1,34	0,0387
5	6,7	1,34	0,0387
5	6,5	1,3	0,0364
7	9,5	1,36	0,0397
7	9,5	1,36	0,0397
7	9,4	1,34	0,0389
rata-rata			0,0375

Tabel 7 Hasil uji momen inersia pitch untuk dudukan kosong

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
5	6,1	1,22	0,0201
5	5,7	1,14	0,0175
5	5,8	1,16	0,0181
10	11,5	1,15	0,0178
10	11,3	1,13	0,0172
10	11,3	1,13	0,0172
15	17	1,13	0,0173
15	17,1	1,14	0,0175
15	17	1,13	0,0173
rata-rata			0,0178

Berdasarkan hasil di atas, diperoleh momen inersia pitch dari model laboratorium terbang adalah sebesar 0,0197 kg m^2.

6.3 Uji momen inersia yaw

Untuk uji momen inersia yaw, pemasangan laboratorium terbang dan dudukan pada test stand dapat dilihat pada Gambar 5 di atas. Untuk pemasangan dudukan kosong pada test stand adalah sebagai berikut.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 12 setup uji momen inersia yaw untuk dudukan kosong

Tabel 8 Rincian setup uji momen inersia yaw

properti	nilai
massa dudukan (kg)	1,218
panjang tali (m)	0,5
jarak antara dua tali (m)	0,61

Berikut adalah data hasil pengujian bifilar pendulum untuk pemodelan momen inersia yaw.

Tabel 9 Hasil uji momen inersia yaw untuk laboratorium terbang dan dudukan

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
5	6,3	1,26	0,1431
5	6,5	1,3	0,1524
5	6,4	1,28	0,1477
10	13	1,3	0,1524
10	12,9	1,29	0,15
10	12,9	1,29	0,15
15	19,5	1,3	0,1524
15	19,3	1,29	0,1492
15	19,4	1,29	0,1508
rata-rata			0,1498

Tabel 10 Hasil uji momen inersia yaw untuk dudukan kosong

jumlah osilasi	waktu untuk osilasi (s)	periode (s)	momen inersia (kg m^2)
5	6,5	4,83	0,0953
5	6,5	4,83	0,0953
5	6,6	4,76	0,0982
10	13,3	4,72	0,0997
10	13,2	4,76	0,0982
10	13,2	4,79	0,0967
15	19,5	4,83	0,0953
15	19,7	4,78	0,0972
15	19,8	4,76	0,0982
rata-rata			0,0971

Berdasarkan hasil di atas, diperoleh momen inersia yaw untuk model laboratorium terbang adalah 0,0527 kg m^2.

7 Diskusi dan Analisis

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil momen inersia laboratorium terbang sebagai berikut.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 11 Momen inersia laboratorium terbang hasil uji bifilar pendulum

properti	nilai
momen inersia *roll* (I_{xx})	0,0255 kg m^2
momen inersia *pitchl* (I_{yy})	0,0197 kg m^2
momen inersia *yaw* (I_{zz})	0,0527 kg m^2

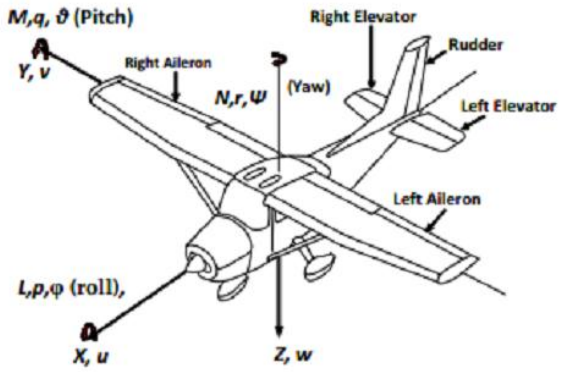
Hasil momen inersia yang diperoleh menunjukkan nilai yang relatif wajar untuk pesawat nirawak bersayap tetap sekelasnya. Sebagai pembanding, berikut ditampilkan momen inersia dari pesawat nirawak Ultrasick 25e yang memiliki berat take off 2,15 kg dengan panjang sayap 1,27 m.

Tabel 12 Momen inersia pesawat nirawak Ultrasick 25e

properti	nilai
momen inersia *roll* (I_{xx})	0,07151 kg m^2
momen inersia *pitchl* (I_{yy})	0,08636 kg m^2
momen inersia *yaw* (I_{zz})	0,15364 kg m^2

Dari kedua tabel di atas, nampak bahwa secara umum nilai momen inersia dari pesawat nirawak Ultrasick 25e sekitar tiga kali lebih besar dibandingkan nilai momen inersia dari laboratorium terbang. Hal ini cukup logis, mengingat massa dari Ultrasick 25e tiga kali lipat lebih besar dari massa laboratorium terbang.

Momen inersia yaw dari kedua pesawat menunjukkan nilai yang terbesar, yakni sekitar dua kali nilai momen inersia roll. Hal tersebut menunjukkan bahwa baik laboratorium terbang maupun Ultrasick 25e memiliki tendensi untuk menolak percepatan angular yawing lebih besar dibandingkan rolling dan pitching. Hal ini disebabkan oleh distribusi massa yang besar pada arah sumbu x dan sumbu y benda dengan adanya sayap dan fuselage.



Gambar 13 ilustrasi pesawat nirawak Ultrasick 25e [10]

Terdapat perbedaan karakteristik pada nilai momen inersia roll dan pitch dari kedua pesawat. Nilai momen inersia roll dari laboratorium terbang sedikit lebih besar dibandingkan nilai momen inersia pitch-nya. Hal ini disebabkan laboratorium terbang memiliki ukuran sayap yang lebih dominan dibandingkan ukuran badannya. Sebaliknya, Ultrasick 25e memiliki nilai momen inersia pitch yang sedikit lebih besar dibandingkan nilai momen inersia roll-nya. Hal ini dikarenakan Ultrasick 25e memiliki ukuran badan yang relatif besar jika dibandingkan komponen lainnya, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 13 di atas. Secara umum, karakteristik momen inersia laboratorium terbang sudah mirip dengan pesawat nirawak bersayap tetap sekelasnya.

8 Kesimpulan

Pada makalah ini telah dilakukan uji bifilar pendulum untuk memodelkan momen inersia dari laboratorium terbang. Bifilar pendulum dibuat dengan sederhana, terdiri dari kerangka kayu, tali,dan dudukan. Hasil uji menunjukkan nilai yang relatif wajar untuk pesawat nirawak bersayap tetap sekelasnya. Momen inersia yaw dari laboratorium terbang memiliki nilai yang paling besar, disusul dengan momen inersia roll dan momen inersia pitch. Hal ini disebabkan oleh ukuran sayap dari laboratorium terbang yang dominan dibandingkan ukuran fuselage.

9 Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan pada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) atas pendaan untuk riset ini.

10 Nomenklatur

τ = torsi

m = massa

g = percepatan gravitasi bumi

r = setengah jarak tali

Φ = sudut putar tail

I = momen inersia

α = percepatan sudut

t = Waktu

L = panjang tali

L' = panjang proyeksi tali setelah diberi simpangan

ω = kecepatan angular

T = periode osilasi

a = lebar balok

b = tebal balok

11 Daftar Pustaka

[1] O. Arifianto, H. Muhammad, P. S. Windratih, and I. Safi'i, "The development of student station for drag polar testing," International Conference on Aviation Technology and Management (ICATEM), September 2018.

[2] P. S. Windratih, O. Arifianto, and H. Muhammad, "The development of flight testing tool for longitudinal static stability assessment," International Conference on Science and Innovative engineering (ICSIE), December 2017.

[3] P. S. Windratih, Pengembangan student station dalam rangka pengujian longitudinal static stability dari pesawat tanpa awak bersayap tetap. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Bandung, April 2017.

[4] A. Teimourian and D. Firouzbakht, "A practical method for determination of the moments of inertia of unmanned aerial vehicles," Italian Association of Aeronautic and Astronautics XXII Conference, September 2013.

[5] E. C. Harris, "Selection of techniques for measurement of moment of inertia," 24th Annual Conference S.A.W.E., May 1965.

[6] G. Genta and C. Delprete, "Some considerations on the experimental determination of moments of inertia," Meccanica, vol 29, pp. 125-141, 1994.

[7] M. R. Jardin, "Optimized measurements of UAV mass moment of inertia with a bifilar pendulum," Journal of Aircraft, May 2009.

[8] A. Shaheen and M. S. Anwar, A Doubly Suspended Pendulum. LUMS School of Science and Engineering, May 2017.

[9] M. P. Miller, "An accurate method of measurement the moment of inertia of airplanes," National Advisory Committee for Aeronautics, Technical note No.351, October 1930

[10] B. K. Aliyu, A. A. Petinrin, & J. A. Adewumi, "PID control design of sideslip angle for fixed-wing mini-UAV," Advances in Research. Vol. 6, pp. 1-14, 2016

[11]

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Penerapan Kontrol Logika Fuzzy pada Sistem Pengering Irisan Kripik Singkong

[1]Suhariningsih, [2]Renny Rakhmawati, [3]Mas Sulung Wisnu Jati

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Surabaya, Indonesia

[1]nuning@pens.ac.id, [2]renny@pens.ac.id, [3]sulungwisnu999@gmail.com

Abstrak

Indonesia dikenal memiliki beragam kuliner yang bahan dasarnya memanfaatkan hasil bumi sendiri, salah satu kuliner Indonesia yang terkenal adalah keripik singkong. Bahan dasar yang harganya murah dan sangat gampang dicari sehingga banyak ditemukan di sebagian besar wilayah Indonesia. Itu sebabnya banyak Usaha Kecil Menengah (UKM) yang memproduksi makanan kecil ini. Proses produksi dilakukan secara konvensional, dimulai dari proses pengupasan, pembersihan, pemotongan tipis-tipis, pengeringan, lalu penggorengan. Proses pengeringan dilakukan dengan menaruh di tempat terbuka, di bawah sinar matahari langsung sehingga menyebabkan proses pengeringan membutuhkan waktu yang relatif lama. Hal ini akanmemperlambat proses produksi, menyebabkan tumbuhnya jamur, sehingga menjadikan rasa keripik agak berbau tidak enak, tampilan juga menjadi kurang menarik sehingga mengurangi nilau jual.
Pada penelitian ini didesain suatu sistem pengeringan irisan keripik singkong dengan kontrol logika fuzzy, dalam ruang yang bersih, tertutup dan temperatur yang stabil sehingga menjadi relatif lebih cepat kering. Hal ini dapat mengurangi potensi tumbuhnya jamur, tidak berbau dan tampilan lebih bersih/menarik, lebih hygiene. Dengan demikian dapat meningkatkan produksi dan menjadi lebih disukai oleh konsumen sehingga nilai jualnya menjadi meningkat. Pada sistem ini digunakan rangkaian AC to AC Voltage Controller untuk mengontrol agar suhu ruang pengering stabil pada suhu set point 70^{o}C dan lebih cepat menuju set point, yang diproses menggunakan kontrol logika Fuzzy dengan mengimplementasikan pada mikrokontroller ARM STM32F4VG Discovery

Kata Kunci: AC to AC Voltage Controller, Logika Fuzzy,Singkong

1 Pendahuluan

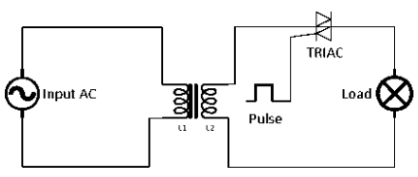
Indonesia adalah negara yang sangat kaya akan seni, budaya, hasil alam dll maka pemerintah sedang menggalakkan penggalian potensi kekayaan tersebut disesuaikan dengan daerah masing-masing. Penggalian kekayaan lokal ini diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja sehingga mengurangi angka pengangguran dan kemiskinan. Dengan demikian mampu meningkatkan penghasilan perorangan, meningkatkan pendapatan. daerah, yang dampaknya dapat meningkatkan pendapatan nasional. Indonesia dikenal memiliki beragam kuliner yang bahan dasarnya memanfaatkan hasil bumi sendiri, salah satu kuliner Indonesia yang terkenal adalah suatu makanan kecil berupa keripik singkong. Bahan dasar dari makanan ini adalah singkong, yang harganya murah dan sangat gampang dicari karena hampir dapat tumbuh di seluruh wilayah Indonesia sehingga makanan kecil ini jg banyak ditemukan di sebagian besar wilayah Indonesia. Itu sebabnya banyak UKM yang memproduksi makanan kecil ini. Proses produksi makanan kecil ini masih banyak dilakukan secara konvensional. Dimulai dari proses pengupasan, pembersihan, pemotongan tipis-tipis kemudian dilakukan proses pengeringan, lalu penggorengan.

Proses pengeringan dilakukan dengan menaruh ditempat terbukasehingga tidak *hygiene*. Singkong dikeringkan di bawah sinar matahari sehingga sangat tergantung pada cuaca. Hal ini menyebabkan proses pengeringan membutuhkan waktu yang relatif lama sehingga selain memperlambat proses produksi, juga sering menyebabkan tumbuhnya jamur, yang menjadikan rasa keripik menjadi kurang renyah, agak berbau tidak enak(agak apek) , tampilan juga menjadi kurang menarik sehingga menguranginilau jual

2 Diskusi

9.1 2.1 AC to AC Voltage Controller

Dalam system ini untuk mengkontrol tegangan AC menggunakan metode kontrol tegangan, Pada metode kontrol ini tegangan akan bekerja dengan meredam bagian dari gelombang sinusoidal setiap setengah periode atau satu periode penuh. Adapun rangkaian kontrol tegangan dengan TRIAC atau sepasang thyristor yang dipasang secara berlawanan arah seperti terlihat pada Gambar 1 berikut :



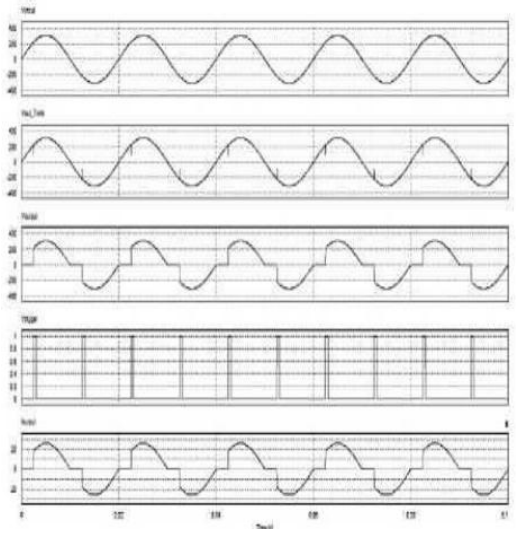
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 12 Rangkaian kontrol tegangan dengan menggunakan Triac

Kondisi TRIAC terbuka atau tertutup tergantung pada penyulutan dari gate driver. TRIAC akan pada kondisi terbuka jika gate pada TRIAC tidak mendapatkan penyulutan, pada kondisi ini terdapat bagian dari gelombang sinus yang teredam sepanjang beberapa derajat. Adapun tegangan output dari rangkaian AC to AC Voltage Controllerdapat t dihitung menggunakan persamaan 1

$$Vorms = Vs\sqrt{\frac{1}{\pi}(\pi - \alpha) + \frac{\sin(2\alpha)}{2}} \quad (1)$$

Adapun bentuk gelombang keluaran dari rangkaian seperti terlihat pada Gambar 2 dengan penjelasan: jika gate pada komponen TRIAC mendapatkan penyulutan, maka TRIAC pada kondisi tertutup sesuai besarnya firing angle yang diberikan, sehingga pada kondisi ini gelombang sinus dapat muncul namun tidak secara penuh dan jika dilihat dari gelombang sinusoidalnya.



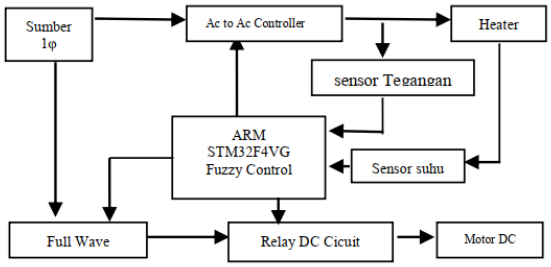
Gambar 13 Gelombang sinus sistem

9.2 2.2 Fuzzy Logic Control

Kontrol logika fuzzy berarti kontrol terbuka dan loop tertutup dari proses teknis yang dapat dilihat dari gambar 3 blok diagram kontrol logika fuzzy, termasuk pengolahan nilai yang terukur, berasal dari variabel terukur, dan set point. Variabel keluaran dalam bentuk variabel pengoreksi. Transformasi harus dilakukan antara masukan dan variabel keluaran dari proses dan dunia fuzzy (fuzzifikasi, defuzzifikasi) komponen inti pengendalian fuzzy terdiri dari linguistic aturan dasar (rule base) dan kesimpulan (inference). Seperti diketahui bahwa logika fuzzy adalah peningkatan dari logika booleanyang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian. Dimana logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan dalam istilah binery (0 atau 1, ya atau tidak), logika fuzzy menggantikan kebenaran booleandengan tingkat kebenaran.

3 Metodologi

Alat pengering irisan kripik singkong pada system ini dikontrol dengan suhu set point 700C menggunakan metode kontrol logika fuzzy pada ruang pengering yang tertutup. Secara keseluruhan sistem dapat digambarkan seperti diagram blok Gambar 3 berikut :



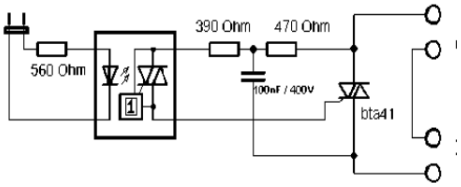
Gambar 14 Diagram Blok Sistem

Sebagai pengontrol tegangan keluaran pada heater guna pengoptimalan suhu pada ruang pengering digunakan perangkat AC to AC Voltage Controller, IC TCA 785 dan DAC (Digital to Analog Converter). Sensor suhu SHT11 yang terpasang pada ruang pengering sebagai umpan balik pada sistem kontrol suhu agar tetap sesuai dengan set point yang dibutuhkan.

3.1 Perancangan AC to AC Voltage Controller

Adapun Rangkauian Ac to Ac Voltage Controller adalah seperti pada Gambar 4 diaplikasikan pada plan menggunakan komponen TRIAC BTA 41 yang mampu bekerja hingga arus maksimal 40 Ampereserta tegangan hingga 600 Volt AC . Pengaturan tegangan AC pada beban yang berupa heater pada plan menggunakan komponen TRIAC. Kaki gate pada komponen TRIAC merupakansuatu titik tempat pengontrolan penyulutan yangakan dilakukan oleh TRIAC itu sendiri. Pulsakeluaran yang dibangkitan dari rangkaian IC TCA785 akan diinjeksikan ke kaki gate pada TRIAC.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



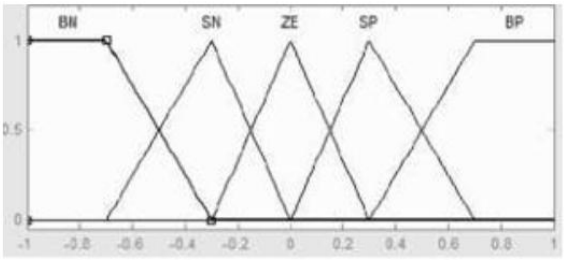
Gambar 15 Schematic RangkaianAC to AC Voltage Controller

Kapasitor pada rangkaian digunakan agar dapat meredam efek gangguan arus yang dihasilkan karena proses switching pada TRIAC.

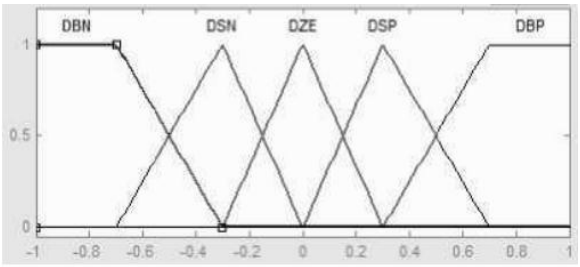
3.2 Perancangan Fuzzy Logic Control

Untuk kontrol tegangan keluaran AC to AC Voltage Controller pada sistenm ini dirancang control logika fuzzy yang berfungsi sebagai sistem kontrol DAC pada mikrokontroler. Kontrol tegangan ini digunakan untuk mempertahankan suhu dalam ruang pengering. Kontrol logika fuzzy yang digunakan adalah menggunakan metode Sugeno dengan rule base 5x5, dimana keluaran sistem tidak berupa himpunan fuzzy, tetapi berupa konstanta atau persamaan linier.

Keluaran dari kontrol logika fuzzy berasal dari konversi pembacaan sensor suhu berupa SHT11 yang kemudian diubah dalam derajat keanggotaan pada fungsi keanggotaan error dan delta error. Keluaran kontrol logika fuzzy adalah mengatur besarnya Digital to Analog Converter(DAC) pada mikrokontroler untuk switching TRIAC pada rangkaian AC to AC Voltage Controller.



Gambar 16 Fungsi keanggotaan input error



Gambar 17 Fungsi keanggotaan input delta error

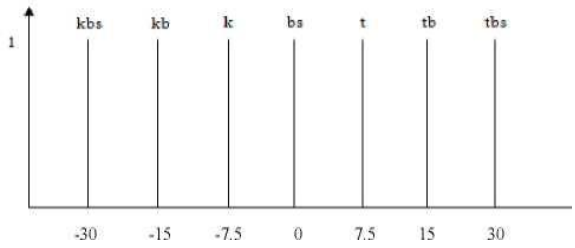
Adapun rancangan fuzzyfikasi dengan fungsi keanggotaan gabungan segitiga dan trapesium dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Adapun Tabel 1 merupakan aturan (rule base) untuk kontrol logika fuzzy system yang dibuat berdasar kedua fungsi keanggotaan error dan Δ error tersebut di atas.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 1. Rule Base Fuzzy 5x5

Error / Delta Error	BN	SN	ZE	SP	BP
DBN	kbs	kbs	kb	k	bs
DSN	kbs	kb	k	bs	t
DZE	kb	k	bs	t	tb
DSP	k	bs	T	tb	tbs
DBP	bs	T	tb	tbs	tbs

Defuzzyfikasi (output) dari kontrol logika fuzzy ini berupa singleton, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 18 Fungsi Keanggotaan Output (Singleton)

Proses defuzzyfikasi yang digunakan pada metode sugeno yaitu menggunakan Wieghted Average.

$$Defuzzy = \frac{\sum_{n=i}^{n} w_i z_i}{\sum_{n=i}^{n} w_i} \quad (2)$$

10 4. Pengujian dan Pembahasan

Bab ini dimaksudkan untuk mengetahui kinerja system sebagai berikut :

10.1 4.1 AC to AC Voltage Controller

Pengaturan temperatur pada ruang pengering dilakukan dengan mengatur besarnya tegangan yang masuk ke heater. Sedangkan rangkaian AC to AC Voltage Controllerdapat digunakan untuk mengatur besarnya tegangan yang menuju beban, yaitu sebagai tegangan masukan beban. Gambar 8 merupakan data hasil pengujian dari rangkaian AC to AC Voltage Controller yang menunjukkan nilai tegangan masukan, tegangan keluaran, serta perhitungan tegangan keluaran teori dan tegangan keluaran pada simulasi.

Tegangan keluaran rangkaian AC to Ac Voltage Controller dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Vo = Vs\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad (3)$$

Besarnya tegangan Vs = 220 volt dan bila nilai α = 40° maka hasil perhitungan menjadi sebagai berikut :

$$Vo = 220\sqrt{1 - \frac{40}{\pi} + \frac{\sin(2x40)}{2\pi}}$$

$$= 212{,}5835volt$$

Adapun prosentasi error tegangan keluaran rangkaian AC to AC Voltage Controller dapat ditentukan dengan persamaan:

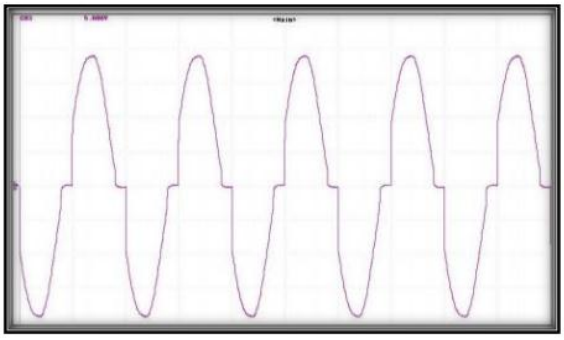
$$error(\%) = \frac{Vteori - Vpraktek}{Vteori} x100\%$$

Sehingga

$$error(\%) = \frac{212{,}5835 - 201}{212{,}5835} x100\%$$

$$= 5.449\ \%$$

Dengan menggunakan Oscilloscope dapat dilihat keluaran AC to AC Voltage Controller dengan beban heater pada sudut penyulutan (firing angle) 400, seperti terlihat pada Gambar 8 berikut ini :

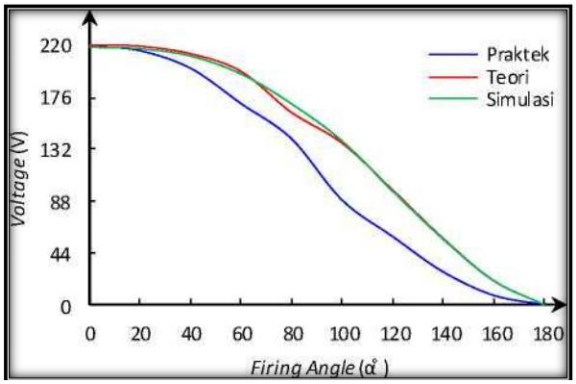


Gambar 19 Gelombang Tegangan Keluaran pada Saat Firing Angle 40°

Bila diperhatikan grafik hasil pengujian rangkaian AC to AC Controller dapat dianalisa bahwa tegangan akan cenderung naik pada *range firing angle* antara 0° sampai 90°. Pada saat *firing angle* 0° tegangan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

akan naik sampai 220V dan pada saat *firing angle* 160° tegangan akan turun sampai pada 10V. Dengan demikian dari pengamatan data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk menurunkan *tegangan firing angle* yang harus diberikan adalah diatas 90°, Dari data tersebut dapat dikatakan pula bahwa semakin besar *firing angle* maka penurunan tegangan akan semakin rendah.

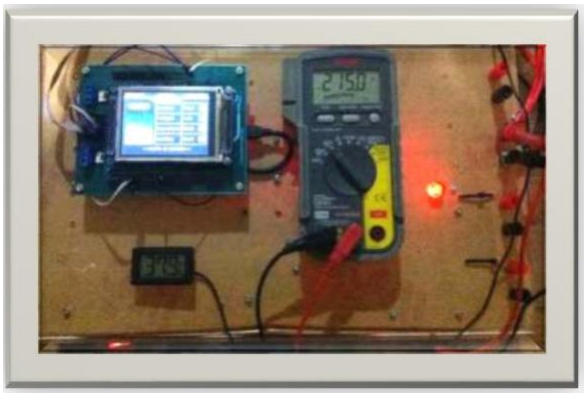


Gambar 20 G*rafik Perbandingan Tegangan Keluaran Terhadap Firing Angle.*

Besarnya firing angle dapat digunakan untuk mengatur besarnya arus dan tegangan keluaran yang diinginkan pada rangkaian AC to AC Voltage Controller.

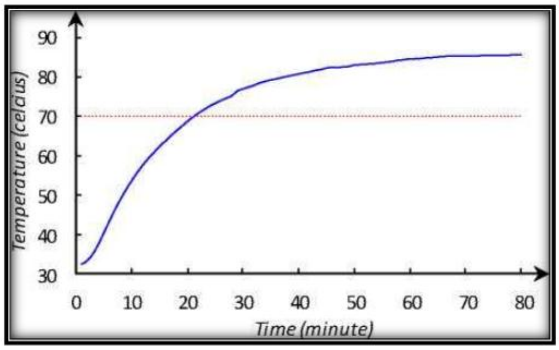
10.2 4.1 Respon Suhu pada Ruang Pengering Tanpa Kontrol

Pengujian respon suhu dilakukan pada saat alat terintegrasi tanpa control dan pada saat alat terintegrasi dengan control. Pengujian respon suhu tanpa kontrol adalah menguji alat terintegrasi tanpa control (open loop) yang terintegrasi dengan hardware AC to AC voltage controller, seperti terlihat pada Gambar 10 berikut :



Gambar 21 Hardware rangkaian terintegrasi AC to AC Voltage Controller

Terlihat pada Gambar 10 pada bagian atas merupakan interface, dimana terdiri dari LCD TFT sebagai monitoring suhu pada ruang pengering. Sedangkan bagian bawah terdapat rangkaian integrasi AC to AC voltage controller. Hasil pengukuran tegangan keluaran nominal dari rangkaian AC to AC Voltage Controller pada saat firing angle sebesar 50 diperlihatkan pada Gambar 8, dimana nilai tegangan keluaran nominal untuk mensuplai beban heater dengan daya 1300 Watt adalah sebesar 215 Volt. Adapun gambar selanjutnya , yaitu Gambar 11 adalah grafik respon suhu hasil pengujian AC to AC Voltage Controller tanpa kontrol (Open Loop) . Dari pengamatan pada grafik gambar tsb, menunjukan bahwa untuk mencapai suhu 70°C tanpa control dibutuhkan waktu sekitar 20 menit.



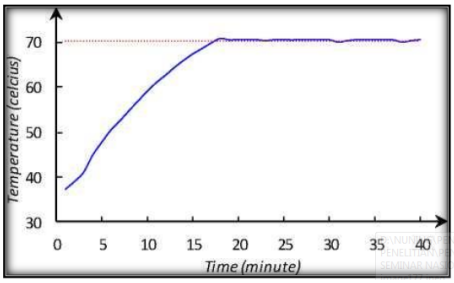
Gambar 22 Grafik Respon Suhu Tanpa Kontrol (Open Loop)

Dari data pada Grafik di atas juga dapat diamati bahwa kenaikan linier suhu terhadap waktu dari suhu awal ruang sebesar 33°C hingga 88 °C.

10.3 4.2 Respon Suhu pada Ruang Pengering dengan KontrolLogika Fuzzy.

Pada tahap pengujian respon suhu dengan kontrol logika fuzzy ini dilakukan alat dalam kondisi terintegrasi terkontrol (*close loop*), yang dilakukan 2 pengujian, yaitu ketika system pengering tanpa gangguan (data terlihat seperti pada grafik Gambar 12) dan juga ketika system pengering dengan gangguan (data terlihat seperti pada grafik Gambar 13)

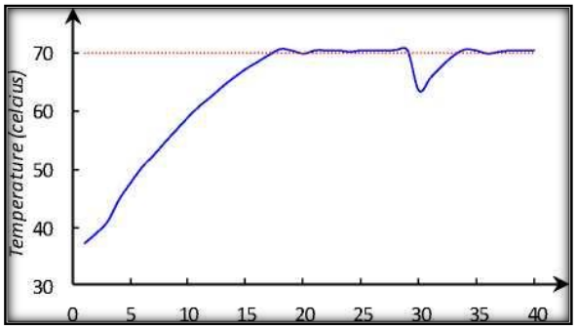
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 23 *Grafik Respon Suhu dengan Kontrol Logika Fuzzy Tanpa Gangguan*

Dari Gambar 13 terlihat bahwa system pengering dengan kontrol logika fuzzy tanpa gangguan tersebut butuh waktu 20 menit untuk mencapai suhu set point yaitu 70^{o}C. Sedangkan nilai steady state rata-rata nya sebesar 70.5 ^{o}C dan nilai range steady state respon suhu menggunakan kontrol logika fuzzy antara 70,05 ^{o}C - 70,90 ^{o}C.

Adapun grafik pada Gambar 4.6 menunjukkan respon suhu menggunakan kontrol logika fuzzy terhadap gangguan. Hasil pengamatan : pada menit 29 respon suhu mendapatkan gangguan selama 1 menit pada menit ke 30, suhu turun menjadi 64^{o}C dan pelanpelan naik kembali menuju set point (yaitu 70^{o}C) pada menit ke 35. Kondisi ini menujukkan bahwa kontrol logika fuzzy yang digunakan bekerja sesuai dengan yang diinginkan/perencanaan karena ketika diberi gangguan suhu turun tetapi tidak lama kemudian suhu kembali ke suhu set point.



Gambar 24 *Grafik Respon Suhu dengan Kontrol Logika Fuzzy dengan* Gangguan

11 5. Kesimpulan

Dari hasil pengambilan data pada beberapa percobaan dan pengujian dapat disimpulkan antara lain adalah :

1. Rangkaian AC to AC Voltage Controller, yang memiliki tegangan keluaran nominal 215 volt untuk mensuplai heater. Ketika firing angle 40^{o}, sedangkan prosentase error tegangan keluaran AC to AC Voltage Controller relative kecil yaitu adalah 5,449 %.
2. Hasil uji rangkian AC to AC Controller yang cukup bagus tersebut berdampak bagus pula pada sistem kontrol suhu dengan logika fuzzy pada pengering irisan kripik singkong dalam mempertahankan suhu sesuai dengan nilai set point. Hal ini disimpulkan berdasarkan data antara lain: range steady state, yaitu antara suhu 70,05^{o}C - 70,90^{o}C, dengan nilai steady state rata -rata 70,5^{o}C.
3. Dilihat dari segi waktu pencapaian set point , control suhu dengan logika fuzzy ini juga lebih cepat. Berdasar data pada pengeringan awal, respon suhu untuk menuju set point membutuhkan waktu 20 menit. Dan ketika respon suhu dalam keadaan steady state, lalu mendapatkan gangguan, suhu turun menjadi 64 ^{o}C dan kembali menuju set point 70 ^{o}C dalam durasi waktu 6 menit.
4. Selain dari apa yang disebutkan di atas, hasil produk pengering irisan kripik singkong ini lebih hygiene karena tempat pengeringnya bersih, tertutup dan lebih cepat sehingga menghindarkan dari tumbuhnya jamur.
5. Karena sistem pengeringan irisan keripik singkong dengan kontrol logika fuzzy ini dalam ruang yang bersih, tertutup dan temperatur yang stabil sehingga proses pengeringan menjadi relatif lebih cepat kering. Hal ini dapat mengurangi potensi tumbuhnya jamur, tidak berbau dan tampilan lebih bersih/menarik, lebih hygiene. Dengan demikian kripik singkog hasil pengeringan system ini menjadi lebih disukai oleh konsumen sehingga nilai jualnya menjadi meningkat.

6. Daftar Pustaka

[1]. C. C. Lee – Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy logic controller- part 1,1 IEEE trans. Syst., Man, Cybern., Vol.20, pp. 404-418, 1990.

[2]. K. S. Rattan and G. S. Sandhu, —Analysis and design of proportional plus derivative fuzzy logic controller, Proc. National Aeronautics and Electronics Conference, Dayton, 1996.

[3]. M. Sugeno, Ed.: Industrial Applications of Fuzzy Control, North- Holland (1985).

[4]. Cheng-Jian Lin, —Temperature control using neurofuzzy controllers with compensatory operations and wavelet neural networks! Journal of Intelligent &Fuzzy Systems 17, 2006.

[5]. Koerniawan.A .2009 . "Rancang Bangun Rotary Dryer Sebagai Pengering Padi Berbasis Mikrokontroller".

.

[6]. P Singhalai, D.N Shah, B Patel,"Temperature Control Using Fuzzy Logic",. International Journal of Instrumentation and Control Systems (IJICS) Vol.4, No.1, January 2014,.Departemen of Instrumentation and Control, Sarvajanik College of Engineering and Technology Surat, Gujarat, India

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Sistem Pemantauan Waktu Nyata Menggunakan Labview Pada Pengendalian Kecepatan Motor BLDC Berbasis PID-Root Locus

[1]Ihsan Auditia Akhinov, [2]Robith Urwatal Wusko & [1]Nurul Fahmi Arief Hakim

[1]Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal.

Komplek Industri Gajah Tunggal, Jalan Gatot Subroto KM. 7, Pasir Jaya, Pasir Juga, Gandasari, Jatiuwung, Kota Tangerang, Banten,15001.

[2]Direktorat Metrologi, Kementerian Perdagangan Republik Indonesia.

Jl. Pasteur No.27, Pasir Kaliki, Cicendo, Kota Bandung, Jawa Barat 40171

ihsan@poltek-GT.ac.id, robith.u.w@gmail.com, nurulfahmiarief@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang teknologi BLDC yang banyak digunakan pada kendaraan listrik seperti motor listrik, sepeda listrik dan juga mobil listrik. Hal ini tidak lepas dari perawatan yang murah, torsi yang besar dan tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh motor BLDC sangat kecil. Untuk implementasi BLDC pada bidang transportasi diperlukan pengendalian kecepatan putaran motor. Pengendalian kecepatan pada paper ini didekati dengan metode PID . Parameter metode PID didapatkan berdasarkan analisis root locus. Hasil dari parameter tersebut ditanamkan pada atmega2560 dan dipantau menggunakan Labview. Hasil penelitian didapatkan bahwa pengendalian kecepatan motor BLDC mencapai peaktime 0.22 detik dan overshoot 2.2%.
Kata Kunci: BLDC,Root Locus, PID,Labview.

1 Pendahuluan

Motor Brushless Direct Current (BLDC) telah banyak digunakan pada kendaraan berbasis elektrik, seperti sepeda listrik, sepeda motor listrik. Hal ini tidak lepas dari kemampuan BLDC dalam menghasilkan torsi yang besar serta perawatan yang murah ketimbang dengan motor DC biasa dengan sikat[1][2][3].

Untuk pengoperasian BLDC dibutuhkan rangkaian inverter 3 fasa dan microcontroller yang mengatur *timing* komutasi gelombang input. *Timing* komutasi ini dilakukan berdasarkan posisi kutub yang akan dibaca oleh 3 sensor hall, dengan adanya sistem *timing* komutasi yang tepat, maka sinyal masukan pada BLDC mempunyai beda fasa 60 derajat. Proses inilah yang menjadi pembangkit sinyal trapezoid 3 fasa untuk motor BLDC.

Untuk menjaga kecepatan pada motor BLDC sesuai dengan referensi masukan diperlukan penambahan sistem kendali. Dalam hal ini penulis menggunakan metoda PID yang didapatkan menggunakan *root locus*.

Pengamatan dilakukan secara realtime pada software Labview. Untuk proses persamaan sistem didapatkan menggunakan sistem identifikasi yang disediakan oleh MATLAB dan pengaturan *timing* komutasi dilakukan oleh atmega2560.

2 Diskusi

2.1 Dasar Teori

Untuk teori yang digunakan pada perancangan sistem kendali PID pada motor BLDC ini terdiri dari BLDC, PID dan Root Locus.

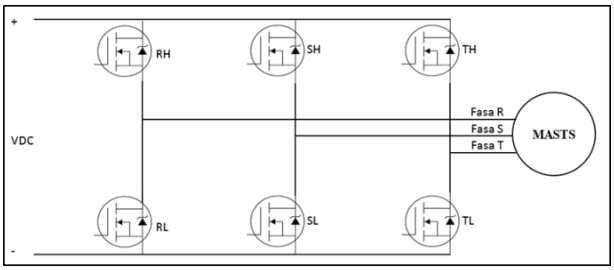
2.1.2 Motor BLDC

Pada BLDC tidak terdapat sikat seperti pada motor DC biasa, oleh karena itu pada motor ini untuk menentukan *timing* komutasi dengan bantuan 3 sensor hall. Pada sensor Hall, *timing* komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan 3 buah sensor hall untuk mendapatkan 6 kombinasi yang berbeda. Untuk tabel komutasinya dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar rangkaian dapat dilihat pada Gambar 1 [1][2][3][4].

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 2 Kombinasi pensaklaran dengan 2 saklar terhubung untuk motor dan sensor hall

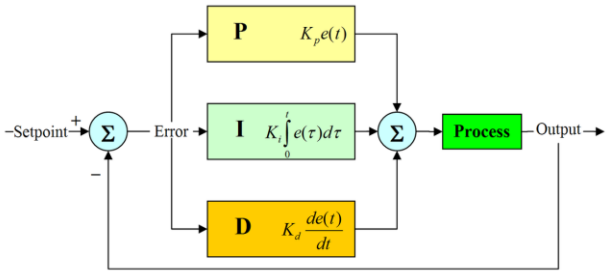
No	ha	hb	hc	Keluaran Mosfet					
				RL	RH	SL	SH	TL	TH
0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0	1	0	0	1
3	1	0	1	0	1	1	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	1	0
5	0	1	1	0	0	0	1	1	0



Gambar 21 Saklar Inverter 3 fasa.

2.1.2 PID

Sistem PID terdiri dari Pengendali proposional, integral dan derivatif. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kontrol PID.

Parameter nilai Kp, Ki dan Kd berpengaruh terhadap respon sistem. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2 [4][5].

Tabel 2 Respon Sistem Terhadap Perubahan Parameter

Parameter	Waktu Naik	Overshoot	Settiling time	Error keadaan tunak
Propotional (Kp)	-	+	Perubahan sedikit	-
Integral (Ki)	-	+	+	hilang
Derrivative (Kd)	Perubahan sedikit	-	-	Perubahan sedikit

Note : + = bertambah

- = berkurang

Untuk persamaan PID pada sinyal analog dapat dilihat pada [6][7] :

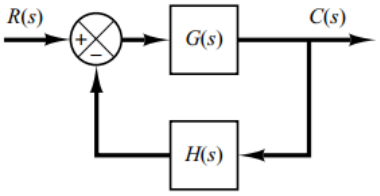
$$C(t) = K[e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)\,dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (1)$$

Untuk sinyal digital :

$$C(z) = K.e(z)[1 - \frac{T}{2T_i} + \frac{T}{T_i}.\frac{1}{1-z^{-1}} + \frac{T_d}{T}.(1 - z^{-1})] \quad (2)$$

2.1.3 Root Locus

Jika sistem closed loop pada Gambar 3 [6] .



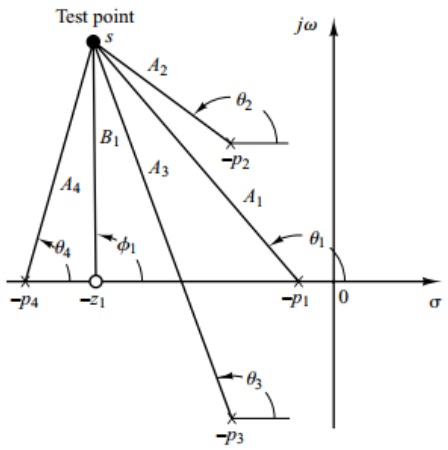
Gambar 2 Closed Loop sistem.

Mempunyai fungsi alih :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (3)$$

Jika dilihat persamaan karakteristiknya maka jumlah sudutnya terhadap satu titik uji adalah

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 3 S-Plane Root Locus.

$$\angle G(s)H(s) = \phi_1 - \theta_1 - \theta_2 - \theta_3 - \theta_4 \quad (4)$$

Sedangkan fungsi alih yang akan digunakan pada motor BLDC didekati untuk Orde 2.

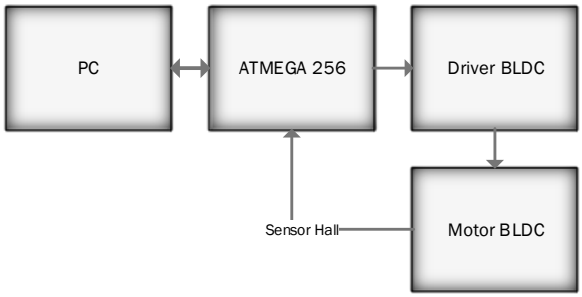
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (5)$$

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} \quad (6)$$

2.2 Perancangan

2.2.1 Hadware

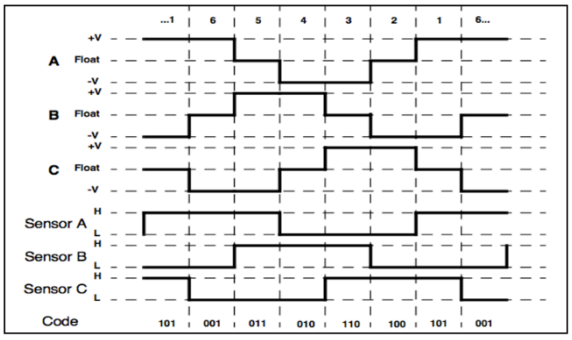
Untuk pengoperasian motor BLDC melalui perangkat keras, dapat dilihat pada Gambar 4 tentang *block diagram* pengoperasian motor BLDC.



Gambar 4 Diagram Pengoperasian Motor BLDC.

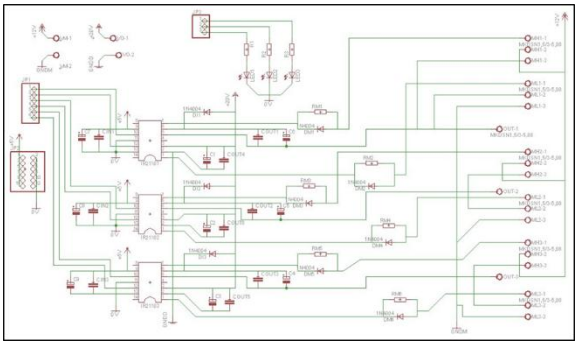
Pada PC akan terdapat software Labview yang berguna sebagai monitoring dan perekaman kecepatan motor BLDC, dan juga masukan kecepatan referensi. Sistem Komunikasi serial digunakan sebagai penghubung antara Labview dan atmega 2560, baud rate yang digunakan adalah 2.000.000.

Atmega2560 sebagai pengatur *timing* komutasi sehingga sinyal yang dihasilkan menggerakkan motor BLDC.



Gambar 5 Kombinasi komutasi berdasarkan kondisi sensor hall dan output tegangan yang dihasilkan.

Untuk driver motor BLDC dapat dilihat pada Gambar 6. Pada rangkaian ini menggunakan komponen utama mosfet dan optocoupler.



Gambar 6 Driver Motor BLDC.

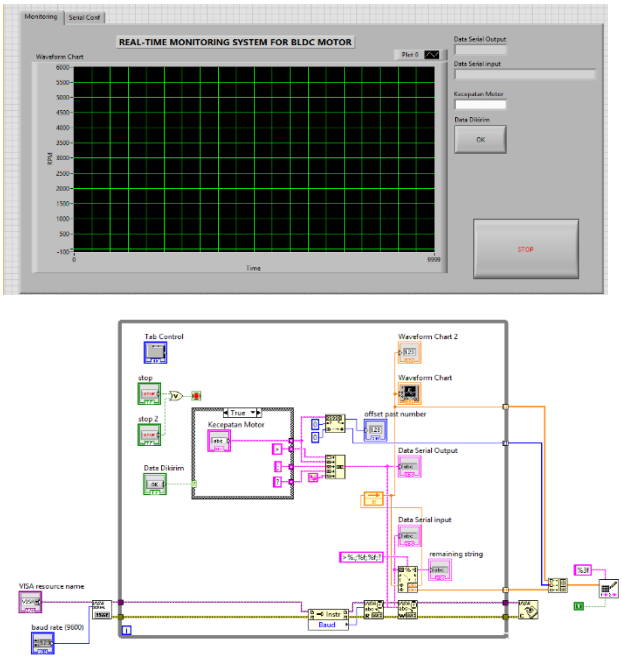
2.2.2 Perangkat Lunak

Implementasi yang pernah dilakukan menggunakan Labview adalah untuk mengendalikan kecepatan putaran motor DC menggunakan metode Fuzzy Inference System pada mesin cuci industri tekstil. Sistem tersebut memanfaatkan protocol VISA Labview sebagai penghubung sistem akuisisi data dan Komputer [8]. Konfigurasi inilah yang akan diterapkan untuk penilitian ini.

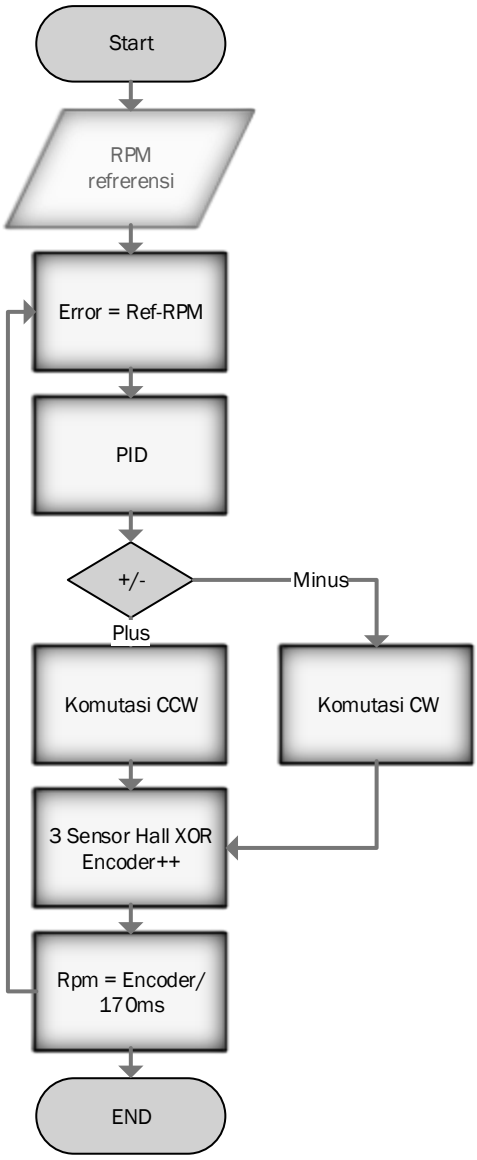
Untuk Tampilan Labview dapat dilihat pada Gambar 7. Sedangkan flowchart pemograman pengendali dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada pegendalian PID akan terdapat Komutasi CCW dan CW hal ini menandakan ketika sinyal pengendalian bernilai positif komutasi BLDC untuk orientasi putar berlawanan arah jarum jam dan ketika sinyal pengendali bernilai negatif maka komutasi yang dilakukan kebalikannya.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 7 Labview Program.



Gambar 8 Flowchart Program Pengendali.

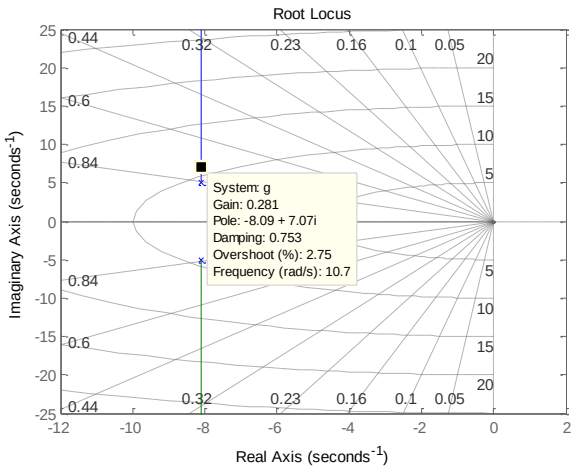
2.2.3 Perancangan PID dengan Root Locus

Pertama-tama hal yang dilakukan dalam perancangan pengendali PID adalah menetukan persamaan matematis dari sistem motor BLDC. Pada penelitian ini persamaan tersebut didapatkan dari sistem identifikasi signal yang terdapat pada MATLAB. Jadi data signal input dan respn output motor BLDC diolah menjadi persamaan matematis dengan bantuan toolbox MATLAB. Sedangkan persamaan didekati dengan sistem orde dua setara dengan motor DC biasa. Persamaanya adalah

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{89.81}{s^2+16.18s+90.24} \qquad (7)$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Setelah itu dilakuan pengamatan rootlocusnya



Gambar 9 Root Locus.

Selanjutnya dilakukan pemilihan konstanta damping. Untuk damping 0.753 didapatkan posisi pole -8.09+7.07i dengan nilai *gain* 0.281 serta besar θ adalah 138.849. Jika dilakukan analisa respon *closed loop*, Maka didapatkan parameter peaktimenya adalah 0.4441 detik. Jika dirancang sebuah PID dengan nilai *peaktime* 2/3 dari nilai sebelumnya kita akan mendapatkan persamaan Kp, Ki dan Kd. Sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{K.(s+a)(s+b)}{s} * \frac{89.81}{s^2 + 16.18s + 90.24}$$

pole imajiner/ ω_d :

$$= \frac{\pi}{\frac{2}{3}.0.0441} = -10.6075$$

Pole realnya :

$$= \frac{\omega_d}{tan\,\theta} = -12.137$$

Jika Pole yang pasti terdiri dari :

$$(s)(s + 8.09 - 4.98i)(s + 8.09 + 4.98i)$$

Maka jika digunakan persamaan 4 didapatkan nilai

$$\phi_1 + \phi_2 = 189.12$$

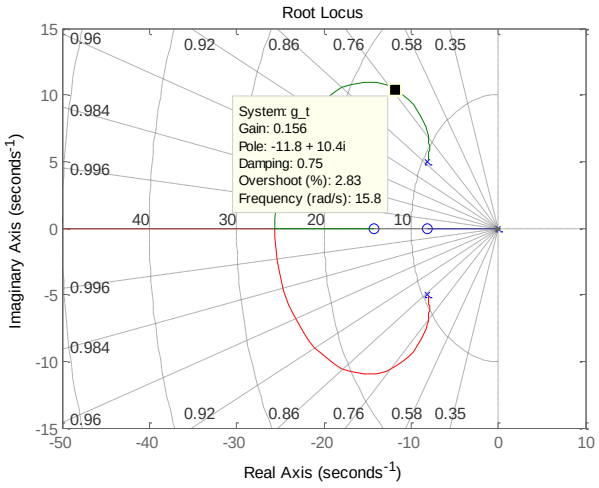
Jika ϕ_2 adaah 110 maka ϕ_1 = 79.1215 dengan menggunakan persaman phytagras untuk mencari zero yang tersisa akan didapatkan nilai :

$$(s + 14.175)(s + 8.139)$$

Sehingga persamaan G(s):

$$G(s) = \frac{K.(s+14.175)(s+8.139)}{s} * \frac{89.81}{s^2 + 16.18s + 90.24}$$

Untuk mencari nilai Gain setelah penambahan cntroler PID dapat menggunakan rot locus kembali :



Gambar 10 Root Locus dengan PID.

Maka akan didapatkan nilai K= 0.16. Selanjut persaman tersebut diubah menjadi fungsi continiu

$$C(t) = 3.57[e(t) + \frac{1}{0.193}\int e(t)\,dt + 0.00448\frac{de(t)}{dt}]$$

Dibuah menjadi persamaan diskrit dengan time sampling 1.4 ms :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

$$C(z) = 3.57.e(z)[0.996 + \frac{0.025}{1 - z^{-1}} + 11.424.(1 - z^{-1})]$$

Persamaan disktir inilah yang akan ditanamkan kedalam atmega 2560 yang mana untuk:

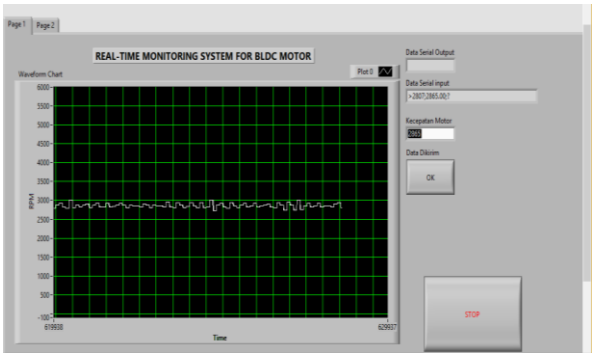
- Proposinal : error dikalikan 3.55

- Integral : jumlah error sekarang dan sebelumnya dikalikan dengan 0.025

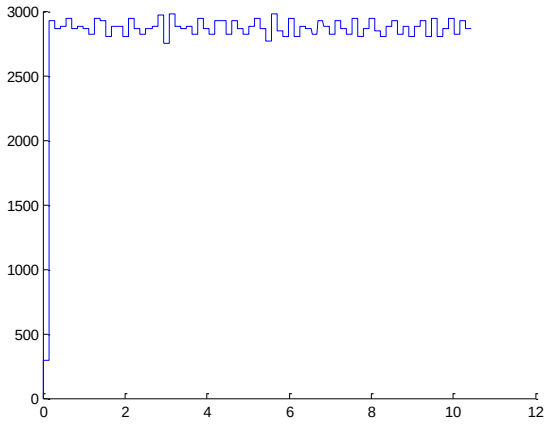
- Derivative : Selisih error sekarang dan error sebelumnya dikalikan 11.424.

2.3. Hasil

Untuk hasil penerapan PID dapat dilihat pada Gambar 11 ,yang terdiri dari sinyal keluaran dalam satuan rpm(*output*) dengan referensi.



Gambar 11 Hasil Penerapan PID dengan Root Lccus dengan referensi 2865 rpm.

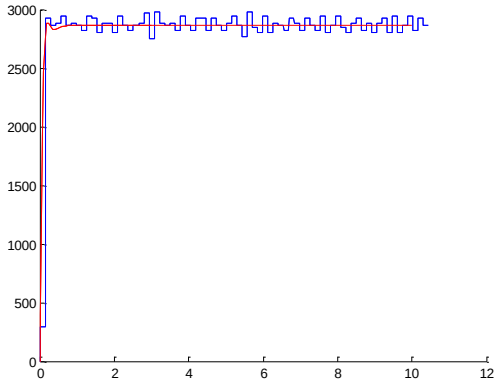


Gambar 12 Grafik Hasil Penerapan PID dengan Root Locus dengan referensi 2865 rpm.

Tabel 3 Respon sistem dengan PID

Parameter	Angka	Satuan
Peaktime	0.222	Detik
Overshoot	2.024	%

2.4. Analisa



Gambar 13 Perbandingan Sinyal Respon Simulasi dengan Aktual.

Hasil simulasi menggunakan matlab didapatkan nilai *peaktime* 0.211 . Jika dibandingkan dengan nilai *peaktime* pada perancangan seharusnya adalah 0.296. Hal ini terjadi dikarena pembulatan angka dalam perhitungan. Sehingga ada pergeseran sebesar 0.085 detik. Akan tetapi nilai yang aktual *peaktime* dibandingkan dengan simulasi mempunya selisih 0.01 detik. Hal ini bisa disebabkan waktu siklus suatu program pada atmega2560 tidak bersifat konstan. Sehingga dapat dapat menyebabkan pergeseran hasil dari seharusnya. Waktu siklus yang diambil dalam penentua PID-diskritnya adalah waktu siklus rata-rata.

Tabel 4 Hasil Simulasi

Parameter	Angka	Satuan
Peaktime	0.211	Detik
Overshoot	0.97	%

Untuk overshoot yang terjadi sebesar 2.024%. Lebih besar 1.1% dari simulasi. Hal ini dikarenakan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

resolusi kecepatan(rpm) yang besar, karena hasil jumlah encoder dalam satu putaran yang didapatkan dari logika XOR berjumlah 12. Terdiri dari 6 kondisi *on*, dan 6 kondisi *off*. Sehingga resolusi yang dihasilkan sangat besar. Besarnya nilai resolusi tersebut akan berpengaruh ke nilai error yang cukup besar ketika kecepatan mengalami osilasi disekitar referensi acuan. Nilai error yang cukup besar tersebut dikalikan dan diakumulasikan oleh algoritma PID yang menyebabkan sinyal pengendali yang dihasilkan cukup besar dalam rentang referensi acuan.

3 Kesimpulan

Hasil dari penerapan PID dengan Root locus adalah 0.222 detik untuk mencapai puncak dan 2.024% untuk nilai *overshoot*-nya. Perancangan PID dengan rootlocus dapat mengacu pada *peaktime* dikarena jika menginginkan respon sinyal yang cepat, dapat didekati dengan membuat nilai *peaktime*-nya menjadi lebih kecil sehingga nilai *rise time* dapat menjadi lebih cepat juga.

Semakin cepat perancangan peaktime yang dibuat maka akan berpengaruh pada nilai *overshoot* dan juga *settling time*.

Untuk banyak encoder dalam satu putaran akan berpengaruh terhadap resolusi kecepatan putar yang dihasilkan. Nilai resolusi yang kecil akan membuat keakuratan nilai error sehingga pengendalian menjadi lebih baik.

4 Nomenklatur

K = Gain

Tp = Peaktime

Vi = Tegangan input

Vo = Tegangan output

ϕ = Sudut Zero

θ = Sudut Pole

ω_d = Damped natural frequency

ω_n = Undamped natural frequency

ξ damped

5 Daftar Pustaka

[1] R. Urwatal Wusko, I. Munawar, “Desain dan Impementasi Extended PC-104 Sebagai Modul Pendukung Perancangan Sistem Pengendalian Pengoperasian Motor Arus Tanpa Sikat Tanpa Sensor Menggunakan Frekuensi Tangga” Seminar Nasional IPTEK Penerbangan dan Antariksa XX-2016.

[2] M.P. Chavhan, S.M.Shinde, “Modeling and Simulation of a Controller of Brushless DC Motor for Electric Vehicle Application” National Conference on Innovative Trends in Science and Engineering (NC-ITSE'16) Volume: 4 Issue: 7,2016.

[3] Z.Y. Pan, F.L. Luo, “Steady state reference current determination technique for brushless DC motor drive system”, IEE Proc.-Elec. Pow.

[4] M. Nasri, H. Nezamabadi-pour, M. Maghfoori, “A PSO-Based Optimum Design of PID Controller for Linear Brushless DC motor”, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Information Engineering Vol:1, No:2, 2007.

[5] M.Ali, “Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab “,Jurnal Edukasi@Elektro Vol. 1, No. 1, Oktober 2004.

[6] K. Ogata, “Modern Control Engineering Fifth Edition,” Prentice Hall, 2010.

[7] K. Ogata, “Discrete-Time Control Systems Second Edition,” Prentice Hall, 1995.

[8] D. Handaya, Y.P. Nugraha, I.A. Akhinov, P. Bakti, A. Adiwilaga. “Simulasi Mesin Cuci Industri Tekstil Berbasis Kendali Fuzzy dan Interface LabVIEW 2014”. Simposium Inovasi dan Pembelajaran Sains, FMIPA ITB,2016.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Video Motion Analysis untuk Evaluasi Performansi Gerakan Penusukan pada Robot Pemosisi Jarum Spinal

Jessica Sutanto, Hesty Susanti and S Suprijanto

[1]Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

(corresponding author) jessicasutanto9821@gmail.com)*

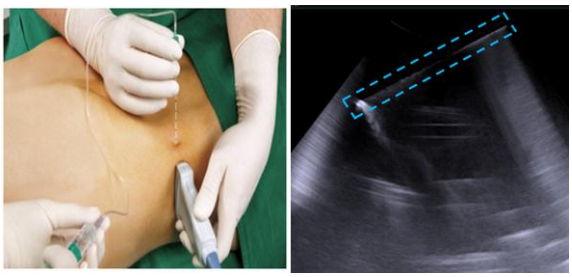
Abstrak

Dalam beberapa dekade terakhir ini, penggunaan USG sebagai umpan balik citra dalam prosedur intervensional invasif minimal semakin meningkat. Namun, pencitraan tersebut memiliki masalah krusial, yaitu visibilitas jarum yang tidak konsisten. Untuk mempelajari faktor yang mempengaruhi visibilitas tersebut dibutuhkan sebuah sistem robot pemosisi jarum yang memenuhi beberapa kriteria, diantaranya (i) jarum dapat bergerak bebas dalam *field of view* (FOV) transduser dan posisi jarum sejajar dengan transduser, (ii) mampu melakukan variasi posisi jarum ke arah sumbu X dan Z, rotasi, dan gerakan penusukan. Sistem robot tersebut akan diuji tingkat akurasi dan linearitas dengan melakukan skenario gerakan penusukan dan gerakan pemosisian ujung jarum pada koordinat kisi. Untuk mengevaluasi kemampuan dalam membuat trajektori garis lurus dan pemosisian jarum pada kisi, digunakan pendekatan *video motion analysis* untuk mendapatkan parameter pengujian, seperti RMSE dan linearitas, dari koordinat selama penusukan. Perekaman video dikondisikan secara khusus agar informasi jarum dapat dicitrakan dengan kontras optimal dan pada 30 fps. Posisi ujung jarum (koordinat (x,y)) dideteksi dengan melakukan segmentasi citra dan kontras maksimum pada penanda ujung jarum. Hasil pengujian menunjukkan pendekatan analisa performansi proses penusukan jarum menggunakan *video motion analysis* dapat digunakan untuk uji performansi robot pemosisi jarum spinal.

Kata Kunci: video motion analysis, segmentasi citra, kontras maksimum, jarum spinal

1 Pendahuluan

Prosedur intervensional invasif minimal merupakan suatu penanangan atau proses diagnosis yang melibatkan proses pengirisan dan pemasukan alat ke dalam tubuh. Pada umumnya, proses ini menggunakan bantuan umpan balik citra berupa ultrasonografi (USG). Namun, penggunaan USG ini memiliki masalah visibilitas jarum yang tidak konsisten. Dari laporan klinis para dokter, terdapat lebih dari 100 prosedur dengan bantuan USG yang memiliki permasalahan visibilitas pada ujung jarumnya [1]. Padahal visibilitas jarum yang konsisten sangat penting karena dapat meningkatkan tingkat keberhasilan prosedur dan mempercepat waktu pelaksanaan prosedur.



Gambar 25. prosedur intervensional invasif minimal (kiri) dan contoh hasil citra USG yang visibilitas jarumnya tidak kosisten (kanan)

Pentingnya konsistensi visibilitas jarum tersebut mendorong munculnya kebutuhan untuk melakukan pengujian terhadap parameter yang mempengaruhinya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diperoleh bahwa perambatan gelombang ultrasonik, perbedaan karakterisitik akustik antar medium, serta bentuk dan dimensi yang unik dari jarum merupakan parameter – parameter yang dapat mempengaruhi fenomena fisis perambatan dan interaksi gelombang (hamburan resonansi) pada jarum [2].

Untuk melakukan pengujian terhadap parameter tersebut, dibutuhkan suatu robot pemosisi jarum yang memenuhi beberapa kebutuhan spesifik, sebagai berikut. (i) mampu memvariasikan posisi jarum, (ii) menghasilkan gerakan yang konsisten, akurat, dan presisi (iii) posisi jarum sejajar dengan posisi transduser, namun dapat bergerak bebas di dalam FOV transduser. Sistem robot tersebut perlu diuji dengan melakukan skenario gerakan pensukan pada berbagai posisi jarum dan gerakan pemosisian ujung jarum pada koodinat kisi. Pengujian ini bertujuan agar sistem robot tersebut memenuhi kebutuhan spesifik yang dibutuhkan. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi kinerja sistem robot tersebut, pada penelitian ini, digunakan pendekatan *video motion analysis* untuk mendapatkan nilai parameter yang dapat digunakan sebagai ukuran kemampuan robot.

2 Diskusi

Video motion analysis merupakan sebuah pendekatan yang digunakan untuk mendapatkan informasi dari objek bergerak di dalam sebuah

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

video. *Video motion analysis* ini umumya digunakan dalam cabang olahraga ataupun rehabilitasi untuk membantu para dokter dan pelatih mengamati dengan cermat faktor penyebab cidera. Namun, pada penelitian ini *video motion analysis* akan digunakan untuk mendapatkan posisi atau titik koordinat jarum yang diperlukan dalam perhitungan parameter – parameter evaluasi kinerja sistem robot, seperti parameter RMSE, linearitas, standar deviasi, dan standar kesalahan regresi.

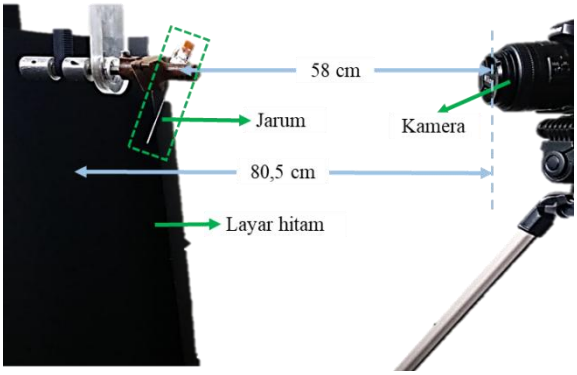
Pengujian kinerja tersebut dilakukan dengan mengevaluasi 2 skenario gerakan, yaitu gerakan penusukan dari kedalaman 1-5 cm dengan sudut penusukan 45° dan gerakan pemosisian ujung jarum pada koordinat kisi berukuran 3x3. Adapun objek dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jarum spinal 25G dengan panjang 9 cm dan terbuat dari *stainless steel* sebagai objek perekaman.
2. Kamera Nikon DX 1/1,8“ dengan panjang fokus 35 mm.

2.1 Metodologi Pengujian menggunakan Pendekatan *Video Motion Analysis*

Pengujian ini dilakukan di ruangan dalam keadaan gelap. Pertama – tama, kamera Nikon DX disiapkan dengan jarak antara jarum dan kamera sebesar 58 cm. Selanjutnya, jarum yang digunakan diwarnai putih pada ujung jarumnya. Hal ini untuk mempermudah pengolahan citra pada MATLAB. Pada pengujian ini juga digunakan layar hitam sebagai latar belakang pengambilan gambar jarum dengan jarak antara layar dan kamera sebesar 80,5 cm. Hal ini bertujuan agar ujung jarum yang diwarnai putih terlihat lebih kontras pada saat perekeman. Setelah itu, dilakukan perekaman gerakan jarum, yaitu gerakan penusukan dari kedalam 1-5 cm dengan sudut penusukan 45° dan gerakan pemosisian ujung jarum pada koordinat kisi berukuran 3x3.

Setelah direkam, video tersebut kemudian dikonversikan menjadi kumpulan gambar (30 *frame per second* (fps)) dengan bantuan perangkat lunak ‘*video converter*‘. Kumpulan gambar tersebut selanjutnya diolah citranya dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Adapun pengolahan citra menggunakan MATLAB ini bertujuan untuk mendapatkan informasi posisi jarum, yaitu koordinat sumbu-x (horizontal) dan sumbu-y (vertikal). Informasi posisi jarum tersebut diperoleh dengan mencari titik ujung jarum yang telah diwarnai putih atau mencari informasi posisi citra dengan warna kontras optimal.



Gambar 26. konfigurasi pengujian menggunakan pendekatan *video motion analysis*

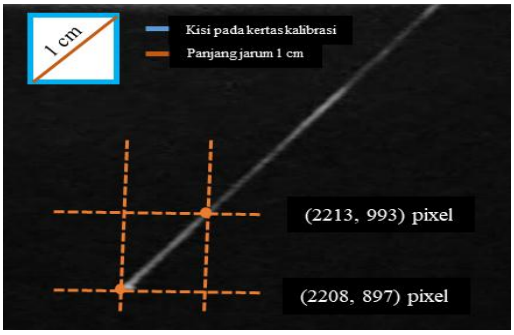
Namun, sebelum informasi tersebut dapat diperoleh, sebelumnya kumpulan gambar tersebut dipotong ke dalam ukuran yang lebih kecil atau hanya terlihat ujung jarum untuk mempermudah pencarian warna yang lebih kontras dan mengurangi adanya *noise* (warna putih lain yang muncul akibat resolusi kamera saat perekaman). Akan tetapi, ukuran potongan gambar tersebut harus konstan untuk sekumpulan gambar dalam sebuah video. Hal ini dikarenakan untuk menjaga konsistensi titik nol koordinat.

Setelah diperoleh informasi posisi jarum, selanjutnya data koordinat x,y jarum dalam satuan pixel diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel. Untuk mendapatkan nilai parameter – parameter yang dibutuhkan, yaitu RMSE, standar deviasi, linearitas, dan standar kesalahan regresi, kumpulan data tersebut harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam satuan millimeter (mm) atau centimeter (cm).

Untuk mencari tingkat akurasi posisi jarum yang ditentukan dengan parameter RMSE perlu dicari nilai panjang/jarak standar pada jarum yang bertujuan untuk menghilangkan faktor *field of view* dari kamera. *Field of view* (FOV) kamera ini menyebabkan terdapatnya perbedaan antara jarak pada gambar yang terekam dengan jarak yang sebenarnya sehingga data menjadi tidak akurat. Nilai FOV ini bergantung pada *optical format,* fokus *(focal length*), dan jarak antara kamera dengan objek sehingga pengaturan posisi kamera, jarum, dan layar sangat mempengaruhi nilai faktor pengali

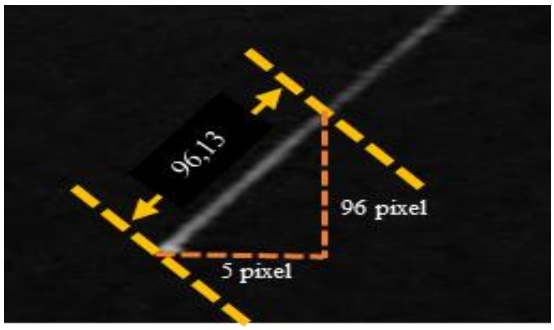
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

yang akan digunakan sebagai nilai untuk mengatasi masalah FOV ini.



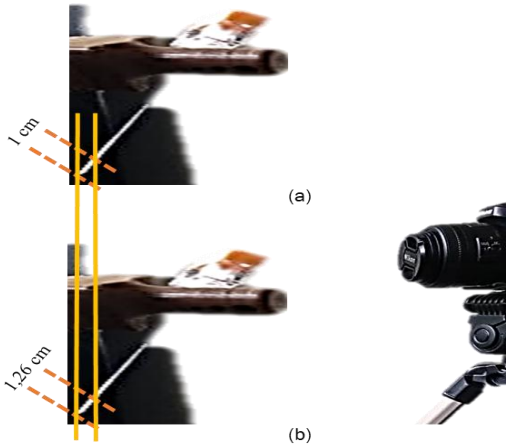
Gambar 27. posisi koordinat jarum berukuran 1 cm pada hasil citra rekaman

Dengan menggunakan perangkat lunak *online* 'FOV *Calculator*' diperoleh besarnya FOV yang terjadi pada lokasi jarum adalah 15,5 cm dan FOV yang terjadi pada lokasi layar adalah 30,7 cm. Dengan kedua nilai tersebut, diperoleh besarnya faktor pengali (k) yang merupakan perbandingan antara FOV pada lokasi jarum dengan FOV pada lokasi layar adalah sebesar 0,50. Selain itu, perlu dicari juga nilai panjang jarum 1 cm pada layar (jarak standar pada layar) yang terekam kamera. Dari hasil pengujian didapatkan jarak standar pada layar tersebut diwakili oleh titik koordinat (x_1, y_1) sebesar (2208, 897) pixel dan titik koordinat (x_2, y_2) sebesar (2213, 993). Dengan persamaan pythagoras, diperoleh jarak standar pada layar sama dengan 96,13 pixel.



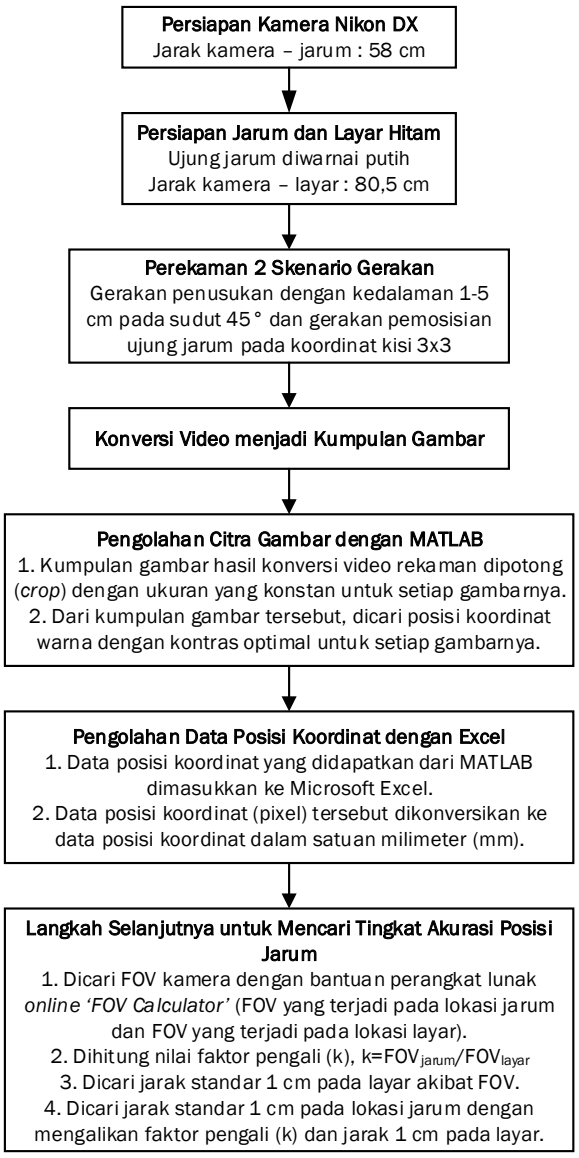
Gambar 28. panjang jarum 1 cm dari sudut pandang mata sama dengan panjang jarum 96,13 pixel dari sudut pandang kamera pada layar

Dengan mengalikan faktor pengali ke jarak standar pada layar diperoleh panjang jarum 1 cm pada jarum itu sendiri (jarak standar pada lokasi jarum), yaitu sebesar 48,53 pixel. Jika dikonversikan ke dalam satuan centimeter, diperoleh jarak standar pada jarum adalah sebesar 1,26 cm (1 cm panjang sebenarnya = 1,26 cm panjang jarum pada gambar).



Gambar 29. panjang jarum 1 cm dari sudut pandang mata (gambar a) sama dengan 1,26 cm dari sudut pandang kamera pada lokasi jarum (gambar b)

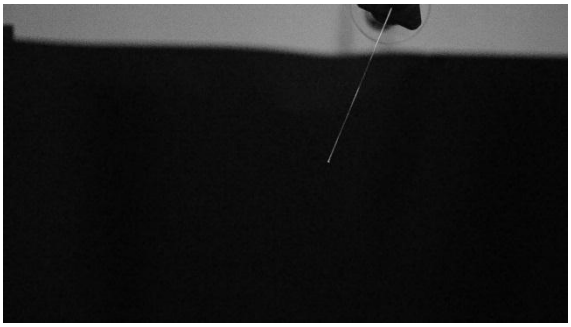
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



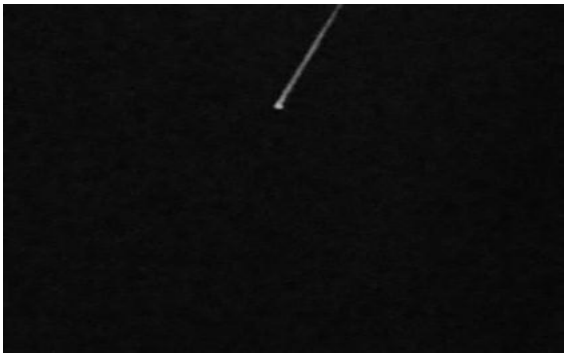
Gambar 30. diagram alir metodologi pengujian menggunakan pendekatan *video motion analysis*

2.2 Hasil Citra Pengujian menggunakan Pendekatan *Video Motion Analysis*

Berikut ini merupakan gambaran hasil citra dari saat perekaman hingga pengolahan menggunakan MATLAB.



Gambar 31. contoh citra hasil rekaman menggunakan kamera Nikon

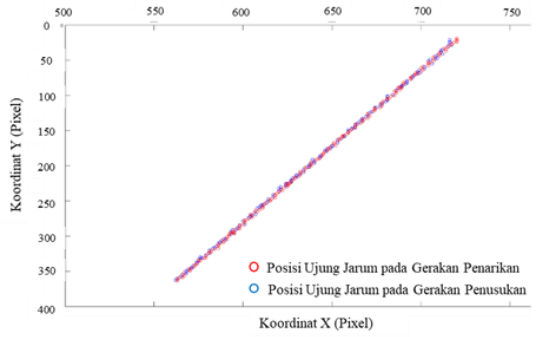


Gambar 32. contoh hasil citra yang sudah dipotong dengan ukuran *frame* yang diinginkan menggunakan MATLAB



Gambar 33. contoh hasil citra jarum dengan kontras warna paling optimal tidak terdapat pada ujung jarum

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 34. contoh hasil posisi ujung jarum pada gerakan penusukan dan penarikan pada MATLAB

3 Kesimpulan

Pendekatan *video motion analysis* berdasarkan warna kontras optimal dapat digunakan sebagai pendekatan untuk mencari informasi-informasi mengenai posisi jarum yang akan digunakan sebagai data masukan parameter evaluasi kinerja sistem robot pemosisi jarum. Namun pendekatan ini masih memiliki kekurangan yang disebabkan oleh faktor internal dari kamera dan faktor eksternal, yaitu cahaya dari lingkungan sekitar.

4 Daftar Pustaka

[1] R. Brull, D. Wijayatilake, A. Perlas, V. Chan, S. Abbas and G. e. a. Liguori, "Practice Patterns Related to Block Selection, Nerve Localization and Risk Disclosure: A Survey of The American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine," *Reg. Anesth. Pain Med.,* pp. 395-403, 2008.

[2] H. Susanti, Suprijanto and D. Kurniadi, "Two-Dimensional Mapping of Needle Visibility with Linear and Curved Array for Ultrasound-Guided Interventional Procedure," *AIP Conference Proceedings,* 2018.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018

Optimisasi Pengontrol LQR menggunakan Algoritma *Stochastic Fractal Search*

Yul Y. Nazaruddin, Franky & I G. N. A. Indra Mandala

Instrumentation and Control Research Group, Department of Engineering Physics,
Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

yul@tf.itb.ac.id

frankyl7997@gmail.com

inmangusti@gmail.com

Abstrak

Linear Quadratic Regulator (*LQR*) merupakan salah satu metoda kontrol optimal pada sistem yang berbasis ruang keadaan. Pengontrol LQR memiliki dua buah parameter yaitu matriks bobot Q dan R, yang harus ditentukan sehingga dapat menghasilkan aksi kontrol yang optimal sesuai harapan. Tidak seperti pengontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) yang memiliki metoda penalaan dengan pendekatan sistematis seperti *Ziegler-Nichols* dan *Cohen-Coon*, pengontrol LQR tidak memiliki metode penalaan khusus secara sistematis untuk menentukan matriks bobot Q dan R. Pada makalah ini diusulkan suatu solusi untuk menentukan parameter - parameter desain pengontrol LQR tersebut dengan menggunakan algoritma meta heuristik terbaru yaitu *Stochastic Fractal Search* (*SFS*). Algoritma SFS ini terinspirasi dari fenomena pertumbuhan alami dengan konsep matematis yang disebut fraktal. Dengan memanfaatkan sifat difusi dari fraktal secara acak (stokastik), partikel tersebut dapat melakukan eksplorasi dan eksploitasi dalam ruang pencarian secara efektif dan efisien. Pengontrol LQR dengan optimisasi menggunakan algoritma SFS yang diusulkan kemudian diterapkan pada suatu model kendaraan tanpa awak (*quadrotor*) dengan 12 variabel keadaan. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa hanya dengan 100 iterasi, posisi *quadrotor* dapat dikontrol dengan baik sehingga mampu mengikuti perubahan *set-point* yang diberikan dengan cukup memuaskan.

Kata Kunci: linear quadratic regulator; optimisasi; quadrotor; stochastic fractal search

1 Pendahuluan

Linear Quadratic Regulator (LQR) adalah metoda kontrol optimal yang sudah sering digunakan dalam berbagai bidang, contohnya dalam industri [1], robotik [2], maupun bidang keteknikan lain [3]. Keunggulan metoda ini adalah dapat memberikan solusi yang optimal untuk masalah pengontrolan sistem yang didefinisikan dalam ruang keadaan. Karena berbasis ruang keadaan, metode LQR dapat dengan baik memecahkan masalah pengontrolan pada sistem *Multi Input Multi Output* (MIMO).

Pengontrol LQR memiliki dua buah parameter yang harus ditentukan untuk menghasilkan aksi kontrol yang diharapkan, yaitu matriks bobot **Q** dan **R**. Namun, berbeda dengan pengontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) yang memiliki banyak metoda penalaan secara sistematis diantaranya *Ziegler-Nichols* dan *Cohen-Coon*, pengontrol LQR tidak memiliki metoda penalaan khusus untuk menentukan kedua parameter matriks bobot **Q** dan **R**.

Relasi antara matriks bobot **Q** dan **R** dengan dinamika dari sistem lup tertutup (*closed-loop system*) sangat kompleks. Dalam praktik, efek dari pasangan matriks bobot terhadap perilaku lup tertutup dari sistem tidak dapat diprediksi. Salah satu pendekatan yang dilakukan sering kali hanyalah mencoba-coba serangkaian pasangan matriks bobot dalam rentang tertentu kemudian memilih pasangan yang menghasilkan respon dinamik yang diinginkan [4]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini diusulkan penggunaan suatu algoritma meta-heuristik untuk melakukan optimisasi matriks bobot **Q** dan **R**.

Algoritma meta-heuristik adalah algoritma optimisasi yang terispirasi dari karakteristik atau perilaku suatu objek atau makhluk hidup yang ada di alam. Algoritma meta-heuristik sering digunakan untuk memecahkan masalah sulit dalam ruang pencarian yang besar. Salah satu contoh algoritma meta-heuristik adalah algoritma *Stochastic Fractal Search* (SFS). Algoritma ini merupakan salah satu algoritma meta-heuristik terbaru yang telah terbukti lebih baik dibandingkan banyak algoritma lain yang sering digunakan seperti *Particle Swarm Optimizatio*n (PSO), *Cuckoo Search* (CS), *Modified Cuckoo Search* (MCS), *Gravitational Search Algorithm* (GSA), dan *Artificial Bee Colony* (ABC) [5]. Keunggulan dari algoritma SFS tidak hanya dari segi akurasi tinggi dan waktu konvergensi yang relatif singkat, algoritma ini juga relatif mudah untuk diimplementasikan.

Dalam penelitian ini, algoritma SFS digunakan untuk melakukan optimisasi terhadap matriks bobot Q dan R sehingga dapat mengurangi waktu pencarian nilai kedua parameter ini secara signifikan, sekaligus mendapatkan nilai matriks bobot yang optimal sehingga respon dinamik dari sistem yang dikontrol sesuai dengan kriteria tertentu. Sistem yang akan dikontrol adalah kendaraan tanpa awak yaitu *Quadrotor*. Model *Quadrotor* yang digunakan memiliki 12 variabel keadaan dengan 4 buah masukan dan 3 buah keluaran yaitu posisi dalam arah sumbu x, y, dan z (variabel yang akan dikontrol) [6].

2 Formulasi Masalah

11.1 2.1 Model *Quadrotor*

Quadrotor dikategorikan sebagai salah satu permasalahan yang sangat menantang dalam kontrol terapan dikarenakan kompleksitas, non-linearitas, dan karakteristik *underactuated*-nya [7]. Banyak peneliti yang telah memodelkan dinamika dari *Quadrotor* dengan beragam pendekatan. Dalam penelitian [6] terdapat dua model *Quadrotor*, yaitu model non-linier dan model hasil linierisasi. Penelitian ini akan menggunakan model hasil linearisasi sehingga metoda LQR dapat digunakan untuk merancang pengontrol untuk *Quadrotor*. Berikut merupakan model ruang keadaan dari *Quadrotor* yang digunakan.

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{x} = [\phi\ \theta\ \varphi\ p\ q\ r\ u\ v\ w\ x\ y\ z]^T \tag{2}$$

$$\boldsymbol{u} = \left[f_T\ \tau_x\ \tau_y\ \tau_z\right]^T \tag{3}$$

Dengan $\boldsymbol{x}$ adalah variabel keadaan yang terdiri dari orientasi sudut (ϕ, θ, φ), kecepatan sudut (p, q, r), kecepatan translasi (u, v, w), dan posisi translasi (x, y, z) dalam arah sumbu x, y dan z secara berturut – turut. $\boldsymbol{u}$ adalah variabel masukan yaitu gaya angkat (f_T), torsi dalam arah sumbu x (τ_x), torsi dalam arah sumbu y (τ_y), dan torsi dalam arah sumbu z (τ_z). $\boldsymbol{A}$ adalah matriks transisi keadaan dan $\boldsymbol{B}$ adalah matriks transisi masukan kontrol [6].

$$\boldsymbol{A} = \frac{\partial f(\boldsymbol{x},\boldsymbol{u})}{\partial \boldsymbol{x}}\Big|_{\substack{x=\bar{x}\\ u=\bar{u}}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{\partial f(\boldsymbol{x},\boldsymbol{u})}{\partial \boldsymbol{u}}\Big|_{\substack{x=\bar{x}\\ u=\bar{u}}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{I_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{I_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{I_z} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Variabel "g" pada persamaan (4) adalah percepatan gravitasi. Inersia pada arah sumbu x, sumbu y, dan sumbu z koordinat kartesian ditunjukkan oleh variabel "$I_x, I_y,$ dan I_z" pada persamaan (5) secara berturut – turut. Sementara variabel "m" adalah massa *quadrotor* [7].

11.2 2.2 Optimisasi Pengontrol LQR Menggunakan Algoritma SFS

Linear Quadratic Regulator (LQR) merupakan salah satu metode kontrol yang banyak diterapkan, sehingga banyak referensi yang telah membahas pengaplikasian metode kontrol optimal ini. Tinjau sistem dengan persamaan keadaan seperti persamaan (1). Pada prinsipnya, metoda LQR mencari suatu sinyal kontrol $\boldsymbol{u}$ yang meminimumkan indeks performansi J [7].

$$J = \int_0^\infty (\boldsymbol{x}^*\boldsymbol{Q}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{u}^*\boldsymbol{R}\boldsymbol{u})dt \tag{6}$$

Tanda "$*$" menunjukkan transpose konjugat dari suatu vektor atau matriks. Sementara sinyal kontrol $\boldsymbol{u}$ diberikan oleh persamaan berikut.

$$\boldsymbol{u} = -\boldsymbol{K}\boldsymbol{x} \tag{7}$$

$$\boldsymbol{K} = \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^*\boldsymbol{P} \tag{8}$$

Matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ merupakan matriks positif definit dan hermitian. Matriks $\boldsymbol{Q}$ sering disebut dengan matriks bobot keadaan dan matriks $\boldsymbol{R}$ sering disebut dengan matriks bobot pengontrolan. Kedua matriks ini harus dipilih sehingga persamaan Algebraic Riccati Equation (ARE) yaitu persamaan (9) dapat dipecahkan, dan didapatkan suatu matriks positif definit $\boldsymbol{P}$. Matriks $\boldsymbol{P}$ kemudian digunakan untuk mendapatkan matriks penguatan optimal $\boldsymbol{K}$ pada persamaan (8) sehingga didapatkan sinyal kontrol $\boldsymbol{u}$ [4].

$$\boldsymbol{A}^*\boldsymbol{P} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{A} - \boldsymbol{P}\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^*\boldsymbol{P} + \boldsymbol{Q} = 0 \qquad (9)$$

Penelitian ini menggunakan algoritma SFS untuk melakukan optimisasi matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$. Untuk menyederhanakan perhitungan, matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ diasumsikan merupakan matriks diagonal positif definit.

Algoritma SFS merupakan algoritma optimisasi yang sangat *powerful* namun cukup mudah untuk diimplementasikan. Secara umum, algoritma SFS terdiri dari dua proses utama yaitu proses difusi dan proses pembaruan. Sebelum melakukan kedua proses utama tersebut, perlu dilakukan inisialisasi pada setiap titik atau disebut partikel pencarian (P). Inisialisasi yang dilakukan adalah pada batas minimum (LB) dan maksimum (UB) dari ruang pencarian partikel, jumlah partikel awal (M) dalam ruang pencarian, jumlah maksimum difusi (D) setiap partikel, dan jumlah iterasi maksimum (G) yang akan dilakukan. Fungsi kecocokan yang akan digunakan juga harus ditentukan terlebih dahulu. Penelitian ini menggunakan fungsi kecocokan berupa *Integral Absolut Error* (IAE). Sejumlah M partikel awal kemudian disebar dalam ruang pencarian menggunakan persamaan berikut:

$$P_j = LB + \varepsilon \times (UB - LB), j = 1,2,\dots,M \qquad (10)$$

Proses difusi (11-12) menghasilkan partikel baru yang melakukan pencarian dalam ruang yang didefinisikan. Algoritma SFS menggunakan distribusi *Gaussian* untuk melakukan proses difusi. Proses ini sering disebut dengan *Gaussian Walks* (GW_1 & GW_2) atau proses *Diffusion Limited Aggregation* (DLA) yang membentuk pola pertumbuhan fraktal [5].

$$GW_1 = Gaussian(\mu_{BP}, \sigma) + (\varepsilon \times BP - \varepsilon' \times P_i) \qquad (11)$$

$$GW_2 = Gaussian(\mu_P, \sigma) \qquad (12)$$

Nilai rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) untuk proses difusi pada persamaan (11-12) diberikan oleh persamaan berikut:

$$\mu_{BP} = |BP| \;\&\; \mu_P = |P_i| \qquad (13)$$

$$\sigma = \left|\frac{\log(g)}{g} \times (P_i - BP)\right| \qquad (14)$$

dengan BP adalah partikel terbaik yang didapatkan dengan menguji setiap partikel dengan fungsi kecocokan yang digunakan, P_i adalah partikel ke-i yang melakukan difusi, dan g adalah jumlah iterasi yang telah dilakukan pada saat partikel melakukan difusi. Variabel ε dan ε' adalah angka acak yang terdistribusi *uniform* pada rentang nilai 0 – 1.

Setelah melalui proses difusi, partikel kemudian melalui proses pembaruan. Proses pembaruan terdiri dari proses pembaruan pertama dan proses pembaruan kedua. Proses pembaruan pertama diawali dengan pemberian nilai probabilitas kepada setiap partikel berdasarkan urutan nilai kecocokan partikel terhadap fungsi yang diminimumkan. Pemberian probabilitas ini bertujuan untuk memberikan nilai probabilitas tertinggi kepada partikel dengan nilai kecocokan terbaik sehingga memperbesar peluang partikel terburuk untuk diganti. Nilai probabilitas (Pa_i) ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$Pa_i = \frac{urutan\ partikel\ (P_i)}{jumlah\ partikel\ (N)} \qquad (15)$$

Setelah diberi nilai probabilitas, maka partikel yang memiliki nilai $Pa_i < \varepsilon$ akan diperbarui nilainya dengan persamaan:

$$P_i'(j) = P_r(j) - \varepsilon \times (P_t(j) - P_i(j)) \qquad (16)$$

dengan P_i' adalah posisi terbaru partikel, P_i adalah posisi partikel sebelumnya, sementara P_r dan P_t adalah partikel yang dipilih secara acak.

Setelah tahap pembaruan pertama selesai, maka seluruh partikel akan melakukan proses pembaruan kedua yang mirip dengan proses sebelumnya. Seluruh partikel diberi probabilitas

sesuai persamaan (15) kemudian dilakukan pembaruan dengan dua kondisi berikut:

$$P_t'' = P_i' - \hat{\varepsilon} \times (P_t' - BP), \ \ jika\ \hat{\varepsilon} \leq 0.5 \qquad (17)$$

$$P_t'' = P_i' + \hat{\varepsilon} \times (P_t' - P_r'), \ \ jika\ \hat{\varepsilon} > 0.5 \qquad (18)$$

dengan P_t'' adalah posisi partikel terbaru, P_r' dan P_t' adalah partikel setelah proses pembaruan pertama yang dipilih secara acak, dan $\hat{\varepsilon}$ adalah angka acak yang dihasilkan berdasarkan distribusi *Gaussian* standar. Gambaran lengkap dari algoritma SFS adalah sebagai berikut [5]:

Algoritma Pseudo dari SFS

#Inisialisasi partikel berdasarkan (10)

#Cari nilai partikel terbaik (BP)

#Dibuat suatu fungsi untuk melakukan difusi

def Difusi (P_i, g, D)**:**

  for i **in range**(D)**:**

    #Untuk setiap partikel

    if (kondisi untuk GW_1)**:**

      #buat titik baru berdasarkan GW_1

    else (kondisi untuk GW_2)**:**

      #buat titik baru berdasarkan GW_2

  return P_{baru}

#algoritma utama

for g **in range**(G):

  #lakukan difusi untuk setiap partikel

  Difusi (P_i, g, D)

  #perbarui nilai BP

  #lakukan proses pembaruan pertama

  #pemberian probabilitas berdasarkan (15)

  for i **in range**(jumlah seluruh partikel):

    #untuk setiap komponen pada partikel

    if $\varepsilon \geq Pa_i$:

    #perbarui titik berdasarkan (16)

    else:

    #tidak lakukan apa-apa

  #perbarui nilai BP

  #lakukan proses pembaruan kedua

  #pemberian probabilitas berdasarkan (15)

  for i **in range**(jumlah seluruh partikel):

    #untuk setiap partikel baru P_i'

    if $\varepsilon \geq Pa_i'$:

    #perbarui titik berdasarkan persamaan (17)

      dan (18)

    else:

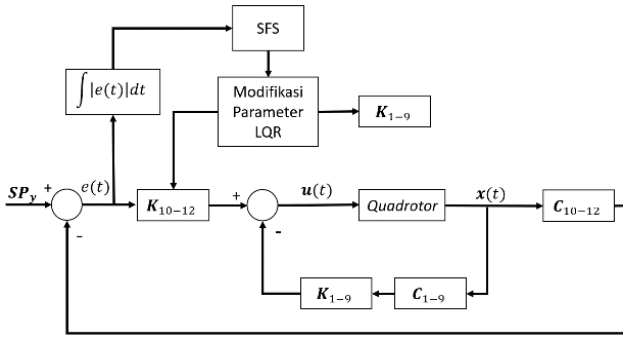
    #tidak lakukan apa-apa

  #perbarui nilai BP

---

3 Implementasi dan Evaluasi

Posisi translasi *Quadrotor* (x, y, z) akan dikontrol menggunakan pengontrol LQR yang dioptimisasi menggunakan algoritma SFS. Keseluruhan proses digambarkan dalam diagram blok berikut:



Gambar 1. Diagram blok proses optimisasi pengontrol LQR pada *quadrotor*

dengan $\boldsymbol{SP}_{\tilde{y}}$ merupakan nilai *set-point* untuk posisi translasi *Quadrotor* (x, y, z), $\boldsymbol{u}(t)$ merupakan sinyal kontrol, $\boldsymbol{x}(t)$ merupakan seluruh variabel keadaan yang berjumlah 12 yaitu persamaan (2), $\boldsymbol{C}$ adalah matriks keluaran dan $\boldsymbol{y}(t)$ merupakan keluaran sistem yaitu posisi translasi dari *Quadrotor* (x, y, z). Indeks pada matriks $\boldsymbol{K}$ dan $\boldsymbol{C}$ pada Gambar 1 menunjukkan indeks dari variabel keadaan yang digunakan. Karena output $\boldsymbol{y}(t)$ mengambil variabel keadaan $x, y,$ dan z yang memiliki indeks 10, 11, dan 12 maka digunakan matriks $\boldsymbol{C}_{10-12}$, begitu seterusnya untuk menyederhanakan penggambaran.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan parameter *Quadrotor* seperti Tabel 1. Fungsi kecocokan yang digunakan pada proses optimisasi pengontrol LQR menggunakan algoritma SFS adalah *Integral Absolute Error* (IAE), berbentuk.

$$IAE = \int_0^t |e(t)|dt \tag{19}$$

$$e(t) = \boldsymbol{SP}_{\boldsymbol{y}} - \mathbf{y}(t) \tag{20}$$

Tabel 1. Parameter model *Quadrotor*

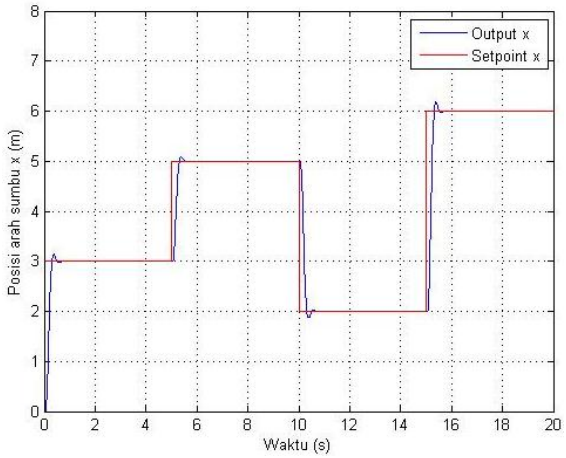
I_x	$0{,}01\ kg\ m^2$
I_y	$0{,}01\ kg\ m^2$
I_z	$0{,}2\ kg\ m^2$
m	$0{,}5\ kg$
g	$9{,}8\ m/s^2$

Parameter SFS yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 2. Karena matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ harus positif definit, maka ruang pencarian tidak boleh negatif. Matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ yang digunakan adalah matriks diagonal, dengan dimensi 12 x 12 untuk $\boldsymbol{Q}$ dan 4 x 4 untuk $\boldsymbol{R}$ sehingga satu buah partikel (P) berada pada ruang vektor dengan dimensi 16.

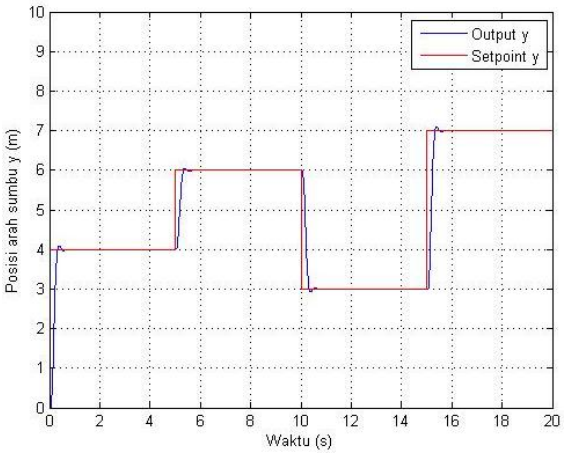
Tabel 2. Parameter SFS

LB	0,01
UB	1000
M	100
D	5
G	100
Probabilitas GW_1	0,3
Dimensi vektor	16

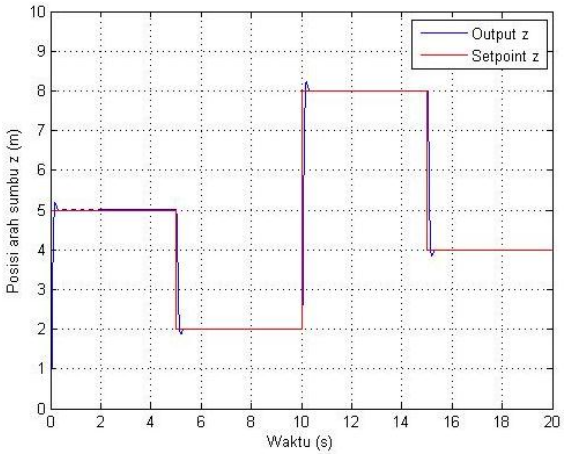
Setelah melakukan 100 iterasi, didapatkan nilai matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ yang menghasilkan sinyal kontrol optimal. Respons *Quadrotor* (posisi $x, y,$ dan z) terhadap beberapa nilai *set-point* yang berbeda diperlihatkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Posisi x *Quadrotor* dengan beberapa perubahan nilai *set-point*



Gambar 3. Posisi y *Quadrotor* dengan beberapa perubahan nilai *set-point*



Gambar 4. Posisi z *Quadrotor* dengan beberapa perubahan nilai *set-point*

Berdasarkan hasil simulasi, pengontrol LQR mampu mengontrol posisi *Quadrotor* dengan baik. Nilai IAE akhir yang didapatkan adalah 630,7 dengan persentase *maximum overshoot* respon terbesar hanya 2,81% dan *settling time* kurang dari 1 detik. Hal ini menunjukkan superioritas dari algoritma SFS dalam mengoptimisasi parameter pengontrol LQR. Hanya dengan 100 iterasi, algoritma SFS telah mendapatkan nilai optimal untuk matriks $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ dalam ruang pencarian yang besar.

4 Kesimpulan

Suatu alternatif teknik perancangan pengontrol LQR telah dikembangkan pada penelitian ini dengan menggunakan algoritma SFS, sehingga diperoleh matriks perancangan $\boldsymbol{Q}$ dan $\boldsymbol{R}$ yang optimal dalam waktu yang relatif cepat pada ruang pencarian yang relatif besar. Metode LQR yang dikembangkan ini kemudian diterapkan untuk mengontrol suatu model kendaraan tanpa awak (*Quadrotor*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Quadrotor* dapat mengikuti beberapa perubahan *set-point* yang diberikan dengan performansi yang sangat baik. Penelitian ini menunjukkan superioritas dari algoritma SFS, yang dapat menjadi salah satu alternatif metode untuk memecahkan masalah optimisasi, terutama dalam bidang kontrol.

5 Daftar Pustaka

[1] J. D. Lopez, J. J. Espinosa, and J. R. Agudelo, "LQR control for speed and torque of internal combustion engines," Proceed. of the 18th World Congress, The International Federation of Automatic Control (IFAC), Milano, Italy, August 28th – September 2nd, 2011, Vol. 44, pp. 2230-2235

[2] M. Shweda, J. L. Nandagopal, and S. Amritha, "Coupled dynamic control of unicycle robot using integral linear quadratic regulator and sliding mode controller," Proceed. of the International Conference on Processing of Materials, Minerals, and Energy, Ongole, Andhra, Pradesh, India, July 29th – 30th, 2016, Vol. 5, pp. 1447-1454

[3] P. Escarate, J. C. Aguero, S. Zuniga, M. Castro, and J. Garces, "Linear quadratic regulator for laser beam shaping," Journal of Optics and Lasers in Engineering, 2017, Vol. 94, pp. 90-96

[4] B. Friedland, "Control system design: an introduction to state space methods," Dover, 2004

[5] H. Salimi, "Stochastic fractal search: a powerful metaheuristic algorithm," Journal of Knowledge-Based Systems, 2015, Vol. 75, pp. 1-18

[6] F. Sabatino, "Quadrotor control: modeling, nonlinear control design, and simulation," Master's Degree Project, KTH Electrical Engineering, Stockholm, Sweden, June, 2015

[7] B. Anditio, A. D. Andrini and Y. Y. Nazaruddin, "Integrating PSO optimized LQR controller with virtual sensor for quadrotor position control," in IEEE Conference on Control Technology and Application, Copenhagen, Denmark, August 21st -24th, 2018

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Perancangan dan Implementasi Aktuator Sistem Kontrol pH Menggunakan On-Off Solenoid Valve pada Purwa Rupa Instalasi Pengolahan Limbah Tekstil

[1]Nur Azimah Salehah & [2]Qanun Miladial Hikmah, [3,4]Estiyanti Ekawati*),

[1]Balai besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT

[2]Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

[3]Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
[4]Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung
(corresponding author) esti@instrument.itb.ac.id *)

Abstrak

Proses netralisasi pH umum digunakan dalam berbagai proses limbah industri, salah satu contohnya ada pada industri tekstil. Berdasarkan ketentuan Kementrian Lingkungan Hidup Indonesia, limbah tekstil baru dapat disalurkan ke sungai bila sudah berada pada rentang pH 6 – 9. Untuk mendukung kebijakan tersebut, pengontrolan pH limbah perlu diimplementasikan secara efektif. Idealnya, pengontrolan pH menggunakan aktuator berupa *control valve* yang pembukaannya dapat diatur pada rentang tertentu, sehingga menghasilkan debit yang dibutuhkan. Namun, harga aktuator ini relatif mahal sehingga tidak ekonomis untuk implementasi industri menengah ke bawah. Oleh karena itu, pada penelitian ini, dirancang sebuah aktuator yang lebih ekonomis, yaitu dengan memanfaatkan *solenoid valve* metode *on-off*. Operasi buka-tutup valve ini dikontrol menggunakan mikrokontroller, Adapun periode buka-tutup valve ditentukan berdasarkan simulasi dinamik kontrol pH, di mana penetral dialirkan dengan durasi dan periode tertentu untuk menghasilkan pH yang diharapkan. Parameter yang digunakan dalam simulasi ini adalah debit aliran limbah, konsentrasi penetral, dan jenis aliran penetral. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, didapatkan hubungan antara pH dengan periode pengaliran penetral berupa fungsi eksponensial. Pada range pH 9.1-10, pengaliran penetral mengikuti fungsi periode (dalam satuan detik) = $2 \times 10^{13}\, e^{-2{,}576pH}$ dan pada range pH 10.1-11, periode = $4 \times 10^{12}\, e^{-2{,}336pH}$. Durasi yang direkomendasikan oleh simulasi tersebut diprogramkan pada mikrokontroller dan diujikan pada purwa rupa instalasi pengolahan limbah tekstil skala laboratorium. Uji ini berhasil menetralkan pH limbah hingga mencapai range pH 8,69 – 8,97.

Kata Kunci : limbah tekstil, netralisasi pH, kontrol on-off, simulasi, purwarupa instalasi pengolahan limbah tekstil

1 Pendahuluan

Industri tekstil menjadi rangking ketiga ekspor nasional dan menyerap tenaga kerja hingga 2.79 juta. Akan tetapi, Industri Tekstil juga menyumbang pencemaran terbesar di wilayah Sungai Citarum terutama limbah B3. Menurut prediksi Dinas Lingkungan Hidup Bandung, 270 ton per hari limbah dibuang ke Sungai Citarum dan hanya 10% industri yang mengoperasikan IPAL sesuai standar [1][2]. Sedangkan industri tekstil menghasilkan limbah yang memiliki pH tidak sesuai dengan ketentuan kementrian lingkungan hidup KEP-51/MENLH/10/1995 mengenai baku mutu limbah cair industri tekstil seharusnya pH berada pada rentang 6-9 [3]. Berdasarkan proses pencelupan kain, limbah tekstil memiliki karakteristik berupa pH basa yaitu pH 9-12 untuk proses *scouring* hingga *dyeing* [4]. Oleh karena itu, pengontrolan pH dengan menggunakan alat yang ekonomis sangat dibutuhkan. Pengontrolan pH telah banyak dikembangkan mulai dari kontrol PID [5], kontrol MPC [6], hingga kontrol cerdas dengan metode fuzzy [7]. Akan tetapi keseluruhan pengontrolan pH tersebut menggunakan *control valve* yang harganya relatif mahal sehingga tidak ekonomis untuk implementasi industri menengah ke bawah. Pada penelitian ini akan digunakan *solenoid valve* dengan metode *on-off* yang harganya relatif lebih ekonomis dibandingkan dengan *control valve* untuk implementasi pengontrolan pH limbah tekstil pada purwarupa instalasi pengolahan limbah tekstil.

2 Instalasi Pengolahan Limbah Tekstil

Instalasi Pengolahan Limbah Industri Tekstil (IPLIT) terdiri dari 5 tahapan yaitu equalisasi, .netralisasi pH, elektrokoagulasi, transisi dan filtrasi dengan hasil rancangan seperti pada **Gambar 1**.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 22
Purwarupa Instalasi Pengolahan Limbah

Pada penelitian ini akan berfokus pada proses netralisasi pH dengan menggunakan solenoid valve. Proses pengontrolan menggunakan *microcontroller* berupa Arduino Uno yang berfungsi untuk membaca hasil bacaan sensor pH serta untuk mengatur bukaan *control valve*.

3 Proses Netralisasi PH

Proses netralisasi pH menggunakan sensor pH meter kit SEN0169 yang terhubung dengan *valve* tangki penetral melalui mikrokontroler. *Valve* penetral akan membuka sesuai kondisi pH larutan agar mencapai pH optimum dimana pada penelitian ini digunakan standar rentang pH yang ingin dicapai yaitu 6 – 9 sesuai dengan ketentuan KEP-51/MENLH/10/1995

Netralisasi pH dimodelkan secara matematis untuk sistem kontinyu dalam wadah CSTR dengan menggunakan MATLAB. Proses netralisasi merupakan proses pencampuran asam dan basa agar menghasilkan pH yang sesuai dengan keinginan. Pemodelan proses netralisasi pH yang terjadi pada tangki berputar (CSTR) dipengaruhi oleh proses disosiasi asam (α) dan disosiasi basa (β) yang dipengaruhi debit yang masuk yaitu F1 dan F2 dengan debit yang keluar (F1+F2) dari tangki berputar .Nilai pH yang dihasilkan bergantung pada konsentrasi ion hidrogen yang merupakan hasil logaritma dari akar persamaan pangkat 3 pada persamaan 1 [8].

$$[H^+]^3 + a_1[H^+]^2 + a_2[H^+] + a_3 = 0 \quad (1)$$

$$a_1 = k_a + \beta \quad (2)$$

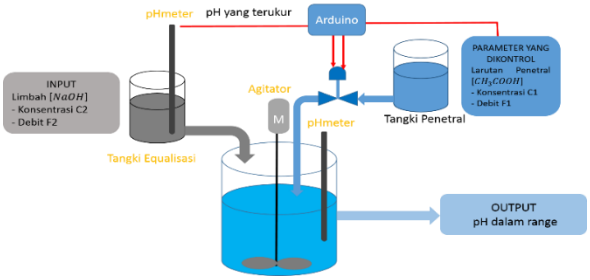
$$a_2 = \beta k_a - k_w - k_a \alpha \quad (3)$$

$$a_3 = k_w k_a \quad (4)$$

$$pH = -Log_{10}[H^+] \quad (5)$$

Persamaan tersebut diselesaikan dengan metode runge kutta orde 4 menggunakan MATLAB [9]. Kemudian dilaksanakan simulasi dengan mengolah parameter berikut : debit aliran limbah (F1), konsentrasi penetral (C2), dan jenis aliran penetral (F2).

Pada penelian ini, aliran penetral disimulasikan dengan 2 jenis aliran yaitu secara step (aliran penetral akan dialirkan secara terus menerus) dan aliran impuls (aliran penetral hanya dialirkan pada periode tertentu). Pada pengujian aliran implus juga akan disimulasikan periode dan durasi aliran penetral yang perlu ditambahkan agar menghasilkan pH campuran dalam keadaan standar yaitu 6-9.



Gambar 2 skema pengontrolan pH

Setelah keseluruhan simulasi dilaksanakan akan didapatkan besar parameter yang harus digunakan untuk pengontrolan pH. Hasil simulasi ini kemudian dibuat *look up table* yang sebagai dasar pengontrolan *mikrokontroller* untuk mengontrol periode dan durasi bukaan *solenoid valve* sebagai penetral. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan implementasi pada prototipe instalasi pengolahan limbah.

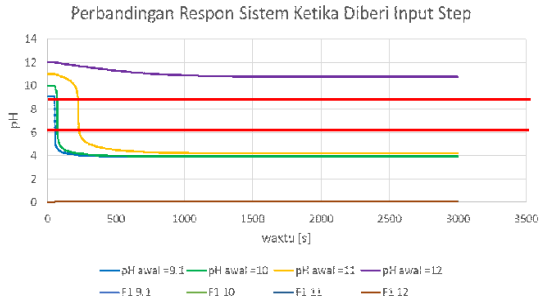
4 Diskusi dan Hasil

Persamaan Pada proses netralisasi yang akan dikontrol merupakan flow penetral F1 dan konsentrasi penetral C1 agar didapatkan hasil larutan yang sesuai dengan standar dari Kementrian Lingkungan Hidup yaitu 6-9 pH. Terdapat 2 macam percobaan pada proses netralisasi pH yaitu penentuan konsentrasi penetral C1 yang tepat dan penentuan aliran F1 yang akan dicampurkan. Pada penentuan konsentrasi disimulasikan beberapa konsentrasi penetral C1 dengan parameter masukan debit limbah F2 dan konsentrasi limbah C2 yang sama, sedangkan untuk aliran penetral F1 dipilih aliran berdurasi 2 detik dan disesuaikan periode untuk membuka *valve* yaitu pada saat pH mencapai 8.8 pH. Dari hasil simulasi didapatkan konsentrasi yang sesuai

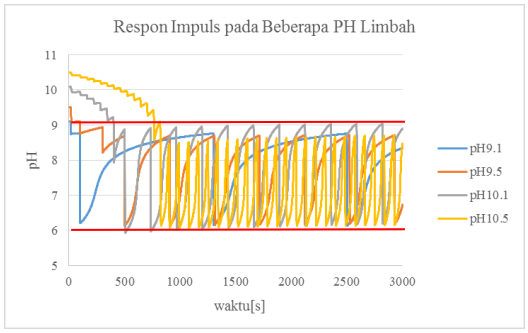
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

adalah konsentrasi penetral C2=0.001 terlihat pada **Gambar 3**.

Penentuan kedua adalah aliran penetral. Terdapat 2 macam simulasi untuk penetuan aliran penetral yaitu dengan respon aliran step dan dengan menggunakan respon aliran impuls. Hasil perbandingan kedua respon dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4.**



Gambar 3. respon step aliran penetral

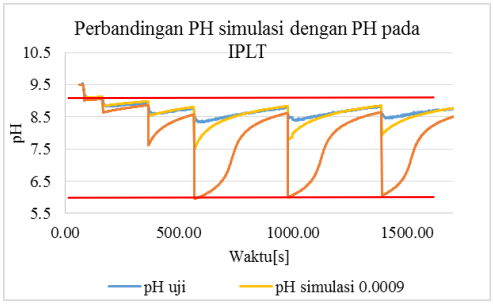


Gambar 4. respon impuls aliran penetral

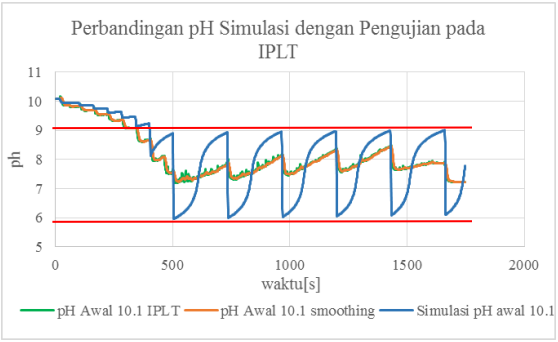
Terlihat pada respon step terjadi penurunan pH yang signifikan sehingga tidak memenuhi batas standar Kementrian Lingkungan Hidup yang ditunjukkan dengan garis warna merah sedangkan jika menggunakan respon impuls terlihat bahwa keseluruhan keadaan pH limbah dapat memenuhi standar. Penggunaan respon impuls ini dikontrol periode waktu bukaannya dan durasi lama bukaannya berdasarkan simulasi. Hasil pengontrolan impuls untuk masing masing pH kemudian dibuat dalam *look up table* yang selanjutnya diterapkan ke dalam mikrokontroler untuk mengontrol pH limbah. Dari *look up table,* didapatkan hubungan antar periode saat mengkondisikan pH 6 - 9 yaitu untuk pH 9.1 - 10 adalah pengaliran penetral mengikuti fungsi periode (dalam satuan detik) = $2 \times 10^{13}\ e^{-2,576pH}$ dan pH 10.1 – 11 periode = $4 \times 10^{12}\ e^{-2,336pH}$

Table 3 ***Look Up Table***

9.8	15-23	100	160	220	280	340	400	590	780	970	1160	1350	1540
Lama Bukaan	9detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik
periode		85	60	60	60	60	60	190	190	190	190	190	190
9.9	15-24	100	130	160	190	220	250	280	430	580	730	880	1030
Lama Bukaan	10detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik
periode		85	30	30	30	30	30	30	150	150	150	150	150
10	15-25	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	310	430
Lama Bukaan	11detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik	2detik
periode		85	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120	120
10.1	15-26	100	160	220	280	340	400	500	732	964	1196	1428	1660
Lama Bukaan	12detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik
Periode		85	60	60	60	60	60	100	232	232	232	232	232
10.2	15-27	100	160	220	280	340	400	460	520	580	758	936	1114
Lama Bukaan	13detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik	5detik
Periode		85	60	60	60	60	60	60	60	60	178	178	178



Gambar 5. hasil pengujian 1



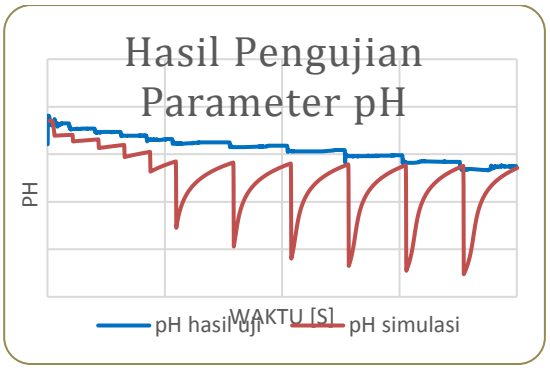
Gambar 6 Hasil Pengujian 2

Seteah didapatkan periode bukaan valve berdasarkan simulasi didapatkan hasil seperti **Gambar 5** dan **Gambar 6** terlihat dari kedua pengujian, hasil pengontrolan pada instalasi memiliki karakteristik yang sama dengan hasil simulasi yaitu ketika simulasi mengalami penurunan pH maka pada instalasi juga mengalami penurunan pH dan ketika pH simulasi mengalami kenaikan maka pada instalasi juga mengalami kenaikan. Akan tetapi besar tingkat penurunan dan kenaikan pH nya memiliki sedikit perbedaan untuk kedua pengujian. Hal ini karena, pada hasil pengujian 1 konsentrasi penetral tidak tepat 0.001 akan tetapi 0.0009 seperti ditunjukkan pada grafik warna oranye pada **Gambar 5.** Jika didekati dengan konsentrasi 0.0009 terlihat hasil percobaan lebih mendekati dan sesuai. Pada hasil pengujian 2 terdapat perbedaan nilai antara simulasi dengan pengujian karena proses pelarutan pada kenyataan tidaklah seperti pada simulasi yang secara signifikan perubahan nilainya dapat terdeteksi tetapi hasil rataannya terlihat sesuai. Pada pengujian sensor pH menghasilkan nilai pH hanya

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

setiap 20ms sehingga terdapat kemungkinan bahwa sensor tidak membaca data pH sama seperti dengan simulasi. Selain itu, larutan limbah yang kami gunakan tidak menggunakan aquades akan tetapi menggunakan air PAM sehingga mungkin terdapat substansi buffer yang dapat menghalangi pencampuran asam dan basa larutan.

Selanjutnya dilakukan implementasi pengontrolan pH pada pengujian purwa rupa instalasi pengolahan limbah industri tekstil. Implementasi ini menggabungkan keseluruhan sistem pengolahan yang dimulai dari proses equalisasi, netralisasi pH, elektrokoagulasi, transisi dan filtrasi. Dari hasil pengujian didapatkan penurunan pH limbah dari 9,7 pH menjadi pH didalam rentang standar sebesar 8,69 – 8,97 pH. Pengujian dilakukan selama 2000 sekon dengan pengukuran secara *real time*. Berdasarkan **Gambar 7,** perubahan pH secara *real time* menunjukkan penurunan pH yang terus menerus.



Gambar 7 Hasil Pengujian Parameter pH

Padahal, apabila dibandingkan dengan hasil simulasi ditunjukkan pada grafik berwarna biru, pH hanya mengalami penurunan hingga mencapai sekon ke 540 saja kemudian akan mengalami kenaikan dan penurunan yang periodik. Perbedaan ini terjadi karena pada pengujian pompa yang digunakan menjadi tidak stabil sehingga pH dapat terus turun. Ketidakstabilan pompa disebabkan karena adanya tekanan balik dari air pada pipa masukan limbah yang tercelup pada tangki netralisasi pH. Akibatnya dibutuhkan kecepatan yang lebih tinggi untuk mendorong air dari tangki equalisasi ke tangki netralisasi. Selain itu kondisi limbah yang tidak hanya terdiri dari CH_3COOH, dan NaOH seperti pada simulasi melainkan bercampur dengan zat lain seperti kanji dan zat warna yang menghambat proses netralisasi sehingga penurunan pH menjadi tidak signifikan.

5 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa : Rancangan pengontrolan pH menggunakan kontrol *on-off* pada *solenoid valve* dapat dilaksanakan dan diimplementasikan pada purwarupa Instalasi Pengolahan Limbah Industri Tekstil (IPLIT) yang terdiri dari 5 proses yaitu equalisasi, netralisasi pH, elektrokoagulasi, transisi dan filtrasi. Kelima proses terpisah pada 5 bak dengan total volume efektif untuk limbah adalah 54,97 Liter. Seluruh sistem terkonfigurasi secara otomatis dengan menggunakan perangkat mikrokontroler arduino sehingga pengambilan data dapat dilakukan secara *real time*.

Pengontrolan pH berdasarkan pada simulasi MATLAB Runge Kutta orde 4 menghasilkan periode pemberian larutan penetral untuk memasuki rentang 6-9 tidak sama untuk seluruh pH. Akan tetapi, terdapat hubungan antara periode dengan pH untuk menstabilkan nilai pH pada rentang 6 – 9 berdasarkan persamaan exponensial. Untuk menurunkan pH 9,1-10 pengaliran penetral mengikuti fungsi periode (dalam satuan detik) = $2 \times 10^{13}\ e^{-2{,}576pH}$ sedangkan untuk penurunan pH 10.1 – 11 menghasilkan fungsi periode = $4 \times 10^{12}\ e^{-2{,}336pH}$.

Hasil implementasi pengontrolan pH dengan solenoid valve pada IPLIT dapat menurunkan pH limbah dari 9.7 pH menjadi pH dalam rentang standar yaitu 8.69 – 8.97 pH.

6 Ucapan Terima Kasih (jika ada)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D yang telah memberikan banyak bimbingan dalam penelitian ini

7 Nomenklatur

α	=	Jumlah Ion Asam yang Terionisasi dalam Larutan (Molar)
β	=	Jumlah Ion Asam yang Terionisasi dalam Larutan (Molar)
$F1$	=	Debit Penetral CH_3COOH (liter/sekon)
$F2$	=	Debit Limbah NaOH (liter/sekon)

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

$C1$ = Konsentrasi CH_3COOH (Molar)

$C2$ = Konsentrasi NaOH (Molar)

K_a = Konstanta Disosiasi Asam

K_w = Konstanta Disosiasi Air

K_b = Konstanta Disosiasi Basa

V = Volume Tangki Netralisasi (liter)

$F1$ = Debit Penetral CH_3COOH (liter/sekon)

$F2$ = Debit Limbah NaOH (liter/sekon)

$C1$ = Konsentrasi CH_3COOH (Molar)

$C2$ = Konsentrasi NaOH (Molar)

8 Daftar Pustaka

[1] "Kemenperin: Industri Tekstil dan Alas Kaki Ditargetkan Naik 6,3 Persen." [Online]. Available: http://www.kemenperin.go.id/artikel/14989/Industri-Tekstil-dan-Alas-Kaki-Ditargetkan-Naik-6,3-Persen.

[2] "Dilema Industri Tekstil," p. Diakses dari http://regional.kompas.com, 2011.

[3] "Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri." Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1995.

[4] V. Khandegar and A. K. Saroha, "Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review," *ResearchGate*, vol. 128C, pp. 949–963, Jul. 2013.

[5] R. Ibrahim, "PRACTICAL MODELLING AND CONTROL IMPLEMENTATION STUDIES ON A pH NEUTRALIZATION PROCESS PILOT PLANT," Department of Electronics and Electrical Engineering Faculty of Engineering University of Glasgow, 2008.

[6] A. W. Hermansson and S. Syafiie, "Model predictive control of pH neutralization processes: A review," *Control Eng. Pract.*, vol. 45, pp. 98–109, Dec. 2015.

[7] S. Gnoth, A. Kuprijanov, R. Simutis, and A. Lübbert, "Simple adaptive pH control in bioreactors using gain-scheduling methods," *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 85, pp. 995–964, Aug. 2009.

[8] T. J. McAvoy, E. Hsu, and S. Lowenthals, "Dynamics of pH in controlled stirred tank reactor," *Ind Eng Chem Process Dev.*, vol. 11 no 1, pp. 68–78, 1972.

[9] "File Exchange - MATLAB Central." [Online]. Available: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/29851-runge-kutta-4th-order-ode/content/Runge_Kutta_4.m.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengaruh *Duty Cycle* terhadap Perpindahan Energi pada Motor BLDC *(Brushless Direct Current)* saat Pengereman Regeneratif Berbasis dsPIC30f4012

[1]Helmi Aulia Rahman, [2]Slamet Riyadi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

[1]helmiaulia007@gmail.com, [2]sriyadi7167@gmail.com

Abstrak

Beberapa dekade terakhir, dunia industri transportasi elektrik mengalami perkembangan yang cukup pesat. Hal ini dapat ditinjau dengan banyaknya transportasi elektrik yang menggunakan motor listrik modern sebagai penggerak elektrik. Salah satu jenis motor listrik modern sebagai penggerak elektrik adalah motor BLDC *(Brushless Direct Current)*. Motor BLDC memiliki beberapa keunggulan seperti konstruksi yang sederhana, mudah mengatur kecepatannya serta memiliki torka yang besar, dan memiliki efisiensi tinggi. Motor BLDC memiliki kelemahan, diantaranya sistem kontrolnya yang rumit. Akan tetapi memiliki kelebihan khusus yang mampu melakukan pengereman secara regeneratif. Pengereman regeneratif dapat meningkatkan efisiensi karena pada saat terjadi pengereman, energinya bisa disimpan ke batere. Penelitian ini mengusulkan metode sederhana untuk melakukan efisiensi energi saat motor melakukan pengereman regeneratif, dengan mengatur besar kecilnya *duty cycle* untuk mengetahui pengaruh perpindahan energi pada motor BLDC ke sumber batere. Hal ini dapat dilihat melalui arus *charging* dan kecepatan motor BLDC.

Kata Kunci: motor BLDC *(Brushless DC), duty cycle, perubahan energi, pengereman regeneratif, inverter tiga fasa.*

1 Pendahuluan

Perkembangan industri transportasi elektrik saat ini banyak yang menggunakan penggerak motor listrik modern. Salah satu jenis motor listrik modern yang digunakan adalah motor BLDC. Beberapa keunggulan motor BLDC diantaranya mudah untuk mengatur kecepatannya, dan lebih handal sebagai penggerak pada kendaraan listrik [1][2]. Selain digunakan sebagai penggerak pada kendaraan listrik, motor listrik modern juga memiliki kelemahan yaitu kontrolnya yang rumit karena menggunakan kontrol digital. Pada umumnya pengereman penggerak elektrik menggunakan pengereman dinamik, dimana energi listrik dikonversi menjadi energi panas yang disimpan ke resistor [3]. Metode ini banyak diterapkan di industri transportasi elektrik yang membutuhkan sistem pengereman motor listrik. Hal ini tidak efisien karena energi tidak dimanfaatkan kembali [4].

Motor BLDC dikontrol menggunakan mikrokontroller melalui pembacaan logika pada masukan sensor *hall effect* ditambah dengan rangakain daya *inverter* tiga fasa. Sumber tegangan *inverter* menimbulkan pergeseran fasa 120 derajat listrik yang berbentuk tegangan persegi atau trapezoidal [5][6]. Dengan memanfaatkan motor BLDC sebagai generator, maka inti rotor yang berupa magnet permanen akan muncul gaya gerak listrik sehingga terjadi perubahan energi kinetik pada motor menjadi energi listrik [7]. Dari hasil perubahan energi tersebut dapat mempengaruhi kecepatan motor, sehingga hal ini dapat disebut dengan pengereman regeneratif. Pengereman regeneratif merupakan proses pengereman yang memanfaatkan perpindahan energi dari motor penggerak disimpan kembali ke baterai, saat *inersia* motor memaksa motor menjadi mode generator [7][8].

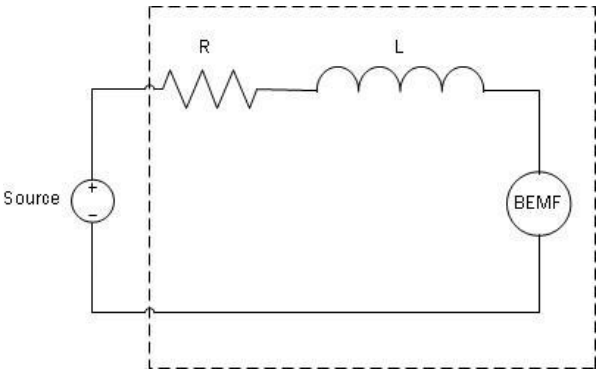
Pada penelitian ini dilakukan kajian pengereman regeneratif dengan cara mengatur saklar – saklar pada IGBT *(Insulated Gate Bipolar Transistor)* di *inverter*. Kondisi ini akan memfungsikan IGBT di *inverter* sebagai *boost* konverter, sehingga tegangan keluarannya bisa lebih besar daripda tegangan batere.

2 Metodologi Penelitian

Motor BLDC merupakan motor listrik modern yang berjenis motor synchronous, yang memiliki keluaran kecepatan putaran motor sebanding dengan frekuensi yang masuk pada statornya [9].

Rangkaian ekuivalen masing-masing fasa pada stator motor BLDC ditunjukan pada Gambar 1 berikut ini.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 1 rangkaian ekuivalen stator motor BLDC

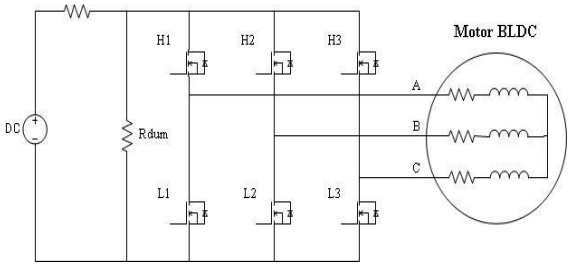
Arus start awal akan sangat besar, karena dipengaruhi oleh resistansi dan induktansi yang sangat kecil serta BEMF = 0. Motor akan berputar, lalu magnet permanen pada rotor bergerak melewati kumparan stator sehingga terjadi induksi, maka timbul beda potensial dalam kumparan tersebut. Hal ini dapat disebut dengan *Back Electromotive Force* atau BEMF. BEMF berbanding lurus dengan kecepatan motor yang ditentukan dari tegangan konstan motor [10]. Dari penjelasan tadi muncul persamaan :

$$\begin{aligned} RPM &= Kv \times Volt \\ BEMF &= RPM / Kv \end{aligned} \quad (1)$$

Motor akan berputar dengan kecepatan sedemikian rupa sehingga EMF balik sedikit lebih kecil dari tegangan sumber. Arus yang dibutuhkan untuk menggerakan motor berbanding lurus dengan beban torsi motor. Sedangkan arus yang dibutuhkan ditentukan dengan torsi konstan motor [10].

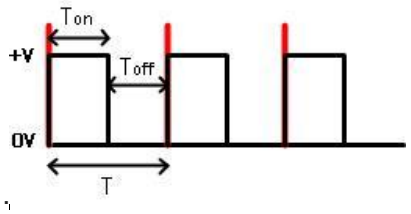
$$Torque = K_T \times Amps \quad (2)$$

Pada Gambar 2 ditampilkan rangkaian inverter tiga fasa yang dimanfaatkan sebagai pensaklaran dari sumber tegangan untuk pengisian batere.



Gambar 2 rangkaian inverter tiga fasa

Pengendalian pada motor BLDC dengan cara pembacaan logika pada masukan sensor *hall effect*, kemudian hasil logika tersebut diproses dalam mikrokontroller untuk menghasilkan sinyal PWM *(Pulse-width modulation)*. Hasil keluaran mikrokontroller yang berupa PWM akan diteruskan ke driver IGBT modul untuk disaklarkan pada frekuensi tinggi. Pada Gambar 3 adalah skema *duty cycle*



Gambar 3 skema *duty cycle*

Duty cycle merupakan persentasi durasi dari kondisi lebar pulsa ON dalam satu periode sinyal. Dari sinyal keluaran cukup mengatur besar kecilnya tegangan referensi. Besar kecilnya persentase *duty cycle* pada PWM dapat dihitung dengan cara :

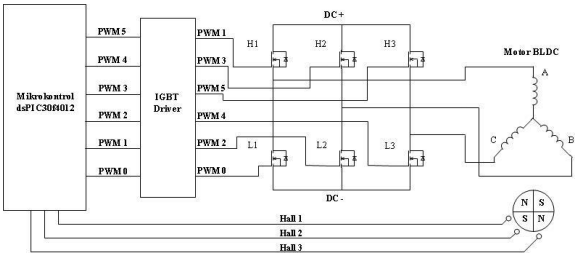
$$T = Ton + Toff \quad (3)$$

$$dutycycle = \frac{Ton}{T} \times 100\% \quad (4)$$

Prinsip pengereman regeneratif tergantung pada kontrol konverter *boost* pada rangkaian *inverter.* Mode pengereman regeneratif dilakukan untuk mencapai deselerasi atau daya pengurangan kecepatan pada motor BLDC. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengoperasikan saklar pada rangkaian *inverter* yang diprogram mikrokontroller dengan frekuensi yang tinggi.

2.1 Desain Alat

11.3 Di dalam penelitian ini *inverter* digunakan untuk mengendalikan motor BLDC pada saat motoring dan mengendalikan aliaran daya saat pengereman regeneratif, rangkaian ditunjukan pada Gambar 4.



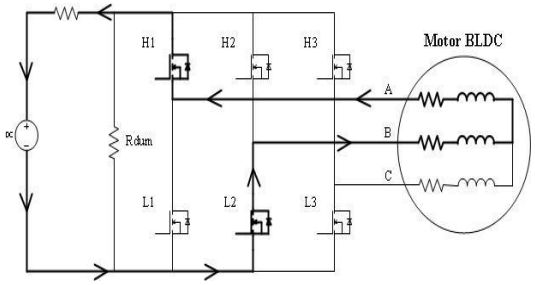
Gambar 4 kontrol blok diagram motor BLDC

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Blok diagaram pada Gambar adalah bagian-bagian alat dan komponen yang digunakan, terdiri dari motor DC, motor BLDC, sensor *hall effect*, mikrokontroller dsPIC30f4012, *driver* TLP250, catu daya DC to DC konverter, IC buffer 74HC541, modul IGBT CPV364M4F, dan sumber daya DC atau baterai. Sistem kontrol merupakan bagian penting pada sistem ini yang akan menerima data dari sensor *hall effect.* Hasil keluaran sensor *hall effect* berupa pulsa gelombang kotak yang akan menjadi masukan pada mikrokontroller dsPIC30f4012.

Untuk memahami proses pengereman regeneratif maka berikut ini dijabarkan mode – mode operasi, meliputi :

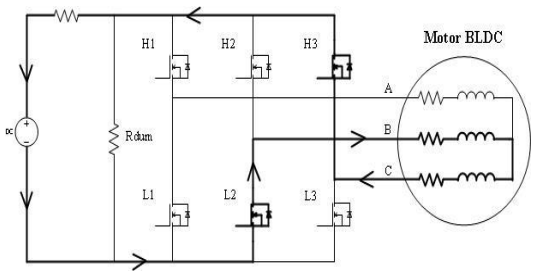
A. Mode Operasi 1 : H_1 dan L_2 ON



Gambar 5 mode operasi 1 pensaklaran H_1 - L_2 Fasa A - B

Pada Gambar 5 mode operasi 1 dijelaskan saklar H_1 dan L_2 beroperasi ON-OFF secara bergantian dengan frekuensi tinggi, sehingga arus mengalir dari fasa A ke fasa B.

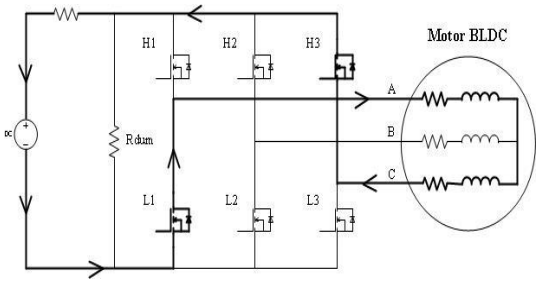
B. Mode Operasi 2 : H_3 dan L_2 ON



Gambar 6 mode operasi 2 pensaklaran H_3 - L_2 Fasa C - B

Gambar 6 hasil mode operasi 2 saklar H_3 dan L_2 beroperasi ON-OFF secara bergantian dengan frekuensi tinggi, sehingga arus mengalir dari fasa C ke fasa B.

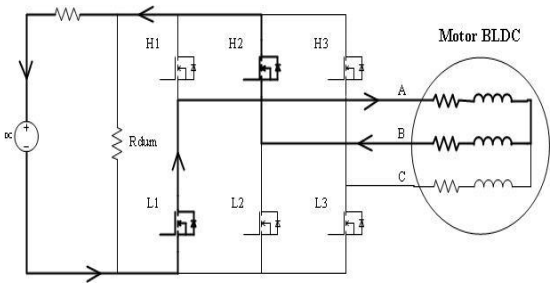
C. Mode Operasi 3 : H_3 dan L_1 ON



Gambar 7 mode operasi 3 pensaklaran H_3 - L_1 Fasa C - A

Mode operasi 3 ditunjukkan pada Gambar 7, saklar H_3 dan L_1 beroperasi ON-OFF secara bergantian dengan frekuensi tinggi, sehingga arus mengalir dari fasa C ke fasa A.

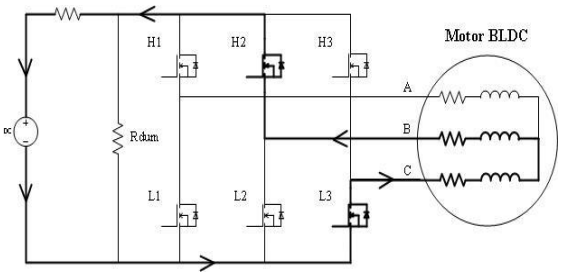
D. Mode Operasi 4 : H_2 dan L_1 ON



Gambar 8 mode operasi 4 pensaklaran H_2 - L_1 Fasa B - A

Pada Gambar 8 mode operasi 4 dijelaskan saklar H_2 dan L_1 beroperasi ON-OFF secara bergantian dengan frekuensi tinggi, sehingga arus mengalir dari fasa B ke fasa A.

E. Mode Operasi 5 : H_2 dan L_3 ON

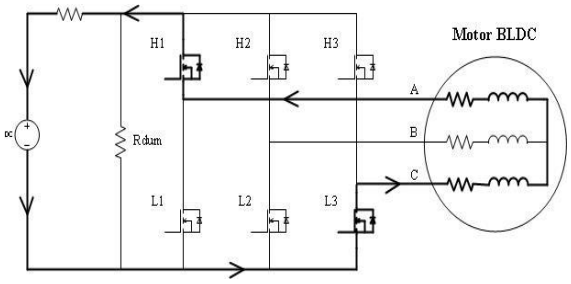


Gambar 9 mode operasi 5 pensaklaran H_2 - L_3 Fasa B - C

Pada Gambar 9 mode operasi 5 dijelaskan saklar H_2 dan L_3 beroperasi ON-OFF secara bergantian dengan frekuensi tinggi, sehingga arus mengalir dari fasa B ke fasa C.

F. Mode Operasi 6 : H_1 dan L_3 ON

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

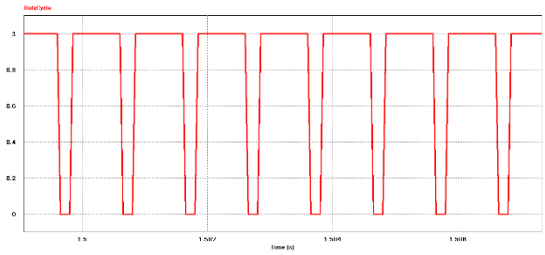


Gambar 10 mode operasi 6 pensaklaran H_1 - L_3 Fasa A-C

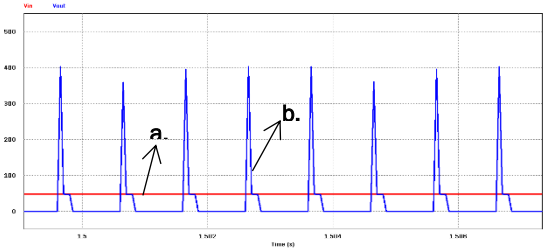
Pada Gambar 10 mode operasi 6 dijelaskan saklar H_1 dan L_3 beroperasi ON-OFF secara bergantian dengan frekuensi tinggi, sehingga arus mengalir dari fasa A ke fasa C. Energi lebih yang tersimpan pada belitan motor BLDC akan dipindahkan ke batere saat mode operasi bekerja.

3 Hasil dan Pembahasan

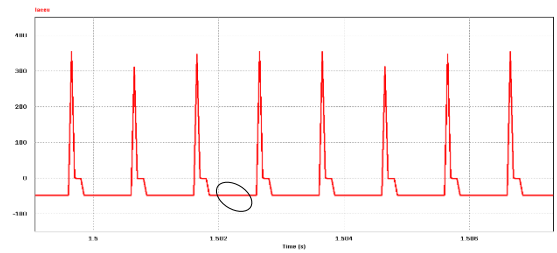
Pada Gambar 11 disajikan hasil simulasi pada saat *duty cycle* 75% dengan menggunakan perangkat lunak *power simulation* (Psim). Dari hasil simulasi dapat dibuktikan bahwa pada saat *duty cycle* diubah-ubah maka tegangan keluaran mengalami perubahan, yang ditunjukan pada Gambar 12 dan terjadi perubahan energi dengan melihat indikator pada arus yang disimpan ke batere yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 11 hasil simulasi gelombang keluaran mikrokontroller pada *duty cycle* 75%

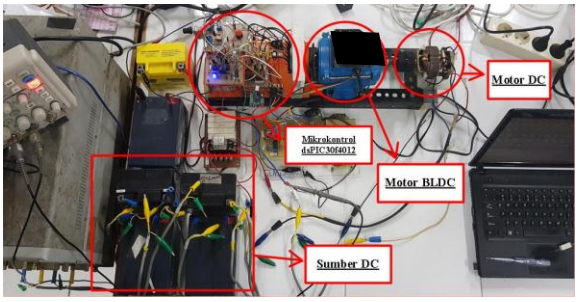


Gambar 12 hasil simulasi tegangan pada duty cycle 75% a. tegangan masukan batere dan b. Tegangan keluaran inverter



Gambar 13 hasil simulasi keluaran arus yang masuk ke batere pada *duty cycle* 75%

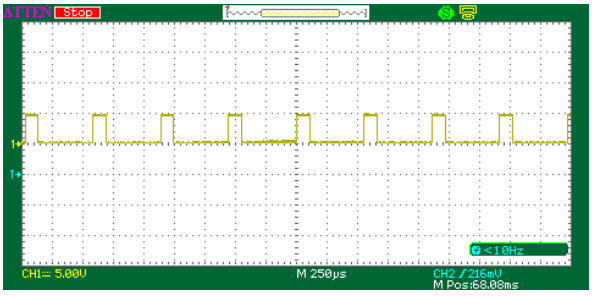
Untuk pengujian Laboratorium digunakan perangkat yang disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14 prototipe konstruksi perangkat keras alat uji

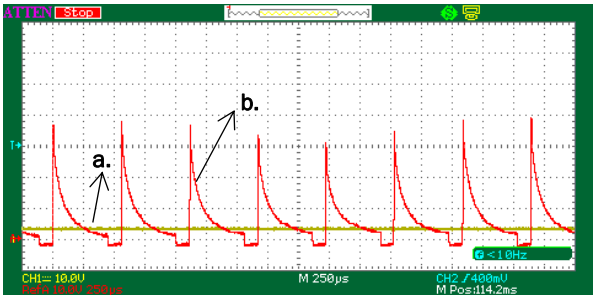
Hasil pengujian pada prototipe memiliki hasil yang hampir sama dengan hasil simulasi. Hasil pengujian alat uji dapat dilihat pada bab selanjutnya.

Pengujian alat saat beroperasi dengan kondisi *duty cycle* 25%. Saat kondisi ini, perpindahan energi masih belum tampak. Dapat dilihat pada Gambar 17, arus yang masuk ke baterai masih sedikit sekali dan kecepatan sedikit rendah. Menghasilkan kecepatan maksimal 687.4 rpm.

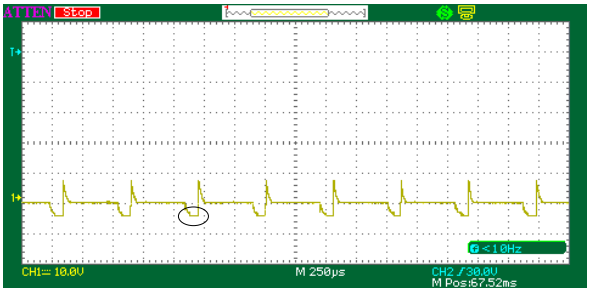


Gambar 15 hasil pengujian gelombong keluaran mikrokontroller pada *duty cycle* 25%

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

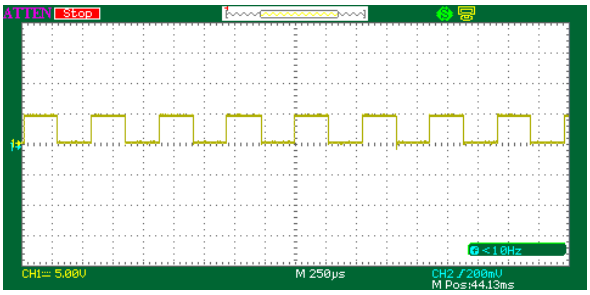


Gambar 16 hasil pengujian tegangan pada duty cycle 25% a. tegangan masukan batere dan b. tegangan keluaran *inverter*

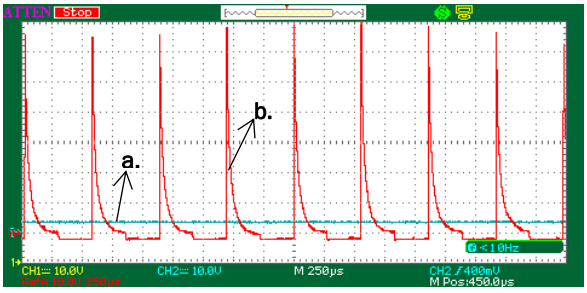


Gambar 17 hasil pengujian keluaran arus yang disimpan batere pada *duty cycle* 25%

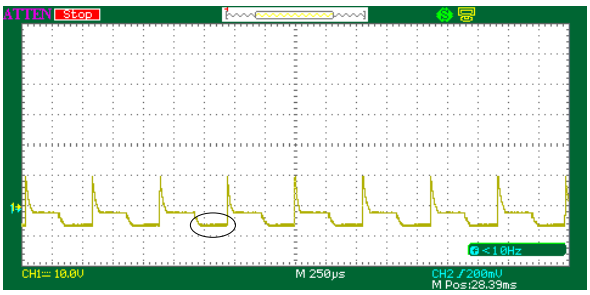
Pengujian selanjutnya dengan menggunakan kondisi *duty cycle* 50%. Saat kondisi ini, perpindahan energi mulai sedikit tampak. Dapat dilihat pada Gambar 20, arus yang masuk ke baterai masih sedikit dan kecepatan mulai rendah. Dengan menghasilkan kecepatan maksimal 598.8 rpm.



Gambar 18 hasil pengujian gelombong keluaran mikrokontroller pada *duty cycle* 50%

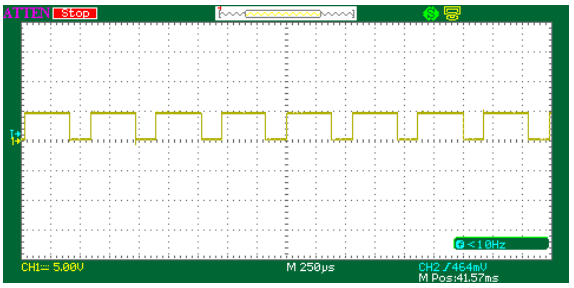


Gambar 19 hasil pengujian tegangan pada duty cycle 50% a. tegangan masukan batere dan b. tegangan keluaran *inverter*

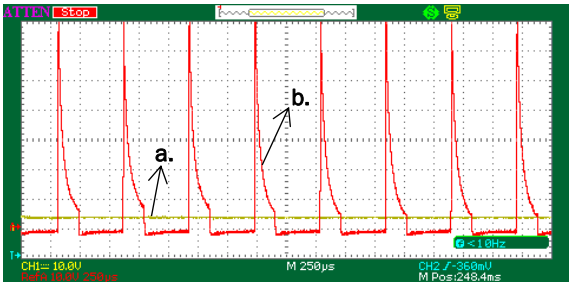


Gambar 20 hasil pengujian keluaran arus yang disimpan batere pada *duty cycle* 50%

Pengujian terakhir menggunakan kondisi *duty cycle* 75%. Saat kondisi ini, perpindahan energi sudah mulai tampak. Dapat dilihat pada Gambar 23, arus yang masuk ke baterai sudah bnyak dan kecepatan menjadi rendah sekali. Dengan menghasilkan kecepatan maksimal 486.0 rpm.

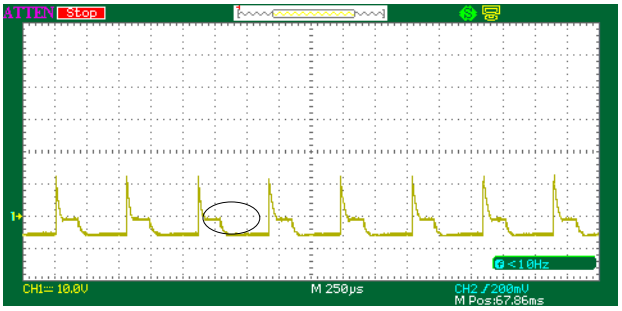


Gambar 21 hasil pengujian gelombong keluaran mikrokontroller pada *duty cycle* 75%



Gambar 22 hasil pengujian tegangan pada duty cycle 75% a. tegangan masukan batere dan b. tegangan keluaran *inverter*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 23 hasil pengujian keluaran arus yang disimpan batere pada duty cycle 75%

Untuk mengetahui besar persentase duty cycle, arus yang masuk pada batere dan kecepatan motor, hasil pengujian prototipe alat uji dapat disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 24.

Table 4 ringkasan hasil pengujian alat

No.	*duty cycle*	Kecepatan (RPM)
1.	25%	(687.4)
2.	50%	(598.8)
3.	75%	(486.0)



a. **b.** **c.**

Gambar 24 hasil pengujian kecepatan motor menggunakan tachometer a. *duty cycle* 25% b. *duty cycle* 50% dan c. *duty cycle* 75%

4 Kesimpulan

Saat motor BLDC menjadi mode generator terbukti bahwa tegangan keluaran pada motor BLDC lebih rendah daripada tegangan batere. Karena sebagai syarat untuk pengereman regeneratif, tegangan pada keluaran *inverter* harus lebih besar dari tegangan batere, maka *inverter* difungsikan sebagai *boost* konveter. Apabila *duty cycle* dibesarkan, maka tegangan keluaran pada *inverter* akan besar pula dan arus yang masuk ke batere juga besar, sehingga kecepatan pada motor menjadi rendah.

5 Nomenklatur

Daftar nomenklatur

R	= Hambatan
L	= Induktor
Kv	= Tegangan Konstan Motor
$K\tau$	= Konstan Torsi
BEMF	= *Back Electromotive Force*
RPM	= Rotasi Per Menit
Ton	= Periode Waktu ON
$Toff$	= Periode Waktu OFF

6 Daftar Pustaka

[1] Gaurav A. Chandak, A. A. Bhole, "AN ELECTRIC BRAKING SYSTEM CONTROLLER FOR BRUSHLESS DC MOTOR IN ELECTRIC VEHICLE APPLICATION", International Journal of Electrical Engineering & Technology (IJEET) Vol. 8, pp. 48–56, Issue 4, July-August 2017.

[2] Xu Jiaqun, Cui Haotian, "Regenerative Brake of Brushless DC Motor for Light Electric Vehicle" unpublished", ICEMS, Thailand, October 2015.

[3] Tejo Sukmadi, Syauqie Candra Buana, Trias Andromeda, and Mochammad Facta, "A Prototype of Multistage Dynamic Braking of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor" Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Indonesia, Oct 19-21st 2016.

[4] Mingli Shang, Liang Chu, Jianhua Guo, Yong Fang, and Feikun Zhou, "Braking Force Dynamic Coordinated Control for Hybrid Electric Vehicles", IEEE, 2010.

[5] V. Vijaya Kumar, V. Udayakumar, and J. M. Uruganandham, "SPEED CONTROL OF BLDC MOTOR FOR FOUR QUADRANT OPERATION WITHOUT LOSS OF POWER" INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATION OF POWER, ENERGY, INFORMATION AND COMMUNICATION, 2015.

[6] Microchip, Application Note 957, "Sensored BLDC Motor Control Using dsPIC30F2010", Microchip Technology Inc, 2004.

[7] Ye Tao, Xiaohua Xie, Haiyan Zhao, Wei Xu, Hong Chen, "A Regenerative Braking System for Electric Vehicle with Four In-wheel Motors Based on Fuzzy Control", IEEE Proceedings of

the 36th Chinese Control Conference, China, July 26-28, 2017.

[8] M.K Yoong, Y.H Gan, G.D Gan, C.K Leong, Z.Y Phuan, B.K Cheah. K.W Chew, "Studies of Regenerative Braking in Electric Vehicl", IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology, Malaysia, 20 & 21 November, 2010.

[9] Xiaohong Nian, Fei Peng, and Hang Zhang, "Regenerative Braking System of Electric Vehicle Driven by Brushless DC Motor", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 61, NO. 10, OCTOBER 2014.

[10] Microchip, Application Note 857, "Brushless DC Motor Control Made Easy", Microchip Technology Inc, 2011.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengaturan Kecepatan Pada Motor *Brushless* DC (BLDC) Menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*)

[1]Danu Akbar & [2]Slamet Riyadi

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang, Indonesia

danuakbar99@yahoo.co.id, sriyadi7167@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi dalam bidang trasportasi berkembang cukup pesat khususnya pada kendaraan listrik, hal ini didasari oleh krisis bahan bakar fosil. Salah satu penggerak yang banyak digunakan di dalam kendaraan listrik adalah motor *brushless DC* (BLDC) di karenakan motor BLDC memiliki kelebihan yaitu torka yang tinggi serta pengaturan kecepatanya mudah. Beberapa penelitian terkait motor BLDC telah dilakukan oleh para ahli diantaranya adalah pengaturan kecepatan BLDC, pembebanan pada motor BLDC serta lainya. Pada makalah akan dikaji tentang pengaturan kecepatan motor *Brushless DC* dengan menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation),* metode PWM pada prisipnya adalah mengatur *duty cycle* yang dihasilkan oleh mikrokontroler untuk pensaklaran pada Inverter Tiga Fasa. Semakin besar *duty cycle* maka kecepatan motor BLDC tersebut juga akan semakin tinggi dan sebaliknya. Untuk mendukung analisis maka dilakukan pengujian laboratorium.

Kata kunci : brushless dc, inverter tiga fasa, PWM (Pulse Width Modulation), mikrokontroller, duty cycle

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini berkembang sangat pesat dan berbagai inovasi baru mulai bermunculan, di antaranya dalam bidang perindustrian, pertambangan maupun transportasi. Semakin berkembangnya teknologi membuat mesin listrik semakin berkembang sesuai kebutuhanya. Mesin listrik merupakan salah satu alat yang sangat penting perannya dalam kehidupan sehari hari, tak terkecuali pada bidang transportasi kendaraan yang ramah lingkungan menjadi salah satu tren di mata produsen alat transportasi, hal ini dipicu oleh isu global warming yang dihasilkan oleh alat tranpotasi yang masih menggunakan mesin bakar. Untuk mengatasi masalah tersebut produsen alat trasportasi sekarang mulai merubah mesin penggerak utama pada alat transportasinya dengan cara meggunakan mesin listrik,dimana yang sebelumnya menggunakan mesin bakar. Oleh karena itu Motor BLDC menjadi salah satu pilihan alternative dikarenakan motor BLDC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan

motor DC konvensional yang masih menggunakan brush dan komutator sedangkan motor BLDC tidak menggunakan brush dan komutator melainkan menggunakan rangkaian elektronika sebagai kendali motor BLDC tersebut. Kelebihan motor BLDC dibandingkan motor DC konvensional yaitu, efisiensi tinggi, masa operasi lebih tinggi, perawatan yang rendah, serta tingkat kebisingan yang rendah karena putarannya halus.

Pada makalah ini akan membahas tentang pengontrolan serta pengaturan kecepatan motor BLDC yang dapat diaplikasikan pada alat transportasi. Sistem kendali motor BLDC ini menggunakan Inverter 3 fasa sebagai pensaklaran suatu motor BLDC yang dikendalikan secara digital oleh mikrokontrol, serta dijalankan menggunakan sinyal PWM dengan *duty cycle* variabel yang dihasilkan oleh mikrokontroler sebagai pengatur kecepatan pada motor BLDC.

2 Metodologi Penelitian

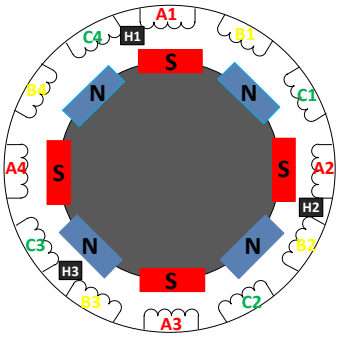
Pada makalah ini penulis akan membahas tentang kendali pengaturang kecepatan pada motor brushlees DC menggunakan sinyal PWM pulse width dengan duty cycle variabel yang dikueluarkan oleh mikrokontroler.

2.1 Motor Brushless DC (BLDC)

Pada dasarnya motor BLDC bekerja dengan menggunakan prinsip gaya tarik antara dua magnet yang berlainan kutub atau gaya tolak antara dua magnet dengan kutub yang sama. Rotor pada motor BLDC tersusun dari magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator terbuat dari

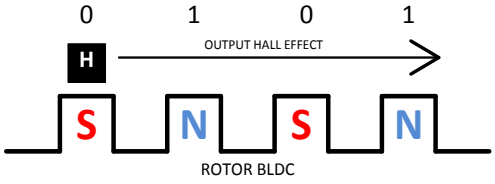
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

belitan sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus belitan stator yang diberikan. Di bawah ini akan dijelaskan tentang kontruksi pada motor BLDC.



Gambar 1 Kontruksi motor *brushless DC*

Pada gambar 1 disajikan motor BLDC dengan 12 belitan stator dan 8 kutub magnet pada rotor. Untuk memutar motor BLDC harus mengetahui posisi rotor yang terletak di dalam motor BLDC digunakan untuk mengontrol belitan pada stator yang mana akan diberi tegangan sesuai polaritasnya untuk menarik atau mendorong magnet pada rotor sehingga rotor dapat bergerak atau berputar. Untuk mendeteksi posisi rotor dapat menggunakan *Hall effect* sensor yang ditempelkan pada stator. Di dalamn motor BLDC memiliki tiga *hall effec*t sensor yang dipasang di stator. Tiga buah *hall effect* sensor diletakan pada posisi sebagai berikut : H1 pada posisi $\theta = 360^0$, H2 pada posisi $\theta = 60^0$, H3 pada posisi $\theta = 120^0$ terhadap stator. sensor *hall effect* memberikan keluaran berlogika "1" saat mendeteksi kutub magnet utara (N) dan berlogika "0" saat mendetaksi kutub magnet selatan (S). Dapat kita liat pada gambar 2 di bawah ini



Gambar 2 pembacaan dari *hall effect*

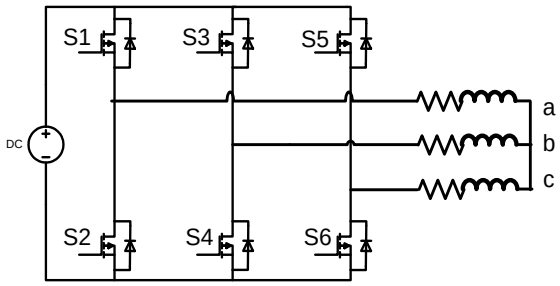
Tabel 1 data pembacaan *hall effect* 6 langkah

H1	H2	H3	Van	Vbn	Vcn
0	0	1	-	+	o
1	0	1	o	+	-
1	0	0	+	o	-
1	1	0	+	-	o
0	1	0	o	-	+
0	1	1	-	o	+

Tabel diatas adalah data pembacaan dari *hall effect* serta pemberian tegangan pada stator sesuai polaritasnya. Pada motor BLDC ini implementasinya menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa.

2.2 Inverter Tiga Fasa

Motor BLDC ini implementasinya menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa.



Gambar 3 rangkaian inverter 3 fasa

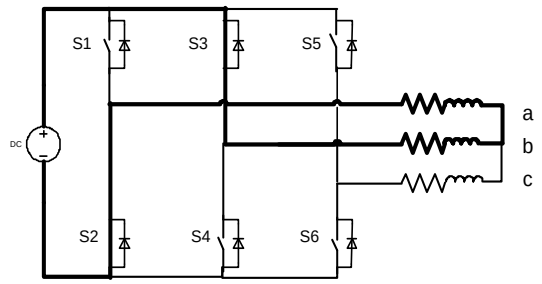
Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC adalah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor diperlukan pensaklaran suatu motor BLDC yang dikendalikan secara digital. Untuk memutar motor BLDC, belitan stator harus diberi tegangan dengan suatu urutan pensaklaran sesuai dengan operasi 6 langkah yang susuai dari pembacaan yang kami rancang. Seperti pada table dibawah ini :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

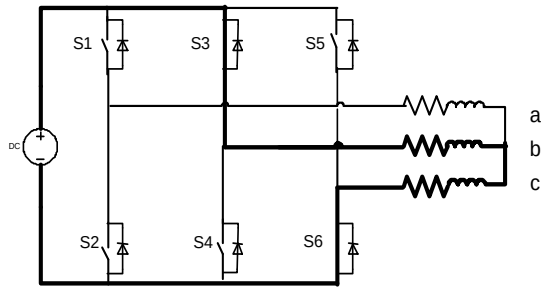
Tabel 2 operasi 6 mode pensaklaran pada inverter 3 fasa

S6	S5	S4	S3	S2	S1	Van	Vbn	Vcn
0	0	0	1	1	0	-Vdc	Vdc	0
1	0	0	1	0	0	0	Vdc	-Vdc
1	0	0	0	0	1	Vdc	0	-Vdc
0	0	1	0	0	1	Vdc	-Vdc	0
0	1	1	0	0	0	0	-Vdc	Vdc
0	0	0	1	1	0	-Vdc	0	Vdc

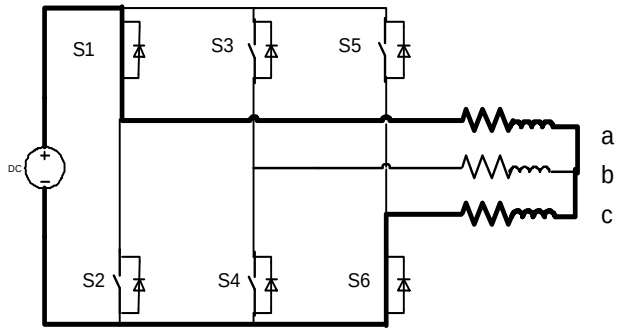
Dari tabel operasi 6 mode tersebut maka dihasilkan enam macam konfigurasi *switching* dari *inverter* 3 fasa tersebut. Sistem pensaklaran dapat dijelaskan pada mode operasi dibawah ini.



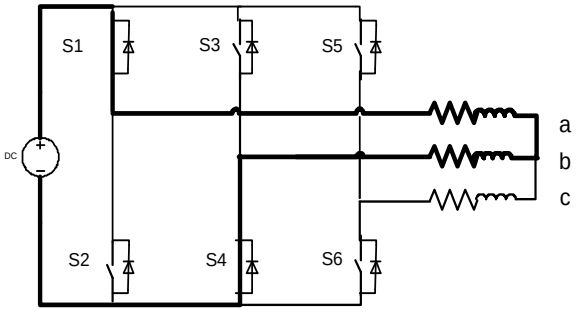
Gambar 4 mode 1 b-a (S3 on)dan (S2 on)



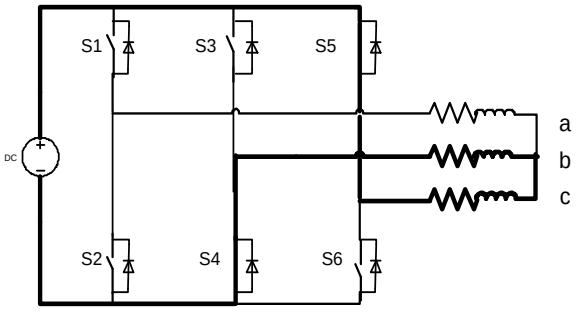
Gambar 5 mode 2 b-c (S3 on)dan (S6 on)



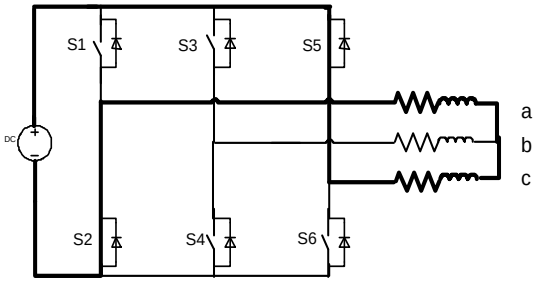
Gambar 6 mode 3 a-c (S1 on) dan (S6 on)



Gambar 7 mode 4 a-b (S1 on) dan (S4 on)



Gambar 8 mode 5 c-b (S5 on) dan (S4 on)

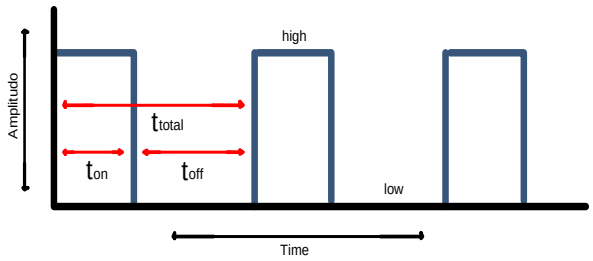


Gambar 9 mode 6 c-a (S5 on) dan (S2 on)

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.3 *Pulse Width Modulation* (PWM)

PWM merupakan suatu proses perbandingan antara sinyal carrier dengan sinyal modulasi sehingga menghasilkan sinyal kotak dengan lebar pulsa yang berbeda. Lebar pulsa tersebut dapat diatur dengan *duty cycle*. *Duty cycle* merupakan prosentase periode sinyal *high* dan periode sinyal *low*, presentase *duty cycle* akan berbanding lurus dengan tegangan rata rata yang dihasilkan. Sinyal PWM memiliki lebar pulsa yang bervariasi sesuai *duty cycle*. Di bawah ini gambar penjelasan sinyal PWM.



Gambar 10 sinyal pwm (*pulse width modulation)*

t_{on} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi *high* atau berlogika 1. t_{off} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi *low* atau berlogika 0. t_{total} adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara t_{on} dengan t_{off}, biasa dikenal dengan "periode satu gelombang".

$$t_{total} = t_{on} + t_{off} \quad (1)$$

siklus kerja atau *duty cycle* sebuah gelombang didefenisikan sebagai,

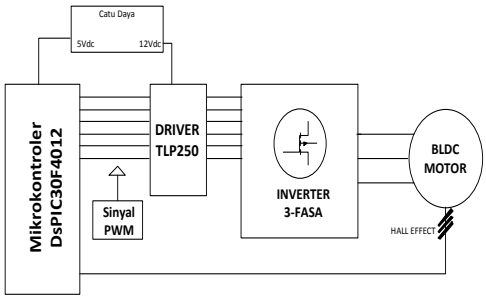
$$d = \frac{t_{on}}{(t_{on} + t_{off})} \times 100\% \quad (2)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$V_{out} = d \times V_{in} \quad (3)$$

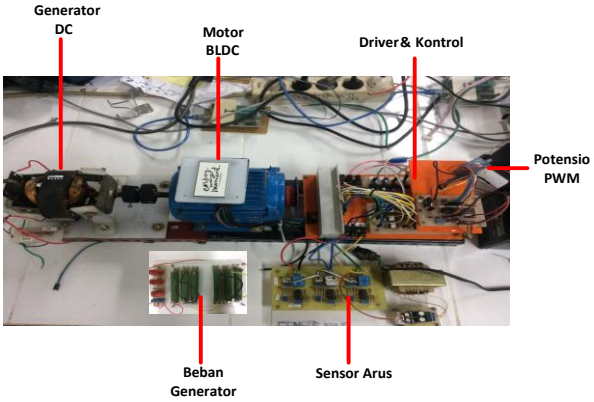
2.4 Desain dan Implementasi

Pada penelitian ini motor BLDC dijalankan menggunakan sinyal PWM dengan *duty cycle variabel* yang dihasilkan oleh mikrokontroler dsPIC30F4012 dengan topologi Inverter Tiga Fasa sebagai pensaklaran pada *motor Brushless DC*. Pembacaan pada posisi rotor dengan menggunakan *sensor Hall Effect* untuk mendeteksi letak magnet pada rotor. Sistem kontrol terdiri dari sebuah *driver* yang didalamnya terdapat dari IC optocoupler TLP250 dan Inverter 3 fasa menggunakan IGBT CPV364M4F , juga sebuah catu daya yang terdiri dari komponen B1212 dan B1205 yang menghasilkan keluaran 12V dan 5V.



Gambar 11 diagram blok rangkaian konrol BLDC

Pengaturan kecepatan pada motor brushless dc dijalankan dalam kondisi motoring dengan sinyal PWM yang *duty cycle* diatur secara variabel menggunakan potensio sehingga kecepatan motor bldc dapat berubah ubah sesuai sinyal PWM tersebut.kemudian motor BLDC dijalankan untuk mengerakan generator dc. Di mana pada stator generator dc tersebut diberi beban sebesar 30Ω .



Gambar 12 foto prototype

3 Hasil Pengujian

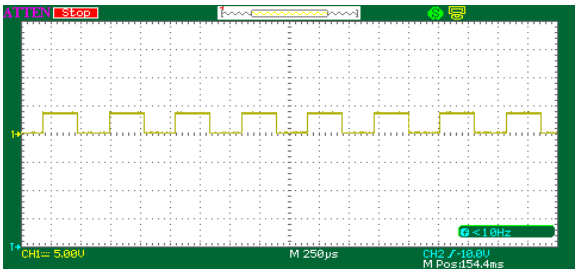
Untuk mendukung analisis maka dilakukan pengujian prototipe. setelah melakukan pengujian prototipe selanjutnya dilakukan pengambilan data yang telah mendapatkan hasil. hasil yang diperoleh yaitu perbandingan antara PWM (*Pulse Width Modulation)* dengan *duty cycle* 75% dan 50% akan menghasilkan kecepatan yang berbeda. Ditampilkan pada tabel 3 di bawah ini.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

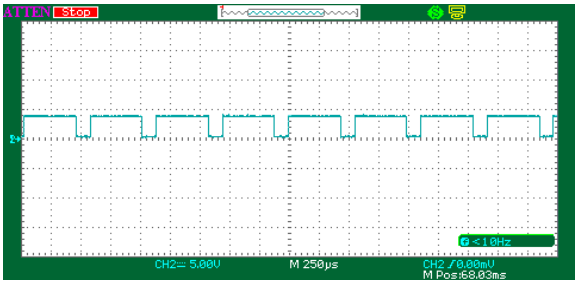
Tabel 3 Data perbadingan antara *duty cycle* 75% dan *duty cycle* 50%

Duty Cycle	Vout Generator	Beban Generator	RPM
75%	4,3 Vdc	30 Ohm	680
50%	2,5 Vdc	30 Ohm	398

Di bawah ini hasil sinyal PWM yang diseting pada *duty cycle* 50% dan 75% yang dihasilkan oleh mikrokontrole sebelum motor BLDC berputar atau kondisi off. Pembacaan sinyal dengan osiloscope.

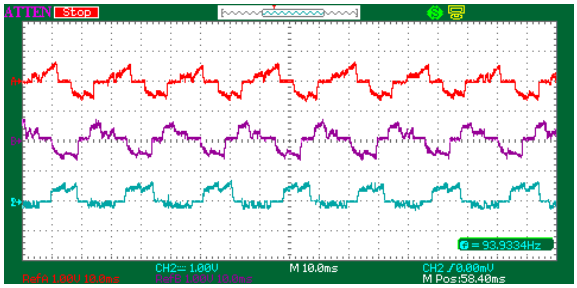


Gambar 13 gelombang PWM *duty cycle* 50% pada *output* mikrokontroler

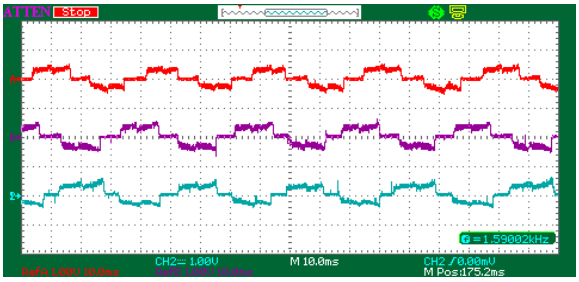


Gambar 14 gelombang PWM *duty cycle* 75% pada *output* mikrokontroler

Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengujian pada motor BLDC dalam kondisi berputar atau motoring dengan *duty cycle* 50% dan 75% sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Pembacaan sinyal Arus, Tegangan dan Antar Tegangan dengan osiloscope.

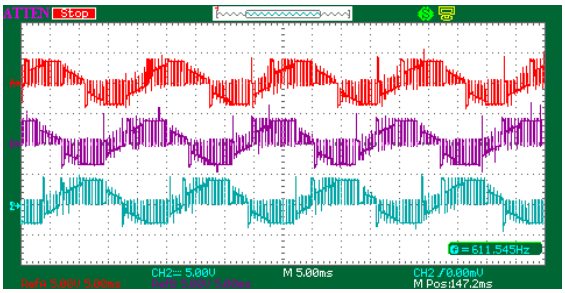


Gambar 15 gelombang arus (Ia, Ib, Ic) pada *duty cycle* 75%

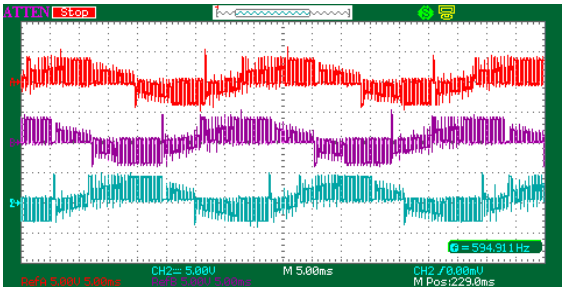


Gambar 16 gelombang arus (Ia, Ib, Ic) pada *duty cycle* 50%

Dapat dilihat pada gambar 15 dan gambar 16 bahwa perbandingan sinyal arus (Ia,Ib,Ic) pada *duty cylcle* 50% bentuk sinyal arus lebih lebar daripada bentuk sinyal parus pada *duty cycle* 75% .



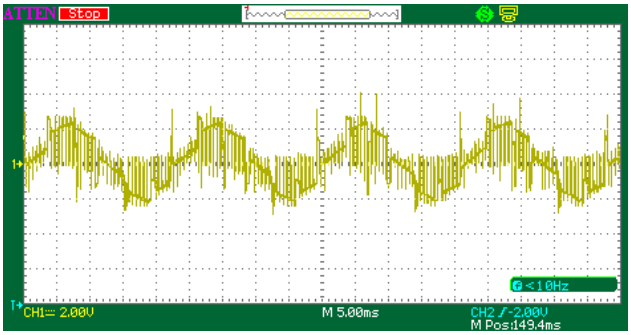
Gambar 17 gelombang tegangan antar fasa (Vab, Vbc, Vca) pada *duty cycle* 75%



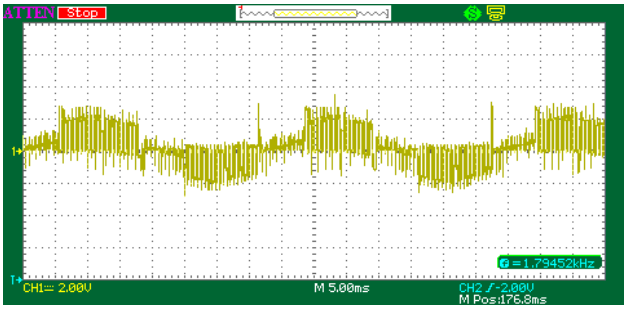
Gambar 18 gelombang tegangan antar fasa (vab, vbc, vca) pada *duty cycle* 50%

Dapat dilihat pada gambar 17 dan gambar 18 bahwa perbandingan sinyal tegangan antar fasa (Vab,Vbc,Vca) pada *duty cylcle* 50% bentuk sinyal arus lebih lebar daripada bentuk sinyal parus pada *duty cycle* 75% .

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 19 gelombang tegangan tiap fasa Van tada *duty cycle* 75%



Gambar 20 gelombang tegangan tiap fasa Van pada *duty cycle* 50%

Dapat dilihat pada gambar 19 dan gambar 20 bahwa perbandingan sinyal tegangan tiap fasa Van pada *duty cylcle* 50% bentuk sinyal arus lebih lebar daripada bentuk sinyal parus pada *duty cycle* 75%

4. Kesimpulan

Pengaturan kecepatan motor BLDC secara *variable* dapat dilakukan dengan menggunakan kendali PWM. Kendali PWM secara tidak langsung adalah mengendalikan *duty cyle* yang akan berpengaruh pada tegangan yang terkena pada motor, ketika tegangan meningkat arus pada motor BLDC tersebut juga akan meningkat. Arus sebanding dengan torka pada motor sehingga torkanya juga akan meningkat.

5. Nomenkaltur

t_{on} = Waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi

t_{off} = Waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah

t_{total} = Waktu satu siklus (T_{on} + T_{off})

D = *Duty Cycle*

V_{out} = Tegangan keluaran (volt)

V_{in} = Tegangan masukan (volt)

6. Daftar Pustaka

[1] Jian., Z, Yangwei, Y. AN047. *Brushless DC Motor Fundamentals Application Note*. Juli 2011

[2] Brown, Ward. *Microchip Technology Inc*. AN857. *Brushless DC Motor Control Made Easy*. 2012

[3] Gultom, Leothamrin. "Aplikasi Pembangkit PWM pada mikrokontroler ATMega 8535 Untuk mengendalikan Suhu Pemanas Air *(Heater)*. 2011

[4] Samsul Arifin, Akhmad Fatoni "Pemanfaatan Pulse Width Modulation Untuk Mengontrol Motor (Studi Kasus Robot Otomatis Dua Deviana). Agustus 2014

[5] Agung Dwi Yulianta, Sasongko Pramono Hadi, Suharyanto "Pengendalian Kecepatan Motor *Brushless DC* (BLDC) menggunakan Metode Logika *Fuzzy*". Jurnal Sains,Teknologi dan industri Juni 2015

[6] Mahadian Dewangga, Bambang Sujanarko, Satryo Budi Utomo "Desain Sistem Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis *Programmable Array Logic* Dengan Metode *Six Step Communitation*". 2014

[7] Nanda Redha Arsya, Heri Suryoatmojo, Sjamsjul Anam "Desain Kontrol Kecepatan Motor *Brushless DC* Berbasis *Power Factor Correction (PFC)* Menggunakan *Single Ended Primary Inductance Converter (SEPIC)*". Jurnal TeknikITS. 2016

[8] Adnan Mohammad, Md. Anwarul Abedin, Md. Zianurrahman Khan. "*Implementation Of a Three Phase Inverter For BLDC Motor Drive*". 2016

[9] Ronaldi Hutabalian, Amir Hmazah. "Desai dan Analisa Inverter Tiga Fasa Dengan Metode SVPWM Sebagai Penggerak Motor Induksi Tiga Fasa Pada Aplikasi Sepeda Listrik. 2016

[10] Sutedjo, Ony Asrarul Qudsi, Suhariningsih. "*Desain Dan Implementasi Six-step Comutation* Pada Sistem Kontrol Motor BLDC 1,5 kW". 2017

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Analisa Pengereman Dinamik Pada Motor Brushless DC (BLDC)

[1]Galih Rakasiwi [2]Slamet Riyadi

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang

[1]rakasiwi.galih0406@gmail.com, [2]sriyadi7167@gmail.com

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi dengan menggunakan motor listrik mengalami kemajuan yang sangat pesat khususnya di bidang transportasi elektrik. Salah satu jenis motor yang digunakan untuk transportasi elektrik yaitu motor Brushless DC (BLDC) karena memiliki efisiensi tinggi, torka besar, kecepatan tinggi dan biaya operasional yang murah. Pada kendaraan listrik yang digerakkan oleh motor BLDC dibutuhkan suatu sistem keamanan yaitu pengereman. Dalam penelitian ini penulis mengusulkan salah satu metode pengereman pada motor BLDC. Pengereman pada motor BLDC dirancang secara dinamik, dimana motor BLDC dioperasikan sebagai generator yang digerakkan oleh motor DC. Dioda pada modul inverter dimanfaatkan untuk melakukan pengereman dinamik pada motor BLDC. Pengereman dinamik dilakukan dengan cara memberikan resistor pada terminal input motor BLDC, dimana langkah tersebut dilakukan secara tiga tahapan dengan cara memberikan resistansi yang berbeda. Pada saat terjadinya pengereman dinamik, nilai resistansi mempengaruhi lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stasioner. Pada makalah ini dipaparkan hasil analisis pengereman dinamik pada motor BLDC.

Kata Kunci : transportasi elektrik, motor BLDC, pengereman dinamik, generator, resistansi

1 Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman, cadangan dan persediaan bahan bakar fosil setiap tahun semakin menipis. Hal ini sangat berpengaruh bagi dunia otomotif yang mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber utama penggerak kendaraan bermotor. Saat ini banyak dijumpai kendaraan bermotor yang ramah lingkungan, salah satunya yaitu kendaraan elektrik atau listrik. Kendaraan listrik merupakan kendaraan yang menggunakan energi listrik sebagai energi penggeraknya. Pada awalnya motor DC digunakan untuk menggerakan kendaraan listrik, karena memiliki torka yang besar. Motor DC memiliki kelemahan pada sikat (*brush*). Hal ini menyebabkan gesekan pada motor DC sehingga motor DC membutuhkan perawatan yang tinggi untuk mengganti sikat. Oleh karena itu kebutuhan terhadap motor yang memiliki efisiensi tinggi, torka tinggi, kecepatan tinggi dan biaya operasional yang murah semakin meningkat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut digunakan Motor Brushless DC (BLDC) [1].

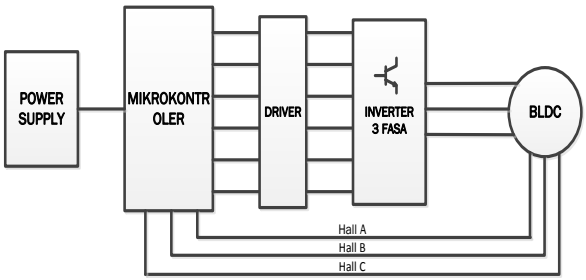
Motor Brushless DC (BLDC) banyak digunakan untuk kendaraan listrik sebagai pengganti motor DC karena motor BLDC memiliki karakteristik yang sama dengan motor DC. Motor BLDC juga tidak menggunakan sikat. Oleh karena itu motor BLDC banyak digunakan untuk aplikasi penggerak kendaraan listrik dan industri. Salah satu kebutuhan utama yang dibutuhkan pada kendaraan listrik yaitu pengereman. Terdapat tiga jenis pengereman pada kendaraan elektrik yaitu pengereman secara dinamik, pengereman secara plugging, dan pengereman secara regeneratif.

Pada makalah ini dijelaskan pengereman pada motor BLDC secara dinamik. Pada pengereman dinamik energi pengereman terbuang menjadi energi panas pada resistor. Pengereman dinamik menghasilkan pengereman yang halus dan tidak ada hentakan sehingga tidak menimbulkan kerugian. Dalam pengereman dinamik, lama waktu pengereman ditentukan oleh nilai resistor yang diberikan ke belitan stator dan kapasitas motor. Metode pengereman dinamik memiliki keuntungan antara lain kemudahan untuk mengatur kecepatan pengereman terhadap motor BLDC.

2 Metodologi Penelitian

Motor BLDC adalah jenis motor sinkron dengan menggunakan magnet permanen pada rotor dan kumparan stator[1,4]. Motor BLDC memiliki biaya operasional yang lebih murah dari motor DC dan memiliki kecepatan yang lebih tinggi serta memiliki torsi awal yang besar. Meskipun demikian pengendalian motor BLDC jauh lebih kompleks dan memakan biaya yang cukup mahal.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

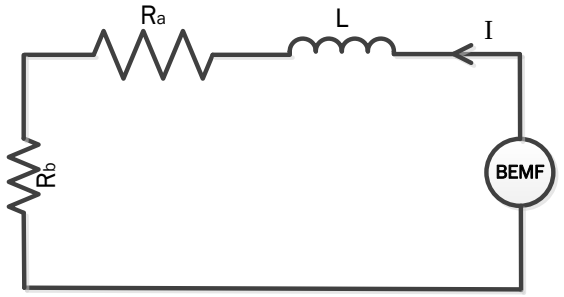


Gambar 1. Diagram blok pengendalian motor BLDC

Kontruski motor BLDC terdiri dari stator yang berupa belitan dan rotor yang menggunakan magnet permanen. Stator merupakan bagian yang diam atau statis, fungsinya sebagai pembangkit elektromagnetik untuk menghasilkan medan elektromagnet pada motor. Sedangkan rotor adalah bagian dari motor yang berputar karena adanya gaya tarik menarik atau tolak menolak antara stator dan rotor. Pada motor BLDC, kontroler berfungsi untuk mengatur arus masukan yang harus dialirkan ke stator untuk dapat menimbulkan medan elektromagnet yang sesuai untuk memutar rotor. Motor BLDC juga dilengkapi dengan sensor hall effect untuk membaca posisi rotor.

2.1 Pengereman Dinamik

Pengereman dinamik merupakan salah satu metode pengereman pada motor listrik yang sangat praktis dan memberikan gaya pengereman yang sangat baik. Dengan alasan itu maka pengereman dinamik sangat baik digunakan pada sistem pengereman untuk waktu yang sangat singkat karena motor dapat berhenti dengan cepat. Pengereman ini dilakukan dengan cara memutuskan suplai tegangan ke sebuah motor yang sedang berputar lalu dihubungkan dengan sebuah beban pada terminal statornya. Intensitas pengereman tergantung dari arus yang diberikan pada terminal stator dan dengan menentukan tahanan.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen motor BLDC

Untuk menghitung besarnya tahanan pada pengereman dinamik dapat dilihat dari persamaan berikut ini :

$$E = I(Ra + Rb) \quad (1)$$

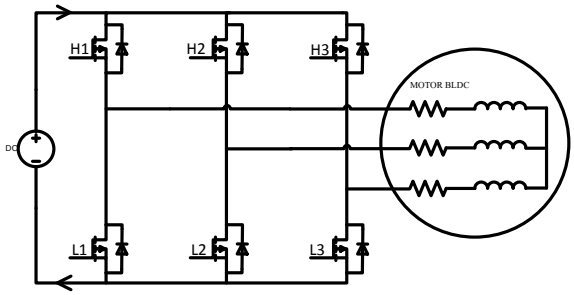
Tahanan untuk pengereman dinamik :

$$Rb = \frac{E}{I} - Ra \quad (2)$$

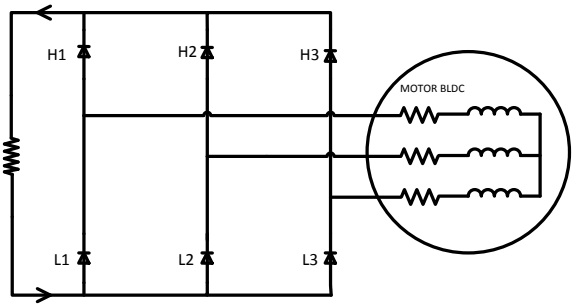
Arus untuk pengereman dinamik :

$$I = \frac{E}{Ra + Rb} \quad (3)$$

Ketika sebuah motor yang sedang berputar dilepaskan dari sumber, motor tersebut masih memiliki energy kinetik karena motor masih berputar. Besar energi listrik yang dibangkitkan tergantung pada kecepatan motor saat sumber tersebut dilepaskan, karena energi sisa pada belitan medan dan putaran masih ada sehingga motor akan beroperasi sebagai generator yang mengalirkan arus menuju beban. Keadaan ini menyebabkan energi yang dihasilkan oleh stator akibat dari putaran akan dilepas melalui beban dalam bentuk panas.



Gambar 3. Rangkaian ekivalen motor BLDC pada saat motoring



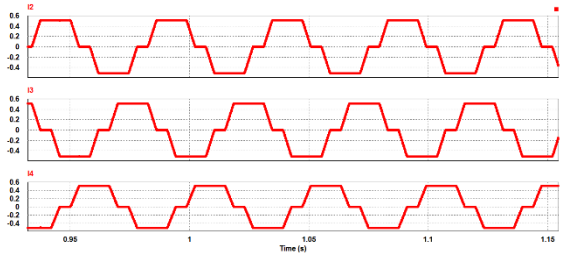
Gambar 4. Rangkaian ekivalen pada saat pengereman dinamik

Rangkaian pengereman dinamik pada penelitian ini membuat semua saklar pada posisi mati, sehingga motor BLDC akan beroperasi sebagai generator. Pengereman dinamik dilakukan dengan menggunakan beberapa buah resistor untuk mengetahui respon motor pada saat terjadi pengereman.

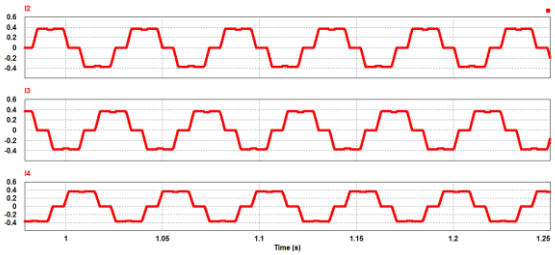
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

3 Hasil Simulasi dan Pengujian

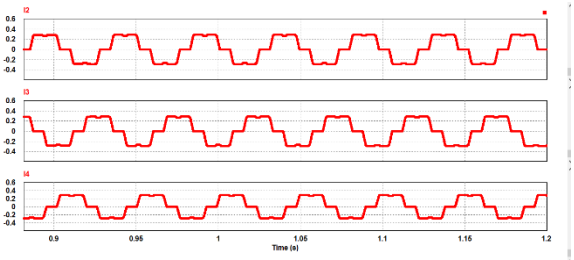
Pengereman dinamik pada motor BLDC telah disimulasikan dalam perangkat lunak PSIM. Pada simulasi, saat terjadi pengereman dinamik saklar pada inverter dalam posisi mati. Dari hasil simulasi yang telah diperoleh, semakin kecil resistor maka arus yang dihasilkan akan semakin besar. Hasil dari gelombang output ditunjukan pada gambar berikut.



Gambar 5. Hasil simulasi gelombang arus dengan beban 15 Ω

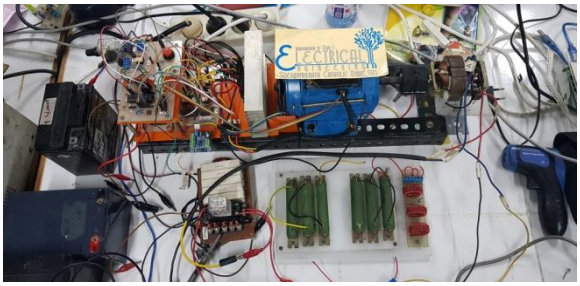


Gambar 6. Hasil simulasi gelombang arus dengan beban 30 Ω



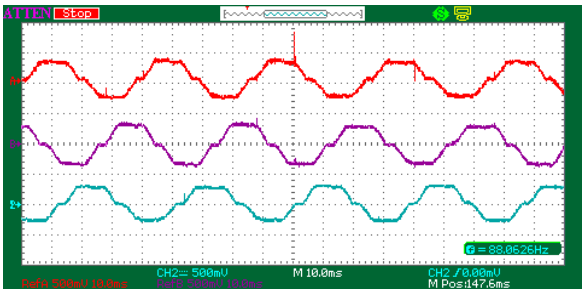
Gambar 7. Hasil simulasi gelombang arus dengan beban 45 Ω

Pengereman dinamik pada motor BLDC telah disimulasikan dan dibuat prototype di laboratorium. Motor BLDC dioperasikan sebagai generator. Untuk mengoperasikan motor BLDC sebagai generator digunakan motor DC sebagai penggeraknya.

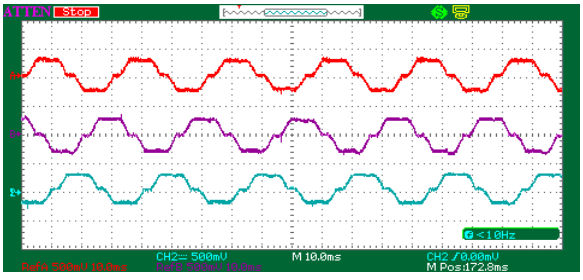


Gambar 8. Prototype Motor BLDC

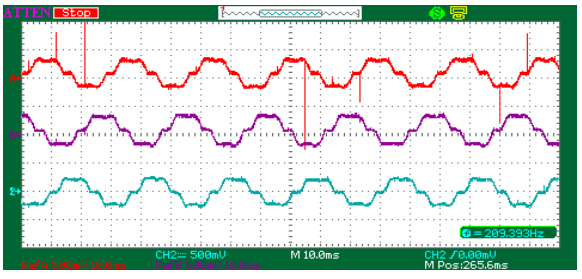
Motor DC diputar pada kecepatan yang konstan. Setelah motor DC berputar menggerakan motor BLDC sebagai generator, selanjutnya terminal input pada motor BLDC akan diberikan resistor. Pada pengujian ini, terminal input motor BLDC akan diberi resistor 15Ω, 30Ω, dan 45Ω. Kecepatan awal pada saat motoring atau sebelum terjadi pengereman 1313 rpm. Berikut ini adalah hasil pengujian arus setiap fasa dengan resistor 15Ω, 30Ω, dan 45Ω.



Gambar 9. Hasil pengujian gelombang arus keluaran dengan beban 15 Ω



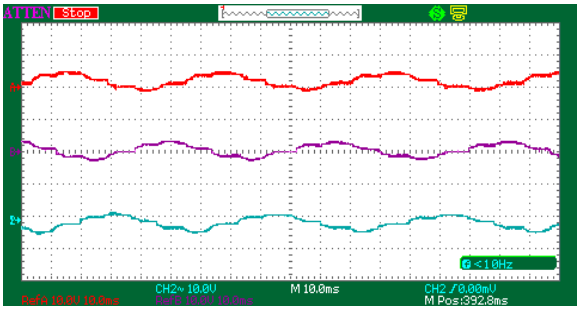
Gambar 10. Hasil pengujian gelombang arus keluaran dengan beban 30 Ω



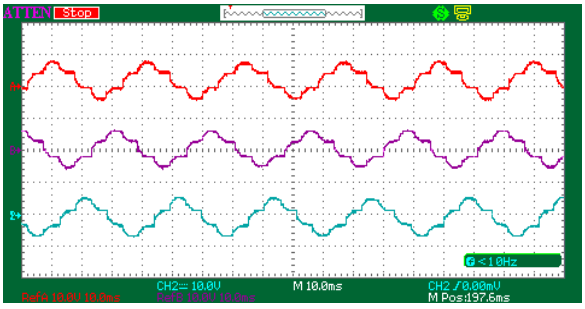
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 11. Hasil pengujian gelombang arus keluaran dengan beban 45 Ω

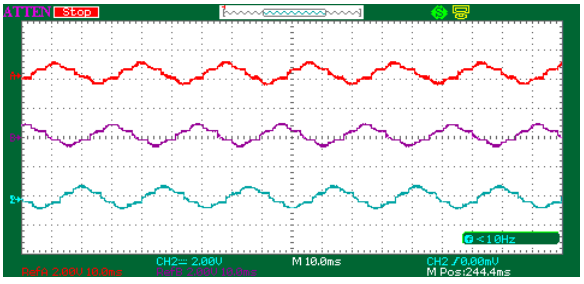
Tegangan setiap fasa dengan resistor 15Ω ditunjukkan pada gambar 12, tegangan fasa dengan resistor 30Ω ditunjukkan pada gambar 13, dan tegangan setiap fasa dengan resistor 45Ω ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 12. Hasil pengujian gelombang tegangan keluaran dengan beban 15 Ω

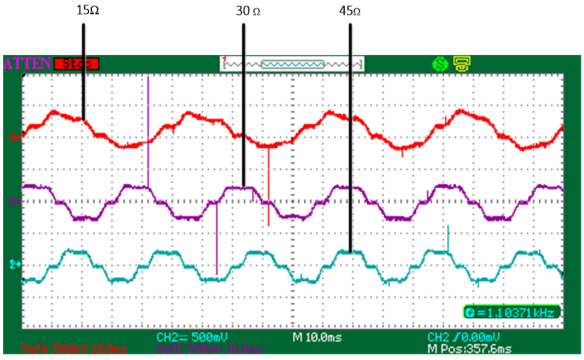


Gambar 13. Hasil pengujian gelombang tegangan keluaran dengan beban 30 Ω



Gambar 14. Hasil pengujian gelombang tegangan keluaran dengan beban 45 Ω (skala tegangan x10)

C. Hasil Perbandingan Arus



Gambar 15. Hasil perbandingan gelombang arus keluaran

Setelah dilakukan pengujian untuk pengereman dinamik dengan memberi resistor pada tegangan input motor BLDC secara tiga tahap yaitu 15 Ω, 30 Ω, dan 45 Ω hasil dari pengujian dapat digunakan untuk dianalisa dan ditarik kesimpulan. Hasil yang diperoleh menjadi perbandingan antara pengereman dinamik dengan beban 15 Ω, 30 Ω, dan 45 Ω.

Tabel 1. Hasil Pengujian

No	Resistor (Ω)	Kecepatan (rpm)
1	15 Ω	391 rpm
2	30 Ω	458 rpm
3	45 Ω	549 rpm

4 Nomenklatur

E : Tegangan pada saat pengereman dinamik

I : Arus pada saat pengereman dinamik

Ra : Tahanan stator motor

Rb : Tahanan Pengereman

5 Kesimpulan

Jika nilai resistor yang dipasang pada motor BLDC kecil maka arus pada saat pengereman akan besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk terjadi pengereman semakin cepat dan kecepatannya turun lebih cepat, jika semakin besar nilai resistor yang dipasang pada motor BLDC maka nilai arus pada saat pengereman kecil sehingga

membutuhkan waktu yang lama untuk terjadi pengereman. Semakin besar arus pada pengereman maka waktu pengereman akan semakin cepat.

6 Daftar Pustaka

[1] Fauzi Yuda Pratama, Endrayansyah, "Rancang Bangun Pengendalian Kecepatan Brushless DC Motor Tipe A2212/10T 1400 Kv Menggunakan Kontroller PID Berbasis Labview", Universitas Negeri Surabaya, Vol. 7, No. 3 Tahun 2018, 157-166

[2] Zhao, Jian., Yu, Yangwei, "Brushless DC Motor Fundamentals", Application Note, AN047. 2011

[3] Agung Dwi Yulianta, Sasongko Pramono Hadi dan Suharyanto, "Pengendalian Kecepatan Motor *Brushless DC (BLDC)* menggunakan Metode Logika Fuzzy", Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, 2015

[4] Achmad Fachrudin Istiananda, Ir. Rusdhianto Effendie A.K. M.T., dan Andri Ashfahani S.T. M.T. M.Sc. "Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Arus Searah Tanpa Sikat Menggunakan Metode PID-Robust", Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN : 2337-3539

[5] Md. Rifat Hazari, Effat Jahan, "Design of a Brushless DC (BLDC) Motor Controller", International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT), 2014

[6] Y.B. Adyapaka Apatya, Aries Subiantoro, Feri Yusivar, "Design and Prototyping of 3-phase BLDC motor", 2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR) : International Symposium on Electrical and Computer Engineering

[7] EATON Corporation, "Dynamic Braking", Application Note AP040010EN, 2013

[8] Muhammad Hami Pradipta, Tedjo Sukmadi, dan Mochammad Facta, "Pengereman Dinamis Konvensional Pada Motor Induksi Tiga Fasa", Universitas Diponegoro Semarang, Transient, Vol. 3, No. 4, 2014, ISSN : 2302-9927,657

[9] Moch. Faishol Yusron, Joko, "Pengereman Dinamik Motor Induksi 3 Fase 220V/380V", Jurnal INAJEEE, Vol. 1, No. 1, 2018

[10] Ri Munarto, Bobby Rinaldi, "Analisis Pengereman Dinamik pada Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Injeksi Arus Searah dan Kapasitor Eksitasi Sendiri *Fuzzy C-Means Clustering*", Jurnal SETRUM, Vol. 7, No. 1, 2018, p-ISSN : 2301-4652

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pengaturan Kecepatan Motor *Switched Reluctance* dengan Konverter *Asymmetric* pada Mode *Magnetizing* dan *Demagnetizing*

Tubagus Wasita Febriandi & Slamet Riyadi

Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang, Indonesia

andipartvisual@gmail.com, sriyadi7167@gmail.com

Abstrak

Saat ini, perkembangan dalam dunia industri cukup pesat. Perkembangan ini dapat dijumpai pada bidang transportasi. Sudah banyak alat transportasi yang telah menggunakan motor modern sebagai tenaga penggeraknya. Salah satu contoh motor modern saat ini adalah *Switched Reluctance Motor* (SRM). *Switched Reluctance motor* memiliki kelebihan seperti struktur sederhana dengan konstruksi tanpa magnet permanen di sisi rotor. Untuk menggerakan motor ini, membutuhkan sebuah rangkaian konverter. Salah satu konverter yang digunakan adalah konverter *Asymmetric*, karena Konverter *Asymmetric* memiliki kelebihan yaitu teknik kontrol yang mudah dan kecepatan motor dapat diatur. Untuk mengontrol kecepatan motor dapat diatur menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM). Pada pengontrolan ini lebar PWM dapat berubah dengan mengatur sebuah potensiometer. Pada penelitian ini penulis akan menyajikan hasil pengujian terhadap motor *Switched Reluctance* dengan menggunakan konverter *Asymmetric*. Pada sistem pengontrolan menggunakan Pulse Width Modulation (PWM) yang dioperasikan dengan menggunakan mikrokontrol. Hasil pengujian menunjukkan perubahan *duty cycle* dapat mempengaruhi kecepatan motor *Switched Reluctance*.

Kata Kunci : motor modern, motor switched reluctance, konverter asymmetric, pulse width modulation, duty cycle

1 Pendahuluan

Dalam perkembangannya beberapa tahun terakhir ini penggerak motor elektrik sudah sangat maju. Seperti yang diketahui macam-macam penggerak motor elektrik mulai dari motor DC, motor AC, motor stepper dan lain-lain. Salah satu motor yang menjadi pertimbangan yaitu motor *Switched Reluctance*. Motor *Switched Reluctance* bukan merupakan penemuan baru karena telah diketahui lebih dari 150 tahun lalu. Pengaplikasian pertama kali motor *Switched Reluctance* adalah sebagai penggerak lokomotif pada tahun 1842 [1]. Motor Switched reluctance sering dipakai dalam bidang aerospace industry, peralatan tambang, peralatan rumah tangga, dll [2] Motor *Switched Reluctance* memiliki kelebihan yang melekat seperti struktur sederhana dengan konstruksi non lilitan di sisi rotor. Konverter menjadi bagian dalam perangkat pensaklaran dari listrik. Karena keterbatasan saklar statis, maka perkembangan motor *Switched Reluctance* tidak mengalami perubahan. Sehingga beberapa dekade ini dikembangkan kembali dalam elektronika daya [3,4]. Untuk menggerakan motor Switched Reluctance salah satunya menggunakan konverter Asymmetric. Konverter Asymmetric dapat mengurangi tegangan *ripple* pada saklar statis sehingga efisiensi daya dapat ditingkatkan secara efektif. Selain itu dapat beroperasi di bawah siklus kerja saklar statis.[5,6]

Pada makalah ini akan dibahas tentang pengkontrolan motor *Switched Reluctance* menggunakan konverter *Asymmetric* dengan mikrokontroller sebagai komponen yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor yang dikontrol dengan *duty cycle*.

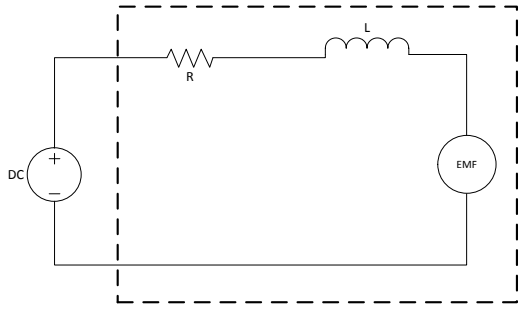
2 Metode Penelitian

Pada makalah ini digunakan motor *Switched Reluctance* yang digerakkan dengan konverter *Asymmetric* tiga fasa tanpa pembebanan pada kondisi *magnetizing* dan *demagnetizing*.

2.1 Motor *Switched Reluctance*

Motor *Switched Reluctance* adalah motor listrik yang memiliki konstruksi motor sederhana karena bentuk rotor terbuat dari inti besi. Rotor pada Motor *Switched Reluctance* memiliki bentuk kutub menonjol atau *salient pole* [3,6].Oleh karena itu, motor *Switched Reluctance* sering disebut juga motor dengan kutub ganda *(doubly salient pole).*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 1 Rangkaian Ekivalent motor *switched reluctance*

Dalam motor yang ideal, nilai hambatan (R) adalah nol. Sedangkan motor akan berputar dengan *Electro Motive Force* (EMF) yang hampir sama dengan tegangan yang diberikan. Di dalam sistem operasi motor terdapat EMF balik. EMF balik adalah tegangan balik yang dihasilkan oleh belitan motor *Switched Reluctance* ketika berputar.

Persamaan tegangan motor *Switched Reluctance* adalah berikut :

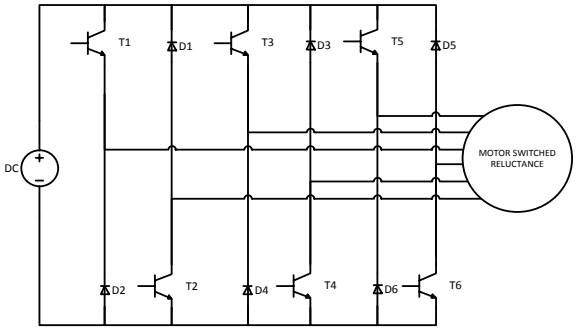
$$V = i.R + \left(\frac{d\varphi}{di} + \frac{di}{dt}\right) + \left(\frac{d\varphi}{d\varphi} + \frac{d\varphi}{dt}\right) \quad (1)$$

Persamaan torsi pada motor *Switched Reluctance* adalah sebagai berikut :

$$T(\varphi,i) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\varphi)}{d\varphi} \quad (2)$$

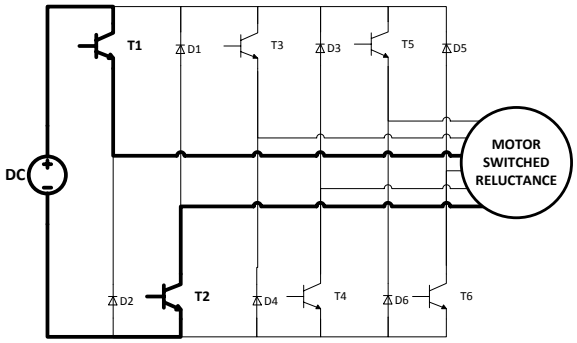
2.2 Topologi Konverter *Asymmetric*

Konverter Asymmetric memiliki 6 saklar statis dan 6 dioda. Konverter *Asymmetric* pada motor *Switched Reluctance* memiliki cara kerja sebagai pengaturan pensaklaran on atau off pada saat konfigurasi tertentu [7]. Konverter ini memiliki dua mode operasi pada saat magnetizing dan demagnetizing. Pada gambar 2 dapat dilihat skema konverter *Asymmetric.*



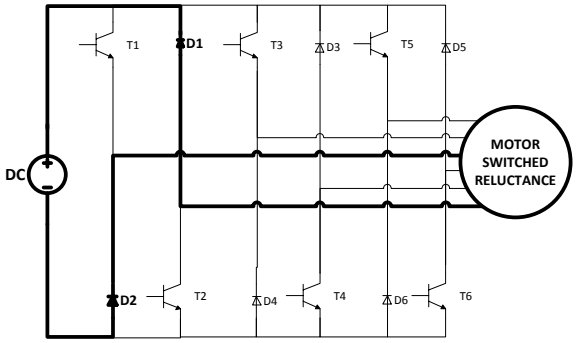
Gambar 2 Skema Konverter *Asymmetric*

Mode Operasi



Gambar 3 Mode Magnetizing konverter *Asymmetric*

Pada saat T1 dan T2 menyala, arus mengalir dari sumber tegangan ke fasa A pada belitan motor sehingga motor pada kondisi magnetizing [8]. Terlihat pada gambar 3.



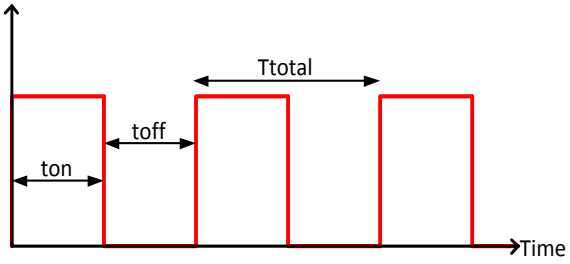
Gambar 4 Mode Demagnetizing konverter *Asymmetric*

Energi yang tersimpan pada belitan motor dibuang melewati fase A dalam kondisi T1 dan T2 off, saat mode ini tegangan dibuang melewati dioda D1 dan D2 sehingga motor pada kondisi demagnetizing [8]. Terlihat pada gambar 4.

2.3 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah suatu cara atau konsep untuk mengatur lebar sempit suatu pulsa [9]. Cara untuk mengaturnya adalah dengan membandingkan sinyal *carrier* dengan sinyal modulasi, makin besar sinyal modulasi maka sinyal makin lebar, sebaliknya makin kecil sinyal modulasi maka sinyal makin rapat [10]. Pada gambar 5 dibawah ini akan ditampilkan skema *duty cycle*.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 5 skema *duty cycle*

Pada sinyal diatas bisa dituliskan dengan persamaan:

$$T_{total} = t_{on} + t_{off} \quad (3)$$

$$d = \frac{t_{on}}{T_{total}} \quad (4)$$

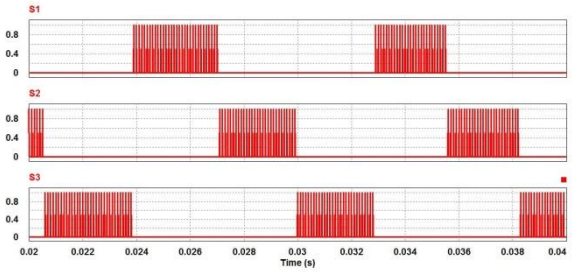
$$Vout = \frac{t_{on}}{T_{total}} xVin \quad (5)$$

3 Hasil dan Pembahasan

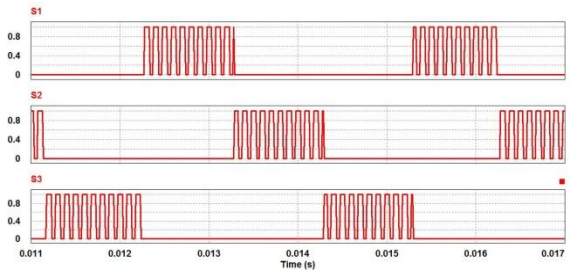
Pada makalah ini akan ditampilkan hasil simulasi, penjelasan tentang *prototype* alat dan hasil pengujian *prototype* nya.

3.1 Simulasi

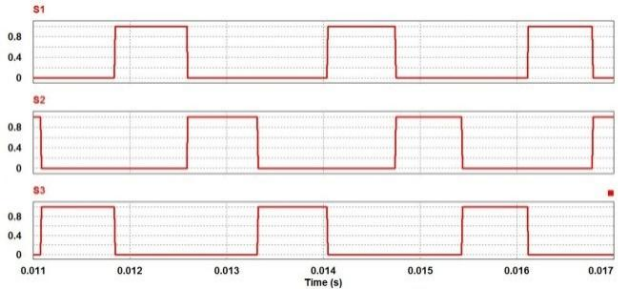
Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PSIM. Simulasi dilakukan dengan nilai duty cycle yaitu 50%, 75% dan 100% hasil simulasi di tampilkan pada penjelasan berikut. Hasil simulasi keluaran PWM pada duty cycle 50% ditunjukan pada gambar 6, *duty cycle* 75% pada gambar 7 dan duty cycle 100% pada gambar 8.



Gambar 6 Hasil simulasi keluaran PWM pada *duty cycle* 50%

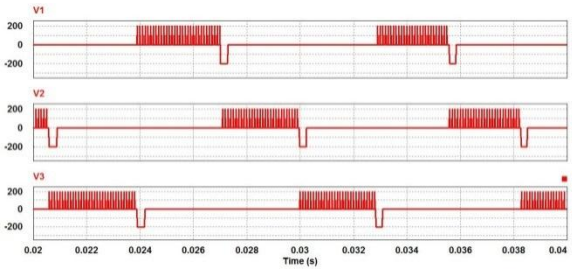


Gambar 7 Hasil simulasi keluaran PWM pada *duty cycle* 75%

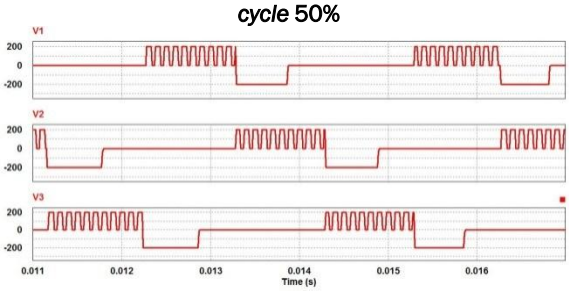


Gambar 8 Hasil simulasi keluaran PWM pada *duty cycle* 100%

Dibawah ini adalah hasil simulasi tegangan keluaran antar fasa (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) pada duty cycle 50% ditunjukan pada gambar 9, duty cycle 75% pada gambar 10 dan duty cycle 100% pada *gambar* 11. Perbandingan sinyal tegangan antar fasa pada simulasi terlihat bahwa semakin kecil *duty cycle*nya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.

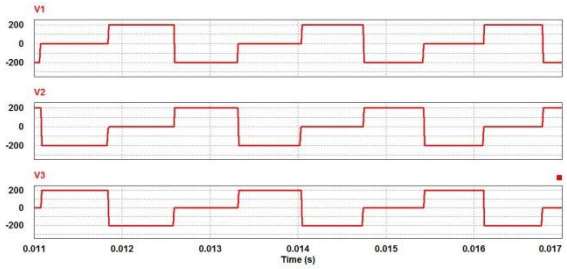


Gambar 9 Hasil simulasi tegangan antar fasa pada *duty cycle* 50%



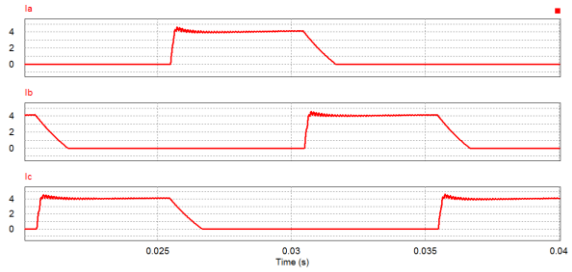
Gambar 10 Hasil simulasi tegangan antar fasa pada *duty cycle* 75%

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

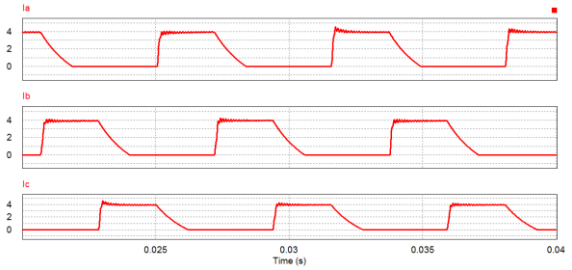


Gambar 11 Hasil simulasi tegangan antar fasa pada *duty cycle* 100%

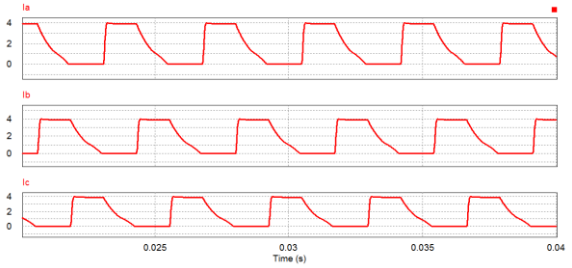
Di bawah ini akan ditampilkan hasil simulasi arus keluaran antar fasa (I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}) pada *duty cycle* 50% ditunjukan pada gambar 12, *duty cycle* 75% pada gambar 13 dan *duty cycle* 100% pada gambar 14. Perbandingan sinyal arus antar fasa pada simulasi terlihat bahwa semakin kecil *duty cycle*nya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.



Gambar 12 Hasil simulasi arus antar fasa pada kondisi *duty cycle* 50%

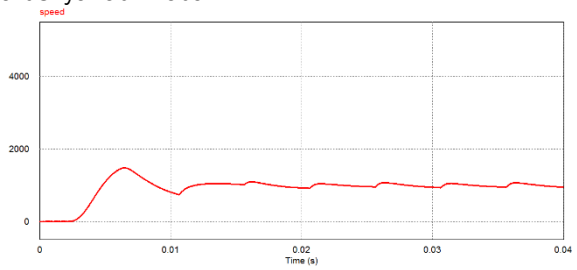


Gambar 13 Hasil simulasi arus antar fasa pada kondisi *duty cycle* 75%

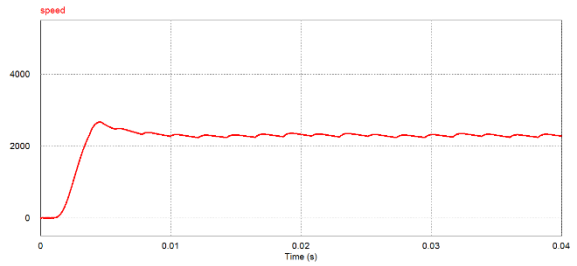


Gambar 14 Hasil simulasi arus antar fasa pada kondisi *duty cycle* 100%

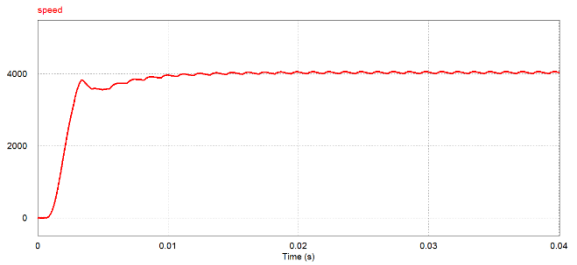
Di bawah ini akan ditampilkan hasil simulasi kecepatan pada *duty cycle* 50% ditunjukan pada gambar 15, *duty cycle* 75% pada gambar 16 dan *duty cycle* 100% pada gambar 17. Perbandingan sinyal arus antar fasa pada simulasi terlihat bahwa semakin kecil *duty cycle*nya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.



Gambar 15 Hasil simulasi kecepatan kondisi *duty cycle* 50%



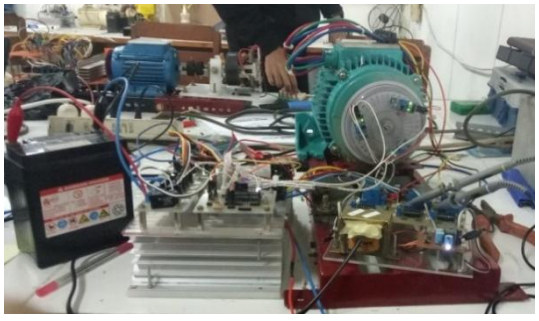
Gambar 16 Hasil simulasi kecepatan kondisi *duty cycle* 75%



Gambar 17 Hasil simulasi kecepatan kondisi *duty cycle* 100%

3.2 Hasil Pengujian

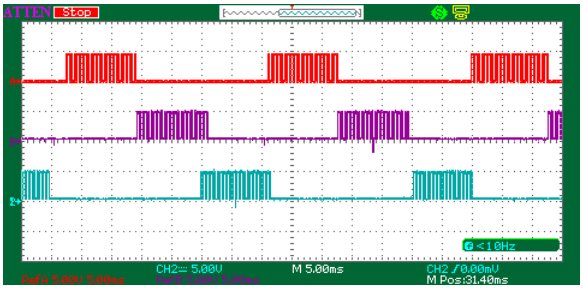
Untuk mendukung hasil simulasi dan analisi maka dilakukan pengujian. Pengujian ini menggukan *prototype* disajikan pada gambar 18. Pada *prototype* tersebut terdapat motor *Switched Reluctance* yang akan diendalikan menggunakan Konverter jenis *Asymmetric. Duty cycle* yang digunakan adalah sama seperti yang digunakan pada simulasi sebagai pendukung kebenaranya.



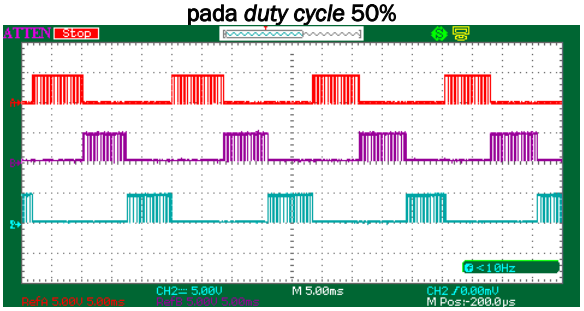
Gambar 18 *prototype* motor *switched reluctance* dengan konverter *asymmetric*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

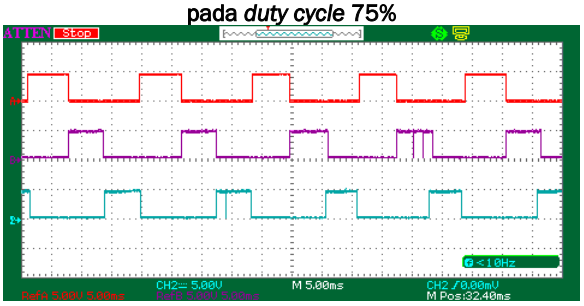
Di bawah ini adalah hasil tegangan keluaran PWM yang diatur pada *duty cycle* 50%, 75% dan 100% dalam kondisi motor *Switched Reluctance* motoring pada gambar 19, gambar 20 dan gambar 21. Dapat dilihat bahwa sinyal tegangan keluaran PWM selain berpengaruh pada duty cyclenya juga berpengaruh pada lebar sinyal keluaran pulsanya.



Gambar 19 Hasil pengujian gelombang keluaran PWM pada *duty cycle* 50%

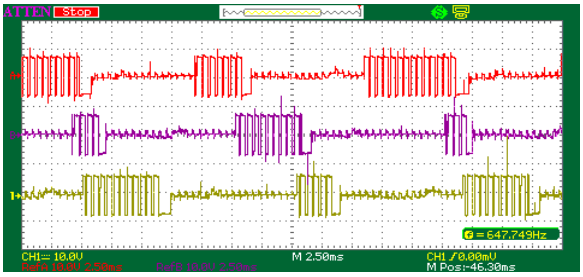


Gambar 20 Hasil pengujian gelombang keluaran PWM pada *duty cycle* 75%

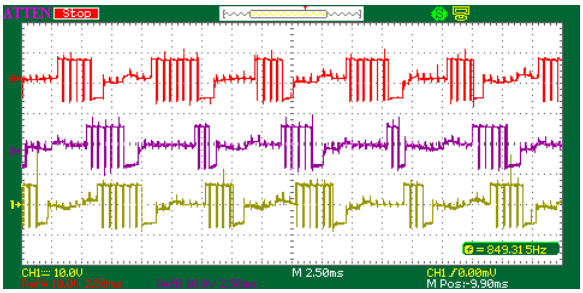


Gambar 21 Hasil pengujian gelombang keluaran PWM pada *duty cycle* 100%

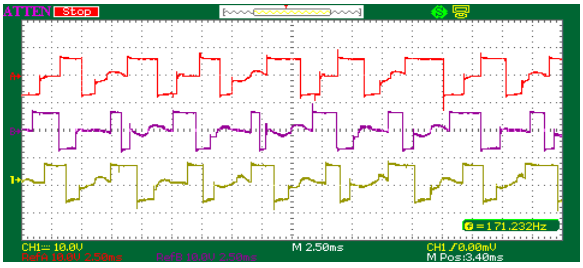
Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengujian pada motor *Switched Reluctance* dalam kondisi motoring yang menghasilkan sinyal tegangan antar fasa dengan *duty cycle* 50%, 75% dan 100% pada gambar 22, gambar 23 dan gambar 24. Perbandingan sinyal tegangan antar fasa terlihat bahwa semakin kecil *duty cycle*nya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.



Gambar 22 Hasil pengujian keluaran tegangan antar fasa (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) *duty cycle* 50%

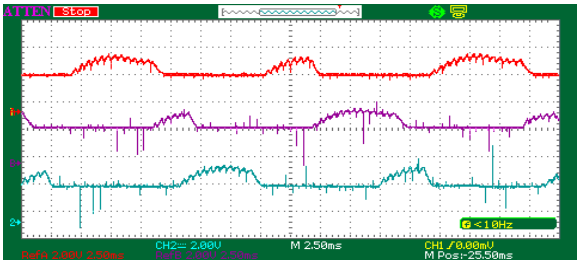


Gambar 23 Hasil pengujian keluaran tegangan antar fasa (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) *duty cycle* 75%



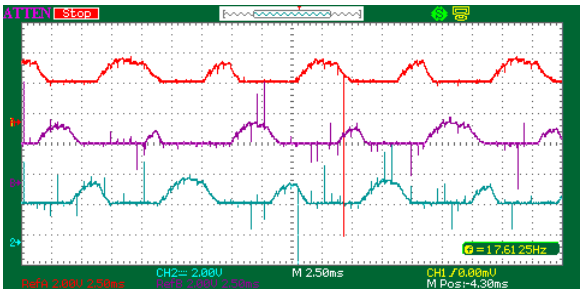
Gambar 24 Hasil pengujian keluaran tegangan antar fasa (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) *duty cycle* 100%

Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengujian pada motor *Switched Reluctance* dalam kondisi motoring yang menghasilkan sinyal arus antar fasa dengan *duty cycle* 50%, 75% dan 100% pada gambar 25, gambar 26 dan gambar 27. Perbandingan sinyal arus antar terlihat bahwa semakin kecil *duty cycle*nya maka bentuk sinyal arusnya yang mengisi antar fasanya semakin melebar.

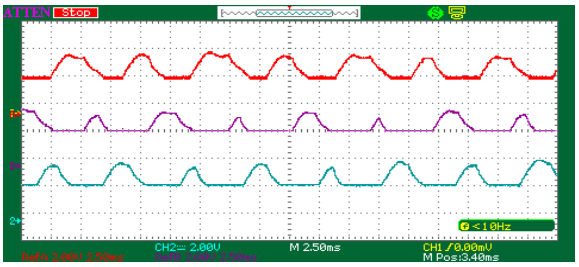


(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 25 Hasil pengujian keluaran arus antar fasa (I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}) *duty cycle* 50%



Gambar 26 Hasil pengujian keluaran arus antar fasa (I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}) *duty cycle* 75%



Gambar 27 Hasil pengujian keluaran arus antar fasa (I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}) *duty cycle* 100%

Kecepatan motor *Switched Reluctance* dapat diatur menggunakan *duty cycle*. Setelah melakukan pengujian *prototype* dan telah mendapatkan hasil, kemudian akan ditampilkan hasil kecepatan yang diukur dengan menggunakan *tachometer.* Hasil kecepatan dapat dilihat pada gambar 28, gambar 29 dan gambar 30.



Gambar 28 Hasil pengujian kecepatan SRM pada kondisi *duty cycle* 50%



Gambar 29 Hasil pengujian kecepatan SRM pada kondisi *duty cycle* 75%



Gambar 30 Hasil pengujian kecepatan SRM pada kondisi *duty cycle* 100%

Sebagai pendukung dari hasil yang diperoleh yaitu sebagai perbandingan antara posisi *duty cycle* dengan kecepatan yang ada. Ditampilkan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 5 Parameter hasil Penelitian

No	Kondisi	Duty Cycle	kecepatan (rpm)
1	Potensio Penuh	100%	1348.8
2	Potensio 3/4	75%	914.4
3	Potensio 1/2	50%	597.6

4 Kesimpulan

Pada pengujian ini dapat ditunjukkan bahwa pengaturan kecepatan motor *Switched Reluctance* dengan konverter *Asymmetric* pada mode *magnetizing* dan *demagnetizing* menggunakan kontrol PWM dapat dibuktikan, bahwa semakin besar *duty cycle*nya akan berpengaruh pada arus dan tegangan yang semakin tinggi. Sebaliknya jika semakin kecil *duty cycle*nya akan berpengaruh pada arus dan tegangan yang semakin rendah.

5 Nomenklatur

Daftar nomenklatur

V	=	Tegangan
i	=	Arus
R	=	Hambatan
L	=	Induktor
ϕ	=	Fluksi
T	=	Torka motor

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

t_{on} = Ketika Pulsa "High"

t_{off} = Ketika Pulsa "Low"

d = duty cycle

6 Daftar Pustaka

[1] K. Vijayakumar, R. Karthikeyan, R. Arumugam, and K. N. Srinivas, "Switched Reluctance Motor Modeling, Design, Simulation, and Analysis: A Comprehensive Review." IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, vol. 44, no. 12, december 2008.

[2] M. Asgar, E. Afjei, A. Behbahani, A. Siadatan. " A 12/8 Double-Stator Switched Reluctance Motor for Washing Machine Application". IEEE 3-4 February 2015.

[3] E. Afjei, A. Siadatan, and M. Rafiee. "Construction of a Low Cost Asymmetric Bridge Converter for Switched Reluctance Motor Drive." IEEE, 2013.

[4] Ryan Agung Triaji, Nasrun Harianto, Syahrial Syahrial. " Analisis Motor Reluktansi Tipe Switched Reluctance Motor Dengan Sumber Tiga Fasa." Jurnal Teknik Elektro "REKAELKOMIKA". Vol.2 No 4 (2014)

[5] Jin-Woo Ahn, Ph.D, "Switched Reluctance Motor." Torque Control ISBN 978-953-307-428-3, published 10, February, 2011.

[6] Ankit P. Khedkar, P. S. Swami, "Comparative Study of Asymmetric Bridge and Split AC Supply Converter for Switched Reluctance Motor." ICCPEIC, 2017.

[7] M. Asgar, E. Afjei, A. Siadatan, Ali Zakerolhosseini. "A New modified Asymmetric Bridge Drive Circuit Switched Reluctance Motor." IEEE, 2009.

[8] Souvik Ganguli, "Analysis of An Asymmetric Bridge Converter for SRM Drives Using PSPICE Simulation." October-December, 2011

[9] B.M. Shihab, H.S. Che, W. P. Hew. " Symmetrical Six-Phase PWM Methods Using Similar and Dissimilar Zero-sequence Signals Injection." 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016)

[10] Zhang X., Wang B., Lin Y. & Zhang R. " Application research of PWM Inverter in the cascade speed control system of Inner-Feedback motor. 2009 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments."

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Analisa Pembebanan pada Motor *Brushless DC (BLDC)*

[1]Yunus Chandra Wibowo [2]Slamet Riyadi

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang, Indonesia

yunuschandrawibowo@yahoo.com, sriyadi7167@gmail.com

Abstrak

Aplikasi dari energi terbarukan semakin banyak dikembangkan salah satunya pada bidang transportasi elektrik. Sudah banyak alat transportasi yang telah menggunakan motor modern sebagai tenaga penggeraknya, diantaranya adalah motor *switch reluctance* dan *brushless DC (direct current)*. Motor BLDC atau motor *brushless dc* sendiri memiliki kelebihan efisiensi tinggi dan rugi-rugi mekanik yang rendah karena tidak menggunakan sikat (*brush)* seperti motor dc konvensional. *Inverter* tiga fasa diperoleh untuk dapat mengalirkan arus/tegangan bolak-balik yang menghasilkan elektromagnetik kutub utara ataupun selatan. Pada makalah ini dilakukan kajian dengan pembebanan motor BLDC, Pembebanan direalisasikan dengan mengggunakan generator DC yang dibebani dengan *variable* resistor. Pengujian laboratorium dilakukan untuk mendukung hasil analisis.

Kata kunci : transportasi elektrik, efisiensi tinggi, brushless dc, inverter tiga fasa, pembebanan

1 Pendahuluan

Akibat penggunaan kendaraan konvensional dan juga industri yang berbahan bakar fosil berdampak pada lingkungan, emisi gas buang yang dihasilkan oleh pembakaran motor bakar merupakan masalah utama dari timbulnya kerusakan ekosistem. Masalah ini semakin memburuk dengan semakin meningkatnya jumlah penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil. Untuk dapat menanggulangi masalah ini dikembangkanlah kendaraan listrik dengan berbagai macam motor listrik. Pada awalnya kendaraan listrik menggunakan motor DC karena mempunyai karakteristik torka awalnya yang kuat sehingga dapat menarik beban yang berat seperti kendaraan listrik. Tetapi motor DC memiliki salah satu kelemahan yaitu adanya sikat *(brush*) dan komutator.

Dari kelemahan motor DC tersebut maka motor ini mulai ditinggalkan. Seiring perkembangan teknologi kendaraan listrik mulai menerapkan penggunaan motor modern. Di antaranya motor modern yang digunakan yaitu motor BLDC. Penggunaan motor BLDC untuk aplikasi kendaraan listrik, industri dan aplikasi lainnya banyak digunakan karena motor ini memiliki karakteristik yang sama dengan motor DC tetapi tidak menggunakan sikat untuk beroperasi sehingga biaya perawatan yang dibutuhkan rendah dan lebih praktis, kecepatan yang lebih baik dibandingkan karakteristik torsi dan respons dinamis yang lebih besar.

Secara konstruksi, pada umumnya motor BLDC terdiri dari rotor magnet permanen dan stator berupa belitan kawat email. Di dalam motor juga dilengkapi dengan sensor hall effect untuk mendeteksi posisi magnet pada rotor. Rangkaian daya yang digunakan untuk pensaklaran pada motor BLDC berupa *inverter tiga fasa* untuk dapat mengalirkan arus/tegangan bolak-balik AC *(alternating current)* yang menghasilkan elektromagnetik kutub utara maupun selatan. Dan digunakan juga mikrokontroller dengan suplai dari catu daya. Pada makalah ini kontruksi motor BLDC terdiri dari delapan kutub rotor dan duabelas kutub stator. Dalam implementasi ini dilakukan kajian dengan pembebanan pada motor BLDC, Pembebanan direalisasikan dengan mengggunakan generator DC yang diaplikasikan sebagai roda pada system penggerak mekanik yang dibebani dengan tiga variasi resistor pada kondisi motoring untuk mendapatkan respon motor.

2 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan motor *brushless dc (BLDC)* yang digerakan oleh rangkaian daya berupa *inverter* tiga fasa dengan tiga variasi beban resistif pada kondisi motoring.

2.1 Motor Brushless DC

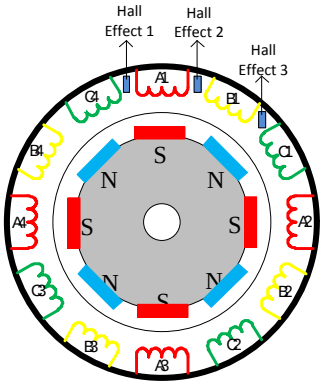
Motor BLDC merupakan jenis motor listrik *synchronous.* Pada umumnya motor BLDC bekerja dengan gaya tarik antara dua magnet dengan kutub yang sama. Secara kontruksi Motor BLDC terdiri dari rotor yang berupa magnet permanen sehingga kutubnya tetap sedangkan stator berupa belitan kawat email sehingga kutub magnet tersebut dapat berubah tergantung polaritas arus belitan stator yang diberikan. Pada motor BLDC ini memiliki

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

kontruksi berupa duabelas belitan stator dan delapan kutub magnet permanen pada rotornya.

Untuk dapat mengatur putaran pada motor BLDC, diperlukan informasi untuk mengetahui letak rotor. Untuk itu diperlukan sensor pendeteksi posisi rotor yaitu *hall effect* sensor yang merupakan sensor dengan kemampuan mendeteksi letak magnet.

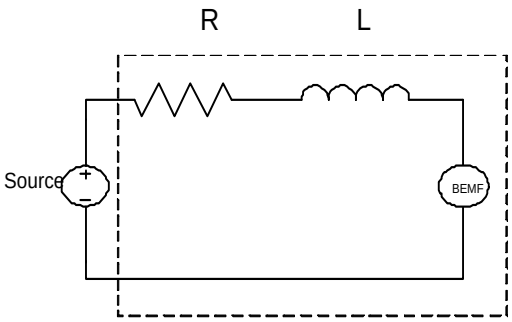
Jika dijabarkan *hall effect* sensor memberikan keluaran "0" saat kutub magnet selatan (S) dekat dengan sensor dan akan berlogika "1" saat mendeteksi keberadaan kutub magnet utara (N). Tiga buah hall effect sensor ditempatkan pada posisi sebagai berikut : H1 pada posisi θ = 330˚, H2 pada posisi θ = 90˚ , dan H3 pada posisi θ = 210˚ terhadap stator.



Gambar 1 kontruksi motor brushless dc

Persamaan torsi pada motor BLDC disajikan pada persamaan berikut ini :

$$T = Krms.\phi.I(Nm) \quad (1)$$



Gambar 2 rangkaian ekuivalen stator motor bldc

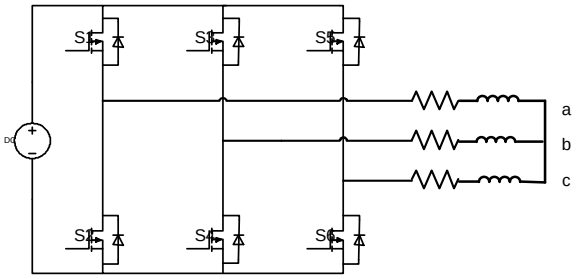
Besarnya EMF balik dapat berpengaruh pada medan magnet yang dihasilkan rotor (B), kecepatan sudut putaran motor (ω), dan banyaknya lilitan pada belitan stator (N) sehingga besarnya EMF balik dapat dihitung melalui persamaan berikut ini:

$$BEMF = B.N.1.r.\omega \quad (2)$$

3 Topologi Inverter Tiga Fasa

Agar dapat menghasilkan medan magnet pada stator dibutuhkan suatu alat yang dapat mengalirkan arus bolak-balik untuk menghasilkan elektromagnetik kutub utara ataupun selatan. Karena stator pada motor BLDC terdiri dari tiga belitan yang disusun bintang, Oleh karena itu untuk menggerakan motor BLDC diperlukan inverter tiga fasa.

Inverter itu sendiri merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengubah arus dan tegangan searah (DC) menjadi arus dan tegangan bolak-balik (AC). Inverter tiga fasa sendiri pada dasarnya memiliki kesamaan dengan inverter satu fasa. Akan tetapi outputnya berupa tiga gelombang AC yang saling bergeser 120˚ yang satu dengan yang lainya.



Gambar 3 rangkaian inverter tiga fasa

Sebuah inverter tiga fasa terhubung dengan motor. Pengendalian pada bagian inverter ini seperti motor sinkron yang memiliki persamaan putaran mesin yang harus diimplementasikan dalam kontrol inverter.

Suatu inverter tiga lengan yang mempunyai enam buah saklar elektronik yang dapat dikendalikan dalam kondisi on dan off-nya. Untuk memperoleh enam macam konfigurasi switching dari inverter tersebut maka masing-masing pasang saklar pada tiap lengan akan dikendalikan sendiri-sendiri seperti tampak pada Tabel 1

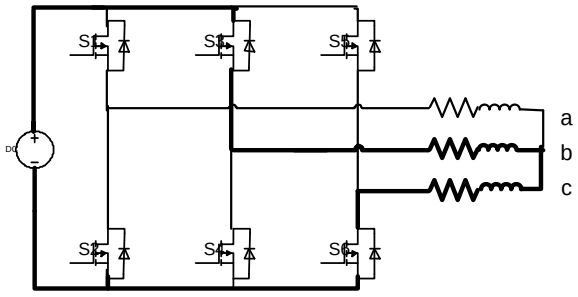
Tabel 1 konfigurasi pensaklaran inverter tiga fasa

S6	S5	S4	S3	S2	S1	Van	Vbn	Vcn
1	0	0	1	0	0	Vdc	-Vdc	0
1	0	0	0	0	1	Vdc	0	-Vdc
0	0	1	0	0	1	Vdc	-Vdc	0
0	1	1	0	0	0	0	-Vdc	Vdc
0	1	0	0	1	0	-Vdc	0	Vdc
0	0	0	1	1	0	-Vdc	Vdc	0

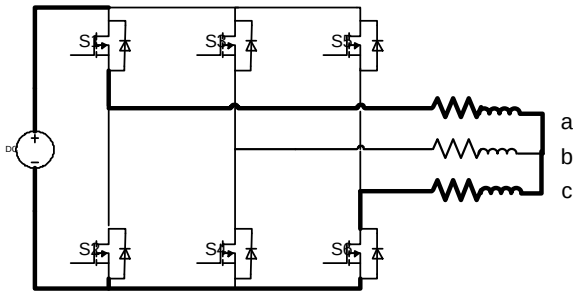
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Mode Operasi Pensaklaran

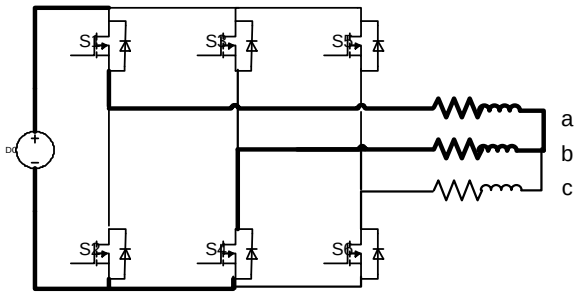
Pada gambar 4 dijelaskan bahwa saklar S6 dan S3 dalam kondisi menyala, arus mengalir dari fase A pada belitan motor ketika saklar dimatikan, kelebihan energi akan dibuang melalui dioda D1 dan D2. Dan akan menghasilkan keluaran 0 dan 1 untuk selanjutnya disalurkan pada mikrokontroller. Gambar 5, gambar 6, gambar 7, gambar 8 dan gambar 9 menunjukkan enam mode operasi yang terus berulang dengan saklar yang saling bergantian dalam kondisi menyala dan mati.



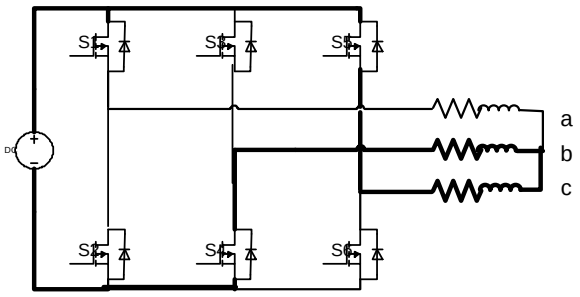
Gambar 4 mode operasi pensaklaran 1 (B – C)



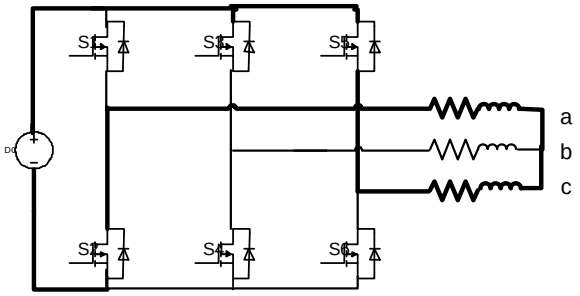
Gambar 5 mode operasi pensaklaran 2 (A – C)



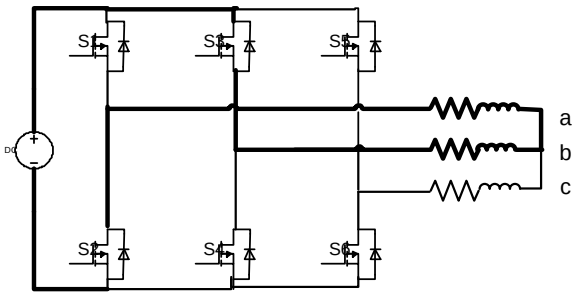
Gambar 6 mode operasi pensaklaran 3 (A – B)



Gambar 7 mode operasi pensaklaran 4 (C – B)



Gambar 8 mode operasi pensaklaran 5 (C – A)



Gambar 9 mode operasi pensaklaran 6 (B – A)

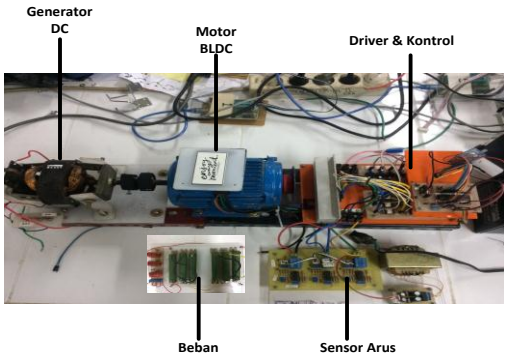
Dari operasi tersebut maka dihasilkan enam macam konfigurasi *switching* dari inverter tersebut secara berulang dengan rasio putaran 360˚. Sistem pensaklaran dapat dijelaskan pada mode operasi tersebut.

4 Hasil Pengujian

Pada pengujian ini motor BLDC dijalankan pada kondisi motoring berbasis dsPIC30F4012. Dengan topologi Inverter Tiga Fasa sebagai rangkaian daya motor BLDC. Pembacaan pada posisi rotor dengan menggunakan tiga *sensor hall effect* untuk mendeteksi letak magnet pada rotor. berdasarkan dari hasil . Sistem kontrol terdiri dari sebuah driver yang didalamnya terdiri dari enam IC optocoupler TLP250 dan inverter 3 fasa menggunakan IGBT CPV Model CPV364M4F, juga sebuah catu daya yang terdiri dari komponen B1212 dan B1205 yang menghasilkan keluaran 12V dan 5V.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

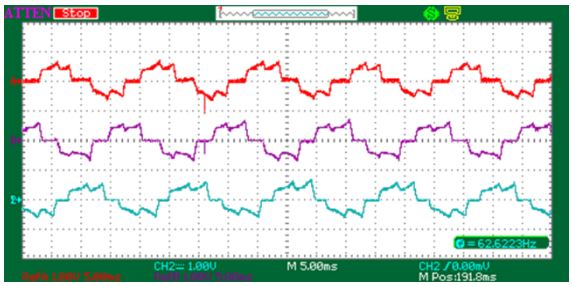
Pada implementasi ini juga menggunakan (Digital Signal Controller) DSC dsPIC30f4012 sebagai kendali driver pada inverter tiga fasa yang memiliki peran sebagai kontrol motor BLDC.



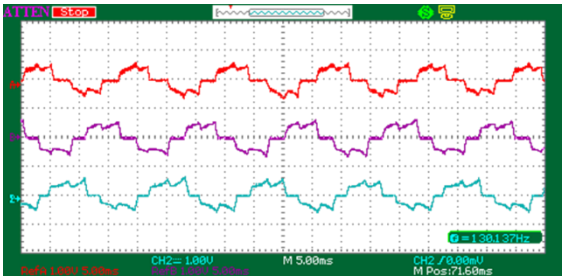
Gambar 10 prototype motor brushless DC

Setelah itu motor BLDC dijalankan dalam kondisi motoring, pembebanan direalisasikan dengan menggunakan generator DC yang diaplikasikan sebagai roda pada system penggerak mekanik yang dibebani dengan *variable* resistor dengan nilai variasi 15Ω, 30Ω, dan 45Ω. Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengujian pembebanan pada motor brushless dc dalam kondisi motoring.

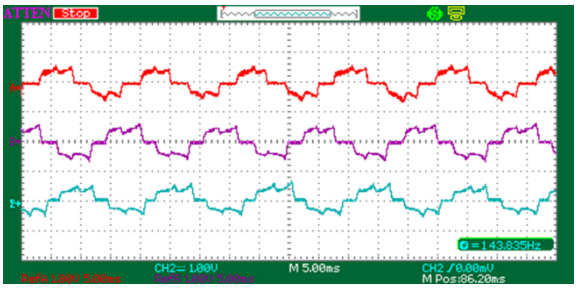
Di bawah ini akan disajikan hasil pengujian pada motor BLDC dengan variasi beban resistor 15Ω, 30Ω dan 45Ω dalam kondisi motoring. Dimana hasil yang ditampilkan berupa gelombang arus, tegangan, dan antar tegangan dengan oscilloscope.



Gambar 11 hasil pengujian arus (Ia, Ib, Ic) keluaran dengan beban 15Ω

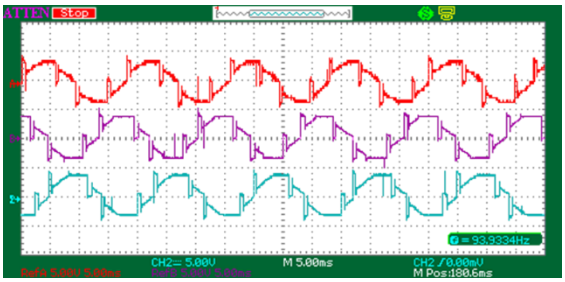


Gambar 12 hasil pengujian arus keluaran (Ia, Ib, Ic) dengan beban 30Ω

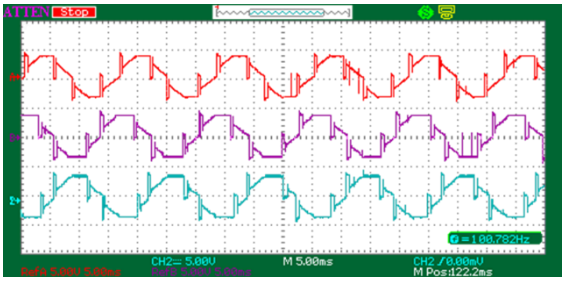


Gambar 13 hasil pengujian arus keluaran (Ia, Ib, Ic) dengan beban 45Ω

Dari gambar 11, gambar 12 dan gambar 13 dapat dilihat bahwa perbandingan gelombang arus pada (Ia, Ib, Ic) dari beban 15Ω, 30Ω sampai 45Ω mengalami penurunan.

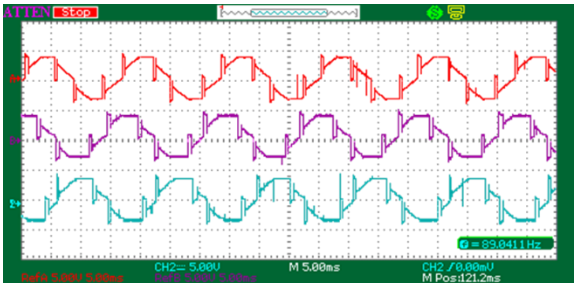


Gambar 14 hasil pengujian tegangan keluaran antar fasa (Vab. Vbc, Vca) dengan beban 15Ω



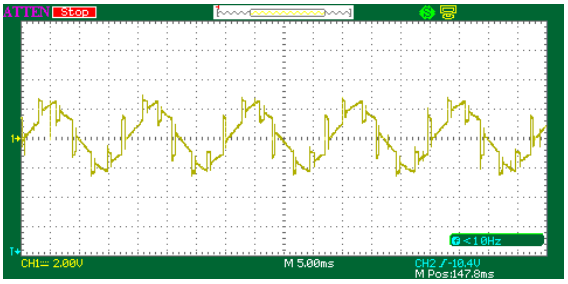
Gambar 15 hasil pengujian tegangan keluaran antar fasa (Vab, Vbc, Vca) dengan beban 30Ω

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

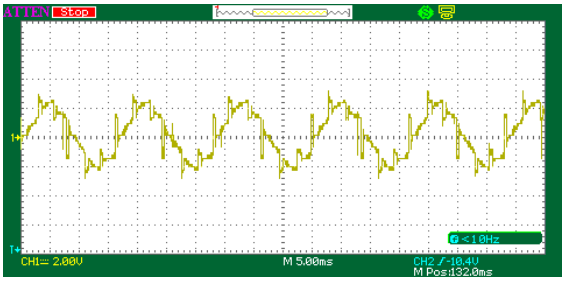


Gambar 16 hasil pengujian tegangan keluaran antar fasa (Vab, Vbc, Vca) dengan beban 45Ω

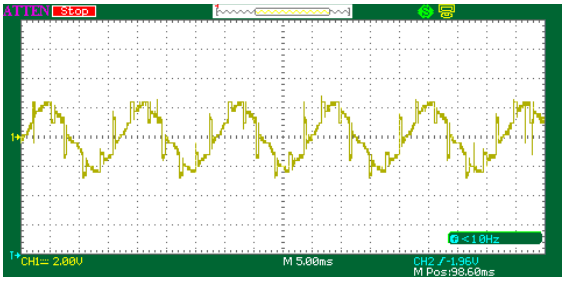
Dari gambar 14, gambar 15 dan gambar 16 dapat dilihat bahwa perbandingan gelombang tegangan antar fasa (Vab, Vbc, Vca) dari variasi beban 15Ω, 30Ω dan 45Ω tidak mengalami perubahan.



Gambar 17 hasil pengujian tegangan keluaran tiap fasa Van dengan beban 15Ω



Gambar 18 hasil pengujian tegangan keluaran tiap fasa Van dengan beban 30Ω



Gambar 19 hasil pengujian tegangan keluaran tiap fasa Van dengan beban 45Ω

Dari gambar 17, gambar 18 dan gambar 19 dapat dilihat bahwa perbandingan sinyal tegangan tiap fasa Van dari variasi beban 15Ω, 30Ω dan 45Ω tidak mengalami perubahan.

Analisa yang telah dilakukan dengan kajian pembebanan motor BLDC, pembebanan direalisasikan dengan menggunakan generator DC yang diaplikasikan sebagai roda pada penggerak mekanik yang dibebani dengan *variable* resistor 15Ω, 30Ω, dan 45Ω. Setelah melaksanakan pengujian prototipe dan telah mendapatkan hasil dari pengujian, kemudian analisa dapat digunakan sebagai pendukung dari hasil yang telah diperoleh yaitu sebagai perbandingan pembebanan, hasil kecepatan diperoleh dari hasil pengukuran mnggunakan alat ukur tachometer dan keluaran generator dc yang diperoleh. Ditampilkan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 6 Ringkasan Hasil Pengujian Alat

No	Beban	Keluaran Medan	Kecepatan (Rpm)
1	15Ω	3,8V	380
2	30Ω	5,7V	567
3	45Ω	7,0V	867

5 Nomenkaltur

B = Kerapatan medan magnet yang dihasilkan rotor (Tesla)

N = Banyaknya lilitan pada belitan stator perphasa

1 = Panjangnya batang rotor (m)

R = Jari-jari dalam motor (m)

ω = Kecepatan sudut putaran motor (rad) dimana ω= ω=2πf

T = Torka motor

Krms = Tegangan rata-rata konstan (Volt)

Φ = Besarnya fluks magnet (Tesla)

I = Besarnya arus (ampere)

V = Beda potensial / tegangan (Volt)

12 5 Kesimpulan

13 Dalam penelitian ini dapat ditunjukan pengaruh variasi beban resistif, semakin besar beban maka semakin tinggi kecepatan motor BLDC dan arus menjadi kecil, jika semakin kecil beban maka kecepatan motor BLDC akan rendah dan arus menjadi lebih besar.

14 6 Daftar Pustaka

[1] Zhao, Jian., Yu, Yangwei. AN047 "Brushless DC Motor Fundamentals Application Note" 2011

[2] Brown, Ward. Microchip Technology Inc. AN857 "Brushless DC Motor Control Made Easy" 2012

[3] Jagat Jyoti Rath "Effective Speed Control in 3-Phase BLDC Motor by Reaching Law based Sliding Mode Technique" International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 43– No.16, April 2012

[4] Akash Varshney; Bharti Dwivedi "Perfomance Analysis of a BLDC drive under varying load"

2016 IEEE Internasional Conference

[5] Agung Dwi Yulianta, Sasongko Pramono Hadi & Suharyanto "Pengendalian Kecepatan Motor Brushless DC (BLDC) menggunakan Metode Logika Fuzzy" Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 12, No. 2, Juni 2015

[6] Ahmad Fachrudin Istiananda, Ir. Rusdhianto Effendie A.K. M.T., dan Andri Ashfahani S.T., M.T., M.Sc. "Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Arus Searah Tanpa Sikat Menggunakan Metode PID-Robust"

Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539

[7] Tawfikur Rahman, S. M. A. Motakabber and M. I. Ibrahimy "Design of a Switching Mode Three Phase Inverter" 2016 International Conference on Computer & Communication Engineering

[8] Akash Bhadani; Dhruvin Koladiya; Jaydip Devani; Prof. Archana Tahiliani "Modelling and Controlling of BLDC Motor" International Journal of Advance Engineering and Research Development Volume 3, Issue 3, March -2016

[9] Manali P.Chavhan; Sanjay M.Shinde "Modeling of Brushless DC Motor with Various Loading

Conditions for Electric Vehicle Application" International Journal of Engineering Research and Development e-ISSN: 2278-067X, p-ISSN: 2278-800X, www.ijerd.com Volume 12, Issue 6 (June 2016)

[10] Y.B. Adyapaka Apatya ; Aries Subiantoro

; Feri Yusivar "Design and prototyping of 3-phase BLDC motor" 2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR) : International Symposium on Electrical and Computer Engineering

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Modifikasi Kontrol Mesin *Autoloading* Piston Berbasis PLC di Perusahaan *Sparepart* Otomotif Indonesia

[1]Lin Prasetyani*), [1]Djoko Subagio [1] Yoga Cahyo & [2]Tresna Dewi

[1]Politeknik Manufaktur Astra

[2]Politeknik Negri Sriwijaya

lin.prasetyani@polman.astra.ac.id*)

Abstrak

Sebuah perusahaan otomotif di Indonesia yang memproduksi piston mendapatkan permintaan dari pelanggan untuk meningkatkan jumlah produksinya. Penambahan jumlah karyawan sudah tidak dimungkinkan lagi, karena adanya kebijakan perusahaan. Line 6 merupakan salah satu line yang memproduksi tipe piston yang mengalami jumlah peningkatan permintaan. Pada line produksi ini, terdapat beberapa proses yaitu; proses *Center Bosk Cutting (CBC),* grafir dan *manual storage*. Ketiga proses tersebut masih terpisah satu sama lain dan masih menggunakan proses manual disetiap prosesnya. Melihat kondisi yang ada, Divisi *maintenance* perusahaan tersebut yang bekerjasama dengan akademisi memiliki gagasan untuk melakukan *improvement* berupa modifikasi pada proses kontrol otomatisasi *manual storage* menjadi proses *autoloading*, dengan jalan membuat mesin *autoloader* otomatis. Proses *autoloading* ini juga dibuat dengan mengintegrasikan seluruh proses menjadi satu proses dimana proses pada CBC dan grafir tersusun di dalam satu mesin. Modifikasi kontrol mesin ini juga berfungsi saat meletakkan piston secara otomatis ke dalam box setelah proses selesai. Mesin *autoloading* piston ini dibuat dengan menggunakan PLC OMRON CJ1M CPU21. Pembuatan mesin ini diharapkan dapat meningkatkan jumlah produksi piston sebanyak 20% dari jumlah produksi awal.

Kata Kunci: Kontrol mesin; Autoloading; PLC Omron

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Sebuah perusahaan sparepart Indonesia mendapat permintaan dari pelanggan untuk menambah line produksi yang baru, sedangkan beberapa karyawan telah memasuki masa pensiun. Hal ini membuat perusahaan harus menambah karyawan baru. Namun demikian, perusahaan sendiri mempunyai kebijakan tidak ada rekrutmen karyawan baru pada tahun tersebut. Sedangkan penambahan permintaan jumlah produksi yang tinggi setiap harinya harus terpenuhi menjadi tantangan tersendiri untuk setiap perusahaan. Sehingga perusaan ingin mememaksimalkan produktivitas *man power* dengan melakukan modifikasi kontrol mesin. Sehingga diharapkan terdapat peningkatan jumlah hasil produksi dari setiap *manpower* yang ada.

Pada bulan Januari *Divisi Maintenance* yang bekerjasama dengan pihak akademik memiliki gagasan untuk mendukung kebijakan perusahaan berupa melakukan *improvement* dalam bentuk modifikasi pada proses kontrol otomatisasi *manual storage* menjadi proses *autoloading*, dengan jalan membuat mesin *autoloader* otomatis. Proses *autoloading* ini dibuat menjadi satu proses dengan proses CBC dan grafir yang tersusun di dalam satu mesin. Sehingga mesin tersebut dapat berfungsi untuk meletakkan piston secara otomatis ke dalam box. Gagasan tersebut diharapkan mampu memaksimalkan kinerja *man power* dan meningkatkan kapasitas produksi pada line produksi.

Mengingat pentingnya kebutuhan perusaahaan terhadap modifikasi control mesin tersebut, maka tim mengangkat masalah ini sebagai tema aplikasi ilmu pengetahuan pada dunia industri dengan judul **"Modifikasi Kontrol Mesin *Autoloading* Piston Berbasis PLC di Perusahaan *Sparepart* Otomotif Indonesia"** pada paper ini.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka perumusan masalah yang dibahas adalah bagaimana membuat *design*, elektrikal dan program mesin *autoloader* sehingga dapat difungsikan untuk meletakkan piston ke dalam box secara otomatis. Perumusan masalah meliputi:

a) Bagaimana melakukan integrasi mesin *autoloading* dengan proses CBC, grafir yang berbasis PLC Omron CJ2M-CPU21.

b) Bagaimana menaikan hasil *pieces* per *manpower* pada line produksi sebanyak 23.97%

1.3 Ruang Lingkup

a) Membahas pembuatan design mesin *autoloading* piston

b) Membahas pembuatan rangkaian elektrik dan program dari mesin *autoloading*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

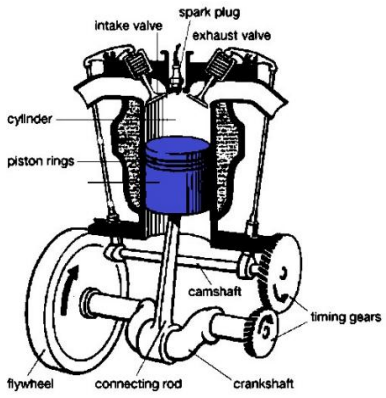
1.4 Tujuan dan manfaat

Tujuan dari perbaikan ini adalah mampu melakukan integrasi beberapa proses produksi melalui modifikasi kontrol mesin yang terdapat pada line produksi sehingga proses CBC, Grafir, dan *autoloading* dapat berada pada satu sistem kontrol yang sama sehingga peningkatan hasil produksi dapat tercapai.

2 Data

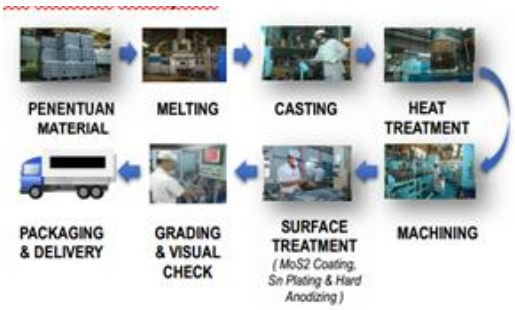
2.1 Pengenalan Produk

Produk yang dihasilkan pada perusahaan ini adalah piston pada kendaraan bermotor. Piston adalah sumbat geser yang terpasang di dalam sebuah silinder mesin pembakaran dalam silinder hidraulik, pneumatik, dan silinder pompa. Bagian-bagian mendetail dari piston dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Piston

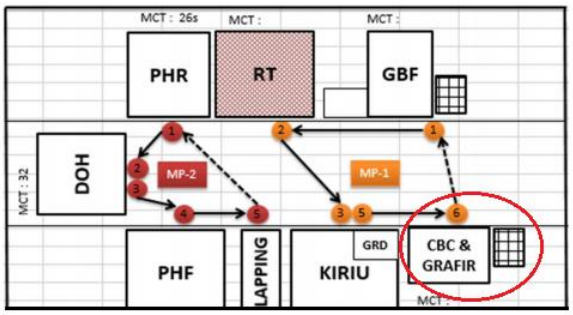
Untuk menghasilkan piston diatas maka proses yang harus dilalui meliputi:



Gambar 2.2 Proses pembuatan piston

2.2 Line Produksi

Line produksi piston yang akan dibahas adalah pada proses *casting*. Line ini memiliki sembilan mesin yang berfungsi untuk mengolah *material blind casting* menjadi piston yang telah ditentukan dimensinya. Mesin-mesin yang digunakan pada line ini yaitu *guide bore finish* (GBF), *rough turning* (RT), *pin hole roughing* (PHR) 1, *pin hole roughing* (PHR) 2, *drill oil hole* (DOH), *pin hole finish* (PHF), *ring grove finish*, *oil drill finish, center bosk cutting* (CBC) *grafir* dan *autoloading*. Line ini di operasikan oleh 2 man power atau operator yang melakukan proses machining sesuai dengan area kerja masing – masing. Untuk mengetahui jenis, letak mesin, dan urutan proses yang ada di line produksi ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Line Produksi proses Casting

Pada pembahasan kali ini aplikasi modifikasi kontrol dilakukan pada mesin CBC & Grafir serta proses loading setelah seluruh proses selesai dilakukan.

2.3 Permasalahan pada Line Produksi

Proses CBC & grafir yang terdapat pada satu mesin masih dilakukan terpisah dalam pemindahan benda kerja. Selain itu, proses loading hasil produksi saat ini masih di lakukan secara manual oleh operator dapat dilihat pada Gambar 2.4. Hal ini tidak memaksimalkan kerja dari operator.



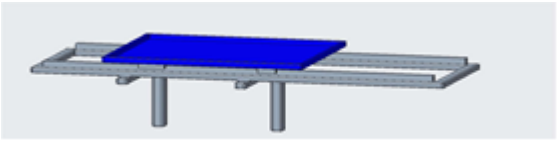
Gambar 2.4.(a) Proses CBC dan Grafir, (b). Proses loading

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

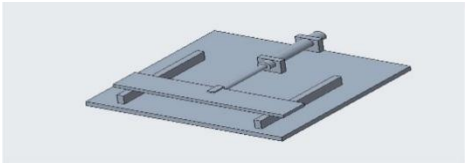
3 Diskusi

3.1 Perancangan desian dan modifikasi mesin

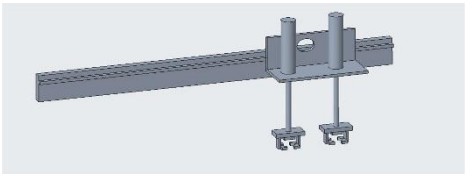
Mesin loading piston merupakan mesin yang dirancang untuk membantu *man power* dalam melakukan peletakkan piston kedalam box, dimana mesin ini dapat meletakkan piston secara otomatis kedalam box secara otomatis. Bagian Bagian yang di modifikasi dari mesin loading piston terdiri dari base box piston, base piston, dan base gripper.



Gambar 3. 1 Base Box Piston

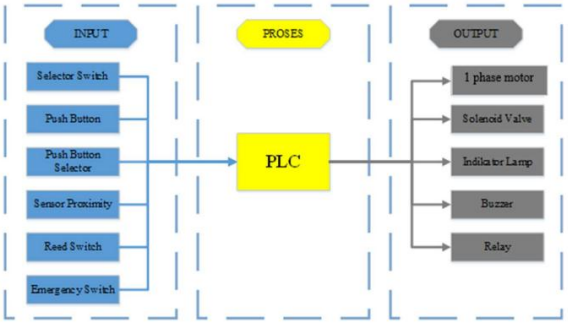


Gambar 3. 2 Base Piston



Gambar 3. 3 Base Gripper

3.2 Perancangan sistem kontrol mesin



Gambar 3.4.Diagram control PLC

Gambar 3.4 menunjukan sistem kontrol PLC dimana input mengunakan selector switch, push button, push button selector, proximity sensor, reed switch, dan emergency switch. Sinyal input di proses oleh PLC sebagai sistem control yang meberikan perintah ke pada sistem output yang terdiri dari oriental motor, solenoid valve, indicator lamp, buzzer, dan relay.

3.3 Pembuatan:(a).pengkabelan, (b). assembly desain, (c). pemrograman mesin dan (d). pengujian

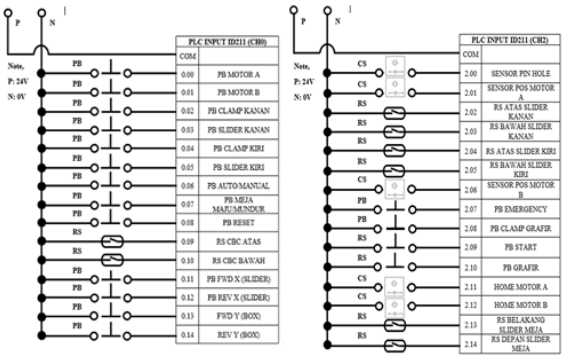
(a). Pengkabelan

PLC yang di gunakan sebagai control sistem ini adalah PLC OMOR CJ1M CPU21. PLC ini memiliki kapasitas program hingga 5K steps, dan data memory sebesar 32K words. PLC diaktifkan dengan tegangan 220 VAC langsung dari sumber tegangan AC.



Gambar 3.5.Pengkabelan PLC

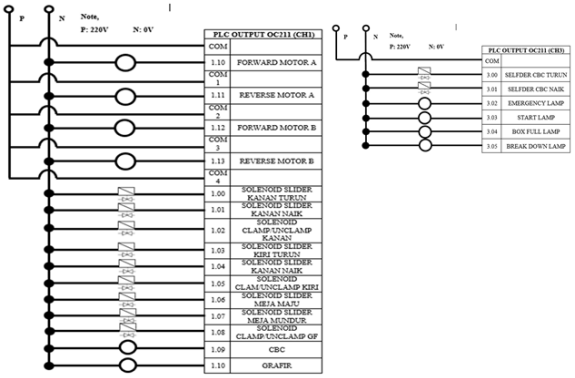
PLC CJ1M ID-211 merupakan bagian yang berfungsi sebagai modul input PLC. Modul ini berupa modul digital input karena modul ini tidak memiliki spesifikasi untuk sinyal-sinyal digital dan tidak dapat digunakan untuk sinyal analog. PLC memiliki 16 I/O, input voltage dan current 24 VDC dan 7mA.



Gambar 3.6.Skematik input PLC

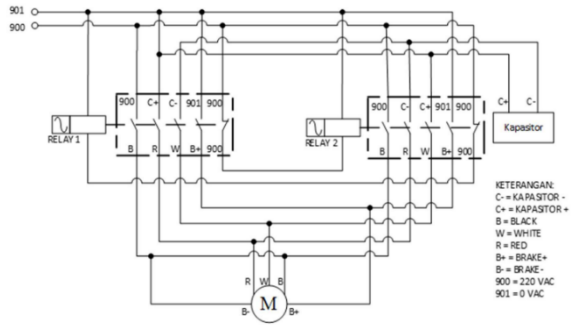
PLC CJ1M OC-211 merupakan bagian yang berfungsi sebagai moduloutput PLC. Modul ini berupa modul digital input karena modul ini tidak memiliki spesifikasi untuk sinyal-sinyal digital dan tidak dapat digunakan untuk sinyal analog. PLC memiliki 16 I/O, input voltage dan current 24 VDC dan 7mA. Pembuatan mesin auto loading ini menggunakan 2 buah modul output OC-211 yang terdapat pada channel 1 (CH1) dan channel 3 (CH3).

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



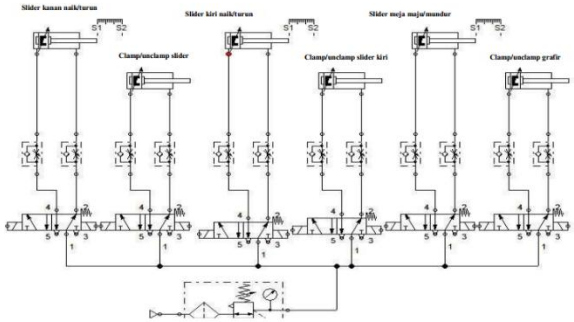
Gambar 3.7.Skematik output PLC

Pada mesin auto loading piston terdapat 4 relay yang berfungsi untuk menggerakan motor ac 1 fasa, dimana 2 relay digunakan untuk menggerakkan 1 motor. Relay yang digunakan adalah OMRON MY4N, dimana relay ini memiliki 4 kontak NO dan NC. Terdapat juga sebuah kapasitor yang berfungsi sebagai stator atau penentu arah putaran motor. Gambar 4.6 memperlihatkan skema pengkabelan untuk satu motor AC 1 fasa.



Gambar 3.7.Skematik pengkabelan motor

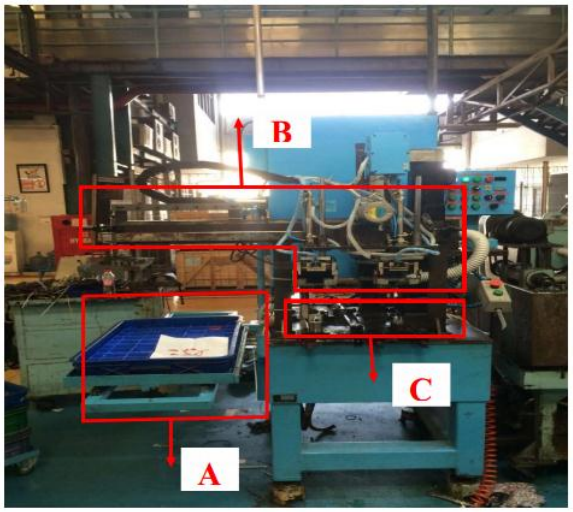
Pada mesin auto loading piston terdapat 3 buah silinder pneumatik, antara lain untuk geser maju mundur, untuk atas bawah dan untuk clamp benda kerja. Pada sistem ini menggunakan double solenoid valve 5/2. Untuk wiring solenoidnya dapat dilihat pada wiring output, dan untuk wiring pneumatiknya dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 3.7.Skematik pengkabelan Pneumatik

(b). Assembly desain

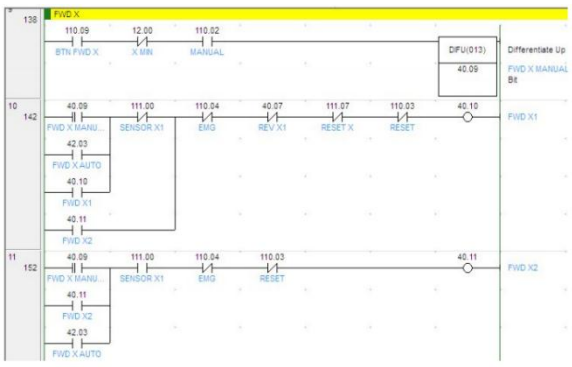
Proses Assembly merupakan proses perakitan dari part-part yang di buat untuk mesin autoloading piston. Semua part yang terdiri dari part base piston box, base piston, dan gripper di rakit menjadi satu dengan mesin CBC dan grafir. Base piston box berfungsi sebagai tempat peletakan piston yang telah melalui proses CBC dan grafir. Base piston merupakan part yang berfungsi untuk tempat peletakan jig piston, fungsinya membawa piston menuju proses CBC dan grafir. Gripper berfungsi sebagai pengangkut piston yang menghubungkan antara proses CBC, grafir, dan autoloading. Setelah semua part telah ter-assembly, maka prosses assembly dari mesin autoloading piston telah selesai. Tampak dari mesin autoloading piston yang telah di assembly dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 3.8.Skematik pengkabelan Pneumatik

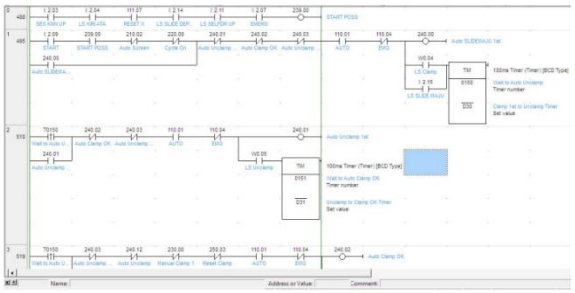
(c). *Pemmrograman* mesin

Untuk mempermudah mesin pada saat melakukan setting dan maintenance maka pemrograman mesin dilakukan dalam dua mode yaitu mode manual dan otomatis.



Gambar 3.9.Contoh skematik program manual

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 3.10.Contoh skematik program auto

(d). Pengujian mesin

Pengujian yang dilakukan melalui dua skema yaitu pengujian perbagian dan sistem. Cara pengujian terhadap input PLC bisa dilakukan dengan dua cara, cara pertama yaitu dengan menghubungkan PLC dengan personal computer (PC) melalui monitoring mode pada CX-Programmer atau bisa juga dengan cara yang kedua yaitu dengan melihat langsung status led yang ada pada PLC hasil pengujian masukan PLC dapat ditunjukan pada Tabel seperti berikut:

Tabel 3.1.Hasil pengujian input

No.	Alamat	Perangkat yang diuji	Fungsi	Parameter	Status OK	Status NG
1	0.00	PB motor A	Mengaktifkan motor A	Lampu indikator 0.00 pada PLC aktif	√	
2	0.01	PB motor B	Mengaktifkan motor A	Lampu indikator 0.01 pada PLC aktif	√	
3	0.02	PB clamp/unclamp kanan	Mengaktifkan/ menonaktifkan clamp kanan	Lampu indikator 0.02 pada PLC aktif	√	
4	0.03	PB slider kanan (up/down)	Mengaktifkan/ menonaktifkan slider kanan	Lampu indikator 0.03 pada PLC aktif	√	
5	0.04	PB clamp/unclamp kiri	Mengaktifkan/ menonaktifkan clamp kiri	Lampu indikator 0.04 pada PLC aktif	√	
6	0.05	PB slider kiri (up/down)	Mengaktifkan/ menonaktifkan slider kiri	Lampu indikator 0.05 pada PLC aktif	√	
7	0.06	PB auto/manual	Memberikan instruksi pada mesin untuk mode auto manual	Lampu indikator 0.06 pada PLC aktif	√	
8	0.07	PB slider meja (maju/mundur)	Mengaktifkan/ menonaktifkan slider meja	Lampu indikator 0.07 pada PLC aktif	√	
9	0.08	PB Reset	Mereset program	Lampu indikator 0.08 pada PLC aktif	√	
10	0.09	RS CBC atas	CBC on	Lampu indikator 0.09 pada PLC aktif	√	
11	0.10	RS CBC bawah	CBC off	Lampu indikator 0.10 pada PLC aktif	√	
12	0.11	PB forward X (slider)	Memberi perintah forward X (slider)	Lampu indikator 0.11 pada PLC aktif	√	
13	0.12	PB reverse X (slider)	Memberi perintah forward X (slider)	Lampu indikator 0.12 pada PLC aktif	√	
14	0.13	PB forward Y (box)	Memberi perintah forward Y (box)	Lampu indikator 0.13 pada PLC aktif	√	
15	0.14	PB reverse Y (box)	Memberi perintah reverse Y (box)	Lampu indikator 0.14 pada PLC aktif	√	
16	2.00	Sensor home	Mengaktifkan motor 1	Lampu indikator 2.00 pada PLC aktif	√	
17	2.01	Sensor position atas	Motor atas stop	Lampu indikator 2.01 pada PLC aktif	√	
18	2.02	RS kanan atas	Slider A off	Lampu indikator 2.02 pada PLC aktif	√	
19	2.03	RS kanan bawah	Slider A on	Lampu indikator 2.03 pada PLC aktif	√	
20	2.04	RS kiri atas	Slider B off	Lampu indikator 2.04 pada PLC aktif	√	
21	2.05	RS kiri bawah	Slider B off	Lampu indikator 2.05 pada PLC aktif	√	
22	2.06	Sensor position bawah	Motor bawah stop	Lampu indikator 2.06 pada PLC aktif	√	
23	2.07	Emergency	Menghentikan seluruh proses kerja	Lampu indikator 2.07 pada PLC aktif	√	
24	2.08	Buzzer	Indikasi box full	Lampu indikator 2.08 pada PLC aktif	√	
25	2.09	Start	Memulai program	Lampu indikator 2.09 pada PLC aktif	√	
26	2.10	Grafir	Memberi perintah grafir on	Lampu indikator 2.10 pada PLC aktif	√	
27	2.11	Selfder belakang	Selfder belakang	Lampu indikator 2.11 pada PLC aktif	√	
28	2.12	Selfder depan	Selfder depan	Lampu indikator 2.12 pada PLC aktif	√	
29	2.13	RS meja belakang	Slider C off	Lampu indikator 2.13 pada PLC aktif	√	
30	2.14	RS meja depan	Slider C on	Lampu indikator 2.14 pada PLC aktif	√	

Cara pengujian terhadap keluaran PLC dapat dilakukan dengan cara menghubungkan PLC dengan personal computer (PC) melalui monitoring mode pada CX-Programmer atau dengan melihat langsung melalui status led yang ada dengan hasil seperti table berikut:

Tabel 3.2.Hasil pengujian output

No.	Alamat	Perangkat yang diuji	Fungsi	Parameter	Status OK	Status NG
1	1.00	Slider kanan turun	Slider kanan on turun	Lampu indikator 1.0 pada PLC aktif	√	
2	1.01	Slider kanan naik	Slider kanan off naik	Lampu indikator 1.01 pada PLC aktif	√	
3	1.02	Clamp /Unclamp kanan	Clamp/ unclamp	Lampu indikator 1.02 pada PLC aktif	√	
4	1.03	Slider kiri turun	Slider kiri on turun	Lampu indikator 1.03 pada PLC aktif	√	
5	1.04	Slider kiri naik	Slider kiri off naik	Lampu indikator 1.04 pada PLC aktif	√	
6	1.05	Clamp /Unclamp kiri	Clamp/ unclamp	Lampu indikator 1.05 pada PLC aktif	√	
7	1.06	Slider meja maju	Slider meja on maju	Lampu indikator 1.06 pada PLC aktif	√	
8	1.07	Slider meja mundur	Slider meja off maju	Lampu indikator 1.07 pada PLC aktif	√	
9	1.08	Clamp /unclamp grafir	Clamp /unclamp grafir	Lampu indikator 1.08 pada PLC aktif	√	
10	1.09	CBC	CBC on	Lampu indikator 1.09 pada PLC aktif	√	
11	1.10	Grafir	Grafir on	Lampu indikator 1.10 pada PLC aktif	√	
12	1.11	Forward Motor A	Forward Motor A	Lampu indikator 1.11 pada PLC aktif	√	
13	1.12	Reverse Motor A	Reverse Motor A	Lampu indikator 1.12 pada PLC aktif	√	
14	1.13	Forward Motor B	Forward Motor B	Lampu indikator 1.13 pada PLC aktif	√	
15	1.14	Reverse Motor B	Reverse Motor B	Lampu indikator 1.14 pada PLC aktif	√	
16	3.00	Selfder CBC turun	Selfder CBC turun	Lampu indikator 3.00 pada PLC aktif	√	
17	3.01	Selfder CBC naik	Selfder CBC naik	Lampu indikator 3.01 pada PLC aktif	√	
18	3.02	Emergency lamp	Lampu on	Lampu indikator 3.02 pada PLC aktif	√	
19	3.12	Start lamp	Lampu on	Lampu indikator 3.12 pada PLC aktif	√	
20	3.13	Box full lamp	Lampu on	Lampu indikator 3.13 pada PLC aktif	√	
21	3.15	Break down lamp	Lampu on	Lampu indikator 3.14 pada PLC aktif	√	

Sementara itu, untuk mengetahuia apakah sistem tersebut dapat diimplementasikan pada line produksi yang ada maka dilakukan pengujian dengan hasil pengujian seperti table berikut:

Tabel 3.3.Hasil pengujian keseluruhan sistem

Pengoperasian Mode Manual			
No	***Check Point***	**OK**	**NG**
1	Ketika *selector switch* memilih manual, maka pengoperasian mesin akan bekerja secara manual	√	
2	Ketika menekan tombol PB *clamp/unclamp* maka gripper bergerak *clamp/unclamp*	√	
3	Ketika menekan tombol PB *up/down* dan *reed switch up* aktif maka silinder bergerak ke bawah	√	
4	Ketika menekan tombol PB *up/down* dan *reed switch down* aktif maka silinder bergerak ke atas	√	
5	Ketika menekan tombol PB *left/right* dan *reed switch left* aktif maka slider bergerak ke kanan	√	
6	Ketika menekan tombol PB *left/right* dan *reed switch right* aktif maka slider bergerak ke kiri	√	
7	Ketika menekan tombol PB motor x pada pilihan *reverse* maka motor x akan bergerak *reverse* sampai sensor x aktif	√	
8	Ketika menekan tombol PB motor x pada pilihan *forward* maka motor x akan bergerak *forward* sampai sensor x aktif	√	
9	Ketika menekan tombol PB motor y pada pilihan *reverse* maka motor y akan bergerak *reverse* sampai sensor y aktif	√	
10	Ketika menekan tombol PB motor y pada pilihan *forward* maka motor y akan bergerak *forward* sampai sensor y aktif	√	

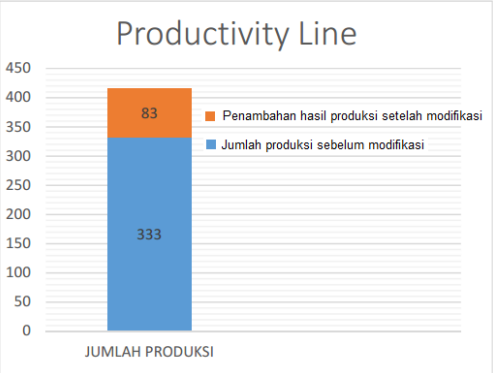
Kondisi Normal			
No	***Check Point***	**OK**	**NG**
1	Ketika MCB dinyalakan, PLC, lampu indicator *power on* aktif	√	
2	Saat *emergency stop* ditekan, seluruh proses tidak dapat dijalankan	√	
3	saat *emergency stop release*, proses dapat berjalan	√	

Pengoperasian Mode Otomatis			
No	***Check Point***	**OK**	**NG**
1	Ketika PB *auto start* ditekan, maka mesin bekerja secara otomatis sesuai dengan *sequence* program yang telah dibuat	√	
2	Ketika PB *reset/home* pos ditekan makan proses akan berhenti dan *loading box, silinder, slider, gripper* akan kembali ke posisi *home*	√	
3	Ketika box sudah penuh lampu indicator *full* dan *buzzer* akan aktif, *loding box* bergerak ke posisi *home*	√	

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

4 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian pada mesin auto loading piston langkah selanjutnya adalah menganalisa hasil dari kinerja mesin tersebut. Hasil dari pembuatan mesin auto loading piston berdampak pada productivity di line tersebut, dimana rata – rata produksi perharinya naik sebesar 25%. Pada saat proses manual manpower dapat memproduksi rata - rata 333 pcs/hari, setelah menggunakan mesin auto loading piston manpower dapat memproduksi rata - rata 416 pcs/hari. Berikut adalah grafik dari peningkatan produksi pada line tersebut:



Gambar 3.10.Gambar grafik jumlah produktivitas line

Perancangan dan pembuatan sistem kontrol elektrik mesin auto loading piston berbasis PLC OMRON CJ1M menghasilkan beberapa kesimpulan yang dapat menjawab Tujuan Penelitian ini, yaitu:

1 Perancangan dan pembuatan sistem kontrol elektrik mesin auto loading piston berbasiskan PLC OMRON CJ1M CPU21 sebagai perangkat kontrol utama dilakukan dalam beberapa tahap yaitu: perancangan sistem kontrol, pemasangan sensor dan aktuator, pengabelan perangkat elektrik mesin, pengalamatan perangkat masukan dan keluaran pada PLC, hingga tahap pengujian perangkat sensor dan aktuator mesin. Berdasarkan perancangan dan pembuatan sistem kontrol tersebut, didapatkan hasil bahwa mesin dapat melakukan langkah kerja yang telah ditentukan.

2 Setelah menggunakan mesin auto loading piston productivity meningkat sebesar 25%. Saat proses manual man power dapat memproduksi sebanyak 333 pcs/hari, setelah proses menjadi otomatis man power dapat memproduksi sebanyak 416 pcs/hari.

3 Setelah menggunakan mesin auto loading piston man power yang dibutuhkan hanya satu untuk line produksi ini sehingga man power lainnya dapat dialokasikan untuk memaksimalkan pekerjaan lainnya.

5 Daftar Pustaka

[1] Sularso, Thomas Agus Prayitno. Teknik Sistem Kontrol. Yogyakarta : Garaha Ilmu. 2010.
[2] Setiawan, Iwan, Progammable Logic Controller (PLC) dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol, Andi, Yogyakarta, 2006.
[3] Subagio, Djoko, Modifikasi Sistem Konrol Mesin Gravity Die Casting Berbasis PLC Omron CJ1M CPU-21 dan HMI Omron NT 21, Jakarta, 2017
[4] W. Bolton. Programmable Logic Controller (PLC) Edisi 3. Jakarta: Erlangga. 2009.
[5] Frank D. Petruzella, Elektronik Industri, Yogyakarta, ANDI, 2001.
[6] Bishop, Owen. Dasar-Dasar Elektronika. Jakarta: Erlangg, 2004.
[7] Croser, Peter, Frank Ebel, Pneumatic Basic Level, Festo, 1999.
[8] Gusti Ngurah Agung, Manajemen Penulisan Skripsi,Tesis dan Disertasi, Jakarta: Rajawali pers, 2010.
[9] . M. A. Laughton, D. J. Warne (ed), Electrical Engineer's Reference book, 16th edition,Newnes, 2003
[10] Chapter 16 Programmable Controller "The father of invention: Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC". Manufacturing Automation". 12 September 2008.
[11] Berg, Bruce L., 2009, Qualitative Research Methods for the Sciences. Seventh Edition. Boston MA: Pearson Education Inc.
[12] Creswell, J. (2003). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
[13] Alciatore, David G., Michael B Histand, Introduction to Mechatronics And Measurement System, McGraw-Hill, New York, 2012.
[14] Budiyanto M, Wijaya, Pengenalan Dasar-Dasar PLC, Yogyakata, Gava Media, 78, 2003.
[15] Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, 2013. Sensor dan Aktuator.

[16] Miftahu Sholeh, Teknik Kontrol Untuk SMA/SMK IX Malang: PPPPTK BOE, MALANG, 2013.

[17] Prihono. Jago Elektronika secara Otodidak. Jakarta: Kawan Pustaka. 2009.

[18] Priyo Jatmiko. Training Basic PLC. Jakarta : Kartanagari. 2015.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Kinerja Sistem Kontrol Level Air Drum Boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kapasitas 625 MW

[1]Agus Yogianto *), [2] Pirnando Tarigan

[1,2,] STT PLN

(aayogi08@yahoo.com,*)

Abstrak

Kinerja dari pembangkit listrik tenaga uap, salah satunya tergantung pada kinerja sistem kontrol yang terdapat pada sistem boiler. Salah satu sistem kontrol pada boiler yang termasuk utama adalah sistem kontrol level air drum boiler. Pada sistem kontrol level air, pengukuran level air drum tanpa kompensasi, belum dapat menghasilkan pengukuran yang optimal bagi sistem kontrol level air drum. Kondisi dua fasa, air dan uap memberikan pengaruh kepada densitas air menjadi tidak linier terhadap perubahan tekanan hidrostatik. Oleh sebab itu satu variabel lain yaitu tekanan uap drum juga digunakan untuk memberikan kompensasi karena terdapat suatu hubungan antara densitas air dan densitas uap terhadap tekanan uap. Kinerja sistem kontrol level diukur dengan dua parameter yaitu kesalahan dan stabilitas. Dari segi kesalahan terhadap target level air drum pada unit pembangkit ini, harga kesalahan maksimum termasuk kurang baik, sedangkan dari segi stabilitas sistem kontrol termasuk baik.

Kata Kunci: Pengukuran level, sistem kontrol level,drum boiler, kinerja sistem kontrol, kesalahan, standard deviasi, stabilitas

1 Pendahuluan

Pengukuran level air dengan densitas atau gravitas yang tetap cukup dengan menerapkan prinsip tekanan hidrostatis. Pengukuran level diperoleh dari kesebandingan antara level dengan tekanan hidrostatik, atau perbedaan level diperoleh dengan perbedaan tekanan hidrostatik.

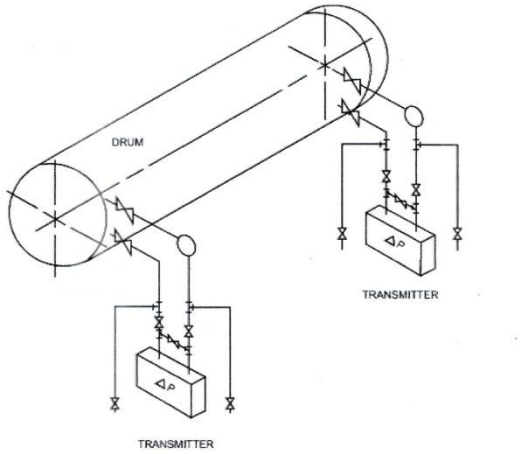
Pengukuran level air pada operasi boiler, tidak memadai bila diukur hanya dengan perbedaan tekanan serta satu harga densitas saja yaitu densitas air, karena didapat hasil pengukuran yang kurang dari nilai sebenarnya. Kondisi ini terjadi, karena terdapat dua jenis fluida yaitu air dan uap dalam drum yang masing-masing mempunyai densitas berbeda serta densitas tersebut tergantung kepada tekanan dalam drum. Pemberian relasi perubahan tekanan drum terhadap densitas air dan uap dapat memberikan koreksi terhadap pengukuran level air drum.

Sistem kontrol level air drum di unit pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu sistem kontrol utama di boiler yang menentukan kinerja boiler unit pembangkit. Sementara itu kinerja unit pembangkit ditentukan oleh kinerja boiler sebagai peralatan utama unit pembangkit. Oleh sebab itu, kinerja sistem kontrol level air perlu dipastikan dengan kriteria tertentu berada dalam kondisi yang memenuhi kebutuhan unit.

Kinerja sistem kontrol unit pembangkit terutama pada pembangkit listrik tenaga uap biasanya dibuat optimal dalam range operasi pada beban yang maksimal. Oleh sebab itu pada pengambilan data dilakukan pada beban yang relatif tinggi,

2 Sistem kontrol level

Pada sistem kontrol level air, sebagai dasar untuk mendapatkan besaran level dilakukan dengan pengukuran level air drum yang diperoleh dengan metoda pengukuran beda tekanan.



Gambar.1. Pengukuran level air di drum boiler

Perbedaan tekanan diukur dengan instrumen differential pressure transmitter (DPT) yang dipasang seperti pada gambar.1. Tap tekanan dari

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

transmitter, salah satu berfungsi sebagai line acuan dan line satu lagi berfungsi sebagai line pengukuran.

Perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah dari differential pressure transmitter adalah

$$\Delta p = (H-h)Gs + h\,Gwu - H.Ga \quad (1)$$

Bila $K_1 = H.Ga$ dan $K_2 = Ga$

Nilai level air dengan koreksi dari tekanan uap di drum adalah [5]:

$$h = [\Delta p - (K_1 / K_2)Gs + K_1\,] / (Gwu - Gs) \quad (2)$$

dengan :

Pd = tekanan uap dalam drum

H = tinggi line acuan dari tap dasar

h = tinggi permukaan air di atas tap dasar

hv = jarak dari DPT ke kaki acuan atau tap dasar

Gs = gravitas spesifik uap pada tekanan Pd

Gwu = gravitas spesifik air di drum tekanan Pd

Ga = gravitas spesifik air pada line acuan

Pada operasi boiler tersebut Gwu dan Gs sebagai fungsi dari Pd

Pada unit pembangkit ini ada tiga lokasi tap untuk pengukuran beda tekanan. Pengukuran level diperoleh dengan mengambil nilai median tiap pengukuran level yang didapat dari masing-masing tiap lokasi pengukuran.

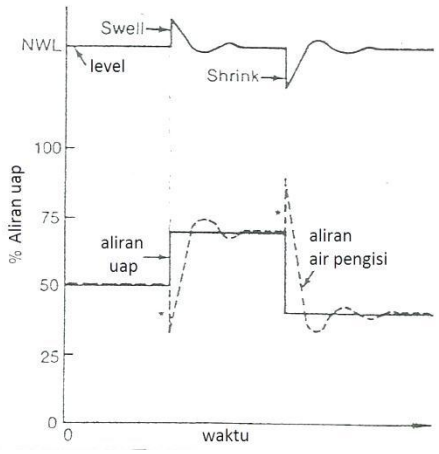
Nilai level yang diperoleh dan digunakan untuk monitoring dan kontrol adalah dari nilai rata-rata tiga nilai level yang diperoleh. Selanjutnya nilai level air tersebut digunakan sebagai nilai yang ditampilkan pada display atau sistem pemantauan dan sebagai salah satu masukan pada sistem kontrol level.

Sistem kontrol level di unit pembangkit listrik tenaga uap pada kondisi operasi berbeban memakai beberapa masukan untuk mendapatkan perintah kontrol, yang dikenal sebagai sistem dengan tiga elemen. Dalam hal ini ada elemen level air, aliran air pengisi dan aliran uap.

Dinamika level air dalam drum sangat besar, dengan dua fasa air dan uap yang bervariasi sesuai dengan tekanan di dalam drum. Sistem kontrol level dengan hanya mengandalkan satu masukan kontrol dari level air saja akan menghasilkan berbagai ketidaksinkronan pada performa sistem kontrol level.

Ketika beban naik, maka aliran uap bertambah, sedangkan pada permukaan air terbentuk gelembung yang dideteksi sebagai kenaikan level (swell) seperti pada gambar.2, sehingga disaat awal perubahan kenaikan beban, aliran air pengisi berkurang yang berakibat level air turun sedangkan yang diperlukan adalah penambahan air pengisi untuk menaikkan level air.

Sebaliknya ketika beban turun, aliran uap berkurang dan tekanan dalam drum bertambah, yang berakibat permukaan air tertekan turun (shrink) seperti pada gambar.2, sehingga pada saat awal deteksi level air memerintahkan sistem kontrol untuk penambahan air pengisi yang berlawanan dengan kondisi yang diharapkan yaitu pengurangan air pengisi.



Gambar.2 Kondisi *swell* dan *shrink* di drum boiler

.

Oleh sebab itu, pada operasi berbeban dengan hanya menggunakan satu elemen input kontrol yaitu level air di drum saja sudah tidak memadai lagi.

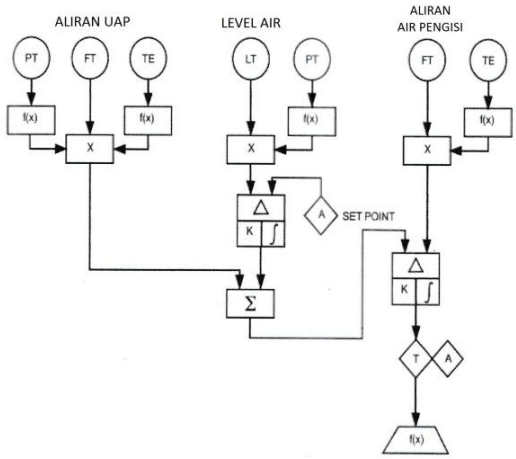
Perubahan beban langsung mempengaruhi perubahan aliran uap yang diperlukan turbin untuk menghasilkan daya. Oleh sebab itu aliran uap diperlukan sebagai input umpan maju terhadap input level air. Sementara itu jumlah penambahan air pengisi diperlukan dengan membandingkannya terhadap aliran uap, sehingga output kontrol dari level dan aliran uap menjadi setpoint bagi aliran air pengisi.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Diagram fungsional sistem kontrol level air dengan tiga elemen dapat dilihat pada gambar.3

Kinerja sistem kontrol level air drum tiga elemen dapat diresume sebagai berikut :

Kenaikan beban : adanya kenaikan beban yang berakibat kenaikan aliran uap akan menurunkan tekanan dalam drum dan kenaikan level air sesaat. Deteksi terhadap kenaikan aliran uap menghasilkan aksi ke perintah kontrol untuk menambah aliran air pengisi, sementara level air yang naik menghendaki aliran air pengisi berkurang.

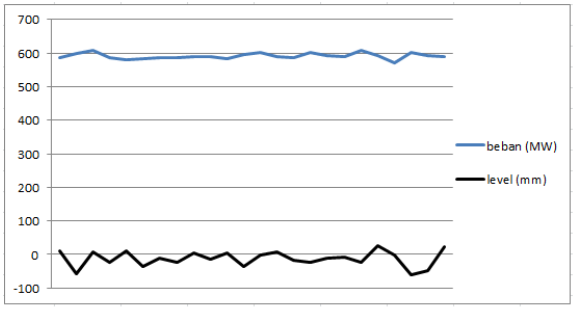


Gambar.3 Diagram fungsional sistem kontrol level air drum

Aksi total yang dihasilkan adalah perubahan kenaikan yang sedikit pada aliran air pengisi. Setelah tekanan uap di drum stabil, maka selanjutnya efek dari kenaikan aliran uap adalah menambah aliran air pengisi untuk mempertahankan level air drum pada setpointnya.

Penurunan beban : Pada kondisi beban turun, maka tekanan drum naik sehingga level air turun pada awalnya. Kondisi level air turun direspon dengan kecenderungan menambah aliran air pengsii, tetapi hal ini dilawan oleh adanya penurunan aliran uap yang menghendaki pengurangan aliran air pengisi. Hasil dari aksi kontrol ini adalah hanya terjadi perubahan sedikit pada aliran air pengisi atau bahkan tidak terjadi perubahan aliran sama sekali. Setelah tekanan dalam drum stabil, pengurangan aliran uap diikuti dengan pengurangan aliran air pengisi.

Pada kondisi unit pembangkit berbeban sekitar 600 MW dilakukan pengamatan terhadap sistem kontrol level air drum dengan hasil sebagai mana pada kurva berikut :



Gambar.4 Dinamika beban dan level air drum

Beban yang bervariasi akan menghasilkan variasi pula pada level air drum. Pada kondisi kenaikan beban diawali dengan penurunan level air, sementara pada kondisi penurunan beban diawali dengan kenaikan level air drum.

Penilaian terhadap kinerja sistem kontrol dilakukan dengan mengambil dua parameter yaitu kesalahan atau error dari variabel level dan standard deviasi nilai level air dalam periode pengamatan.

Kesalahan atau error didefinisikan sebagai selisih antara variabel yang dikontrol dengan nilai set point.
Dalam persentase kesalahan ditentukan sebagai :

$$\text{Kesalahan}=\frac{Nilai\ level-Setpoint\ level}{Range\ level}\ x\ 100\ \%\quad 3)$$

Pada parameter kesalahan, sistem kontrol dievaluasi dengan kriteria kesalahan sebagai berikut :

Kesalahan <= 2 % : baik
Kesalahan antara 2% - 5% : cukup baik
Kesalahan > 5 % : kurang baik

Dalam hal parameter kedua yaitu standard deviasi (SD), parameter ini digunakan untuk mengukur stabilitas dari sistem kontrol, yang kriteria pembobotannya, [2]

SD =< 3%, baik
SD > 3 %, kurang baik

Data pengamatan diambil setiap menit yaitu beban unit pembangkit, besaran level, besaran aliran uap dan aliran air pengisi. Berikut ini tabel ringkasan dari pengamatan beban dan level air yang ditampilkan setiap waktu 20 menit.

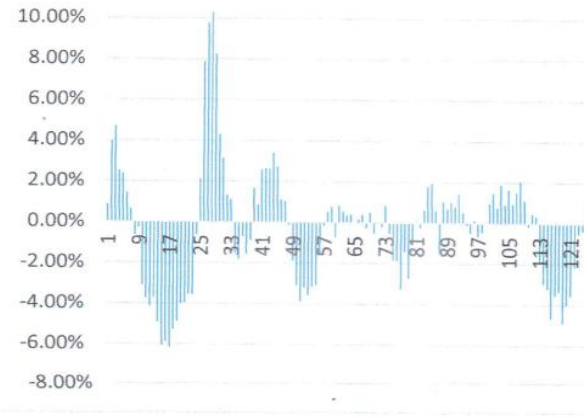
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 7 Ringkasan pengamatan beban dan level

No	Beban (MW)	Level air (mm)
1	585	9,0
2	609	7.0
3	581	11,7
4	587	-9,7
5	588	5,5
6	583	3,3
7	602	-1,5
8	588	-18,5
9	594	-10,3
10	609	-22,7
11	571	-1,0

Dari sekumpulan data pengamatan level air tersebut, maka dapat dihitung parameter kesalahan level serta standard deviasi dari level yang dihitung dalam persentase. Sebagai nilai base untuk menghitung persentase diambil range pengukuran level antara – 400 mm sampai dengan +400 mm.

Persentase kesalahan level air drum selama periode waktu tertentu diberikan pada gambar.5 berikut ini



Gambar.5 Dinamika kesalahan level air drum

Dari data pengamatan level air, diperoleh nilai kesalahan level air yang tertinggi adalah: 10,26 % pada + 72,1 mm

Dari data yang didapat, nilai standard deviasi level air yang diperoleh dari variansi yaitu sebesar 2,96 %.

Batasan operasi untuk nilai level air drum adalah seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Batasan operasi nilai level air drum

Parameter	Level (mm)	Keterangan
Range atas	+400	Level maksimum
Range rendah	- 400	Level minimum
Set level tinggi	120	Alarm
Set level rendah	-170	Alarm
Set level tinggi	370	Trip
Set level rendah	-300	Trip
Set Point Level	- 10	Operasi

Selama pengamatan, nilai level maksimum + 72,1 mm dan minimum – 61,3 mm yang berarti masih jauh dari batasan level tinggi atau rendah yang berakibat ada indikasi alarm atau bahkan batasan trip boiler. Kondisi dinamika level yang demikian menunjukkan sistem kontrol level air mampu menjaga variabel yang dikontrol dalam batas operasi yang aman.

Berdasarkan parameter nilai kesalahan level, maka kinerja sistem kontrol level dalam kondisi bervariasi mulai dari kondisi baik, cukup baik sampai dengan kurang baik.

Berdasarkan standard deviasi, maka dapat dikatakan performa sistem kontrol level mempunyai stabilitas yang baik.

Terkait dengan nilai kesalahan yang mempunyai variasi, hal ini karena dinamika perubahan dari air serta uap dalam kapasitas yang relatif besar mempengaruhi waktu respon sistem kontrol yang diawali dengan mulai dari proses pengukuran level yang kondisinya juga dinamis.

3 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan pembahasan terkait kinerja sistem kontrol level air drum boiler, maka disimpulkan sebagai berikut :

1. Dinamika level air drum pada boiler unit pembangkit kapasitas 625 MW relatif besar.
2. Kesalahan atau error yang bervariasi membuat kinerja sistem kontrol level drum

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

berada pada kondisi kategori baik, cukup baik atau kurang baik.

3. Stabilitas sistem kontrol level drum berdasarkan standard deviasi level selama periode pengamatan dapat diklasifikasikan sebagai kategori baik.

4 Daftar Pustaka

[1] David Lindsley, Power plant control and instrumentation. The control of boilers and HRSG systems, The Institute of Electrical Engineers, London, 2000

[2] George Buckbee PE,"Guidelines for evaluating control system performance",

[3] G F (Jerry) Gilman, Boiler Control Systems Engineering, Second edition, ISA, 2010

[4] Ogata, K, Modern control engineering, Prentice Hall Int, second edition, 1990

[5] Paul S Baur, "Combustion Control and Burner Management", Power, September, 1982, S.12–14.

[6] "Boiler Instrumentation and Auxilliary Equipments", Power, June, 1988,

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

TRANSFER DAYA NIRKABEL DENGAN KOPLING INDUKSI RESONANSI

Wireless Power Transfer with Inductive Resonant Coupling

Supriyadi ,Dodi Budiman,Muhammad Faisal Zamroni

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl.Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung

e-mail: supriyadi_sie@yahoo.co.id

Abstrak

Transfer daya adalah hal yang sangat penting pada dunia elektronik. Metode transfer daya secara konvensional adalah dengan menggunakan kabel sebagai media transfernya. Tetapi seiring dengan perkembangan zaman, metode transfer daya secara konvensional ini mulai dianggap merepotkan. Metode transfer daya konvensional juga memiliki kendala pada saat beban elektronik terdapat pada lokasi yang sulit dijangkau, seperti alat medis yang diimplan kedalam tubuh makhluk hidup. Tujuan penelitian ini adalah membuat alat yang dapat mentransfer daya secara nirkabel. Alat yang dibuat terdiri dua bagian, yaitu pemancar dan penerima. Pemancar menggunakan rangkaian *full-bridge inverter* dengan antena pemancar terbuat dari lilitan kawat email dan kapasitor. Sedangkan penerima menggunakan antena penerima yang terdiri dari lilitan kawat email dan kapasitor dan rangkaian penyearah. Pengujian menggunakan lilitan dengan jumlah lilitan 13 putaran dan diameter kawat 0,5 mm dan 0,75 mm dan dengan jumlah lilitan 26 putaran dengan diameter kawat 0,5 mm . Hasil pengujian alat menunjukan bahwa dengan menggunakan kawat dengan 13 putaran dan diameter kawat 0,5 mm , frekuensi resonansi 200KHz dan pada jarak 1 cm didapatkan hasil transfer daya terbesar. Daya maksimal yang dapat ditransfer sebesar 1,764 watt, efisiensi sebesar 36,75%. Untuk memperbesar transfer daya dan efisiensi dapat menggunakan *litz wire* dan menggunakan ferit.

Kata Kunci : daya; transfer ; nirkabel; induksi,resonansi.

1. Pendahuluan

Dengan semakin berkembanganya teknologi, semakin banyak orang yang menginginkan kemudahan dalam kehidupan sehari-hari. Untuk menggantikan metode transfer daya listrik konvensional (menggunakan kabel tembaga) para peneliti mengembangkan berbagai macam metode. Metode yang paling banyak dikembangkan adalah metode transfer daya listrik secara nirkabel (*wireless*).

Metode transfer daya ini dapat mempermudah pengaplikasian dalam bidang mikroelektronik yang membutuhkan daya dari luar tetapi terkendala dengan lokasi dari alat elektronik tersebut. Salah satu contohnya adalah alat-alat medis yang berukuran kecil dan yang diimplan ke dalam tubuh makhluk hidup. Jika alat tersebut menggunakan catu daya yang dihubungkan secara konvensional, maka transfer daya akan menjadi sulit karena untuk menghubungkan catu daya dan alat tersebut membutuhkan konektor yang dipasang di tubuh manusia. Hal ini lebih dipersulit jika orang yang terpasang alat medis tersebut banyak bergerak.

Dengan mengimplementasi metode transfer daya ini, diharapkan dapat mempermudah proses transfer daya tanpa perlu menghubungkan konektor dari catu daya ke peralatan elektronik.

2. Dasar Teori

Penelitian mengenai transfer daya nirkabel yang sudah pernah dilakukan adalah dengan menggunakan rangkaian *half-bridge inverter* pada bagian pemancar sebagai penghasil arus bolak-balik. Arus bolak-balik ini digunakan sebagai input untuk lilitan agar diubah menjadi medan magnetik. Medan magnetik ini berperan sebagai media transfer agar dapat terjadi transfer daya secara nirkabel.[8]

Penelitian lainnya yaitu mengenai sistem transfer daya nirkabel dengan kopling induksi resonansi dengan memperhatikan jarak dan sudut kemiringan. Hasil penelitian menunjukan bahwa jarak dan sudut kemiringan antar kumparan dapat mempengaruhi daya yang dapat ditransfer. Semakin jauh jarak antar kumparan, maka semakin kecil daya yang dapat ditransfer. Demikian juga dengan sudut kemiringan. Semakin miring sudut kumparan penerima, maka semakin kecil daya yang dapat ditransfer oleh sistem. [6]

2.1 Definisi

Transfer daya nirkabel adalah suatu sistem yang dapat mentransmisikan energi listrik dari sumber listrik menuju beban listrik tanpa menggunakan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

konduktor seperti kabel. Transfer daya nirkabel mempunyai kegunaan dalam kehidupan sehari-hari, yaitu pengisian daya secara otomatis untuk alat elektronik yang menggunakan baterai

Sistem transfer daya ini berbeda dengan prinsip induksi elektromagnetik konvensional seperti yang digunakan dalam trafo, dimana kumparan sekunder mentransmisikan daya ke kumparan sekunder dalam jarak yang sangat dekat.

Pada trafo, energi listrik mengalir dari kumparan primer ke kumparan sekunder dalam jarak yang sangat dekat. Tingkat efisiensi pengiriman daya listrik pada trafo akan berkurang secara signifikan ketika jarak antar kumparan berjauhan.

Tingkat efisiensi dari sebuah sistem induksi elektromagnetik dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan resonator. Cara ini disebut dengan induksi resonansi. Dengan prinsip ini, dapat dibangun suatu sistem yang dapat mentransfer daya secara nirkabel dengan jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan induksi elektromagnetik.

2.2 Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah konsep yang banyak digunakan dalam peralatan elektronik. Prinsip induksi elektromagnetik ini dibuktikan oleh Michael Faraday, seorang ilmuwan yang tertarik setelah melihat percobaan dari H.C Oersted yang menjelaskan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet.

Percobaan Michael Faraday pada tahun 1831 dalam membuktikan prinsip induksi elektromagnetik ini cukup sederhana. Dengan menggunakan 2 buah kabel yang digulung pada kedua sisi cincin besi. Lalu kabel pada satu sisi dialiri dengan arus listrik dan kabel pada sisi yang lain dihubungkan dengan galvanometer.

Faraday telah memperkirakan bahwa kabel yang dialiri dengan arus listrik akan menghasilkan medan magnet disekitar kabel tersebut. Pada saat kabel yang satu dialiri dengan arus listrik, jarum galvanometer yang dihubungkan dengan kabel pada sisi yang lain bergerak. Induksi yang terjadi diakibatkan oleh fluks magnetik yang timbul saat sumber arus di hubungkan dan dilepas dari kabel.

Dengan ini Michael Faraday menyimpulkan bahwa medan magnet pada kabel yang dialiri arus listrik dapat menghantarkan arus kepada kabel lainnya yang berada pada jangkauan medan magnet kabel tersebut. Faraday juga menyimpulkan bahwa induksi elektromagnetik adalah gejala timbulnya gaya gerak listrik di dalam suatu kumparan/konduktor bila terdapat perubahan fluks magnetik pada konduktor tersebut atau bila konduktor bergerak relatif melintasi medan magnetik.

2.3 Karakterisitik Induksi Elektromagnetik

Besar kecilnya induksi elektromagnetik yang terjadi dapat diperhatikan dari penyimpangan jarum galvanometer. Jika penyimpangan jarum besar, maka arus yang terinduksi juga besar. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya induksi elektromagnetik yang terjadi pada lilitan adalah : jumlah lilitan, kecepatan perubahan jumlah garis gaya magnet yang masuk ke kumparan (fluks magnetik) dan kuat medan magnet.

2.4 Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah ukuran atau jumlah medan magnet B yang melewati luas penampang tertentu.

Fluks magnetik yang dihasilkan oleh medan magnet B pada permukaan yang memiliki luas A adalah

$$\phi = BA\cos\theta \tag{1}$$

(2.1)
perubahan fluks magnet pada pada suatu permukaan tertutup oleh lintasan tertutup mengakibatkan adanya Gerak Gaya Listrik (GGL) induksi. Besarnya GGL induksi yang terjadi adalah

$$\mathrm{E} = -N\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \tag{2}$$

(2.2)
Arah arus induksi dapat ditentukan dengan aturan yang dikemukakan oleh Lenz. Hukum Lenz menyatakan bahwa arah arus induksi yang dihasilkan sedemikian rupa sehingga menimbulkan medan magnetik induksi yang menentang perubahan medan magnetik.

2.5 Induktansi Diri

Berdasarkan hukun Bios-Savart, jika terdapat arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar akan menyebabkan timbulnya medan magnet disekitar penghantar tersebut.

Besarnya medan magnet yang timbul disekitar penghantar sebanding dengan besarnya arus listrik yang mengalir seperti yang dijelaskan rumus berikut

- B pada kawat panjang :

$$B = \left(\frac{\mu_o}{2\pi a}\right) I \tag{3}$$

- B pada kawat melingkar :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

$$B = \left(\frac{\mu_o r}{2a^2}\right) I \sin\theta \quad (4)$$

- B pada solenoida :

$$B = \left(\frac{\mu_o N}{s}\right) I \quad (5)$$

Dari persamaan (3) sampai dengan (5), dapat dilihat bahwa B sebanding dengan I, dan karena dari persamaan (1) diketahui bahwa B sebanding dengan ϕ, maka fluks magnet juga sebanding dengan I. Berdasarkan hal tersebut diperoleh tetapan kesebandingan sebagai berikut :

$$\phi = LI \quad (6)$$

Dimana L adalah tetapan kesebandingan antara ϕ dengan I yang dinamakan induktansi diri dari suatu sistem. Untuk mengetahui nilai L pada suatu lilitan dapat menggunakan persamaan berikut

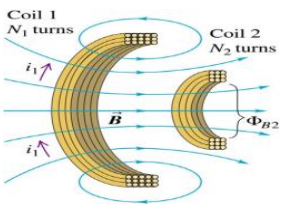
$$L = \frac{\mu_o N^2 A}{\ell} \quad (7)$$

Dari persamaan (7) dapat diketahui bahwa L sebanding dengan N. Karena pada hukum Faraday perubahan fluks listrik dapat menimbulkan GGL, maka dengan memasukkan (6) dan (7) kedalam persamaan (2) didapatkan :

$$E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (8)$$

2.6 Induktansi Bersama

Induktansi bersama terjadi apabila terdapat dua lilitan yang saling berdekatan seperti gambar II.6. Arus i_1 pada lilitan 1 akan menghasilkan medan magnet yang fluks magnetnya akan mempengaruhi lilitan 2. Jika i_1 berubah, maka medan magnet pada lilitan 1 juga akan berubah. Hal ini akan menyebabkan terjadinya GGL induksi pada lilitan 2. Ketika timbul GGL induksi pada lilitan 2, maka arus akan mengalir di lilitan 2 dan akan menghasilkan medan magnet yang akan mempengaruhi lilitan 1. Hal inilah yang dinamakan induktansi bersama (M).



14.1.1.1.1 Gambar 1. Induktansi bersama dua lilitan

Menurut Faraday, besarnya induktansi bersama adalah

$$E_2 = -M\frac{\Delta i_1}{\Delta t} \quad (9)$$

$$E_1 = -M\frac{\Delta i_2}{\Delta t} \quad (10)$$

(2.10)
Dimana besarnya M (induktansi bersama) adalah

$$M = \frac{N_2\phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1\phi_{B1}}{i_2} \quad (11)$$

2.7 Induksi Resonansi

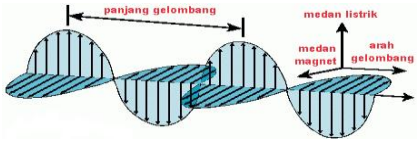
Resonansi adalah peristiwa dimana ikut bergetarnya suatu benda akibat benda lain yang bergetar karena keduanya memiliki frekuensi yang sama atau memiliki frekuensi yang merupakan bilangan bulat dari frekuensi salah satu benda bergetar. Frekuensi dimana respon amplitudo menjadi maksimum dinamakan frekuensi resonansi.

Pada saat beresonansi, yaitu saat kedua sistem memiliki frekuensi resonansi yang sama, sistem cenderung akan menyerap lebih banyak energi dari lingkungan.

Resonansi dapat ditemui didalam sistem yang menghasilkan medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik sendiri merupakan bidang energi yang dapat memberikan energi untuk digunakan dalam proses terjadinya aliran listrik.

Didalam jangkuan radiasi gelombang elektromagnetik selalu mengandung energi, baik ada penerima atau tidak. Hal ini menimbulkan bahaya karena energi tersebut dapat mempengaruhi lingkungan sekitar.

Untuk menghidari bahaya tersebut, maka perlu didesain suatu sistem yang menghasilkan medan magnetik non-radiasi dengan resonansi frekuensi tertentu. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan rangkaian LC yang berosilasi dan frekuensi resonansi yang sama untuk menghasilkan resonansi elektromagnetik.



14.1.1.1.2 Gambar 2 Gelombang Elektromagnetik

Dua sistem elektromagnetik dengan frekuensi resonansi yang sama akan menghasilkan resonansi magnetik yang kuat dan membentuk sebuah sistem resonansi elektromagnetik. Satu sistem dengan resonator dihubungkan dengan sumber listrik yang

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

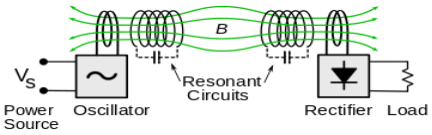
kemudian akan berperan sebagai sumber listrik untuk diberikan kepada sistem kedua yang berperan untuk mengkonsumsi energi.

Dengan kata lain, kedua sistem ini dapat mengirimkan energi dari satu tempat ke tempat lain menggunakan medan magnet tanpa perlu kabel sebagai konektor antara sumber dan beban (*wireless*).

Kopling induksi resonansi adalah fenomena dimana kopling yang digunakan menguat ketika lilitan bagian sekunder mengalami resonansi. Kopling induksi resonansi yang paling dasar terdiri atas sebuah lilitan pada bagian primer dan sebuah rangkaian resonansi pada bagian sekunder.

Ketika lilitan primer dijalankan oleh frekuensi resonansi bagian sekunder, fasa dari bagian primer dan sekunder menjadi sama. Hal ini menyebabkan meningkatnya tegangan maksimum yang dihasilkan pada bagian sekunder membesar yang diakibatkan oleh meningkatnya fluks bersama. Hasilnya adalah meningkatnya efisiensi.

Untuk pengaplikasian pada sistem transfer daya nirkabel, kopling induksi resonansi digunakan pada bagian primer dan sekunder untuk menghasilkan hasil transfer yang lebih baik dibandingkan dengan kopling induksi resonansi dasar. Besarnya frekuensi resonansi pada bagian primer dan sekunder disamakan agar dapat menghasilkan transfer daya yang baik.

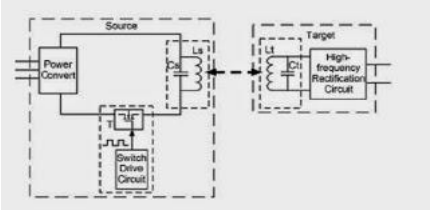


14.1.1.1.3 Gambar 3 Kopling Induksi Resonansi untuk Transfer Daya Nirkabel

Bagian lilitan resonator primer meningkatkan arus yang mengalir pada lilitan dan meningkatkan fluks magnetik yang dihasilkan disekitar resonator primer. Hal ini sama dengan menjalankan lilitan primer dengan tegangan tinggi.

Untuk kasus seperti di atas prinsip dasarnya adalah ketika diberikan energi berosilasi (seperti pulsa tegangan) pada lilitan primer yang dibebani secara kapasitif, lilitan tersebut akan 'menyala', dan membentuk medan magnetik yang berosilasi. Energi akan tertransfer bolak-balik antara medan magnetik pada induktor dan medan listrik pada kapasitor pada frekuensi resonansi.

3. Metodologi Struktur Transfer Daya Nirkabel



14.1.1.1.4 Gambar 5 Skema Transfer Daya Nirkabel

Pada gambar 5 diatas, dapat dilihat sebuah skema sederhana dari sistem transfer daya nirkabel dengan menggunakan prinsip induksi resonansi. Blok sebelah kiri (ditandai dengan garis putus-putus) berperan sebagai pemancar dan blok sebelah kanan berperan sebagai penerima.

Pada pemancar, sumber listrik jala-jala disearahkan terlebih dahulu menggunakan rangkaian penyearah. Hasil penyearahan tersebut masuk ke dalam rangkaian LC, dalam hal ini Ls dan Cs, untuk membuat sebuah pembangkit sinyal medan magnet bolak-balik yang tidak beradiasi. Frekuensi dari rangkaian LC ini dinamakan f_s.

Pada rangkaian penerima juga terdapat rangkaian LC, dalam hal ini Lt dan Ct yang digunakan untuk membuat resonansi dari medan magnet yang dihasilkan rangkaian LC pemancar untuk menerima daya listrik. Frekuensi dari rangkaian LC penerima adalah f_t.

Nilai frekuensi resonansi pada rangkaian penerima f_t bergantung pada nilai frekuensi resonansi dari rangkaian pemancar f_s. Jika nilai f_t mendekati atau sama dengan nilai f_s, maka semakin besar arus resonansi sehingga semakin kuat medan magnet yang dihasilkan. Hal ini akan membuat daya yang ditransfer akan semakin besar.

Pada rangkaian penerima perlu ditekankan bahwa rangkaian LC tidak harus sama untuk dapat mentransfer daya listrik. Transfer daya akan berjalan dengan baik bila frekuensi resonansi antar kedua rangkaian LC bernilai sama ($f_t = f_s$).

Semakin jauh jarak pengiriman daya listrik dari rangkaian pemancar ke rangkaian penerima, maka semakin kecil pula daya yang dapat ditransfer.

Proses pengiriman daya listrik nirkabel ini masih dapat mengirimkan daya listrik meskipun dihalangi oleh benda lain dengan catatan benda tersebut adalah benda non-metal.

Spesifikasi dari sistem transfer daya nirkabel dengan kopling induksi resonansi adalah sebagai berikut:

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

- Frekuensi sistem yang digunakan antara 150KHz - 250KHz.
- Jarak maksimum transfer tidak lebih dari 10 sentimeter.
- Tidak dapat digunakan untuk mentransfer data.
- Transfer daya menggunakan kopling induksi resonansi.

14.2 3.1 Perancangan Elektronik

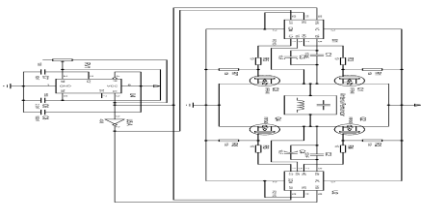
Perancangan bagian elektronik terbagi dalam 3 bagian blok, yaitu bagian blok inverter, blok antena pemancar dan penerima serta blok penyearah.

Rangkaian inverter yang digunakan untuk menghasilkan arus bolak balik adalah *full-bridge inverter.* Rangkaian ini digunakan untuk penggunaan tegangan rendah.

Untuk membuat rangkaian *full-bridge inverter* diperlukan MOSFET yang berfungsi sebagai saklar frekuensi tinggi, driver MOSFET untuk mengatur kerja MOSFET, dan trigger driver MOSFET.

Untuk mentrigger driver MOSFET IR2110 yang mempunyai 2 input (HIGH dan LOW), diperlukan sebuah rangkaian yang dapat menghasilkan pulsa (osilator) pada frekeuensi tertentu yang digunakan sebagai input HIGH dan sebuah pembalik pulsa (inverting) yang digunakan sebagai input LOW.

Dari kriteria tersebut dipilihlah IC timer 555 sebagai pembangkit pulsa dan IC 4049 sebagai pembalik pulsa tersebut (inverting). IC timer 555 dipilih karena dapat menghasilkan pulsa dengan frekuensi yang dapat diatur dengan mudah. Sedangkan IC 4049 dapat membalik (inverting) pulsa keluaran dari IC 555.



14.2.1.1.1
14.2.1.1.2 Gambar 6 Rangkaian *Full-Bridge Inverter* Pada Pemancar

Rangkaian *full-bridge inverter* digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan besar frekuensi 200KHz. Berdasarkan skematik diatas, frekuensi yang dapat dihasilkan oleh rangkaian tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$f = \frac{1}{0.693(2RPot)C_{10}} \quad (12)$$

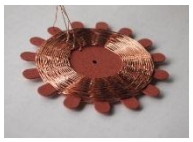
Bagian antena pemancar dan penerima yang digunakan untuk transfer daya nirkabel dengan kopling resonansi terdiri dari lilitan dan kapasitor. Dengan menggunakan lilitan dan kapasitor, maka rangkaian akan memiliki frekuensi resonansi tersendiri yang ditentukan dengan nilai induktansi dan kapasitansi dari kedua komponen tersebut.

Dalam perancangan lilitan pemancar dan penerima perlu diperhatikan beberapa hal yang dapat mempengaruhi transfer daya, seperti diameter kawat email yang digunakan, banyaknya lilitan kawat, dan bentuk dari lilitan.

Dalam perancangan antena pemancar dan penerima juga perlu diperhatikan s*kin effect* dan *proximity effect*.

Skin effect disebabkan karena tidak meratanya distribusi arus pada penampang konduktor yang dilalui arus bolak-balik (AC) pada frekeuensi tinggi.

Bentuk lilitan kawat dapat mempengaruhi besar arus yang mengaliri lilitan tersebut. Efek yang ditimbulkan berdasarkan bentuk lilitan adalah *proximity effect*. Efek ini memiliki efek yang sama seperti *skin effect*, yaitu menambah resistansi konduktor berdasarkan frekuensi. Untuk menghindari efek ini, disain lilitan yang digunakan adalah *spiderweb coil*. Dengan menggunakan desain lilitan ini, maka *proximity effect* yang biasa timbul dapat teratasi. Gambar dibawah menunjukan acuan dari disain lilitan s*piderweb coil*.



14.2.1.1.3 **Gambar 7 Acuan Disain *Spiderweb Coil***

Diameter lilitan pemancar dan penerima yang akan dibuat adalah 6 cm dan memiliki jumlah lilitan sebanyak masing-masing 13 putaran dengan menggunakan kawat berdiameter 0,5 mm dan 0,75 mm dan 26 putaran dengan kawat 0,5 mm saja. Dengan menggunakan karaketeristik tersebut, maka nilai induktansi dapat dihitung menggunakan rumus dibawah :

$$L = \frac{r^2 \times N^2}{8r + 11d} \quad (13)$$

Nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

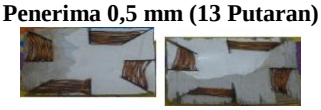
$$C = \frac{1}{4\pi^2 {f_r}^2 L} \quad (14)$$

Frekuensi resonansi (f_r) yang diinginkan adalah sebesar 200kHz. Lilitan bagian pemancar yang telah didisain akan digunakan untuk mengubah arus AC menjadi medan magnetik yang digunakan sebagai media transfer daya. Sedangkan untuk lilitan bagian penerima didisain akan digunakan untuk menangkap medan magnet tersebut dan mengubahnya menjadi arus AC.

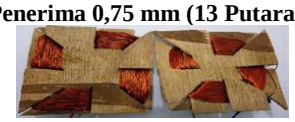
Lilitan yang dibuat terdiri dari lilitan untuk pemancar dan lilitan untuk penerima yang memiliki diameter 6 cm. Kawat email dililit membentuk *spiderweb coil*.



14.2.1.1.4 Gambar 8 Lilitan Pemancar dan Penerima 0,5 mm (13 Putaran)



14.2.1.1.5 Gambar 9 Lilitan Pemancar dan Penerima 0,75 mm (13 Putaran)



Gambar 10 Lilitan Pemancar dan Penerima 0,5 mm (26 Putaran)

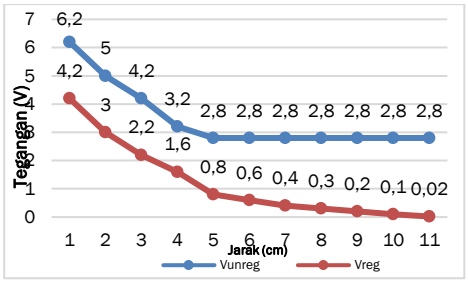
4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dari ragkaian pengirim dan penerima untuk kumparan 0,5 mm dan 0,75 mm, serta transfer daya.

4.1 Hasil Pengukuran Untuk Kumparan 0,5 mm dan 0,75 mm

14.2.1.1.5.1 Tabel 1 Data Percobaan Diameter Kawat 0,5mm

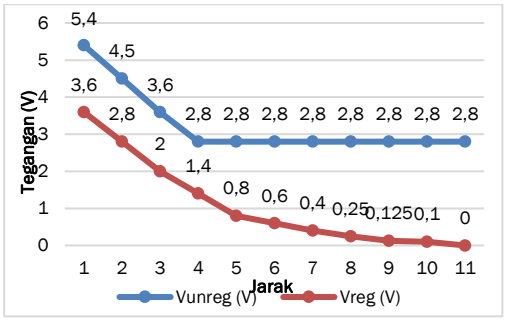
Beban : Resistor 10Ω			
Diameter Kawat 0,5 mm			
Jarak (cm)	Vunreg (Volt)	Vreg (Volt)	Kondisi Lampu
1	6,25	4,2	Terang
2	5	3	Terang
3	4,2	2,2	Terang
4	3,2	1,6	Terang
5	2,8	0,8	Terang
6	2,8	0,6	Terang
7	2,8	0,4	Terang
8	2,8	0,3	Redup
9	2,8	0,2	Redup
10	2,8	0,1	Redup
11	2,8	0,02	Mati



Gambar 11 Grafik Percobaan Diameter Kawat 0,5 mm

14.2.1.1.5.2 Tabel 2 Data Percobaan Diameter Kawat 0,75 mm

Beban : Resistor 10Ω			
Diameter Kawat 0,75 mm			
Jarak (cm)	Vunreg (Volt)	Vreg (Volt)	Kondisi Lampu
1	5,4	3,6	Terang
2	4,5	2,8	Terang
3	3,6	2	Terang
4	2,8	1,4	Terang
5	2,8	0,8	Terang
6	2,8	0,6	Terang
7	2,8	0,4	Terang
8	2,8	0,25	Redup
9	2,8	0,125	Redup
10	2,8	0,1	Sangat Redup
11	2,8	0	Mati



Gambar 12 Grafik Percobaan Diameter Kawat 0,75 mm

Dari data percobaan diatas (tabel IV.5 dan tabel IV.6) dapat disimpulkan bahwa diamaeter kawat 0,5 mm dapat mentransfer daya lebih besar dibandingkan dengan diameter kawat 0,75 mm. Hal ini disebabkan karena perbedaan resistansi yang ditimbulkan oleh *skin effect*.

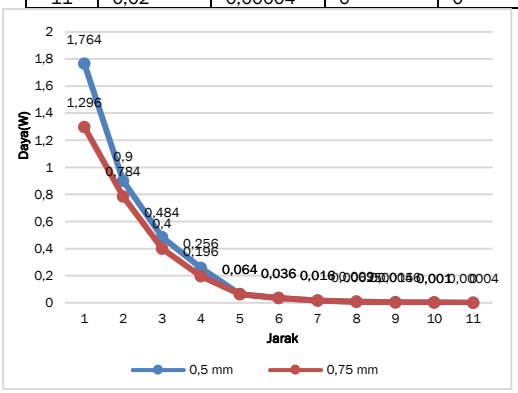
Dengan data yang telah didapatkan, maka besarnya daya yang dapat ditransfer oleh masing-masing lilitan dapat dilihat pada tabel dibawah.

4.2 Hasil Pengukuran Transfer Daya

Tabel 3 Data Percobaan Hasil Transfer Daya

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Beban : Resistor 10 Ω				
Jarak (cm)	Diameter Kawat (mm)			
	0,5		0,75	
	Tegangan (V)	Daya (Watt)	Tegangan (V)	Daya (Watt)
1	4,2	1,764	3,6	1,296
2	3	0,9	2,8	0,784
3	2,2	0,484	2	0,4
4	1,6	0,256	1,4	0,196
5	0,8	0,064	0,8	0,064
6	0,6	0,036	0,6	0,036
7	0,4	0,016	0,4	0,016
8	0,3	0,009	0,25	0,00625
9	0,2	0,004	0,125	0,00156
10	0,1	0,001	0,1	0,001
11	0,02	0,00004	0	0



Gambar 13 Grafik Percobaan Hasil Transfer Daya

Hasil daya yang ditransfer dipengaruhi oleh besarnya fluks magnetik yang dapat dihasilkan oleh antena pemancar. Semakin besar fluks magnetik maka semakin besar daya yang dapat ditransfer. Menurut hasil percobaan diatas menunjukkan bahwa besarnya fluks magnetik bergantung pada arus dan jarak.

Secara teori, semakin besar arus maka semakin besar juga fluks magnetik yang dapat dihasilkan, maka dari itu hasil transfer pada lilitan dengan diameter kawat 0,5 mm lebih baik daripada lilitan dengan diameter kawat 0,75 mm.

Hal yang juga mempengaruhi besarnya fluks magnetik adalah jarak. Semakin besar jarak antara pemancar dan penerima, maka semakin kecil fluks magnetik. Menurut data hasil percobaan diatas, pada jarak 1 cm fluks magnetik yang diterima oleh antena penerima besar sehingga daya yang dapat ditransfer menjadi yang paling besar. Seiring dengan penambahan jarak, fluks magnetik yang diterima oleh penerima semakin mengecil sehingga daya yang yang dapat ditransfer menjadi semakin mengecil.

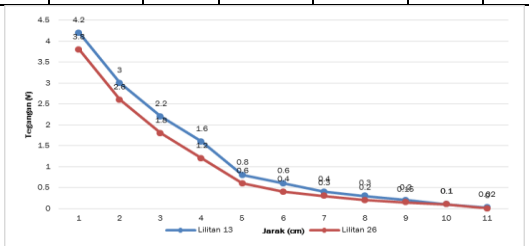
4.3 Pengukuran Transfer Daya dengan Perubahan Jumlah Lilitan

Pengukuran ini dilakukan dengan cara mengukur besar tegangan yang ditransfer secara nirkabel dengan 2 jenis lilitan yang berbeda. Perbedaan kedua lilitan tersebut terletak pada jumlah lilitan yang digunakan. Jumlah lilitan yang digunakan adalah sebanyak 13 putaran dan 26 putaran.

Titik pengukuran yang dilakukan sama seperti percobaan sebelumnya, yaitu Vunreg dan Vreg. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4 Data Percobaan Perubahan Jumlah Lilitan

Beban : 10 Ω						
Diameter Kawat : 0,5 mm						
Jarak (cm)	Jumlah lilitan : 13			Jumlah lilitan 26		
	Vunreg (V)	Vreg (V)	Lampu	Vunreg (V)	Vreg (V)	Lampu
1	6,25	4,2	Terang	5,6	3,8	Terang
2	5	3	Terang	4,4	2,6	Terang
3	4,2	2,2	Terang	3,2	1,8	Terang
4	3,2	1,6	Terang	2,9	1,2	Terang
5	2,8	0,8	Terang	2,8	0,6	Terang
6	2,8	0,6	Terang	2,8	0,4	Terang
7	2,8	0,4	Terang	2,8	0,3	Redup
8	2,8	0,3	Redup	2,8	0,2	Redup
9	2,8	0,2	Redup	2,8	0,15	Redup
10	2,8	0,1	Redup	2,8	0,1	Redup
11	2,8	0,02	Mati	2,8	0	Mati



Gambar 14 Grafik Percobaan Perubahan Jumlah Lilitan

Dari data percobaan diatas, dapat dilihat bahwa jumlah lilitan 13 putaran dapat mentransfer daya lebih baik dibandingkan dengan lilitan dengan jumlah lilitan 26 putaran.

Perhitungan efisiensi daya ini dilakukan dengan cara mengukur besar daya yang digunakan oleh bagian pemancar dan besar daya pada bagian penerima. Setelah mendapatkan kedua variabel tersebut, maka dapat digunakan rumus dibawah untuk menghitung besar efisiensi transfer daya.

$$\eta = \frac{Pout}{Pin} \times 100\% \qquad (15)$$

(4.2)

Hasilnya sebagai berikut:

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 5 Efisiensi Transfer Daya

Beban : 10Ω						
Jarak 1 cm						
Diameter Kawat (mm)	Jumlah Lilitan					
	13 Putaran			26 Putaran		
	Pin (W)	Pout (W)	η (%)	Pin (W)	Pout (W)	η (%)
0,5	4,8	1,764	36,75	3,6	1,444	40,11
0,75	3,6	1,296	36	-		

Dari data diatas, dapat disimpulkan bahwa antena yang menggunakan jumlah lilitan 26 putaran memiliki tingkat efisiensi yang paling baik. Hal ini dikarekan pada antena dengan jumlah lilitan 26 putaran memiliki nilai induktansi yang paling besar diantara ketiga lilitan yang diuji. Semakin besar nilai induktansi maka semakin besar pula fluks magnetik yang dihasilkan. Hal inilah yang membuat antena dengan jumlah lilitan 26 putaran memiliki tingkat efisiensi yang paling baik.

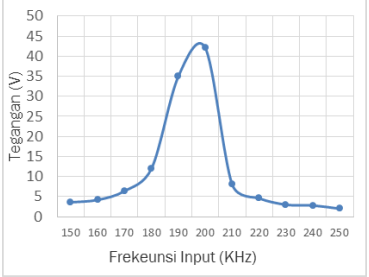
4.4 Pengukuran Transfer Daya dengan Perubahan Frekuensi

Pengukuran transfer daya dengan perubahan frekuensi ini dilakukan dengan cara mengubah frekuensi dari rangkaian full-bridge inverter. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beda frekuensi sumber dengan frekuensi resonansi dari rangkaian LC antena.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan lilitan dengan diameter kawat 0,5 mm sebagai antena pemancar dan penerima. Tabel dibawah merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 6 Data Percobaan Perubahan Frekuensi

Tanpa Beban	
Diameter Kawat 0,5 mm	
Frekuensi (KHz)	Vunreg (Volt)
150	3,6
160	4,2
170	6,4
180	12
190	35
200	42
210	8
220	4,6
230	3
240	2,8
250	2



Gambar 15 Grafik Percobaan Perubahan Frekuensi

Dari data diatas dapat dilihat bahwa frekuensi input yang diberikan harus sesuai dengan frekuensi dari rangkaian LC yang digunakan. Perbedaan frekuensi input dengan frekuensi rangkaian LC dapat menyebabkan daya yang dapat ditransfer menjadi kecil.

Dari grafik yang dihasilkan oleh data percobaan, dapat dilihat bahwa transfer daya paling besar ketika frekuensi input dari rangkaian *full-bridge inverter* sama dengan frekuensi rangkaian LC, yaitu 200KHz. Perubahan frekuensi input yang kecil dapat menyebabkan turunnya kemampuan transfer daya yang cukup besar.

5. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan realisasi alat Transfer Daya Nirkabel dengan Kopling Induksi Resonansi didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Frekuensi input yang dapat mentransfer daya yang paling baik adalah sebesar 200KHz.
2. Hasil transfer daya maksimal yang dapat dilakukan adalah sebesar 1,764 watt dengan menggunakan kawat email dengan diameter 0,5 mm dengan jumlah lilitan 26 putaran.. Transfer daya maksimal terjadi pada jarak 1 cm.
3. Efisiensi transfer maksimal sebesar 40,11% dengan menggunakan lilitan dengan jumlah lilitan 26 putaran.

6. Daftar Pustaka

[1] Wilson TV. http://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/wireless-power2.htm. [Online]. [cited 2017 Januari 17. Available from: How Stuff Works.
[2] Utami S. Listrik Magnet Bandung: Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik; 1995.
[3] Tandon T, Dhaneswar P, Verma A, Mishra A. Wireless Power Transmission Using Resonant Coupling and Induction. IJERT. 2013; 2(11): p. 783-786.
[4] Takumi N, Nagashima T, Sekiya H. A Design of Inductively Coupled Wireless Power Transfer System With Coupling Coil Optimization. IEEE. 2015.
[5] Tahmid. Tahmid's blog. [Online]. [cited 2017 Mei 5. Available from: http://tahmidmc.blogspot.co.id/2013/01/using-high-low-side-driver-ir2110-with.html.
[6] Supe T, Joy A, Kadam N, Bhagat A. Study on Wireless Power Transfer Using Resonant Induction Technique. IJETAE. 2014; 4(3): p. 665-668.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

[7] Rohith T, Samhita VS, Mamatha I. Wireless Transmission of Solar Power Using Inductive Resonant Principle. In Biennal International Conference; 2016; Bangalore: IEEE.
[8] Liwei S, Qiang L, Chang T, Kai Y, Junchao S. A Study of Magnetic Resonance Wireless Power Transfer System Based on Half Bridge Inverter. In Vehicle Power and Propulsion Conference; 2016; Hangzhou: IEEE.
[9] Abdullah M. Diktat Kuliah Fisika Dasar II Tahap Persiapan Bersama ITB Bandung: Institut Teknologi Bandung; 2006.
[10] Electronics Tutorial. [Online]. [cited 2017 July 20. Available from: http://www.electronics-tutorial.net/dc-to-ac-inverter/single-phase-full-bridge-inverter/index.html.
[11] Power Stream. Power Stream. [Online]. [cited 2017 April 4. Available from: https://www.powerstream.com/Wire_Size.htm .

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Rancang Bangun Dan Implementasi Sistem Kendali *Quadcopter* Melalui Jaringan Internet Berbasis Lokasi Menggunakan *Smartphone Android*

[1]Aji Kurnia Rahman*, [1] Hadi Supriyanto, S.T, M.T , [1] Tika Meizinta, M.Sc

[1] Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur Konsentrasi Teknik Elektromekanik, Politeknik Manufaktur Bandung

*ajikurniarahman@gmail.com**

Abstrak

Quadcopter adalah jenis robot drone multirotor yang menggunakan empat buah motor penggerak yang dikendalikan dengan menggunakan *Flight Controller* dimana didalamnya telah memiliki algoritma dan sensor – sensor tertentu. *Quadcopter* banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan, seperti pada penelitian, eksplorasi, pengambilan citra, juga pengamatan. Namun dari sisi kendali terdapat kekurangan, yaitu pada umumnya *quadcopter* masih dikendalikan oleh seseorang dengan sebuah *remote control*.

Pada karya tulis ini dijelaskan mengenai penggunaan GPS (Global Positioning System) untuk menentukan lintasan dari pergerakkan *quadcopter* yang ditentukan dari aplikasi pada Android yang dikomunikasikan melalui jaringan internet, dimana *quadcopter* akan bergerak tanpa menggunakan *remote control* dan bergerak sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan melalui Android.

Hasil penelitian ini didapatkan berupa sistem kontrol gerak otomatis *quadcopter* menuju tujuan menggunakan antarmuka aplikasi pada *smartphone* berbasis Android dengan kesalahan jarak rata – rata sebesar 4,42 meter dan waktu rata – rata pengiriman data dengan menggunakan internet selama 2,74 sekon untuk setiap pengiriman data. Perbedaan jarak yang terjadi disebabkan karena perbedaan data lokasi dari perangkat *smartphone* berbasis Android dan *quadcopter* dengan lokasi sesungguhnya.

Kata Kunci: Quadcopter; Android; GPS; Internet

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) secara umum dapat diartikan sebagai sebuah wahana udara. Dengan kemajuan teknologi, UAV saat ini sudah dilengkapi perangkat pendukung yang memungkinkan dapat sepenuhnya dikendalikan secara *autonomous*. Pada saat ini perkembangan sistem *autonomous* digunakan pada sistem wahana bertipe *rotary-wing*. Salah satu jenis *rotary-wing* yang berkembang saat ini adalah quadrotor atau *quadcopter*.

Teknologi GPS (Global Positioning System) telah digunakan dalam berbagai aplikasi di kehidupan sehari-hari. Informasi dari GPS dapat dimanfaatkan untuk mengetahui posisi geografis yang menunjukkan titik koordinat dari sebuah objek pada suatu keruangan. GPS banyak dimanfaatkan untuk mengetahui rute perjalanan dari satu tempat ke tempat lain serta jarak tempuh dari rute tersebut.

Sistem otomatis merupakan sistem yang akan mengurangi campur tangan manusia serta dapat meringankan pekerjaan manusia. Pada saat ini terdapat sistem otomatis dari *quadcopter* yang bergerak berdasarkan sistem yang telah terprogram dengan memasukkan data koordinat posisi yang menjadi tujuan dari *quadcopter* tersebut.

Berdasarkan hal – hal tersebut maka pada penelitian ini akan dibuat sistem penentuan lintasan pergerakkan *quadcopter* berdasarkan titik koordinat yang dihasilkan GPS pemancar, data dari GPS pemancar dikirim menggunakan jaringan internet ke sebuah sistem *cloud storage*. Kemudian *quadcopter* akan menerima data dari sistem *cloud storage* dan bergerak menuju titik koordinat dari GPS pemancar. *Quadcopter* memiliki GPS untuk mengetahui lokasi dari *quadcopter* itu sendiri yang dijadikan sebuah sensor umpan balik untuk pembanding dari titik koordinat lokasi pemancar dengan titik koordinat *quadcopter* saat itu. *Quadcopter* akan mengirimkan data lokasi secara berkala agar posisi *quadcopter* dapat terpantau. Perangkat *smartphone* berbasis Android akan digunakan sebagai GPS pemancar dan pada *quadcopter* ditambahkan sebuah pengendali yang dapat menerima data lokasi dari GPS pemancar yang dikirim menggunakan jaringan internet.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sistem dapat mengetahui posisi yang didapatkan dari GPS pemancar dan *quadcopter* dapat bergerak menuju titik tujuan yang dihasilkan oleh GPS pemancar dengan menggunakan jaringan internet.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut diperoleh beberapa permasalahan, yaitu:

- Bagaimana mendapatkan informasi posisi di permukaan bumi dengan menggunakan *smartphone* berbasis Android?

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

• Bagaimana GPS pemancar dan *quadcopter* dapat mengirim maupun mengakses data lokasi dengan menggunakan jaringan internet?

• Bagaimana pergerakkan *quadcopter* dapat menuju titik tujuan?

1.3 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah dalam karya tulis ini:

• Daerah terbang pada area di luar ruangan.

• Jarak antara titik tujuan dengan *quadcopter*.

• Faktor kecepatan angin, tekanan, suhu, dan tingkat gravitasi pada setiap tempat pengambilan data diasumsikan sama.

• Perhitungan estimasi jarak tempuh maksimum *quadcopter* berdasarkan pengukuran lama waktu terbang *quadcopter*.

• Ketinggian maksimum terbang adalah 30 meter karena keterbatasan komponen *quadcopter*.

• Tidak ada *obstacle* ketika *quadcopter* bergerak sampai pada tujuan.

• *Quadcopter* tidak mengalami *crash* ketika melakukan misi penerbangan.

• Pengambilan data GPS pada *smartphone* berbasis Android dilakukan di luar ruangan.

• Pengujian dilakukan di area Rekawanawaluya Polman Bandung.

• Pengujian dilakukan dengan membandingkan lokasi dari GPS pemancar dengan posisi aktual dari *quadcopter*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sistem mendapatkan sebuah informasi posisi dengan memanfaatkan teknologi GPS dan *quadcopter* dapat bergerak menuju titik tujuan yang dihasilkan oleh GPS pemancar dengan menggunakan jaringan internet.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah penggunaan *quadcopter* yang mempunyai jangkauan terbang yang lebih luas karena keterbatasan jangkauan sinyal *remote control* berbasis gelombang radio dengan menggunakan konsep Internet of Things. Hasil dari penelitian ini bisa digunakan untuk melakukan pengiriman barang dalam kehidupan sehari – hari atau pengiriman bantuan ketika terjadi bencana di tempat yang sulit di jangkau oleh kendaraan darat.

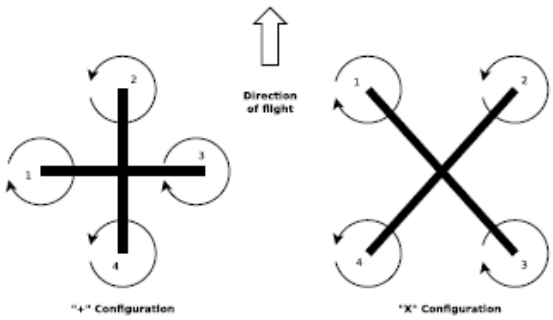
2 Kajian Pustaka

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Quadcopter

Quadcopter adalah salah satu jenis drone multirotor yang menggunakan empat buah motor penggerak untuk menerbangkanya. Dua buah motor berputar searah jarum jam dan dua buah motor lainnya berputar berlawanan arah jarum jam dilengkapi dengan propeller (baling-baling) untuk menghasilkan gaya angkat.

Pada quadcopter ada dua kemungkinan konfigurasi yang dipakai yaitu konfigurasi “+” dan konfigurasi “x”.



Gambar 1 Konfigurasi *quadcopter* dan putaran motor.

Pergerakan yang dapat terjadi pada *quadcopter* yaitu *hovering, roll rotation, pitch rotation,* dan *yaw rotation.* Keempat pergerakan ini dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya: gaya angkat pada motor beserta arahnya, kecepatan putar motor, dan momen pada sayap *quadcopter*. Berikut merupakan penjelasan gerakan yang dapat terjadi pada *quadcopter* :

• *Hovering atau Throttle*

Gerak ini dapat dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan kecepatan semua *propeller* dalam jumlah yang sama.

• *Roll*

Gerak ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurang kecepatan salah satu *propeller* yang kiri atau yang kanan.

• *Pitch*

Gerak ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi kecepatan salah satu propeller, yang depan atau yang belakang.

• *Yaw*

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gerak ini dapat dilakukan dengan menambah atau mengurangi propeller kanan depan dan kiri belakang atau kanan belakang dan kiri depan secara bersamaan.

2.1.2 Komponen Pembangun Quadcopter

• Pixhawk 2.4.8

Didalam Pixhawk 2.4.8 terdapat berbagai sensor yang digunakan agar *quadcopter* dapat terbang dengan baik. Sinyal PWM untuk motor pun dikendalikan dari sini melalui pin I/O. Terdapat berbagai fungsi *port* yang dapat digunakan untuk kebutuhan *interface* dengan perangkat pendukung tambahan. Semua modul sudah terintegrasi didalamnya.



Gambar 2 Pixhawk 2.4.8

• Module GPS uBlox M8N

Module GPS ini terpasang pada modul *quadcopter* yang berfungsi untuk mendeteksi posisi dari *quadcopter* bergerak. Modul ini digunakan sebagai sensor umpan balik *quadcopter* sehingga dapat mengetahui perbandingan antara posisi *quadcopter* dan posisi tujuan.



Gambar 3 GPS uBlox M8N

• Motor DC *Brushless* A2212/13T 1000 KV

Pada penelitian ini digunakan motor DC *Brushless* dengan kemampuan putaran 1000 RPM tiap voltase nya dan terdapat 13 *pole* pada setiap motornya. Motor ini memliki *thrust* sebesar 770 gram pada proppler ukuran 10 x 45.



Gambar 4 Motor *Brushless* A2212/13T 1000KV

• *Electronic Speed Controller* (ESC) Simonk 30A

ESC bekerja dengan mengkonversi daya dari baterai menjadi sinyal sekuensial yang disalurkan pada tiga buah keluaran kabel pada *brushless* motor. Sekuens tersebut mengendalikan kecepatan putaran dan pengereman pada motor. Kecepatan yang diinginkan pada setiap motor dikirim oleh pengendali melalui tiga sinyal kabel ESC.



Gambar 5 ESC Simonk 30A

• Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3 berfungsi sebagai komputer pengendali dari *flight controller* yang menerima program autopilot dari pengguna sehingga *quadcopter* bisa langsung terbang menuju tujuan tanpa perlu melakukan pengaturan lagi. Raspberry Pi 3 ini akan terhubung dengan internet dengan menggunakan modem internet.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 6 Raspberry pi 3

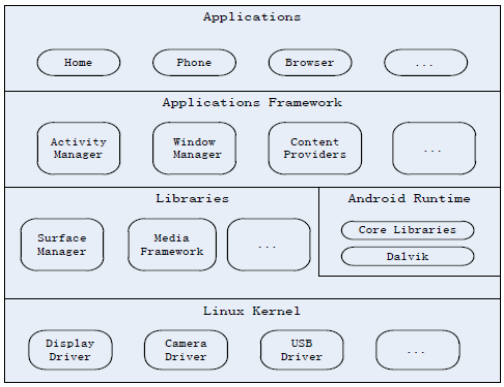
2.1.3 *Global Positioning System* (GPS)

GPS merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk menentukan letak di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan sinyal satelit yang mengirimkan sinyal gelombang mikro yang diterima oleh alat penerima di permukaan bumi. Teknologi navigasi berdasarkan satelit ini menyediakan informasi posisi, ketinggian, kecepatan, dan waktu dari GPS penerima, sehingga memungkinkan pengguna untuk mengetahui lokasi mereka di permukaan bumi. Alat ini didisain untuk kebutuhan tujuan militer yang kemudian berkembang menjadi alat yang dapat digunakan di kalangan masyarakat untuk memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan fungsi dari GPS. GPS memliki nama asli, yakni NAVSTAR GPS (*Navigation System With Time and Ranging Global Positioning System*). Sistem ini terdiri dari 32 satelit yang ditempatkan pada bidang orbit dengan ketinggian rata-rata 20.200 km di atas bumi.

Pada dasarnya, penerima GPS membandingkan waktu sinyal yang ditransmisikan oleh satelit dengan waktu yang telah diterima. Perbedaan waktu memberitahu penerima GPS seberapa jauh satelit tersebut. Sekarang, dengan jarak pengukuran dari beberapa satelit, *receiver* dapat menentukan posisi pengguna dan menampilkannya pada peta elektronik.

2.1.4 Sistem Operasi Android

Sistem Operasi Android adalah sistem berbasis Linux, menggunakan arsitektur software Android yang terdiri dari empat lapisan: *Applications*, *Applications Framework*, *Libraries*, Android, *Runtime*, Linux *Kernel*. Gambar berikut merupakan lapisan arsitektur sistem operasi Android:



Gambar 7 Arsitektur Sistem Operasi Android

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang memanfaatkan sistem *waypoint* dan GPS sebagai salah satu cara untuk pergerakkan sebuah *quadcopter* ialah penelitian yang dilakukan oleh Ghiani Nurraksa yang berjudul "Pemanfaatan GPS untuk Penentuan Pergerakan *Quadcopter*" yang dipublikasikan oleh Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur Polman Bandung pada Januari 2018. Penelitian tersebut memanfaatkan sistem *tracking waypoint* pada sistem navigasi UAV dengan modul GPS. Sistem komunikasi yang digunakan antara modul GPS dan *quadcopter* adalah *Bluetooth*. Hasil yang dicapai dari penelitian ini memiliki nilai kesalahan sebesar 51% pada garis bujur dan 53% pada garis lintang tetapi modul GPS yang dibuat tidak dapat diangkat oleh *quadcopter* karena bebannya terlalu berat dan *quadcopter* tidak mampu mengangkatnya.
Penelitian tentang sistem *path builder* pada *quadcopter* dengan menggunakan Android sebagai salah satu cara untuk pergerakkan sebuah *quadcopter* sudah pernah dilakukan oleh Azmi Rasyid dengan judul penelitian "Rancang Bangun dan Implementasi *Path Builder* pada *Quadcopter*" yang dipublikasikan oleh Jurusan Teknik Elektro Universitas Telkom pada Juni 2016. Penelitian tersebut memanfaatkan sistem *path builder* pada sistem navigasi UAV yang di integrasikan dengan *smartphone* Android. Sistem komunikasi yang digunakan antara modul GPS dan *quadcopter* adalah radio telemetri 433 MHz. Hasil yang dicapai dari penelitian ini memiliki akurasi sebesar 85%, karena masih menggunakan radio telemetri sebagai sistem komunikasi maka jarak antara pengguna dengan *quadcopter* masih terbatasi oleh jangkauan dari radio telemtri tersebut.
Dari hasil – hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini akan mengambil tema GPS sebagai sensor utamanya untuk mengetahui posisi dari tujuan akhir pergerakan *quadcopter* dan *smartphone* berbasis Android untuk antar mukanya dengan menggunakan internet sebagai sistem

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

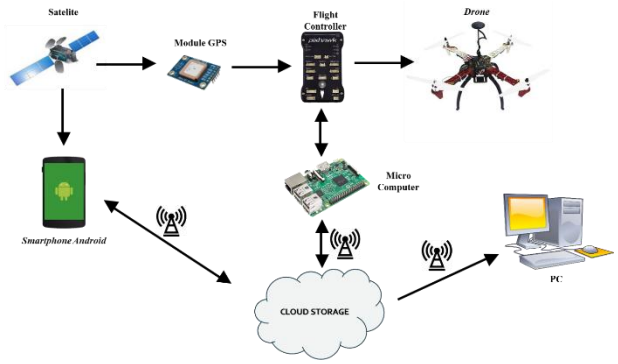
komunikasi antara *smartphone* berbasis Android dan *quadcopter.*

3 Perancangan Sistem

3.1 Gambaran Umum Sistem

Pada penelitian ini akan dibuat sistem penentuan lintasan pergerakkan *quadcopter* berdasarkan titik koordinat yang dihasilkan GPS pemancar, data dari GPS pemancar dikirim menggunakan jaringan internet ke sebuah sistem *cloud storage*. Kemudian *quadcopter* akan menerima data dari sistem *cloud storage* dan bergerak menuju titik koordinat dari GPS pemancar. *Quadcopter* memiliki GPS untuk mengetahui lokasi dari *quadcopter* itu sendiri yang dijadikan sebuah sensor umpan balik untuk pembanding dari titik koordinat lokasi pemancar dengan titik koordinat *quadcopter* saat itu. *Quadcopter* akan mengirimkan data lokasi secara berkala agar posisi *quadcopter* dapat terpantau. Perangkat *smartphone* berbasis Android akan digunakan sebagai GPS pemancar dan pada *quadcopter* ditambahkan sebuah pengendali yang dapat menerima data lokasi dari GPS pemancar yang dikirim menggunakan jaringan internet.

3.2 Perencanaan Sistem

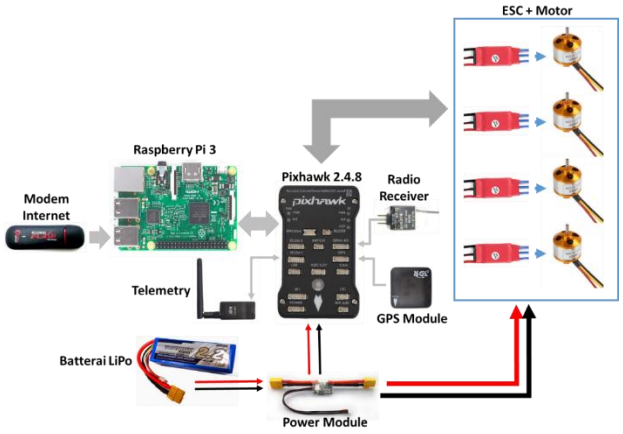


Gambar 8 Perencanaan Sistem

Pengguna menggukan *smartphone* Android untuk mengendalikan *quadcopter* secara otomatis menuju lokasi dari *smartphone* Android tersebut. Data posisi dari *smartphone* Android akan dikirimkan menuju *cloud storage* melalui jaringan internet, kemudian data tersebut akan diterima oleh *micro computer* pada *quadcopter*, lalu *micro computer* akan mengirimkan program autopilot kepada *flight controller* sehingga *quadcopter* akan terbang menuju *smartphone* Android tersebut. Data posisi pada modul GPS *quadcopter* akan dikirim secara berkala menuju *cloud storage* melalui *micro computer* melewati jaringan internet. Data tersebut kemudian dibaca oleh *smartphone* Android sehingga pengguna mengetahui dimana posisi *quadcopter* berada. Data pada *cloud storage* bisa dibaca melalui Komputer.

3.3 Perancangan Sistem

• Pembuatan Perangkat Keras

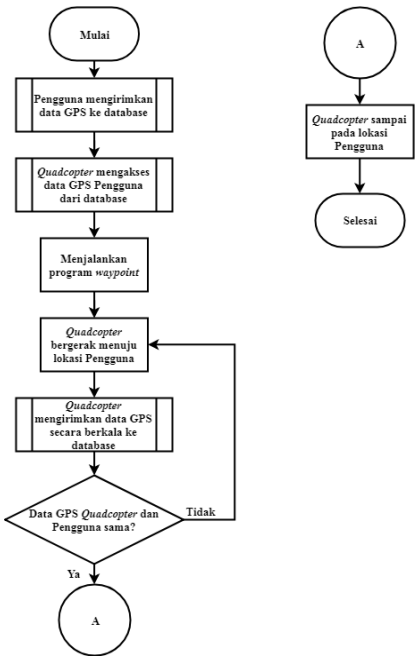


Gambar 9 Skematik Perangkat Keras Sistem

Pixhawk 2.4.8 digunakan sebagai *flight controller* yang berfungsi mengatur seluruh algoritma terbang dari *quadcopter*. Modul GPS digunakan untuk mengtahui posisi dari *quadcopter*. Telemtri berfungsi sebagai alat komunikasi antara *quadcopter* ketika terbang dengan stasiun pengendali di permukaan. *Radio Receiver* berfungsi untuk penerima perintah dari *remote control*. Raspberry Pi 3 yang terhubung dengan internet menggunakan Modem Internet berfungsi sebagai penghubung antara *flight controller* dengan pengguna *smartphone* sebagai tujuan *quadcopter* ketika melakukan misi terbang, Rapsberry Pi 3 juga berfungsi untuk memberi perintah kepada *flight controller* untuk melakukan misi terbang secara otomatis. ESC yang terhubung dengan motor penggerak menerima sinyal dari *flight controller* untuk mengatur kecepatan dari motor tersebut. Semua perangkat diatas tehubung dengan *Power Module* sebagai pendistribusi sumber tegangan utama yang berasal dari baterai LiPo.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

• Pembuatan Perangkat Lunak



Gambar 10 Diagram Alir Sistem

Pertama *quadcopter* diaktifkan dan program pada *micro computer* sudah siap digunakan sekaligus terhubung dengan internet, lalu pengguna membuka aplikasi khusus pada *smartphone* Android yang berfungsi untuk mengirim data GPS dari perangkat tersebut menuju database. Ketika data GPS sudah dikirim maka *micro computer* pada *quadcopter* akan membaca data tersebut, kemudian data tersebut dimasukan kedalam program autopilot waypoint sehingga data GPS dari *smartphone* Android itu dijadikan tujuan akhir dari *quadcopter*. Ketika *quadcopter* terbang menuju tujuannya secara berkala *micro computer* pada *quadcopter* mengirimkan data GPS dari *quadcopter* itu sendiri sehingga pengguna mengetahui dimana posisi *quadcopter* secara real time. Dengan membandingkan antara data GPS *quadcopter* dan *smartphone* Android pengguna maka *quadcopter* dapat mengetahui bahwa *quadcopter* sudah mencapai tujuannya dan *quadcopter* akan mendarat di tujuan.

3.4 Pengujian Sistem

Dalam pengujiannya, semua perangkat baik keras maupun lunak akan di integrasikan sehingga alat berfungsi sesuai dengan tujuan dari tugas akhi. Untuk mengetahui kemampuan dari GPS baik dari *smartphone* Android ataupun *quadcopter* akan dilakukan pengujian pembacaan data lokasi secara statis selama waktu tertentu. Untuk mengetahui kemampuan lama terbang *quadcopter* maka akan dilakukan pengujian terbang *quadcopter* pada posisi dan ketinggian tertentu sehingga didapatkan waktu maksimum dari *quadcopter* terbang. Untuk mengetahui hasil dari program autopilot waypoint pengujian dilakukan dengan cara mengukur perbedaan jarak antara tujuan sesungguhnya dengan posisi *quadcopter* mendarat ketika selesai terbang secara autopilot waypoint menuju tujuan akhir yaitu posisi yang dihasilkan dari GPS *smartphone* Android dan waktu penerbangan menuju tujuan tersebut.

Keluaran yang diharapkan setelah melakukan beberapa pengujian diatas yaitu *quadcopter* bisa terbang dengan stabil dan dapat mendarat secara akurat sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan oleh pengguna.

4 Hasil Pengujian Dan Analisa

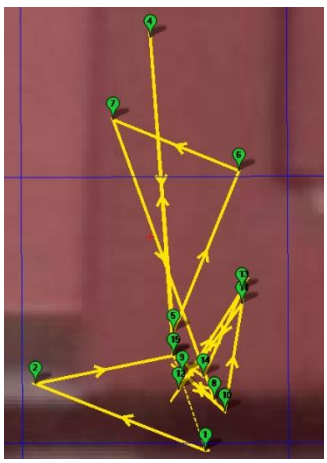
4.1 Pengujian GPS pada S*martphone* Android

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil pembacaan koordinat yang dilakukan oleh GPS pada *smartphone* Android. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi kompas pada *smartphone* Android. Kemudian dilakukan pengujian secara statis selama 10 menit lalu diambil 15 data perubahan yang terjadi selama pengujian. Data tersebut kemudian diproyeksikan kedalam peta Google Maps sehingga didapatkan data secara visual dan diketahui perbedaan jarak setiap data. Data ke-1 dijadikan titik acuan untuk mencari perbedaan jarak setiap data sehingga didapatkan nilai rata – rata toleransi GPS pada *smartphone* Android. Perangkat yang digunakan adalah Xiaomi Redmi 4X. Berikut merupakan hasil pengujian statis dari GPS Xiaomi Redmi 4X.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Tabel 1 Data Pengujian GPS pada Smartphone Android

Data ke-	*Latitude*	*Longitude*	Perbedaan Jarak (m)
1	-6,8773177	107,6205566	0
2	-6,8772949	107,6204988	6,8
3	-6,8772855	107,6205457	3,8
4	-6,8771776	107,6205377	15,7
5	-6,8772773	107,6205457	4,7
6	-6,8772227	107,6205679	10,6
7	-6,8772056	107,6205253	12,8
8	-6,8773004	107,6205595	2
9	-6,8772914	107,6205489	3
10	-6,8773045	107,6205634	1,6
11	-6,8772677	107,6205690	5,7
12	-6,8772972	107,6205475	2,5
13	-6,8772634	107,6205691	6,2
14	-6,8772925	107,6205558	2,8
15	-6,8772855	107,6205457	3,8
Rata - rata			5,47



Gambar 11 Visualisasi Data GPS Android

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa meskipun pengujian dilakukan secara statis, artinya pada satu titik koordinat, namun pembacaan GPS memperoleh hasil yang berbeda-beda Hasil pembacaan GPS bergantung pada jumlah satelit yang terkunci, cuaca, dan lokasi pengujian.

4.2 Pengujian GPS pada Quadcopter

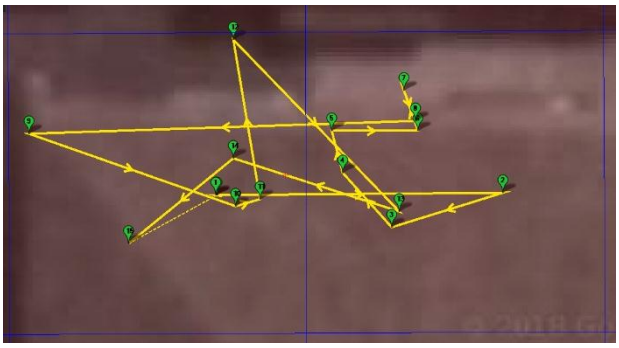
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil pembacaan koordinat yang dilakukan oleh GPS pada *quadcopter*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi Mission Planner pada komputer. Kemudian dilakukan pengujian secara statis selama 10 menit lalu diambil 15 data perubahan yang terjadi selama pengujian. Data tersebut kemudian diproyeksikan kedalam peta Google Maps sehingga didapatkan data secara visual dan diketahui perbedaan jarak setiap data. Data ke-1 dijadikan titik acuan untuk mencari perbedaan jarak setiap data sehingga didapatkan nilai rata – rata toleransi GPS pada *quadcopter*. Berikut merupakan data hasil pengujian statis dari GPS *quadcopter*.

Tabel 2 Data Pengujian GPS pada *Quadcopter*

Data ke-	*Latitude*	*Longitude*	Perbedaan Jarak (m)
1	-6,8773645	107,6203770	0
2	-6,8773640	107,6204639	9,6
3	-6,8773742	107,6204303	6
4	-6,8773580	107,6204155	4,3
5	-6,8773454	107,6204120	4,4
6	-6,8773452	107,6204382	7,1
7	-6,8773334	107,6204339	7,2
8	-6,8773424	107,6204375	7,1
9	-6,8773464	107,6203201	6,6
10	-6,8773681	107,6203828	0,8
11	-6,8773660	107,6203903	1,5
12	-6,8773181	107,6203821	5,2
13	-6,8773696	107,6204326	6,2
14	-6,8773535	107,6203822	1,4
15	-6,8773793	107,6203504	3,4

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Rata - rata	4,72



Gambar 12 Visualisasi Data GPS *Quadcopter*

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa meskipun pengujian dilakukan secara statis, artinya pada satu titik koordinat, namun pembacaan GPS memperoleh hasil yang berbeda-beda Hasil pembacaan GPS bergantung pada jumlah satelit yang terkunci, cuaca, dan lokasi pengujian.

4.3 Pengujian Lama Terbang Quadcopter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari baterai 11,1 V dengan kapasitas 5400 mAh yang digunakan sebagai sumber utama dari *quadcopter*. *Quadcopter* akan diterbangkan pada ketinggian 3 meter pada posisi yang sama secara terus menerus hingga alarm baterai berbunyi menandakan baterai sudah habis. Berikut merupakan data hasil pengujian lama terbang *quadcopter.*

Tabel 3 Data Pengujian Waktu Terbang *Quadcopter*

Waktu Terbang (menit)	Tegangan Baterai (V)	Keterangan
0	12,1	*Takeoff*
3	11,9	*Altitude Hold*
6	11,7	*Altitude Hold*
9	11,6	*Altitude Hold*
12	11,5	*Altitude Hold*
15	11,4	*Altitude Hold*
18	11,3	*Altitude Hold*
22	11,1	*Alarm LowBatt*

Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa *quadcopter* dapat terbang selama 22 menit dalam mode terbang *Altitude Hold* dengan menggunakan baterai LiPo 11,1 V dengan kapasisat 5400 mAh. Untuk mencegah rusaknya baterai LiPo maka pengujian berhenti ketika tegangan baterai mencapai 11,1 V.

4.4 Pengujian Sistem Waypoint Quadcopter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari pergerakan *quadcopter* bergerak menuju titik tujuan. *Quadcopter* memulai terbang dari posisi yang sama disetiap pengujian. Jarak menuju titik tujuan sudah ditentukan terlebih dahulu kemudian dicari koordinat dari titik tersebut menggunakan GPS *smartphone* berbasis Android dan GPS Garmin 62sc. Data GPS dari *smartphone* berbasis Android akan dibandingkan dengan GPS Garmin 62sc. *Quadcopter* akan mendarat di titik tujuan yaitu posisi dari data GPS *smartphone* berbasis Android. Jarak antara titik tujuan dibandingkan dengan jarak dimana *quadcopter* mendarat untuk mendapatkan nilai kesalahan dari sistem *waypoint*. Berikut merupakan data hasil pengujian sistem *waypoint quadcopter* dengan jarak tujuan 45 meter.

Tabel 4 Data GPS Android dan GPS Garmin 62sc

Pengujian ke-	Jumlah Satelit GPS Android	Data GPS Android		Data GPS Garmin 62sc		Perbedaan Jarak (m)
		Latitude	*Longitude*	*Latitude*	*Longitude*	
1	12	-6,87636944	107,621497 2	-6,87631667	107,621533 3	7
2	14	-6,87636111	107,621497 2	-6,87629167	107,621536 1	7
3	16	-6,87636389	107,621496 3	-6,87624722	107,621544 4	7,5
4	16	-6,87636667	107,621505 0	-6,87626389	107,621530 6	8,2

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

				-		
5	11	- 6,876 37050	107,6 21512 9	- 6,876 31389	107,6 21555 6	7,6
Rata - rata						7,46

Tabel 5 Data Pengujian Sistem Waypoint

Pengujian ke-	Jumlah satelit GPS *Quadcopter*	Perbedaan Jarak dari tujuan akhir (m)	Waktu Tempuh (s)
1	16	5,1	75
2	13	4,6	66
3	14	3,5	63
4	11	4,4	68
5	13	4,5	70
Rata - rata		4,42	68,4

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa terjadi perbedaan jarak antara tujuan seharusnya yaitu posisi data GPS Garmin 62sc dengan posisi data GPS s*martphone* berbasis Android dengan rata – rata perbedaan sebesar 7,46 meter. Selain itu terjadi perbedaan antara posisi *quadcopter* mendarat dengan tujuan akhir yang sudah ditentukan dengan rata – rata perbedaan sebesar 4,42 meter. Perbedaan ini terjadi karena perbedaan data antara posisi yang sebenernya di muka bumi dengan data posisi dari GPS yang digunakan oleh sistem, baik ketika pengambilan data GPS dari s*martphone* berbasis Android yang digunakan sebagai tujuan atau data GPS dari *quadcopter* yang digunakan sebagai pembanding antara posisi *quadcopter* dengan tujuan. Sinyal satelit yang ditangkap oleh modul GPS berjumlah 11 sampai 16 satelit dapat menghasilkan data posisi yang masih dalam batas toleransi yang dibutuhkan. Waktu terbang rata - rata yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan dengan jarak 45 meter adalah 68,4 detik.

4.5 Pengujian Kecepatan Kirim Data Menggunakan Internet

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan pengiriman data antara *micro computer* dan *smartphone* berbasis Android melalui jaringan internet. Pengiriman data dilakukan dari s*martphone* berbasis Android menuju database kemudian data tersebut akan dibaca oleh micro controller, data yang diterima tersebut akan menjalankan program untuk mengirimkan data lain menuju database, data yang dikirim dari micro controller akan dibaca oleh s*martphone* berbasis Android kemudian dihitung waktu yang dibutuhkan dari awal data dikirimkan dari s*martphone* berbasis Android sampai data dari micro controller diterima oleh *smartphone* berbasis Android. Berikut merupakan data hasil pengujian kecepatan kirim data menggunakan Internet pada koneksi internet High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) dan Long-Term Evolution (LTE). Berikut merupakan data hasil pengujian kecepatan kirim data menggunakan internet.

Tabel 6 Data Pengujian Kecepatan Kirim Data Pada Koneksi HSDPA

Pengujian ke-	Waktu yang dibutuhkan (s)
1	3,7
2	2,3
3	2,5
4	2,5
5	2,2
Rata - rata	2,64

Tabel 7 Data Pengujian Kecepatan Kirim Data Pada Koneksi HSDPA

Pengujian ke-	Waktu yang dibutuhkan (s)
1	2,8
2	2,4

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

3	3,2
4	3,1
5	2,7
Rata - rata	2,84

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa kecepatan kirim data pada koneksi HSDPA dan LTE hampir sama dengan rata – rata waktu 2,64 sekon pada koneksi HSDPA dan 2,84 sekon pada koneksi LTE. Dengan kecepatan kirim data tersebut penggunaan internet untuk komunikasi antara *smartphone* berbasis Android dan *quadcopter* bisa digunakan untuk pengendalian *quadcopter* secara waypoint.

5 Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap sistem yang dibangun selama proses penyusunan karya tulis ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

- Nilai akurasi dari sensor GPS pada *smartphone* berbasis Android memiliki rata – rata sebesar 5,47 meter.
- Nilai akurasi dari sensor GPS pada *quadcopter* memiliki rata – rata sebesar 4,72 meter.
- *Quadcopter* dapat terbang selama 22 menit dengan menggunakan baterai LiPo dengan kapasitas 5400 mAh.
- Sistem *Waypoint Quadcopter* berhasil diterapkan pada sistem dengan perbedaan jarak rata – rata antara posisi akhir *quadcopter* dengan posisi tujuan sebenarnya di lapangan sebesar 4,42 meter.
- Pengiriman data dengan menggunakan internet berhasil dilakukan dengan rata – rata waktu 2,74 sekon untuk setiap pengiriman data.
- Aplikasi Drone-IoT pada *smartphone* berbasis Android dapat digunakan untuk menerima informasi posisi dari *quadcopter* dan dapat mengirimkan data posisi tujuan akhir *quadcopter* dengan tampilan yang sederhana.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan:

- Menggunakan modul sensor GPS pada *quadcopter* dengan tingkat akurasi yang lebih baik sehingga dapat memperkecil kesalahan pada sistem.
- Menambah kemampuan mode terbang pada *quadcopter*.
- Aplikasi Drone-IoT dapat dikembangkan lagi dengan menambah fitur – fitur yang berguna bagi pengguna ketika melakukan penerbangan *quadcopter*.

6 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan laporan teknik ini khususnya kepada:

1. Bapak Hadi Supriyanto, S.T., M.T. selaku pembimbing pertama dan Ibu Tika Meizinta, M.Sc. selaku pembimbing kedua, yang telah membimbing penulis dalam proses penyelesaian penelitian ini,
2. Seluruh dosen dan karyawan jurusan AE yang banyak memberikan ilmunya dalam menyelesaikan penelitian ini,
3. Kedua orang tua penulis yang senantiasa selalu berdo'a dan berikhtiar untuk anak – anaknya,
4. Rekan-rekan mahasiswa khususnya kelas 4AE, yang bersama-sama berjuang dan menyemangati dalam proses penyelesaian penelitian ini,
5. Semua pihak yang telah membantu dalam hal apapun baik secara moral maupun materi.

7 Daftar Pustaka

[1] Utama Wiguna, Rizky, M. Komarudin dan Agus Trisanto. 2013. *Sistem Kendali Holding Position Pada Quadcopter Berbasis Mikrokontroller ATmega 328P*. Bandar Lampung. Universitas Lampung

[2] Muhammad Abdu Fatah, Yamato, Agustini Rodiah Machdi. (2016). IMPLEMENTASI MOBILE TRACKING AND SECURITY SYSTEM BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 162 GPS DAN SMS. Bogor: Universitas Pakuan

[3] Danh, L. V. 2016. Design Of A Quadcopter Autopilot System To Take Aerial Photography For Remote Sensing Applications In Agriculture. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 4602-4608

[4] Diego Domingos, G. C. F. G., 2016. *Autonomous Fuzzy Control and Navigation of Quadcopters*. IFAC-PaperOnLine, Volume 49(5), pp. 73-78

[5] Santoro, C. 2014. *Slide Share Quadcopter.* https://www.slideshare.net/corradosantoro/q

uadcopter-31045379/1. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[6] Ikhsan, Firman. 2014. *Quadcopter*. http://firmanikhsan.com/mengenal-quadcopter/. Diakses pada tanggal 20 Juli 2018

[7] *Pixhawk.* http:/ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[8] *GPS uBlox M8N.* http://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[9] *GPS uBlox M8N.* http://gearbest.com/rc-quadcopters-parts. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[10] Batery Heated Clothing, 2014. *A2212/13T Technical Data.* http://www.batteryheatedclothing.com/pages/a2212-13t-technical-data.html. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[11] *Simonk 30A ESX.* http://lynxmotion.com/p-916-30a0esc-simonk.aspx. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[12] *Raspberry Pi 3.* http://www.raspberrypi.org. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[13] Perdagangan, P. P. 2016, Desember. *Mengenal Lebih Dalam Global Positioning System (GPS)*. http://pusdiklat.kemendag.go.id/bdpmb/kolom/mengenal-lebih-dalam-global-positioning-system-gps/ . Diakses pada tanggal 20 Juli 2018

[14] Ma, Li, 2014. *Research and Development of Mobile Application for Android Platform.* Nanjing .University of Information Science & Technology

[15] Nurraksa, Ghiani. 2018. Pemanfaatan GPS untuk Penentuan Lintasan Pergerakan Quadcopter. Bandung. Politeknik Manufaktur Bandung

[16] Rasyid, Azmi. 2016. Rancang Bangung dan Implementasi Path Builder pada Quadcopter. Bandung, Universitas Telkom

[17] MAVLink Team, 2017. *MAVLink Common Message.* http://mavlink.org/messages/common. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[18] *Firebase.* http://www.google.com/firebase/about. Diakses pada tanggal 25 Juli 2018

[19] *MIT App Inventor.* http://www.appinventor.mit.edu/explore/about-us.html Diakses pada tanggal 25 Juli 201

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Integrasi Sistem Telerobotik dengan Simulasi Virtual Reality dan Sensor Gesture

Victor Sinaga , Nadya Febiani, Estiyanti Ekawati dan Aswin Indraprastha

Program Studi Teknik Fisika , Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung

victor.sinaga021@gmail.com

Abstract.

Perkembangan sistem telerobotik berkembang cukup pesat dengan berbagai fungsi dan keperluan, didukung perkembangan *platform* dan sumber daya yang bersifat bebas dan terbuka untuk dikembangkan (*open source*). Salah satu teknologi ini adalah teknologi simulasi *Virtual Reality mobile* yang memungkinkan keterlibatan pengguna secara intuitif dan *immersive*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem telerobotik yang intuitif dan *immersive* melalui teknologi simulasi *Virtual Reality*. Sistem telerobotik ini terdiri dari dua bagian robot. Bagian pertama adalah *arm-type robot* dengan tiga derajat kebebasan (3DOF) berdasarkan model *MeArm* yang digerakan oleh tiga motor servo *analog-feedback*. Bagian kedua adalah *mobile-robot* dengan *chassis* akrilik dan penggerak dua motor DC yang dapat bergerak dinamis dalam dua dimensi. Pengguna dapat memerintahkan pergerakan robot ini melalui aplikasi simulasi *Virtual Reality*, dan terhubung secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi dan internet. Sistem komando jarak jauh ini mempengaruhi akurasi pergerakan robot. Pada *arm-type robot*, dihasilkan akurasi komponen motor servo 1 (γ) sebesar 80,45%, motor servo 2 (α) sebesar 99,29%, motor servo 3 (β) sebesar 89,05%. Adapun pada *mobile-type robot* didapatkan tingkat akurasi motor DC 1 sebesar 78,37%, dan motor DC 2 sebesar 81,67%.

Kata kunci: *Virtual Reality, immersive, 3DOF, arm-type robot, mobile-robot, Wi-Fi.*

1. Pendahuluan

Sistem telerobotik merupakan sistem pengendalian robot terintegrasi yang dapat dikendalikan dari jarak jauh. Sistem telerobotik sendiri merupakan salah satu bentuk implementasi sistem kontrol. Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem kontrol dalam bidang industri digunakan untuk pengontrolan pergerakan mekanik, tekanan, temperatur, dan aliran fluida [1]. Dewasa ini, interaksi manusia dengan sistem kontrol semakin berkembang dan intuitif. Aspek ini difasilitasi melalui Human Machine Interface (HMI) [2] dan perangkat interaksi seperti Kinect atau Virtual Reality (VR). Pada tahun 2012, mulai dikembangkan gesture command menggunakan Kinect, seperti pengembangan gesture-based game menggunakan Microsoft Kinect [3]. Pada tahun 2014, mulai dikembangkan kontrol berbasis kinect-gesture untuk imitasi gerak manusia pada robot [4]. Di Indonesia, tahun 2015 telah dilakukan penelitian tentang kompensasi gangguan angin pada quadrotor melalui gesture-based interface menggunakan Kinect [5]. Kemudian pada tahun 2016, mulai dikembangkan interaksi manusia dengan sistem kontrol melalui teknologi Virtual Reality (VR) tentang model respon command pada Virtual environment atau Virtual world (dunia Virtual) [6].

Kemudian muncul pula konsep bahwa sistem kontrol memiliki kemampuan mengirim data melalui jaringan internet tanpa memerlukan interaksi fisik langsung dengan pengguna. Konsep ini disebut Internet of Things (IoT). Dengan memanfaatkan jaringan dan implementasi teknologi IoT ini, dapat dirancang suatu sistem telerobotik tetap mempertahankan kualitas sistem kontrol yang dimiliki [7].

Penerapan IoT pada sistem kontrol disebut sebagai Cyber-Physical System (CPS). Konsep dasar CPS adalah suatu sistem otomasi yang memungkinkan saling terhubungnya fungsi suatu sistem di dunia fisis dengan perangkat komputasi dan komunikasi. Dengan demikian, CPS dapat didukung dengan jaringan IoT dalam keterhubungan antar jaringannya untuk dapat berfungsi. Sistem kontrol, khususnya CPS, terdiri dari mikrokontroler yang berfungsi untuk mengontrol sensor dan aktuator yang dibutuhkan untuk berinteraksi dengan sistem fisis di dunia nyata dan memproses data yang diperoleh. Salah satu karakteristik yang ditekankan pada CPS adalah memungkinkan pertukaran data hasil pemrosesan dari komputasi di dunia Virtual dan dunia fisis. Dapat dikatakan CPS membentuk suatu embedded system yang mampu mengirim dan menerima data dalam suatu jaringan [8] [9].

Pada penelitian ini, akan dibuat suatu sistem dengan interaksi antara pengguna dan sistem telerobotik menggunakan teknologi VR, gesture sensor dan IoT. Sistem robot yang akan ditangani

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

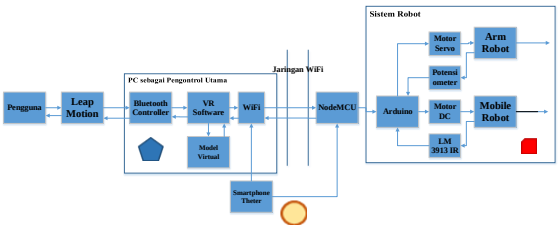
adalah arm-type robot dan mobile-robot. Sistem ini dibangun dengan kelengkapan komponen agar dapat memfasilitasi implementasi kontrol pada sistem robotik pada pengembangan lanjutannya. Adapun pada tahap ini, peneltian difokuskan pada integrasi sistem robot dengan teknologi VR, gesture sensor dan IoT.

2. Perancangan Sistem Telerobotik

Sistem telerobotik pada penelitian ini dirancang agar sistem robot dapat dikomando secara nirkabel dari suatu pengendali berbasis aplikasi Virtual Reality. Bagian-bagian robot dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

- Bagian mekanik robot yang akan dibagi lagi menjadi 2 bagian *Arm-Type Robot* dan *Mobile -Type Robot*
- Bagian elektrik robot
- *Human Machine Interface* (HMI) Robot dengan menggunakan *Virtual Reality* (VR)

Dengan menggunakan konsep IoT/CPS, dirancang sistem telerobotik yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

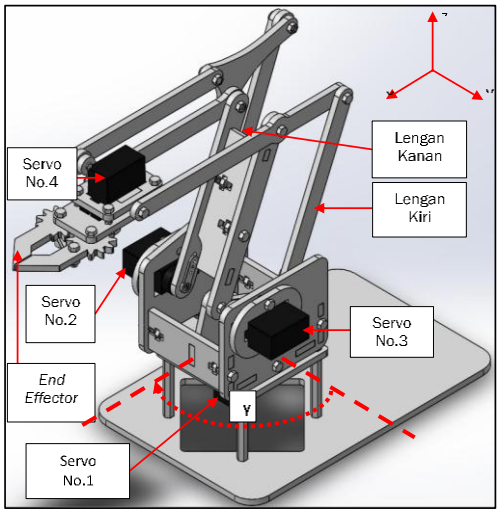


Gambar 2.1 Arsitektur Sistem Telerobotik

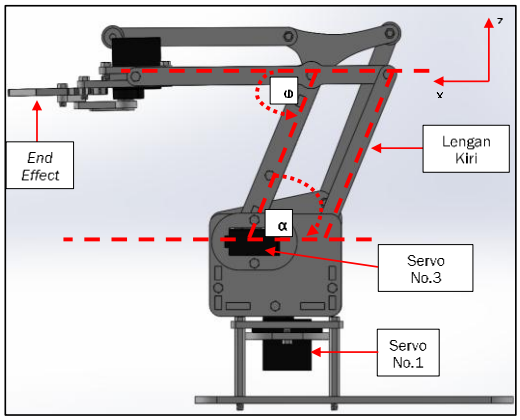
2.1. Perancangan Bagian Arm-Type Robot

Perancangan arm-type robot dilakukan dengan menggunakan Solidworks 2017. Model arm-type robot ini mengikuti model robot MeArm v3.0 yang memiliki tiga derajat kebebasan (3 DOF) dan memiliki end effector berbentuk capit [10]. Pada arm-type robot dipasang empat buah motor servo analog-feedback sebagai aktuator yang dilengkapi dengan sensor gerakannya. Masing-masing motor servo memiliki fungsi gerak dengan rincian sebagai berikut:

- Motor servo nomor 1 melakukan gerakan yaw (geleng), sudut yang dikontrol adalah sudut γ.
- Motor servo nomor 2 melakukan gerakan pitch (angguk) pada lengan kanan arm-type robot, sudut yang dikontrol adalah sudut α.
- Motor servo nomor 3 melakukan gerakan pitch (angguk) pada lengan kiri arm-type robot, sudut yang dikontrol adalah sudut β.
- Motor servo nomor 4 pada end effector khusus mengendalikan capit.



Gambar 2.2 Arm-Type Robot dan Sudut γ yang Digerakkan Motor Servo 1



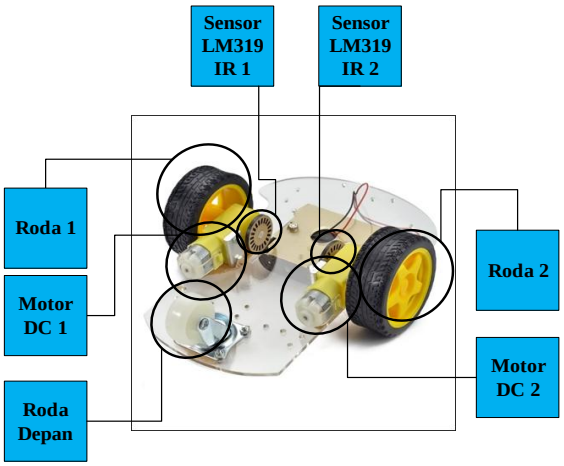
Gambar 2.3 Arm-Type Robot dan Sudut α yang Digerakkan Motor Servo Nomor 2

2.2. Perancangan Bagian Mobile-Type Robot

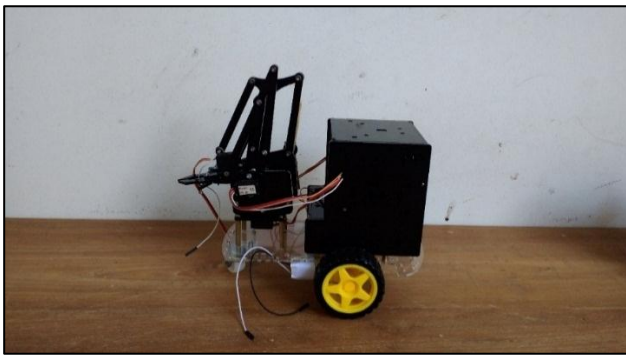
Perancangan mobile-robot lebih mudah karena hanya berupa pemasangan motor DC pada chassis akrilik. Chassis akrilik dirancang agar dapat menjadi tempat memasang dua motor DC, bagian dock dari arm-type robot, dan menaruh dua sensor

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

LM319 IR untuk mendeteksi kecepatan putar motor DC.



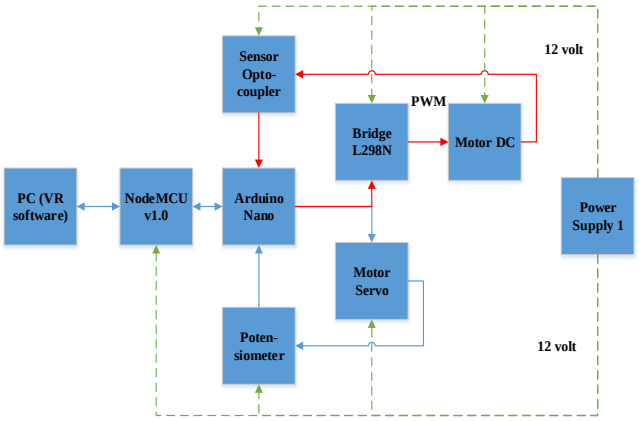
Gambar 2.4 Rangkaian Mobile type Robot



Gambar 2.5 Bentuk Final Komponen Mekanik Robot

2.3. Perancangan Elektrikal Robot

Komponen-komponen elektrikal yang dibutuhkan berfungsi sebagai sensor, aktuator, dan mikrokontroller pada robot. Komponen-komponen tersebut disusun menurut rancangan elektrikal pada gambar 2.6



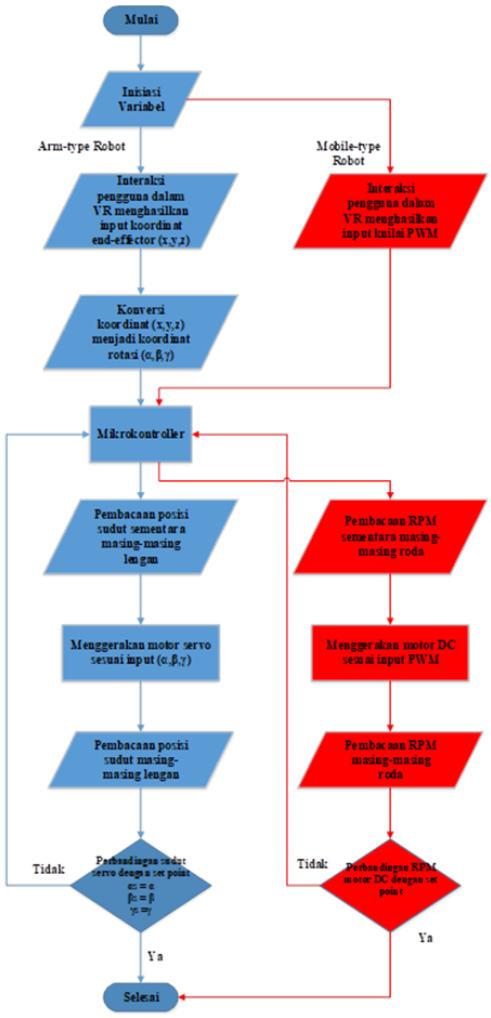
Gambar 2.6 Konfigurasi Komponen Elektronik

2.4. Perancangan Algoritma Pemrograman *Virtual Reality*

Program pada bagian Virtual Reality dirancang pada perangkat lunak Visual Studio menggunakan library default yang ada pada aplikasi Game Engine Unity dan Visual Studio. Program pada bagian sistem robot program dirancang menggunakan library default yang ada pada Arduino dan beberapa library eksternal (import/download) untuk keperluan koneksi jaringan Wi-Fi pada mikrokontroler NodeMCU.

Secara keseluruhan, diagram alir pemrograman sistem robot untuk menggerakkan robot melalui Virtual Environment ditunjukkan pada Gambar 2.7.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 2.7 Diagram Alir Pemrograman Penggerak Telerobot melalui Sistem Virtual Reality

Terdapat 3 aspek pengujian pertama pengujian beban material melalui analisis simulasi material pada SolidWorks 2017, kedua pengujian sistem komunikasi robot, dan ketiga pengujian akurasi gerakan robot. Berikut hasil dari ketiga pengujian tersebut :

3.1. Hasil simulasi material pada *arm-type robot*:

- Stress maksimum = 6.376 x 10^6 N/m2
- Stress minimum = 6.109 x 101 N/m2
- Strain maksimum =1.010 x 10-3 mm/mm
- Strain minimum =1.747 x 10-8 mm/mm
- Displacement maksimum = 9.633 x 10-1 mm
- Displacement minimum = 1.000 x 10-30 mm

Daerah distribusi stress dan strain terbesar: Lengan robot.
Daerah displacement terbesar: end effector.

3.2. Pengujian Sistem komunikasi *arm-type robot*:

Tabel 15 Analisis ANOVA Single Factor Sistem Komunikasi Robot

Aspek	Faktor	Rasio F	Fkritis
Pengukuran Sensor	Jarak	0.607	1.962
	Hambatan	0.065	3.949
Kekuatan Sinyal WiFi	Jarak	21.539	1.021 x 10^{-7}
	Hambatan	1.704	2.725

- Perlakuan jarak dan hambatan yang diberikan tidak mempengaruhi akuisisi data pengukuran.
- Jarak mempengaruhi kekuatan sinyal WiFi, namun hambatan yang diberikan tidak mempengaruhi kekuatan sinyal WiFi.
- Komunikasi data cukup memadai untuk perlakuan yang diberikan.

3.3. Hasil pengujian akurasi aktuator robot:

- Motor servo nomor 1, gerak geleng (γ) = 80.45%
- Motor servo nomor 2, gerak angguk (α) = 99.29%
- Motor servo nomor 3, gerak angguk (β) = 89.05%
- Motor DC 1 = 78.37%
- Motor DC 2 = 81.67%

3. Kesimpulan

Melalui penelitian ini, pendekatan perancangan sistem telerobotik melalui konsep *Cyber Physical System* dapat dibuktikan berhasil. Konsep *Cyber*

Physical System digunakan untuk merancang keseluruhan arsitektur sistem telerobotik, kemudian dibagi menjadi 3 bagian besar sistem yaitu bagian mekanik, elektrik dan HMI dan *backbone* jaringan dengan *Virtual Reality*.

Melalui hasil pengujian simulasi material dapat disimpulkan daerah distribusi stress dan strain terbesar terletak pada lengan robot dan daerah displacement terbesar pada *end effector*. Hal ini wajar karena penanggungan beban terbesar robot dilakukan oleh bagian lengan dan bagian *end effector* terkena imbas dalam membawa beban pada capit.

Hasil pengujian sistem komunikasi menunjukan bahwa perlakuan jarak dan hambatan yang diberikan tidak mempengaruhi akuisisi data pengukuran. Selama proses pengiriman sinyal komunikasi masih dapat dilakukan dengan baik oleh sistem maka akuisisi data tidak terlalu terpengaruh. Bagian berikutnya faktor jarak mempengaruhi kekuatan sinyal WiFi, namun hambatan yang diberikan tidak mempengaruhi kekuatan sinyal WiFi. Hal ini perlu dipertimbangkan apabila ke depannya dilakukan pengembangan lebih jauh terhadap variasi jarak sistem komunikasi.

Pada hasil pengujian aktuator sistem robot, pembuatan *interface* dengn *Virtual Reality* ini menunjukan akurasi yang cukup baik dengan rata-rata hampir di atas 80% kecuali untuk motor DC 1. Untuk pengembangan ke depannya seperti peningkatan parameter kontrol pada aktuator akan diprediksi lebih mudah dengan tingkat akurasi yang sudah demikian baik.

Penelitian ini berhasil membuat sistem telerobotik yang dibuat dengan menggunakan *interface* dan sistem komunikasi *Virtual Reality*. Dampak yang ditimbulkan melalui penelitian ini adalah memampukannya suatu sistem yang terdiri dari infrastruktur secara *virtual* yang mampu berinteraksi dengan manusia secara langsung. Banyak potensi teknologi lain dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan aspek teknologi baru ini.

4. Ucapan Terima Kasih

Special thanks to Daniel Piedrahita from Carnegie Melon University Mechanical Engineering Department for of his inspiring work that initiate this final project and helpful suggestions.

5. Daftar Pustaka

[1] K. Ogata, Modern Control Engineering, New Jersey: Prentice Hall, 2002

[2] I. B. K. Manuaba, "Response Model for Series of Commands in Gaming Environment," in *2016 2nd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*, Jakarta, Indonesia, 2016.

[3] P. Zhang, Advanced Industrial Control Technology, Burlington: Elsevier, 2010.

[4] F. Soltani, F. Eskandari and S. Golestan, "Developing A Gesture-Based Game For Deaf/Mute People Using Microsoft Kinect," in *2012 Sixth International Conference On Complex, Intelligent, and Software Intensive System*, Arak, Iran, 2012.

[5] I.-J. Ding, C.-W. Chang and C.-J. He, "A Kinect Based-Gesture Command Control Method For Human Action Imitations of HUmanoid Robots," in *2014 International Conference on Fuzzy Theory and Its Application*, Taiwan, 2014

[6] F. Mukhlish, E. Ekawati, M. Fakhruroji and I. Amri, "Compensating Wind Disturbance on Gesture Commanded Quadrotor Flight," in *International Conference on Advanced Mechatronic, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation 2105 (ICAMIMIA)*, Bandung, Indonesia, 2015

[7] K. Ashton, Making Sense of IoT: How The Internet of Things Became Humanities Nervous System, California: Hewlett Packard Entreprise, 2017

[8] L. Monostori, "Cyber-Physical Production System: Roots, Expecetation, and R&D Challenges," *Procedia Cirp,* vol. 17, pp. 9-13, 2014.

[9] N. Jazdi, "Cyber Physical Systems in The Context of Industry 4.0," in *In Automation, Quality and Testing Robotics, 2014 IEEE International Conference*, 2014

[10] Thingiverse: MeArm V0.4 - Pocket Sized Robot Arm," Thingiverse, 14 4 2014. [Online]. Available: https://www.thingiverse.com/thing:298820. [Accessed 13 4 2017].

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Meningkatkan Kualitas Pembelajaran pada Fakultas Pertanian Unsyiah Melalui Peningkatan Efektivitas Pemanfaatan E-Learning

Allaily Tarman*), Cut Nilda, Yuliani Aisyah, Bakhtiar Bakhtiar& Rahmaddiansyah Rahmaddiansyah

Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala Banda Aceh

allaily@unsyiah.ac.id)*

Abstrak

Rise aksi ini bertujuan mengetahui pemanfaatan sistem e learning dan peningkatan pemanfaatannya di Fakultas Pertanian Unsyiah. Riset dibagi dalambeberapa tahapan yaitu survey, focus group discussion (FGD), pelatihan dan pendampingan. Riset aksi ini dilakukan selama 9 bulan di Fakultas Pertanian Unsyiah, oleh tim Satuan Jaminan Mutu Fakultas (SJMF) dan Tim Penjaminan Mutu Akademik Jurusan (TPMA) di Fakultas Pertanian kepada dosen di Fakultas Pertanian Unsyiah. Riset dilakukan pada 20 orang dosen dan Data yang diperoleh dianalisis deskriptif. Hasil survey menunjukkan bahwa mayoritas responden menjawab elearning dapat membantu dosen untuk sharing info kepada mahasiswa termasuk bahan kuliah,mengadakan kuis dan ujian secara online. Tahap kedua menghasilkan bahwa pelatihan sudah pernah diikuti tetapi belum ada pendampingan dan perlu pelatihan kembali, pelatihan diharapkan diadakan secara berkala, perlu adanya tim Informasi dan Teknologi (IT) khusus di tingkat fakultas. Tahapan terakhir menghasilkan bahwa pelatihan dan pendampingan perlu sampai akhir semester, dengan total peningkatan sementara dari pelatihan adalah dari 25 mata kuliah pada semester genap 2017/2018 (hanya 6 dosen sebagai pemanfaat) menjadi berjumlah 75 matakuliah (yang diasuh oleh 50 dosen yaitu 25% dari keseluruhan dosen di Fakultas Pertanian) di semester ganjil 2018/2019. Kesimpulannya bahwa dari riset aksi ini adalah jumlah dosen pemanfaat sistem e learning meningkat dengan adanya pelatihan berkala, dan pendampingan.

Kata Kunci: e learning; model; mutu; pembelajaran; Sistem

1 Pendahuluan

Riset aksi ini dilakukan untuk mengetahui masalah yang melatarbelakangi kurangnya pemanfaatan e-learning di Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala. E-learning merupakan model pembelajaran yang berbasis internet dengan memanfaatkan teknologi komputer dan jaringan internet. Sistem e-learning yang dikelola oleh Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi (UPT TIK) di Universitas Syiah Kuala termasuk pada Fakultas Pertanian sudah tertata dengan baik, namun pemanfaatannya masih sangat kurang.

Proses pembelajaran e-learning sesuai dengan program nasional sebagai upaya peningkatan kualitas sekaligus efisiensi proses belajar mengajar untuk menghadapi tantangan dan mengikuti perkembangan zaman pada era digital. Pedoman penyelenggaraan program elearning secara jelas telah tertuang dalam Peraturan Rektor Universitas Syiah Kuala No 1 Tahun 2018 [1]. Pedoman ini dibuat berdasarkan Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2015 tentang Standar Nasional Perguruan Tinggi, pada Bagian keempat : Standar Proses Pembelajaran, di dalam pasal 14 ayat 2 dan 3 terkait dengan proses pembelajaran dan metode pembelajaran[2]. Hal ini juga sesuai dengan Renstra Unsyiah Tahun 2015-2019 yaitu salah satu dari 4 (empat) sasaran strategis Renstra Unsyiah adalah meningkatnya kualitas pembelajaran, dengan arah kebijakannya menyediakan layanan pendidikan yang bermutu dan relevan melalui strategi pengembangan memperpendek masa studi dan meningkatkan rata-rata IPK lulusan [3].

Sasaran kegiatan dari Renstra Unsyiah adalah peningkatan layanan Tridarma Perguruan Tinggi, dengan output 1 adalah layanan pembelajaran, dengan indikator kinerja kegiatan : target jumlah kegiatan pemanfaatan e-learning (IKK 1.8) pada Tahun 2018 sebanyak 19 kegiatan. Berdasarkan sasaran tersebut, maka sejak tahun 2016 sistem e-learning di Unsyiah telah dibuat dengan situs pembelajaran URL: www.elearning.unsyiah.ac.id dengan berbagai kelengkapannya oleh Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi (UPT TIK) Unsyiah. Sedangkan cikal bakal e-learning di Unsyiah telah dimulai sejak setelah tsunami yaitu tahun 2008 oleh Unit Pelaksana Teknis PusatKomputer dan Sistem Informasi (UPT PUKSI). Berdasarkan Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan nomor 48 tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kelola maka UPT PUKSI diubah menjadi UPT TIK. Namun hasil monitoring dan evaluasi oleh Pusat Pengembangan Pembelajaran (PIJAR) pada tahun 2017 melalui pengamatan sampling atas 24 program studi di Unsyiah, tingkat pemanfaatan e learning menunjukkan data yang masih sangat rendah yaitu berada di bawah angka 40%.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Selanjutnya, data mata kuliah yang menyelenggarakan e learning pada semester genap 2017/2018 di Unsyiah sebanyak 182 mata kuliah/kelas dari total 5202 mata kuliah/kelas sehingga hanya mencapai 3,49%, sedangkan Fakultas Pertanian pemanfaatan e learning hanya ada 25 mata kuliah/kelas atau hanya mencapai 0,14 % [4]. Temuan ini mendasari penelitian riset aksi ini sehingga ditindaklanjuti untuk menjawab alasan kecilnya persentase pemanfaatan e-learning.Motivasi siswa dan dukungan akademik untuk menggunakan sistem e learning cukup baik, namun karena kecilnya penggunaan sistem oleh dosen menjadikan linier dengan jumlah mahasiswa yang menggunakan sistem ini. Fokus riset ini adalah untuk memanfaatkan e-learningsebagai salah satu model pembelajaran sehingga kegiatan pembelajaran dapat berjalan secara efektif dan efisien, serta menjawab tantangan zaman.

2 Diskusi

2.1 Survey

Pada tahap ini ditanyakan tentang informasiawal yang dimiliki oleh peserta survei terhadap media e-learning . Pertanyaan pada tahap iniadalah (1) Apakah bapak/ibu mengetahui media pembelajaran elearning?, (2) Jika tahu dari manaibu mendapatkan informasi ?, (3) Apakah media pembelajaran elearning bermanfaat jikadigunakan dalam proses belajar mengajar.Hasil survey menunjukkan bahwa 100% peserta mengetahui tentang E-learning . Pesertamendapat informasi tentang e-learning darisosialisasi dan pelatihan yang dilaksanakan olehfakultas dan juga universitas (65%), media informasi (35%)dan pengalaman menggunakan elearning pada saat studi (15%). Dari jumla tersebut, secara umum 50 persen (10 orangdosen) menganggap e–learning bermanfaat dalam prose belajar mengajar dan 50% menganggap elearning sangat bermanfaat dalam proses pembelajaran. Mayoritas responden menjawab elearning dapat membantu dosen untuk sharinginfo kepada mahasiswa termasuk bahan kuliah, mengadakan kuis dan ujian secara online.

Hasil survey ini sejalan dengan hasil penelitian lainnya yang menyatakan e learning efektif menjadi media pembelajaran pada sekolah menengah kejuruan telekomunikasi di Purwokerto dengan tingkat kecenderungan 77,27% [5]. Lebih lanjut lagi dijelaskan bahwa komitmen sekolah belum cukup sehingga membuat urgensi pemanfaatan sistem pembelajaran e learning menjadi tidak optimal.

Tabel 2. Isi Pertanyaan dalam Quisioner beserta Jawaban Responden

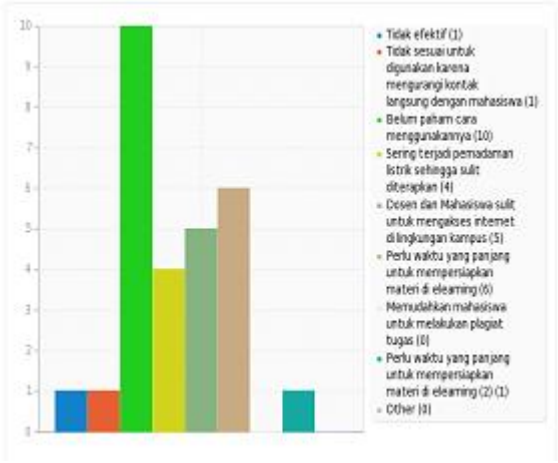
No	Pertanyaaan	Tidak setuju	Setuju	Sangat setuju
1.	*E-learning* memudahkan dosen dalam mendistribusikan materi perkuliahan		30%	70%
2.	*E-learning* mengurangi pemanfaatan kertas	5%	20%	75%
3.	*E-learning* memudahkan mengontrol tugas yang dikumpulkan oleh mahasiswa		45%	55%
4.	*E-learning* memudahkan dosen untuk memberi tugas		45%	55%
5.	Dosen lebih mudah dalam medokumentasikan materi pembelajaran, tugas dan kuis		35%	65%
6.	*E-learning* membantu transparansi dalam pemberian nilai		50%	50%
7.	*E-learning* memudahkan untuk berdiskusi di luar jam mengajar bersama mahasiswa dan tim pengajar	5%	45%	50%
8.	*E-learning* membantu memperkaya wawasan mahasiswa	5%	60%	35%
9.	*E-learning* membantu menghemat waktu dan tempat	5%	30%	65%
10.	Sudah saatnya untuk memanfaatkan *E-learning* karena sesuai dengan perkembangan zaman		35%	65%

Keterangan : Jumlah responden 20 orang dosen Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala.

Pada sesi ini pertanyaan yang diajukan adalah (1) Apakah bapak/ibu saat ini menggunakankan media pembelajaran elearning?, (2) Jika belum

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

pernah menggunakan elearning apa alasan bapak/ibu? dan (3) Saran agar Dosen FakultasPertanian termotivasi menggunakan elearning. Berdasarkan pertanyaan-pertanyaan di atas, mayoritas responden (55%) belum menggunakan e-learning, sedangkan 40% lainnya pernah menggunakan e-learning pada mata kuliah tertentu dan hanya 5% responden yang menggunakan e-learning di semua mata kuliah yang diasuhnya. Alasan rendahnya penggunaan elearning dari responden dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Alasan Responden dalam Penggunaan E Learning.

Berdasarkan grafik di atas, 50% menjawab belum paham cara menggunakan e-learning sementara yang lainnya berpendapat kesulitas mengakses internet di lingkungan kampus, perlu waktu persiapan yang panjang dan seringnya terjadi pemadaman listrik. Dari hasil survey ini dapat disimpulkan bahwa e learning masih perlu dilatih penggunaannya serta peningkatan sarana dan prasarana teknologi informasi terkait. Oleh karena itu rekomendasi yang dapat dirumuskan adalah adanya pelatihan secara berkala dan penguatan sarana skaligus prasarana IT.

E learning merupakan tantangan dan sekaligus kemudahan dalam proses pembelajaran pada era global [6]. Pesatnya perkembangan teknologi dan informasi menuntut dunia pendidikan menggunakan inovasi dalam hal pembelajaran [7].

2.2 Focus Group Discussion (FGD)

Kegiatan ini dilakukan selama setengah hari, menampung segala tanggapan dosen tentang e leaning. Adapun beberapa hal yang dapat disarikan dari pertemuan FGD adalah sebagai berikut, yaitu pada Tabel 3

Tabel 3. Permasalahan dan saran yang terkumpul saat FGD

Permasalahan
1. Sebagian peserta sudah pernah ikut pelatihan tetapi masih belum mampu mengaplikasikan *e-learning* dalam proses pembelajaran.
2. Sosialisasi *e-learning* untuk dosen dan mahasiswa masih kurang sehingga sebagian dosen dan mahasiswa tidak tahu tentang *e-learning*
3. Kurangnya sosialisasi tentang manfaat dari *e-learning*, termasuk cara pembuatan video, tugas, diskusi interaktif. Penggunaan hanya sebatas mengupload bahan kuliah
4. Apabila dosen mengajar dalam tim, tidak semua anggota tim pengajar paham tentang *e-learning*, system perkuliahan yang menggunakan *e-learning*.
5. Dengan penerapan *e-learning* maka tidak terjadi kontak dosen dengan mahasiswa dan dikhawatirkan mahasiswa tidak mengerti apa yang disampaikan dosen melalui *e-learning* sehingga sebagian dosen lebih memilih tatap muka langsung dalam proses pembelajaran.
6. Mahasiswa dapat mengerjakan tugas dan ujian secara bersama-sama, pengawasan kurang
7. Fasilitas listrik dan internet yang kurang memadai.
Saran-Saran
1. Kecepatan internet agar ditingkatkan
2. Tidak semua dosen familiar dengan *website* kampus
3. Perlu pelatihan dan pendampingan berkelanjutan
4. Adanya penghargaan bagi dosen yang menggunakan *e learnning*
5. Dilakukan sosialisasi dan pelatihan tentang pembuatan materi kuliah secara *E learning* dan kiat-kiat dalam pelaksanaan kuliah secara *E learning* yang baik dan benar.
6. Perlunya peningkatan sarana dan sarana pendukung, dan perlu juga pemahaman bahwa proses pendidikan yang baik adalah yang tetap melibatkan proses konvensional tatap muka sehingga program pembelajaran kombinasi dapat dilaksanakan.
7. Adanya prosedur yang jelas.
8. Perlu tim asistensi untuk percepatan program tersebut, sekalian ada *reward* nya Diwajibkan, diberikan reward dengan pengelolaan *e-learning* terhadap mata kuliah tertentu yang menarik.

Para peserta sangat antusias terhadap e learning karena dapat menggantikan tatap muka selama 5 kali serta fasilitas e learning cukup menarik. Rekomendasi yang dapat kami tuliskan adalah adanya tim IT khusus Fakultas Pertanian sebagai tim asistensi permasalahan e learning secara terus menerus.

2.3 Pelatihan E Learning

Sosialisasi e-learning di Fakultas Pertanian dibagi dalam 2 (dua) sesi. Sesi pertama diisi oleh Dr. Rita

Khathir, S.TP, M.Sc, dari Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian (Pemenang Hibah E learrning Unsyiah 2018).Beliaupernah mendapatkan hibah e-learning dari Universitas Syiah Kuala. Sosialisasi dari Dr. Rita Khathir terdiri dari pengenalan tentang penggunaan e-learning, memaparkan manfaat e-learning dan peluang pengembangan kualitas perkuliahan melalui elearning. Sesi ini diajarkan teknik mengisi deskripsi mata kuliah yang meliputi materi, capaian pembelajaran, penilaian dan referensi. Konten yang terdapat pada e-learning juga dijelaskan yang terdiri dari uraian dalam bentuk Ms Word,power point presentation, dokumen dalam format pdf, tautan web, animasi, video dan gambar yang dapat digunaka untuk mendukung proses pembelajaran. Juga dijelaskan cara untuk menguplod bahan kuliah baik dalam bentuk power point presentation atau dalam format pdf.

Pada sesi kedua, materi disampaikan oleh dr. Tristia Rinanda dari Fakultas Kedokteran Universitas Syiah Kuala (Pemenang Hibah elearning dari Islamic Development Bank dan Project Implementation Unit (PIU) 7 in 1 UNSYIAH). Materi yang disampaikan dr.Tristia meliputi logindan membuat profile, pennggunaan fitur e-learninguntuk transfer knowledge, komunikasi, survey, tugas, quis, ujian dan penilaian. Berbagai fitur yang dapat digunakan dalam e-learning Unsyiah adalah slide kuliah (ppt, pdf), jurnal yang relevan, buku (E book), gambar, video ajar, webpage glossary dan berbagai fitur lainnya. Pemateri menjelaskan secara rinci cara menambahkan materi kuliah, video dan cara menggunakan glossary. Selain itu e-learning Unsyiah juga dapat digunakan untuk membuat survey dan mendapatkan feedback terhadap proses pembelajaran. Fasilitas e-learning Unsyiah juga dapat untuk melakukan tugas, quiz dan ujian dengan format yang berbeda sehingga dapat mencegah mahasiswa bekerjasama dalam menyelesaikan pertanyaan yang diberikan.

Dari kedua materi dari pelati di atas kami merekomendasikan untuk diadakan pendampingan, sehingga ilmu yang sudahdisosialisasikan tersebut menjadi sebuah keterampilan sehingga e learning mudah digunakan. Pelatihan yang berlangsung selama 2 sesi dari pagi sampai sore tersebut diharapkan menjadi awal untuk mengaktifkan ruang e learning pada mata kuliah yang diasuh para dosen di Fakultas Pertanian.

3 Kesimpulan

E learning belum efektif digunakan (<10%) dan dosen Fakultas yang menggunakan (0,14% dari Total Mata kuliah Di Unsyiah) hal ini dikarenakan dosen belum paham cara menggunakan e-learning sementara yang lainnya

berpendapat kesulitan mengakses nternet di lingkungan kampus, perlu waktu persiapan yang panjang dan seringnya terjadi pemadaman listrik. Jumlah dosen yang menggunakan hanya 6 orang dari 200 orang dosen Fakultas Pertanian, butuh peningkatan pemakai e learning hingga total pengguna minimal 20 persen dari total dosen (40 orang dosen). Jaringan internet telah baik, namun masih membutuhkan penataan dan tim teknologi informasi.

Saran

Perlu sosialisasi dan pelatihan berkala, pendampingan oleh tim dan adanya reward untuk meningkatkan penggunaan sistem ini serta aturan universitas yang mengikat.

4 Ucapan Terima Kasih

1. Kepada Lembaga Pengembangan Pendidikan dan Penjaminan Mutu (LP3M) atas dana Hibah Riset Aksi Universitas Syiah Kuala sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Riset Aksi Tahun Anggaran 2018 No: 16/UN11.LP3M/RA/SP2H/PNBP/2018.
2. Kepada Kepala dan staff Lembaga Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) Unsyiah atas bantuan pengumpulan data.

5 Daftar Pustaka

[1] Peraturan Rektor Universitas Syiah Kuala No. 1 Tahun 2018.
[2] Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidkan Tinggi Republik Indonesia No.44 Tahun 2015.
[3] Rencana Strategi Universitas Syiah Kuala Tahun 2015-2019
[4] Wawancara langsung ke UPT TIK Universitas Kuala Maret 2018
[5] N.S. Hanum. Keefektifan e-learning sebagai media pembelajaran (studi evaluasi model pembelajaran e-learning SMK Telkom Sandhy Putra Purwokerto). Jurnal Pendidikan Vokasi. Universitas Negeri Yogyakarta. Vol. 3 No. 1 . Feb 2013. pp.90-102.
[6] Silahuddin. Penerapan E learning dalam Inovasi Pendidkan. Jurnal Ilmiah Pendidikan Elektro. Universitas Islam ArRaniry. CIRCUIT Vol. 1 No. 1 Juli 2015. Pp. 48-59.
[7] Silahuddin. Media Teknologi dan Implikasinya dalam Pengembangan Pendidikan. Jurnal Ilmiah Pendidikan Elektro. Universitas Islam

ArRaniry. CIRCUIT Vol. 2 No 1 Juli 2016. Pp.199-207

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Rancang Bangun Prototipe Quadcopter Drone Penyemprot Tanaman

[1]Setya Permana Sutisna*), [1]Anton Royanto Ahmad & [1]Ary Wicaksono

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

setya.permana@uika-bogor.ac.id*)

Abstrak

Drone merupakan pesawat tanpa awak yang dikendalikan jarak jauh tanpa pilot manusia di dalamnya. Penggunaan *drone* berkembang sangat pesat di berbagai bidang seperti militer, pemetaan, serta bidang pertanian. Pengembangan drone untuk aplikasi pertanian meliputi pemetaan lahan, pemantauan tanaman, perawatan tanaman, dan penyemprotan tanaman. Penyemprotan tanaman merupakan kegiatan rutin yang dilakukan dalam proses perawatan tanaman. Cairan yang disemprotkan umumnya berupa cairan kimia untuk pemupukan serta pengendalian hama dan gulma. Tujuan penelitian ini adalah pengembangan aplikasi *drone* untuk penyemprotan tanaman. *Drone* yang telah dikembangkan berupa prototipe *quadcopter drone*, dilengkapi dengan tangki cairan, pompa, dan nozel. Pengendalian *drone* jarak jauh menggunakan *transmitter* 10 *channel* dengan frekuensi 2.4 GHz. Berdasarkan hasil pengujian kemampuan angkat, *drone* mampu mengangkat beban maksimum 0.8 kg dan memilik kapasitas tangki cairan sebesar 600 ml. Daya pompa yang digunakan 40 W dengan kebutuhan listrik DC 12 V dan debit aliran 10 ml/s serta disemprotkan menggunakan dua buah nozel. Pengujian fungsional menunjukkan luas area semprotan 0.75 m^2 pada ketinggian 50 cm, 1.20 m^2 pada ketinggian 75 cm, dan 1.68 m^2 pada ketinggian 100 cm. Kecepatan terbang rata-rata *drone* sebesar 27.8 m/s dengan ketinggian 100 cm.

Kata Kunci: drone penyemprot, quadcopter, penyemprot tanaman.

1 Pendahuluan

Saat ini penggunaan mesin-mesin pertanian di Indonesia sudah ramai dipergunakan baik dalam kegiatan pertanian individu atau kelompok di perdesaan maupun pada perkebunan-perkebunan besar. Mesin-mesin yang dipergunakan secara umum masih bersifat konvensional, di mana dalam pengoperasian mesin-mesin tersebut dioperasikan secara manual dan memberikan beban fisik yang cukup besar. Misalnya pada proses penyemprotan (pemupukan maupun pembasmian hama dan gulma) umumnya menggunakan *knapsack sprayer*. Alat ini digunakan dengan cara digendong oleh petani kemudian berjalan di barisan tanaman sambil menyemprotkan cairan yang ada di dalam tangki penyemprot tersebut. Beberapa tipe *knapsack sprayer* telah dilengkapi oleh motor bakar maupun eletrik, namun dengan penambahan komponen tersebut tentu menambah beban tambahan dalam mengoperasikan alat.

Perkembangan terbaru saat ini adalah penggunaan teknologi kendaraan udara berukuran kecil tanpa awak *(Unmanned Aerial Vehicle / UAV)* disebut juga dengan istilah *drone*, untuk pertanian. *Drone* adalah pesawat tanpa awak yang dikendalikan jarak jauh tanpa pilot manusia di dalamnya. Teknologi ini memiliki potensi besar dalam bidang pertanian [1]. Pengembangan drone telah cukup banyak dikembangkan khususnya dalam bidang pertanian, seperti pemantauan tanaman, estimasi ketinggian tanaman, penyemprotan pestisida, serta analisis lahan dan tanah [2]. Penelitian sebelumnya telah dikembangkan *quadrotor drone* yang mampu mengangkat cairan sebanyak 0.5 liter dengan luas area penyemprotan 2 m^2 menggunakan 4 nozel dan waktu terbang selama 10 menit dengan ketinggian 70 cm dari tanah [3].

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan aplikasi teknologi *drone* untuk penyemprotan tanaman yang diharapkan memiliki kemampuan membawa cairan dalam jumlah yang lebih banyak, luas penyemprotan yang lebih besar, serta penggunaan yang lebih lama. Pembuatan prototipe *drone* dengan pengendalian jarak jauh menggunakan *remote control.*

2 Diskusi

2.1 Desain dan perancangan struktur

Prototipe *drone* yang dirancang dalam penelitian ini memiliki 3 komponen utama, yaitu unit rangka, komponen penyemprot, dan komponen elektronik. Rangka merupakan bagian komponen *drone* yang menyangga semua komponen lain. Bahan material rangka dapat terbuat dari serat karbon, plastik,

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

logam, maupun kayu [4]. Pada penelitian ini digunakan rangka material plastik karena lebih ringan dan mudah didapatkan.

Rangka *drone* memiliki empat dudukan motor, empat kaki penyangga, dudukan tangki, dan dudukan penyangga nozel penyemprot. Pada bagian tengah rangka digunakan sebagai tempat dudukan komponen elektronik dan baterai. Bagian bawah *drone* memiliki 4 kaki penyangga dan dudukan untuk menempatkan tangki cairan. Bentuk hasil pembuatan dan perakitan struktur *drone* dapat dilihat pada Gambar 1. Dimensi total *drone drone* yang dibuat berdimensi 450 mm x 450 mm x 250 mm dengan berat kosong 900 g dan beban angkut cairan maksimum 800 g.



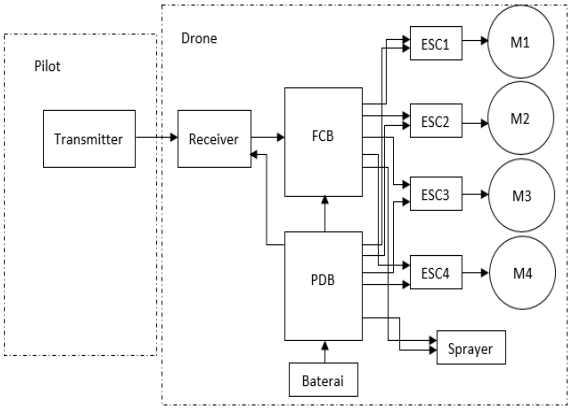
Gambar 1 Bentuk hasil pembuatan dan perakitan *drone* penyemprot tanaman.

Komponen penyemprot terdiri dari tangki, pompa, selang, dan nozel. Kapasitas tangki yang digunakan yaitu 600 ml terbuat dari bahan plastik. Pada tangki dihubungkan pompa elektrik dengan kebutuhan tegangan dan daya 12 V / 40 W. pompa ini mampu mengalirkan cairan sebanyak 10 ml/s. Cairan yang akan disemprotkan kemudian dialirkan menuju nozel melalui selang plastik berdiameter 4 mm. Nozel yang digunakan sebanyak 2 buah yang diletakkan pada sisi bawah kiri dan kanan *drone*. Jarak antar nozel sebesar 300 mm.

Drone dapat terbang ketika daya motor yang digunakan lebih besar dari beban keseluruhan *drone* sehingga mampu mengangkat *drone* terbang ke udara. Beban *drone* terdiri dari beban keseluruhan komponen *drone* ditambah beban cairan yang diangkut. Total beban *drone* yang telah dibuat dalam penelitian ini yaitu sebesar 1.7 kg. Berdasarkan beban total tersebut dipilih penggerak utama *drone* menggunakan empat *motor brushless* 1000 kV dengan *ESC* 30A. Penggerak ini menggunakan daya listrik yang berasal dari baterai jenis *Lithium-Polymer* 11.1 V dengan kapasitas 3000 mAh.

2.2 Desain dan perancangan sistem

Drone didesain menggunakan sistem pengendalian jarak jauh. Pilot mengendalikan terbang *drone* serta mengaktifkan dan menonaktifkan komponen penyemprot menggunakan *transmitter* 10 *channel* dengan frekuensi 2.4 GHz. Perintah ini kemudian diterima oleh *receiver* yang terpasang pada *drone*. Perintah yang diterima oleh *receiver* kemudian diolah oleh *FCB (Flight Control Board)* untuk menentukan perputaran *motor brushless* melalui unit *ESC* yang telah dilengkapi *rotary encoder* sehingga dapat memberikan umpan balik kecepatan putar masing-masing rotor ke *FCB*. Selain itu, pada *FCB* juga telah dilengkapi oleh sensor *gyroscope* sehingga dapat memberikan umpan sudut kemiringan agar *drone* tetap dalam posisi seimbang dengan sudut maksimum yang telah ditentukan. Konfigurasi *FCB* dalam pengendalian perputaran menggunakan program aplikasi *Cleanflight Configurator*. Bentuk sistem pengendalian *drone* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skematik diagram sistem pengendalian *drone* penyemprot.

2.3 Pengujian penyemprotan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui luas area dan sebaran hasil penyemprotan *drone* pada ketinggian tertentu. Pengujian dilakukan menggunakan dua metode, pertama *drone* diterbangkan di atas kardus pada ketinggian tertentu kemudian pompa penyemprot diaktifkan, kedua *drone* diterbangkan di atas penampung cairan seperti pada Gambar 3. Ketinggian semprotan yang digunakan yaitu 50 cm, 75 cm, dan 100 cm. Untuk mempertahan pada ketinggian yang tetap, *drone* diikat pada suatu batang yang dapat disesuaikan ketinggiannya.

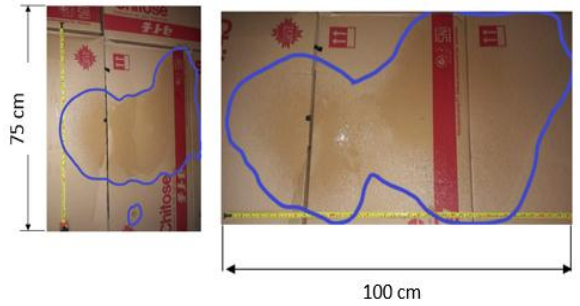


Gambar 3 Pengujian sebaran penyemprotan.

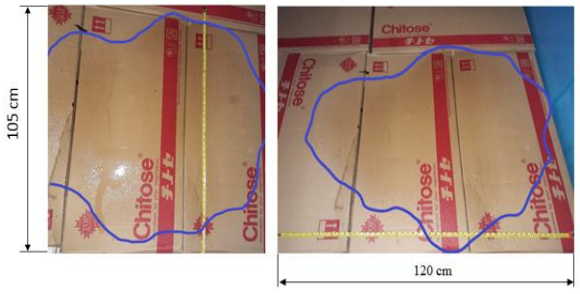
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Hasil pengujian luas area penyemprotan dapat dilihat pada Gambar 4 menunjukkan luas area semprotan 0.75 m^2 pada ketinggian 50 cm, 1.20 m^2 pada ketinggian 75 cm, dan 1.68 m^2 pada ketinggian 100 cm. Berdasarkan hasil pengujian luas area penyemprotan menunjukkan bahwa semakin tinggi ketinggian terbang *drone* luas area penyemprotan akan semakin besar.

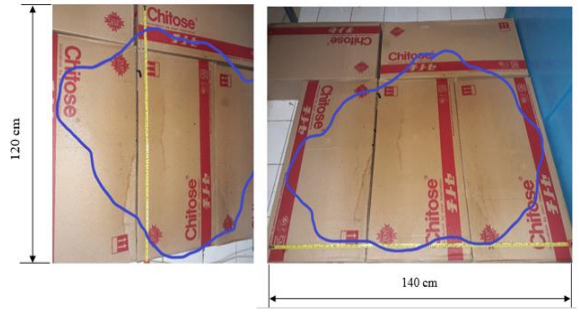
Luas area penyemprotan yang semakin besar akan menghasilkan area kerja yang luas sehingga memperbesar kapasitas lapang kinerja *drone*. Namun, luas area yang besar tidak berarti bahwa mendapatkan hasil penyemprotan yang maksimal karna hal ini juga dipengaruhi oleh keseragaman volume penyemprotan yang diterima oleh tanaman serta kebutuhan volume cairan yang dibutuhkan oleh tanaman. Keseragaman volume cairan penyemprotan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)



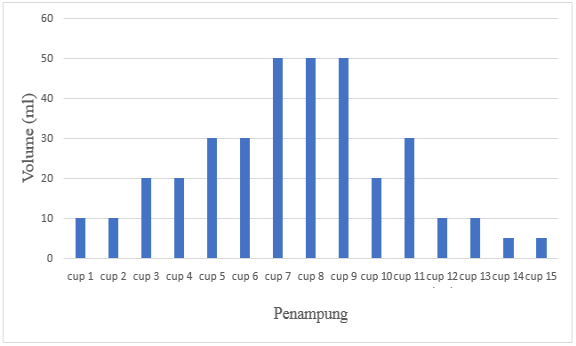
(b)



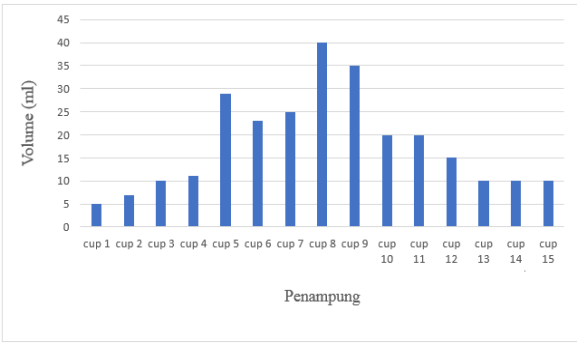
(c)

Gambar 4 Hasil pengujian luas area penyemprotan ; (a) ketinggian 50 cm, (b) ketinggian 75 cm, dan (c) ketinggian 100 cm.

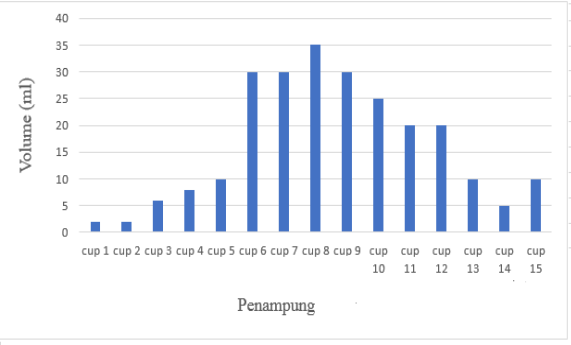
Berdasarkan hasil pengujian keseragaman penyemprotan terlihat bahwa gelas penampung cairan bagian tengah (gelas 7, 8, dan 9) menampung volume cairan yang lebih besar dibandingkan gelas penampung yang berada di pinggir (gelas 1, 2, 14, dan 15). Hal ini menunjukkan adanya tumpang tindih antara hasil semprotan nozel kiri dan kanan. Kejadian ini dapat disebabkan oleh karakter semprotan nozel yang digunakan berbentuk *cone* menyebabkan hasil semprotan yang berkumpul melingkar di sisi luar semprotan sedangkan bagian bawah tegak lurus nozel mendapatkan volume semprotan yang kecil. Selain itu, posisi nozel yang diletakkan pada jarak sesuai dengan lebar *drone* mengakibatkan hasil semprotan terpengaruh oleh hembusan udara yang dihasilkan oleh propeler.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5 Hasil pengujian keseragaman penyemprotan *drone*; (a) ketinggian 50

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

cm, (b) ketinggian 75 cm, dan (c) ketinggian 100 cm.

2.4 Pengujian Terbang

Pengujian terbang dilakukan untuk mengetahui kemampuan terbang *drone* yang telah dibuat khususnya kecepatan maksimum. Pada pengujian ini, *drone* membawa beban dalam keadaan tangki penyimpanan terisi penuh dan ketinggian terbang 100 cm dan jarak tempuh 50 m. Waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil pengujian waktu tempuh pada Tabel 1 diperoleh bahwa rata-rata waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak 50 m sebesar 1.79 s sehingga kecepatan terbang rata-rata *drone* adalah 27.8 m/s.

Tabel 1 Waktu untuk menempuh jarak 50 m

Jarak tempuh	Waktu (s)				rata-rata (s)
	1	2	3	4	
50 m	1.54	2.01	1.57	2.05	1.79

3 Kesimpulan

Prototipe q*uadcopter drone* penyemprot tanaman telah berhasil dikembangkan dan dibuat. *Drone* mampu mengangkut cairan dengan beban maksimal 0.8 kg dengan volume 600 ml. Hasil pengujian terbang *drone* mampu terbang setinggi 100 cm dengan kecepatan maksimal 27.8 m/s. Pada ketinggian terbang 100 cm luas area penyemprotan *drone* mencapai 1.68 m^2. Namun, dari hasil pengujian keseragaman penyemprotan diperoleh hasil semprotan yang kurang seragam.

4 Daftar Pustaka

[1] Sylvester, G., "E-Agriculture in Action : Drones for Agriculture", Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Internasional Telecomunication Union, 2018.
[2] Mogili, U.,R. and Deepak, B.,B.,V.,L., "Review on Aplication of Drone Systems in Precision Agriculture", Procedia Computer Science, vol. 133, pp. 502-509.
[3] Hariyanto, K., dan Santoso, D.,W., "Pengembangan Sistem Penyemprotan Pada Platform Pesawat Tanpa Awak Berbasis Quadcopter Untuk Membantu Petani Mengurangi Biaya Pertanian Dalam Mendorong Konsep Pertanian Pintar (Smart Farming)", Jurnal Nasional Teknologi Terapan, vol.1 no.1, pp. 87-97.
[4] Sayuti, S., dan Hakim, M.,S., "Perancangan dan Pembuatan Rangka Drone yang Ekonomis dan Praktis", SNAST Yogyakarta 2016, pp. 485-490.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Diseminasi Informasi Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Teknologi Internet of Things

[1]Hapsoro A. Nugroho*), [2]Ridho Helmi Pratama, [1]Suharni, [1]Agus Tri Sutanto, [1]Hariyanto

[1]Kelompok Kajian Instrumentasi-MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

[2]Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika

hapsoro.agung@bmkg.go.id)*

Abstrak

Tanah longsor merupakan bencana yang terjadi setiap memasuki musim penghujan dan sangat lokal daerah kejadiannya. Akibat bencana ini sangat besar tidak hanya merusak infrastruktur tetapi tidak jarang menimbulkan korban jiwa. Tujuan penelitian ini mengembangkan sebuah sistem untuk memantau bencana tanah longsor berdasarkan parameter curah hujan, kelembapan tanah, serta pergerakan tanah. Ketiga parameter ini telah dilakukan analisis karakteristik berdasarkan daerah penelitian yaitu di Desa Sijeruk, Kecamatan Banjarmangu, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah untuk mendapatkan nilai ambang batasnya. Selain itu, sistem juga dapat memberikan peringatan dini secara *real time* dan lokal berdasarkan tingkat kerawanan rendah, sedang, tinggi dan ekstrim. *Teknologi Internet of Things* (IoT) diimplementasikan dalam penyimpanan data dan komunikasi pengiriman data. Arduino berperan sebagai *publisher* dan layanan *Thingspeak* sebagai broker serta penyimpan data. Sedangkan *smartphone* pengguna sebagai *subscriber* yang menampilkan grafik data dan tingkat kerawanan bencana tanah longsor. Hasil menunjukan data parameter curah hujan, kelembapan tanah serta pergerakan tanah dapat terkirim dengan baik. Sistem peringatan dini juga dapat mendiseminasikan informasi tingkat kerawanan longsor ke masyarakat desa setempat.

Kata Kunci: tanah longsor; internet of things; curah hujan; peringatan dini

1 Pendahuluan

Tanah longsor merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang terjadi dalam waktu yang singkat dan dapat terjadi kembali dalam periode waktu tertentu. Pemicu terjadi tanah longsor dapat disebabkan karena hujan, pergerakan tanah, maupun bentuk lereng suatu tempat [1]. Musim penghujan atau daerah yang mempunyai curah hujan yang cukup tinggi berasosiasi dengan bencana tanah longsor di suatu area [2]. Lokasi penelitian terletak di wilayah Kecamatan Banjarmangu, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah seperti yang ditampilkan pada gambar 1. Selama kurun waktu Tahun 2011 sampai 2017 tercatat kejadian tanah longsor sebanyak 38 kejadian (Sumber : Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Banjarnegara), dimana 30 diantaranya disebabkan curah hujan yang tinggi. Catatan kejadian tersebut menimbulkan kerusakan infrastruktur dan korban jiwa yang cukup tinggi. Bila dilihat dari rata-rata kejadian selama kurun waktu tersebut, menunjukan keaktifan bencana tanah longsor di Kecamatan Banjarmangu. Sehingga diperlukan suatu sistem yang dapat memantau dan memberikan informasi secara dini kepada masyarakat setempat sebelum kejadian tanah longsor. Konsep peringatan dini menurut [3] bagaimana informasi tersedia secara tepat melalui sebuah lembaga sehingga dapat bermanfaat bagi seorang individu dalam upaya melakukan tindakan pencegahan. Peringatan dini perlu didukung dengan diseminasi informasi kepada masyarakat yang mempunyai resiko di lingkungannya [4]. Penentuan media komunikasi dalam diseminasi informasi menjadi sangatlah penting, hal ini berkaitan dengan penyampaian informasi dapat diterima secara cepat, tepat dan mudah dipahami. Beberapa penelitian terkait diseminasi informasi tanah longsor dengan menggunakan modem GSM (*Global System for Mobile Communications*) yang mengirimkan SMS (*Short Message Service*) [5]. Komunikasi dengan media *fiber optic* dengan kemampuan *full duplex* dan dapat mentransmisikan informasi sejauh 2,5 km memberikan hasil yang cukup baik [6].

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 23 peta lokasi peneltian

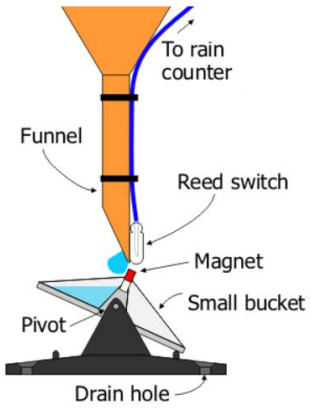
Berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi yang ditandai dengan revolusi industri 4.0 mendorong proses diseminasi ini dituntut menjadi lebih cepat dan semakin mudah diakses kapan dan dimanapun. Salah satu teknologi tersebut adalah *IoT*, dimana segala sesuatunya mulai proses dari hulu sampai hilir memungkinkan terhubung dalam suatu jaringan internet. IoT dapat diaplikasikan dalam pengembangan *smart campus* [7], pemantauan pembangkit listrik tenaga surya [8], serta dalam pemantauan bencana alam [9].

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan teknologi IoT sebagai diseminasi informasi tanah longsor yang dapat diakses melalui *website* ataupun *smartphone*. Informasi tersebut berdasarkan parameter pemicu tanah longsor seperti curah hujan, kelembapan tanah, dan pergerakan tanah. Diseminasi menampilkan pengukuran ketiga parameter tersebut beserta informasi dini tingkat kerawanan longsor, sehingga secara cepat ada keputusan untuk melakukan evakuasi sebelum tanah longsor terjadi.

2 Desain Sistem dan Implementasi

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan di penelitian sebelumnya [10], sistem yang akan dirancang terdiri atas tiga bagian utama, yaitu Input, Proses, dan Output seperti yang ditunjukan pada gambar 2. Pada bagian Input, terdiri dari tiga sensor yang merupakan bagian pengukuran fisis dari pemicu terjadinya bencana tanah longsor. Pengukuran fisis disesuaikan berdasarkan parameter meteorologi, klimatologi, dan geofisika. Sensor yang digunakan yaitu :

1. Sensor *Tipping Bucket* digunakan sebagai pengukur curah hujan. Penakar hujan jenis ini paling umum digunakan, prinsipnya terdapat beberapa bagian utama. Pertama adalah *bucket* atau penampung air hujan berbentuk seperti kerucut. Bagian kedua terdapat sensor magnet (*reed switch*). Penakar hujan *tipping bucket* seperti ditunjukan pada gambar 2.



Gambar 2 penakar hujan tipping bucket

2. Sensor *Soil Moisture* digunakan sebagai pengukur kelembapan tanah. Sensor yang digunakan menggunakan profile probe PR2/6 seperti yang ditunjukan pada gambar 3.



Gambar 3 sensor soil moisture profil probe

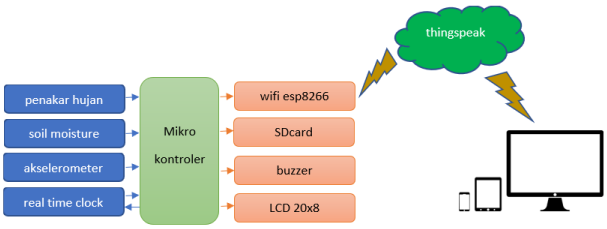
3. Sensor Akselerometer digunakan untuk mengukur pergerakan dan perpindahan posisi tanah. Pada gambar 4 menunjukan sensor yang digunakan yaitu *microelectronic mechanical system* ADXL-345.



Gambar 4 sensor akselerometer adxl345

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Mikrokontroler ATMega2560 sebagai pengolah data utama berada pada bagian proses. Bagian ini memiliki fungsi sebagai pemroses data yang masuk dari sensor, serta sebagai pengatur proses transmisi data yang berlangsung pada sistem. Mikrokontroler berperan juga menghubungkan bagian proses ke *output*, seperti ke penyimpanan data, *display* ataupun komunikasi. Sistem pewaktuan dengan RTC (*Real Time Clock*) untuk menyimpan jam terkini agar sinkron dengan data yang tersimpan. Komunikasi untuk mendukung IoT digunakan modul wifi ESP8266, yaitu perangkat tambahan sebagai perantara dari mikrokontroler ke jaringan internet. Jaringan internet ini terkoneksi ke aplikasi *thingspeak* untuk menampilkan parameter pengukuran sensor dan diseminasi informasi tingkat kerawanan longsor. *Thingspeak* merupakan sebuah platform *open source* yang menyedikan fitur berbasis *cloud* yang memungkinkan untuk menarik data dari sensor untuk disimpan dan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik secara *real time* menggunakan protokol HTTP, sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk *website* maupun *smartphone*. Desain sistem secara keseluruhan ditunjukan seperti pada gambar 5.



Gambar 5 blok diagram sistem

Implementasi sistem dilakukan pengujian di lokasi penelitian untuk melihat kehandalan komunikasi jaringan internet. Penempatan sistem juga memerlukan desain mekanik yang baik dikarenakan lokasi penelitian sebagian besar lereng yang memiliki kemiringan. Gambar 6 menunjukan proses instalasi sistem secara keseluruhan di lokasi penelitian.



Gambar 6 prose instalasi sistem di lokasi penelitian

Sedangkan pada gambar 7 merupakan sistem secara keseluruhan yang telah beroperasi melakukan monitoring parameter curah hujan, kelmbapan tanah, dan pergerakan tanah. Petugas BPBD Kabupaten Banjarnegara ikut serta membantu dalam instalasi ini. Informasi peringatan dini dapat diakses oleh instansi BPBD maupun masyarakat setempat yang memiliki kerawanan tinggi terhadap bahaya tanah longsor. Instansi BPBD menjadi rantai peringatan dini kepada masyarakat apabila masyarakat mengalami kesulitan untuk mengakses informasi yang dikeluarkan sistem.

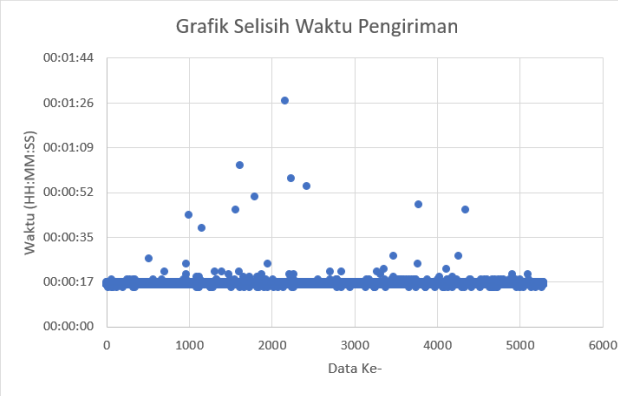


Gambar 7 sistem yang telah beroperasi.

Selanjutnya adalah menganalisis komunikasi untuk melihat konsistensi pengiriman data. Gambar 8 menunjukan selisih waktu pengiriman dalam periode satu hari. Data yang diambil Tanggal 1 November 2018. Terlihat bahwa dalam satu hari

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

rata-rata selisih pengiriman data sekitar 16 detik dengan selisih waktu maksimum sekitar (1 menit 27 detik) atau 97 detik dan waktu minimum sekitar 15 detik. Pengiriman komunikasi terdapat selisih waktu yang belum konsisten, dimana selisih tertinggi sekitar 1 menit. Hal ini kemungkinan disebabkan ketidakstabilan jaringan internet di lokasi penelitian.



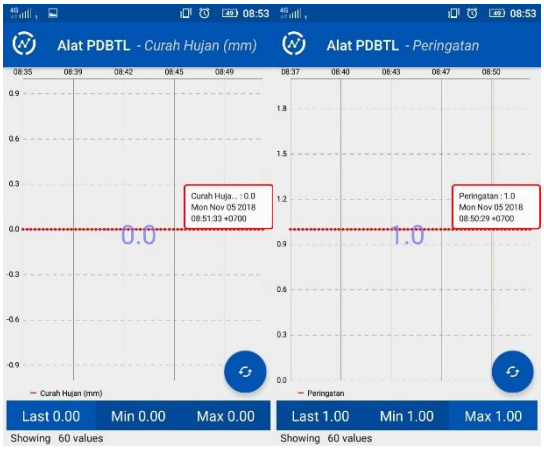
Gambar 8 grafik selisih waktu pengiriman data

Masyarakat atau BPBD setempat dapat mengakses aplikasi *thingspeak* melalui website ataupun aplikasi *thingview* pada *smartphone*. Gambar 9 merupakan tampilan aplikasi thinkspeak yang dapat diakses melalui alamat thingspeak.cpm/channels/539055.



Gambar 9 tampilan pada *website*

Pada gambar 10 merupakan tampilan pada aplikasi *mobile* yang berisi informasi parameter curah hujan, kelembapan tanah, pergerakan tanah serta informasi peringatan dini. Peringatan 1 = rendah, 2 = sedang, 3 = tinggi, dan 4 = ekstrim.



Gambar 10 tampilan pada *smartphone*

3 Kesimpulan

Diseminasi informasi dengan menggunakan teknologi IoT dapat berjalan dengan baik. Informasi dapat terkirim melalui jaringan komunikasi internet yang sangat tergantung pada ketersediaan jaringan internet dari provider di lokasi pemasangan sistem. Selama beroperasi sistem belum sepenuhnya menunjukan kehandalan yang baik, hal ini ditunjukan pada beberapa waktu sistem mengalami keadaan tidak mengirimkan data. Pengembangan selanjutnya membuat suatu pemberitahuan secara otomatis apabila tingkat kerawanan berada pada peringatan tinggi hingga ekstrim. Selain itu diseminasi informasi yang diperluas lagi dengan mengunakan protokol komunikasi yang lebih tepat.

4 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (UP2KM) Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah membantu dalam pendanaan penelitian kajian Instrumentasi-MKG.

5 Daftar Pustaka

[1] Liao, Y. Hong, J. Wang, H. Fukuoka, K. Sassa, D. Karnawati, and F. Fathani," Prototyping An Experimental Early Warning System For Rainfall-Induced Landslides in Indonesia Using Satellite Remote Sensing and Geospatial Datasets," Landslides. Vol.7, Issue 3, pp 317–324, September 2010.

[2] Darsono, B. Nurlaksito, B. Legowo, "Identifikasi Bidang Gelincir Pemicu Bencana Tanah Longsor Dengan Metode Resistivitas 2 Dimensi Di Desa Pablengan Kecamatan Matesih

Kabupaten Karanganyar," Indonesian Journal of Applied Physics. Vol.2, No.1, pp.51, April 2012.

[3] UNEP, "Early warning systems: A state of the art analysis and future directions," Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2012.

[4] E. Bassar, "Diseminasi Informasi Publik Tentang Peringatan Dini Bencana," Jurnal Visi Komunikasi. Vol. 14, No. 1, pp.90 -103, Mei 2015.

[5] A.Dinagar P.Karthick, K.Karthi, P.Tamilvanan, and S.Premkumar, "Landslide Monitoring System with GSM Module," International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. Vol. 3, Special Issue 2, March 2015.

[6] S.K Mittal, M. Singh, P. Kapur, B.K. Sharma and M. A. Shamshi, "Design and Development of Instrumentation Network for Landslide Monitoring and Issue an Early Warning," Journal of scientific & Industrial Research. Vol. 67, pp.361-365, May 2008.

[7] M. W. Sari, P. W. Ciptadi, dan R. H. Hardyanto, "Study of Smart Campus Development Using Internet of Things Technology," International conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 190, 2017.

[8] Winasis, A. W. W. Nugraha, I. Rosyadi, dan F. S. T. Nugroho," Desain Sistem Monitoring Sistem Photovoltaic Berbasis IoT," Jurnal Nasional Teknik elektro dan Teknik Informasi. Vol 5, No.4, 328-333, September 2016.

[9] A. Bhosale, P. Nimbore, S. Shitole, and O. Govindwar, "Landslides Monitoring System Using IoT," Imperial Journal of Interdisciplinary Research. Vol.3, Issue 4, 2017.

[10] A. Safril, A. Kristianto, D. Septiadi, dkk. "Kajian Awal Sistem Peringatan Dini Longsor Berbasis Penguatan Sistem Prediksi Curah Hujan dan Gempabumi Studi Area: Garut dan Banjarnegara," *Monograf*, UP2KM STMKG, Jakarta. (2017).

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Prototipe Sistem Monitoring Balanced Angular Momentum Seismometer Berbasis IoT

Muhammad Ismayuda Al Fath *), Muhammad Fajar Asshidiqi & Medayu Bestari Praja

Program Studi Instrumentasi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

muhammad.ismayuda@bmkg.go.id)*

Abstrak

Monitoring peralatan geofisika diruang lingkup Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) bertujuan untuk memastikan kualitas data seismik dalam level data yang baik. Seismometer sangat rentan terhadap perubahan posisi ketika terjadi gempa bumi. Penelitian ini merancang sebuah prototipe instrumen yang mendeteksi perubahan posisi seismometer menggunakan modul sensor GY-521 dengan prinsipketetapan momentum sudut. Sistem komunikasi sistem berbasis internet of things menggunakan protokol HTTP NodeMCU dan ditampilkan pada website dalam bentuk grafik yang dapat diakses kapan saja dan dimana saja.Hasil pengujian prototipe sistem dari penelitian ini memiliki nilai koreksi roll, pitch, dan yaw berturut-turut sebesar 0^o, 0.455^odan -0.302^o.
Kata Kunci: momentum sudut, monitoring, seismometer, IoT

1 Pendahuluan

Dampak dari interaksi aktif tektonik antar lempeng Indo-Australia, empeng Eurasia, dan lempeng Pasifik menjadikan wilayah Indonesia sangat rawan terhadap bencana alam berupa gempa bumi, sehingga terdeteksi ribuan gempa pada tiap tahunnya. Jaringan seismometer InaTEWS (Indonesia Tsunami Early Warning System) LIBRA Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika sebanyak 116 sensor yang terinstal diseluruh wilayah Indonesia. Pusat operasional bertugas untuk mengolah data seismik untuk penentuan lokasi pusat, magnitudo, dan kedalaman gempa bumi serta potensi tsunami untuk kemudian peringatan tersebut diteruskan kepada masyarakat. Kerapatan sensor akan memudahkan dalam penyampaian informasi kejadian gempa bumi kepada masyarakat dalam waktu yang cepat, tepat dan akurat. Sehingga untuk memastikan data availability dan kualitas data seismik selalu dalam level data yang akurat, lengkap, update, konsisten, dan relevan dilakukan monitoringperalatan geofisika.

Pada penelitian ini dirancang sebuah prototipe sistem monitoring keadaan seismometer untuk mendeteksi perubahan posisi pasca gempa bumi. Sistem menggunakan sensor GY-521 dengan enam derajat kebebasan, yaitu sumbu x, y, dan z serta rotasi pada ketiga sumbu (roll, pitch, dan yaw). Monitoring dilakukan secara real-time berbasis Thingspeak untuk evaluasi kondisi peralatan.

1.1 Konfigurasi seismometer

Seismometer adalah instrumen yang mengukur gerakan seismik yang memberikan keluaran sinyal mewakili 3 komponen arah EW, NS, dan UD (atau X, Y, dan Z). Nilai keluaran seismometer sebanding dengan integral percepatan terhadap waktu.Respon kumparan seismometer menerapkan gaya pemulih apabila massa digerakkan oleh gaya akselerasi akibat aktivitas seismik yang arahnya saling berlawanan untuk menjaga massa dalam keadaan setimbang. Mekanisme yang dikenal sebagai "pemusatan massa" ini diterapkan dalam mounting dan adjusting seismometer. Pemusatan massa pada sumbu vertikal (komponen arah UD) dilakukan dengan dua cara yaitu: menyesuaikan tegangan pegas untuk mengubah gaya atau mengubah posisi pusat gravitasi, sementara untuk sumbu horizontal (komponen arah EW dan NS) sering dilakukan dengan memiringkan sumbu.

1.2 Sensitivitas seismometer komponen horizontal terhadap tilt

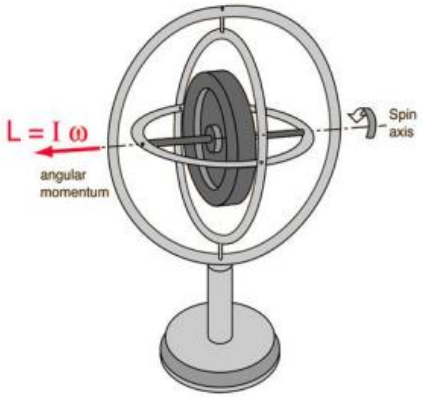
Faktor suhu, tekanan barometetrik, atau catu daya yang tidak stabil dapat menyebabkan interferensi terhadap output komponen vertikal. Sementara interferensi terhadap output komponen horizontal secara umum disebabkan oleh kemiringan. Faktor kemiringan ini akan mempengaruhi arah sensitivitas seismometer. Osilasi massa seismik dari gaya eksternal nilainya sama dengan gaya akserelasi seismik tanah dan dipengaruhi paling besar oleh gaya gravitasi. Tetapi ketika seismometer dimiringkan, proyeksi vektor gravitasi ke poros sensitivitas berubah hingga menghasilkan sinyal yang tidak dapat dibedakan. Perubahan kecepatan tanah akan mengakibatkan transien periode panjang komponen horizontal. Untuk sinyal periodik, perpindahan horizontal terkait dengan kemiringan tertentu meningkat dengan kuadrat periode tersebut.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

1.3 Giroskop

Giroskop menggunakan prinsip momentum sudut mekanis untuk mengukur orientasi. Giroskop

memiliki tiga gimbal pada tiga sumbu xyz yangberputar untuk mempertahankan kesetimbangan sikap selama tidak ada gaya luar yang mempengaruhi. Namun stabilitas akan berubah jika rotor memiliki mass dan kecepatan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Hukum Newton I.



Gambar 1 mekanisme giroskop dengan prinsip momentum sudut

Gaya normal memiliki torsi nol ditinjau dari sumbu putar. Pada awalnya tidak terjadi rotasi dan momentum sudut awal $\vec{L}$ adalah nol. Perubahan $d\vec{L}$ pada momentum sudut selang waktu pendek dt adalah:.

$$d\vec{L} = \vec{\tau}\, dt \tag{1.1}$$

$$\tau = \frac{dL}{dt} \tag{1.2}$$

$$\tau = \frac{d(I\omega)}{dt} \tag{1.3}$$

Percepatan sudut dari suatu benda tegar yang berputar pada sumbu stasioner berhubungan dengan torsi total dan momen inersia benda dengan Persamaan (1.4)

$$\tau = I\alpha \tag{1.4}$$

τ= gaya luar

L= momentum sudut

I= momen inersia

ω= kecepatan sudut

α= percepatan sudut

Perubahan momentum sudut rotor $\vec{L}$ pada selang waktu dt adalah sangat kecil dan saling tegak lurus 90º. Kecepatan sumbu bergerak tersebut

disebut dengan kecepatan sudut presesi yang nilainya berbanding terbalik dengan kecepatan rotasi sumbu. Prinsip presesi giroskop ini akan mengukur kecepatan sudut acuan inersia. Dengan menggunakan metode Euler dan matriks rotasi C_n^b (Direct Cosine Matrix) diperoleh representasi orientasi sudut rotasi pada sumbu x disebut dengan roll (φ), rotasi pada sumbu y disebut dengan pitch (θ), dan rotasi pada sumbu z disebut dengan yaw (ψ). Besarnya sudut orientasi didefinisikan dalam Persamaan (2).

$$\theta = \theta_0 + \omega t \tag{2}$$

θ= sudut yang terbentuk (º)

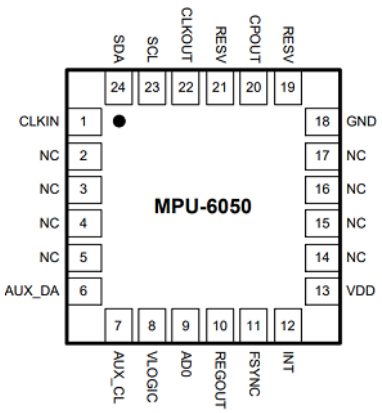
θ_0= sudut awal (º)

ω= kecepatan sudut (º/s)

t= waktu (s)

1.4 Modul sensor giroskop

Perancangan sistem menggunakan sensor giroskop MPU-6050 pada modul Micro ElectroMechanical Systems (MEMS) GY-521 yang mengukur kecepatan sudut sederhana dalam satuan derajat per detik (°/s). Sensor dipilih karena perangkat berukuran paket kecil 4mm x 4mm x 0.9mm, konsumsi daya rendah, dan akurasi tinggi.

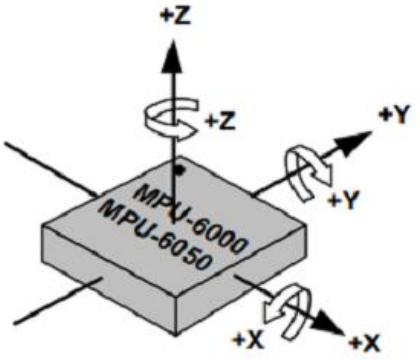


Gambar 2 MPU6050 QFN package 24-pin

Modul 6DoF GY-521 mempunyai fitur giroskop 3-sumbu, akselerometer 3-sumbu, digital motion processor (DMP), dan sensor. Sensor memiliki ADC 16-bit untuk mendigitasi keluaran giroskop dengan rentang skala antara ± 250 °/s, ± 500 °/s, ± 1000 °/s, dan ± 2000 °/s (dps) serta ADC 16-bit

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

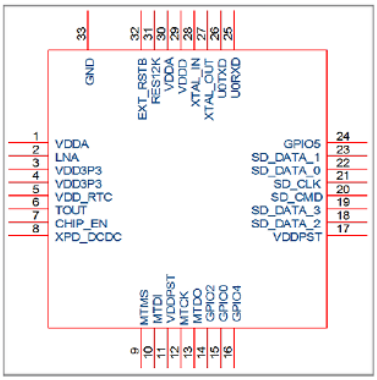
untuk mendigitasi keluaran akselerometer dengan rentang skala ± 2g, ± 4g, ± 8g, dan ± 16g.



Gambar 3 Orientasi sensitivitas sumbu dan polaritas rotasi sensor

1.5 Antarmuka Internet of Things (IoT)

Sistem komunikasi berbasis internet of thingsmenggunakan modul NodeMCU yaitu sebuahfirmware ESP8266. Firmware ini mengimplementasikan TCP/IP, protokol MACWLAN 802.11 b/g/n/e/I dan spesifikasi WiFi Direct.



Gambar 4 NodeMCU QFN package 32-pin

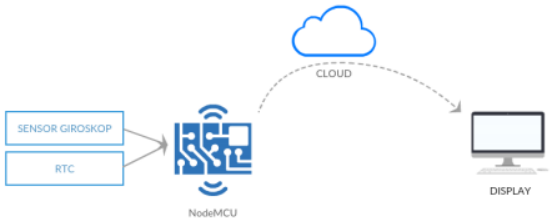
Implementasi antarmuka dari sistem ini menggunakan ThingSpeak™. ThingSpeak™ adalah layanan platform analitis IoT yang memungkinkan untuk mengumpulkan, memvisualisasikan, dan menganalisis data langsung di cloud menggunakan protokol HTTP dari NodeMCU.

2 Diskusi

Pada bab ini akan membahas perancangan sistem yang terdiri dari blok diagram sistem, implementasi sistem mencangkup perangkat keras dan perangkat lunak, serta analisispengujian sistem.

2.1 Blok diagram sistem

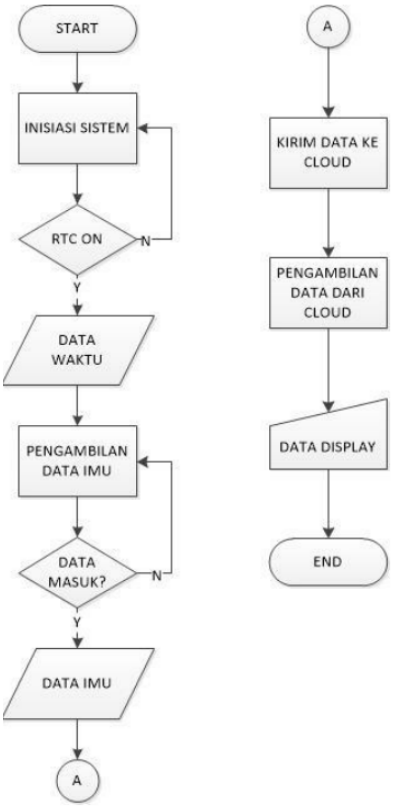
Blok diagram menjabarkan gambaran rangkaian sistem yang terdiri dari modul sensor giroskop GY-521, RTC, modul NodeMCU, dan jaringan WiFi.Blok ini menghasilkan sistem monitoring keadaan seismometer berdasarkan keseimbangan momentum sudut menggunakan sensor GY-521 berbasis IoT sesuai dengan gambar dibawah.



Gambar 5 Blok diagram sistem

2.2 Diagram alir sistem

Diagram alir atau flowchart dibawah menjelaskan tentang alur proses pengukuran momentum sudut pada sistem dan dikirim menggunakan komunikasi internet secara realtime.

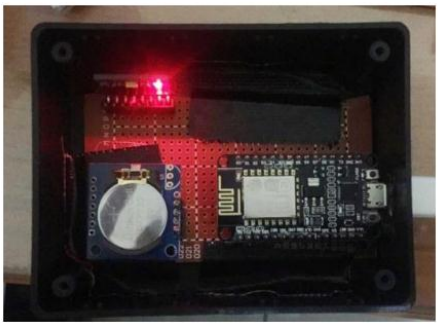


Gambar 6 diagram alir sistem

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.3 Implementasi sistem

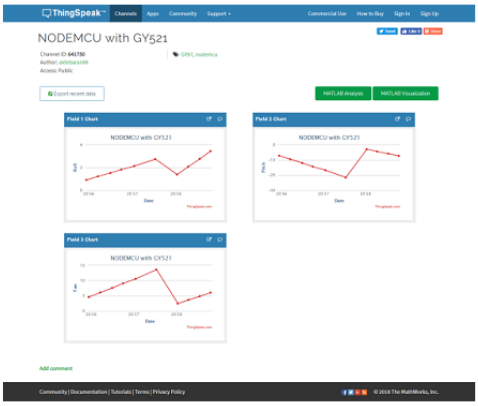
Gambar 7 merupakan implementasi perangkat keras sistem beserta enklosur yang berfungsi untuk melindungi komponen-komponen yang ada di dalamnya.



Gambar 7 Implementasi perangkat keras sistem

Data yang dihasilkan oleh perangkat keras ditampilan pada laman Thingspeak yang dapat diakses melalui web browser pada link berikut: https://thingspeak.com/channels/641750.

Pada halaman Thingspeak terdapat tiga grafik untuk menampilkan data yaitu data roll (φ), pitch(θ), dan yaw (ψ) secara realtime.



Gambar 8 Laman Thingspeak untuk pembacaan tiga sudut rotasi secara realtime

2.4 Pengujian sistem dan analisis

Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui kinerja keseluruhan sistem. Pengujian dilakukan langsung pada seismometer di Laboratorium Geofisika Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Hasil pengujian diperlihatkan pada Table 1 dan Grafik 1.

Pengambilan data dilakukan dengan tilting ataumengubah posisi kemiringan seismometer dengan gerak rotasi komponen horizontal sumbu x yaitu angguk (roll) dan sumbu y yaitu guling (pitch)dengan pengambilan data pengukuran setiap 10 menit.



Gambar 9 Pengujian sistem terhadap seismometer

Table 1 Tabel pengujian gerak angguk dan guling

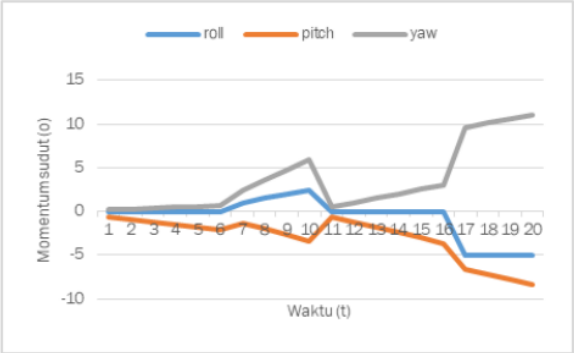
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Data ke-	Sudut orientasi (°)		
	x	y	z
1	0	-0,6	0,2
2	0	-0,9	0,29
3	0	-1,2	0,39
4	0	-1,5	0,49
5	0	-1,8	0,59
6	0	-2,1	0,69
7	0,99	-1,35	2,4
8	1,48	-2,03	3,6
9	1,98	-2,71	4,8
10	2,47	-3,38	5,99
11	0	-0,61	0,51
12	0	-1,22	1,01
13	0	-1,83	1,52
14	0	-2,44	2,02
15	0	-3,05	2,53
16	0	-3,66	3,03
17	-4,96	-6,62	9,59
18	-4,96	-7,23	10,1
19	-4,96	-7,82	10,6
20	-4,96	-8,43	11,11

Data tabel menunjukkan kondisi seismometer posisi normal, sistem menunjukkan nilai rata-rata roll, pitch, dan yaw berturut-turut yaitu 0°, -0.405°, dan 0.302°. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki nilai koreksi pada roll, pitch, dan yawberturut-turut sebesar 0°, 0.455° dan -0.302°, karena seharusnya pada kondisi referensi normal sistem menunjukkan nilai 0o pada semua sumbu.

Pada saat seismometer dikondisikan miring ke sumbu y negatif, sistem mengalami perubahan pada nilai rata-rata roll, pitch, dan yaw sebesar -1.344°, -5.502°, dan 1.715° Pada saat seismometer dikondisikan miring ke sumbu y positif sistem mengalami perubahan pada nilai rata-rata roll, pitch, dan yaw sebesar 0.692o, -2.228°, 2.741°. Pada saat seismometerdikondisikan miring ke sumbu x negatif sistem mengalami perubahan pada nilai rata-rata roll, pitch, dan yaw sebesar -4.960° , -8.133°, 10.855°.

Pada saat seismometer dikondisikan miring ke sumbu x positif sistem mengalami perubahan pada nilai rata-rata roll, pitch, dan yaw sebesar-9.880° , -10.850°, dan 13.127°



Grafik 1 Hubungan nilai antara roll, pitch, dan yaw

Grafik menunjukkan pada kondisi referensi normal 0o nilai pitch menurun secara bertahap dan nilai yaw meningkat secara bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak memiliki nilai koreksi drift. Jika memiliki nilai koreksi drift, maka grafik akan menunjukkan nilai ideal sekitar 0o pada kondisi referensi normal.

Perhitungan sudut orientasi diperoleh dari Persamaan (2) yaitu $\theta = \theta_0 + \omega t$. Menurut Hukum Newton II, nilai percepatan berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja dan berbanding terbalik dengan massanya. Ketika kondisi awal atau normal seismometer pada sudut tertentu memiliki nilai yang ideal sama dengan nol, tetapi karena pengaruh kecepatan sudut dan waktumenjadi tidak ideal. Respon sensor yang tidak ideal akan mempengaruhi ketelitian perhitungan. Giroskop memiliki nilai offset yaitu idealnya 0opada posisi referensi normal. Perhitungan nilai drift giroskop perlu dilakukan dengan peran akselerometer dan magnetometer dari modul sensor GY-521. Nilai drift roll dan pitch dapat menggunakan offset-calibration akselerometer dan untuk nilai drift yaw menggunakan tiltcompensation magnetometer.

3 Kesimpulan

Prototipe sistem monitoring balanced angular momentum seismometer yang dirancang pada penelitian ini berhasil menghasilkan data pengukuran tiga sudut rotasi dan terhubung ke basis data Thingspeak melalui jaringan internet. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan sistem memiliki nilai koreksi roll, pitch, dan yawberturut-turut sebesar 0°, 0.455° dan -0.302°.

Respon sensor yang tidak ideal disebabkan karakteristik sumbu lain ikut merespon gerakan searah satu sumbu uji. Perhitungan giroskop yang

tidak akurat akan mengakibatkan kesalahan nilai offset dan kesalahan penghitungan posisi. Prototipe sistem ini masih memiliki banyak kekurangan sehingga perlu dilakukan perbaikan dan pengembangan. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan perbaikan dan pengembangan antara lain pada: algoritma pemrograman, desain enklosur yang lebih compact, dan antarmuka yang komunikatif.

4 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Drs. Agus Tri Sutanto, M.T. selaku Ketua Program Studi Instrumentasi-MKG dan Bapak Hapsoro Agung Nugroho, M.T selaku pembimbing atas bantuan dan dukungannya selama penelitian ini berlangsung.

5 Daftar Pustaka

[1] Wielandt, E. and Bormann, P., 2002. Seismic sensors and their calibration. New Manual of Seismological Observatory Practices, 1, p.46.
[2] Townsend, B., 2014. Symmetric triaxial seismometers. Encyclopedia of Earthquake Engineering, pp.1-19.
[3] Rif'an, M., Djuriatno, W., Sulistiyanto, N., Siwindarto, P., Aswin, M. and Nurdinawati, V., 2012. Pemanfaatan 3 axis Gyroscope L3G4200D untuk pengukuran Sudut MuatanRoket. Jurnal EECCIS, 6(2), pp.177-182
[4] Hidayatno, A. and Wahyudi, W., 2011. Rancang Bangun Inertial Measurement Unit Sebagai Sistem Monitoring Kendaraan Bergerak Berbasis Sensor Accelerometer dan Gyroscope. Jurnal Rekayasa Elektrika, 9(4), pp.166-173.
[5] Musa, P., Christie, D.A. and Wibowo, E.P., 2016, October. An Implementation of Direction Cosine Matrix in rocket payload dynamics attitude monitoring. In Informatics and Computing (ICIC), International Conference on (pp. 271-276). IEEE.
[6] Zemansky, S., 2002. Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1.
[7] Burg, A., Meruani, A., Sandheinrich, B. and Wickmann, M., 2004. MEMS gyroscopes and their applications. Northwestern University, http://clifton. mech. northwestern. edu/~ me381/project/done/Gyroscope. pdf.
[8] InvenSense, I., 2012. MPU-6000 and MPU 6050 Product Specification Revision 3.3.
[9] Datasheet, E., 2015. ESP8266EX Datasheet. Espressif Systems Datasheet, pp.1-31.
[10] http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbase/gyr.html diakses pada tanggal 04 Desember 2018 16:07 WIB
[11]

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Otomatisasi Pengambilan data Pada Alat Uji Tekan Pasir Cetak WGA Berbasis Arduino Mega 2560 dan *Labview*

[1,2]Adhitya Sumardi Sunarya*), [1]Dzikri Muhammad Immaduddin & [2]Ari Siswanto

[1]politeknik Manufaktur Bandung

[2]jurusan Teknik Mesin Dan Manufaktur, Program Studi Elektro Mekanik

(cooresponding author) adhitya102@yahoo.com)*

Abstrak

Pasir cetak yang digunakan untuk keperluan pengecoran logam sangatlah penting. Pasir cetak digunakan sebagai media cetakan untuk cairan logam. Kekuatan cetakan pasir sebagai media untuk membentuk suatu benda harus di perhatikan karena kekuatan suatu cetakan pasir akan berdampak pada hasil cor. Alat uji tekan pasir di gunakan untuk mengukur kekuatan pasir cetak. Kekuatan tekan pasir cetak yang biasanya digunakan untuk menjadi cetakan pasir harus memiliki gaya sebesar 13,5 N/cm2 - 24,5 N/cm2, ini berdasarakan data dari buku panduan pengecoran logam. Kekuatan pasir harus mampu menahan gaya dari dalam sekaligus dapat mengeluarkan panasnya cairan logam.

Modifikasi yang dilakukan adalah membuat alat uji tekan pasir menjadi otomatis untuk mengoprasikanya dan akuisisi data. Alat ini menggunakan motor DC dan gear reduksi berspesifikasi 2,45Nm dengan shaft hexa untuk menjadi sumber gaya, dan konstruksi ulir trapesium sebagai media mentransimiskan gaya rotasi menjadi gaya translasi. Load cell berspesifikasi 120 Kg dengan eksitasi 2mv/v menjadi sensor untuk membaca gaya pada sistem ini. Sensor enkoder dengan spesifikasi 1600 PPR dan IR sensor di gunakan untuk sebagai pengaman. HX711 menjadi rangkaian untuk mengubah data analog to digital pada load cell. BTS7960 sebagai modul pengerak motor DC. Labview menjadi antarmuka untuk sistem pada alat uji tekan pasir WGA. Labview dipilih karena kemudahanya untuk akuisisi data dan program. Ulir trapesium di pilih karena dapat menahan gaya lebih besar di banding ulir jenis lainya. Untuk pembacaan sensor load cell yang sangat fluktuatif, maka di pilih moving average sebagai filter sinyal pada keluaran load cell. Dari hasil uji tekan pasir didapat rata-rata gaya pada alat uji tekan ridsdale 8114 adalah 8,684 N/cm2,dan pada alat uji tekan WGA yang baru adalah 8,7484 N/cm2 dengan rata-rata status pengujian NG (not good). Kesalahan presentase adalah 0,74159373 N/cm2.

Kata Kunci: load cell, motor dc, pasir cetak, HX711, BTS7950, *labview*

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Alat uji tekan pasir WGA ini adalah pengembangan alat uji tekan pasir dengan penambahan fitur akuisisi data menggunakan mikrokontroler dari penelitian sebelumnya. Alat uji tekan pasir WGA akan mengakuisisi data pembacaan dari sensor load cell yang membaca tekanan gaya. Untuk mengoprasikan alat tersebut dibutuhkan operator untuk memberi gaya dengan cara memutar engkol dan di transmisikan pada poros penggerak. Pada saat engkol di putar poros penggerak akan bergerak maju dan menekan. Kondisi tersebut akan menekan pasir dan menekan sensor untuk membaca berapa besar gaya tekan tersebut.

Alat uji tekan pasir yang digunakan untuk praktikum dan produksi pada laboratorium casting masih menggunakan alat uji tekan konvensional. Cara kerja alat uji tekan konvensional sama dengan cara kerja Alat Uji Tekan WGA, yang membedakan adalah cara pembacaan besarnya gaya yang terbaca. Alat uji tekan konvensional menggunakan manometer untuk membaca tekanan. Posisi terakhir jarum setelah pasir retak atau hancur menunjukan gaya maksimum.

Pembaharuan yang dilakukan adalah dengan mengotomatisasi cara kerja dan pengambilan data. Gerakan poros penggerak akan menekan secar otomatis dan pada saat pasir hancur poros penggerak akan kembali pada posisi semula. Sensor IR dan enkoder berfungsi sebagai pengaman dan untuk mengetahui jarak pada proses penekanan. Mikrokontroler arduino MEGA2560 digunakan sebagai kontroler utama. PC (Personal Computer) dan Labview digunakan sebagai interfce untuk menampilkan grafik perbandingan antara besarnya gaya tekan terhadap jarak. Grafik yang di tampilkan adalah visualisasi tambahan sebagai data yang dibutuhkan untuk casting. Pengukuran gaya tekan menggunakan sensor load cell untuk mempermudah pengukuran.

1.2 Rumusan Masalah

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

1.Menciptakan sistem yang otomatis dan antarmuka yang user friendly.

2.Menampilkan data real time antara gaya tekan dan perubahan jarak.

3.Data gaya tekan yang terbaca dapat tersimpan.

4.Kecepatan pergerakan yang konsisten.

1.3 Batasan Masalah

1.Pengujian dilakukan pada pasir jenis greendsand (uji tekan).

2.Sensor laod cell yang digunakan dapat menahan beban tidak lebih dari 100 Kg.

3. Data yang akan di tampilkan adalah besarnya gaya dan tampilan grafik perbandingan antara gaya dan jarak.

4. Motor DC dengan gearbox digunakan sebagai penggerak.

5. Otomatisasi gerakan motor pada saat menekan dan kembali ke posisi semula.

1.4 Tujuan

1. Memodifikasi dan mengembangkan penelitian tedahulu.

2. Menampilkan data yang digital untuk mempercepat pengambilan data praktikum ataupun produksi.

3. Mengetahui posisi sampel pasir akan hancur.

4. Otomatisasi sistem dan pengambilan data.

5. Tekanan yang di berikan dapat menghancurkan pasir dan handal.

6.Kecepatan pergerakan penekanan yang konstan untuk menekan sampel pasir.

1.5 Manfaat

1. Gerakan laju penekanan konstan.

2. Ketelitian pembacaan pergerakan lebih presisi.

3.Gaya tekan pada sampel pasir cetak tidak mengalami gaya tambahan. Diskusi

menulis makalah anda. Format (style) yang digunakan dalam dokumen ini sebagai berikut:

untuk Bahasa Indonesia dan 10 kata untuk Bahasa Inggris.

2 Perancangan dan Diskusi

2.1 Alat uji tekan pasir cetak

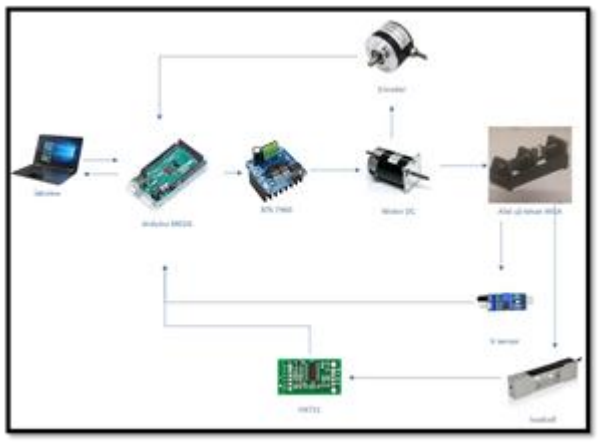
alat uji tekan pasir adalah alat untuk menguji kekuatan pasir dengan pengujian tekan. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa gaya tekan maksimum yang dapat di terima pasir. Terdapat macam-macam pengujian pasir yaitu uji tekan, uji geser dan uji tarik. Setiap pengujian pasir di uji dengan jenis pasir yang berbeda. Gambar 1 adalah contoh alat uji tekan pasir.



Gambar 1 alat uji tekan pasir cetak.

2.2 rancangan sistem

Rancangan sistem di buat otomatis dengan menggunakan beberapa sensor pendukung. Gambaran umum sistem dapat dilihat pada gambar 2.



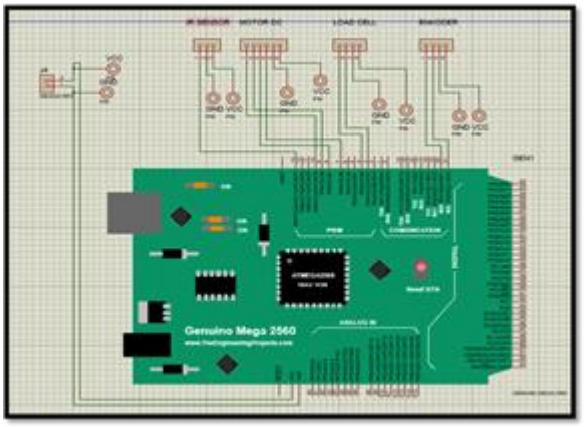
Gambar 2 Gambar Umum Sistem

PC dan *Labview* digunakan sebagai antarmuka dari alat ini. Arduinomega 2560 sebagai kontrol utama. Sensor *loadcell* di gunakan sebagai sensor pembaca berat yang selanjutnya di konversi menjadi gaya tekan. Modul hx711 adalah modul

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

yang berfungsi untuk menguba data *analog to digital* dan sekaligus sebagai penguat tegangan. Motor dc dan *gear* reduksi di gunakan supaya putaran motor memiliki torsi besar dan putaran yang pelan. BTS 7960 digunakan sebagai penggerak motor dc. Sensor IR digunakan sebagai pembacaan inisialisasi pisisi homing. Enkoder digunakan untuk mebaca perpindahan dari penampang saat menenkan sampel pasir.

2.3 Desain Elektrik

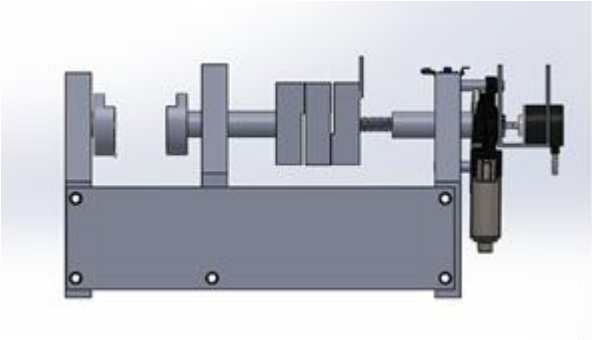


Gambar 2 desain elektrik

Tabel 1 penggunaan pin

No	Komponen	PIN yang digunakan
1	Module penggerak motor dc	10, 9, 8, 7
2	HX711	4, 3
3	Sensor IR	13
4	Enkoder inkeiment	20 ,21

2.4 Desain Mekanik



Gambar 3 desain mekanik

Desain mekanik ini merujuk pada alat uji tekan pasir WGA terdahulu dan dilakukan beberapa modifikasi.

Dikarenakan konstruksi alat uji tekan pasir WGA ini menggunakan ulir maka dibawa ini adalah perhitungan untuk mengetahui torsi yang dibutuhkan untuk memutar ulir tersebut.

TL	=	torsi	(Nm)
F	=	gaya dorong sejajar	(N)
dm	=	diameter tengah screw	(m)
μ	=	koefisien gesek statis	
α	=	sudut pitch	(o)
L	=	Panjang pitch	(m)
Fges	=	gaya gesek	(N)

$$T_L = Fges \text{ x } \frac{d_m\,(\mu\,\pi\,d_m + L)}{2\,(\pi\,d_m - \mu\,L)} \qquad (\mathbf{1})$$

$$N = \frac{0.18\,x\,9.8}{\cos 30 - 0.8\,\sin 30}\,(\mathbf{2})$$

$$N = 3.77\,N\,(\mathbf{3})$$

$$Fges = N \text{ x } \mu \qquad (\mathbf{4})$$

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

$$Fges = 3.77 \text{ x } 0.8 \qquad (5)$$

$$Fges = 3.02\ (N) \qquad (6)$$

$$T_L = (3.02)\text{x}\ \frac{(13{,}7 \text{ x } 10^{-3})\left(0.8 \text{ x } 3.14 \text{ x } (13{,}7 \text{ x } 10^{-3}) + (2.3 \text{ x } 10^{-3})\right)}{2\left(3.14 \text{ x } (13{,}7 \text{ x } 10^{-3}) - 0.8 \text{ x } (2.3 \text{ x } 10^{-3})\right)}$$

$$T_L = 1.016 \text{ x } 10^{-5}\ Nm \qquad (8)$$

$$\sigma = F\ x\ A\ (9)$$

Karena diameter penampang spesimen adalah 50 mm, maka luas penampang adalah 19,625 cm^2.

$$F = 28\ x\ 19.625\ (10)$$

$$F = 549{,}5\ N\ (11)$$

$$N = \frac{549{,}5}{\cos 30 - 0.8\ \sin 30}\ (12)$$

$$N = 1179{,}18\ N (13)$$

$$T_L = (3.02 + 1179{,}18)\text{x}\ \frac{(13{,}7 \text{ x } 10^{-3})(0.8 \text{ x } 3.14 \text{ x } (13{,}7 \text{ x } 10^{-3}) + (2.3 \text{ x } 10^{-3}))}{2\left(3.14 \text{ x } (13{,}7 \text{ x } 10^{-3}) - 0.8 \text{ x } (2.3 \text{ x } 10^{-3})\right)}\ (14)$$

$$T_L = 3{,}977\ x\ 10^{-3}\ \text{Nm}\ (15)$$

Dari hasil perhitungan di atas maka motor harus dapat berputar dengan torsi $3{,}977\ x\ 10^{-3}$ Nm untuk dapat mendorong spesimen pasir sampai hancur. Spesifikasi motor yang digunakan adalah 25Kgcm, bila satuanya di ubah ke Nm yaitu 2,45 Nm. Maka motor dengan spesifikasi ini dapat digunakan.

14.3 2.5 Pemilihan Komponen

Tabel 2 pemilihan komponen

No	Spesifikasi	Jenis		
1	pengendali proses	PC	Mikrokontroler	PLC
2	Jenis Mikrokontroler	Arduino		ATMEL
3	Jenis arduino (7)	Nano	Uno	Mega 2560
4	Penggerak	Motor Bakar	Motor Fluida	Motor Listrik
5	Jenis Motor listrik	Motor AC		Motor DC
6	Sensor Jarak	HC-SR04		Enkoder
7	Sensor Posisi	Sensor IR		Proximity
8	Antarmuka	Visual Studio		Labview

Pemilihan komponen tersebut dilakukan dengan cara menyiapkan beberapa pilihan komponen yang cocok dengan fungsinya. Dilakukan perbandingan dan penilaian antara kedua komponen. Komponen yang memiliki nilai tertinggi akan di pilih karena kecocokan dengan sistem. Kolom yang berwarna biru adalah komponen yang dipilih sebagai komponen penunjang dari modifikasi alat uji tekan pasir cetak WGA.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.5 Diagram alir sistem



Gambar 4 diagram alir sistem

Diagram alir ini menjelaskan bagaimana sistem ini berfungsi. Dari menyimpan sampel pasir, lalu tekan tombol setting nol dan tare, selanjutnya tekan tombol start. Setelah menekan tombol start makan spesimen pasir akan di tekan sampai hancur dan penampang spesimen berhenti bergerak. Diwaktu yang bersamaan data gaya tekanan maksimum tersimpan pada antarmuka. Setelah 5 detik penampang diam selanjutnya penampang akan kembali ke posisi homing.

3 Hasil dan diskusi

3.1 Pengujian *load cell*

Tabel 3 pengujian *loadcell*

NO	BERAT BATU TIMBANGAN(gr)	PENGUKURAN (gr)
1	50	54
2	100	98
3	200	198
4	300	313
5	400	433
6	500	530
7	600	623
8	700	735
9	800	811
10	900	927
11	1000	1003



Gambar 5 grafik berat batu timbangan dan pembacaan

3.2 Pengujian pergerakan

Tabel 4 pengujian pergerakan

PENGUJIAN GAYA/mm					
NO	JARAK YANG DIINGINKAN (mm)	*PULSE* YANG TERBACA ENKODER	JARAK YANG TERBACA OLEH ENCODER (mm)	JARAK AKTUAL JANGKA SORONG (mm)	PEMBACAAN BERAT PADA LOAD CELL (Kg)
1	2	1399	2,011	2	0,084
2	4	1432	2,058	3,8	0,225
3	6	1395	2,01	5,8	0,11

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

4	8	1397	2,008	7,8	0,05
5	10	1395	2,01	9,6	-0,014
6	12	1397	2,008	11,2	0,08
7	14	1393	2,001	13	0,083
8	16	1397	2,008	15	0,138
9	18	1395	2,01	17,1	0,071
10	20	1392	2	19,1	0,11
RATA-RATA		1399,2	2,0145		0,0937
Error jarak			4,50%		
Error berat			0,0937 Kg		

Pengujian pergerakan ini dilakukan untuk melihat apakah ada kesalahan pembacaan dan faktor lain yang mempengaruhi pembacaan. Percobaan dilakukan dengan cara memajukan penampang sejauh 2 mm. Dan di dapat eror jarak sebesar 4,5% dari dan eror pembacaan berat 0,0837 Kg.

Tabel 5 pengujian kecepatan

NO	JARAK	WAKTU YANG DI TEMPUH (detik)	
		PENGUJIAN WAKTU TEMPUH DENGAN SPESIMEN PASIR	PENGUJIAN WAKTU TEMPUH TANPA SPESIMEN PASIR
1	10 mm	15,5	14,3
2	10 mm	15,8	14,4
3	10 mm	15,6	14,3
4	10 mm	15	14,5
5	10 mm	15,3	14,3
RATA-RATA		15,44	14,36

Pengujian kecepatan dilakukan untuk mengetahui apakah pergerakan laju dengan adanya spesimen dan tidak adanya spesimen dapat mempengaruhi kecepatan.

3.3 Pengujian penekanan

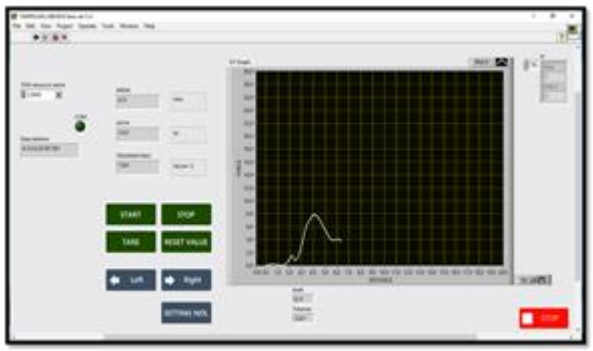
Tabel 6 pengujian penekanan

NO	ALAT UJI TEKAN	KARAKERISTIK *SAMPEL*		MAMPU TEKAN		STATUS PENGUJIAN PASIR	RATA-RATA PENGUKURAN	PRESENTASE KESALAHAN (%)
		BERAT (gr)	TINGGI (mm)	POSISI PATAH (mm)	*LOAD* (N/cm^2)			
1	Ridsdale 8114	147,78	50	-	8,25	NG	8,684	0,74159373
2	Ridsdale 8114	147,78	50	-	8,5	NG		
3	Ridsdale 8114	147,78	50	-	8,92	NG		
4	Ridsdale 8114	147,78	50	-	8,55	NG		
5	Ridsdale 8114	147,78	50	-	9,2	NG		
6	WGA	147,78	50	4,3	9,037	NG	8,7484	
7	WGA	147,78	50	4,2	9,209	NG		
8	WGA	147,78	50	5,1	8,913	NG		
9	WGA	147,78	50	4	7,901	NG		
10	WGA	147,78	50	4,4	8,682	NG		

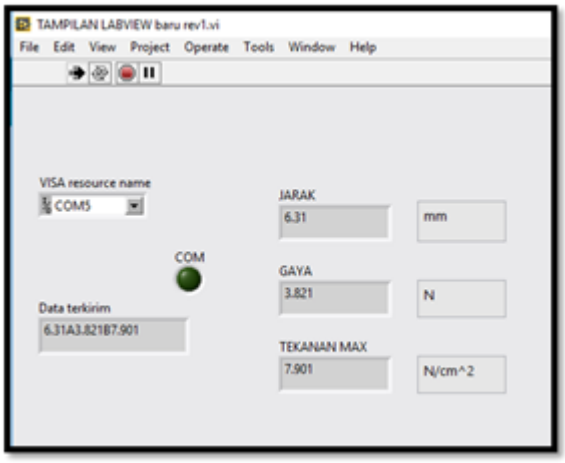


Gambar 6 sampel pasir yang berhasil di tekan

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 7 antar muka hasil penekanan sampel pasir



Gambar 8 potongan antar muka

Untuk mengetahui kualitas dari alat uji tekan pasir cetak WGA yang sudah dimodifikasi ini perlu di uji coba. Maka pngujian dilakukan dengan cara membandingkan alat uji tekan pasir WGA dengan alat uji tekan pasir risdale 8114. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 6.

Pada gambar 6 terlihat bahwa pasir dapat di tekan sampai hancur dan data dapat terbaca. pada tampilan antar muka terlihat grafik penekanan pada gambar 7. Data yang terbaca adalah tekanan maksismum seperti pada gambar 8 dengan jarak perpindahan penampang sejauh 6.31 mm. Dengan sensor enkoder pembacaan jarak lebih presisi.

4 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap sistem yang telah dibangun dapat disimpulkan ke dalam beberapa hal.

1. Sensor load cell dapat diimplementasikan pada sistem penekanan dengan kepresisian pembacaan per 10 gram.
2. Penggunaan sensor enkoder sangat di anjurkan untuk pembacaan gerak dengan kepresisian permili untuk mengetahui dimana pasir akan mendapat gaya tekan maksimum dari penampang.
3. Dengan motor dc dan gear reduksi dengan spesifikasi 12v dc, 2,45Nm dan shaft hexagonal cukup untuk menekan spesimen pasir sampai hancur.
4. Sistem terkadang tidak berfungsi pada saat setelah melakukan setting nol. Ini dikarenakan antarmuka labview membaca kondisi dimana loadcell membaca data gaya 40% dari data maksimum gaya yang terbaca.
5. Labview terkadang telat membaca perubahan data yang terbaca arduino. Ini mengakibatkan program tidak dapat berjalan dengan baik.
6. Load cell terkadang membaca data minus (-), yang berarti load cell mendapat gaya tarik bukan tekan. Pada saat load cell membaca data minus maka pembacaan pada antarmuka akan membaca data sebagai nilai 0.
7. Pergerakan kecepatan penampang pasir lebih lambat saat menekan pasir, tetapi rata-rata kecepatan tersebut realtif sama.

Dari pengujian yang telah dilakukan maka didapat hasil. Beberapa hasil yang didapat tidak sesuai dengan data yang seharusnya. Pasir yang diizinkan untuk digunakan sebagai pasir cetak seharusnya berada pada nilai sekitar 13,5 - 24,5 N/cm2. Maka di dapat faktor yang mempengaruhi data tidak sesuai:

1. Load cell sangat sensitif, karena sensor load cell dipasang pada konstruksi maka bila konstuksi mengalami tekanan dari luar (contoh : base ditekan atau di beri gaya) maka sensor akan membaca tekanan yang di alami oleh base.
2. Faktor yang berpengaruh pada pasir.

5 Daftar Pustaka

[1] Abdelhameed, Magdy. 2014. *VDI 2206*. Cairo: Ain Shams University.
[2] Alfatah, Haekal. 2017. Rancang Bangun Mesin Continous Tire Pyrolizer dengan Mekanisme Screw Conveyor Kiln Berkapasitas Input 100 Kg/Jam. Bandung. POLMAN.
[3] Akbar,Noor Iskandar, 2016, MODIFIKASI DONGKRAK MEKANIK MENJADI

ELEKTROMEKANIK KAPASITAS 2 TON, Bandung, Universitas Pasundan.
[4] Anas Inzar, Djambiar Riswan, 2008, *APLIKASI LABVIEW PADA SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS MIKROKONTROLER.* Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan. Yogyakarta.
[5] Austin, hughes. 1990. Electric Motor and Driver, Elsevier, oxford
[6] https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3/2018.
[7] http://sebarin-ilmu.blogspot.com/2016/03/tutorial-arduino-ir-obstacle-sensor.html.
[8] http://www.kitomaindonesia.com/article/2015/23/load-cell-dan-timbangan.
[9] https://www.dynapar.com/technology/encoder_basics/incremental_encoder/2018
[10] http://www.basrid.co.uk/ridsdale/images/pdf/STE_catalogue_800%20.pdf
[11] Iskanda, Tengku . Saputra, Hendri Maja. 2017. *Perbandingan Average Filter dengan Hanning Filter pada Pengolahan Sinyal Load Cell.* Pekanbaru. Politeknik Caltex Riau.
[12] K. Smyksy, J. Zych, T. Snopkiewicz.2015 . ANALYSIS OF MODERN METHODS OF ASSESSING THE QUALITY OF SAND FOUNDRY MOULDS. AGH University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, Kraków, Poland
[13] Katalog AVIA SEMICONDUCTOR/HX711
[14] Nawari, Giaz Afriza. 2017. RANCANG BANGUN ALAT UKUR CURAH HUJAN DENGAN KENDALI MOTOR DC PADA BUCKET BERBASIS BERAT AIR. Bandung .POLMAN.
[15] Pirmansyah, Ardi. 2017. PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC BEBAN VARIABEL PADA MESIN PELUBANG MULSA PLASTIK OTOMATIS. Padang. Politeknik Negeri Padang.
[16] Purwanto, D. 2004. Rancang Bangun Load Cell Sebagai Sensor Gaya pada Sistem Uji. Bandung: BPPT.
[17] SSyukriyadin, SSyahrizal, G Mansur, H P Ramadhan. 2017. *Permanent magnet DC motor control by using arduino and motor drive module BTS7960.* Banda Aceh. Syiah Kuala University,
[18] Suhendra, Imam . Setyo Pambudi, Wahyu. 2015. *APLIKASI LOAD CELL UNTUK OTOMASI PADA DEPOT AIR MINUM ISI ULANG*. Batam. Universitas Internasional
[19] Suprianto, Danang. 2013. PENGUKURAN SERTA AKUISISI DATA LOAD DAN DISPLACEMENT ALAT UJI TEKAN PASIR CETAK DENGAN MENGGUNAKAN VISUAL BASIC 6.0. Bandung. POLMAN
[20] Sutiyoko, Lukman Effendi, Muh. 2012. *STUDI KASUS KOMPOSISI PASIR CETAK GREENSAND TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA COR*. Klaten. Politeknik Manufaktur Ceper Klaten
[21] VDG-taschenbücher. giesserei–verlag gmbh düsseldorf
[22] www.EngineeringToolBox.com/2018

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Pemanfaatan Algoritma *Forward Kinematics* sebagai Perhitungan Error pada *Five Bar Parallel Robot*

[1,2]Ulfah Nadiya *), [1]Muhammad Arifin, [2]Bagus Prabangkoro, [2]M Nibrosul Umam

[1]UPT Balai Pengembangan Instrumentasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, [2]Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung

ulfahnadiya@gmail.com)*

Abstrak

Keakuratan manipulator merupakan ukuran seberapa dekat manipulator dapat mencapai titik tertentu di area kerjanya. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat keakuratan manipulator ialah error yang dihasilkan dari perhitungan. Belum ada metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran tingkat akurasi manipulator secara langsung, diigunakan pendekatan geometri untuk mengetahui keakuratannya. Pada *five bar parallel robot*, tingkat akurasi dapat dihitung dengan memanfaatkan algoritma *forward kinematics*. Banyak penelitian yang membuat *five bar parallel robot* dengan berbagai variasi mode kerja, mode perakitan, dan luas area kerja. Akan tetapi, penelitian tersebut belum mempertimbangkan error yang dihasilkan dari perhitungan *invers kinematics*. Untuk itu, pada makalah ini dibuat desain *five bar parallel robot* dengan satu mode kerja, satu mode perakitan, dan memiliki area kerja 300 mm x 300 mm dengan error komputasi maksimum 0,3 mm. Error dihitung dengan melakukan verifikasi hasil perhitungan *invers kinematics* menggunakan algoritma *forward kinematics*. Dengan demikian, area kerja robot yang diperoleh dapat dipastikan tidak memiliki error lebih dari 0,3 mm secara perhitungan. Dari spesifikasi yang telah ditetapkan tersebut, didapatkan desain robot dengan panjang lengan L1 = 200 mm dan L2 = 230 mm. Dengan mengetahui error komputasi yang dihasilkan oleh manipulator, diharapkan nilai error tersebut dapat dikompensasi dengan konstruksi mekanik yang baik.
Kata Kunci: akurasi, five bar parallel robot, invers kinematics, forward kinematics, error.

1 Pendahuluan

Robot paralel memiliki empat jenis mode kerja dan dua jenis mode perakitan [1]. Kedua hal tersebut merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada daerah kerja yang dapat dicapai oleh *five bar parallel robot*. Masing - masing daerah kerja robot paralel memiliki perhitungan yang berbeda dan dibatasi oleh kurva singularitas yang berbeda pula. Untuk dapat mengetahui daerah kerja yang dapat dicapai oleh robot, maka robot paralel dimodelkan dengan menggunakan perhitungan kinematika sebagai manipulator pergerakan robot. Terdapat dua jenis perhitungan kinematika, yaitu *invers kinematics* dan *forward kinematics* [2]. Dalam hal robotika, kinematika ini dapat dimanfaatkan untuk menghitung hubungan antara *end-effector* dan sudut sendi. Untuk *forward kinematics*, sudut sendi menjadi input dalam perhitungan dan outputnya berupa koordinat dari *end-effector*. Sedangkan *invers kinematics* merupakan kebalikan dari *forward kinematics*. Input dari *invers kinematics* adalah koordinat dari *end-effector* dan outputnya berupa sudut sendi [3].

Banyak yang telah melakukan penelitian terkait robot paralel dengan berbagai variasi mode kerja dan mode perakitan, kemudian memodelkannya dengan kinematika. Pada [4] melakukan penelitian tentang robot parallel dengan menghilangkan singularitas tipe 1. Dalam desain yang dibuat, singularitas tipe 1 dapat dihilangkan dengan membuat desain robot yang mempunyai empat mode kerja dan satu mode perakitan. Robot yang didesain mempunyai panjang lengan pada tautan distal dan tautan proksimal masing - masing 230 mm. Makalah [5] mengimplementasikan desain yang dibuat oleh [4] dan didapatkan daerah kerja yang relatif luas, yaitu 400 mm x 400 mm. Mitsubishi juga telah membuat robot paralel RP-5AH [4] yang mempunyai panjang lengan tautan proksimal 200 mm dan panjang lengan tautan distal 260 mm dan didapatkan luas daerah kerja sebesar 297 mm x 210 mm dengan hanya menggunakan satu mode kerja dan satu mode perakitan. Mecademic [1] juga telah membuat robot paralel dengan panjang lengan tautan distal dan panjang lengan tautan proksimal yang sama, yaitu masing – masing 90 mm. Robot paralel dari Mecademic ini mampu menghilangkan singularitas tipe 1 dan singularitas tipe 2 dan memiliki daerah kerja sebesar 360 mm x 120 mm. Robot paralel dari Mecademic memiliki empat mode kerja dan dua mode perakitan.

Ketiga robot paralel yang telah disebutkan diatas menggunakan *inverse kinematics* sebagai perhitungan untuk memodelkan pergerakan robotnya. Akan tetapi, ketiga robot paralel tersebut belum mengimplementasikan perhitungan error pergerakan robot. Error secara komputasi/perhitungan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat akurasi

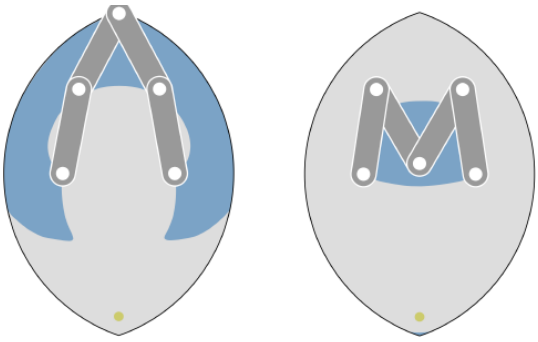
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

pergerakan robot [6]. Dan dibandingkan dengan robot serial, robot paralel memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi [7]. Tingkat akurasi yang tinggi diperlukan oleh robot untuk dapat mencapai posisi target dengan tepat. Untuk itu, pada makalah ini akan dibahas mengenai desain *five bar parallel robot* yang memiliki daerah kerja berkisar 300 mm x 300 mm dengan satu mode kerja dan satu mode perakitan. Desain robot yang dibuat mempertimbangkan error pergerakan robot dengan memanfaatkan algoritma *forward kinematics*.

Makalah ini terdiri dari enam bagian. Bagian pertama merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang dilakukannya penelitian. Bagian kedua ialah diskusi yang menceritakan tentang desain robot paralel beserta perhitungannya. Terdapat beberapa subbab pada bagian kedua ini. Bagian ketiga merupakan kesimpulan yang berisi kesimpulan dan pekerjaan apa saja yang masih dapat dikembangkan dari penelitian ini. Bagian keempat berisi ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini. Bagian kelima berupa nomenklatur yang berisi daftar simbol beserta penjelasannya. Dan bagian terakhir, yaitu bagian keenam ialah daftar pustaka yang berisi referensi yang digunakan dalam penelitian ini.

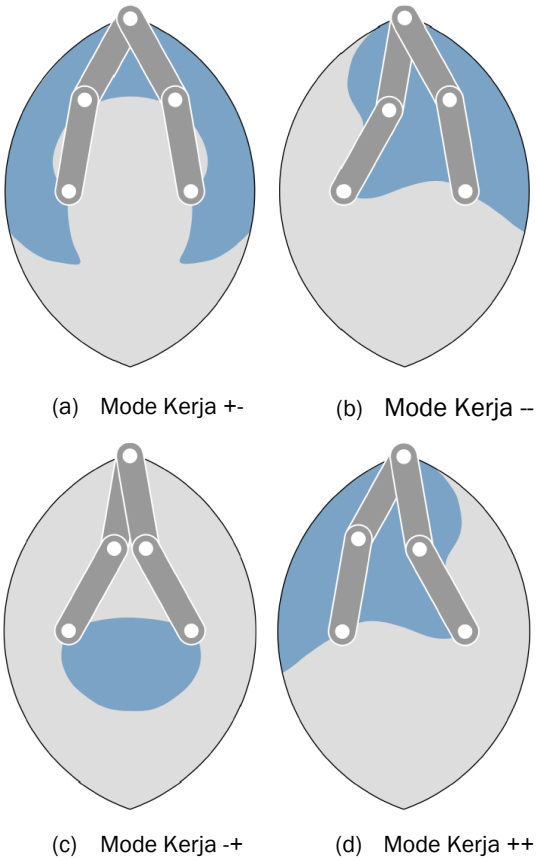
2 Diskusi

Seperti yang telah disebutkan pada pendahuluan bahwa robot paralel memiliki empat mode kerja dan dua mode perakitan sebagai berikut [1].



(a) Mode Perakitan + (b) Mode Perakitan -

Gambar 35 mode perakitan *five bar parallel robot* [1]



(a) Mode Kerja +- (b) Mode Kerja --

(c) Mode Kerja -+ (d) Mode Kerja ++

Gambar 36 mode kerja *five bar parallel robot* [1]

Pada makalah ini, pemodelan lengan robot dilakukan dengan menggunakan dua perhitungan kinematika yaitu *invers kinematics* dan *forward kinematics*. *Invers kinematics* digunakan sebagai perhitungan awal, sedangkan *forward kinematics* digunakan untuk memverifikasi perhitungan yang telah didapatkan dari *forward kinematics*. Verifikasi diperlukan untuk mengetahui error pergerakan robot.

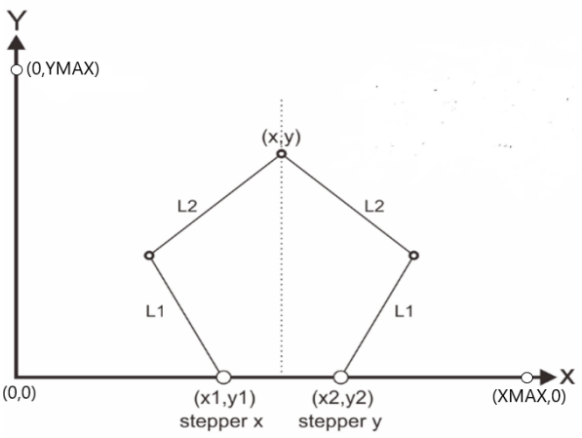
Pada makalah ini, objektif yang ingin dicapai ialah membuat desain robot yang memiliki daerah kerja 300 mm x 300 mm dengan satu mode kerja, yaitu mode kerja +- dan satu mode perakitan, yaitu mode perakitan +. Pada makalah ini ditetapkan nilai error maksimum dengan suatu angka tertentu. Jika perhitungan hasil verifikasi memiliki error lebih dari angka tersebut, maka hasil perhitungan tersebut akan diabaikan dan tidak masuk pada daerah kerja robot. Dengan begitu, maka daerah kerja robot yang terbentuk dapat dipastikan tidak memiliki error lebih dari angka yang telah ditetapkan secara perhitungan.

2.1 Perhitungan *Invers Kinematics*

Algoritma *invers kinematics* digunakan sebagai algoritma perhitungan pertama karena awalnya

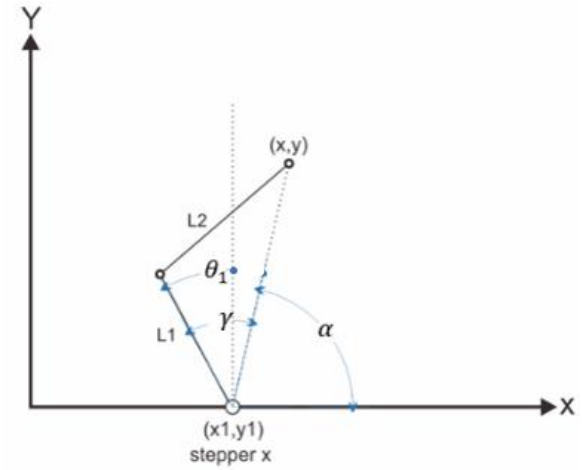
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

diketahui posisi target yang dapat dijadikan sebagai input perhitungan. Dari nilai posisi target tersebut, kemudian diubah menjadi nilai sudut yang harus dilakukan oleh sendi untuk mencapai posisi target yang diinginkan. Perhitungan invers kinematics dihitung secara terpisah untuk masing – masing lengan yang terhubung dengan motor stepper. Dalam kondisi ini masing – masing stepper dimisalkan dengan stepper x dan stepper y sebagai berikut.

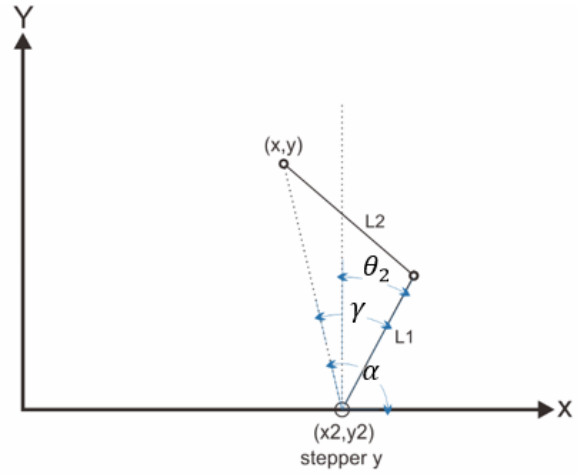


Gambar 37 pemodelan *invers kinematics*

Perhitungan *invers kinematics* dilakukan secara terpisah antara stepper x dan stepper y, sehingga secara terpisah dapat dimodelkan sebagai berikut.



Gambar 38 pemodelan i*nvers kinematics* stepper x



Gambar 39 pemodelan *invers kinematics* stepper y

Stepper x memiliki persamaan perhitungan perubahan posisi cartesian ke sudut sebagai berikut.

$$x_0 = x - x_1 \quad (1)$$

$$y_0 = y - y_1 \quad (2)$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{l_1^2 - l_2^2 + x_0^2 + y_0^2}{2 * l_1 * \sqrt{x_0^2 + y_0^2}}\right) \quad (3)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y_0}{x_0}\right) \quad (4)$$

$$\theta_1 = \alpha + \gamma - 90^{\circ} \quad (5)$$

Untuk stepper y memiliki persamaan perhitungan perubahan posisi cartesian ke sudut sebagai berikut.

$$x_0 = x - x_2 \quad (6)$$

$$y_0 = y - y_2 \quad (7)$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{l_1^2 - l_2^2 + x_0^2 + y_0^2}{2 * l_1 * \sqrt{x_0^2 + y_0^2}}\right) \quad (8)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y_0}{x_0}\right) \quad (9)$$

$$\theta_2 = \alpha - \gamma - 90^{\circ} \quad (10)$$

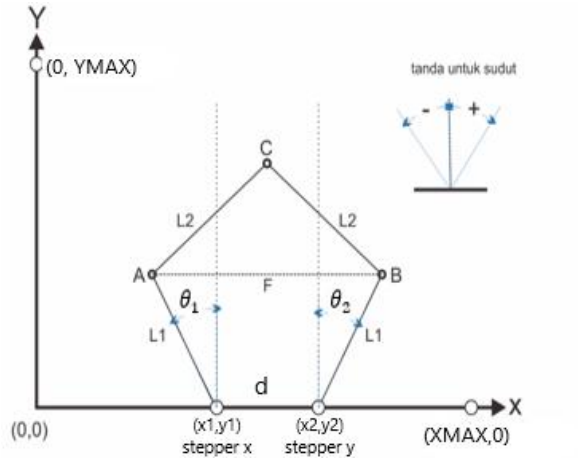
Pada persamaan (1), (2), (6), dan (7), variabel x_0 dan y_0 merupakan jarak antara posisi motor stepper dengan posisi target yang ingin dicapai pada sumbu x dan sumbu y. Pada penelitian ini digunakan motor stepper sebagai aktuator dengan resolusi $0.05625°/\text{step}$. Karena motor stepper memiliki limitasi pada pergerakan yang dibatasi oleh sudut, maka diperlukan algoritma *forward kinematics* untuk membandingkan posisi target yang diinginkan dengan posisi target yang dapat dicapai oleh manipulator dengan menggunakan motor stepper tersebut. Nilai θ_1 dan θ_2 yang

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

didapatkan dari hasil perhitungan *invers kinematics* kemudian diubah menjadi step yang disesuaikan dengan resolusi motor stepper kemudian diubah lagi menjadi nilai θ_1 dan θ_2 yang kemudian nilai tersebut menjadi input pada perhitungan *forward kinematics*.

2.2 Perhitungan *Forward Kinematics*

Forward kinematics digunakan untuk memperkirakan besar error yang dihasilkann dari pergerakan robot. Dengan menggunakan perhitungan *forward kinematics* maka dapat diketahui posisi target yang tercapai sehingga dapat dihitung besar errornya. Error tersebut dilihat dari perbedaan posisi target yang diinginkan dan posisi yang daapt dicapai oleh robot. Pada penurunan *forward kinematics* ini, masing – masing motor stepper juga dihitung secara terpisah. Berikut merupakan penuruan persamaan untuk perhitungan *forward kinematics*.



Gambar 40 pemodelan *forward kinematics*

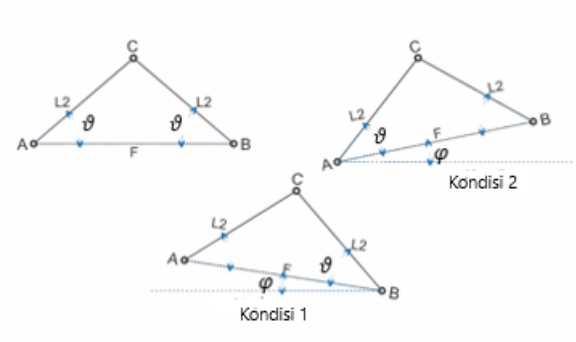
Sudut yang terbentuk pada θ_1 dan θ_2 masing – masing akan bernilai negatif ketika posisi lengan l_1 berada di kiri sudut 90° relatif terhadap acuan penggeraknya. Berikut merupakan penurunan persamaan untuk stepper x.

$$X_A = l_1 * \sin(\theta_1) + x1 \quad (11)$$
$$Y_A = l_1 * \cos(\theta_1) + y1 \quad (12)$$
$$x1 = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{2} - \frac{d}{2} \quad (13)$$
$$y1 = Y_{MIN} \quad (14)$$

Begitu juga untuk stepper y berlaku persamaan sebagai berikut.

$$X_B = l_1 * \sin(\theta_2) + x2 \quad (15)$$
$$Y_B = l_1 * \cos(\theta_2) + y2 \quad (16)$$
$$x2 = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{2} + \frac{d}{2} \quad (17)$$
$$y2 = Y_{MIN} \quad (18)$$

Kemudian dilakukan peninjauan dari segitiga ABC berikut.



Gambar 41 pemodelan segitiga untuk *forward kinematics*

$$F = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \quad (19)$$
$$\cos\vartheta = \frac{F}{2 * l_2} \quad (20)$$
$$\vartheta = \cos^{-1}\frac{F}{2 * l_2} \quad (21)$$

Dari persamaan (19), maka muncul dua kondisi yang berbeda, yaitu.

a. Kondisi 1: kedudukan A lebih tinggi dari B

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{|Y_A - Y_B|}{|X_A - X_B|}\right) \quad (22)$$
$$X_C = X_B - l_2 * \cos(\vartheta + \varphi) \quad (23)$$
$$Y_C = Y_B + l_2 * \sin(\vartheta + \varphi) \quad (24)$$

b. Kondisi 2: Kedudukan B lebih tinggi dari A

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{|Y_A - Y_B|}{|X_A - X_B|}\right) \quad (25)$$
$$X_C = X_B + l_2 * \cos(\vartheta + \varphi) \quad (26)$$
$$Y_C = Y_B + l_2 * \sin(\vartheta + \varphi) \quad (27)$$

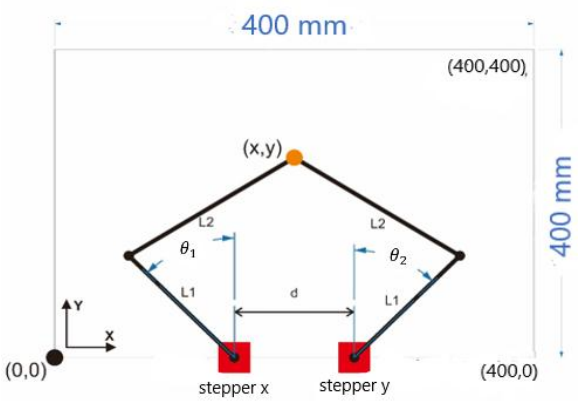
2.3 Proses Desain

Setelah dilakukan penurunan perhitunagn *invers kinematics* dan *forwards kinematics* pada Subbab 2.1 dan Subbab 2.2, maka dapat dilakukan proses

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

iterasi untuk memperoleh dimensi lengan, jarak antar motor stepper, dan nilai error yang sesuai dengan area kerja yang telah ditentukan. Batasan yang digunakan dalam proses ini ialah

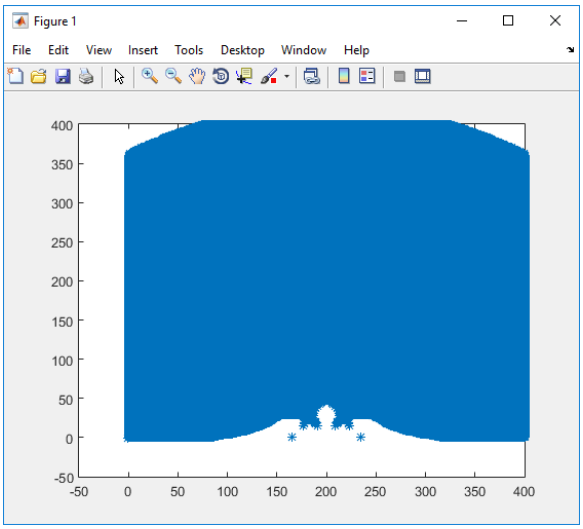
a. Hanya menggunakan satu mode kerja dan satu mode perkaitan yaitu mode kerja +- dan mode perakitan + sesuai dengan perhitungan *invers kinematics dan forward kinematics* yang telah diturunkan sebelumnya.
b. Daerah kerja yang akan dipenuhi sebesar 300 mm x 300 mm.



Gambar 42 sistem koordinat *five bar parallel robot*

$$XMAX = 400 \quad (28)$$
$$XMIN = 0 \quad (29)$$
$$YMIN = 0 \quad (30)$$
$$YMAX = 400 \quad (31)$$
$$spacing = d \quad (32)$$
$$x1 = \frac{XMAX}{2} - \frac{d}{2} \quad (33)$$
$$y1 = YMIN \quad (34)$$
$$x2 = \frac{XMAX}{2} + \frac{d}{2} \quad (35)$$
$$y2 = YMIN \quad (36)$$
$$lengan1 = L1 \quad (37)$$
$$lengan2 = L2 \quad (38)$$
$$erroredge = error \quad (39)$$

Pada persamaan (28) dan (31) diambil nilai XMAX = 400 mm dan YMAX = 400 mm, agar spesifikasi area kerja linear 300 mm x 300 mm dapat terpenuhi. Setelah dilakukan beberapa kali iterasi dengan menggunakan software Matlab, maka didapatkan panjang lengan yang mampu memenuhi batasan yang telah disebutkan ialah L1 = 200 mm dan L2 = 230 mm, jarak antar motor stepper sebesar d = 70 mm, dan error edge = 0,3 mm. Berikut merupakan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan software Matlab.



Gambar 43 area kerja five bar parallel robot dengan error 0,3 mm

3 Kesimpulan

Forward kinematics merupakan salah satu algoritma kinematika yang dapat dimanfaatkan untuk menghitung error yang dihasilkan dari perhitungan *invers kinematics*. Dengan memanfaatkan algoritma forward kinematics, maka area kerja robot yang didapatkan pada penelitian ini dapat dipastikan tidak memiliki error lebih dari 0,3 mm secara komputasi/perhitungan. Dengan mengetahui nilai error hasil komputasi/perhitungan, nilai error tersebut diharapkan mampu dikompensasi menggunakan algoritma komputasi lain atau jika memungkinkan dengan desain konstruksi mekanik yang baik. Selain itu, dengan mengetahui nilai error, maka dapat diketahui posisi yang akan dicapai oleh manipulator sehingga dapat dilakukan pengesetan nilai error yang sesuai dengan kebutuhan dan area kerja yang didapatkan tidak melebihi nilai error maksimum yang telah ditetapkan. Kedepannya, diharapkan adanya penelitian untuk menghitung error manipulator yang mempunyai berbagai macam variasi mode kerja dan mode perakitan sehingga didapatkan manipulator dengan area kerja yang lebih luas.

4 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Kelompok Penelitian Teknologi Maju Kontrol Cerdas (*Intelligent Control Technology*/ICT), UPT Balai Pengembangan

Instrumentasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

5 Daftar Pustaka

[1] Mecademic, "Dextar User's Manual Version 1.0," Mecademic Inc., 2015.

[2] Serdar Kucuk and Z. Bingul, "Robot Kinematics: Forward and Inverse Kinematics," Book of Industrial Robotics: Theory, Modelling, and Control, Kocaeli University, 2006.

[3] Jianxin XU, Wei Wang and Yuan Guang SUN, "Two Optimization Algorithms for Solving Inverse Kinematics with Redundancy," South China, University of Technology and Academy of Mathematics and Systems Science, CAS and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

[4] Alexandre Figielski, Ilian A. Bonev, and Pascal Bigras, "Towards Development of a 2-DOF Planar Parallel Robot with Optimal Workspace Use," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Canada, pp 1562-1566, January 2008.

[5] Francis Bourbonnais and Ilian Bonev, "Development of a Five-Bar Parallel Robot with Large Workspace," Proceedings of the ASME, International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), Canada, August 2010.

[6] Zoran Pandilov and Vladimir Dukovski, "Comparison of the Characteristics between Serial and Parallel Robots," Bulletin of Engineering, Acta Tehnica Corviniensis, Tome VII, 2014.

[7] Zhao Xin-hua, et al.. "Kinematic Modeling and Error Analysis of the Six Pole Parallel Robot," IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC), China, pp 1399-1402, China, October 2016.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Kendali Kaki Robot oleh Ketegangan Otot Berbasis Elektromiografi dan Mikrokontroler ATmega8535

Vincent Nanda Rudy Gondoatmojo[1)] , Florentinus Budi Setiawan[2)]

[1,2]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata

Semarang, Indonesia

vincentnrg38@gmail.com, fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak

Saat ini teknologi sudah sangat maju dan berkembang dengan pesat. Perkembangan ini dapat kita jumpai pada bidang elektro medis dan mekanika. Sudah banyak sekali robot – robot yang menggantikan peran manusia di bidang industri, begitu juga banyak sekali robot yang dibuat untuk menggantikan peran anggota tubuh manusia yang tidak berfungsi. Salah satu yang sedang berkembang saat ini adalah robot kaki untuk mengganti peran kaki penyandang disabilitas yang hanya memiliki satu kaki untuk menggantikan peran bagian kaki lainnya. Robot ini bekerja dengan menggunakan rangkaian elektromiografi dan mikrokontroler memanfaatkan sinyal otot pada bagian kaki yang masih berfungsi untuk dibaca dan diolah sebagai referensi untuk menggerakkan kaki robot. Pergerakan kaki robot dimotori oleh motor servo yang seolah bekerja sebagai sendi dan pergerakan motor servo diatur oleh sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler dengan mengolah sinyal keluaran dari rangkaian Elektromiografi yang didapat setelah membaca sinyal otot kaki yang masih berfungsi ketika kontraksi dan relaksasi. Pada makalah ini dilakukan pengujian dengan mendeteksi sinyal otot kaki untuk menggerakkan robot kaki agar dapat mengikuti pergerakan kaki sebagai referensi. Pada hasil pengujian menunjukkan bahwa robot kaki dapat mengikuti dengan tepat pergerakan kaki yang digunakan sebagai referensi.

Kata Kunci : Sinyal otot, elektromiografi, PWM, motor servo, kaki robot.

1 Pendahuluan

Dilihat dari masa ke masa, perkembangan teknologi sudah sangat maju, beberapa diantaranya adalah bidang mekanika dan elektro medis. Kedua bidang ini memiliki peranan yang penting dalam kehidupan manusia terutama untuk penyandang disabilitas. Para penyandang disabilitas memiliki banyak permasalahan dalam kehidupan sehari-hari, hal ini menyebabkan mereka mengalami kesulitan untuk memenuhi kegiatan harian mereka[1].

Pada bidang mekanika, robot dapat digunakan untuk mengganti fungsi kerja dari bagian tubuh yang tidak berfungsi pada penyandang disabilitas. Untuk menunjang hal tersebut, dibutuhkan pendeteksian sinyal otot pada bagian lain sebagai referensi untuk menggerakkan robot. Cara yang paling mudah untuk mendeteksi sinyal otot adalah dengan menggunakan sensor elektromiografi. Dikarenakan sinyal otot terlalu sensitif dan mudah sekali terkontaminasi dengan sinyal gangguan, maka dibutuhkan proses *filtering* dan penguatan[2][3].

Pada pembahasan kali ini, lebih difokuskan pada pendeteksian sinyal otot kaki. Ada 3 titik otot kaki yang digunakan sebagai referensi, yaitu *rectus femoris, biceps femoris, dan gastrocnemius.* Cara kerja dari alat ini, ketiga titik otot referensi dideteksi dengan elektroda, kemudian dikuatkan dengan rangkaian EMG serta dikuatkan lagi dengan penguatan inverting, kemudian disearahkan dan di *filter* dengan rangkaian envelope detector lalu diproses menggunakan mikrokontroler untuk menampilkan tingkat ketegangan otot pada tampilan LCD dan untuk menggerakkan tiga servo motor, dapat dilihat pada gambar 1. Gambaran umum alat ini yaitu ketika kaki digerakkan, robot kaki akan mengikuti gerakan kaki berdasarkan perubahan sinyal ketegangan otot pada kaki.

2 Dasar Teori

Untuk pembuatan alat, digunakan beberapa komponen penting sebagai penunjang agar alat dapat beroperasi dengan baik dan mendapatkan hasil yang diinginkan. Berikut ini merupakan penjelasan komponen – komponen penting dalam pembuatan alat.

2.1 Elektroda

Elektroda berfungsi untuk membaca dan menghantarkan sinyal otot dari permukaan kulit ke

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

rangkaian EMG[4]. Elektroda yang digunakan adalah elektroda gel. Gel ini berfungsi untuk mengurangi *noise*/gangguan yang diakibatkan dari kerenggangan udara di antara permukaan kulit dan elektroda. Dengan adanya gel, kerenggangan udara bisa diminimalisir karena terisi gel.

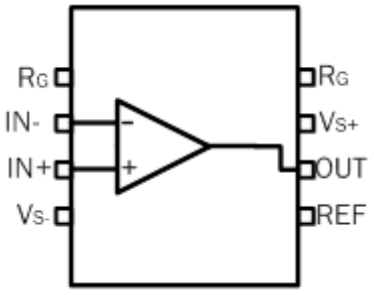


Gambar 1. Elektroda Perak Klorida dengan gel

Gel ini berguna untuk memaksimalkan pembacaan sinyal otot dikarenakan permukaan kulit pada manusia tidak rata dan terdapat pori – pori, gel ini berfungsi untuk mengisi kekosongan pada bagian yang tidak rata agar meminimalisir gangguan pada pembacaan. Elektroda yang digunakan sebanyak 3 buah, elektroda 1 diletakkan pada bagian tengah/puncak otot, elektroda 2 diletakkan pada bagian akhir otot, dan elektroda 3 diletakkan pada bagian kulit yang tidak terdapat otot.

2.2 IC AD620

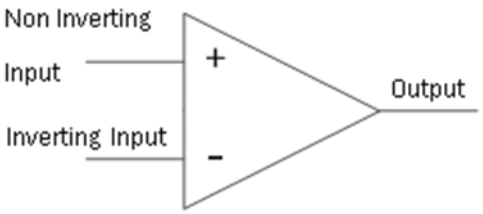
IC AD620 berfungsi untuk menguatkan sinyal otot yang dibaca oleh elektroda dalam bentuk MUAP(*Motor Unit Action Potential)*. Penguat ini digunakan karena sinyal otot yang terbaca oleh elektroda sangatlah kecil, sehingga dibutuhkan penguat agar sinyal dapat diproses dengan lebih mudah[5].



Gambar 2. Diagram AD620

2.3 *Op-Amp*

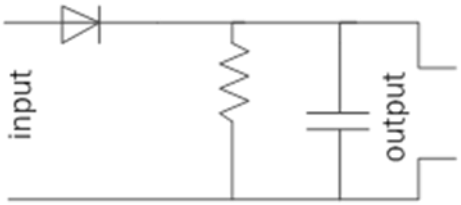
Op-amp merupakan sebuah komponen yang memilik banyak fungsi operasi, dan seringnya OP-AMP digunakan sebagai penguat[5]. Berikut ini merupakan gambar diagram dari Op-amp.



Gambar 3. Diagram Op-amp

2.4 *Envelope detector*

Envelope detector berfungsi untuk mengikuti dan mempertahankan tiap tiap nilai puncak yang dihasilkan pada penguatan sebelumnya[6]. Envelope detector terdiri dari rangkaian diode sebagai penyearah setengah gelombang dan rangkaian *low pass filter* sebagai *filter.*



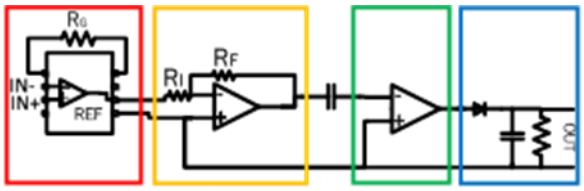
Gambar 4. Rangkaian *Envelope Detector*

3 Perancangan Alat

Alat ini bekerja dengan memanfaatkan sinyal otot yang dibaca oleh elektroda, yang kemudian sinyal otot yang terbaca oleh elektroda diteruskan ke rangkaian EMG untuk diolah dengan dikuatkan sebanyak 500 kali agar sinyal otot dapat terlihat dengan jelas dan kemudian dikuatkan kembali sebanyak 2 kali oleh rangkaian penguat inverting, sehingga total penguatan dari alat ini adalah 1000 kali. Kemudian sinyal keluaran dari penguat inverting distabilkan oleh buffer dan diteruskan ke rangkaian envelope detector untuk mempertahankan nilai tiap puncak sinyal otot yang

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

telah dikuatkan, dan untuk merubah sinyal otot yang masih berupa impuls menjadi tegangan DC agar dapat dibaca oleh mikrokontrol sebagai ADC dan kemudian diolah menggunakan program untuk dapat menampilkan data nilai tegangan otot ketika rileks dan kontraksi pada LCD dan untuk menghasilkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation)* untuk dapat memutar motor servo agar kaki robot dapat bergerak.



Gambar 5. Rangkaian Elektromiografi, Penguat Inverting, Buffer, *Envelope Detector*

3.1 Rangkaian Elektromiografi

Pada gambar 5, rangkaian elektromiografi ditunjukkan oleh kotak merah. Rangkaian elektromiografi menggunakan AD620 sebagai IC. AD620 berfungsi untuk menguatkan sinyal otot yang dibaca oleh elektroda. Nilai penguatan pada AD620 bisa bervariasi berdasarkan nilai R_G yang terhubung pada kaki 1 dan 8 dengan persamaan :

$$G=1+(49.4K\Omega/R_G)[7] \quad (1)$$

Pada alat ini digunakan nilai R_G sebesar 100Ω, sehingga didapatkan nilai penguatan 495 kali atau bisa disebut ±500 kali. Sedangkan untuk memproses sinyal otot yang dibaca oleh elektroda, elektroda 1 dikoneksikan ke kaki 2 sebagai V_{in+}, elektroda 2 dikoneksikan ke kaki 3 sebagai V_{in-}, dan elektroda 3 dikoneksikan ke Kaki 5 sebagai Tegangan referensi[8]. Tengangan keluaran dari AD620 terdapat pada kaki 7 dan memiliki nilai tegangan dengan persamaan :

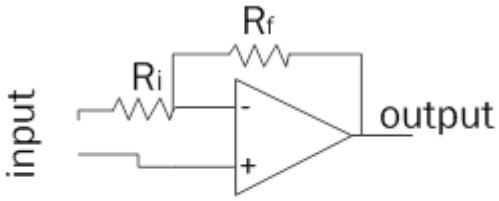
$$V_{out} = (V_{in+} - V_{in-})*G - V_{ref}[9] \quad (2)$$

3.2 Penguat Inverting

Pada gambar 5, penguat *inverting ditunjukkan oleh kotak kuning. Penguat inverting* ini menggunakan op-amp yang dirangkai seperti gambar 6 dengan nilai penguatan yang didapatkan dari persamaan :

$$G = -R_f/R_i[10] \quad (3)$$

Dengan R_f = 1000Ω dan R_i = 500Ω maka didapatkan penguatan (G) = - 2 Kali.



Gambar 6. Rangkaian Penguat Inverting

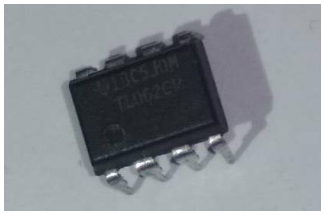
Nilai keluaran dari rangkaian penguat inverting didapatkan dengan persamaan :

$$Vout = -R_f/R_i\, Vin[11] \quad (4)$$

Komponen op-amp yang digunakan adalah TL062CP.

3.3 Buffer

Pada gambar 5, buffer ditunjukkan oleh kotak hijau. Berfungsi untuk menyetabilkan sinyal keluaran dari penguat inverting. Komponen buffer juga berupa op-amp yang dirangkai seperti pada gambar 5 kotak hijau. Komponen yang digunakan adalah TL062CP.



Gambar 7. Bentuk Fisik TL062CP sebagai *Buffer*

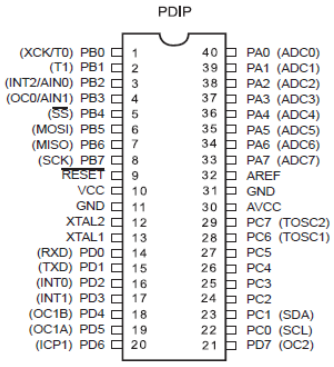
3.4 *Envelope Detector*

Pada gambar 5, rangkaian *envelope detector* ditunjukkan oleh kotak biru. Berfungsi untuk mengambil tiap nilai puncak keluaran dari penguatan sebelumnya.

3.5 Mikrokontroler

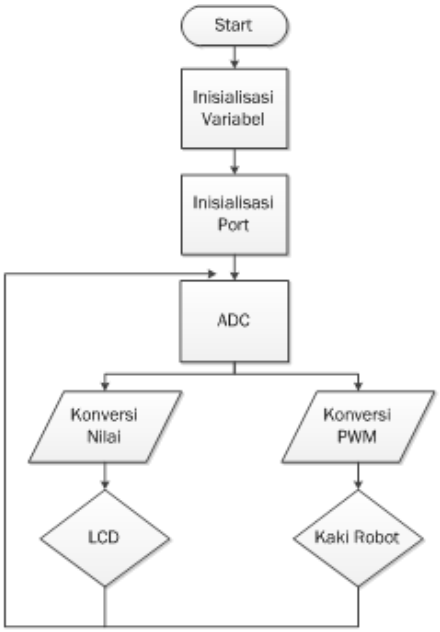
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Mikrokontroler adalah suatu chip berupa IC (*Integrated Circuit*) yang dapat menerima sinyal masukan, mengolahnya dan memberikan sinyal keluaran sesuai dengan program yang diisikan ke dalamnya. Sinyal input mikrokontroler berasal dari sensor yang merupakan informasi dari lingkungan sedangkan sinyal keluaran ditujukan kepada aktuator yang dapat memberikan efek ke lingkungan. Jadi secara sederhana mikrokontroler dapat diibaratkan sebagai otak dari suatu perangkat/produk yang mempu berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya[3].



Gambar 8. ATmega8535

Mikrokontrol yang digunakan adalah ATMEGA8535 dengan input yang berasal dari sinyal otot yang telah dikuatkan, disearahkan dan difilter yang kemudian diteruskan ke mikrokontrol sebagai ADC. Kemudian sinyal tersebut diproses oleh mikrokontrol dengan program untuk ditampilkan di LCD dan untuk menggerakkan motor servo.



Gambar 9. Diagram Alur Program

3.6 Motor Servo

Motor Servo ini berfungsi sebagai halnya sendi pada kaki robot. Motor servo ini dapat berputar dari sudut –90° hingga 90°. Cara kerja motor servo adalah dengan memberikan sinyal PWM pada data motor servo[12]. Sinyal PWM didapatkan dengan mengatur program pada mikrokontrol, dan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation)* ini disesuaikan dengan input masukan sinyal otot agar motor DC dapat bergerak sesuai dengan tingkat ketegangan sinyal otot.



Gambar 10. Motor Servo

4 Hasil Pengujian

Pada pengujian ini, komponen yang digunakan adalah elektroda sebagai pembaca sinyal otot, rangkaian EMG sebagai penguat sinyal

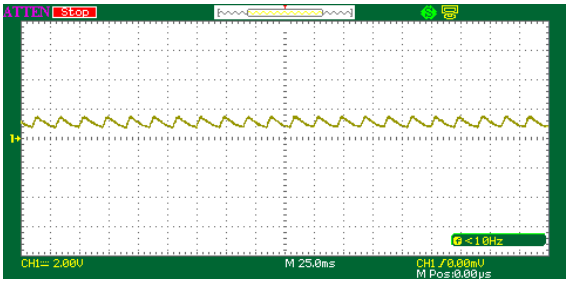
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

otot, rangkaian penguat inverting sebagai penguat sinyal otot, buffer sebagai penyetabil sinyal, rangkaian envelope detector sebagai penyearah dan penyaring sinyal agar dapat dibaca oleh mikrokontroler sebagai ADC untuk menggerakkan kaki servo dan untuk menampilkan pada LCD.

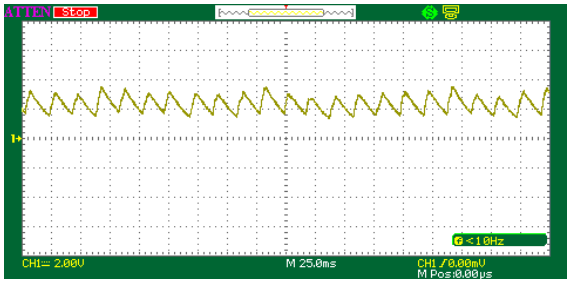
Pengujian dilakukan pada tiga titik otot yaitu otot *rectus femoris* yang terletak pada paha bagian atas, otot *biceps femoris* yang terletak pada paha bagian bawah, dan otot *gastrocnemius* yang terletak pada bagian betis.

a. Hasil Pengujian Otot *Rectus Femoris*

Pada pengujian otot *rectus femoris* ketika sedang rileks, didapatkan tegangan keluaran rata – rata sebesar 1 – 1,2 volt DC. Pada fase ini, kaki robot bagian paha berada dalam posisi berdiri tegak, dan posisi servo pertama berada pada posisi -90˚. Ditunjukkan oleh gambar 10.



Gambar 11. Hasil Keluaran Tegangan Sinyal Otot *Rectus Femoris* ketika Rileks



Gambar 12. Hasil Keluaran Tegangan Sinyal Otot *Rectus Femoris* ketika Tegang

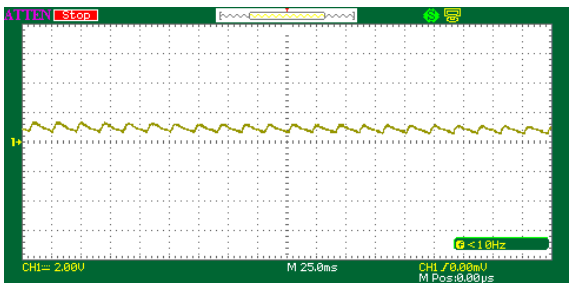
Pada gambar 11 dan 12 menunjukkan hasil pengujian otot *rectus femoris* ketika sedang kontraksi, didapatkan tegangan keluaran rata – rata sebesar 3 – 3,4 volt DC. Pada fase ini, kaki robot bagian paha berada dalam posisi mengangkat, dan posisi servo pertama pada posisi 0˚.



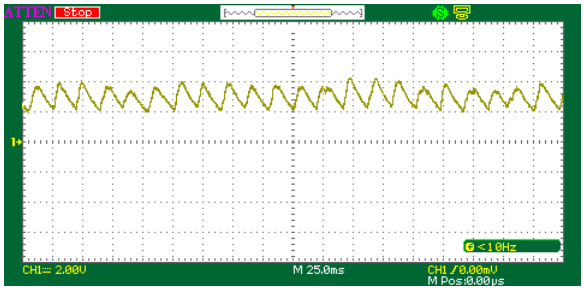
Gambar 13. Hasil Gerakan Kaki Servo ketika Otot *Rectus Femoris* Kontraksi

b. Hasil Pengujian Otot *Biceps Femoris*

Pada pengujian otot *biceps femoris* ketika sedang rileks, didapatkan tegangan keluaran rata – rata sebesar 0.9 – 1.1 volt DC. Pada fase ini, kaki robot bagian betis berada dalam posisi berdiri tegak, dan posisi servo kedua berada pada posisi 0 ˚. Ditunjukkan oleh gambar 13.

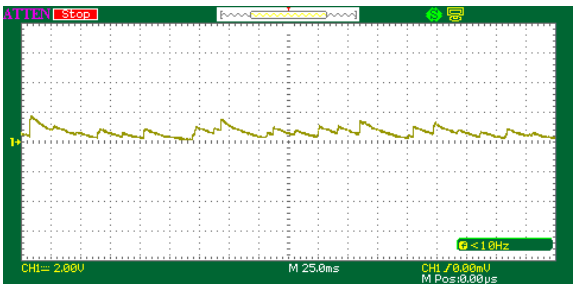


Gambar 14. Hasil Keluaran Tegangan Sinyal Otot *Biceps Femoris* ketika Rileks

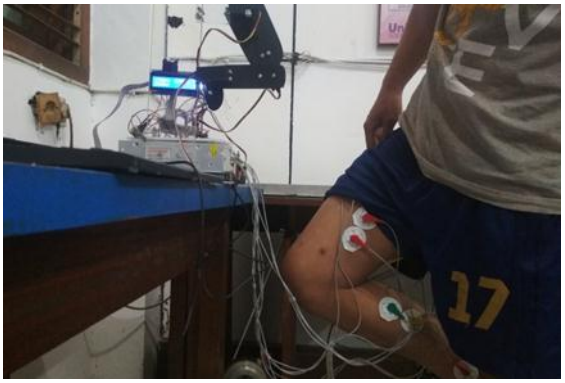


(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Gambar 15. Hasil Keluaran Tegangan Sinyal Otot *Biceps Femoris* ketika Kontraksi



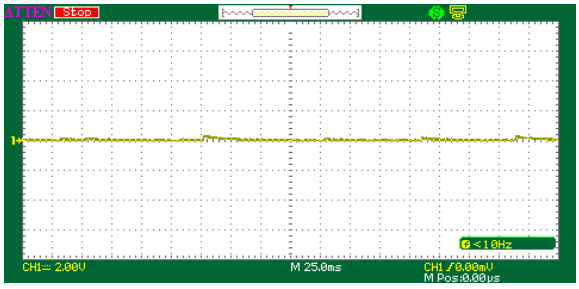
Pada gambar 14 dan 15 menunjukkan hasil pengujian otot *biceps femoris* ketika sedang kontraksi, didapatkan tegangan keluaran rata – rata sebesar 3,2 – 3,5 volt DC. Pada fase ini, kaki robot bagian betis berada dalam posisi mengangkat, dan posisi servo kedua berada pada posisi 45˚.



Gambar 16. Hasil Gerakan Kaki Robot ketika Otot *Biceps Femoris* Kontraksi

c. Hasil Pengujian Otot *Gastrocnemius*

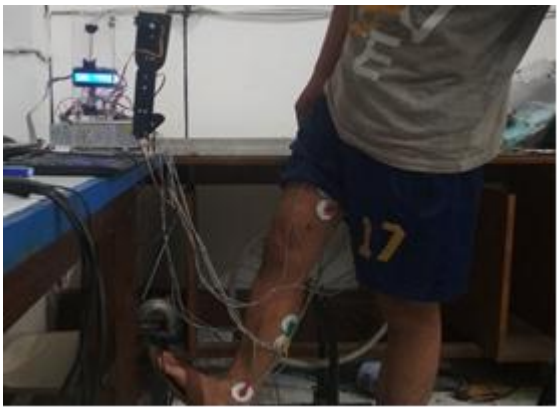
Pada pengujian otot *gastrocnemius* ketika sedang rileks, didapatkan tegangan keluaran rata – rata sebesar 0 – 0.3 volt DC. Pada fase ini, kaki robot bagian telapak berada dalam posisi tegak lurus dengan betis layaknya kaki seseorang yang sedang berdiri tegak, dan posisi servo ketiga pada posisi 0˚. Ditunjukkan oleh gambar 16.



Gambar 17. Hasil Keluaran Tegangan Sinyal Otot *Gastrocnemius* ketika Rileks

Gambar 18. Hasil Keluaran Tegangan Sinyal Otot *Gastrocnemius* ketika Kontraksi

Pada gambar 17 dan 18 menunjukkan hasil pengujian otot *gastrocnemius* ketika sedang tegang, didapatkan tegangan keluaran rata – rata sebesar 1,7 – 1,9 volt DC. Pada fase ini, kaki robot bagian telapak berada dalam posisi mengangkatm dan posisi servo ketiga pada posisi sekitar 75˚.



Gambar 19. Hasil Gerakan Kaki Robot ketika Sinyal Otot *Gastrocnemius* Kontraksi

Gambar 19 menunjukkan gerakan kaki robot ketika semua otot mengalami kontraksi, dan kaki robot bergerak sama dengan gerakan kaki.



Gambar 20. Hasil Gerakan Kaki Robot ketika Sinyal Otot *Rectus Femoris, Biceps Femoris* dan *Gastrocnemius* Kontraksi

Tabel Hasil Pengukuran Sinyal Otot

No	Nama Otot	Hasil
1	*Rectus Femoris*	±3,2 Volt
2	*Biceps Femoris*	±3,3 Volt
3	Gastrocnemius	±1,8 Volt

5 Daftar Pustaka

[1] Syed Faiz Ahmed, Athar Ali, M. Kamran Joyo, M. Rehan, Fahad A. Siddiqui, Jawad A. Bhatti, Aatika Liaquat, "Mobility Assistance Robot for disabled persons using Electromyography(EMG) Sensor", IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), 2018.

[2] Yeong Jae Kim, Hyun Seon Lee, Seul Jung, "Line Tracking Control of a Mobile Robot Using EMG Signals from Human Hand Gestures", The 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2015), 2015.

[3] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Multi Channel Electromyography (EMG) Signal", Proc. of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.

[4] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Multi Channel Electromyography (EMG) Signal Acqiusition using Microcontroller with Rectifier", Proc. of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.

[5] Ricky Fajar Adiputra, Florentinus Budi Setiawan, "ROBOT ARM CONTROLLED BY MUSCLE TENSION BASED ON ELECTROMYOGRAPHY AND PIC18F4550", Proc. Of 2016 3rd Int. Conf. on Information Tech., Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2016.

[6] Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Electromyography (EM G) Signal Compression using Sinusoidal Segmental Model", Proc. of 20l5 2nd Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2015.

[7] Analog Devices. 2003. "Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier". One Technology Way.

[8] Kevin Eka Pramudita, F.Budi Setiawan, Siswanto, "Interface and display of Electromyography signal wireless measurements", 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014.

[9] Wang Yu, Liu Donghui, Hong Wenxue, "A Measurement of Acupoints Bioimpedance based on PCI8335B", International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010), 2010.

[10] Mayuresh Sardar, "Programmable OP-AMP Configurations", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)", 2016.

[11] Yohanes Oxa Wijaya, Florentinus Budi Setiawan, Siswanto, "Desain dan Implementasi Alat Pengukur Ketegangan Otot", Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS), 2014..

[12] CHEN Xian-Feng, HE Ya-fei, SHEN Xin-di, Chen Qingzhang, "Development of A Pulse-Type Servo Drive System and the Appication on a 3-Axises Robot", 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 2010.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Peningkatan Peran Riset Iptek dan Pendidikan Tinggi untuk Merespon Revolusi Industri 4.0

[1] Hary Soebagyo

[1]Afiliasi Penulis Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

hary.soebagyo@bppt.go.id

Abstrak

Perkembangan dewasa ini menunjukkan semakin cepatnya perubahan dalam segala bidang kehidupan, semua itu diakibatkan efek globalisasi serta perkembangan teknologi informasi yang sangat akseleratif. Negara-negara dengan tingkat kapabilitas teknologi informasi yang tinggi akan memiliki daya inovasi dan daya saing yang sangat besar yang sanggup menentukan arah perkembangan ekonomi dalam skala global. Dengan kondisi internasional yang telah berubah sedemikian cepat dan dengan hadirnya revolusi industry 4.0 yang ditandai dengan adanya kemajuan teknologi AI (Artificial Intelegence), ICT (Information Communication Technology), IoT (Internet of Things), Biotechnology dan Driverless Vehicles, maka sudah saatnya proses transformasi bangsa ini segera dapat direspon dan dilaksanakan melalui kebijakan strategis nasional dalam bidang iptek dan pendidikan tinggi. Hal pokok dalam mewujudkan Indonesia 4.0 adalah mempercepat pembangunan iptek nasional. Sementara itu pendidikan tinggi sebagai agen utama pembangunan iptek nasional dituntut kemampuannya untuk membudayakan rasa ingin tahu, budaya belajar yang tinggi dan memberikan apresiasi yang tinggi pada kegiatan riset iptek, serta kreatif dan inovatif dalam merespon kehadiran revolusi industry 4.0. Oleh karena itu peran riset iptek dan pendidikan tinggi harus segera ditingkatkan dengan kebijakan pengarusutamaan (mainstreaming) riset iptek nasional melalui perencanaan yang terintegrasi secara nyata dan konsisten dengan dunia industry.

Kata Kunci:riset; pendidikan tinggi; Indonesia 4.0, kebijakan strategis nasional, pengarusutamaan iptek, industri

1 Pendahuluan

1.1 Riset dan Inovasi Sebagai Kunci Sukses

Tak dapat dipungkiri lagi bahwa dampak globalisasi yang ada saat ini telah mempengaruhi segala sendi peri kehidupan masyarakat dunia. Terlebih lagi dengan kemajuan pesat dalam teknologi informasi dan komunikasi yang menyebabkan tata kelola dan perilaku berbangsa dan bernegara yang sudah sedemikian kompleks dan berbeda dari era sebelumnya. Bisnis dan ekonomi, politik, sosial budaya, serta tingkat kemakmuran bangsa juga berubah seiring perkembangan teknologi di era globalisasi ini.

Sementara itu, tingkat kemakmuran bangsa juga sangat tergantung dari daya saing yang dimilikinya. Daya saing bangs itu sendiri juga tergantung pada perkembangan teknologi yang mereka kuasai. Bila diliha dari data World Economic Forum (WEF) [10] tentang Human Development Index (HDI) menempatkan Indonesia di posisi 116 dari 189 negara yang disurvey. Sedangkan dari indeks daya saingnya, Indonesia berada di peringkat ke 45 dari 140 negara yang disurvey.Data itu juga menempatkan Amerika Serikat (AS) di urutan pertama dengan skor 85,6 dan selanjutnya diikuti oleh Singapura dengan skor 83,5, berikutnya Jerman (82,8), Swiss (82,6) dan Jepang (82,5). Sementara itu, untuk peringkat negara-negara ASEAN, setelah Singapura berada di peringkat atas, maka Malaysia berada di urutan kedua tertinggi dengan peringkat 25 dengan skor 74,5. Berikutnya adalah Thailand di posisi 38 dengan skor 67,5, diikuti Indonesia di urutan 45 dengan skor (64,9). Selanjutnya setelah itu adalah Filipina (56), Brune Darussalam (62), Vietnam (77), Kamboja (110) dan Laos (122). Terdapat kekurangan dan kelemahan yang terjadi pada negara-negara berkembang, yaitu karena adanya kelemahan di sektor infrastruktur, kekurangan dalam penerapan teknologi informasi dan komunikasi, kurangnya pendidikan yang memadai, serta kekurangan dalam penguasaan teknologi dan inovasi. Bila dilihat dari indeks kemampuan pemanfatan teknologi (Technology Achievement Index) yang dibuat oleh UNDP, Indonesia berada pada urutan 60 dari 72 negara dengan nilai TAI 0,211. Selanjutnya jika dilihat dari data Global Innovation Index [11] yang dikeluarkan tahun 2018, Indonesia berada pada peringkat 85 dari 126 negara yang disurvey, dimana nomor 1 adalah Swis, berikutnya Belanda dan Swedia. Sementara itu ditingkat ASEAN peringkat berturut turut adalah Singapora (5), Malaysia (35), Thailand (44), Vietnam (45), Filipina (73) dan Indonesiaberada diposisi (85). Dari gambaran diatas, yaitu dari humandevelopment index (HDI) dan faktor daya saing, indeks teknologi dan juga

indeks inovasinya, terlihat bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi (Iptek) dan inovasi merupakan salah satu faktor

penting yang menentukan daya saing bangsa di era global ini, Terlihat pula bahwa negara-negara dengan tingkat kapabilitas iptek dan inovasiyang tinggi negara-negara tersebut makmur dan mempunyai daya saing yang sangat besar serta menjadi leading dibanding negara-negara lain yang kemampuan iptek dan inovasinya lebih rendah. Negara-negara tersebut sukses memakmurkan rakyatnya berkat keunggulan iptek dan inovasinya sehingga masuk akal kalau disebutkan bahwa di era globalisasi saat ini iptek dan inovasi telah menjadi medan perang baru dari banyak bangsabangsa di dunia ini.

1.2 Modal Sosial

Banyak yang menyebutkan bahwa abad 21 ini sebagai jaman dimana masyarakat telah cukup banyak mempunyai pengetahuan, dimana pengetahuan akan menjadi kekuatan pokok untuk memenangkan percaturan global, terutama di bidang ekonomi dan bisnis. Sementara itu, akibat kemajuan teknologi di negara-negara maju, kiniteknologi produksi telah mencapai tahapan yang tertinggi, mesin–mesin produksi berjalan secara efektif dan efisien sesuai dengan suatu standar tertentu yang sudah mapan. Yang dibutuhkan oleh mereka adalah penciptaan produk baru, imana hal ini akan membutuhkan kreasi dan inovasi secara berkelanjutan. Kenyataanya, perubahan teknologi dan novasi itu sebenarnya sangatlah kompleks, dimana harus melibatkan berbagai aktor seperti produsen-konsumen, berbagai unit bisnis seperti unit riset dan pengembangan dan pemasaran, dan berbagai jenis pengetahuan yang lain seperti organisasi dan manajemen. Sementara itu, kemajuan dalam penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi melalui transfer pengetahuan di masyarakat. Hal ini penting bagi dunia pendidikan, terutama untuk pendidikan tinggi. Hal itu sangat jelas karena kemajuan pendidikan di Indonesia berhubungan erat dengan peradaban bangsa, yang pada gilirannya dapat berguna untuk mengatasi masalah sosial, budaya, ekonomi dan politik bangsa. Kini di era globalisasi,kekayaan sumber daya alam sudah bukan lagi merupakan suatu penentu keberhasilan suatu bangsa, namun penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi dan inovasi terbukti dapat memakmurkan bangsa iu sendiri. Oleh karenanya perlu segera secara sungguh-sungguh dalam membangun masyarakat dengan basis pengetahuan yang memadai untuk menghasilkan atau menciptakan suatu produk masyarakat yang berkemampuan dalam menguasai iptek dan inovasi.

Sementara itu, berkaitan dengan hal diatas, perlu pula disadari bahwa peran penting pendidikan tinggi atau universitas di Indonesia sangat mempengaruhi dan menjadi ujung tombak bagi pembangunan peradaban, meski pada proses penerapannya tidaklah mudah dalam menghadapitantangan di era globalisasi. Perlu political will baik dari Pemerintah maupun legislative untuk peningkatan sarpras pendidikan, peningkatan kompetensi pendidik, memenuhi kebutuhan masyarakta dan industry, dan lain-lain. Kini saatnya ada perubahan yang mendasar dengan mengeluarkan kebijakan-kebijakan yang sesuai kebutuhan. Pendidikan tinggi di era masyarakat berbasis pengetahuan harus digunakan untuk membangun keunggulan guna menopang produktivitas dan daya saing sebuah bangsa. Diharapkan perguruan tinggi dapat menjadi lebih unggul sesuai predikatnya masingmasing. Keungulan tersebut perlutercermin di tiga bidang utama yang disebut tridarma perguruan tinggi, yaitu enelitian,pengajaran, pengabdian masyarakat. ridarma perguruan tinggi tersebut tidak terlepas dari kegiatan riset Iptek dan inovasi karena itu adalah merupakan basis untuk kemajuan. Dengan demikian maka akan tercipta kemajuan dan perkembangan pendidikan tinggi yang lebih kreatif, inovatif dan berkelanjutan.

Selanjutnya, untuk menjadi lebih maju dan siap menghadapi ra evolusi industry 4, mau atau tidak au pendidikan di universitas perlu dilengkapi pula dengan apa yang disebut enterpreunership. endidikan di perguruan tinggi yang baik adalah yang lebih mengarah kepada riset, inovasi dan entrepreneurial. Dalam hal ini entrepreneurial di Indonesia harus bertumpu pada upaya penguatan manajemen, membangun jaringan dengan pasar secara luas, sumber pendanaan, stimulasi tradisi akademik dan integrasi tradisi enterepreneurial, serta membangun jaringan dengan universitas dan lembaga riset di luar negeri. Masyarakat yang punya pengetahuan dasar dalam bidang iptek, inovasi dan enterpreunership ini merupakan modal social yang dibutuhkan untuk pembangunan nasional menuju negara maju dan makmur di masa mendatang.

2 Riset Iptek, Pendidikan Tinggi dan Industri 4.0

Sulit dibantah lagi bahwa peran riset iptek dan pendidikan tinggi sangat strategis dalam peningkatan daya saing dan menghadapi era

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

revolusi industry 4.0. Untuk merespon dan memainkan peran strategis tersebut perlu meninjau permasalahan dan kendala serta bagaimana berstrategi untuk mewujudkan Indonesia 4.0 yang ditandai dengan target otomasi pada prioritas dalam 5 sektor/bidang strategis (Food & Beverage, Textile & Apperel, Automotive, Electronics, Chemical) [5].

2.1 Pembangunan Iptek Nasional

Beberapa permasalahan [3] yang terkait dengan pembangunan iptek dan pendidikan tinggi pada kondisi saat ini, yaitu lemahnya daya saing bangsa yang terkait dengan kemampuan iptek dapat ditunjukkan oleh sejumlah indikator yang harus diperhatikan, antara lain: Masih rendahnya kemampuan iptek nasional.Dalam indeks daya saing pertumbuhan, teknologi dan inovasi merupakan salah satu parameter utama selain parameter ekonomi makro, mikro dan institusi publik. Rendahnya kemampuan iptek nasional juga dapat dilihat dari jumlah paten penemuan baru dalam negeri serta masih rendahnya karya tulis ilmiah yang dipublikasikan di jurnal Internasional, meskipun akhir-akhir ini karya tulis tersebut sudah mulai menapak naik di level ASEAN.

Rendahnya kontribusi iptek nasional di sektor produksi. Hal ini antara lain ditunjukkan oleh kurangnya efisiensi dan rendahnya produktivitas, serta minimnya kandungan teknologi dalam kegiatan ekspor. TKDN dari hasil produksi masih harus didorong terus menerus melalui berbagia kebijakan.

Masih terbatasnya sumber daya iptek . Ini tercermin dari relatif rendahnya kualitas SDM dan kesenjangan tingkat pendidikan di bidang iptek. Jumlah insinyur dan doctor dalam bidang iptek masih perlu ditingkatkan terutama dalam bidangbidang yang menjadi misi dari Indonesia 4.0.

Belum berkembangnya budaya iptek di kalangan masyarakat. Budaya bangsa secara umum masih belum mencerminkan nilai-nilai iptek yang mempunyai penalaran obyektif, rasional, maju, unggul dan mandiri. Perlu ada upaya melalui diseminasi iptek ke masyarakat menggunakan kemampuan sarana ICT dan memanfaatkan portal yang ada baik di Pemerintah, Universitas maupun Dunia Usaha dan Industri.

Belum optimalnya peran iptek dalam mengatasi degradasi fungsi lingkungan hidup. Kemajuan iptek berakibat pula pada munculnya permasalahan lingkungan. Hal tersebut antara lain disebabkan oleh belum berkembangnya sistem manajemen dan teknologi pelestarian fungsi lingkungan hidup. Tentu masalah lingkungan hidup ini harus menjadi perhatian penting terutama untuk meningkatakan kesadaran masyarakat akan isu lingkungan yang telah menjadi isu global.

Masih lemahnya peran iptek dalam mengantisipasidan menanggulangi bencana alam. Wilayah Indonesia dalam konteks ilmu kebumian global merupakan wilayah yang rawan bencana. Banyaknya korban akibat bencana alam merupakan indikator bahwa pembangunan Indonesia banyak yang belum berwawasan bencana. Kemampuan iptek nasional belum optimal dalam memberikan antisipasi dan solusi strategis terhadap berbagai permasalahan bencana alam seperti pemanasan global, anomali iklim, kebakaran hutan, banjir, longsor, gempa bumi dan tsunami. Riset untuk mitigasi bencana harus ditingkatkan dengan berbagai kebijakan terutama untuk peningkatan anggaran riset kebencanaan.

Sementara itu, selain hal yang telah disebutkan diatas, hal lain yang juga perlu dicermati adalah masalah budaya penelitian terutama riset dalam bidang iptek. Budaya penelitian sebagai pondasi kelembagaan riset iptek terkait erat dengan dunia pendidikan tinggi. Budaya dan rasa ingin tahu, budaya belajar dan apresiasi yang tinggi pada pencapaian ilmiah jangan sampai lemah dan terus menurun. Perlu solusi mengatasinya dan menggalakkan masyarakat gemar melakukan riset iptek.

Manajemen penelitian juga perlu menjadi perhatian mengingat hal ini sangat penting dalam penguatan dan eksistensi lembaga-lembagapenelitian dan pengembangan nasional. Lembaga penelitian telah banyak dilengkapi dengan sarana dan prasarana laboratorium, bahkan banyak yang berkualitas tinggi. Namun tidak menutup kemungkinan laboratorium ini akan gagal menjadi “rumah akademik” bagi peneliti, dosen ataupun mahasiswa, untuk mengenali beragam persoalan teknologi, persoalan masyarakat dan persoalan yang dihadapi industri.

Sehubungan dengan pentingnya kualitas SDM, ilmu pengetahuan dan teknologi menjadi semakin lebih berperan, karena hanya dengan iptek semua perubahan yang terjadi dapat disikapi dengan tepat. Ini berarti menjadikan pendidikan memainkan salah satu peran penting dalam mempersiapkan SDM yang berkualitas dan kompetitif. Ketatnya kompetisi secara global khususnya dalam bidang ekonomi, telah menjadikan SDM yang berkualitas dengan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

2.2 Industri 4.0

Perkembangan iptek kedepan perlu dilihat untuk menjadi bahan acuan dalam perencanaan riset iptek nasional. Sementara Making Indonesia 4.0 dapat menjadi semangat dan untuk memicu perkembangan teknologi nasional dengan penetapan prioritas bidang yang harus dapat dicapai. Industri 4.0 adalah adalah sebuah kondisi pada abad ke-21 ketika terjadi perubahan besarbesaran di berbagai bidang lewat perpaduan teknologi yang mengurangi sekat-sekat antara dunia fisik, digital, dan biologi. Revolusi ini ditandai dengan kemajuan teknologi dalam berbagai bidang, khususnya kecerdasan buatan, robot, blockchain, teknologi nano, komputer kuantum, bioteknologi, Internet of Things, percetakan 3D, dan kendaraan tanpa awak.



Gambar 1: Lima Bidang Prioritas Industri 4.0

Sebagaimana revolusi terdahulu, revolusi industri 4.0 berpotensi meningkatkan kualitas hidup masyarakat di seluruh dunia. Namun, kemajuan di bidang otomatisasi dan kecerdasan buatan telah menimbulkan kekhawatiran bahwa mesin-mesin itu suatu hari akan mengambil alih pekerjaan manusia. Selain itu, revolusi-revolusi sebelumnya masih dapat menghasilkan lapangan kerja baru untuk menggantikan pekerjaan yang diambil-aliholeh mesin, sementara kali ini kemajuan kecerdasan buatan dan otomatisasi dapat menggantikan tenaga kerja manusia secara keseluruhan.

Dengan kondisi internasional yang telah berubah sedemikian cepat dan dengan hadirnya revolusi industry 4.0 maka sudah saatnya proses transformasi bangsa ini untuk menjadi negara maju segera dapat direspon dan dilaksanakan melalui peningkatan dan penguaatan risetnasional dalam bidang iptek dan pendidikan tinggi yang selaras dengan semangat revolusi industri4.0 tersebut. Pendidikan tinggi sebagai agen utama pembangunan iptek nasional dituntut kemampuannya untuk menggiatkan riset iptek dan mendorong kreatifitas serta membangun inovasi yang sesuai dengan bidang-bidang prioritas Indonesia 4.0. Gambar 1 menunjukkan 5 bidang yang menjadi prioritas pada "Making Indonesia 4.0".Revolusi Industri 4.0 juga memberikan implikasi potensial terhadap dunia industry [5], antara lain:

- *Robot Assisted production;*
- *Predictive Maintenance;*
- *Additive manufacturing of complex parts;*
- *Machines as a service;*
- *Big data drive quality control;*
- *Production line simulation;*
- *Smart supply network;*

Sedangkan impaknya adalah:

1. Terhadap Individu: identitas, moral, etika dan hubungan kemanusiaan;.
2. Terhadap Kelompok masyarakat: inequality dan komunitasnya ;
3. Terhadap Nasional/global: Pemerintah, propinsi, kabupaten dan kota, serta keamanan internasional
4. Terhadap Ekonomi: pertumbuhan, penuaan, produktifitas, pekerjaan, substitusi tenaga kerja, sifat pekerjaan
5. Terhadap Bisnis: ekspetasi konsumen, produk yang disempurnakan oleh data, inovasi kolaborasi, model dengan operasi yang baru.

Keterampilan atau skill SDM yang relevan dalam rangka menyongsong revolusi ndustry 4.0 akan banyak berubah sesuai dengan tuntutan perkembangan industry, dimana perubahan-perubahan tersebut menurut Forum Ekonomi Dunia diprediksi pada tahun 2020. Sepuluh skill teratas [6] yang relevan dengan revolusi industri 4.0 adalah:

1. Complex Problem Solving
2. Critical Thinking
3. Creativity
4. People Management
5. Coordinating with Others
6. Emotional Intelligence
7. Judgment and Decision Making
8. Service Orientation
9. Negotiation
10. Cognitive Flexibility

Susunan atau building blocks dari industry 4.0 dapat dilihat pada gambar 2.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 2: Building blocks of Industry 4.0

3 Menuju Indonesia 4.0

Hadirnya revolusi industry 4.0 memberikan inspirasi Pemerintah untuk segera menetapkan "Making Indonesia 4.0". Untuk menanggapi kebijakan Indonesia 4.0 ini perlu pertimbangan pembuatan kebijakan yang kondusif unttuk mewujudkan dengan langkah-langkah strategis memposisikan riset iptek ddan inovasi serta pendidikan tinggi.

3.1 Memposisikan Iptek Sebagai Politik Negara

Pada saat ini, abad 21 sering didengungdengungkan sebagai era masyarakat berbasis pengetahuan (Knowledge Based Society/KBS), dimana pengetahuan akan menjadi sumber daya utama untuk memenangkan percaturan global, terutama di bidang ekonomi. Sementara itu, di akhir abad 20 yang lalu, telah terjadi pergeseran paradigma di bidang ekonomi, yaitu dari"Technology Based Economy (TBE)" menjadi "Knowledge Based Economy (KBE)"[3].

Politik pembangunan nasional selama ini amat tergantung pada kekayaan sumber alam, baik yang dapat diperbaharui, ataupun tidak. Akibatnya, pertumbuhan ekonomi ditumpukan pada sektor primer yaitu pertanian, kehutanan dan pertambangan yang nilai tambahnya rendah,

Industri pesawat terbang, industri kereta api, industri perkakas dan industri perkapalan nasional sebagai industri kreatif yang menghasilkan produkproduk padat teknologi dengan nilai tambah tinggi tidak memperoleh dukungan kebijakan industri yang memadai, terutama dalam mengembangan klaster industri yang berdaya saing tinggi.

Iklim yang tidak kondusif bagi kegiatan riset dan pengembangan (R&D) dan kegiatan kreatif ini sekaligus merupakan sejenis "lonceng kematian" bagi kelas kreatif seperti para peneliti dan perekayasa, insinyur, arsitek, artis dan para profesional lainnya.

3.2 Pengarusutamaan Riset dan Pendidikan Tinggi

Meski kegiatan riset sudah lama dilakukan baik di lembaga-lembaga riset Pemerintah dan universitas, bahkan berbagai lembaga atau organisasi keilmuan juga sudah dibentuk sejak lama, namun potret riset iptek masih saja belum menampakkan sebagaimana diharapkan oleh masyarakat. Kontribusi dan peran mereka masih menjadi pertanyaan bagi masyarakat terutama kontribusinya terhadap perekonomian nasional. Riset dan pengembangan yang dilakukan oleh lembaga riset dan universitas belum banyak yan g berorientasi pada kebutuhan masyarakat. Umumnya riset lebih banyak dilakukan menurut keinginan para penelitinya. Riset-riset yang dilakukan terkadang bersifat parsial dan kurang dilakukan secara menyeluruh untuk menyelesaikan suatu masalah yang besar danyang lebih berdampak bagi masyarakat.

Sementara itu, perguruan tinggi yang diharapkan menjadi sebuah pusat keunggulan (centre of excellence) belum focus pada riset-riset besar yang berdampak nasional. Umumnya riset yang dilakukan adalah riset untuk penguatan SDM atau riset yang dilakukan untuk penguatan keilmuan. Tri Dharma Perguruan Tinggi belum mengedepankan riset namun lebih banyak porsinya untuk kegiatan pengajaran.

Sinyal lemah inilah yang ditangkap oleh industri sebagai ketidaksiapan lembaga riset dan universitas dalam mendukung secara nyata dalam kegiatan industri. Namun dalam konteks pengembangan SINas (Sistem Inovasi Nasional), masih adanya kesenjangan ini juga dikarenakan masih belum tumbuhnya lembaga intermediasi yang menjadi "jembatan penghubung" antara pegiat riset dengan industri dan dunia usaha sebagai penggunanya.

Perguruan tinggi di Indonesia, bahkan yang terbaik sekalipun, masih belum menjadikan riset sebagai mesin kedua yang sama pentingnya setelah mesin pertama pendidikan, mainstreaming riset masih belum diputuskan oleh universitas – universitas tersebut. Seharusnya, perguruan-perguruan tinggi ini menetapkan sebuah Program Utama Riset Universitas yang dirumuskan bersama-sama dengan para stakeholders penelitian

Melihat kondisi kegiatan riset di lembaga-lembaga riset dan universitas saat ini, alangkah baiknya bila segera dilakukan terobosan dalam rangka

Making Indonesia 4.0 dengan melakukan pengarusutamaan riset iptek dengan melakukan integrasi kegiatan riset di universitas dengan industri.

4 Diskusi

Dari uraian diatas yang memperhitungkan hal tentang kondisi dan iklim riset iptek saat ini dan kesiapan perguruan tinggi menanggapi perubahansituasi global dengan hadirnya revolusi industry4.0 maka ada beberapa hal yang dapat menjadi perhatian kita guna merespon perkembangan tersebut dan mewujudkan Indonesia 4.0, yaitu:

1. Menyusun paket kebijakan untuk menjadikan iptek sebagai bagian dari politik negara melalui pengarusutamaan sinergi dan integrasi riset dan inovasi dari lembaga riset Pemerintah, Perguruan Tinggi, Industri;
2. Membangun strategi difusi dan diseminasi konten iptek dan materi pendidikan yang berpijak pada kekuatan bangsa dan sesuai bidang prioritas Indonesia 4.0 melalui media ICT terkini yang dapat diakses langsung oleh lapisan masyarakat
11. (industry, siswa dan mahasiswa ataupun umum).Diseminasi dengan konten seperti diatas dapat dilakukan melalui portal yg ada saat ini dan diperkuat pula denganpenugasan ke lembaga-lembaga pendidikan, jalur Pemerintah dan organisasi sosial kemasyarakatan.
3. Mendorong peningkatan kegiatan riset iptek di perguruan tinggi, mensinergikan dan mengintegrasikan kegiatan risetnya dengan klaster industri;
4. Mendorong sektor industri untuk melakukan inovasi sesuai misi dan semangat Indonesia 4.0 dengan memberikan stimulus dari Pemerintah berupa tax incentive dan research fundingbila mereka bekerjasama dengan universitas dan lembaga-lembaga riset.
5. Mendorong pengembangan industrikreatif serta mendorong tumbuhnya lembaga intermediasi yang dapat menjadi jembatan penghubung antara perisetdengan industry sebagai pengguna hasil
6. risetnya.

5 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima-kasih kami sampaikan kepada Pimpinan Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPPT yang telah memberi kesempatan dan membantu akomodasi keikutsertaan pada Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018 di Bandung.

6 Daftar Pustaka

[1] Kementerian Riset dan Teknologi, Undangundang Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2002 tentang Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan, dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Jakarta, 2002.
[2] Kementerian Riset dan Teknologi, Buku Putih Penelitian Pengembangan Penerapan Iptek 2005 – 2005, Jakarta, 2006;
[3] Kementerian Riset dan Teknologi, Jakstranas Pembangunan Nasional Iptek 2010 – 2014, Jakarta, 2010;
[4] Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Rencana Induk Riset Nasional (RIRN), Perpres Nomor 38 Tahun 2018, Jakarta, 2018.
[5] Kementerian Perindustrian, Making Indonesia 4.0, Jakarta, 2018.
[6] Djoko W. Karmiadji, Orasi Ilmiah Dies Natalis 36 Polsri Palembang, September 2018.
[7] Robert R. Schaller, Technology Roadmap : Implications for Innovation, Strategy, and Policy, The Institute of Public Policy, George Mason University Fairfax, VA, 26 March 1999.
[8] Schwartz, Peter. The Art of The Long View for Large Organization, Moscow, October 2011.
[9] William N Dunn, Pengantar Analisis Kebijakan Publik, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 1998.
[10] World Economic Forum (WEF), The Global Competitiveness Report 2017–2018, ISBN-13: 978-1-944835-11-8, 2017;
[11] World Intellectual Property Organization (WIPO), Global Innovation Index 2018: Energizing The World With Innovation, ISBN 979-10-95870-09-8, 2018.

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2018
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2018
(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Automated Guided Vehicle (AGV) Pengikut Garis Menggunakan Roda *Mecanum* Dengan Kendali PID Adaptif Terinterpolasi

[1,2]Justiadi*), [1]Jumaddil Hair & [2]Yusdianto

[1,2,3] Politeknik Industri Logam Morowali

[1] justiadi.hatta@gmail.com, [2] joemadil.hair@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancang bangun *Automated Guided Vehicle* (AGV)menggunakan roda *omni-directional.* Sistem AGV dipandu oleh *path guidance* dalam bernavigasi. Penelitian ini bersifat kuantitatif. Roda *omni-directional* tipe *mecanum* dipasang 4 buah pada AGV. Masing-masing roda dikendalikan oleh motor DC sehingga AGV mampu bergerak ke segala arah secara *independent*. Sistem *path guidance* menggunakan sensor garis yang membaca garis putih untuk memandu AGV dalam melakukan proses *tools handling* dari satu stasiun ke stasiun yang lain. Kendali PID Adaptif terinterpolasi (*Interpolated Adaptive* PID) digunakan untuk menjaga kestabilan AGV mengikuti garis. Kendali PID ini adaptif karena nilai konstanta PID dipengaruhi oleh besarnya *setpoint* kecepatan AGV. Fungsi stasiunadalah sebagai tempat menyimpan dan mengambil *toolbox.*Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 4 roda *mecanum* dapat diterapkan pada AGV dalam melakukan *tools handling*. Kendali PID Adaptif terinterpolasi efektif digunakan untuk memandu AGV mengikuti garis dengan kecepatan (0.5 – 1.8) m/s.

Kata Kunci: AGV, mecanum, PID Adaptif terinterpolasi

1 Pendahuluan

Dampak dari revolusi industri 4.0 menciptakan pergeseran konsep di setiap sektor yang terkait. Sejarah menunjukkan, di tengah setiap revolusi muncul kesempatan baru (BPPI). Seperti disampaikan oleh Klaus Schwab (*World Economic Forum*)bahwa revolusi industri 4.0 ditandai dengan munculnya super komputer, robot cerdas, kendaraan tanpa pengemudi, rekayasa genetik dan perkembangan *neurotechnology* yang memungkinkan manusia untuk memaksimalkan fungsi otak.

Pada industri manufaktur, terdapat *workshop* perawatan dan perbaikan. Bahkan dalam *workshop* tersebut dilakukan pembuatan komponen. Di dalam *workshop* terdapat banyak mesin kerja seperti mesin bubut, mesin bor, mesin las dan lain-lain yang dioperasikan oleh pekerja *workshop.*

Bagian penunjang kegiatan perawatan dan perbaikan adalah proses *material handling* (pemindahan bahan atau alat/*tools*). Proses *material handling* ini dapat mencapai 50% - 70% dari kegiatan produksi (Apple). Informasi ini memberikan gambaran bahwa kegiatan pada *workshop* perawatan dan perbaikan membutuhkan banyak pergerakan, terutama proses *material handling* sehingga penting adanya perancangan sistem *material handling.* Sekaligus untuk menjawab tantangan industri 4.0, maka proses *material handling* harus fleksibel (Wicaksono & Nilkhamhang).

Material handling umumnya dilakukan secara manual atau menggunakan konveyor, robot tangan, *forklift,* dan *Automated Guided Vehicles* (AGV). AGV lebih unggul dibandingkan yang lain dalam hal efesiensi dan fleksibilitas yang dimilikinya (Wicaksono & Nilkhamhang). Jika dibandingkan dengan menggunakan *forklift* yang dikendalikan secara manual, AGV mampu memberikan akurasi posisi yang lebih tinggi, operasi lebih lama, pengurangan biaya operasi dan perawatan, dan meningkatkan keamanan (Draganjac *et al.*,).

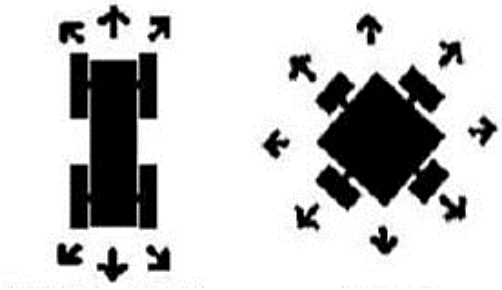
Jenis AGV yang banyak digunakan adalah AGV *line follower,* yaitu AGV yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain dengan *path guidance* yang terletak di sepanjang jalur AGV. *Path guidance* dapat berupagaris warna, jalur magnet dan laser (Piyare& Singh).Model navigasi*path guidance* ini biasanya digunakan untuk sistem AGV yang sederhana. Navigasinya dirancang untuk pola yang statik.

Secara umum desain AGV menggunakan roda standar yaitu roda dengan pergerakan *non-holonomic.*Pada model seperti ini, pergerakan tidak mampu dikontrol pada setiap tingkat kebebasan dalam bergerak secara *independent,* sehingga hanya mampu bergerak ke beberapa arah yang sudah ditentukan sebelumnya. Meskipun pada umumnya mampu menjangkau setiap lokasi dan orientasi ruang dua dimensi, namun memerlukan manuver dan perencanaan jalan yang rumit dan kompleks (Barbulescu *et al.,*). Di lain sisi,

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

perancangan sistem melewati penghalang merupakan tugas yang sulit (Kunet *al.*,).

Penggunaan roda *omni-directional* memungkinkan pada AGV dapat bergerak *independent* ke segala arah dengan mudah tanpa perlu reorientasi. Dengan demikian, AGV mampu melakukan manuver yang lebih tinggi dalam lingkungan yang dinamis (Barbulescu *et al.,*). Gambar 3 memperlihatkan arah pergerakan AGV jika menggunakan roda *omni-directional* dibandingkan dengan roda standar.



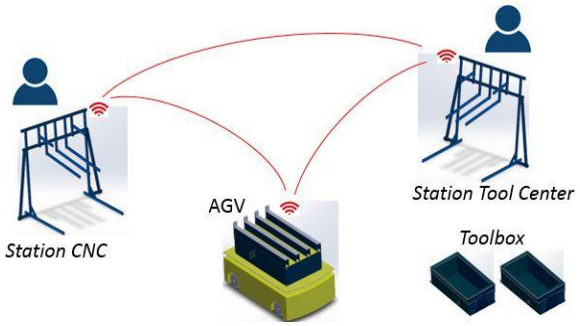
Gambar 1 perbandingan arah pergerakan Sistem AGV dengan roda standar dan roda *omni-directional*

Banyak penelitian sebelumnya yang meneliti tentang AGV. Dari segi roda penggerak, ada yang menggunakan roda standar (Piyare & Singh), roda *omni* (Barbalescu), dan roda *mecanum* (Tsai). Beberapa algoritma yang biasa digunakan dalam mengendalikan AGV dalam mengikuti garis adalah menggunakan algoritma *path tracking* (Piyare & Singh), kendali PID (Gomes), *fuzzy logic* (Nugraha), *cascade PID* (Barbalescu) dan lain sebagainya.

Berdasarkan pemaparan di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun *Automated Guided Vehicle (AGV)* menggunakan roda *mecanum.* Garis putih di lantai sebagai jalur dan AGV dilengkapi modul sensor garis yang memandu AGV melakukan *tools handling*. AGV menggunakan kendali PID adaptif dalam mengikuti garis.

2 Bahan dan Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menghasilkan rancang bangun AGV. AGV yang dirancang berfungsi sebagai pengantar *tools* dari *station tools centre* ke *station* mesinCNC atau sebaliknya. Penghubung antar *station* menggunakan jalur garis putih.



Gambar 2 gambaran umum perancangan sistem

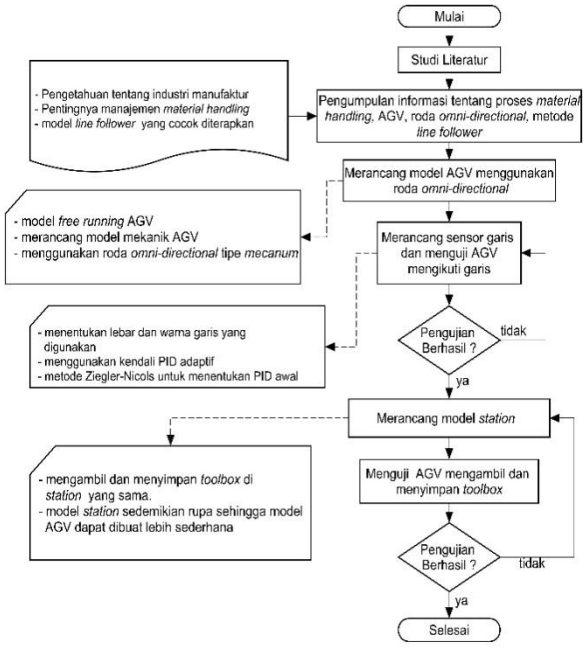
Komunikasi antara AGV dan *station* menggunakan *wireless Wifi.* Ketika proses peminjaman alat, operator *tools center* menyimpan *toolbox* yang berisi alat yang dipinjam di atas *station tools center* kemudian memencet tombol *station.* Informasi dikirim ke AGV dan AGV menuju *station* untuk mengambil *toolbox. Toolbox* kemudian diantar ke *station* CNC.Sebaliknya ketika proses pengembalian alat, operator CNCmenyimpan *toolbox* yang berisi alat yang dikembalikan di atas *station* CNC kemudian memencet tombol *station.* Informasi dikirim ke AGV dan AGV menuju *station* untuk mengambil *toolbox. Toolbox* kemudian diantar ke *station tools center*.

2.1 *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Proses berikut merupakan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan dan terurut dari tahapan awal sampai akhir.

- Mengumpulkan dan mempelajari literatur yang ada yang berhubungan dengan AGV dalam proses *material handling.*
- Perancangan AGV menggunakan roda *omni directional*
- Merancang kendali PID adaptif untuk mengikuti garis
- Menguji AGV mengikuti garis
- Merancang station tempat mengambil dan menyimpan toolbox.
- Menguji AGV mengambil dan menyimpan toolbox dictation

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)



Gambar 3 *flowchart* penelitian

2.2 Perancangan Mekanik

AGV yang dirancang berukuran (80 x 55 x 65)cm. Menggunakan 4 roda *omni-directional* tipe *mecanum* yang berdiameter 5" (152 mm). Rangka utama AGV menggunakan aluminium *hollow.* Penutup manggunakan pelat *AlCoPan (Alluminium Composit Panel).* AGV ini dirancang untuk mampu menahan beban maksimal 20 kg.



Gambar 4 model mekanik AGV

Pada bagian atas AGV terdapat empat aluminium *hollow*yang dipasang sejajar dengan jarak tertentu, sehingga ada celah antara aluminium yang satu dengan yang lainnya. Dengan cara yang sama di *station* terpasang tiga besi *hollow* yang juga sejajar satu sama lain dengan jarak tertentu dan juga memiliki celah antara besi. Sehingga pada proses pengambilan maupun penyimpanan *toolbox* pada *station,* aluminium pada bagian atas AGV dapat lewat di celah besi *station.* Selain itu pada sisi atas bagian belakang AGV terdapat pelat yang menonjol ke atas, fungsinya untuk mengait *toolbox* di *station.*

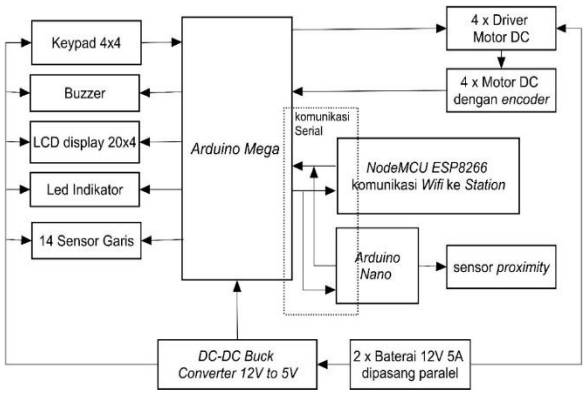


(a) (b)

Gambar 5 (a) mengambil*toolbox* dari *station,* (b) menyimpan *toolbox* ke *station.*

2.3 Perancangan Elektronika

Perancangan sistem kontrol AGV dibangun dari 4 bagian utama, yaitu bagian kendali, masukan, luaran, dan power suplai. Blok diagram sistem kontrol AGV memperlihatkan seluruh komponen-komponen elektronika yang digunakan untuk membuat AGV.



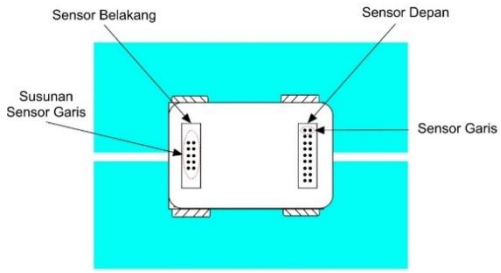
Gambar 6 blok diagram elektronika AGV

Modul kendali menggunakan *Arduino Mega* sebagai *master* dan *Arduino Nano* dan *ESP8266* sebagai *slave.* Motor DC menggunakan motor DC *planetary gearbox 45* (PG45) dengan modul BTS7960B sebagai *driver* motor. Sensor garis menggunakan rangkaian led (*transmitter*)dan fotodioda (*receiver*). Modul pelengkap AGV ditambahkan *keypad,* LCD dan led indikator. Rangkaian catu daya menggunakan AKI 12V dilengkapi dengan konverter DC-DC tipe *buck* yang menurunkan tegangan ke 5V.

Susunan Sensor Garis

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Mekanisme sensor pembaca garis yang dirancang menggunakan 14 buah sensor garis yang menghadap ke lantai. Jarak antar sensor sebesar 2 cm yang tersusun sejajar dan membentuk garis lurus

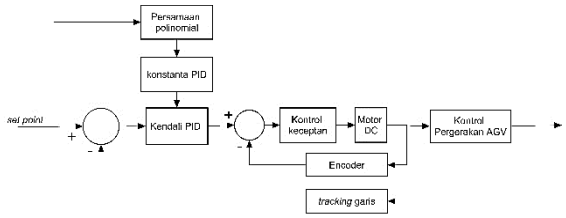


Gambar 7 susunan sensor garis dan model pemasangannya

Pemasangan sensor dibagi dalam dua tempat yaitu 9 di depan dan 5 di belakang. Sensor depan digunakan sebagai pemandu utama sedangkan sensor belakang digunakan untuk menjaga posisi roda belakang tetap seimbang di area jalur, sehingga dibutuhkan sensor depan lebih banyak dibandingkan yang di belakang.

2.4 Kendali PID Adaptif

Kendali PID yang digunakan pada sistem AGV ini dikatakan adaptif karena nilai kostanta PID dipengaruhi oleh nilai *setpoint* kecepatan AGV. Hubungan antara kecepatan dengan kostanta PID ditentukan menggunakan persamaan regresi polinomial yang didapatkan dari nilai PID tiga kecepatan yang berbeda yaitu 80m/s, 130m/s dan 180m/s. Dalam menentukan besarnya PID pada masing-masing tiga kecepatan tersebut digunakan metode *Ziegler-Nicols* (ZN).



Gambar 8 blok diagram kendali PID adaptif

Penentuan Konstanta PID Menggunakan Metode Ziegler-Nicols (ZN)

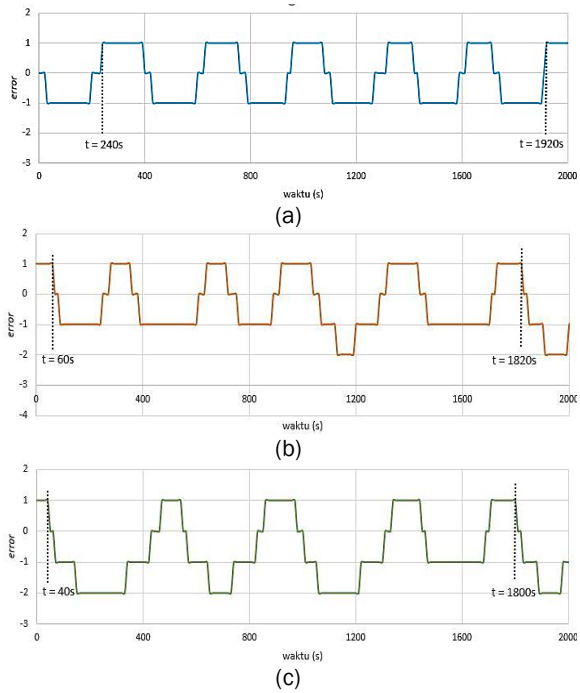
Sebelum menentukan kendali PID adaptif, terlebih dahulu menentukan nilai PID menggunakan metode Ziegler-Nicols (ZN) untuk tiga nilai kecepatan yang berbeda yaitu 80m/s, 130m/s dan 180m/s. Ketika sudah didapatkan konstanta PID untuk kecepatan tersebut, selanjutnya dibuat persamaan menggunakan regresi polinomial untuk menentukan nilai konstanta PID di setiap kecepatan yang lain dalam *range* (60-180)m/s.

Dalam sistem *closed loop,* penggunaan metode ZN harus mencari nilai K_{cr} dan P_{cr}. K_{cr} didapatkan dengan cara membuat AGV berosilasi mengikuti garis dengan mengatur nilai Kp saja, sementara Ki dan Kd sama dengan 0.Data osilasi ini didapatkan dari besarnya nilai *error* pembacaan sensor garis ketika AGV begerak mengikuti garis. Nilai Kp inilah yang menjadi nilai Kcr. Sementara nilai P_{cr} didapatkan dari besarnya nilai periode (T) osilasi. Setelah parameter K_{cr} dan P_{cr} didapatkan, nilai-nilai Kp, Ki dan Kd dapat dihitung menggunakan rumus-rumus parameter PID ZN.

Tabel 8 Ringkasan parameter fisik

Kp	Ki	Kd
$0.6K_{cr}$	$\frac{K_p}{0.5P_{cr}}$	$\frac{K_p}{0.125P_{cr}}$

Data osilasi untuk menentukan nilai K_{cr} dan P_{cr} didapatkan dari nilai *error* pembacaan sensor garis ketika AGV begerak mengikuti garis. Besarnya nilai *error* sesuai dengan posisi sensor garis AGV terhadap garis. Ketika sensor tengah yang dapat garis, nilai *error* = 0. Satu step ke kiri *error* dikurang 1 dan satu step ke kanan *error* ditambah 1 dan seterusnya sampai sensor paling pinggir yang membaca garis.



Gambar 9 osilasi *error* untuk menentukan nilai K_{cr} (a) kecepatan 80m/s, (b) kecepatan 130m/s, (c) kecepatan 180m/s

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

Untuk mendapatkan osilasi *error* terhadap garis dibuat nilai Kp = 200 untuk 80m/s, Kp = 140 untuk 130m/s dan Kp = 100 untuk 180m/s. Pada gambar 8 terlihat, untuk mendapatkan 5 osilasi *error* pada kecepatan 80m/s dibutuhkan waktu (1920 – 240)s = 1680s, sehingga $T_{80m/s}$ = 1680/5 = 336s. Pada kecepatan 130m/s didapatkan waktu 1760s untuk 5 osilasi *error,* sehingga $T_{130m/s}$ = 1760/5 = 352. Sementara pada kecepatan 180m/s dibutuhkan waktu 1760s untuk 4 osilasi *error,* sehingga $T_{180m/s}$ = 1760/4 = 440.Dari data-data tersebut besarnya nilai K_{cr} dan P_{cr} dapat ditentukan.

Tabel 2 nilai K_{cr} dan P_{cr}

Kecepatan (m/s)	$K_{cr} = Kp_{osilasi}$	$P_{cr} = T$
80	200	336
130	140	352
180	100	440

Dengan menggunakan persamaan kostanta PID metode ZN nilai Kp, Ki dan Kd dapat ditentukan.

Tabel 3 Kostanta PID metode ZN

Kecepatan (m/s)	Kp	Ki	Kd
80	120	0.714	2.857
130	84	0.477	1.909
180	60	0.273	1.09

Persamaan Regresi Polinomial Kostanta PID terhadap Kecepatan

Kecepatan AGV diatur dalam *range* 0.5 - 2 m/s (Silvirianti). Dari tiga kecepatan yang sudah diketahi kostanta PID-nya dapt digunakan untuk menentukan kostanta PID kecepatan yang lain menggunakan regresi polinomial. Karena pada tabel ada tiga data untuk masing-masing kostanta maka persamaannya menggunakan polinomial pangkat 2. Rumus umumnya sebagai berikut:

$$K = av^2 + bv + c \quad (1)$$

Dimana: $K : Kp, Ki, Kd$
v =kecepatan
a, b, c = kostanta polinomial
Dengan 3 nilai kostanta berbeda untuk 3 kecepatan didapatkan persamaan matriksnya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} (v_1)^2 & v_1 & 1 \\ (v_2)^2 & v_2 & 1 \\ (v_3)^2 & v_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (v_1)^2 & v_1 & 1 \\ (v_2)^2 & v_2 & 1 \\ (v_3)^2 & v_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Untuk mencari Kp digunakan persamaan (3) dengan mengambil data-data Kp pada tabel 3 untuk 3 kecepatan berbeda. Didaptkan persamaan kostanta a, b, c sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80^2 & 80 & 1 \\ 130^2 & 130 & 1 \\ 180^2 & 180 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 120 \\ 84 \\ 60 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.024 \\ -1.224 \\ 202.56 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Dengan cara yang sama, kostantaa, b, c dari nilai Ki adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80^2 & 80 & 1 \\ 130^2 & 130 & 1 \\ 180^2 & 180 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0.714 \\ 0.477 \\ 0.273 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7 \times 10^{-6} \\ -0.0061 \\ 1.1618 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dengan cara yang sama, kostantaa, b, c dari nilai Kd adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80^2 & 80 & 1 \\ 130^2 & 130 & 1 \\ 180^2 & 180 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 2.857 \\ 1.909 \\ 1.09 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \times 10^{-5} \\ -0.0244 \\ 4.6421 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Sehingga dari nilai kostanta a, b, c untuk masing-masing parameter kostanta PID diadaptkan nilai Kp, Ki dan Kd sebagai berikut:

$$K_p = 0.024v^2 - 1.224v + 202.56 \quad (10)$$
$$K_i = 7 \times 10^{-6}v^2 - 0.0061v + 1.1618 \quad (11)$$
$$K_d = 3 \times 10^{-5}v^2 - 0.0244v + 4.6421 \quad (12)$$

2.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam kurun waktu 8 bulan yaitu bulan April-November 2018. Penelitian ini dilakukan di beberapa laboratorium di Politeknik Industri Logam Morowali, antara lain: *Workshop* Mesin dan Laboratorium Elektronika.

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Arah Pergerakan AGV Menggunakan Roda *Mecanum*

Pengujian arah pergerakan AGV menggunakan roda *omni-directional* dilakukan untuk melihat seberapa besar pergeseran sudut pergerakan AGV terhadapa nilai sudut acuan yang diberikan. Penentuan arah pergerakan AGV dikalkulasi menggunakan persamaan *invers* kinematik. Nilai kecepatan linear dan sudut pergerakan diatur sesuai keinginan kemudian besarnya kecepatan sudut tiap roda didapatkan berdasarkan perhitungan *invers* kinematik menggunakan acuan kecepatan linear AGV (v_R), sudut pergerakan (θ) dan kecepatan *angular* AGV (ω_Z).

Tabel 4 Perbandingan sudut pergerakan AGV dengan sudut acuan yang diberikan

Sudut Acuan		Sudut pergerakan AGV (°)	Selisih
Keterangan	Sudut (°)		
Maju	0	-1.7	1.7
Serong kiri depan	45	49.26	4.26
Ke kiri	90	91.6	1.6
Serong kiri belakang	135	140.08	5.08
Mundur	180	183.95	3.95
Serong kanan belakang	225	227.6	2.6
Ke kanan	270	272.38	2.38
Serong kanan depan	315	311.45	3.55
		Rata-rata selisih	3.14

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata selisih sudut pergerakan AGV dengan sudut acuan sebesar 3.14°. Besarnya selisih ini menunjukkan sudut pergerakan AGV memiliki *error* yang kecil terhadap sudut acuan.

3.2 Hasil Pengujian Kecepatan AGV dengan kendali PID Adaptif Mengikuti Garis

Pengujian kecepatan AGV dalam mengikuti garis didapatkan dengan menguji pengaruh kestabilan pergerakan AGV dengan kendali PID Adaptif mengikuti garis terhadap besarnya kecepatan roda. Kecepatan AGV diatur dari nilai 0.6 m/s sampai 2 m/s dengan kenaikan 0.2 m/s.
Ada tiga kriteria kestabilan yang didapatkan dari pembacaan 9 (Sembilan) sensor pada modul sensor garis bagian depan. Cara penentuan kriterianya adalah sebagai berikut:

- **Stabil**, yaitu minimal satu sensor dari tiga sensor garis di tengah yang membaca garis.
- **Kurang stabil,** yaitu kondisi stabil tidak terpenuhi, namun salah satu dari 9 sensor ada yang membaca garis.
- **Tidak stabil,** yaitu pernah tidak ada sensor yang membaca garis.

Tabel 5 Pengaruh kestabilan pergerakan AGV mengikuti garis terhadap nilai kecepatan roda

Kecepatan Roda AGV(m/s)	Kondisi Kecepatan	Kestabilan Pergerakan AGV
0.5	lambat	Stabil
0.8		Stabil
1		Stabil
1.2	sedang	Stabil
1.4		Stabil
1.6	cepat	Stabil
1.8		Stabil
2		Kurang stabil

Dari data terlihat kondisi perubahan kecepatan dibagi dalam tiga kelompok kecepatan yaitu lambat, sedang dan cepat. Pergerakan AGV stabil mengikuti garis meskipun nilai kecepatan berubah-ubah pada kondisi lambat dan sedang namun pada kondisi cepat, AGV kurang stabil pada kecepatan 2 m/s.
Dipilih nilai pengujian kecepatan dari 0.5 – 2 m/s. Pengujian ini sejalan dengan pernyataan Silvirianti *et al* (2017), bahwa kecepatan AGV rata-rata dari 0.5 – 2 m/s. Dengan kondisi kurang stabilnya AGV pada kecepatan 2 m/s dalam mengikuti garis,

(ISBN: 978-602-72059-1-8 ; ISSN : 2461-1441)

sehingga diambil pergerakan AGV berada pada *range* kecepatan 0.5 - 1.8 m/s. Kecepatan ini tergolong rendah jika dibandingkan kendaraan lain, karena AGVs sering beroperasi di daerah di mana orang bekerja sehingga sistem keselamatan yang dirancang khusus mudah menghentikannya secara terkendali (Silvirianti *et al.,* 2017).

3.3 Hasil Pengujian AGV Mengambil dan Menyimpan *Toolbox* di *Station*

Pengujian mengambil *toolbox* dari *station* dilakukan dengan menempatkan AGV dari luar area *station,* kemudian bergerak untuk mengambil *toolbox.* Kondisi berhasil mengambil *toolbox* diperoleh ketika *toolbox* terambil secara sempurna, sehingga lepas dari *station* dan AGV keluar dari area *station.* Pengujian menyimpan *toolbox* ke *station* dilakukan dengan menempatkan AGV dari luar area *station* dengan posisi *toolbox* ada di AGV, kemudian bergerak menuju *station* untuk menyimpan *toolbox.* Kondisi berhasil menyimpan *toolbox* diperoleh ketika *toolbox* terpasang sempurna pada *station,* sehingga lepas dari AGV kemudian AGV kembali keluar dari area *station.*

Tabel 6 Pengujian AGV mengambil dan menyimpan *toolbox* di *station*

Kondisi	Percobaan ke				
	1	2	3	4	5
Mengambil *toolbox*	√	√	√	√	√
Menyimpan *toolbox*	√	√	√	√	√

Pada tabel pengujian AGV mengambil dan menyimpan *toolbox* di *station* terlihat bahwa dari kelima percobaan yang dilakukan AGV berhasil mengambil dan menyimpan *toolbox* di *station.*Data ini menggambarkan bahwa model AGV, *toolbox* dan *station* yang dirancang untuk sistem mengambil dan menyimpan alat pada penelitian ini dapat digunakan.

4 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik pada hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Sistem AGV menggunakan roda *omni-directional* tipe *mecanum* dapat dirancang.
- Penggunaan kendali PID Adaptif efektif digunakan untuk memandu AGV mengikuti dengan kecepatan AGV (0.5 – 1.8) m/s.
- Model AGV, *station* dan *toolbox* dapat digunakan

5 Daftar Pustaka

[1] Apple J.M., Plant Layout and Material Handling.. , Jilid 3, Wiley. New York, 1977.
[2] Badan Penelitian dan Pengembangan Industri (BPPI), Kebijakan Industri Nasional di Era Disrupsi Teknologi, 2018.
[3] Barbulescu V., *et al.,* Encoder-Based Path Tracking With Adaptive Cascaded Control For A Three Omni-Wheel Robot., IEEE International Conference of Networking in Education and Research (RoEduNet):1 – 6, 2017.
[4] Draganjac I., *et al.*, Decentralized Control of Multi-AGV Systems in Autonomous Warehousing Applications., IEEE Transactions on Automotion Science and Engineering. 13(4): 1433 – 1447, 2016.
[5] Gomes M.V.,*et al.,* PID Control applied on a line-follower AGV using a RGB camera. IEEE 19th International Converence on Intelligent Transportation Systems (ITSC):194-198, 2016.
[6] Kun F., *et al.,* On The Design Of AGV Obstacle Avoidance System Based On Fuzzy-PID Dual-Mode Controller, IEEE Conference on Control, Systems & Industrial Informatics (ICCSII):54-58, 2012.
[7] Nugraha M.B., Ardianto P.R., and Darlis D., Design and implementation of RFID line-follower system with color detection capability using fuzzy logic, IEEE International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC):75-78, 2015.
[8] Piyare R.K., and Singh R., Wireless Control of an Automated Guided Vehicle., Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists (IMECS) 2: 828 – 833, 2011.
[9] Silvirianti *et al.,* Speed Control System Design Using Fuzzy-PID for Load Variation of Automated Guided Vehicle (AGV)., IEEE International Conferences on Frontiers of Sensors Technologies:426-430, 2017.
[10] Tsai C.C., et al., Decentralized cooperative transportation with obstacle avoidance using fuzzy wavelet neural networks for uncertain networked omnidirectional multi-robots., IEEE International Conferences on Control and Automation (ICCA):978-983, 2016.
[11] Wicaksono H, and Nilkhamhang I., Glocal Controller-based Formation Control Strategy for Flexible Material Handling., IEEE International Conference of the Society of Instrument and Control Engineers (SICE): 787-792, 2017.

[12]World Economic Forum., *The Global Competitiveness Report* 2015 – 2016, 2016.

SNIKO 2018

Didukung Oleh: