

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI AKTUATOR SISTEM KONTROL PH MENGUNAKAN ON-OFF SOLENOID VALVE PADA PURWA RUPA INSTALASI PENGOLAHAN LIMBAH TEKSTIL

<sup>1</sup>Nur Azimah Salehah & <sup>2</sup>Qanun Miladial Hikmah, <sup>3,4</sup>Estiyanti Ekawati<sup>\*)</sup>,

<sup>1</sup>Balai besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup>Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

<sup>4</sup>Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung  
(corresponding author) esti@instrument.itb.ac.id <sup>\*)</sup>

## Abstrak

Proses netralisasi pH umum digunakan dalam berbagai proses limbah industri, salah satu contohnya ada pada industri tekstil. Berdasarkan ketentuan Kementerian 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 mikrokontroler. 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 mikrokontroler 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 kementerian 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**.



**Gambar 1** 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 kontinu 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 ( $\alpha$ ) dan disosiasi basa ( $\beta$ ) 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].

$$[H^+]^3 + a_1[H^+]^2 + a_2[H^+] + a_3 = 0 \quad (1)$$

$$a_1 = k_a + \beta \quad (2)$$

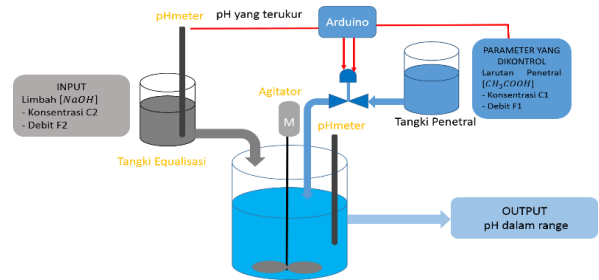
$$a_2 = \beta k_a - k_w - k_a \alpha \quad (3)$$

$$a_3 = k_w k_a \quad (4)$$

$$pH = -\text{Log}_{10}[H^+] \quad (5)$$

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 penelion 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.



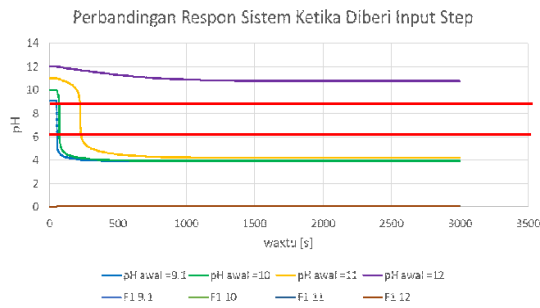
Gambar 2 skema pengontrolan pH

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 *mikrokontroler* untuk mengontrol periode dan durasi bukaan *solenoid valve* sebagai penetral. Hasil simulasi akan dibandingkan dengan implementasi pada prototipe instalasi pengolahan limbah.

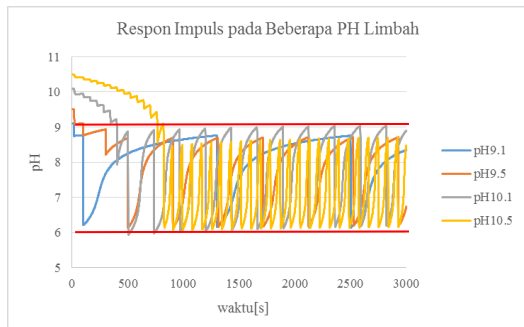
### 4 Diskusi dan Hasil

Persamaan Pada proses netralisasi yang akan dikontrol merupakan flow penetral F1 dan konsentrasi penetral C1 agar didapatkan hasil larutan yang sesuai dengan standar dari Kementerian 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 adalah konsentrasi penetral C2=0.001 terlihat pada **Gambar 3**.

Penentuan kedua adalah aliran penetral. Terdapat 2 macam simulasi untuk penentuan 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

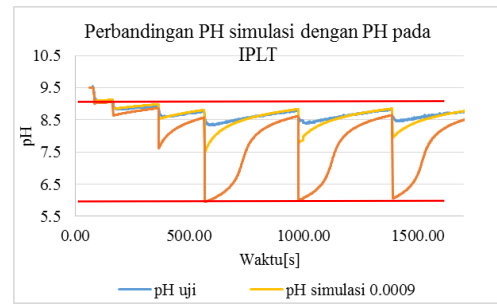


Gambar 4. respon impuls aliran penetral

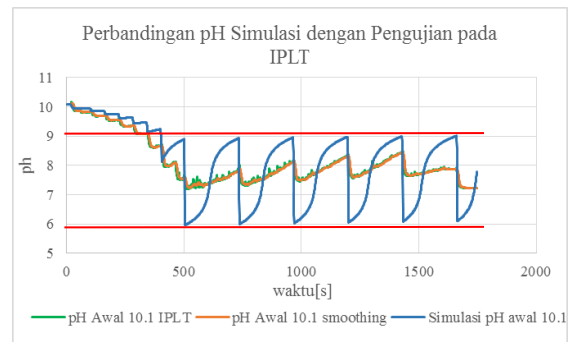
Terlihat pada respon step terjadi penurunan pH yang signifikan sehingga tidak memenuhi batas standar Kementerian Lingkungan Hidup yang ditunjukkan dengan garis warna merah sedangkan jika menggunakan respon impuls terlihat bahwa keseluruhan keadaan pH limbah dapat memenuhi standar. Penggunaan respon impuls 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 1 Look Up Table

9.8	15-23	100	160	220	280	340	400	500	780	970	1160	1350	1540
Lama Buka	9detik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik
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 Buka	10detik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik
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 Buka	11detik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik	Zdetik
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 Buka	12detik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik
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 Buka	13detik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik	Sdetik
Periode		85	60	60	60	60	60	60	60	60	178	178	178



Gambar 5. hasil pengujian 1

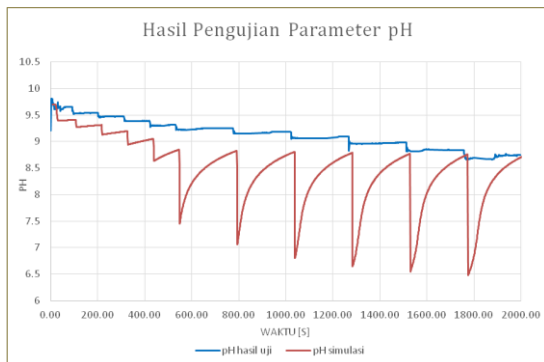


Gambar 6 Hasil Pengujian 2

Setelah 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 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  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , dan  $\text{NaOH}$  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 eksponensial. Untuk menurunkan pH 9,1-10 pengaliran penetral mengikuti fungsi periode (dalam satuan detik) =  $2 \times 10^{13} e^{-2,576\text{pH}}$  sedangkan untuk penurunan pH 10.1 – 11 menghasilkan fungsi periode =  $4 \times 10^{12} e^{-2,336\text{pH}}$ .

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

- $\alpha$  = Jumlah Ion Asam yang Terionisasi dalam Larutan (Molar)
- $\beta$  = Jumlah Ion Asam yang Terionisasi dalam Larutan (Molar)
- $F1$  = Debit Penetral  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (liter/sekon)
- $F2$  = Debit Limbah  $\text{NaOH}$  (liter/sekon)
- $C1$  = Konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Molar)
- $C2$  = Konsentrasi  $\text{NaOH}$  (Molar)
- $K_a$  = Konstanta Disosiasi Asam
- $K_w$  = Konstanta Disosiasi Air
- $K_b$  = Konstanta Disosiasi Basa
- $V$  = Volume Tangki Netralisasi (liter)
- $F1$  = Debit Penetral  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (liter/sekon)
- $F2$  = Debit Limbah  $\text{NaOH}$  (liter/sekon)
- $C1$  = Konsentrasi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (Molar)
- $C2$  = Konsentrasi  $\text{NaOH}$  (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. Syaifiie, "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. Lowenthal, "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](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/29851-runge-kutta-4th-order-ode/content/Runge_Kutta_4.m).