

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 penggerak. 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 menggerakkan 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 menggerakkan 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]

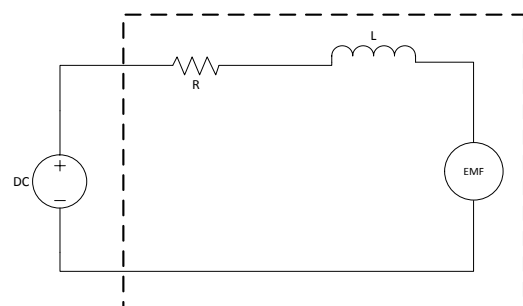
Pada makalah ini akan dibahas tentang pengontrolan motor *Switched Reluctance* menggunakan konverter *Asymmetric* dengan mikrokontroler sebagai komponen yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor yang dikontrol dengan *duty cycle*.

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*).



Gambar 1 Rangkaian Ekuivalent 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 :

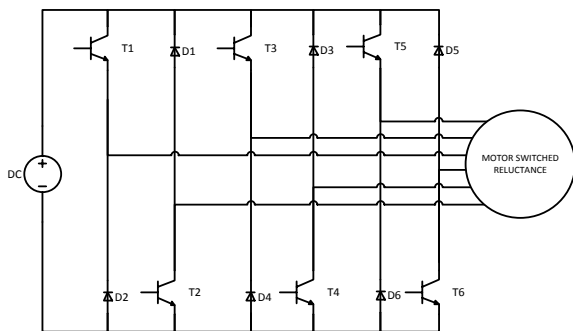
$$V = i.R + \left(\frac{d\phi}{di} + \frac{di}{dt} \right) + \left(\frac{d\phi}{d\theta} + \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (1)$$

Persamaan torsi pada motor *Switched Reluctance* adalah sebagai berikut :

$$T(\phi, i) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\phi)}{d\phi} \quad (2)$$

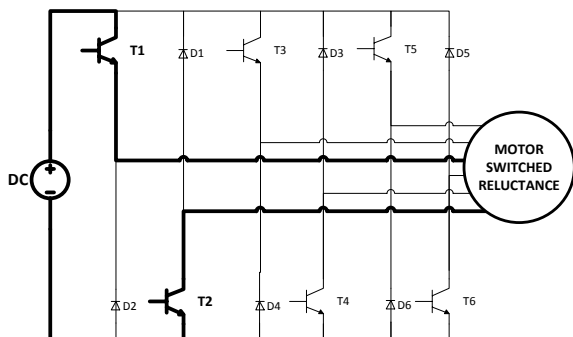
2.2 Topologi Konverter Asymmetric

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.



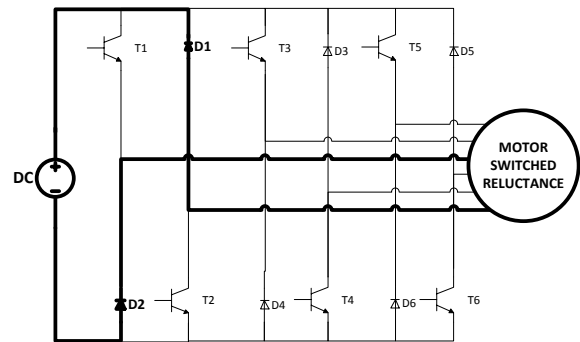
Gambar 2 Skema Konverter Asymmetric

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.

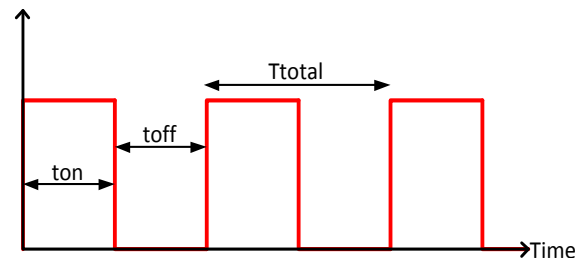


Gambar 4 Mode Demagnetizing konverter Asymmetric

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*.



Gambar 5 skema *duty cycle*

Pada sinyal diatas bisa dituliskan dengan persamaan:

$$T_{total} = t_{on} + t_{off} \quad (3)$$

$$d = \frac{t_{on}}{T_{total}} \quad (4)$$

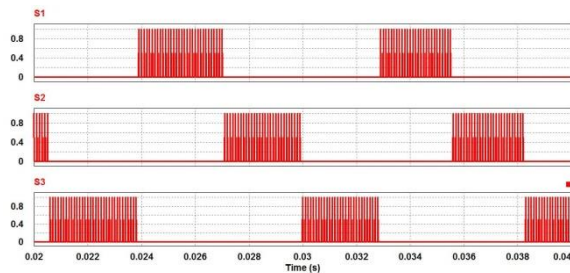
$$V_{out} = \frac{t_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (5)$$

3 Hasil dan Pembahasan

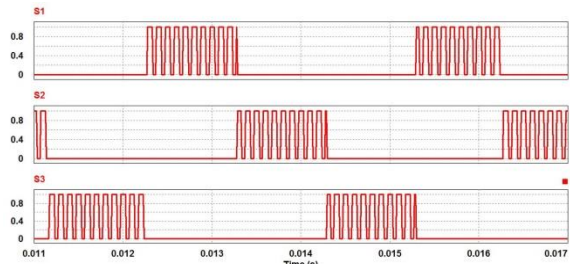
Pada makalah ini akan ditampilkan hasil simulasi, penjelasan tentang *prototype* alat dan hasil pengujian *prototype* nya.

3.1 Simulasi

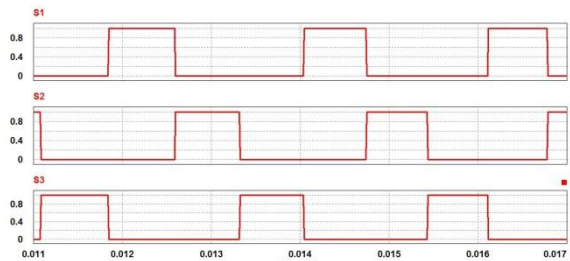
Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PSIM. Simulasi dilakukan dengan nilai duty cycle yaitu 50%, 75% dan 100% hasil simulasi di tampilkan pada penjelasan berikut. Hasil simulasi keluaran PWM pada duty cycle 50% ditunjukkan pada gambar 6, duty cycle 75% pada gambar 7 dan duty cycle 100% pada gambar 8.



Gambar 6 Hasil simulasi keluaran PWM pada duty cycle 50%

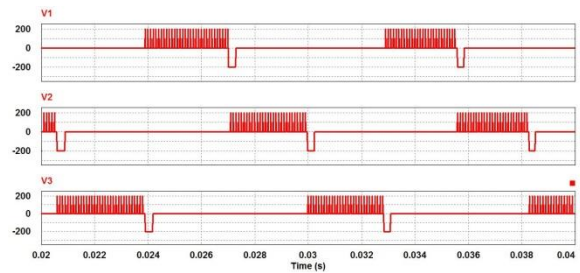


Gambar 7 Hasil simulasi keluaran PWM pada duty cycle 75%

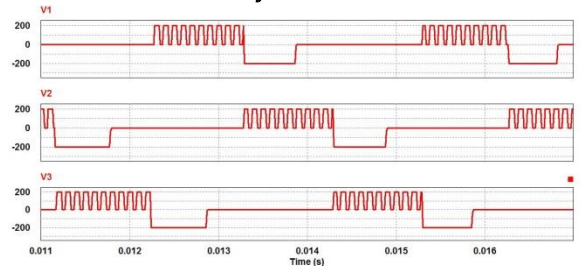


Gambar 8 Hasil simulasi keluaran PWM pada duty cycle 100%

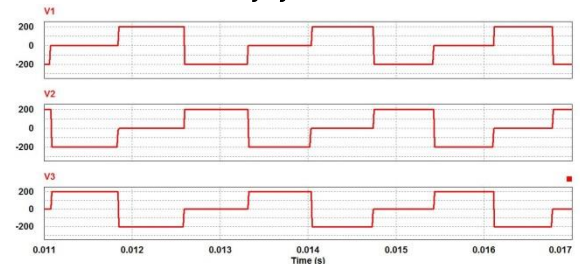
Dibawah ini adalah hasil simulasi tegangan keluaran antar fasa (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}) pada duty cycle 50% ditunjukkan pada gambar 9, duty cycle 75% pada gambar 10 dan duty cycle 100% pada gambar 11. Perbandingan sinyal tegangan antar fasa pada simulasi terlihat bahwa semakin kecil duty cyclenya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.



Gambar 9 Hasil simulasi tegangan antar fasa pada duty cycle 50%

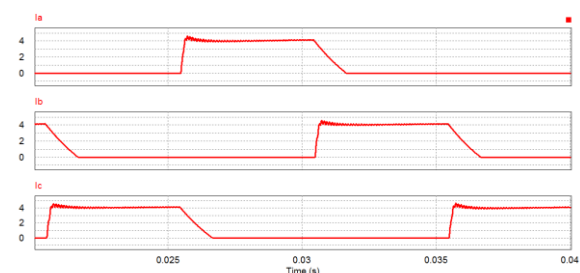


Gambar 10 Hasil simulasi tegangan antar fasa pada duty cycle 75%

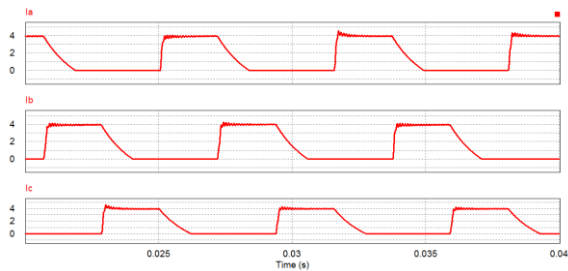


Gambar 11 Hasil simulasi tegangan antar fasa pada duty cycle 100%

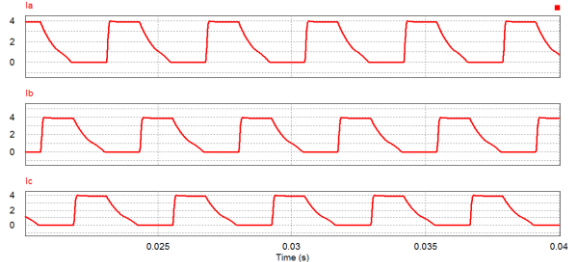
Di bawah ini akan ditampilkan hasil simulasi arus keluaran antar fasa (I_{ab} , I_{bc} , I_{ca}) pada duty cycle 50% ditunjukkan pada gambar 12, duty cycle 75% pada gambar 13 dan duty cycle 100% pada gambar 14. Perbandingan sinyal arus antar fasa pada simulasi terlihat bahwa semakin kecil duty cyclenya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.



Gambar 12 Hasil simulasi arus antar fasa pada kondisi duty cycle 50%

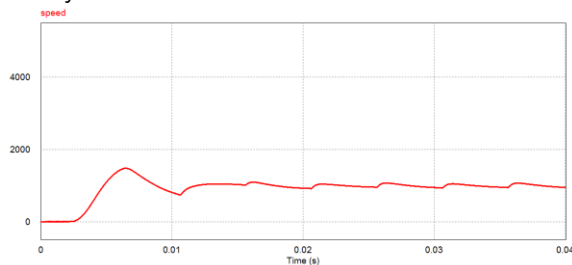


Gambar 13 Hasil simulasi arus antar fasa pada kondisi *duty cycle* 75%

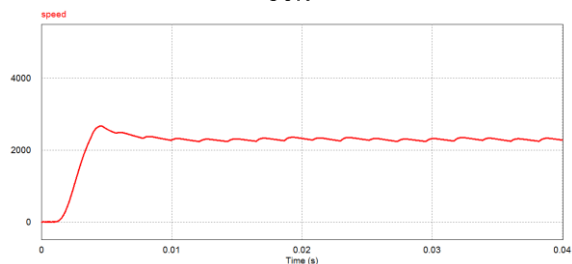


Gambar 14 Hasil simulasi arus antar fasa pada kondisi *duty cycle* 100%

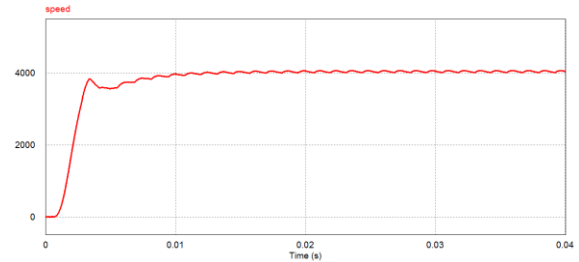
Di bawah ini akan ditampilkan hasil simulasi kecepatan pada *duty cycle* 50% ditunjukan pada gambar 15, *duty cycle* 75% pada gambar 16 dan *duty cycle* 100% pada gambar 17. Perbandingan sinyal arus antar fasa pada simulasi terlihat bahwa semakin kecil *duty cyclenya* maka bentuk sinyal arusnya lebih 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%

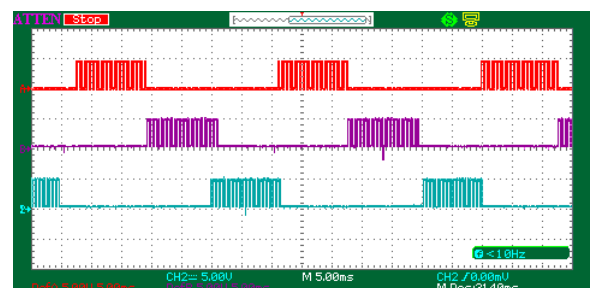
3.2 Hasil Pengujian

Untuk mendukung hasil simulasi dan analisis maka dilakukan pengujian. Pengujian ini menggunakan *prototype* disajikan pada gambar 18. Pada *prototype* tersebut terdapat motor *Switched Reluctance* yang akan diendalikn menggunakan Konverter jenis *Asymmetric*. *Duty cycle* yang digunakan adalah sama seperti yang digunakan pada simulasi sebagai pendukung kebenarannya.

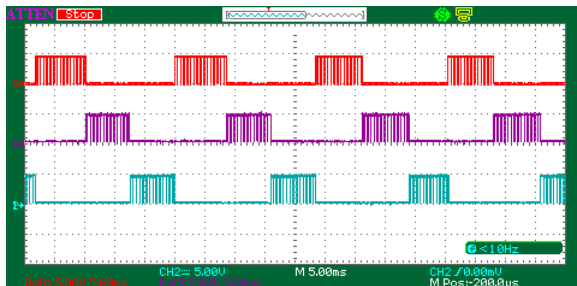


Gambar 18 *prototype* motor *switched reluctance* dengan konverter *asymmetric*

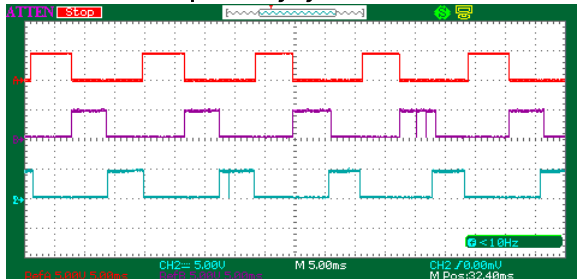
Di bawah ini adalah hasil tegangan keluaran PWM yang diatur pada *duty cycle* 50%, 75% dan 100% dalam kondisi motor *Switched Reluctance* motoring pada gambar 19, gambar 20 dan gambar 21. Dapat dilihat bahwa sinyal tegangan keluaran PWM selain berpengaruh pada *duty cyclenya* juga berpengaruh pada lebar sinyal keluaran pulsanya.



Gambar 19 Hasil pengujian gelombang keluaran PWM pada *duty cycle* 50%

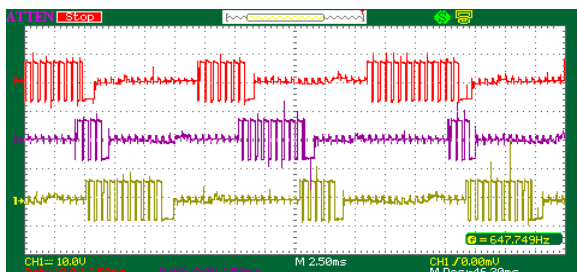


Gambar 20 Hasil pengujian gelombang keluaran PWM pada duty cycle 75%

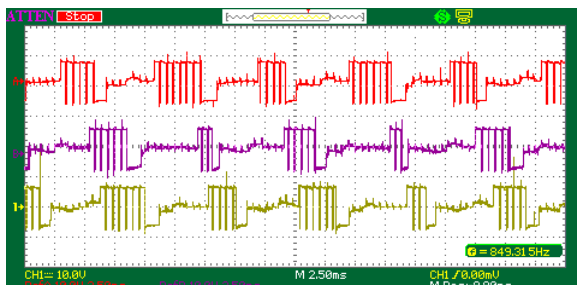


Gambar 21 Hasil pengujian gelombang keluaran PWM pada duty cycle 100%

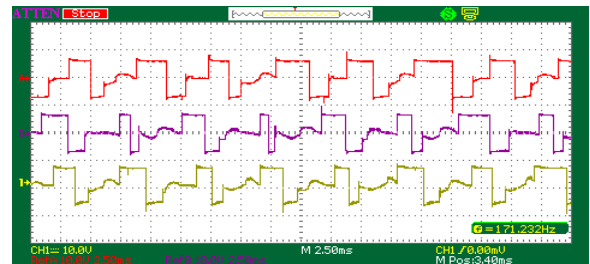
Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengujian pada motor *Switched Reluctance* dalam kondisi motoring yang menghasilkan sinyal tegangan antar fasa dengan duty cycle 50%, 75% dan 100% pada gambar 22, gambar 23 dan gambar 24. Perbandingan sinyal tegangan antar fasa terlihat bahwa semakin kecil duty cyclenya maka bentuk sinyal arusnya lebih lebar.



Gambar 22 Hasil pengujian keluaran tegangan antar fasa (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}) duty cycle 50%

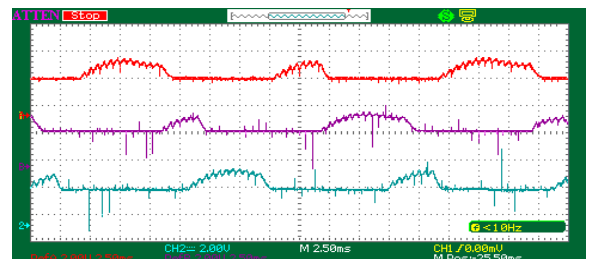


Gambar 23 Hasil pengujian keluaran tegangan antar fasa (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}) duty cycle 75%

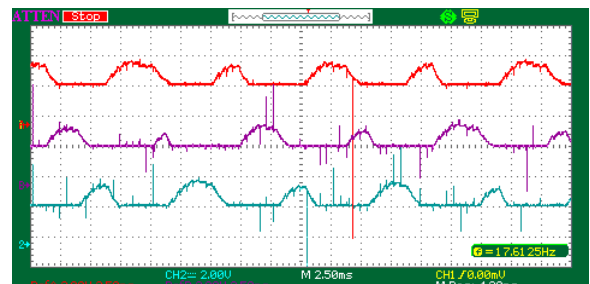


Gambar 24 Hasil pengujian keluaran tegangan antar fasa (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}) duty cycle 100%

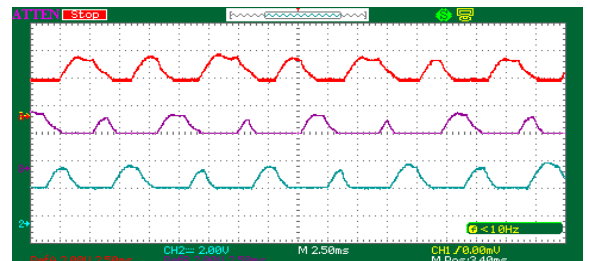
Di bawah ini akan ditampilkan hasil pengujian pada motor *Switched Reluctance* dalam kondisi motoring yang menghasilkan sinyal arus antar fasa dengan duty cycle 50%, 75% dan 100% pada gambar 25, gambar 26 dan gambar 27. Perbandingan sinyal arus antar terlihat bahwa semakin kecil duty cyclenya maka bentuk sinyal arusnya yang mengisi antar fasanya semakin melebar.



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 1 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 cyclenya* akan berpengaruh pada arus dan tegangan yang semakin tinggi. Sebaliknya jika semakin kecil *duty cyclenya* 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
t_{on}	=	Ketika Pulsa "High"
t_{off}	=	Ketika Pulsa "Low"
d	=	<i>duty cycle</i>

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, Syahril Syahril. " 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."