

ANALISIS AHBC (ASYMMETRIC HALF BRIDGE CONVERTER) PADA SRM (SWITCHED RELUCTANCE MOTOR) 3 FASA MENGUNAKAN PSIM

Jumardi¹, F. Danang Wijaya², Eka Firmansyah³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

ABSTRACT

AHBC (*asymmetric half-bridge converter*) is a power supply that is required to drive the SRM (*switched reluctance motor*). Before making the actual power supply device, it is necessary to make model to know its behavior and understanding the interaction between the converter with the motor. In this research, AHBC modeled with PSIM software to know its performance. The measured variables are the on angle and the pulse angle. The on angle is the angle to produce a forward rotation, the magnitude of 90° . The pulse angle is the angle to produce the desired rotation and torque, the magnitude of 0° - 120° . The on angle and the pulse angle inserted into the controller circuit to turn on and turn off the AHBC circuit that supply voltage source to the stator coil. The same pulse angle (the pulse₁ angle = the pulse₂ angle) produces rotation, minimum torque, voltage, inductance, and flux linked which are greater than the different pulse angle. The different pulse angle (the pulse₁ angle \neq the pulse₂ angle) produces motor current and semiconductor losses which are greater than the same pulse angle. The same pulse angle produces maximum torque which is almost similar with the different pulse angle (1,213 Nm and 1,216 Nm).

Keywords : AHBC, rotation sensor, on and pulse angle, semiconductor losses, 3-phase SRM.

INTISARI

AHBC (*asymmetric half bridge converter*) adalah catu daya yang diperlukan untuk menggerakkan motor SRM (*switched reluctance motor*). Sebelum membuat peranti catu daya yang sesungguhnya, perlu dilakukan pemodelan untuk mengetahui perilakunya dan memahami interaksi antara konverter tersebut dengan motor. Dalam penelitian ini, AHBC dimodelkan dengan software PSIM untuk diketahui kinerjanya. Variabel yang diamati adalah sudut on dan sudut pulsa. Sudut on adalah sudut untuk menghasilkan putaran maju, besarnya 90° . Sudut pulsa adalah sudut untuk menghasilkan putaran dan torsi yang diinginkan, besarnya 0° – 120° . Sudut on dan sudut pulsa dimasukkan ke rangkaian *controller* untuk menghidupkan dan mematikan rangkaian AHBC yang mensuplai tegangan sumber menuju kumparan stator. Sudut pulsa sama (sudut pulsa1 = sudut pulsa2) menghasilkan putaran, torsi minimal, tegangan, induktansi dan fluks gandeng yang lebih besar daripada sudut pulsa berbeda (sudut pulsa1 \neq sudut pulsa2). Sudut pulsa berbeda menghasilkan arus motor dan rugi-rugi semikonduktor yang lebih besar daripada sudut pulsa sama. Sudut pulsa sama menghasilkan torsi maksimal yang hampir sama dengan sudut pulsa berbeda (1,213 Nm dan 1,216 Nm).

Kata kunci— AHBC, sensor putaran, sudut on dan sudut pulsa, rugi-rugi semikonduktor, SRM 3 fasa.

PENDAHULUAN

SRM (*switched reluctance motor*) digunakan sebagai penggerak lokomotif pertama kali pada tahun 1838 di Scotland. Dua sifat yang terdapat pada SRM, yaitu *switched* dan *reluctance*. *Switched*, maksudnya adalah mesin harus dioperasikan dalam suatu mode penyaklaran yang kontinyu, dan *reluctance*, maksudnya adanya perubahan nilai reluktansi sesuai dengan rangkaian kemagnetan yang dibentuk oleh kutub stator dan rotor yang kedua-duanya merupakan kutub yang menonjol (*salient pole*) (Hasan, 2012). SRM terdiri dari empat komponen, yaitu pengubah

daya, pengendali elektronik, sensor posisi rotor, serta pengubah elektrik mekanik (Ganguli, 2011).

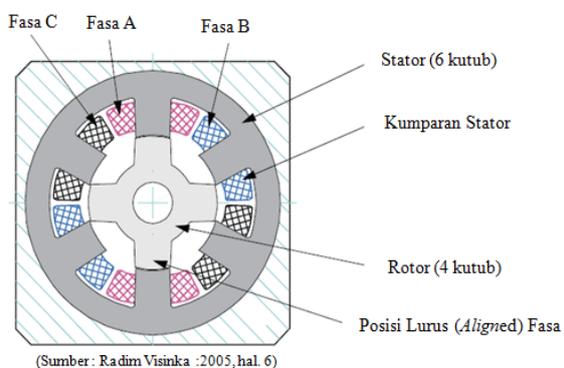
Menurut (Singh, 2011), hampir semua penelitian yang dilakukan pada SRM berusaha untuk mendapatkan solusi mengenai : *torsi ripple*, *acoustic*, *sensorless control*, dan *optimized control* dengan biaya yang rendah. Torsi pada SRM terjadi saat eksitasi pada kumparan fasa stator sinkron dengan posisi rotor. Keberadaan posisi rotor pada SRM biasanya dideteksi dengan : *encoder*, *resolver*, atau *hall shaft position sensor* (Gupta, 2010). Kelemahan yang muncul pada komponen pendeteksi tersebut

adalah bertambahnya biaya total, memerlukan tempat tertentu untuk menempatkan sensornya, serta kurang handalnya sistem (Sedghizadeh, 2009). Sampai sekarang sedang dikembangkan penelitian untuk menggantikan sensor posisi rotor pada SRM menjadi tanpa sensor, yang disebut *sensorless control method*. Penelitian tentang jenis pengubah daya SRM telah disimulasikan dengan simulink dan Pspice, namun keduanya belum dapat menyimulasikan rugi-rugi semikonduktor. PSIM adalah jenis *software* lain yang mempunyai kemampuan simulasi interaktif dan fasilitas *thermal module* yang dapat menyimulasikan kinerja pengubah daya AHBC (*asymmetric half bridge converter*) pada SRM 3 fasa.

Analisis kinerja pengubah daya AHBC pada SRM 3 fasa menggunakan PSIM dengan sensor putaran akan menjadi topik dalam penelitian ini dengan cara menetapkan sudut on dan merubah sudut pulsa. Cakupan analisis meliputi : putaran, torsi, tegangan, arus, rugi-rugi semikonduktor pada IGBT dan dioda, serta induktansi dan fluks gandeng.

Switched Reluctance Motor

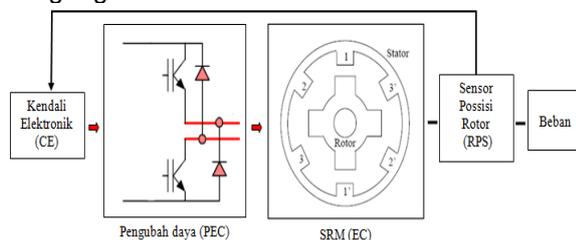
SRM adalah mesin sinkron yang kutub stator maupun rotornya sama sama mempunyai kutub menonjol (*salient pole*), serta kumparan eksitasinya hanya diletakkan pada kutub stator (A.Kakilli, 2011), (Liptak, 2004), (M.Liptak, 2007). Perbandingan jumlah kutub stator dan rotor pada SRM disebut topologi. Topologi 6/4, artinya adalah bahwa SRM mempunyai 6 buah kutub stator dan 4 buah kutub rotor. Jumlah fasa pada SRM merupakan setengah dari jumlah kutub stator, sehingga topologi 6/4 mempunyai fasa 3 buah. Konstruksi SRM 3 fasa seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi SRM 3 Fasa

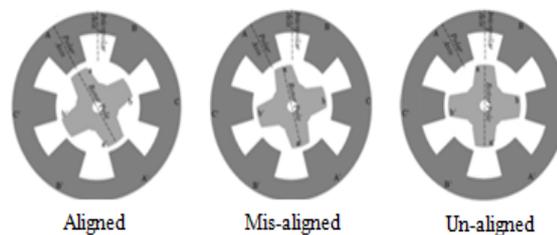
SRM terdiri dari empat komponen utama, seperti pada **Error! Reference source not found.**, yaitu pengubah daya atau PEC (*power electric converter*), pengendali elektronik atau CE (*control electronics*), sensor posisi rotor atau RPS (*rotor position sensor*), 162 Jumardi, Analisis AHBC (*Asymmetric Half Bridge Converter*) pada SRM (*Switched reluctance Motor*) 3 Fasa Menggunakan PSIM

serta EC (*electromechanical converter*) (Ganguli S. , 2011). CE digunakan untuk mengendalikan arus, menghidupkan dan mematikan saklar pada PEC yang akan mensuplai tegangan dari sumber tegangan menuju kumparan stator pada SRM. Akibatnya rotor akan berputar dan menghasilkan torsi seiring dengan siklus penyaklaran yang terjadi pada pengubah daya. Untuk menghasilkan putaran yang sesuai dengan beban (*load*), maka perlu disensor posisi rotornya oleh RPS yang selanjutnya akan diumpukan balikkan menuju pengendali elektronik untuk membuat siklus penyaklaran pada pengubah daya, begitu seterusnya, proses ini berulang ulang selama SRM masih terhubung dengan sumber tegangan.



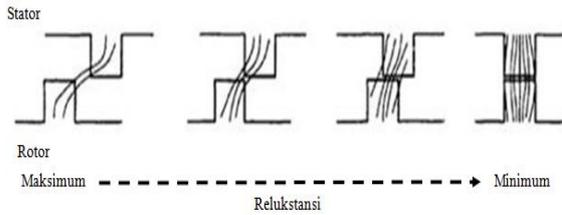
Gambar 2. Empat Komponen SRM

Beberapa istilah yang sering dijumpai dalam menjelaskan letak atau posisi rotor terhadap stator adalah *aligned position*, *unaligned position*, serta *misaligned position*. Menurut (Cunningham, 2011), (Yuan, 2000), (Abbas, 2007), posisi *aligned*, jika rotor lurus dengan stator pada fasa tertentu, sehingga *reluktansinya* mencapai *nilai minimum*. Rotor dikatakan dalam posisi *unaligned*, jika rotor tidak lurus dengan stator pada fasa tertentu, sehingga *reluktansinya* mencapai *nilai maksimum*. Selain kedua nilai reluktansi tersebut, maka rotor dikatakan dalam keadaan posisi *misaligned*, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Letak kutub rotor terhadap stator

Berdasarkan ketiga posisi tersebut, maka besarnya nilai reluktansi dari SRM bervariasi dari minimum sampai maksimum, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Variasi nilai reluktansi

Formulasi dasar dan karakteristik SRM

SRM sering diidentifikasi berdasarkan jumlah kutub stator (N_s) dan kutub rotor (N_r), serta jumlah fasa (m). Jumlah fasa (m) dapat ditentukan dengan persamaan (Cunningham, 2011).

$$m = \frac{N_s}{2} \quad (1)$$

Jumlah kutub rotor (N_r) dan jumlah fasa (m) didefinisikan sebagai gerak atau *strokes* (S), yaitu siklus eksitasi pada pasangan kumparan fasa stator untuk memutar rotor dalam satu putaran penuh (Cunningham, 2011). Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$S = m N_r \quad (2)$$

Besarnya sudut gerak atau *stroke angle* (ε), yaitu sudut yang dilewati atau dilintasi oleh rotor pada tiap gerak, secara matematis dapat dituliskan :

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{S} = \frac{360}{S} \quad (3)$$

Parameter lain yang penting yang perlu diketahui adalah gerak maju kutub rotor atau *rotor pole pitch* (τ_{rp}), yang menjelaskan pemindahan angular antara kutub rotor, yang dinyatakan dalam persamaan (Cunningham, 2011):

$$\tau_{rp} = \frac{2\pi}{N_r} = \frac{360}{N_r} \quad (4)$$

Besarnya frekuensi dasar penyaklaran (f) dalam Hz dari SRM, dipengaruhi oleh jumlah kutub rotor (N_r) dan kecepatan angular rotor (ω_r) dalam rpm, yang dinyatakan dengan persamaan (Cunningham, 2011), (Yuan, 2000):

$$f = \omega_r N_r = \frac{rpm}{60} N_r \quad (5)$$

Harga atau nilai frekuensi dasar dari torsi ripel (f_{mech}) dalam Hz, dinyatakan dengan persamaan :

$$f_{mech} = mf \quad (6)$$

Besarnya tegangan pada SRM dapat ditentukan berdasarkan rangkaian ekivalen dari SRM satu (1) fasa, dengan persamaan (Abbas, 2007):

$$V_s = i_m R_m + \frac{d\lambda}{dt} \quad (7)$$

Notasi V_s adalah tegangan sumber, i_m adalah arus fasa atau arus motor, R_m adalah tahanan motor, dan λ adalah *fluks linked* atau fluks gandeng oleh lilitan. Besarnya *fluks linked* atau fluks gandeng, berdasarkan persamaan(7)

dapat dihitung dengan rumus :

$$\lambda = \int (V_s - i_m R_m) dt \quad (8)$$

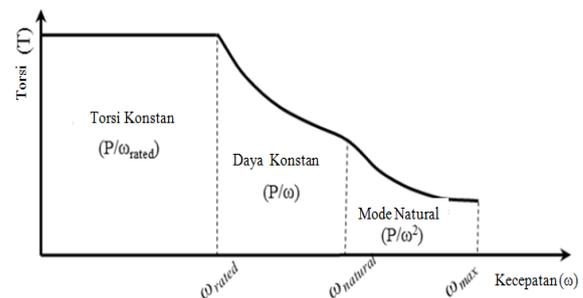
$$\lambda(\theta, i_m) = L(\theta, i_m) i_m \quad (9)$$

Mengingat konstruksi SRM adalah *double salient* (masing masing kutub rotor dan stator menonjol) dan adanya efek saturasi magnetik, maka secara umum harga fluks gandeng dalam SRM berubah ubah sebagai fungsi dari sudut posisi rotor (θ) dan arus motor (i_m). Besarnya torsi (T) pada SRM adalah :

$$T = \frac{im^2}{2} \frac{dL}{d\theta} \quad (10)$$

(Cunningham, 2011) menyatakan bahwa karakteristik torsi-kecepatan pada SRM dibedakan menjadi tiga daerah, yaitu : torsi konstan, daya konstan, serta *natural mode* (mode natural), seperti pada Gambar 3. **Daerah torsi konstan**, adalah kondisi dimana arus yang masuk ke kumparan stator diatur sedemikian rupa sehingga rotor berputar mencapai putaran tertentu dan pada kondisi tersebut besarnya GGL lawan pada motor sama dengan tegangan sumber atau bus. Kecepatan yang dihasilkan pada kondisi tersebut disebut sebagai kecepatan dasar (ω_b atau ω_{rated}). Kecepatan dasar adalah kecepatan paling rendah yang dimungkinkan pada motor agar dapat bekerja sesuai nilai dayanya dengan nilai arus maksimum. **Daerah daya konstan**, adalah kondisi dimana nilai GGL lawan lebih besar dari tegangan sumber, namun kecepatan motor dan torsi maksimum masih mampu menghasilkan suatu daya konstan. Hubungan antara daya (P , dalam Watt), torsi (T , dalam Nm), putaran (n , dalam rpm), serta kecepatan angular (ω , dalam rad/detik), adalah sebagai berikut :

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi \frac{n}{60} \quad (11)$$



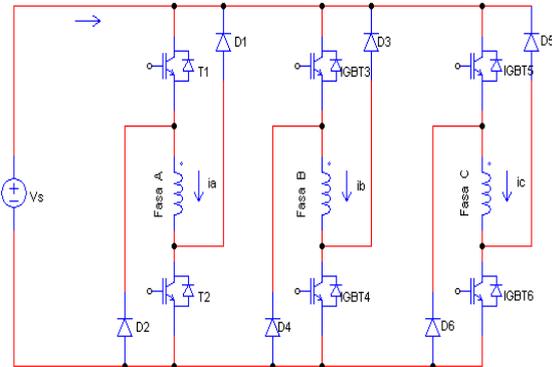
Sumber : J.D. Cunningham, 2011, hal. 43

Gambar 3. Karakteristik torsi-kecepatan SRM **Daerah mode natural**, adalah kondisi dimana motor berada pada kecepatan tinggi, yaitu berada atau diatas batas kecepatan natural motor, dan nilai torsiya berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan, secara matematis dapat ditulis :

$$T = \frac{P}{\omega^2} \quad (12)$$

Pengubah daya AHBC

Rangkaian AHBC sering disebut juga sebagai *classic converter* untuk SRM 3 fasa terdiri dari dua saklar dan dua diode *flywheel* untuk setiap fasa (Souvik, 2011), seperti pada Gambar 4.

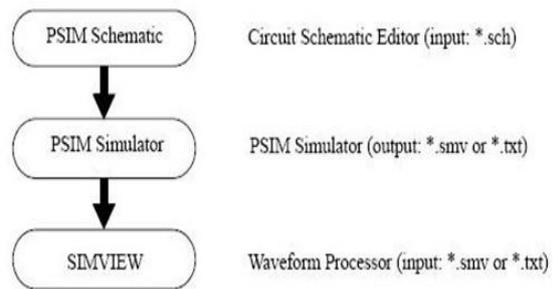


Gambar 4. Rangkaian AHBC tiga fasa

Rangkaian pengubah daya AHBC mempunyai dua saklar utama T_1 dan T_2 serta dua dioda *flywheel* D_1 dan D_2 untuk setiap fasa. Selama periode pemberian suplai tegangan ke kumparan fasa, maka dua saklar utama dalam kondisi menutup (*on*). Selama periode *chopping*, satu saklar menutup (*on*) dan satu saklar lainnya membuka (*off*); arus fasa akan mengalir melalui saklar yang menutup tersebut dan dioda *flywheel*. Selama periode komutasi, kedua saklar utama membuka (*off*), maka energi magnetic yang tersimpan dalam motor akan dibebaskan dengan dua dioda *flywheel* (Souvik, 2011). HBC mampu memberikan pengontrolan maksimum, karena masing masing kumparan dapat dikontrol secara bebas, tidak tergantung oleh saklar dan dioda pada kumparan lainnya (Celik, 2011).

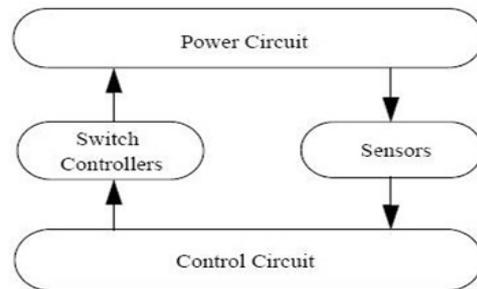
Program Simulasi PSIM

PSIM adalah *software* simulasi yang diciptakan oleh Powersim Inc. Software ini dirancang khususnya untuk elektronika daya, penggerak motor, dan sistem konversi daya (Powersim, 2011). Proses simulasi dengan PSIM seperti pada Gambar 7. proses simulasi dari PSIM terdiri dari : rangkaian skematik PSIM (*PSIM schematic*), simulator PSIM (*PSIM simulator*), serta program pemroses bentuk gelombang (*SIMVIEW*). Struktur rangkaian pada PSIM direpresentasikan dalam empat bagian atau blok, yaitu : rangkaian daya (*power circuit*), rangkaian kendali (*control circuit*), sensor (*sensors*), serta pengendali saklar (*switch controller*), seperti Gambar 6.



Sumber : Psim User Guide, 2011, hal. 2

Gambar 5. Proses Simulasi PSIM



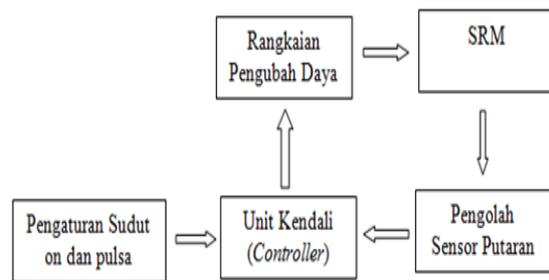
Sumber : Psim User Guide, 2011, hal. 3

Gambar 6. Struktur rangkaian PSIM

METODOLOGI

Menurut (Elwakil, 2009), pengendalian SRM dapat dilakukan dengan menggunakan sinyal umpan balik dari sensor posisi rotor, atau tanpa menggunakannya, tetapi dengan cara memperkirakan posisi rotor tersebut berdasarkan karakteristik magnetnya.

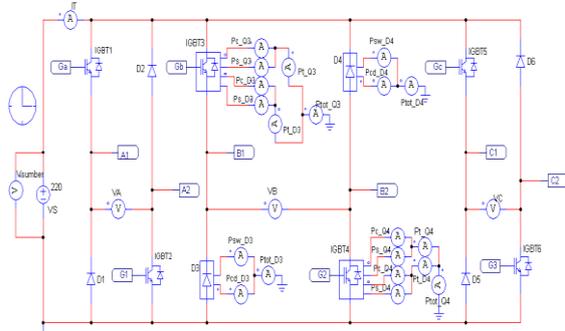
Pemodelan dengan PSIM pada penelitian ini seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan dengan PSIM

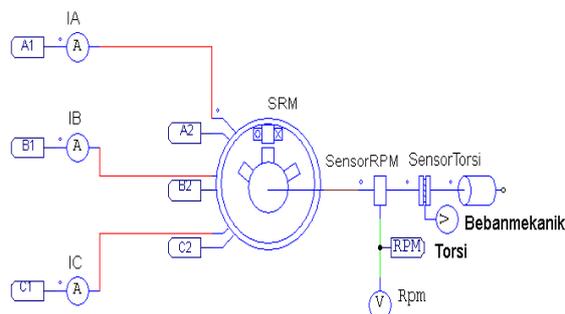
Pemodelan dengan PSIM ini tanpa sensor posisi rotor, tetapi menggunakan sensor putaran sebagai informasi umpan balik yang selanjutnya akan diolah oleh bagian *controller* setelah mendapat masukan dari sudut on dan sudut pulsa. *Controller* akan mengendalikan kerja SRM melalui penyaklaran pada rangkaian pengubah daya

Rangkaian pengubah daya AHBC, terdiri dari enam buah IGBT dan dioda flywheel. Fungsi dari pengubah daya AHBC adalah untuk mengaktifkan dan menonaktifkan kumparan fasa motor, seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Pengubah daya AHBC

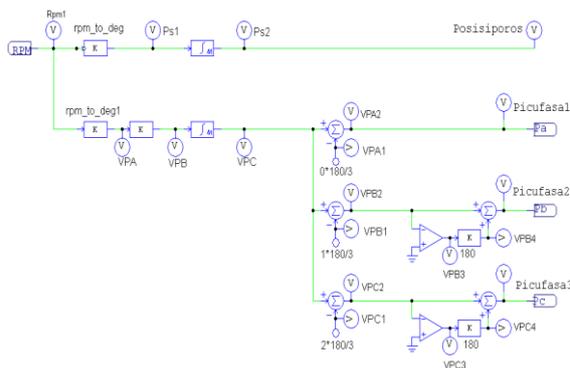
Switched Reluctance Motor (SRM) yang digunakan dalam penelitian ini mengacu kepada modul motor drive pada PSIM, yaitu motor 3 fasa, konfigurasi 6/4 seperti pada Gambar 9. Sensor rpm dan sensor torsi dipasang pada poros SRM untuk mengetahui besarnya putaran dan torsi yang dihasilkan. Beban mekanik dari SRM dibuat beban tipe umum (*general type load*), karena dalam data jurnal juga tidak menyebutkan tipe bebannya.



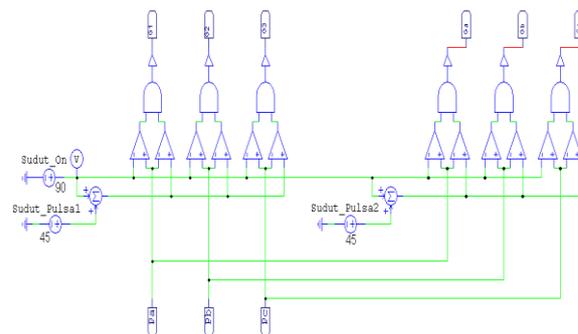
Gambar 9. Rangkaian SRM 3 fasa

Pengolah sensor putaran, rangkaian ini berfungsi untuk menghasilkan sinyal posisi poros dan sinyal picu fasa. Sinyal posisi poros untuk mendeteksi putaran SRM, maju atau mundur. Sinyal picu fasa untuk menghasilkan picu fasa A (P_a), fasa B (P_b), dan fasa C (P_c) pada rangkaian AHBC. Rangkaian pengolah sensor putaran seperti pada Gambar 10.

Rangkaian controller dan pengaturan sudut (on dan pulsa), digunakan untuk mengendalikan kerja SRM 3 fasa, seperti pada Gambar 11.



Gambar 10. Rangkaian pengolah sensor putaran



Gambar 11. Rangkaian controller dan pengaturan sudut.

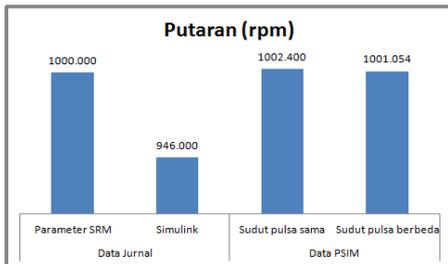
Terminal input pada unit kendali selain berasal dari unit pengolah putaran P_a , P_b dan P_c juga berasal dari sudut on dan sudut pulsa. Sudut on dibuat tetap 90° untuk menghasilkan putaran maju (*forward*). Sudut pulsa divariasikan (diubah-ubah) untuk menghasilkan putaran dan torsi yang diinginkan, yang besarnya $0^\circ - 120^\circ$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

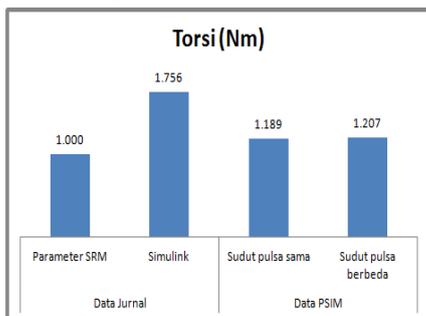
Hasil simulasi putaran yang mendekati dengan parameter jurnal, yaitu putaran (1000 rpm) dan torsi (1 Nm) seperti pada Tabel 1. Urutan hasil simulasi untuk putaran yang mendekati dengan data parameter jurnal (1000 rpm) adalah PSIM dengan kondisi sudut pulsa berbeda, PSIM dengan kondisi sudut pulsa sama, dan terakhir simulink. Hasil simulasi torsi yang mendekati dengan data parameter jurnal (1 Nm) adalah PSIM dengan kondisi sudut pulsa sama, PSIM dengan kondisi sudut pulsa berbeda, dan terakhir simulink. Secara grafik perbandingan hasil putaran dan torsi dapat dilihat pada Gambar. 12 dan Gambar. 13.

Tabel 1. Perbandingan data jurnal dengan PSIM

No	Besaran	Data jurnal		Data PSIM	
		Parameter SRM	Simulink	Sudut pulsa sama	Sudut pulsa berbeda
1	Putaran (rpm)	1000	946	1002,400	1001,054
2	Torsi (Nm)	1	1,756	1,189	1,207
3	Arus motor (A)	3	-	1,266	1,410
4	Arus fasa rata-rata (A)	-	0,953	0,856	1,062
5	Arus fasa maksimum (A)	-	2,379	2,051	2,004
6	Rugi-rugi IGBT (W)	-	-	2 x 0,959	0,967 & 1,229
7	Rugi-rugi Dioda (W)	-	-	2 x 0,249	0,413 & 0,208



Gambar. 12. Perbandingan putaran antara data jurnal dan PSIM



Gambar. 13. Perbandingan torsi antara data jurnal dan PSIM

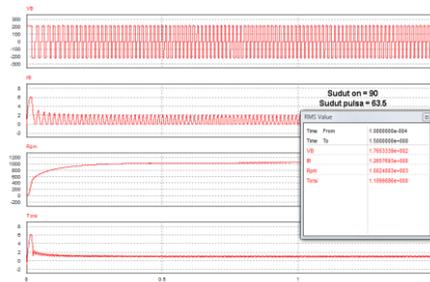
Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Tabel 3 setelah dibandingkan dapat difahami bahwa kondisi sudut pulsa sama menghasilkan putaran, torsi minimal, tegangan, yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi sudut pulsa berbeda. Kondisi sudut pulsa berbeda menghasilkan arus motor dan rugi-rugi semikonduktor yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi sudut pulsa sama. Kondisi sudut pulsa sama menghasilkan torsi maksimal yang hampir sama dengan kondisi sudut pulsa berbeda. Hasil simulasi PSIM pada kondisi sudut pulsa sama dan kondisi sudut pulsa berbeda yang mendekati data jurnal, yaitu pada sudut pulsa ($63,5^{\circ}$) dan pada sudut pulsa (85° dan 64°), seperti pada Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi PSIM, kondisi sudut pulsa sama

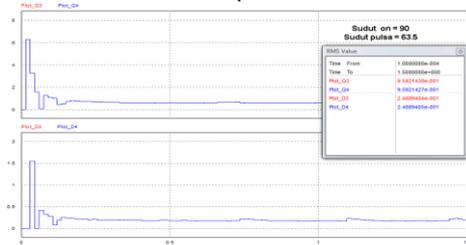
No	Besaran	Sudut pulsa sama		
		Terendah	Data jurnal	Tertinggi
1	Putaran (rpm)	546,152	1002,400	1042,351
2	Torsi (Nm)	1,205	1,189	1,213
3	Tegangan motor (V)	125,525	176,533	187,450
4	Arus motor (A)	1,097	1,266	1,363
5	Rugi-rugi IGBT (W)	2 x 0,666	2 x 0,959	2 x 1,064
6	Rugi-rugi Dioda (W)	2 x 0,196	2 x 0,249	2 x 0,287
7	Nilai sudut ($^{\circ}$)	90° (33°)	90° ($63,5^{\circ}$)	90° (72°)

Tabel 3. Perbandingan hasil simulasi PSIM, kondisi sudut pulsa berbeda

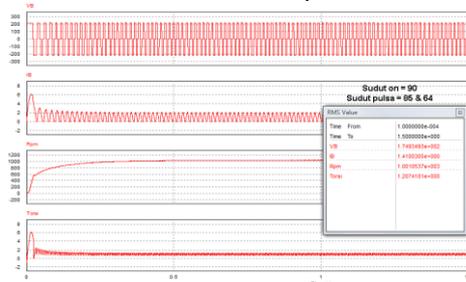
No	Besaran	Sudut pulsa berbeda		
		Terendah	Data jurnal	Tertinggi
1	Putaran (rpm)	688,875	1001,054	1003,972
2	Torsi (Nm)	1,139	1,207	1,216
3	Tegangan motor (V)	116,369	174,934	179,077
4	Arus motor (A)	1,130	1,410	1,442
5	Rugi-rugi IGBT (W)	0,408 & 0,992	0,967 & 1,229	1,008 & 1,247
6	Rugi-rugi Dioda (W)	0,447 & 0,041	0,413 & 0,208	0,414 & 0,232
7	Nilai sudut ($^{\circ}$)	90° ($85^{\circ}/31^{\circ}$)	90° ($85^{\circ}/64^{\circ}$)	90° ($85^{\circ}/67^{\circ}$)



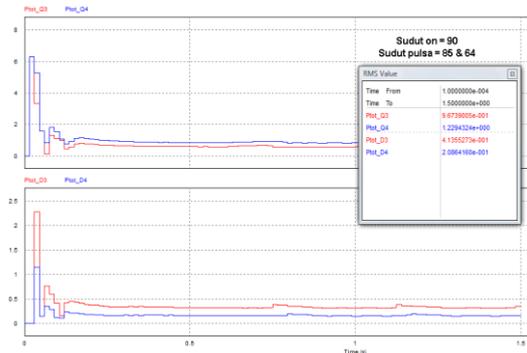
Gambar 14. Nilai tegangan, arus, putaran dan torsi, sudut pulsa $63,5^{\circ}$



Gambar 15. Rugi-rugi semikonduktor pada IGBT dan dioda, sudut pulsa $63,5^{\circ}$



Gambar 16. Nilai tegangan, arus, putaran dan torsi, sudut pulsa 85° dan 64°



Gambar 17. Rugi-rugi semikonduktor, sudut pulsa 85^o & 64^o

Tabel 4. Hasil perhitungan induktansi dan fluks gandeng

No	Besaran	Sudut pulsa sama		
		Terendah	Data jurnal	Tertinggi
1	Induktansi (H)	0,270	0,331	0,326
2	Fluks gandeng (Wb)	0,296	0,419	0,444
3	Nilai sudut (°)	90° (33°)	90° (63,5°)	90° (72°)
No	Besaran	Sudut pulsa berbeda		
		Terendah	Data jurnal	Tertinggi
1	Induktansi (H)	0,243	0,294	0,294
2	Fluks gandeng (Wb)	0,274	0,414	0,424
7	Nilai sudut (°)	90° (85°/31°)	90° (85°/64°)	90° (85°/67°)

Hasil perhitungan induktansi dan fluks gandeng untuk kondisi sudut pulsa sama dan berbeda seperti pada Tabel 4, dimana kondisi sudut pulsa sama menghasilkan induktansi dan fluks gandeng yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi sudut pulsa berbeda.

KESIMPULAN

Kesimpulan, berdasarkan data jurnal, putaran 1000 rpm, torsi 1 Nm, dan rugi-rugi semikonduktor pada rangkaian AHBC SRM 3 fasa dapat disimulasikan menggunakan PSIM. Kondisi sudut pulsa sama menghasilkan putaran, torsi minimal, tegangan, induktansi dan fluks gandeng yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi sudut pulsa berbeda. Kondisi sudut pulsa berbeda menghasilkan arus motor dan rugi-rugi semikonduktor yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi sudut pulsa sama. Kondisi sudut pulsa sama menghasilkan torsi maksimal yang hampir sama dengan kondisi sudut pulsa berbeda (1,213 Nm dan 1,216 Nm). Penelitian ini dapat dikembangkan yaitu memperkirakan sudut posisi rotor dengan algoritma tertentu (misalnya fuzzy logic control, artificial neural network atau yang lainnya). Pengembangan lainnya adalah meneliti pengubah daya yang serupa, yaitu *series passive converter* dan *paralell passive converter*, dan didukung dengan eksperimen di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- A.Kakilli. (2011). Magnetic Analysis of Modified-Rotor Switched Reluctance Motor. *Electronics and Electrical Engineering*, No. 9(115), 21-26.
- Abbas, W. (2007). *Switched Reluctance Motor : Design, Simulation and Control*. Sydney: University of Wwestern.
- Celik, T. (2011). *Segmental Rotor Switched Reluctance Drives*. Tyne: University of Newcastle Upon Tyne.
- Cunningham, J. D. (2011). *Switched Reluctance Motor Drive Circuit Evaluation Criteria for Vehicle Efficiency and Responsiveness*. Austin: Texas University.
- Elwakil, E. (2009). *A New Converter Topology for High Speed High Starting Torque Three Phase Switched Reluctance Motor Drive System*. United of Kingdom: Dep. of Electronic and Computer Engineering School of Engineering and Design Brunel University.
- Ganguli. (2011). P-Spice Simulated Bifilar Winding Converter for Switched Reluctance Motor Drives. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 1(1V), 364-368.
- Gupta. (2010). Sensorless Control of Switched Reluctance Motor Drive with Fuzzy Logic Based Rotor Position Estimation. *International Journal of Computer Applications*, 1, 72-79.
- Hasan, R. (2012). Comprehensive Model of SRM in Matlab Environment. *International Journal of Engineering & Computer Science IJECS-IJENS*, 12, 89-96.
- Liptak, M. (2004). Principle of Design of Four Phase Low Power Switched Reluctance Machine Aimed to The maximum Torque Production. *Electrical Engineering*, 55, No. 5-6, 138-143.
- M.Liptak. (2007). Switched Reluctance Machine with Asymmetric Power Converter in Generating Mode. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 7, No. 1, 1-6.
- Powersim. (2011). PSIM User's Manual, Version 9.1. Powersim Inc.
- Sedghizadeh. (2009). Sensorless Speed Control of Switched Reluctance Motor Drive Using the Binary Observer with Online Flux-Linkage Estimation. *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, 5, 145-150.
- Singh. (2011). Converters Performance Evaluation of Switched Reluctance Motor in Simulink. *International Journal*

- of industrial Electronics and Control*, 3, 89-101.
- Souvik. (2011). Comparison of The Various Converter Topologies for a Three Phase Switched Reluctance Motor Drive. *Journal of Engineering Research and Studies*, 2(IV), 69-71.
- Souvik. (2011). Comparative Study of Different Switching Circuit Topologies for Linear Switched Reluctance Motor. *Journal of Engineering Research and Studies*, 2(IV), 80-83.
- Yuan. (2000). *Speed Control of Switched Reluctance Motors*. Hong Kong: Department of Electrical and Electronic Engineering, Hong Kong University.