

Peningkatan Kinerja *Switched Reluctance Generator* dengan Pergeseran Sudut Penyalaan

RIZKY AMALIA, SLAMET RIYADI, FLORENTINUS BUDI SETIAWAN,
LEONARDUS HERU PRATOMO

Teknik Elektro Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, Indonesia
Email: ryzkiamalia@gmail.com

Received 18 Maret 2021 | *Revised* 11 April 2021 | *Accepted* 19 April 2021

ABSTRAK

Dewasa ini teknologi energi terbarukan biasanya menggunakan mesin listrik sinkron Alternating Current (AC) pada pembangkit listrik tenaga angin. Generator listrik sinkron AC menggunakan brush pada proses eksitasi yang membutuhkan perawatan berkala sehingga rumit jika diaplikasikan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Pada penelitian ini generator akan menggunakan mesin Switched Reluctance yang dioperasikan sebagai Switched Reluctance Generator (SRG). Untuk menghasilkan keluaran arus yang optimal, SRG akan dioperasikan dengan mengatur sudut penyalaan fasa menggunakan metode single pulse. Metode pensakelaran ini diatur oleh input capture fasilitas mikrokontrol dsPIC 30F4012. Penelitian ini telah diverifikasi dengan simulasi Simulink MATLAB dan pengujian alat. Hasil pengujian optimal dibuktikan pada sudut penyalaan $\theta_{on} = 40$ derajat dan $\theta_{off} = 170$ derajat menghasilkan arus discharging sebesar 7.6 A dengan kecepatan 1647.1 RPM ditandai dengan bentuk gelombang arus yang ideal. Hasil arus discharging yang optimal dapat meningkatkan kinerja SRG, sehingga metode ini dapat diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga angin.

Kata kunci: SRG, dsPIC30F4012, sudut penyalaan, single pulse

ABSTRACT

Nowadays, renewable energy technology usually uses AC synchronous electric machines in wind power. AC synchronous generator uses a brush in the excitation process, which requires periodic maintenance so it is complicated if applied to wind power. In this research, the generator will use a Switched Reluctance machine that operated as a SRG. To produce an optimal current, the SRG will be operated by adjusting the ignition angle using the single pulse method. This method is controlled by input capture of the microcontroller dsPIC 30F4012. This research has been verified by simulating Simulink MATLAB and testing device. The optimal test results are proven at the ignition angle $\theta_{on} = 40$ degree and $\theta_{off} = 170$ degree produces a discharging current of 7.6 A with a speed of 1647.1 RPM characterized by the ideal current waveform. The optimal discharging current results can improve the performance of the SRG, so this method can be applied to wind power.

Keywords: SRG, dsPIC30F4012, the ignition angle, single pulse

1. PENDAHULUAN

Teknologi energi terbarukan dewasa ini terus dikembangkan salah satunya pembangkit listrik tenaga angin (**Freitas, dkk, 2018**). Mesin listrik yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin biasanya mesin listrik sinkron tipe AC. Mesin listrik jenis ini memiliki kekurangan dari segi perawatan karena adanya belitan pada rotor dan stator mesin. Mesin ini membutuhkan *brush* dalam proses eksitasi. *Brush* akan habis seiring waktu akibat proses gesekan pada rotor, sehingga dibutuhkan perawatan secara berkala (**Zhu & Hu, 2012**).

Untuk mengatasi hal tersebut, mesin *Switched Reluctance* (Mesin SR) dapat menjadi pengganti dari mesin listrik AC karena memiliki desain yang sederhana dan perawatan yang mudah (**Barros & Ruppert Filho, 2015**). Ini karena mesin SR hanya memiliki belitan pada stator dan rotor yang terbuat dari inti besi. Selain itu, mesin SR dapat dioperasikan sebagai motor dan generator (**Nasirian, dkk, 2013**) (**Ahmad & Narayanan, 2020**). Pada pembangkit listrik tenaga angin, mesin SR akan dioperasikan sebagai *Switched Reluctance Generator* (SRG) (**Byun & Cho, 2014**) (**Jayapragash & Chellamuthu, 2017**). Pada penelitian sebelumnya SRG dioperasikan dengan *close loop* menggunakan kontrol *Fuzzy Logic* (**Chirapo, dkk, 2019**). SRG yang dioperasikan dengan *close loop* memiliki kekurangan yaitu, sulit diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga angin karena kontrolnya yang rumit. Dalam mengoperasikan SRG dibutuhkan adanya konverter salah satunya konverter tipe *asymmetric* (**Rasakannu & Chinnagounder, 2016**) (**Wang, dkk, 2017**). SRG memiliki tiga mode operasi yaitu *magnetizing*, *freewheeling*, dan *demagnetizing* (**Riyadi, 2019**).

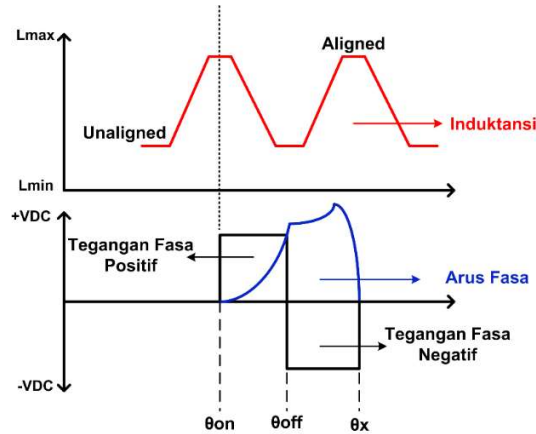
Mode operasi SRG dapat diatur dengan dua metode pensakelaran yaitu metode pensakelaran *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *single pulse* (**Dou, dkk, 2016**) (**Hajiabadi, dkk, 2020**). Metode PWM memiliki kekurangan yang diakibatkan oleh proses *switching*, sehingga keluaran yang dihasilkan kurang optimal. Solusi lainnya yaitu menggunakan metode *single pulse*. Metode *single pulse* dioperasikan dengan memberikan pulsa selama wilayah induktansi meningkat (**Ahmad & Narayanan, 2020**). Metode ini memiliki tiga parameter utama yaitu eksitasi, sudut nyala (θ_{on}), dan sudut pemadaman (θ_{off}) (**Chirapo, dkk, 2019**) (**Ahmad & Narayanan, 2020**). Penempatan sudut – sudut tersebut berdasarkan letak induktansi dengan cara memberikan sinyal modulasi pulsa pada pensakelaran konverter. Selanjutnya SRG akan diberi eksitasi saat posisi rotor dan stator *aligned* melalui mode operasi *magnetizing* yang diatur oleh pensakelaran konverter (**Hrabovcová, dkk, 2013**). Eksitasi yang diberikan berfungsi untuk menjadikan rotor sebagai magnet sesaat, sehingga rotor dapat menginduksi stator dan menghasilkan *back-EMF* dengan mode operasi *demagnetizing*. Hasil keluaran dengan metode *single pulse* bersifat *continuous* atau keluaran yang dihasilkan konstan sehingga kinerja pada SRG lebih optimal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penentuan sudut penyalaan pada SRG agar menghasilkan arus yang optimal. Pada penelitian ini, SRG menggunakan metode *single pulse input capture* yang telah diverifikasi dengan simulasi *Simulink MATLAB* dan pengujian di laboratorium.

2. METODOLOGI

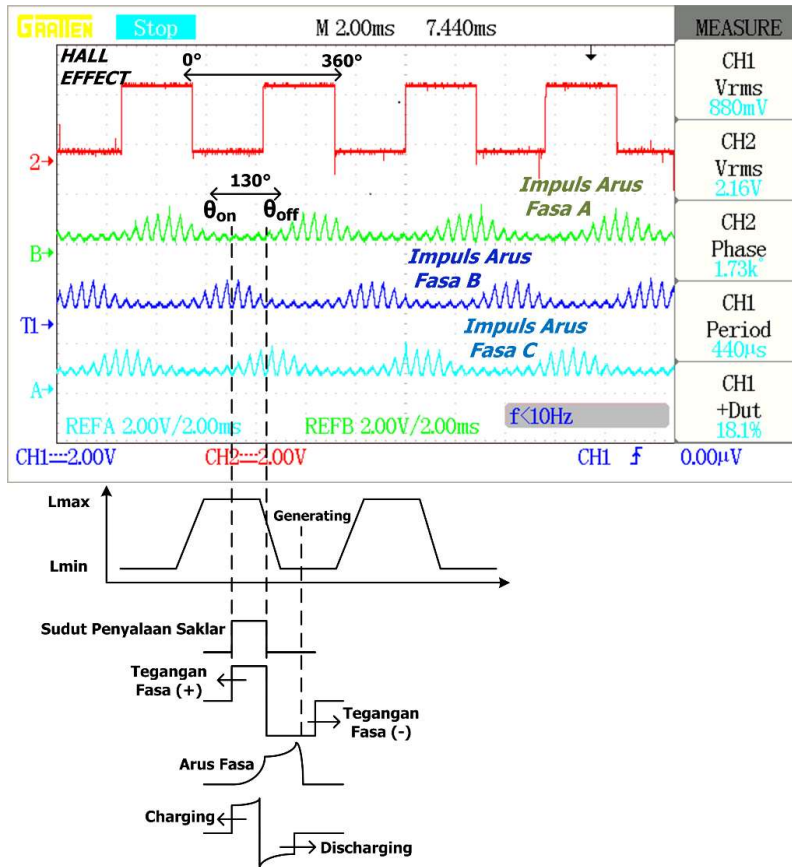
2.1 Pengaturan Letak Sudut Penyalaan pada SRG

Dalam mengatur sudut penyalaan memerlukan tiga parameter utama yaitu eksitasi, sudut penyalaan (θ_{on}) dan sudut pemadaman (θ_{off}) (**Chirapo, dkk, 2019**) (**Ahmad & Narayanan, 2020**). Sudut penyalaan dinyalakan berdasarkan posisi induktansi maksimal pada SRG (**Nasirian, dkk, 2013**).



Gambar 1. Sudut Penyalan SRG Berdasarkan Teori (Nasirian,dkk, 2013)

Berdasarkan teori pada Gambar 1, θ_{on} akan dinyalakan saat rotor dan stator (Fernandes, 2018). Saat θ_{on} dinyalakan, SRG beroperasi pada mode operasi *magnetizing*. Pada mode ini, eksitasi akan diberikan kepada rotor sehingga stator dapat terinduksi dan menghasilkan *back-EMF*. Dengan menerapkan teori pada Gambar 1, maka diperoleh hasil penyalan dengan referensi sensor *hall effect* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyalan θ_{on} dan θ_{off} Berdasarkan Impuls Arus dengan Referensi Hall Effect

Berdasarkan Gambar 2 impuls arus yang dihasilkan dengan memberikan pulsa pada pensakelaran konverter berdasarkan referensi *hall effect*, θ_{off} akan dinyalakan sejauh 130° dari

θ_{on} . Pada kondisi ini, SRG akan beroperasi di wilayah induktansi minimum (**Nasirian,dkk, 2013**). *Back-EMF* yang tersimpan pada belitan fasa akan dikembalikan ke sumber melalui mode *demagnetizing*. Penurunan fluks yang terjadi akibat mode operasi ini menghasilkan tegangan negatif sesuai pada Persamaan (1) dan (2) (**Fernandes, 2018**). Proses *generating* diindikasikan berhasil jika arus fasa *generating* yang dihasilkan ideal atau memiliki puncak arus seperti Gambar 2.

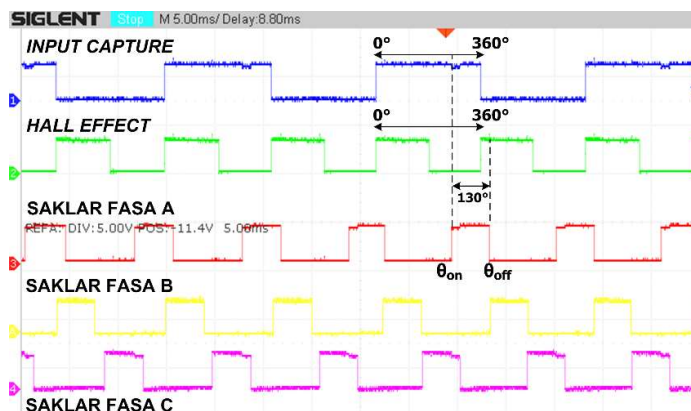
$$-V_{batt} = iR + L(i, \theta) \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL(i, \theta)}{dt} \tag{1}$$

$$-V_{batt} = iR + L \frac{di}{dt} + E \tag{2}$$

Di mana $-V_{batt}$, i , R , L , θ , dan E adalah tegangan sumber, arus fasa, resistansi pada belitan fasa, induktansi, sudut fasa, dan *back-EMF*. Persamaan (1) dan (2) menunjukkan kondisi iR pada saat nilai resistansi turun, kemudian akan menginduksi tegangan EMF dikarenakan adanya perbedaan arus. Selanjutnya rotor akan bergerak menjauhi stator dan menghasilkan *back-EMF* (E) (**Xu, dkk, 2012**).

2.2 Menentukan Sudut Penyalaan dengan Metode *Input Capture*

Penempatan sudut penyalaan ditentukan dengan metode *input capture* fasilitas *timer interrupt* dari mikrokontrol *dsPIC30F4012*. *Input capture* bekerja dengan mengubah sinyal digital menjadi nilai *interger* (**Wijaya & Riyadi, 2019**). Sinyal digital pada penelitian ini berupa hasil pembacaan sensor *hall effect* dengan nilai $0^\circ - 360^\circ$ elektrik yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Input Capture* Berhasil Dibangkitkan Berdasarkan Referensi *Hall Effect*

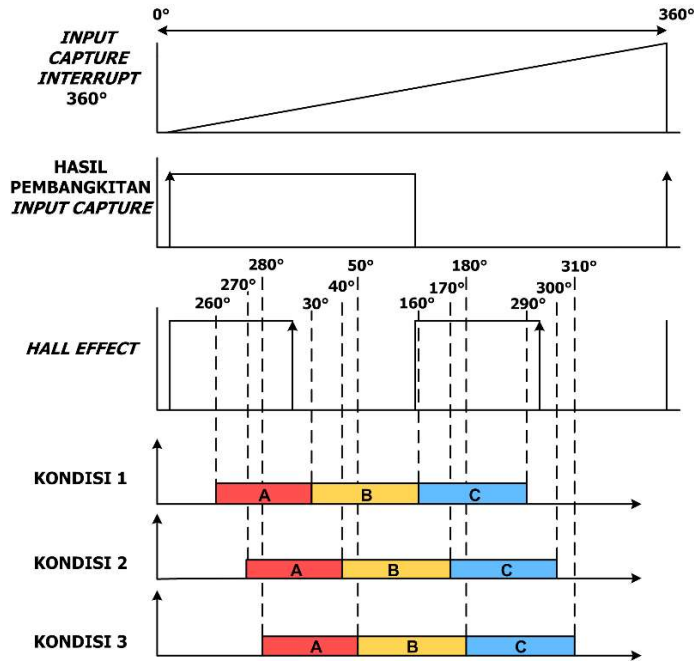
Hasil pembacaan tersebut digunakan sebagai referensi untuk membangkitkan *input capture interrupt*. Pengaturan sudut penyalaan didapat menggunakan Persamaan (3) dan (4) (**Wijaya & Riyadi, 2019**).

$$\theta_{on} = \frac{t_{on} \times IC_{rpt}}{360} \tag{3}$$

$$\theta_{off} = \frac{t_{off} \times int IC_{rpt}}{360} \tag{4}$$

Di mana t_{on} , t_{off} , dan IC_{rpt} adalah periode waktu penyalaan, periode waktu dimatikan, dan *timer interrupt* dari fasilitas *input capture* *dsPIC30F4012*. IC_{rpt} didapat dari nilai maksimum *timer*

interrupt sebesar 360° derajat elektrik (Wijaya & Riyadi, 2019). Pada simulasi menggunakan *Simulink MATLAB*, 360° derajat elektrik dari IC_{rpt} akan diasumsikan dengan 90° derajat mekanik sesuai dengan batas maksimal *timer interrupt* pada *Simulink MATLAB*.

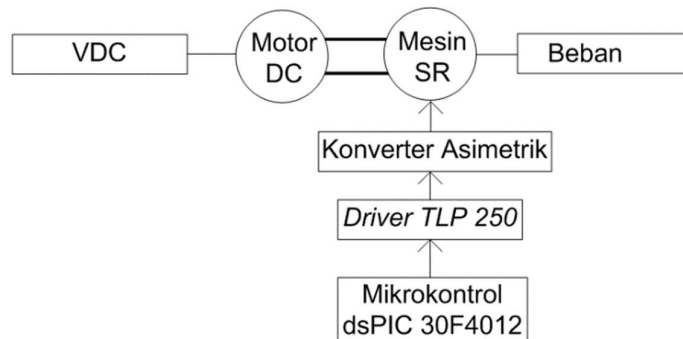


Gambar 4. Pola Pensakelaran SRG dengan Metode *Input Capture*

Berdasarkan hasil pembangkitan *input capture* seperti pada Gambar 3 dengan menggunakan Persamaan (3) dan (4), maka diperoleh pola pensakelaran SRG yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pola pensakelaran pada Gambar 4 menghasilkan tiga kondisi pengujian yaitu Kondisi 1, Kondisi 2 dan Kondisi 3.

2.3 Implementasi pada *Switch Reluctance Generator (SRG)*

Melalui sudut penyalaan yang telah ditentukan dengan metode *input capture* menghasilkan pola pensakelaran seperti pada Gambar 4. Selanjutnya SRG akan diimplementasikan dengan metode pensakelaran *single pulse*. Blok rangkaian SRG dalam pengujian ini ditunjukkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Rangkaian SRG yang Diuji

Pada Gambar 5 menunjukkan Motor DC yang disambungkan pada Mesin SR sebagai *prototype* SRG dengan pensakelaran yang diatur oleh konverter *asymmetric* melalui dsPIC30F4012.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metodologi penelitian yang telah diuraikan divalidasi dengan simulasi menggunakan *Simulink MATLAB* dan diimplementasikan pada uji laboratorium dengan parameter simulasi ditampilkan pada Tabel 1 dan parameter mesin SR pada Tabel 2.

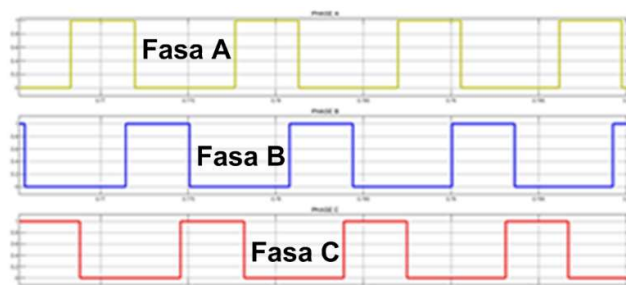
Tabel 1. Parameter Mesin SR pada Simulasi

Parameter	Nilai	Unit
Jumlah Fasa	3	-
Jumlah Stator	6	-
Jumlah Rotor	4	-
Tegangan	12	VDC
Resistansi	3.3	Ohm (Ω)
Kecepatan	1750	RPM

Tabel 2. Parameter Mesin SR

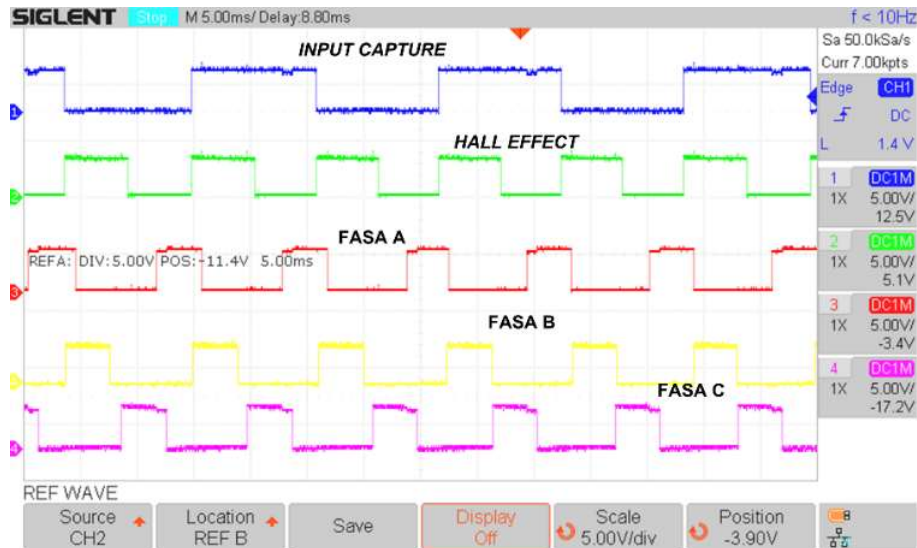
Parameter	Nilai	Unit
Jumlah Fasa	3	-
Jumlah Stator	12	-
Jumlah Rotor	8	-
Tegangan	12	VDC
Resistansi	3.3	Ohm (Ω)
Induktansi	1.4	Mh
Kecepatan	1600	RPM

Tabel 1 merupakan parameter pengujian dengan menggunakan simulasi *Simulink MATLAB* guna mendeteksi keluaran yang dihasilkan sebelum diimplementasikan ke alat. Tabel 2 merupakan parameter pengujian alat dan telah diimplementasikan guna membuktikan bahwa metode yang diusulkan dapat bekerja dan divalidasi dengan pengujian simulasi. Implementasi alat menggunakan motor DC sebagai penggerak kinetik untuk menyimulasikan turbin pada pembangkit listrik tenaga angin. Implementasi alat yang telah diuji dapat dilihat pada Gambar 8.



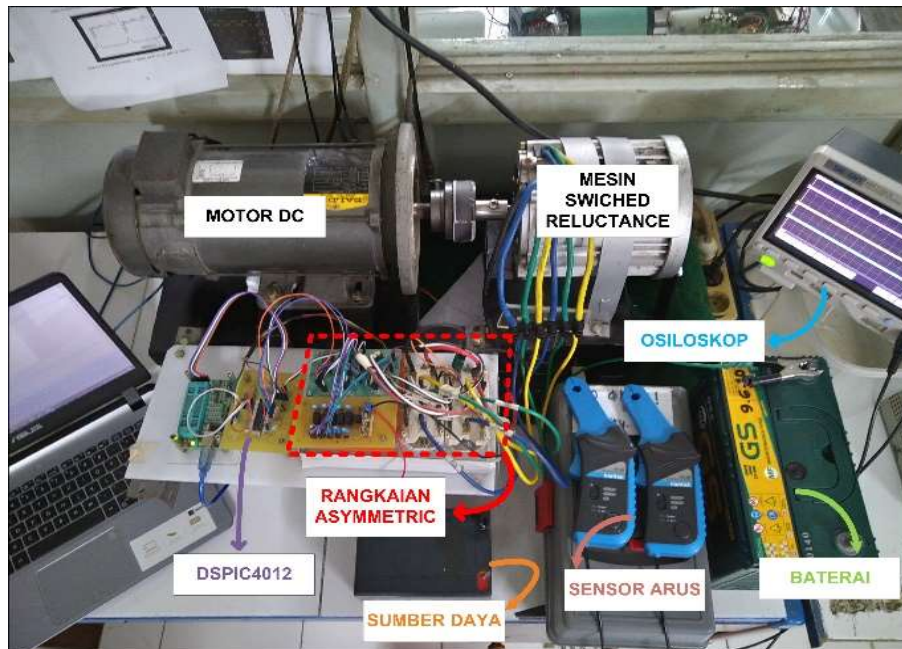
Gambar 6. Hasil Pensakelaran Fasa A, B, dan C Pada Simulasi

Sudut penyalaan fasa dinyalakan berdasarkan profil induktansi pada simulasi *Simulink MATLAB* dengan asumsi jarak antar fasa sama yaitu sebesar 90° , sehingga menghasilkan pensakelaran seperti pada Gambar 6.



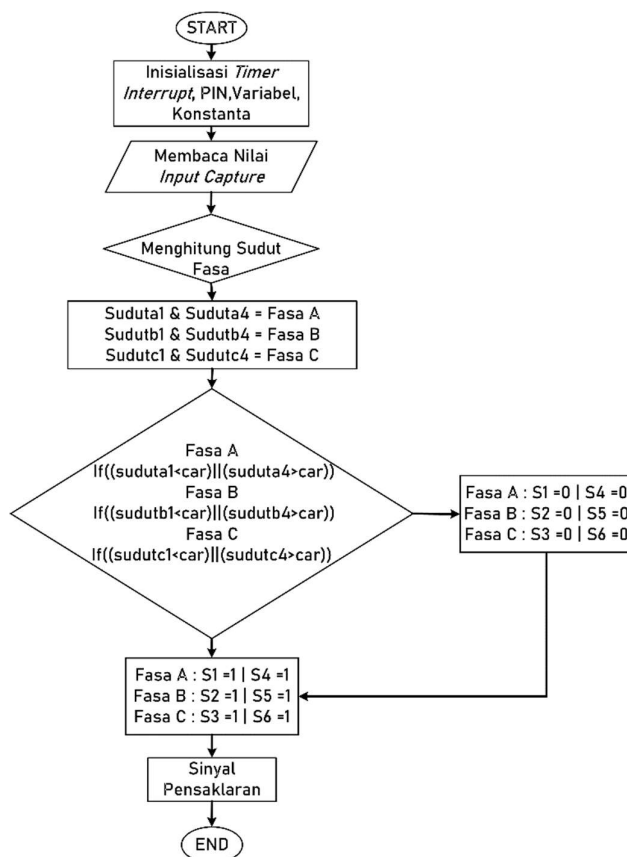
Gambar 7. Hasil Pensakelaran Fasa A, B, dan C Saat Pengujian Alat

Hasil keluaran pensakelaran pada simulasi *Simulink MATLAB* diverifikasi dengan hasil pensakelaran pada uji alat yang ditunjukkan pada Gambar 7.



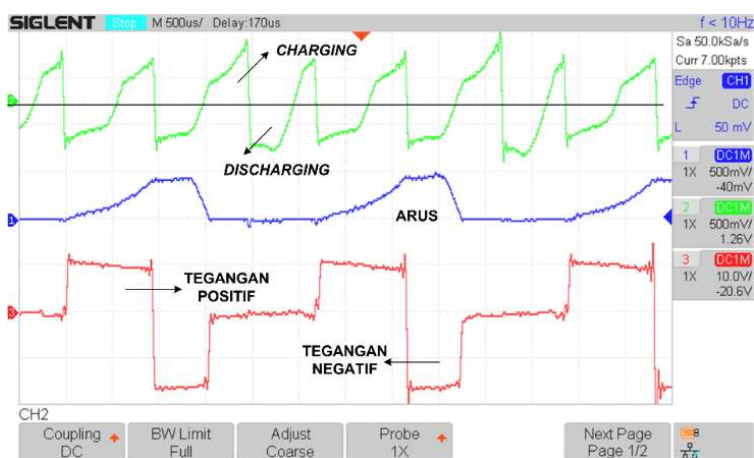
Gambar 8. Implementasi Alat *Switched Reluctance Generator*

Pembuatan alat berdasarkan diagram blok pada Gambar 5 menggunakan konverter tipe *asymmetric* ditunjukkan pada Gambar 8. Motor DC berfungsi sebagai pemutar dari Mesin SR pengganti energi kinetik. Baterai 12 V yang digunakan berfungsi sebagai sumber dari saklar daya pada konverter dan sebagai simulasi beban pada pembangkit listrik tenaga angin.



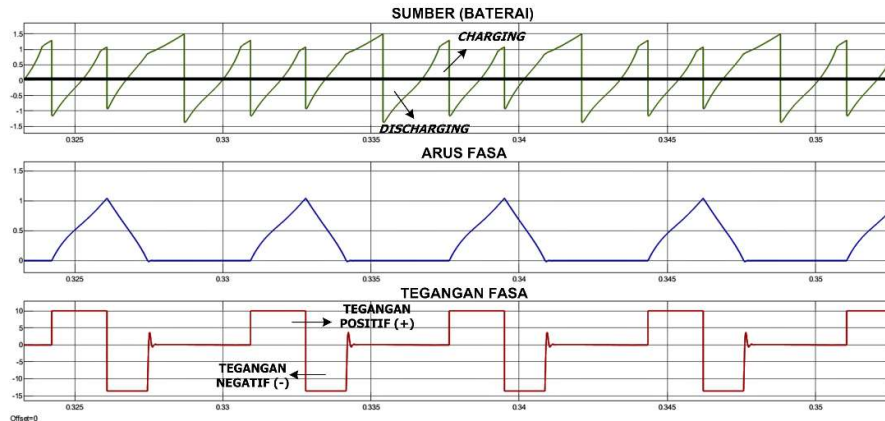
Gambar 9. Diagram Alur Pemrograman Menggunakan Mikronkontrol dsPIC30F4012

Sensor *hall effect* pada mesin SR sebagai referensi dari metode *input capture* fasilitas dsPIC30F4012. Hasil keluaran dari *input capture* yang telah dibangkitkan menghasilkan pola pensaklaran sudut penyalaan seperti Gambar 4 dengan alur pemrograman yang ditunjukkan pada Gambar 9.



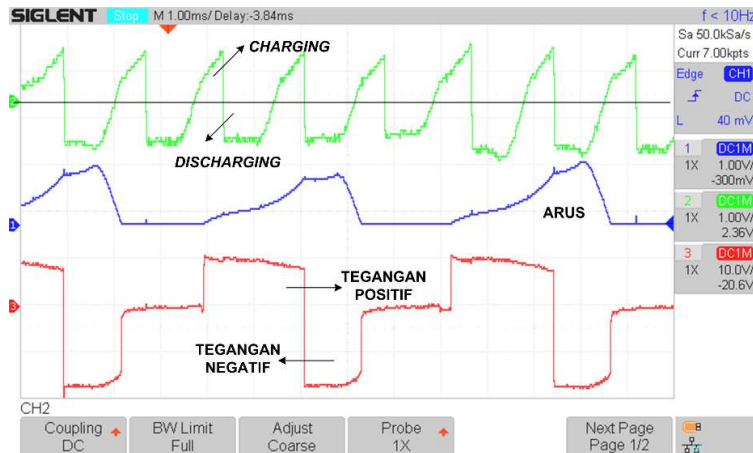
Gambar 10. Hasil Keluaran Arus Baterai, Arus Fasa, dan Tegangan Fasa pada Pengujian $\theta_{on} = 30^\circ$ dan $\theta_{off} = 160^\circ$

Berdasarkan alur pemrograman pada Gambar 9 maka dilakukan tiga pengujian dengan tiga kondisi sudut penyalan yang digeser 10° dari kondisi awal. Kondisi sudut penyalan pertama yaitu pada $\theta_{on} = 30^\circ$ dan $\theta_{off} = 160^\circ$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil keluaran gelombang menunjukkan wilayah *charging* lebih luas dari wilayah *discharging*. Bentuk gelombang arus fasa yang ditunjukkan memiliki bagian wilayah yang tereksitasi cukup luas dengan puncak arus fasa yang tidak ideal.



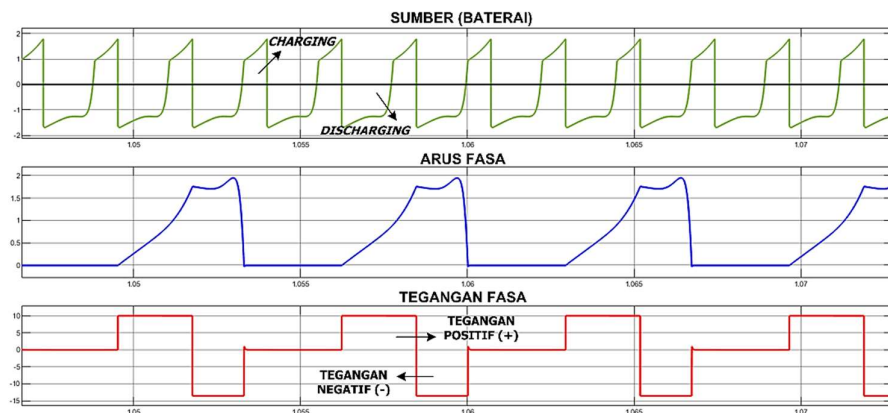
Gambar 11. Hasil Keluaran Arus Baterai, Arus Fasa, dan Tegangan Fasa pada Simulasi $\theta_{on} = 15^\circ$ dan $\theta_{off} = 65^\circ$

Kondisi sudut penyalan ini menghasilkan arus keluaran sumber (*charging*) sebesar 5.2 A dan arus yang dikembalikan ke sumber (*discharging*) sebesar 6.8 A. Hasil pengujian tersebut diverifikasi dengan simulasi pada kondisi sudut penyalan saat $\theta_{on} = 15^\circ$ dan $\theta_{off} = 65^\circ$ yang ditunjukkan pada Gambar 11.



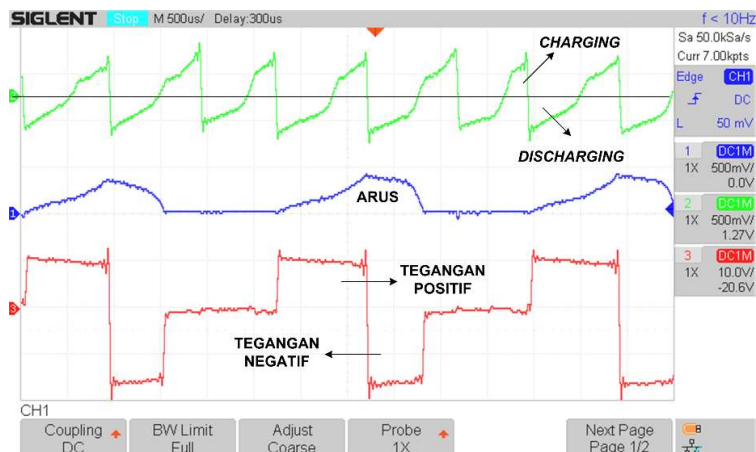
Gambar 12. Hasil Keluaran Arus Baterai, Arus Fasa, dan Tegangan Fasa pada Pengujian $\theta_{on} = 40^\circ$ dan $\theta_{off} = 170^\circ$

Pada Gambar 12 disajikan hasil keluaran arus sumber, arus fasa, dan tegangan fasa pada pengujian dengan menggeser fasa sebesar 10° dari kondisi awal. Sudut penyalan pada kondisi ini dinyalakan saat $\theta_{on} = 40^\circ$ dan $\theta_{off} = 170^\circ$. Bentuk gelombang arus fasa memiliki bagian puncak arus fasa sesuai dengan gelombang arus ideal. Selain itu, wilayah yang tereksitasi pada keluaran gelombang arus fasa lebih sempit dari arus yang dibangkitkan. Arus *charging* memiliki wilayah yang luas dari wilayah arus *discharging*.



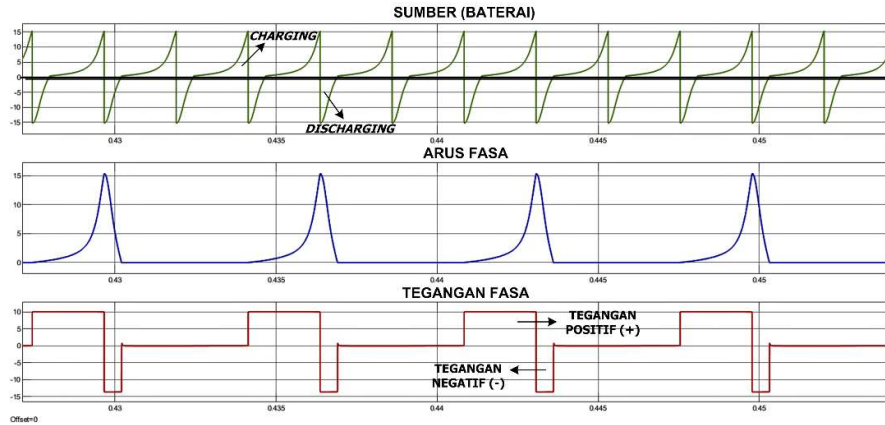
Gambar 13. Hasil Keluaran Arus Baterai, Arus Fasa, dan Tegangan Fasa pada Simulasi $\theta_{on} = 20^\circ$ dan $\theta_{off} = 80^\circ$

Pada kondisi ini arus yang dikembalikan ke sumber sebesar 7.6 A dengan arus *charging* sebesar 5.2 A. Kondisi sudut penyalaan ini adalah kondisi paling optimal dan diverifikasi dengan hasil gelombang keluaran dari simulasi pada $\theta_{on} = 20^\circ$ dan $\theta_{off} = 80^\circ$ seperti Gambar 13.



Gambar 14. Hasil Keluaran Arus Baterai, Arus Fasa, dan Tegangan Fasa pada Pengujian $\theta_{on} = 50^\circ$ dan $\theta_{off} = 180^\circ$

Pada Gambar 14 disajikan hasil keluaran arus sumber, arus fasa, dan tegangan fasa pada pengujian dengan menggeser fasa sebesar 20° dari kondisi awal. Sudut penyalaan pada kondisi ini adalah saat $\theta_{on} = 50^\circ$ dan $\theta_{off} = 180^\circ$. Bentuk gelombang arus fasa yang dihasilkan memiliki puncak arus fasa yang tidak ideal. Gelombang arus sumber yang dihasilkan memiliki luasan *discharging* dan *charging* yang sama.



Gambar 15. Hasil Keluaran Arus Baterai, Arus Fasa, dan Tegangan Fasa pada Simulasi $\theta_{on} = 10^\circ$ dan $\theta_{off} = 40^\circ$

Arus yang dikembalikan ke sumber sebesar 5.4 A dengan arus *charging* 5.2 A sehingga arus yang dikembalikan dan arus yang diberikan memiliki nilai yang hampir sama. Hal tersebut diverifikasi dengan hasil keluaran gelombang simulasi pada sudut penyalan $\theta_{on} = 10^\circ$ dan $\theta_{off} = 40^\circ$ seperti pada Gambar 15.

Tabel 3. Perubahan Arus Terhadap Perubahan Sudut Penyalan pada Kecepatan 1647.1 RPM

Sudut Penyalan	Arus <i>Charging</i>	Arus <i>Discharging</i>
$\theta_{on} = 30^\circ$ dan $\theta_{off} = 160^\circ$	5.2 A	6.8 A
$\theta_{on} = 40^\circ$ dan $\theta_{off} = 170^\circ$	5.2 A	7.6 A
$\theta_{on} = 50^\circ$ dan $\theta_{off} = 180^\circ$	5.2 A	5.4 A

Berdasarkan hasil perubahan arus terhadap perubahan sudut penyalan pada Tabel 3 yang telah dilakukan dan diverifikasi dengan simulasi *Simulink MATLAB*, SRG yang dioperasikan secara *open loop* mampu menghasilkan keluaran arus optimal sebesar 7.6 A dengan kecepatan 1647.1 RPM.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian yang telah dilakukan, pergeseran sudut penyalan dapat mempengaruhi keluaran arus yang dihasilkan pada SRG. Penempatan sudut penyalan didapat dari hasil pembacaan *input capture* dengan metode *single pulse*. Keluaran arus yang optimal dapat dilihat dari bentuk gelombang arus yang ditandai dengan puncak arus berdasarkan gelombang arus ideal. Berdasarkan bentuk gelombang arus ideal, $\theta_{on} = 40^\circ$ dan $\theta_{off} = 170^\circ$ adalah kondisi sudut penyalan paling optimal. Pada kondisi ini dapat menghasilkan arus yang dikembalikan ke sumber (*discharging*) sebesar 7.6 A dengan kecepatan 1647.1 RPM. Pada penelitian ini, dengan menggunakan sistem kontrol *open loop* dapat menghasilkan keluaran arus yang optimal. Hasil keluaran arus yang optimal dapat meningkatkan kinerja pada SRG, sehingga metode ini sesuai jika diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga angin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini adalah bagian dari Penelitian yang didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dengan skema PTUPT 2020.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahmad, S., & Narayanan, G. (2020). Modeling of Single-Pulse Operated Switched Reluctance Generator and Its Verification. *10th International Conference on Power Electronics- ECCE Asia* (pp. 4966-4976). Busan, Korea: IEEE Transactions on Industry Applications.
- Barros, A., & Ruppert Filho, E. (2015). Direct Power Control for Switched Reluctance Generator in Wind Energy. *IntechOpen Journal Sciences*, *13*(1), 123-128.
- Byun, S.-i., & Cho, Y.-h. (JANUARY 2014). A Study on the Maximum Power Control Method of Switched Reluctance Generator for Wind Turbine. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, *VOL. 50*, *NO. 1*, 1-4.
- Chirapo, K. A., Di Santo, S. G., Sguarezi, A., & Delgado, I. (2019). Direct power control of 12/8 Switched Reluctance Generator connected to single-phase electrical grid using the self-tuning FUZZY PI Controller. *Proceedings of the 2019 IEEE 26th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2019* (pp. 1-4). Brasil: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Dou, Y., Wang, Q., Chen, H., & Dongsheng, Y. (Desember 2016). High efficiency control of switched reluctance generator above base speed. *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*. Trivandrum: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Fernandes, N. (2018). *Control of Switched Reluctance Generator Dissertation*. University of Mumbai, Department of Electrical Engineering. Mumbai, India: Research Gate.
- Freitas, M. A., Viajante, G. P., Andrade, G. A., Chaves, E. N., Queiroz, C. A., Silva, L. G., . . . Domingos, J. L. (2018). Comparative Analysis of The 6/4 and 8/6 Switched Reluctance Generator in Different Operating Conditions. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGIES AND POWER QUALITY (ICREPQ'18)*. *10*, pp. 487-492. SPAIN: The E&Q Journal by European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality.
- Hajiabadi, Farshad, & Shamsinejad. (2020). Multi-Objective Optimization and Online Control of Switched Reluctance Generator for Wind Power Application. *International Journal of Industrial Electronics Control and Optimization*, *33* - 35.

- Hrabovcová, V., Rafajdus, P., Lipták, M., & Szabó, L. (2013). Performances of converters suitable for switched reluctance generator (SRG) operation. *Journal of Electrical Engineering*, *64*(4), 201-211.
- Jayapragash, R., & Chellamuthu, C. (Januari 2017). Implementation of Wind Powered Switched Reluctance Generator System. *International Journal of Renewable Energy Research*, *7*(3), 1019 - 1027.
- Nasirian, V., Kaboli, S., & Davoudi, A. (2013). Output Power Maximization and Optimal Symmetric Freewheeling Excitation for Switched Reluctance Generators. *SEMANTIC SCHOLAR*, *49*(3), 1031-1042.
- Rasakannu, J., & Chinnagounder, C. (2016). Design and implementation of small power switched reluctance generator-based wind energy conversion system. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *24*(4), 3228-3239.
- Riyadi, S. (2019). *Konverter Statis untuk Penggerak Motor Switched Reluctance Konverter Statis untuk Penggerak Motor Switched Reluctance*. Semarang: Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.
- Wang, W., Chen, H., Wang, Q., Dou, Y., Yan, S., & Liu, Z. (2017). Control system of switched reluctance generator. *2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* (pp. 1064-1069). St. Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Wijaya, V., & Riyadi, S. (2019). Implementation of Input Capture Method on Switched Reluctance Motor to Obtain Precise Commutation Signals. *2019 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)* (pp. 110-114). Yogyakarta, Indonesia: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Xu, Y. Z., Zhong, R., Chen, L., & Lu, S. L. (2012). Analytical method to optimise turn-on angle and turn-off angle for switched reluctance motor drives. *IET Electric Power Applications*, *16*, 593-603.
- Zhu, Z. Q., & Hu, J. (2012). Electrical machines and power-electronic systems for high-power wind energy generation applications : Part I - market penetration , current technology and advanced machine systems. *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering Emerald Article*, *32*(1), 1 - 29.