

ANALISA OPERASI PARALEL PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR DALAM SISTEM KONVERSI ENERGI ANGIN

Agusnadi¹⁾, Amir Hamzah¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau

Email: agusnadi.3096@student.unri.ac.id , amir.hamzah@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

The wind energy conversion system using Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) has been used as a solution for applications that have low-speed initial drives such as wind turbines and micro-hydro turbines. This study aims to analyze the effect of operating a PMSG and parallel units in an isolated wind conversion system using a three-phase rectifier with diode type and boost converter with varying wind speed characteristics on wind turbines. The power capacity of the wind turbine generator is 500 Watt with an output voltage of 24 Vac and the battery energy storage system has a capacity of 50 Ah. The results of a simulation of the PMSG operating circuit in a wind energy conversion system for one unit, using a 50 ohm resistance at wind speeds of 10 m/s to 12 m/s produce a converter output voltage of 26.58 Vdc at a wind speed of 10 m/s, 39.45 Vdc at a wind speed of 11 m/s, and 52.84 Vdc at a wind speed of 12 m/s. In the operation of a wind energy conversion system for four units, each converter output voltage with a wind speed of 12 m/s is a 41.3 Vdc one turbine, 44.75 Vdc two turbines, 46.3 Vdc three turbines and four 37.57 turbines Vdc.

Keywords : *Renewable Energy, Wind Energy Conversion System, Permanent Magnet Synchronous Generator, Boost Converter, Three-Phase Rectifier*

PENDAHULUAN

Untuk mendukung pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia, diperlukan pemetaan potensi EBT yang ada di Indonesia. Sampai dengan tahun 2015, sumber daya EBT khususnya energi angin dan *hybrid* memiliki sumber daya 3-6 m/s, 60 GW dan kapasitas terpasang sebesar 3,1 MW. EBT terus dikembangkan dan dioptimalkan, dengan mengubah pola pikir bahwa EBT bukan sekedar sebagai energi alternatif dari bahan bakar fosil, tetapi harus menjadi pasokan energi nasional dengan porsi EBT sebesar 23% pada tahun 2025 dan 2050 paling sedikit sebesar 31%. (*Outlook Energi Indonesia*, 2016).

Sistem konversi energi angin hadir sebagai pemecahan masalah dan kebutuhan untuk energi baru terbarukan. Dimana sistem ini bekerja dengan cara mengubah energi angin menjadi energi listrik. Dalam banyak penelitian dan pengembangan yang dilakukan,

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) sudah digunakan sebagai solusi untuk aplikasi yang memiliki kecepatan rendah penggerak mula seperti turbin angin dan mikro-hidro turbin (Sharma, 2011).

Pengoperasian secara paralel suatu PMSG pada sistem konversi energi angin terisolasi bisa dioperasikan pada kecepatan angin rendah untuk menghilangkan fungsi *gearbox*. dan efisiensi konversi, yang semuanya merupakan fitur penting dalam turbin angin kecil, secara substansial ditingkatkan dan biaya diturunkan (Goel dkk, 2010).

Oleh karena itu, penulis mengusulkan konsep untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga dengan kapasitas daya listrik 1200 W. Diperlukan 4 unit *permanent magnet synchronous generator (PMSG)* yang dioperasikan secara paralel dengan kapasitas daya masing-masing unit adalah 500 W. PMSG yang digunakan berdasarkan produk yang ada dipasaran, dengan spesifikasi

500W/24V/3 fasa. Pada sisi generator konverter, menggunakan penyearah tidak terkontrol tiga fasa berbasis dioda dan *boost converter*. Sistem penyimpanan energi baterai memiliki kapasitas arus 50 Ah dengan tegangan kerja yaitu 48 V.

Turbin Angin

Turbin angin berfungsi mengkonversi energi mekanik yang dibawa oleh masa udara yang bergerak (angin) menjadi energi mekanik pemutar generator (Rendra, 2016).

Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai daya turbin angin (*Wind Energy System*, 2006).

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot u^3 \quad (1)$$

Energi kinetik dalam bidang massa udara m , mengalir dengan kecepatan u dalam arah x adalah (*Wind Energy System*, 2006)

$$U = \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} (\rho A x) u^2 \text{ Joules} \quad (2)$$

Dimana A adalah luas penampang dalam m^2 , ρ adalah kerapatan udara dalam kg/m^3 , dan x adalah ketebalan bidang dalam m.

Daya angin, P_w , adalah turunan waktu dari energi kinetik dalam persamaan 3 (*Wind Energy System*, 2006).

$$P_w = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^3 \text{ Watt} \quad (3)$$

Hal ini dapat dilihat karena daya yang dipasok dari sumber asal menyebabkan energi dari bidang meningkat sesuai persamaan 3. Suatu turbin angin akan mengekstrak daya dari sisi x , dengan persamaan 4 yang menjelaskan daya total yang tersedia dipermukaan ini untuk kemungkinan ekstraksi.

Rumus untuk densitas udara diberikan dalam persamaan 4 (*Wind Energy System*, 2006).

$$\rho = 3,485 \frac{p}{T} \text{ kg/m}^3 \quad (4)$$

Dalam persamaan ini, p adalah tekanan dalam kPa dan T adalah suhu dalam Kelvin. Daya angin kemudian menjadi (*Wind Energy System*, 2006),

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A u^3 = \frac{1.742 A u^3}{T} \text{ Watt} \quad (5)$$

Dimana A adalah luas dalam m^2 dan u kecepatan angin dalam m/s. Untuk udara pada kondisi standar, 101,3 kPa dan 273 K, ini dikurangi menjadi (*Wind Energy System*, 2006),

$$P_w = 0,647 A u^3 \text{ Watt} \quad (6)$$

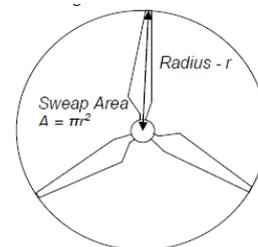
Persamaan 6 menjadi lebih umum harus digunakan setiap kali evaluasi turbin angin dari beberapa ratus meter diatas permukaan laut atau suhu secara signifikan diatas $0^\circ C$, bersama yang melewati jalur dengan reluktansi rendah.

Sapuan Bilah Turbin Angin

Daerah sapuan turbin dapat dihitung dari panjang bilah turbin menggunakan persamaan luar lingkaran. Berikut ini persamaan sapuan bilah turbin (*Wind Energy System*, 2006)

$$A = \pi r^2 \quad (7)$$

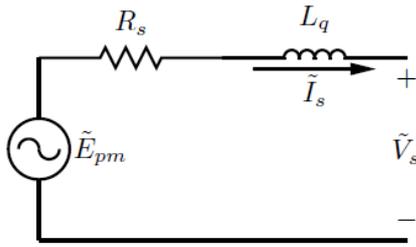
Dimana jari-jari bilah sama dengan panjang bilah ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Daerah sapuan bilah turbin angin

Permanent Magnet Generator

Magnet permanen generator memiliki medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen dari arus dalam gulungan kawat. Hal ini berarti tidak diperlukan pasokan medan yang mengurangi biaya. Ini berarti tidak ada rugi daya $I^2 R$ pada medan, yang membantu meningkatkan efisiensi. Salah satu kelemahannya adalah aliran daya reaktif tidak dapat dikendalikan jika generator PM terhubung ke jaringan utilitas (*Wind Energy System*, 2006).



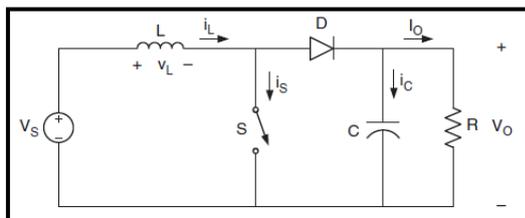
Gambar 2. Rangkaian ekivalen *steady state* suatu PMSG

Penyearah Tiga Fasa

Penyearah berfungsi untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Pada umumnya penyearah menggunakan dioda. Dioda memiliki karakteristik hanya melewati arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah sebaliknya. Jika sebuah dioda dialiri arus bolak balik (AC), maka dioda tersebut hanya akan melewatkan setengah gelombang, sedangkan setengah gelombang lainnya diblokir (Ulfy, 2017).

Konverter Penaik

Konverter penaik (*boost converter*) merupakan konverter DC-DC penaik tegangan. Konverter ini terdiri dari sumber tegangan masukan DC (V_s), induktor penaik (L), sakelar pengendali (S), dioda (D), filter kapasitor (C), dan tahanan beban (R) (Abi Yusuf, 2017).



Gambar 3. Rangkaian konverter penaik

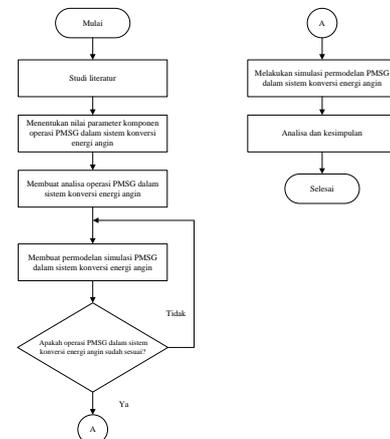
Baterai Lead Acid

Baterai *lead acid* menggunakan metode pengisian arus konstan atau tegangan konstan (CC/CV). Arus yang diatur meningkatkan tegangan terminal hingga batas tegangan pengisian puncak tercapai, pada titik dimana arus turun disebabkan oleh saturasi. Waktu pengisian daya adalah 12-16 jam dan hingga 36-48 jam untuk baterai stasioner yang besar. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian multi-tahap, waktu pengisian tersebut dapat dikurangi hingga 8-10 jam. Namun, tanpa pengisian puncak secara

penuh. Pengisian baterai *lead acid* menjadi lambat dan tidak dapat melakukan pengisian secepat sistem baterai lainnya. Baterai asam timbal harus diisi dalam tiga tahap, yaitu arus konstan, pengisian puncak dan muatan *float*. Muatan konstan saat ini menerapkan sebagian besar muatan dan menghabiskan sekitar setengah dari waktu pengisian yang diperlukan, pengisian puncak berlanjut pada arus pengisian yang lebih rendah dan memberikan saturasi, dan pengisian *float* mengkompensasi kerugian yang disebabkan oleh *self-discharge* (Batteryuniversity.com).

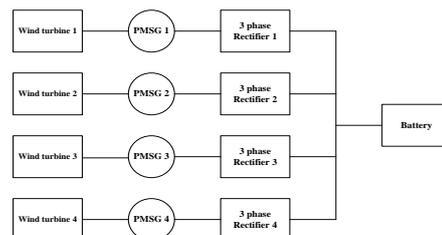
BAHAN DAN METODE

Matlab dikembangkan sebagai bahasa pemrograman sekaligus alat visualisasi, yang menawarkan banyak kemampuan untuk menyelesaikan berbagai kasus yang berhubungan langsung dengan disiplin keilmuan matematika. Matlab memiliki kemampuan mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam sebuah lingkaran yang tunggal dan mudah digunakan. Matlab menyediakan beberapa pilihan untuk dipelajari, mempelajari metode visual saja, pemrograman saja, atau kedua-duanya.



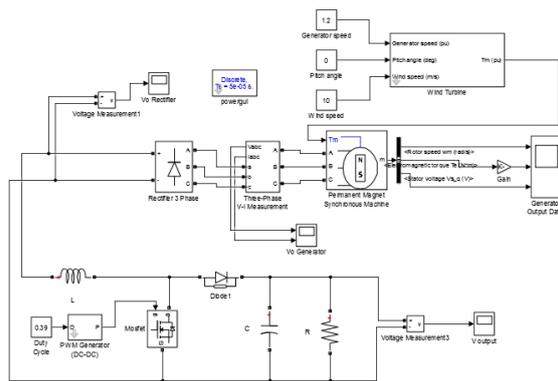
Gambar 4. Flowchart penelitian

Blok diagram penelitian



Gambar 5. Blok diagram sistem konversi energi angin secara keseluruhan

Permodelan simulasi operasi PMSG



Gambar 6. Rangkaian permodelan simulink operasi PMSG menggunakan tahanan dan kecepatan angin bervariasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian dari simulasi yang telah dimodelkan. Pengujian meliputi pengujian tanpa beban pada generator turbin angin dan berbeban.

Pengujian Tanpa Beban

Dalam pengujian ini digunakan kecepatan angin yang bervariasi untuk satu unit sistem konversi energi angin dengan pengujian tanpa beban pada generator turbin angin. Kecepatan angin yang digunakan ialah 10 m/s sd 12 m/s. Setelah dilakukan pengujian rangkaian operasi satu unit PMSG pada sistem konversi energi tanpa beban dengan kecepatan angin 10 m/s menghasilkan V_o generator maksimum 15,74 Vac pada skala waktu simulasi $T=1,953$, dan V_o rectifier maksimum sebesar 16,57 Vdc pada skala waktu simulasi $T=1,994$. Kecepatan angin 11 m/s menghasilkan V_o generator maksimum 22,60 Vac pada skala waktu simulasi $T=1,987$, dan V_o rectifier maksimum 24,50 Vdc pada skala waktu simulasi $T=1,992$. Kecepatan angin 12 m/s menghasilkan V_o generator maksimum 29,86 Vac pada skala waktu simulasi $T=2$, dan V_o rectifier maksimum 32,88 Vdc pada skala waktu simulasi $T=1,998$. Tegangan keluaran dari simulasi ini ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian tanpa beban pada generator menggunakan kecepatan angin bervariasi

Kecepatan Angin (m/s)	V_o Generator (Vac)	V_o Rectifier (Vdc)
10	15,74	16,57
11	22,60	24,50
12	29,86	32,88

10	15,74	16,57
11	22,60	24,50
12	29,86	32,88

Pengujian Berbeban

Dalam pengujian ini digunakan kecepatan angin yang bervariasi untuk satu unit sistem konversi energi angin menggunakan topologi *boost converter* dengan pengujian beban tahanan 50 ohm pada generator turbin angin. Kecepatan angin yang digunakan ialah 10 m/s sd 12 m/s. Setelah dilakukan pengujian rangkaian operasi satu unit PMSG pada sistem konversi energi tanpa beban dengan kecepatan angin 10 m/s menghasilkan V_o rectifier 13,70 Vdc, dan V_{output} 26,58 Vdc. Kecepatan angin 11 m/s, menghasilkan V_o rectifier 19,58 Vdc, dan V_{output} 39,45 Vdc. Kecepatan angin 12 m/s, menghasilkan V_o rectifier 25,77 Vdc, dan V_{output} 52,84 Vdc. Tegangan keluaran dari simulasi ini ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian operasi PMSG menggunakan tahanan 50 ohm dan kecepatan angin bervariasi

Kecepatan Angin (m/s)	V_o Generator (Vac)	V_o Rectifier (Vdc)	V_{output} (Vdc)	Tahanan (ohm)
10	12,10	13,70	26,58	
11	17,98	19,58	39,45	50
12	24,17	25,77	52,84	

Pengujian Berbeban dengan SOC Baterai

Pada pengujian ini, baterai yang digunakan adalah baterai asam timbal dengan kapasitas arus 50 Ah dan tegangan 48 V. pengujian operasi PMSG sesuai rangkaian permodelan pada gambar 6, menggunakan tahanan 50 ohm, kecepatan angin bervariasi 10 m/s sd 12 m/s pada setiap SOC baterai mulai dari 50 %, 70% dan 100%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 10 m/s dan 11 m/s dengan SOC 50%, V_o baterai memiliki nilai tegangan keluaran yang sama yaitu 47,45 Vdc. Pada SOC 70%, memiliki tegangan keluaran masing-masing pada kecepatan angin 10 m/s sd 12 m/s ialah 48,39 Vdc, 48,48 Vdc, dan 48,41 Vdc. Sedangkan

pada SOC 100%, mempunyai tegangan keluaran V_o baterai sama pada masing-masing kecepatan yaitu 52,36 Vdc.

Tabel 3. Pengujian operasi PMSG menggunakan tahanan 50 ohm dan kecepatan angin bervariasi

Kecepatan Angin (m/s)	V_o Generator (Vac)	V_o Rectifier (Vdc)	V_o Baterai (Vdc)	SOC (%)
10	22,92	24,52	47,45	
11	31,59	31,59	47,45	50
12	31,89	31,89	47,47	
10	22,92	24,52	48,39	
11	30,56	32,16	48,48	70
12	30,86	32,45	48,41	
10	25,88	26,22	52,36	
11	28,56	30,26	52,36	100
12	29,22	30,82	52,36	

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian simulasi rangkaian operasi satu unit dan paralel *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dalam sistem konversi energi angin menggunakan topologi *boost converter*, dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa, kecepatan angin yang bervariasi mempengaruhi tegangan keluaran pada generator dan tegangan keluaran konverter. Hasil simulasi rangkaian operasi *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dalam sistem konversi energi angin untuk satu unit, dengan pengujian tanpa beban pada kecepatan angin 12 m/s menghasilkan tegangan keluaran generator sebesar 29,86 Vac dan tegangan keluaran penyearah tiga fasa 32,88 Vdc. Hasil simulasi rangkaian operasi *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dalam sistem konversi energi angin untuk satu unit, dengan menggunakan tahanan 50 ohm pada kecepatan angin 10m/s sd 12 m/s menghasilkan tegangan keluaran konverter masing-masing sebesar 26,58 Vdc pada kecepatan angin 10 m/s, 39,45

Vdc pada kecepatan angin 11 m/s, dan 52,84 Vdc pada kecepatan angin 12 m/s. Hasil simulasi rangkaian operasi paralel *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dalam sistem konversi energi angin untuk empat unit, masing-masing keluaran tegangan konverter dengan kecepatan angin 12 m/s ialah turbin satu 41,3 Vdc, turbin dua 44,75 Vdc, turbin tiga 46,3 Vdc dan turbin empat 37,57 Vdc.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, Abi Yusuf. 2017. "Desain dan Analisa Bidirectional Inverter sebagai Penggerak Mesin Induksi Satu Fasa dengan Sumber Baterai DC 36 Volt". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau.
- BU-403: *Charging Lead Acid*. www.batteryuniversity.com
- Dewan Energi Nasional. 2016. "Outlook Energi Indonesia".
- Goel, Puneet K., Bhim Singh, S. S. Murthy & Navin Kishore. 2011. "Parallel Operation of DFIG in Three-Phase Four-Wire in Autonomous Wind Energy Conversion System". *IEEE Transactions on Industry Applications*.
- Johnson, Gary L. 2006. "Wind Energy System Electrical Edition". Manhattan, KS.
- Rendra. 2016. "Perancangan PLTB untuk Penggunaan Rumah Tangga di Kecamatan Tembilahan Hulu". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Sharma, Shailendra., & Bhim Singh. 2011. "An Autonomous Wind Energy Conversion System with Permanent Magnet Synchronous Generator". ICEAS.
- Ulffy Syafei Padang, Muhammad. 2017. "Permodelan Battery Charger Berbasis Push-pull Converter Menggunakan MATLAB-Simulink". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau.