

VARIASI GEOMETRI DESAIN ELEKTROMAGNETIK GENERATOR PERMANEN MAGNET 12SLOT 8POLE 500 WATT MENGGUNAKAN SOFTWARE BERBASIS *FINITE ELEMENT METHOD* (*FEM*)

Jumiyatun¹, Ratih Mar'atus Solihah², Ahsanul Hisbullah³, Khairunnisa Mansur⁴, Irwan Mahmudi⁵

Teknik Elektro Universitas Tadulako
S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako^{1,2,3,4,5}
E-mail: ahsanulhisbullah@gmail.com

ABSTRACT

One of the main components of wind power plants that can be developed is the Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). In this research, PMSG design will be carried out using Finite element method software with Geometry Variations of Permanent Magnet Synchronous Generator with a combination of 12 8-pole slots which will then be modeled on Finite element method software. In one variation of this generator geometry has been successfully created with good efficiency. This model will argue for the specifications of variations 1, 2 and 3 and are analyzed by comparison test scenarios and loading with load R. The generator with a no-load test simulation produces between variations in variation 1 of 10.93 volts, variation 2 of 12.67 volts, variation 3 of 13.77 volts. When testing load with load resulted in an efficiency of variation 1 of 20.5%, variation 2 of 19.6%, and variation 3 of 33.4%.

Keywords : *Generator 12S8P, Permanen Magnet Synchronous Generator (PMSG)*

INTISARI

Salah satu komponen utama pembangkit listrik tenaga angin yang dapat dikembangkan adalah *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan PMSG dengan menggunakan *software* berbasis *Finite Element Method* dengan Variasi geometri Generator Sinkron Permanen Magnet dengan kombinasi 12 slot 8 pole yang kemudian akan dimodelkan pada *software* yang berbasis *Finite Element Method*. Pada salah satu variasi geometri Generator ini telah berhasil dibuat dengan efisiensi yang bagus. Model akan disimulasikan mengacu kepada spesifikasi variasi 1, 2 dan 3 dan dianalisa dengan skenario simulasi uji tanpa dan pembebanan dengan beban R. Hasil analisa keseluruhan menunjukkan bahwa rancangan pada variasi 3 memiliki efisiensi yang paling bagus. Generator dengan simulasi uji tanpa beban menghasilkan tegangan antar fasa pada variasi 1 sebesar 10,93 volt, variasi 2 sebesar 12,67 volt, variasi 3 sebesar 13,77 volt. Saat simulasi uji berbeban dengan beban R menghasilkan efisiensi pada variasi 1 sebesar 20,5 %, variasi 2 sebesar 19,6 %, dan variasi 3 sebesar 33,4 %.

Kata kunci: Generator 12S8P, Permanen Magnet Sinkron Generator (PMSG).

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang pesat pada saat ini telah mendorong masyarakat menjadi ketergantungan dengan listrik. Dengan kondisi sumber daya alam yang semakin menipis, menuntut para peneliti untuk dapat menghasilkan energi terbarukan yang dapat diperoleh dari lingkungan sekitar, misalnya air, gelombang laut, radiasi matahari, panas bumi, angin dan lainnya. Energi angin merupakan salah satu potensi besar untuk dapat dikembangkan. Dengan kecepatan angin yang fluktuatif di Indonesia bukan berarti potensi energi yang terkandung didalamnya tidak dapat dikonversi menjadi energi listrik, tetapi tetap dapat dimanfaatkan dan diperlukan generator yang sesuai dengan karakteristik kecepatan angin tersebut.

Salah satu bagian penting dari perangkat sumber listrik energi terbarukan tenaga angin yang dapat dikembangkan adalah generator sinkron magnet permanen / *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Generator merupakan mesin listrik yang dapat mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Rancangan PMSG di beberapa tahun belakangan mengalami peningkatan yang signifikan.

Generator dengan magnet permanen memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan generator induksi, karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga banyak digunakan terutama untuk turbin angin. Berkembang pesatnya teknologi dari masa ke masa ikut mempengaruhi perkembangan teknologi

generator seperti bentuk, ukuran, material yang digunakan, serta efisiensi daya dari generator tersebut. Selain itu perkembangan teknologi juga mempengaruhi digunakannya perangkat lunak untuk mendesain generator. Dengan adanya perangkat lunak ini para perancang maupun peneliti mampu menghasilkan generator yang lebih baik, karena dengan bantuan perangkat lunak dapat dilakukan analisa hasil rancangan seperti pada aliran fluks dan tegangan yang diinduksikan, sehingga apabila adanya ketidaksesuaian dapat langsung diperbaiki.

Sebelum adanya perangkat lunak untuk merancang generator, para perancang maupun peneliti menggunakan metode *try and error* dimana dengan merancang secara manual kemudian melakukan pembuatan, sehingga apabila hasil keluaran seperti daya dan tegangan tidak sesuai dengan yang diinginkan akan dilakukan perbaikan lagi secara manual sehingga biaya yang dibutuhkan dengan menggunakan metode *try and error* akan lebih mahal.

Untuk merancang desain elektromagnetik maka dapat digunakan perangkat lunak yang berbasis *Finite element Method* (*FEM*) untuk mensimulasikan desain generator yang di akan dibuat.

Berdasarkan dari desain para perancang yang sebelumnya, penulis menemukan sebuah ide untuk melakukan penelitian yang berjudul “ Variasi Geometri Desain Elektromagnetik Generator Permanen Magnet 12Slot 8Pole

500 Watt menggunakan *software berbasis Finite element method* “.

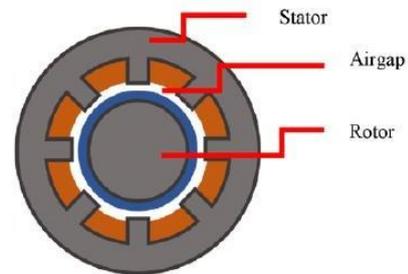
1.1. Permanen Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator (disebut juga alternator) adalah suatu alat atau mesin yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal dengan pembangkit listrik. Generator sinkron magnet permanen (PMSG) adalah generator yang medan eksitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Generator ini memiliki keunggulan yang signifikan, menarik minat para peneliti dan biasanya digunakan dalam aplikasi *wind turbine*. Generator sinkron magnet permanen merupakan mesin listrik berputar dengan 3-fase stator klasik yang seperti generator induksi pada umumnya. Magnet permanen bisa terpasang pada permukaan ataupun tertanam pada rotornya. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berbentuk arus bolak balik (AC) dan arus searah (DC). Generator AC keluarannya dapat menghasilkan tegangan langsung sementara generator DC harus diolah dulu menggunakan komutator untuk menyearahkan *output* generator.

1.2. Bagian-bagian generator

Secara umum ada dua komponen utama dalam penyusunan generator sinkron yaitu stator dan rotor. Rotor adalah bagian dari generator sinkron yang berputar dan tempat dimana magnet berada. Sedangkan Stator adalah bagian

dari generator sinkron yang diam, tempat dimana tegangan induksi dibangkitkan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar :



Gambar 1. Bagian-bagian generator

1.3. Prinsip Kerja PMSG

Generator permanen magnet memiliki prinsip kerja yang sama dengan generator sinkron konvensional tetapi pada rotornya kumparan medan diganti dengan magnet permanen. Ketika rotor berputar dengan kecepatan tertentu dan terjadi perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan maka akan menimbulkan GGL pada kumparan tersebut, sebagaimana dituliskan dalam hukum *faraday* :

$$e = \frac{d\phi}{dt} N .$$

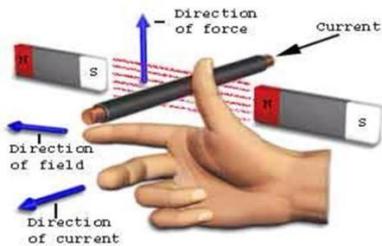
Dimana :

e : Tegangan (V)
 $d\phi$: Fluks Magnetik
dt : Waktu (s)
N : Lilitan

1.4. Prinsip Kaidah Tangan Kanan

Memahami hukum faradays, kita tidak dapat lepas dengan kaidah tangan kanan yang diperkenalkan oleh John Ambrose Fleming. Kaidah tangan kanan fleming adalah sebuah metode

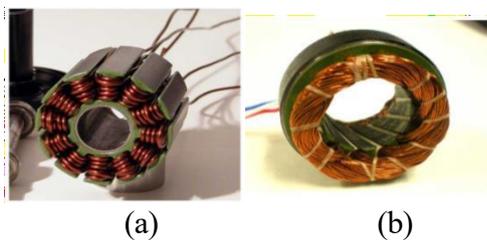
mneumonik untuk memudahkan kita menentukan arah vector dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik. Jika anda menirukan posisi jari tangan kanan anda seperti pada gambar dibawah, maka ibu jari akan menunjukkan arah gaya (torsi), jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet, dan jari tengah menunjukkan arah arus listrik.



Gambar 2. *Right Hand Law Fleming*

1.5. Jenis Lilitan

Lilitan pada generator terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *concentrated* dan *distributed*. Kedua jenis ini dibedakan dari metode melilit kawat tembaga pada generator. Pada jenis *concentrated* tidak ada lilitan yang tumpang tindih, sedangkan pada jenis *distributed* terdapat lilitan yang tumpangtindih.



Gambar 3. : (a) *Concentrated winding*, (b) *Distributed winding*

1.6. Ukuran Stator dan Rotor

Dimensi stator dan rotor adalah saling terkait sehingga perhitungannya adalah dilakukan secara simultan.. Dimensi tiap bagian ini dihitung dengan persamaan berikut :

1. Derajat mekanik slot, θ_{ms}

$$\theta_{ms} = \frac{360}{N_s} \quad (1.1)$$

2. Derajat Listrik, θ_e

$$\theta_e = \frac{P}{2} \times \theta_{ms} \quad (1.2)$$

3. Derajat mekanik pole, θ_{mp}

$$\theta_{mp} = \frac{360}{p} \quad (1.3)$$

Dimana θ_{ms} = Derajat slot, θ_e = Derajat Listrik, θ_{mp} = Derajat mekanik pole, N_s = Jumlah slot, dan p = Jumlah pole atau kutub.

4. Slot pitch, τ_s

$$\tau_s = r_{si} \cdot \theta_p \quad (1.4)$$

Dengan r_{si} = jari-jari dalam stator yaitu 60 mm.

5. Coil pitch, τ_c

$$\tau_c = \text{coil span} \cdot \tau_s \quad (1.5)$$

Nilai dari coil span adalah 1

1.7. Persamaan Daya Keluaran Generator

Generator menghasilkan keluaran berupa tegangan dan arus, sehingga didapatkannya nilai daya. Untuk menghitung nilai tegangan dan arus digunakan persamaan :

1. Tegangan (V)

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots(1.6)$$

Dimana : V = Tegangan (V)

$$I = \text{Arus (A)}$$

$$R = \text{Beban (Ohm)}$$

2. Daya generator (P)

Besarnya Daya (P) pada PMSG dapat dihitung dengan rumus (Hanselman, 2006) :

$$P_{in} = T \cdot \omega \quad (1.7)$$

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi}{60} \quad (1.8)$$

$$P_{out} = V \cdot I \quad (1.9)$$

Dimana : P_{in} = Daya input (watt)
 P_{out} = Daya output (watt)
 T = Torsi (Nm),
 ω = Kecepatan sudut (rad/sec)
 n = Kecepatan putar rotor (rpm)

Ket : nilai Torsi didapatkan dari tabel hasil simulasi

3. Efisiensi generator (η)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1.10)$$

Dimana : η = Efisiensi
 P_{in} = Daya input (watt)
 P_{out} = Daya output (watt)

II. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat Penelitian

2.1.1. Alat Penelitian

- ❖ Laptop HP 14 Notebook PC Processor Intel Inside, Os windows 10 Pro 32 bit RAM 2 GB, Hard disk 500 GB
- ❖ Software FEM

2.1.2. Bahan Penelitian

- ❖ Data Variasi Geometri (Stator, Rotor, dan Magnet)

2.2. Cara Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian “Variasi Geometri Disain Elektromagnetik Permanen Magnet Sinkron generator 12s 8p” adalah metode *finite element method (FEM)*. Dengan menggunakan metode ini dapat dilakukan analisa distribusi fluks magnetik yang berasal dari magnet permanen. Perangkat lunak yang menggunakan metode FEM salah satunya adalah Magnet Infolytica. Dengan menggunakan perangkat lunak Magnet Infolytica maka dapat diketahui parameter output dari disain yang telah di buat. Adapun tahapan penelitian yang akan dilaksanakan sebagai berikut :

2.2.1. Studi Kepustakaan

Tahapan ini adalah proses pencarian masalah yang dihadapi pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai perancangan permanen magnet sinkron generator, kemudian pada penelitian ini akan dikembangkan menjadi variasi geometri disain elektromagnetik permanen magnet sinkron generator 12s 8p menggunakan *software berbasis Finite Element Method*. Dan juga pencarian materi-materi pendukung skripsi ini yang diambil pada jurnal-jurnal ilmiah yang berkaitan dengan penelitian ini.

2.2.2 Model Perancangan

Dalam mengoperasikan *software* yang berbasis *FEM* yang dimana tahapan ini merupakan dasar dalam melakukan *software* ini. Skripsi ini menganalisa hasil variasi geometri yaitu tegangan, arus, torsi, daya input, daya output dan efisiensi dengan *software* yang berbasis *FEM*.

Pada perancangan ini, ada beberapa bagian input yang telah ditentukan terlebih dahulu untuk mendapatkan tegangan output yang diinginkan yaitu 12 Vrms. Tabel berikut menunjukkan spesifikasi rancangan PMSG 12slot 8pole.

Tabel 2. 1. Spesifikasi rancangan stator PMSG 12S8P

Parameter	Simbol	Jumlah
slot/alur	N_s	12
lilitan	N_l	11
Jumlah fasa	N_{ph}	3

Tabel 2. 2. Spesifikasi rancangan rotor PMSG 12S8P

Parameter	Simbol	Jumlah
Kerapatan fluks	B_r	1.39 T
Jumlah Magnet	N_m	8
Celah udara	A_g	1 mm

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Gambar Variasi Geometri Desain Elektromagnetik PM-SG 12slot 8pole 500 watt

Pembuatan gambar variasi geometri desain elektromagnetik adalah tahapan awal dalam proses pembuatan generator. Tujuan dari variasi geometri desain elektromagnetik PM-SG ini adalah untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal dari setiap variasi geometri PM-SG yang akan di rancang. Karakteristik ini didapatkan setelah melewati beberapa rangkaian simulasi mulai dari simulasi aliran flux, sampai dengan simulasi

pembebanan menggunakan software magnet.

3.2. Parameter Rancangan PM-SG 12slot 8pole

Proses ini mencakup pembuatan variasi geometri bentuk (Stator, Magnet, dan Rotor) PM-SG, untuk kemudian dilakukan Simulasi aliran flux dengan parameter-parameter yang akan dianalisa melalui simulasi elektromagnetik berbasis *Finite Element Method (FEM)*. Tabel 4.1 menunjukkan parameter bagian dan material yang akan digunakan dan dianalisa melalui simulasi *FEM*.

Tabel 1. Parameter rancangan PM-SG 12Slot 8Pole

Bagian	Material
Material Air Box	Air/Udara
Material Stator	Silicon Steel M250-50A
Material Coil/Kumparan	Tembaga, 5.77e7 Siemens/meter
Material Teeth/Gigi	Silicon Steel M250-50A
Material Magnet	Neodymium Iron Borron 48/11
Material Rotor	Silicon Steel M250-50A
Material Air Gap Stator	Air/Udara
Material Air Gap Rotor	Air/Udara
Material lilitan	Tembaga, 5.77e7 Siemens/meter

3.3. Pengujian Tegangan Antar Fasa Variasi stator, rotor dan magnet

Pada pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran stator, rotor dan

magnet. Adapun data hasil percobaan ditampilkan pada tabel di bawah.

Tabel 2. Pengujian pada variasi geometri stator

Input	Output
Variasi 1 (55 mm)	8.26 Vrms
Variasi 2 (75 mm)	12.67 Vrms
Variasi 3 (95 mm)	12.65 Vrms

Tabel 3. Pengujian pada variasi geometri rotor

Input	Output
Variasi 1 (43 mm)	8.98 Vrms
Variasi 2 (46 mm)	12.67 Vrms
Variasi 3 (49 mm)	10.97 Vrms

Tabel 4. Pengujian pada variasi geometri magnet

Input	Output
Variasi 1 (47 mm)	10.93 Vrms
Variasi 2 (49 mm)	12.67 Vrms
Variasi 3 (51 mm)	13.77 Vrms

Pengujian tegangan antar fasa dilakukan untuk mengetahui tegangan keluaran dari sebuah rancangan generator. Nilai tegangan didapatkan dengan proses *solve*, setelah melakukan proses *solve*, maka hasil dari simulasi akan dipindahkan ke microsoft excel untuk membantu dalam proses perhitungan nilai tegangan fasa dan nilai tegangan 3 fasa. Dari ketiga variasi geometri, tegangan yang di inginkan terdapat pada variasi 2 sebesar 12.67 Vrms

IV. PUNUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi rancangan variasi geometri generator magnet permanen 12Slot 8Pole dengan kecepatan 750 rpm dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Rancangan variasi geometri PMSG 12Slot 8Pole menghasilkan tegangan keluaran saat pengujian tanpa beban sebesar 12,67 vrms dengan jumlah 11 lilitan pada variasi 2.
2. Ketika melakukan simulasi pengujian pembebanan dengan beban R rancangan variasi geometri PMSG 12Slot 8Pole, efisiensi yang maksimal terdapat pada variasi 3 sebesar 33,4 % dengan beban R 5 Ω , dengan tegangan 22,65 volt dan arus 4,53 ampere dengan torsi sebesar 4,06 Nm.
3. Setiap kombinasi *slot* dan *pole* memiliki aturan konfigurasi belitan tersendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Strous, I.T.D., 2010. *Design of a Permanent Magnet Radial Flux Concentrated Coil Generator for a Range Extender Application*.
- [2] Hendershot, J.R., Miller, T.J.E., 1994. *Design of Brushless Permanent-Magnet Machines*. Magna Physic Publishing & Oxford University Press, USA.
- [3] Hanselman, D.C., 2006. *Brushless Permanent Magnet Motor Design, Second Edition*. Magna Physics Publishing, Ohio, USA.
- [4] Kenjo, T., Nagamori, S., 1985. *Permanent-Magnet and Brushless DC Motors*. Oxford University, New York.
- [5] Irasari, P., Alam, H.S., Kasim, M., 2013. *Analytical Design Method of 3*

Kw, 200 RPM Permanent Magnet Generator for Renewable Energy Power Plant Applications. Research Center for Electrical Power and Mechatronics, Indonesian Institute of Sciences 12.