

## Analisis Pengaruh Ketebalan dan Jenis Inti Besi Rotor Stator terhadap Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen 18S16P Fluks Radial

Raditya Saputra<sup>1</sup>, Zulfatri Aini<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293  
Email: 11755102206@students.uin-suska.ac.id, zulfatri\_aini@uin-suska.ac.id

### ABSTRAK

Kebutuhan energi masyarakat selalu meningkat dan penyediaan listrik di Indonesia masih didominasi oleh sumber energi tak terbarukan yaitu bahan bakar fosil. Untuk mengatasi permasalahan ini ialah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan dampak lingkungan. Salah satu bentuk sumber energi terbarukan ialah angin. Angin mampu menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik dari generator. Generator sinkron magnet permanen (*Permanent Magnet Synchronous Generator*) adalah generator yang terdiri dari dua komponen utama yaitu Rotor dan Stator. Tentu untuk mendapatkan karakteristik yang lebih tinggi, generator harus mempunyai bahan dan geometri yang tepat. Penelitian ini menghasilkan variasi ketebalan dan jenis inti besi rotor dan stator dengan daya keluaran 1kW. Variasi untuk nilai ketebalan 37 mm, 52 mm, 80 mm dan jenis inti besi M1000- 100A dan *Carpenter : Silicon Steel*. Arus dan tegangan yang terbesar dihasilkan oleh jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal 80 mm dengan nilai 17.44 A dan 52.31 V. Daya keluaran tertinggi yaitu 1 kW dari jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal 80 mm.

**Kata Kunci:** Generator Sinkron Magnet Permanen, Inti Besi, Rotor, Stator, PLTB.

### ABSTRACT

*People's energy needs are always increasing and electricity supply in Indonesia is still dominated by non-renewable energy sources, namely fossil fuels. To overcome this problem is to utilize renewable energy sources. Renewable energy can reduce fossil fuel use and environmental impact. One form of renewable energy source is wind. Wind is able to drive a turbine and generate electricity from a generator. Permanent Magnet Synchronous Generator is a generator that consists of two main components, namely the rotor and the stator. Of course, to get higher characteristics, the generator must have the right material and geometry. This research produces variations in the thickness and type of iron core of the rotor and stator with an output power of 1kW. Variations for the thickness values of 37 mm, 52 mm, 80 mm and the type of iron core M1000- 100A and Carpenter: Silicon Steel. The largest current and voltage are generated by Carpenter's core type: Silicon Steel with a thickness of 80 mm with a value of 17.44 A and 52.31 V. The highest output power is 1 kW from Carpenter's type of iron core: Silicon Steel with a thickness of 80 mm.*

**Keywords:** *Permanent Magnet Synchronous Generator, Iron Core, Rotor, Stator, PLTB.*

### Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan masyarakat untuk menjamin kelangsungan hidup dan kesejahteraan. Di Indonesia energi masih didominasi oleh sumber energi tak terbarukan yaitu bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil akan habis jika dieksploitasi secara terus-menerus. Untuk mengatasi permasalahan ini ialah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan yang berasal dari air, uap, bayu, diesel, gas, panas bumi, surya dan nuklir.

Pemanfaatan energi terbarukan di sektor kelistrikan salah satu nya adalah angin.

Pemanfaatan energi angin untuk menghasilkan listrik diperlukan komponen yang merubah energi gerak menjadi energi listrik yaitu generator [1].

Generator dengan jenis *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) merupakan teknologi sumber listrik dari energi terbarukan yang dapat dikembangkan, didesain menggunakan *Software* berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang mampu menyelesaikan suatu *problem* dengan cara membagi objek analisis menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga [2]. Komponen utama dalam PMSG adalah rotor dan stator. Medan magnet dihasilkan dari rotor sebagai penggerak utama dan

berputar menginduksi satu set tegangan tiga fase dalam belitan stator [3].

Rotor dan stator terbuat dari susunan inti besi berbahan *Electrical Steels*/baja yang dilaminasi. Hal ini dipilih karena memiliki nilai permeabilitas bahan yang baik dan selama generator berputar yang dapat meningkatkan kerapatan fluks magnet. Kerapatan fluks magnet ini akan mempengaruhi nilai tegangan yang terinduksi pada kumparan [4]. Permeabilitas bahan berbanding lurus dengan kerapatan fluks magnet. Semakin baik bahan maka semakin baik nilai permeabilitasnya [5], [6].

Penelitian tentang PMSG pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu Galang Satya dan Wahyudi pada kecepatan putar 500 RPM belum mampu menghasilkan daya hingga 1000 watt/ 1 kW. Tentu saja dalam pemilihan spesifikasi generator untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Generator yang menghasilkan daya yang lebih besar dengan kecepatan angin yang rendah sangat dibutuhkan untuk menyuplai suatu wilayah yang belum dialiri listrik atau demi menekan tagihan listrik skala rumah tangga. Hal ini akan berdampak juga pada penurunan penggunaan bahan bakar fosil dan mereduksi *emisi carbon* karena generator ini tidak perlu menggunakan energi listrik awal [7], [8].

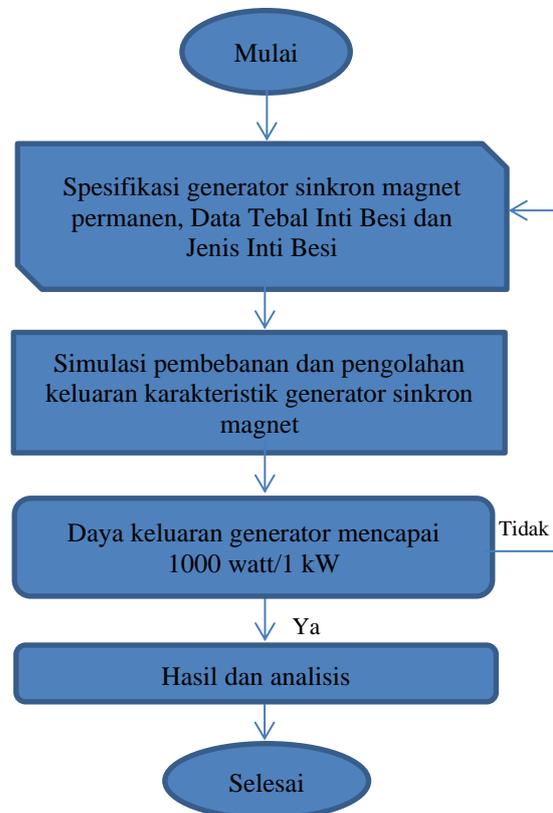
Ketebalan inti besi rotor dan stator mempengaruhi karakteristik generator. Semakin besar inti besi rotor dan stator maka semakin besar juga nilai dari karakteristik generator. Pemilihan bahan dan pelebaran dimensi inti besi diperlukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal [9], [10].

Oleh karena itu, paper ini menganalisis pengaruh ketebalan dan jenis inti besi rotor dan stator terhadap karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen 18S16P Fluks Radial. Pengaruh inti besi terhadap daya keluaran timbul karena pembentukan medan magnet dan kemampuan magnetisasi. Medan magnet ini akan meningkatkan medan listrik yang dihasilkan dari Sepotong kawat yang berada pada medan magnet berubah-ubah. Permeabilitas magnet juga disebut sebagai sifat dari bahan magnet yang mendukung pembentukan medan magnet dan sifat yang pada dasarnya memungkinkan garis gaya magnet melewati suatu bahan [11].

### Metode Penelitian

Penelitian ini menganalisis nilai karakteristik generator sinkron magnet permanen dengan variasi ketebalan dan jenis inti besi menggunakan metode tidak hingga (*Finite Element Method*) untuk mencapai keluaran daya 1000 watt/1kW. Langkah-langkah simulasi Generator magnet sinkron permanen magnet adalah (1) Pengaturan tampilan lembar kerja *Finite Element Method* (2) Membuat desain geometri Generator sinkron magnet

permanen 18 slot 16 pole (3) Masukkan nilai pembebanan dan kecepatan putaran/sudut (4) Pengujian variasi ketebalan dan jenis inti besi pada rotor dan stator (5) Pengambilan dan pengolahan data hasil simulasi [10]. Metode Penelitian disajikan dalam diagram alur sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian

### Spesifikasi Generator, Tebal dan Jenis Inti Besi

Spesifikasi generator sinkron magnet permanen sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi generator sinkron magnet permanen

Spesifikasi	Deskripsi
Slot dan pole	18 slot/16 pole
Dimensi	110 x 110 mm
	37 mm
Panjang inti stator dan rotor	52 mm
	80 mm
Jumlah lilitan	25 lilitan
Bahan inti besi	<i>Non-Oriented M1000-100A Silicon Steel</i>
Bahan magnet	<i>Carpenter : Silicon Steel Neodymium Iron Boron: 48/11</i>
Bahan lilitan	<i>Copper: 5.77e7 Siemens/Meter</i>
Bahan Airbox	<i>Air</i>
Bahan Airgap	<i>Air</i>

Perhitungan dimensi inti besi generator didefinisikan dengan persamaan :

$$D^2L \quad (1)$$

D = Diameter  
 L = Panjang inti

Perhitungan D dan L difasilitasi dengan memilih ratio koefisien  $K_L = L/D$ ,  $L = D \times K_L$ ,  $D = L/K_L$ . Dalam analisis ketebalan ini nilai khas  $K_L$  yang dilaporkan dalam literatur sangat bervariasi dari 0.14 – 0.5 untuk aplikasi generator angin PMSG [12]. Namun untuk meningkat GGL perlu memperlebar luas area hingga besarnya daya yang harus dicapai adalah 1000 watt maka lebar yang dibutuhkan untuk mencapai daya tersebut adalah 0.77. Diameter dan panjang tumpukan ini akan dievaluasi menggunakan rasio 0.35, 0.50 dan 0.77. Sehingga didapatkan nilai panjang inti besi  $L = 38,5$  mm,  $L = 55$  mm,  $L = 84,7$  mm.

$$L_i = L \times K_{stack} \quad (2)$$

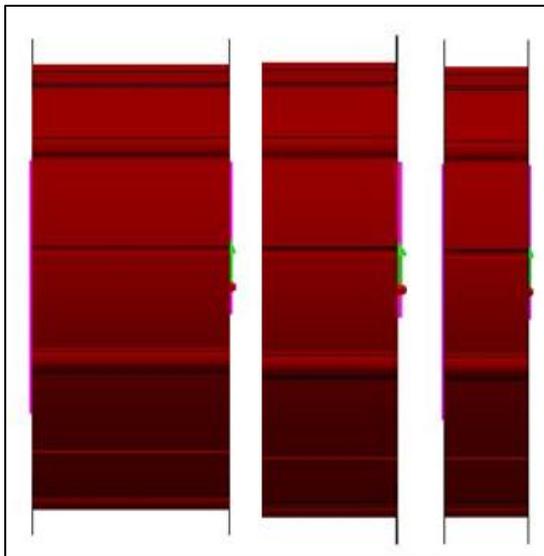
$L_i$  = Panjang efektif inti besi  
 L = Panjang inti besi  
 $K_{stack}$  = Faktor tumpukan

Dimana  $K_{stack}$  merupakan faktor tumpukan dari laminasi stator sebesar 0.9 – 0.95 [13].

$$L_i = 38,5 \times 0.95 = 36,57 = 37 \text{ mm}$$

$$L_i = 55 \times 0.95 = 52,25 = 52 \text{ mm}$$

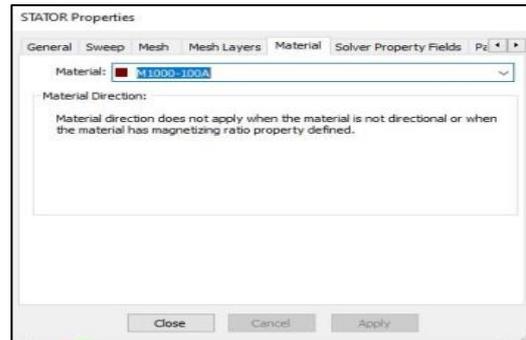
$$L_i = 84,7 \times 0.95 = 80,46 = 80 \text{ mm}$$



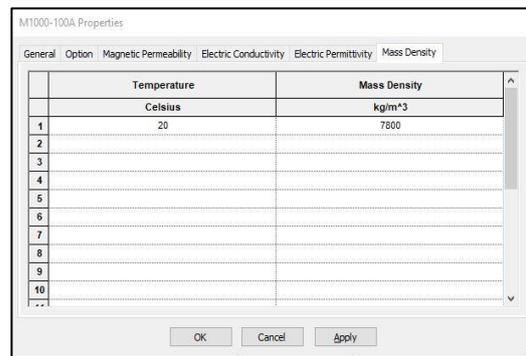
Gambar 2. Variasi generator tebal 80 mm, tebal 52 mm, tebal 37 mm

Input	Ketebalan	Jenis inti besi
1.	37 mm	Non-Oriented M1000-100A Silicon Steel
2.	37 mm	Carpenter : Silicon Steel
3.	52 mm	Non-Oriented M1000-100A Silicon Steel
4.	52 mm	Carpenter : Silicon Steel
5.	80 mm	Non-Oriented M1000-100A Silicon Steel
6.	80 mm	Carpenter : Silicon Steel

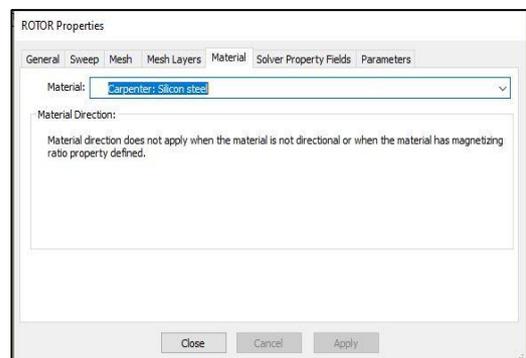
Parameter dari jenis inti besi sebagai berikut :



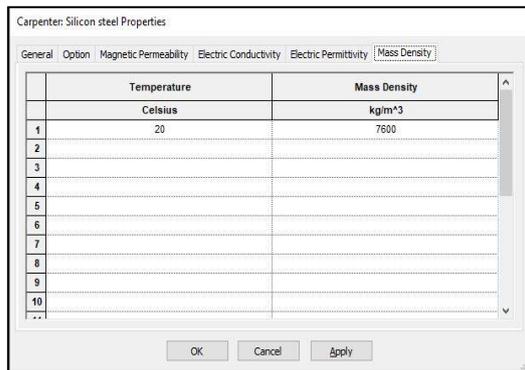
Gambar 3. Material inti besi stator M1000-100A



Gambar 4. Massa jenis/Mass Density M1000-100A



Gambar 5. Material inti besi rotor Carpenter Silicon Steel

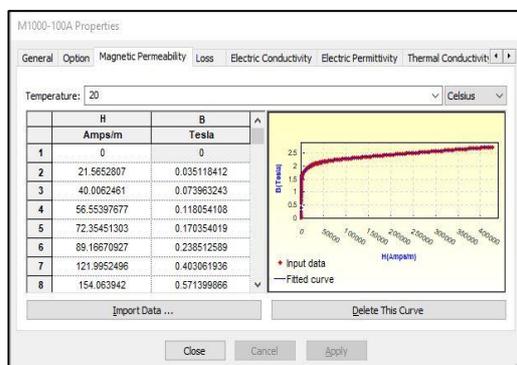


Gambar 6. Massa jenis/Mass Density *Carpenter Silicon Steel*

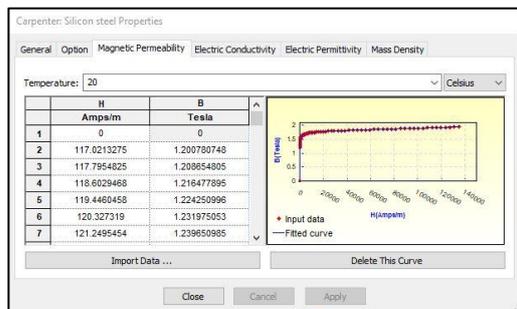
### Permeabilitas Magnetik

Permeabilitas magnet diartikan sebagai perbandingan antara induksi magnet dengan intensitas magnet.

1. Diagram B-H dapat menjelaskan kemampuan sebuah bahan dalam mengalirkan fluks magnet. Semakin tinggi nilainya sebelum memasuki daerah saturasi bahan tersebut semakin baik dalam mengalirkan fluks magnet
2. Kemampuan sebuah permanen magnet untuk mengalirkan fluks magnet juga dapat dijelaskan oleh Diagram B-H. Semakin besar luas area di bawah Diagram semakin baik permanen magnet tersebut mengalirkan fluks magnet [11].



Gambar 7. Kurva B-H M1000-100A



Gambar 8. Kurva B-H *Carpenter : Silicon Steel*

### Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah ukuran atau jumlah medan magnet B yang melewati luas penampang tertentu yang berubah-ubah. Satuan fluks magnet adalah tesla-meter<sup>2</sup> dalam Sistem Internasional adalah Weber. Sedangkan dalam sistem CGS disebut Maxwell [14], [15]. Fluks Magnet dirumuskan sebagai berikut :

$$\Phi_b = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (3)$$

$$\Phi = B A \cos\theta \quad (4)$$

$\theta$  = Sudut antara B dengan vector area

Dengan gagasan fluks magnetik dapat dituliskan hukum Faraday lebih kuantitatif dengan cara:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi_b}{dt} \quad (5)$$

$d\Phi$  = Perubahan fluks

$dt$  = Perubahan waktu

$\varepsilon$  = Perubahan fluks magnet per satuan waktu.

Jika fluks magnet melalui sebuah lilitan (N), Induksi GGL akan muncul di setiap lilitan, dan total dari induksi GGL di lilitan tersebut adalah penjumlahan dari setiap individual induksi GGL. Jika lilitan sangat rapat, maka jumlah fluks magnetik B yang melalui lilitan sama. Maka total induksi GGL yang ada di lilitan adalah [3].

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_b}{dt} \quad (6)$$

N = Jumlah kumparan

Dimana *Flux Linkage* adalah:

$$\lambda = N \cdot \Phi \quad (7)$$

Maka persamaannya menjadi :

$$\varepsilon = \frac{d\lambda}{dt} \quad (8)$$

$\varepsilon$  = Gaya gerak listrik akibat induksi (Volt)

$d\lambda$  = Perubahan *flux linkage* (Wb)

$dt$  = Perubahan waktu (s)

Berdasarkan persamaan di atas, ada 3 cara untuk menaikkan *flux linkage* yang dapat meningkatkan GGL yang dihasilkan melalui induksi magnet sebagai berikut :

1. Meningkatkan medan magnet
2. Memperluas area
3. Memperbanyak lilitan coil

### Simulasi Pembebanan dan Karakteristik

Pembebanan dilakukan dengan memberikan hambatan 3 ohm pada rangkaian. Rangkaian yang dibuat berbentuk Bintang [7].

Bertujuan untuk mendapatkan keluaran dari arus yang masuk. Adapun tahapan dari pemberian inputan pada pembebanan sebagai berikut :

1. Pembuatan rangkaian belitan pada rangkaian di *toolbars window* dan *new circuit window*
2. Proses simulasi dan pengambilan data hasil simulasi

Nilai keluaran karakteristik terdiri dari :

1. Arus

Arus Listrik adalah perbandingan antara tegangan masukan dengan hambatan [16]. Nilai arus akan terus bertambah sejalan dengan bertambahnya kecepatan putar generator [17].

2. Tegangan

Tegangan dihasilkan dari induksi elektromagnetik generator.

3. Torsi

Torsi diberikan oleh hasil gaya tangensial dan jari-jari tempat motor bekerja tergantung pada besarnya dari gaya yang diberikan dan jarak antara sumbu rotasi/sumbu putar [18], [3].

$$T = Fr \tag{9}$$

F = Force / gaya

R = Jari-jari

4. Daya Masuk

Untuk mendapatkan daya masuk generator (Pin) persamaan yang digunakan adalah [19] :

$$Pin = \frac{Torsi \times RPM \times 2 \Phi}{60} \tag{10}$$

RPM = Kecepatan Perputaran

Phi = 3.14

5. Daya Keluar

Dari diagram diatas nilai daya keluar didapat dari persamaan sebagai berikut [20] :

$$Pout = V \times I \tag{11}$$

V = Tegangan

I = Arus

6. Efisiensi

Nilai efisiensi diperoleh dari selisih daya masuk terhadap daya keluar. Persamaan nya sebagai berikut [21] :

$$n = \frac{Pout}{Pin} \times 100\% \tag{12}$$

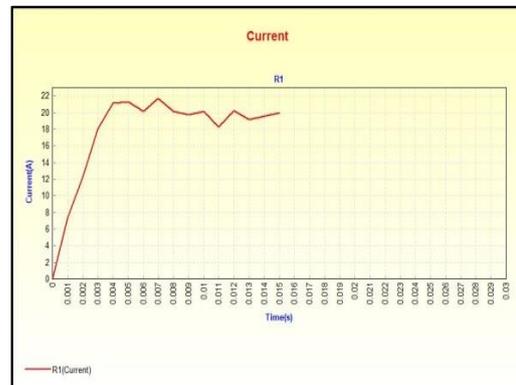
Pout = Daya masuk

Pin = Daya keluar

## Hasil dan Pembahasan

### Validasi Hasil Simulasi

Untuk membuktikan valid atau tidak nya simulasi generator sinkron magnet permanen ini dapat dilihat dari keluaran yang diberikan beban. Apabila nilai keluaran arus, tegangan dan torsi berbentuk grafik yang beraturan maka simulasi ini dapat dilanjutkan. Jika tidak, perlu dilakukan pengecekan pada rangkaian, lilitan dan material generator tersebut.



Gambar 9. Kurva arus

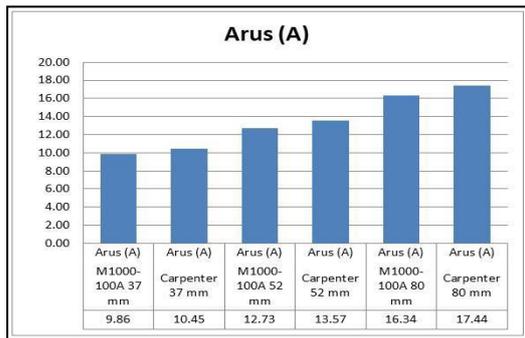


Gambar 10. Kurva tegangan



Gambar 11. Kurva torsi

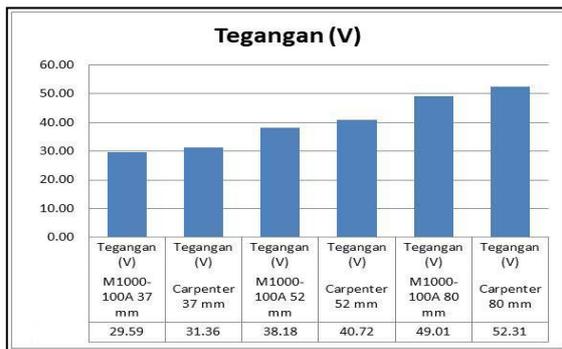
### Hasil Nilai Arus



Gambar 12. Diagram arus

Dari diagram diatas nilai arus yang tertinggi adalah jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal Inti besi 80 mm diperoleh angka 17.44 *Ampere*. Nilai arus ini mengalami peningkatan terus menerus, dikarenakan ketebalan inti besi diperlebar.

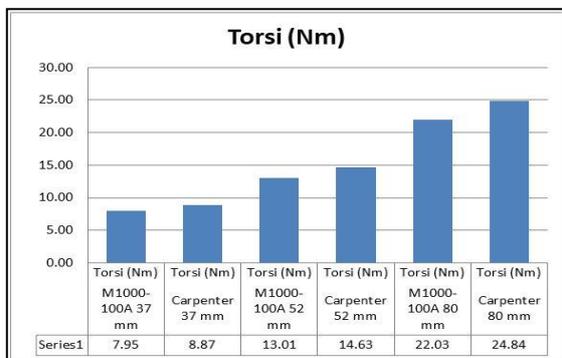
### Hasil Nilai Tegangan



Gambar 13. Diagram tegangan

Nilai tegangan yang tertinggi adalah jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal Inti besi 80 mm diperoleh angka 52.31 *Volt*. Nilai tegangan ini mengalami peningkatan terus menerus, dikarenakan ketebalan inti besi diperlebar dan pemilihan jenis inti besi yang tepat.

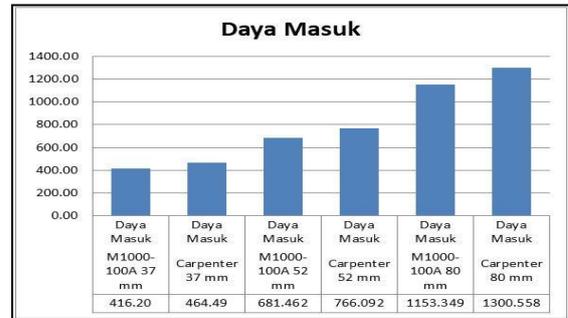
### Hasil Nilai Torsi



Gambar 14. Diagram torsi

Nilai torsi yang tertinggi adalah jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal Inti besi 80 mm diperoleh angka -24.84 Nm. Nilai torsi ini mengalami peningkatan terus menerus, dikarenakan ketebalan inti besi diperlebar dan pemilihan jenis inti besi yang tepat.

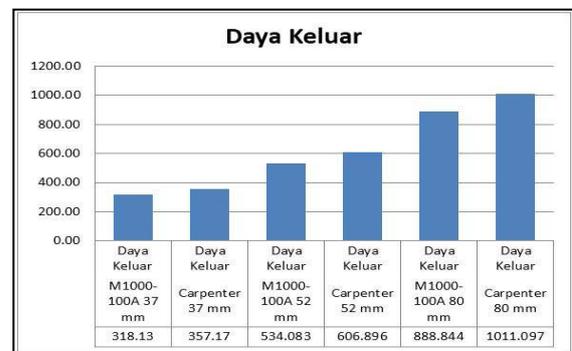
### Hasil Nilai Daya Masuk



Gambar 15. Diagram daya masuk

Dari diagram diatas nilai daya masuk yang tertinggi adalah jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal Inti besi 80 mm diperoleh angka 1.300 watt dengan kecepatan putar 500 RPM dan daya masuk terendah adalah 416 watt. Nilai daya masuk ini mengalami peningkatan terus menerus, dikarenakan ketebalan inti besi diperlebar dan pemilihan jenis inti besi yang tepat.

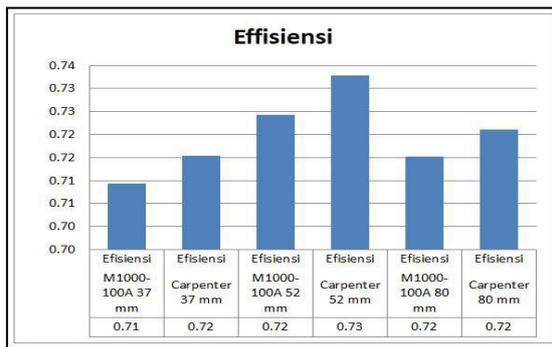
### Hasil Nilai Daya Keluar



Gambar 16. Diagram daya keluar

Nilai daya keluaran yang tertinggi adalah jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal Inti besi 80 mm diperoleh angka 1 kW / 1.011 watt dengan kecepatan putar 500 RPM dan yang terendah adalah 318 watt dengan tebal 37 mm. Daya keluar ini mengalami peningkatan terus menerus, dikarenakan ketebalan inti besi diperlebar dan pemilihan jenis inti besi yang tepat.

## Hasil Nilai Efisiensi



Gambar 17. Diagram efisiensi

Dari diagram diatas nilai efisiensi yang tertinggi adalah jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal Inti besi 52 mm diperoleh angka 0.73 dengan kecepatan putar 500 RPM

Semakin tebal inti besi tidak menjamin semakin baik juga efisiensi yang dikeluarkan oleh generator, karena masing-masing generator mempunyai batasan berapa masukan ratio perluasan/perlebaran yang harus dimasukan. Ratio ini bertujuan untuk mengurangi kerugian tembaga yang menggantung dan biaya tambahannya [12].

## Kesimpulan

Pada analisis variasi jenis inti besi M1000-100A dan *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal yang sama. Jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* menghasilkan peningkatan pada semua karakteristik. Terlihat pada gambar 12-17. Pada variasi ketebalan jenis inti besi terbukti bahwa untuk meningkatkan karakteristik dapat menggunakan metode memperlebar luas area.

Arus, Tegangan, Torsi yang terbesar dihasilkan oleh jenis inti besi *Carpenter : silicon steel* dengan tebal 80 mm dengan nilai 17.44 A, 52.31 V dan 24.84 Nm. Daya masuk menghasilkan perbandingan yang besar terbukti pada ketebalan 52 mm jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dihasilkan 766 watt sedangkan dengan tebal 80 mm dapat menghasilkan 1300 watt. Daya keluaran yang tertinggi yaitu 1 kW dihasilkan dengan jenis inti besi *Carpenter : Silicon Steel* dengan tebal 80 mm.

Jenis inti besi dapat mempengaruhi efisiensi, karena magnetisasi jenis bahan yang baik akan menghasilkan keluaran yang baik. Namun semakin tebal inti besi tidak menjamin semakin baik juga efisiensi yang dikeluarkan oleh generator, karena masing-masing generator mempunyai batasan berapa masukan ratio perluasan/perlebaran yang harus dimasukan. Ratio ini bertujuan untuk mengurangi kerugian tembaga yang menggantung dan biaya tambahannya.

Penelitian selanjutnya di sarankan untuk menguji dengan bahan jenis inti besi lainnya yang

dapat meningkatkan nilai keluaran terutama pada daya keluaran dan efisiensi. Untuk perakitan disarankan menghitung berapa biaya yang dikeluarkan karena pada lapisan rotor dan stator yang tebal, semakin banyak lapisan yang harus dibutuhkan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan Terima Kasih kepada PT. Lentera Bumi Nusantara yang telah memberikan dukungan serta semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini hingga selesai.

## Daftar Pustaka

- [1] Piggot H 2000 Windpower Workshop, Peninsula (*British: Wind Energy Association*).
- [2] Ing. T.D. Strous 2010. *Design of a Permanent Magnet Radial Flux Concentrated Coil Generator for a Range Extender Application*, EEC Delft University of Technology .
- [3] Nurdin, A., Azis, A., & Rozal, R. A. (2018). Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron. *Jurnal Ampere*, 3(1), 163. <https://doi.org/10.31851/ampere.v3i1.2144>
- [4] Rifqi Luthfi N 2019. Pengaruh Bahan Inti Besi terhadap nilai *back emf* pada *permanent magnet synchronous generator* 12 slot 8 pole. Universitas Pertamina
- [5] W. H. Yeadon and A. W. Yeadon, *Handbook of Small Electric Motors*, New York: McGraw-Hill, 2001
- [6] D. Jiles, *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, London: Chapman and Hall, 1991.
- [7] Galang Satya, B. (2018). Bab I Desain Mini Generator Magnet Permanen Fluks Radial, 2–4. Retrieved from <http://repository.uin-suska.ac.id/15845/>
- [8] Nanang Khafizhuddin 2010. Desain Turbin Angin Kapasitas 1000 W Sebagai Penyedia Listrik Skala Rumah Tangga.
- [9] S. Nagamori and T. Kenjo 1985. *Permanent-Magnet and Brushless DC Motors*. Oxford
- [10] Liliana, Aini, Z., Wenda, A., & Putri, T. D. (2020). Effect of Thickness and Type of Magnet against EMF Back PMSG 12S8P with FEM. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 990(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/990/1/012006>
- [11] A. E. Fitzgerald, C. K. Jr and S. D. Usmans 2005. *Electric Machinery Sixth Edition* (New York: McGraw-Hill)
- [12] Khan, M. A., & Pillay, P. (2005). Design of a PM wind generator, optimised for energy

- capture over a wide operating range. 2005 *IEEE International Conference on Electric Machines and Drives*, (June), 1501–1506. <https://doi.org/10.1109/iemdc.2005.195919>
- [13] 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 Perancangan Dan Analisis Generator Magnet Permanen 3 Kw , 200 Rpm Untuk Aplikasi Pembangkit Listrik, *12*(1), 55–66.
- [14] Nita Wulandari 2017. Analisis Penguasaan Konsep Induksi Elektromagnetik Pada Siswa Kelas XII SMA di Banyuwangi. Universitas Jember
- [15] Adeguna Ridlo Pramurti, dkk 2016. *Reduction on Cogging Torque in Dual Stator Radial Flux Permanent Magnet Generator for Low Speed Wind Turbine* : Yogyakarta
- [16] Siti Nurhabibah H, Melda Panjaitan 2018. Pembelajaran Fisika Dasar dan Elektronika Dasar (Arus, Hambatan dan Tegangan Listrik) Menggunakan Aplikasi Matlab Metode SIMULINK. Universitas Negeri Medan.
- [17] Dwi Prasetyo, W. (2016). Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM. *Jurnal Ilmiah SETRUM*, 5(1).
- [18] Hanselmen, DC 2006. *Brushless Permanent Magnet Motor Design* (New York: McGraw-Hill)
- [19] Lestari, A. M., Jatisukamto, G., Muttaqin, A. Z., Listrik, P., Bayu, T., Komponen, P., & Metode, P. (2018). Analisis Efisiensi Pada Generator 12 Slot 8 Pole. *Jurnal Rotor*, 11(April), 35–38
- [20] Priyaningsih, N. (2017). Analisis Efisiensi Generator Pada Wind Turbine. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2), 157–168. <https://doi.org/10.21831/jee.v1i2.17420>
- [21] Kholis, M. N. U. R., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Surakarta, U. M. (2020). Rancangan permanent magnet synchronous generator (pmsg) 12 slot 8 pole dengan menggunakan software magnet infolytica 7.5.