

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v9i1.2713>

# Analisis Pengaruh Diameter Lilitan dan Variasi Jumlah Lilitan Terhadap Efisiensi Generator Sinkron Magnet Permanen 24 Slot 16 Pole

Reza Junius Putra<sup>1\*</sup>, Novi Gusnita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas No. 155 Panam, Pekanbaru, 28293.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: [rezajunius8@gmail.com](mailto:rezajunius8@gmail.com)

**Abstract** – The need for electrical energy is a basic need that cannot be eliminated in the daily lives. With the increase in population, the need for electrical energy increases every year. Non-renewable energy has many examples, such as coal, oil, gas and so on. Wind energy is an alternative energy whose availability in nature. To convert wind energy into electrical energy, a Wind Power Plant is needed. In the conversion process using a generator. A generator that can be used is the Permanent Magnet Synchronous Generator 24 Slot 16 Pole (PMSG) which can produce magnetic flux and is suitable for use because with low rotation it can produce good efficiency to overcome areas with low wind speeds in Indonesia. To design and test through simulation with infolytica Magnet software based on the Finite Element Method. To increase efficiency in PMSG, this research analyze the effect of coil wire and the number of coils with coil wire diameters of 4 mm<sup>2</sup>, 6 mm<sup>2</sup> and 8 mm<sup>2</sup>. For the number of coils starting from 25, 30 and 35 coils using a speed of 500 rpm and a load of 10 Ohms equalize all variations. Where the highest efficiency is 88.2%, the output power is 1609.4 Watt, the input power is 1842.0 Watts, the current is 12.49 Amperes and the voltage is 124.9 Volts, obtained on a wire area of 8 mm<sup>2</sup> and a number 35 turns with an efficiency of 87.1%.

**Abstrak** - Kebutuhan energi listrik merupakan kebutuhan pokok yang tidak dapat dihilangkan dalam kehidupan sehari-hari. Dengan bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan energi listrik semakin meningkat setiap tahunnya. Energi tak terbarukan memiliki banyak contoh, seperti batu bara, minyak bumi, gas dan sebagainya. Energi angin adalah energi alternatif yang ketersediaannya selalu ada di alam. Untuk menjadikan energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan pembangkit listrik tenaga bayu. Dalam proses pengkonversian menggunakan generator. Jenis generator yang digunakan ialah *Permanent Magnet Synchronous Generator 24 Slot 16 Pole* (PMSG) yang dapat menghasilkan fluks magnet dan cocok digunakan karena dengan rotasi rendah dapat menghasilkan efisiensi yang baik untuk mengatasi daerah dengan kecepatan angin yang rendah di Indonesia. Untuk merancang dan menguji melalui simulasi dengan *Software Infolytica Magnet* berbasis *Finite Element Method*. Untuk meningkatkan efisiensi pada PMSG, penelitian ini menganalisa pengaruh kawat lilitan dan jumlah lilitan dengan diameter kawat lilitan 4 mm<sup>2</sup>, 6 mm<sup>2</sup> dan 8 mm<sup>2</sup>, Untuk jumlah lilitan dimulai dari 25, 30, dan 35 lilitan menggunakan kecepatan 500 rpm dan beban 10 Ohm disamakan semua variasinya. Dimana efisiensi paling tinggi 88,2%, daya *output* 1609,4 Watt, daya *input* 1842,0 Watt, arus 12,49 Ampere dan tegangan 124,9 Volt didapatkan pada luas kawat 8 mm<sup>2</sup> dan jumlah 35 lilitan dengan efisiensi 87,1%.

**Keywords** - PLTB, Lilitan, Generator, Efficiency, Energy.

## PENDAHULUAN

Energi Listrik tidak bisa dihilangkan dalam kehidupan sehari hari masyarakat Indonesia.

Seiring berjalannya waktu jumlah penduduk semakin meningkat dan kebutuhan untuk energi listrik semakin meningkat setiap tahunnya [1]. Dua sumber energi Listrik yaitu energi terbarukan dan

energi tak terbarukan, pada zaman sekarang energi tak terbarukan lebih banyak digunakan karena biaya energi tak terbarukan relatif lebih murah [2]. Energi tak terbarukan atau energi konvensional membutuhkan waktu jutaan tahun untuk dapat kembali karena berasal dari fosil makhluk hidup yang terkubur, ketersediaannya sangat terbatas, dan berbahaya bagi lingkungan. Jika dimanfaatkan secara terus menerus maka ketersediaan energi tak terbarukan akan habis [3].

Energi tak terbarukan atau biasanya disebut energi fosil memiliki banyak contoh, seperti batu bara, minyak bumi, gas dan lain sebagainya [4]. Batu bara memiliki tingkat tertinggi dalam penggunaan energi tak terbarukan karena memiliki biaya yang murah sehingga banyak sector pembangkit untuk menghasilkan energi listrik memanfaatkan energi batu bara agar menghasilkan energi listrik [5]. Batu bara sangat memiliki efek tidak baik bagi lingkungan karena menghasilkan emisi gas karbon yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan merusak kelestarian lingkungan sekitarnya [6].

Sementara untuk menghasilkan energi listrik yang bersumber dari energi terbarukan merupakan langkah yang tepat untuk dilakukan karena ketersediaannya selalu ada di alam dan akan selalu ada [7]. Energi yang bersumber dari alam contohnya dari angin, air, matahari dan panas bumi dan sangat berpotensi di Indonesia karena Indonesia merupakan negara kepulauan dan memiliki potensi yang sangat baik [8]. Saat ini energi terbarukan tersedia di Indonesia belum dilirik dan dikembangkan secara serius oleh pemerintah. Salah satu faktor yang menjadi tantangan pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia untuk berkembang adalah lemahnya komitmen pengembangan energi terbarukan dan masih memegang paradigma kuno dimana bahan bakar fosil batu bara menjadi biang permasalahan energi di Indonesia [9].

Salah satu energi terbarukan yang mempunyai potensi besar di kepulauan Indonesia adalah energi angin. Energi angin merupakan energi alternatif yang ketersediaannya akan selalu ada di alam dan merupakan energi bersih [10]. Energi angin sangat memiliki potensi, tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal untuk dijadikan ke energi listrik. Beberapa faktor yang mempengaruhi keberadaan energi angin antara lain cuaca, suhu lingkungan dan ketinggian di atas permukaan laut [11]. Energi angin juga berfluktuasi karena kondisi yang terus berubah. Pemanfaatan energi angin dapat mengatasi

permasalahan penggunaan energi tak terbarukan seperti batu bara dan minyak bumi [12].

Untuk menjadikan energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Dalam proses pengkonversian menggunakan alat atau mesin yang disebut generator [13]. Jenis generator yang dapat digunakan adalah Permanent Magnet Synchronous Generator 24 Slot 16 Pole (PMSG) yang dapat menghasilkan fluks magnet dan sangat cocok digunakan karena dengan putaran yang rendah dapat menghasilkan efisiensi yang baik untuk mengatasi daerah dengan kecepatan angin rendah di Indonesia. dibandingkan dengan generator induksi, PMSG mempunyai tingkat efisiensi yang lebih baik karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga sangat efektif untuk digunakan pada turbin angin [14].

Daerah dengan kecepatan angin rendah 3-4 m/s antara lain Provinsi Aceh, Lampung, Jawa Barat dan provinsi lain dengan kecepatan sedang. Potensi ini dinilai tidak ekonomis jika dibangun sistem pembangkit. Namun potensi tersebut juga dapat menghasilkan energi listrik dengan memaksimalkan kinerja turbin angin untuk mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik [15]. Kecepatan angin berbanding lurus dengan kecepatan putaran. Pada kecepatan angin 3 m/s dengan menggunakan jenis blade epoxy resin + fiber glass + coir nacca 4412 dapat menghasilkan kecepatan putaran sebesar 545,29 rpm. Pada kecepatan angin 4 m/s kecepatan putarannya adalah 708,9 rpm dan pada kecepatan angin 5 m/s kecepatan putarannya adalah 928,94 rpm. Selain sudu generator juga merupakan komponen utama dalam proses pembangkitan [16].

Generator sinkron magnet permanen 24 Slot 16 Pole merupakan generator yang mempunyai magnet permanen yang mempunyai Slot atau tempat untuk lilitan atau kumparan pada generator sebanyak 24 Slot untuk kumparan dan juga 16 Pole, berikut jumlah magnet yang berpasangan dengan 8 buah magnet menunjuk ke arah utara dan 8 magnet juga mengarah ke selatan. Generator juga merupakan alat yang membantu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan induksi elektromagnetik yang dihasilkan dari magnet permanen yang ada pada generator. PMSG 24 Slot 16 Pole memiliki cogging yang lebih sedikit. Cogging less berarti dapat menghasilkan listrik pada kecepatan angin yang rendah. Cogging less pada PMSG 24 Slot 16 Pole mempunyai defleksi puntir yang disebabkan oleh interaksi magnet permanen dengan kemampuan suatu material dalam

mentransmisikan fluks magnet. *Cogging* yang rendah dapat menghasilkan bunyi dan getaran yang lebih rendah [17].

Efisiensi PMSG diperoleh dengan membandingkan daya keluaran ( $P_{out}$ ) dengan daya masukan ( $P_{in}$ ) pada generator. Banyak hal yang dapat mempengaruhi efisiensi suatu generator seperti bahan yang digunakan dalam perancangan generator, beban atau daya yang digunakan, kecepatan rendah yang menyebabkan turbin tidak bergerak [18]. Selain faktor-faktor yang meningkatkan efisiensi, terdapat juga faktor-faktor yang dapat menurunkan efisiensi generator, seperti rugi-rugi daya pada generator yang dapat menurunkan efisiensi, rugi-rugi tembaga yang disebabkan oleh lilitan tembaga pada stator menjadi panas, dan juga rugi-rugi besi akibat bantalan generator menjadi panas [19]. Cara untuk mendapatkan efisiensi adalah dengan membandingkan daya keluaran dengan daya masukan, dimana daya masukan ( $P_{in}$ ) diperoleh dari hasil data torsi atau putaran rotor yang berputar sesuai kecepatan dan sudut yang telah ditentukan. Sedangkan daya keluaran ( $P_{out}$ ) diperoleh dari arus dan tegangan yang dihasilkan akibat perubahan energi mekanik yang berputar pada generator antara stator dan rotor. Semakin tinggi efisiensinya maka semakin baik pula kualitas yang dihasilkan dari generator tersebut [20].

Penelitian yang membahas tentang pengaruh jumlah lilitan dan kecepatan sebelumnya sudah pernah dilakukan pada tahun 2022. Penelitian tersebut dilakukan dengan menaikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar sehingga nilai efisiensi juga berpengaruh pada permanent magnet synchronous generator 18 Slot 16 Pole menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM). Metode FEM adalah metode yang dapat memecahkan satu per satu perhitungan ke yang lebih kecil lalu dihitung parameter nya satu per satu ke setiap bagian atau menyelesaikan suatu masalah dengan membagi bagian bagian objek untuk di analisa ke bagian yang kecil. Lilitan yang dilakukan memiliki variasi 50, 75 dan 100 lilitan dan variasi kecepatan putar di mulai dari 500, 1000 dan 1500 rpm dengan beban di samakan dengan setiap variasinya yakni 10 Ohm. Efisiensi tertinggi di dapatkan di jumlah lilitan 75 dengan kecepatan putar 1500 rpm dengan efisiensinya 80,9% [13]. Penelitian selanjutnya yaitu memvariasikan diameter kawat lilitan dan kecepatan putar pada awal tahun 2023 dengan *permanent magnet synchronous generator* 18 Slot 16 Pole dan mendapatkan nilai efisiensi terbaik senilai 97,24% dengan diameter kawat lilitan 2,4 mm<sup>2</sup> dan

kecepatan putar 1000 rpm. Perancangan PMSG dengan jenis material, inti besi, jumlah lilitan, luas permukaan dan dimensi dari magnet telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya dengan menghasilkan nilai arus dan tegangan yang semakin baik di setiap variasi PMSG [21][22].

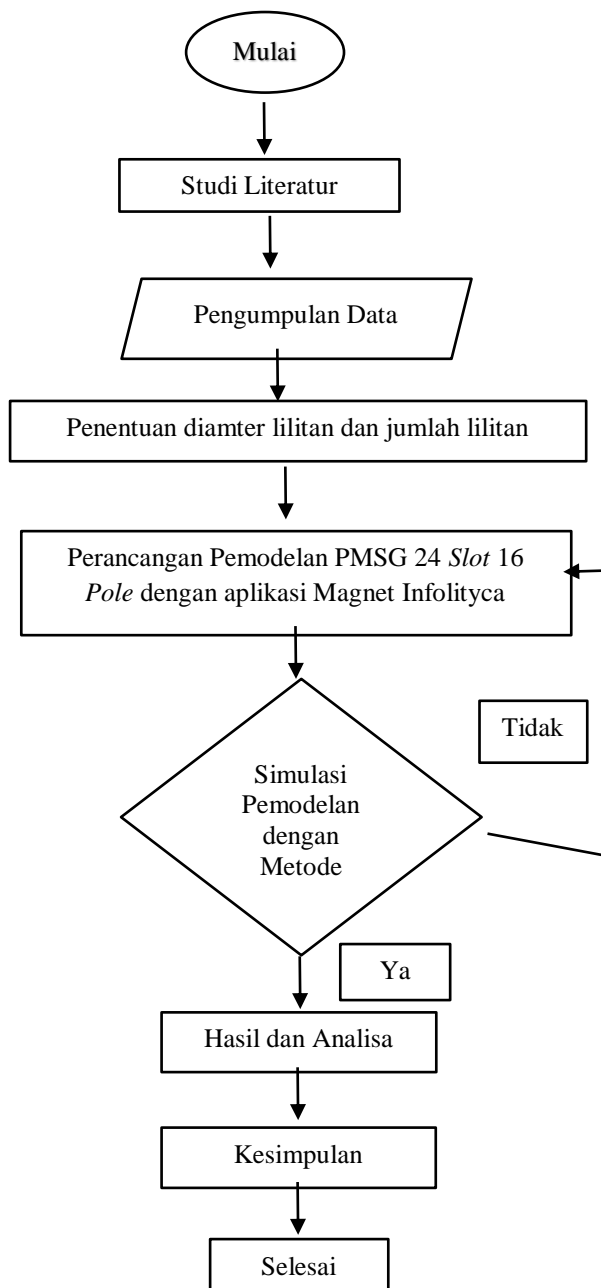
Peningkatan efisiensi dipengaruhi oleh daya *input* dan daya *output* pada generator, dimana daya *output* berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan oleh generator. Diameter kawat lilitan juga memiliki pengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan seperti yang dijelaskan pada penelitian mengenai pengaruh diameter kawat kumparan generator linear berpengaruh pada performa dan karakteristik generator. Besar kecilnya diameter berpengaruh pada perubahan tegangan dan arus termasuk daya. Dimana seiring meningkatnya tegangan berbanding lurus juga pada peningkatan arus [23]. Sebagai penunjang penelitian ini dilakukan adalah melihat hasil pada penelitian mengenai pengaruh diameter kawat dan jumlah lilitan dimana variasi tersebut memberikan pengaruh terhadap keluaran arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator [24]. Berdasarkan penjelasan di atas mengenai pengaruh turbin dan generator terhadap pembangkit tenaga angin serta pengaruh diameter kawat lilitan pada nilai keluaran generator, maka penelitian kali ini akan menganalisa pengaruh diameter kawat tembaga lilitan terhadap efisiensi pada *permanent magnet synchronous generator* 24 Slot 16 Pole dengan bantuan aplikasi *MagNet Infolytica 7,5* menggunakan *finite element method* (FEM) untuk variasi jumlah lilitan yang berbeda.

## METODE

### Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada Gambar 1 menyatakan alur penelitian yang dilakukan yang dimulai dengan membuat studi literatur yang bersumber dari jurnal yang diterbitkan, dilanjutkan dengan pengumpulan data-data yang diperlukan. Mulai dari data spesifik untuk pemodelan generator hingga data komponen pada generator seperti *stator*, *rotor*, magnet dan *airbox*. Data diameter kumparan kawat dan jumlah kumparan juga diperlukan untuk dapat menjalankan simulasi dalam penelitian. Setelah memperoleh data yang diperlukan, dilanjutkan dengan memodelkan generator sinkron magnet permanen pada *software MagNet Infolytica*. Proses selanjutnya adalah membuat model PMSG 24 Slot 16 kutub yang diawali dengan perancangan *stator*, *rotor*, *airbox* dan magnet permanen, kemudian dilakukan input

variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan diameter kawat lilitan 4 mm<sup>2</sup>, 6 mm<sup>2</sup>, 8 mm<sup>2</sup> dan juga jumlah kumparan yang bervariasi mulai dari 25 kumparan, 30 kumparan, 35 kumparan. Tahap selanjutnya adalah memasukan nilai beban dan kecepatan putar yang digunakan, dimana nilai beban dan kecepatan putar bisa dikatakan variabel tetap yang sama setiap diameter kawat lilitan dan jumlah lilitan pada penelitian ini. Nilai beban yang digunakan ialah 10 Ohm dan kecepatan putar sebesar 500 rpm. Material yang digunakan untuk permodelan PMSG 24 Slot 16 Pole ialah *Remko Pure Iron: Soft Pure Iron*, pada bagian magnet menggunakan *PM12: Br 1,2 Mur 1,6*, untuk *Airgap* dan *Airbox*nya menggunakan material *Air*.



Gambar 1. Flowchart

### Pengumpulan data

Saat melakukan penelitian, informasi yang diperlukan dikumpulkan dari artikel khusus generator terkait yang diambil berdasarkan permintaan menggunakan perangkat lunak *MagNet Infolytica*. Generator yang dirancang dan disimulasikan adalah Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*

No.	Spesifikasi	Deskripsi
1	Jumlah Slot	24 Slot
2	Jumlah Pole	16 Pole
3	Dimensi	110x110
4	Material stator dan Rotor	Remko: <i>Soft Pure Iron</i>
5	Material Lilitan	Cooper: 5.77e7 <i>Siemens/meter</i>
6	Material Magnet	PM 12: <i>Br 1.2 Mur 1.6</i>
7	Material Air Box	Air
8	Material Air Gap	Air

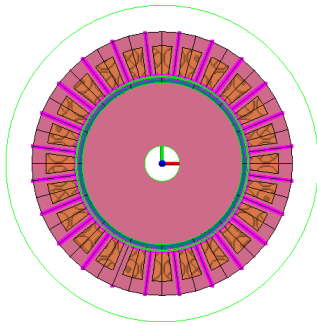
Tabel 2. Spesifikasi Ketebalan Core/Inti Besi dan Kecepatan Putar PMSG 24S16P.

No	Diameter kawat lilitan	Jumlah lilitan	Kecepatan Putar (rpm)
1	4 mm <sup>2</sup>	25, 30, 35	500
2	6 mm <sup>2</sup>	25, 30, 35	500
3	8 mm <sup>2</sup>	25, 30, 35	500

Jumlah lilitan dan diameter kawat lilitan akan mempengaruhi medan magnet yang mana akan menaikkan nilai arus dan tegangan. Karena pada hukum Faraday semakin naik nilai fluks magnet maka nilai arus dan tegangan akan juga naik. Untuk dasar pemilihan diameter kawat lilitan adalah dari hasil percobaan simulasi.

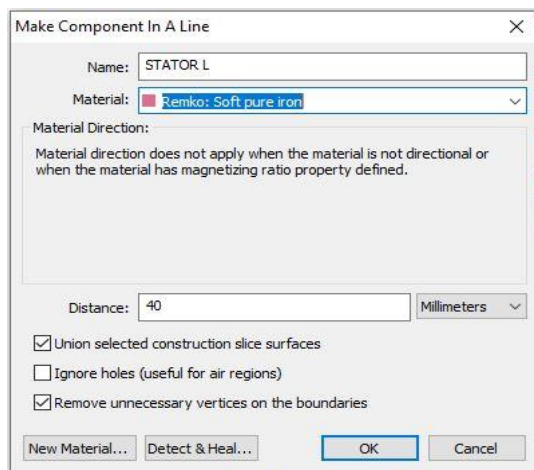
### Pemodelan pada Permanent magnet Synchronous Generator 24 Slot 16 Pole.

*Permanent magnet synchronous generator 24 Slot 16 Pole* adalah generator yang memiliki magnet permanen yang memiliki coil atau tempat lilitan sebanyak 24 buah dan memiliki 16 magnet yang mana 8 buah magnet mengarah ke selatan dan 8 buah magnet mengarah ke selatan. Pada penelitian ini PMSG 24 Slot 16 Pole menggunakan *software berbasis finite element method magnet infolytica*. Berikut model *design Permanent magnet synchronous generator*.



Gambar 2. Line PMSG 24 Slot 16 Pole

Langkah awal yang dilakukan ketika mendesain PMSG 24 Slot 16 Pole adalah membentuk stator, rotor dan magnet. Menentukan jumlah lilitan yang akan digunakan pada coil, menentukan magnet yang akan digunakan, dan material yang ada pada aigap dan airbox. Pada saat langkah ini sudah terpenuhi maka dilanjutkan dengan menentukan material yang akan digunakan pada inti besi.



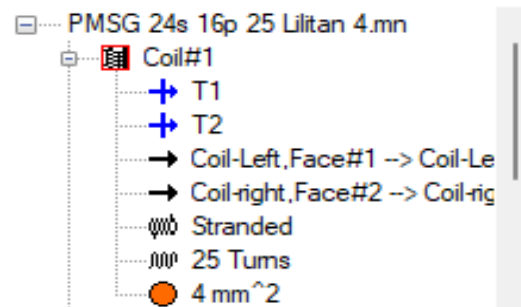
Gambar 3. Pembuatan material untuk stator, rotor, magnet dan airbox.

Pada langkah ini dalam pemodelan pada komponen PMSG 24 Slot 16 Pole yang akan digunakan. Pada rotor dan stator 24 Slot 16 Pole menggunakan material Remko: Soft Pure Iron, yang dimana material ini memiliki kelebihan nilai permeabilitas yang tinggi di banding dari material yang lainnya. Nilai permeabilitas yang ada pada material remko soft pure iron ialah 0,00004 Wb/Make bi[25].

**Penentuan Diameter kawat lilitan dan Jumlah lilitan**

Langkah berikutnya adalah menentukan diameter kawat lilitan yang mana menggunakan diameter 4, 6 dan 8 mm<sup>2</sup>. Diameter kawat lilitan memiliki pengaruh terhadap nilai keluaran karena luas penampang tempat lilitan mempengaruhi fluks

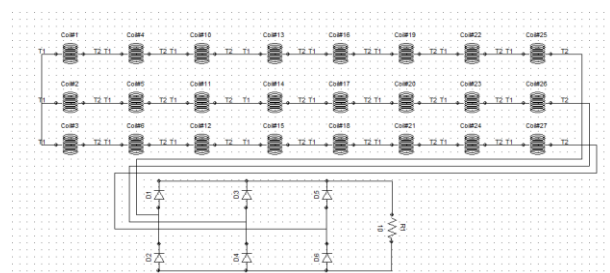
magnet. Setelah menentukan diameter kawat lilitan langkah selanjutnya adalah menentukan nilai jumlah lilitan. Yang mana menurut hukum Faraday, semakin dinaikkan jumlah lilitan maka nilai arus dan tegangan akan semakin naik. Nilai lilitan yang digunakan adalah 25, 30, dan 35 lilitan [13].



Gambar 4. Penentuan diameter kawat lilitan dan jumlah lilitan

**Pembebanan**

Setelah menentukan jumlah lilitan yang akan digunakan, gambarlah diagram rangkaian belitan fasa yang akan dibebani. Untuk mendapatkan hasil maka generator harus dibebani, yang pada penelitian ini menggunakan beban 10 Ohm. Beban 10 Ohm digunakan karena rata-rata pada penelitian sebelumnya menggunakan beban sebesar 10 Ohm. Beban dan sirkuit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Circuit PMSG 24 Slot 16 Pole dan beban

Pada Gambar 5 dijelaskan bahwa 24 Slot yang dimiliki oleh PMSG di bagi menjadi 3 bagian. Setiap Slot atau coil itrangkai secara seri lalu di sambung dengan diode dengan hambatan yang dimiliki sebesar 10 Ohm seperti yang ada pada Gambar 5.

**Simulasi Pemodelan PMSG 24 Slot 16 Pole**

Selesai semua pemodelan dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi atau transient 2D to motion. Setelah melakukan itu maka yang dilakukan adalah pengambilan data mulai dari nilai arus, tegangan dan Torsi. Ketiga hasil tersebut dipindahkan ke Microsoft excel. Setelah dipindahkan maka yang dilakukan adalah mencari nilai daya input, daya output dan nilai efisiensi.

Ketika sudah terkumpul semua data di *Microsoft excel* maka baru akan bisa melakukan perbandingan hasil keluaran *permanent magnet synchronous generator 24 Slot 16 Pole*. Berikut data keluaran *permanent magnet synchronous generator 24 Slot 16 Pole*.

### Arus

Arus didapatkan atas perbandingan tegangan input dan hambatan. Jumlah lilitan dari generator berpengaruh terhadap nilai arus. Semakin besar jumlah lilitan pada generator maka nilai arus yang dihasilkan akan semakin bertambah.

### Tegangan

Tegangan merupakan hasil dari induksi elektromagnetik generator.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (1)$$

$\mathcal{E}$  = the induction GGL (V)

$N$  = the number of windings

$\Delta\phi$  = the change in magnetic flux (Wb)

$\Delta t$  = time lapse (s)

### Torsi

Torsi dihasilkan dari gaya tangensial dan jari-jari motor yang bekerja, tergantung pada besarnya gaya yang diberikan dan jarak antara sumbu putaran/sumbu putaran. [13].

$$T = Fr \quad (2)$$

Dimana:

$F$  = gaya

$r$  = jari jari

### Daya masuk

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya masuk ( $P_{in}$ ) ialah sebagai berikut.

$$P_{in} = \frac{\tau \times n \times 2\pi}{60} \quad (3)$$

Dimana:

$P_{in}$  = daya input (W)

$\tau$  = torsi (Nm)

$n$  = kecepatan putar (rpm)

### Daya keluar

Daya keluar ( $P_{out}$ ) diperoleh dari hasil perkalian antara arus dan tegangan

### Efisiensi

Nilai efisiensi didapatkan dari hasil perbandingan daya keluaran ( $P_{out}$ ) dengan daya masuk ( $P_{in}$ ) dikali 100%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian *permanent magnet synchronous generator 24 Slot 16 Pole* dengan variasi jumlah lilitan dari 25, 30 dan 35 lilitan dan variasi luas diameter lilitan mulai dari 4, 6 dan 8 mm<sup>2</sup>. Dengan kecepatan disamakan dengan semua variasi 500 rpm dan beban 10 Ohm sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil pada 25 lilitan PMSG 24 Slot 16 Pole

Diameter Lilitan	Arus	Tegangan	Daya Input	Daya Output	Efisiensi
4 mm <sup>2</sup>	9.31 A	93.16 V	1122.0 W	892.7	85.2%
6 mm <sup>2</sup>	9.37 A	93.74 V	1146.3 W	904.0 W	84.1%
8 mm <sup>2</sup>	9.39 A	93.99 V	1164.5 W	908.8 W	82.9%

Tabel 4. Hasil Pada 30 Lilitan PMSG 24 Slot 16 Pole

Diameter Lilitan	Arus	Tegangan	Daya Input	Daya Output	Efisiensi
4 mm <sup>2</sup>	11.00 A	109.99 V	1474.6 W	1247.1 W	86.3%
6 mm <sup>2</sup>	11.09 A	110.90 V	1507.4 W	1267.5 W	85.7%
8 mm <sup>2</sup>	11.13 A	111.29 V	1531.3 W	1276.75 W	84.9%

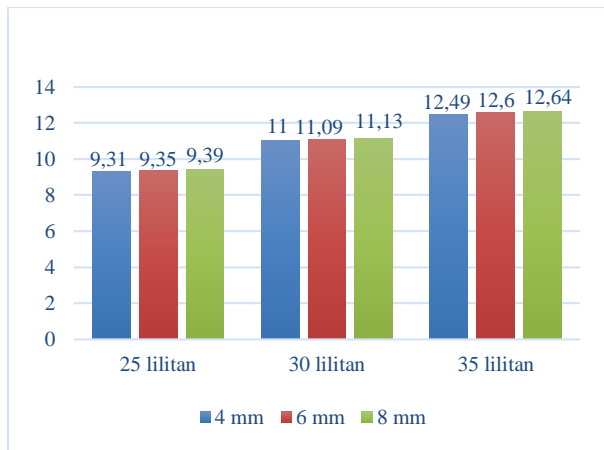
Tabel 5. Hasil Pada 35 lilitan PMSG 24 Slot 16 Pole

Diameter Lilitan	Arus	Tegangan	Daya Input	Daya Output	Efisiensi
4 mm <sup>2</sup>	12.49 A	124.90 V	1842.0 W	1609.4 W	88.2%
6 mm <sup>2</sup>	12.60 A	126.00 V	1881.0 W	1637.3 W	87.8%
8 mm <sup>2</sup>	12.64 A	126.43 V	1908.3 W	1648.0 W	87.1%

Analisis penelitian ini dilakukan dari sisi hasil arus, tegangan, daya *input*, daya *output* dan efisiensi.

### Arus

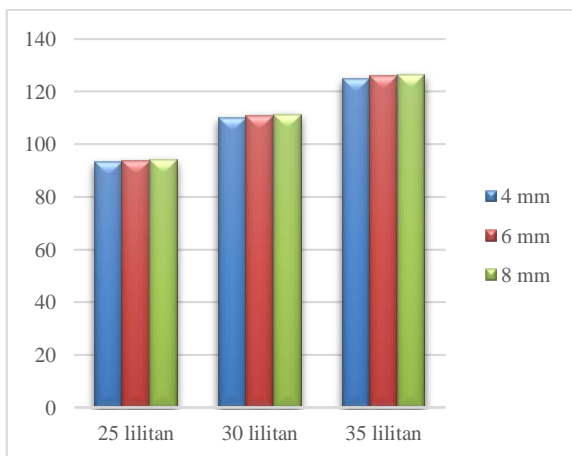
Dilihat pada Gambar 6, semakin dinaikkan jumlah lilitan dan diameter coil maka nilai arus semakin naik karena dipengaruhi oleh gaya Faraday yang menyatakan lilitan mempengaruhi nilai arus dan pengaruh dari luas *diameter coil*.



Gambar 6. Grafik Arus

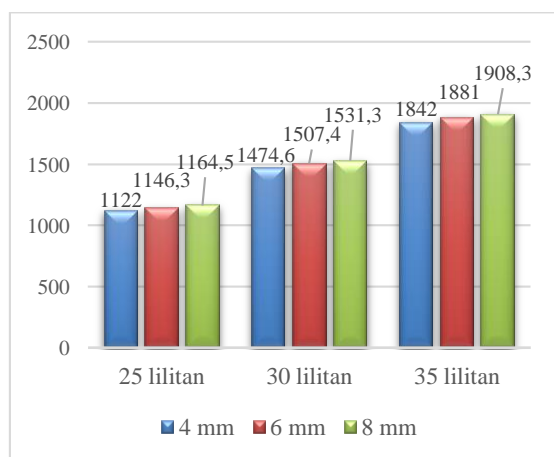
**Tegangan**

Dilihat pada Gambar 7 apabila ditambah lilitan dan luas diameter coil maka nilai tegangan semakin naik. Karena nilai tegangan sebanding dengan nilai arus. Sesuai dengan hukum Faraday bahwa jumlah lilitan mempengaruhi nilai tegangan dan luas diameter coil juga mempengaruhi hasil dari tegangan.



Gambar 7. Grafik Tegangan

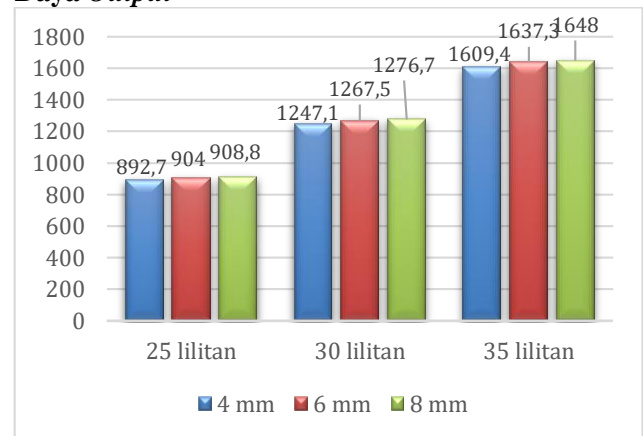
**Daya Input**



Gambar 8. Grafik Daya input

Hasil dari Gambar 8, bahwa semakin naik jumlah lilitan dan luas diameter coil maka nilai daya input mengalami kenaikan karena untuk mendapatkan hasil daya input didapatkan dari hasil perkalian antara torsi dan kecepatan putar.

**Daya Output**

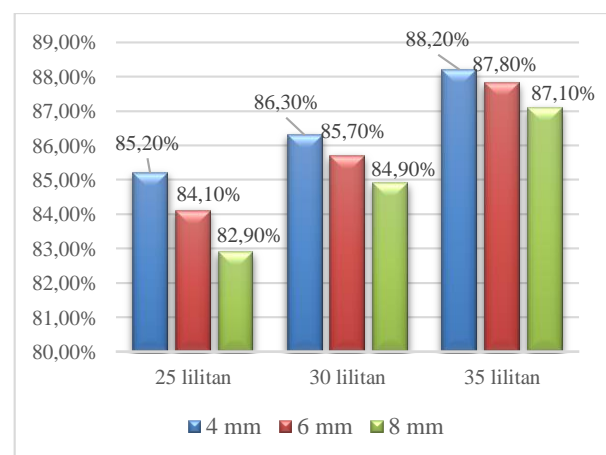


Gambar 9. Grafik Daya Output

Hasil dari daya output didapatkan dari hasil perkalian antara arus dan tegangan. Semakin tinggi nilai arus dan tegangan maka nilai daya output akan semakin tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 9.

**Efisiensi**

Efisiensi didapatkan dari hasil pembagian antara daya Output ( $P_{out}$ ) dan daya Input ( $P_{in}$ ) yang dikali 100%. Semakin dinaikkan jumlah lilitan atau luas diameter coil belum tentu nilai efisiensi akan semakin naik, karena pada PMSG memiliki ratio yang ada batasan perluasan dan pelebarannya yang dimasukkan. Ratio memiliki tujuan untuk mengurangi kerugian tembaga dan menghemat biaya tambahan. Pada PMSG 24 Slot 16 Pole diatas didapatkan efisiensi terbaik pada jumlah lilitan 35 lilitan dan luas diameter 4 mm<sup>2</sup> dengan nilai efisiensi 88.2%. (Gambar 10)



Gambar 10. Grafik Efisiensi

## KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi dilakukan penelitian pengaruh luas kawat dan jumlah lilitan terhadap efisiensi Generator Sinkron Magnet Permanen 24 Slot 16 Pole. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah luas kawat dan lilitan mempengaruhi hasil PMSG 24 Slot 16 Pole. Efisiensi tertinggi yang diperoleh sebesar 88,2% karena efisiensi diperoleh dari pembagian daya keluaran dan daya masukan dikalikan 100%. Untuk daya keluaran sebesar 1609,4 Watt, hasil diperoleh dari perkalian arus dan tegangan. Daya masukan sebesar 1842,0 Watt hasil perkalian torsi dengan kecepatan putar dengan arus 12,49 Ampere dan tegangan 124,9 Volt serta kecepatan putar 500 rpm dan beban 10 Ohm.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada pihak pihak yang telah membantu di dalam penelitian ini, mulai dari bimbingan, saran, kritik dan support sehingga penelitian ini dapat diselesaikan secara lancar.

## REFERENSI

- [1] A. M. Lestari *et al.*, “Analisis Efisiensi Pada Generator 12 Slot 8 Pole,” vol. 11, no. April, pp. 35–38, 2018.
- [2] I. Arifianto and M. R. Hs, “Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7.5,” *Semin. Nas. Microwave, Antena dan Propagasi*, pp. 43–48, 2018.
- [3] A. M. Soedjana atmadja, F. Cipta, A. Puspanegara, H. Hardiansyah, B. Nainggolan, and J. Marpaung, “Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Back emf Pada Permanent Magnet Synchronous Generator,” *Semin. Nas. Tek. Mesin PNJ*, pp. 123–128, 2019.
- [4] R. Saputra and Z. Aini, “Analisis Pengaruh Ketebalan dan Jenis Inti Besi Rotor Stator terhadap Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen 18S16P Fluks Radial,” *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 18, no. 2, pp. 220–227, 2021.
- [5] A. Sauky *et al.*, “Analisa Pengaruh Jumlah Lilitan Stator Terhadap Generator Magnet Permanen Fluks Radial Tiga Fasa,” vol. 10, no. 2, pp. 2–4, 2021.
- [6] A. Bachtiar and W. Hayyatul, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.
- [7] A. S. Journal, J. Windarto, T. Sukmadi, and I. Santoso, “Journal of Electrical Engineering & Electronic Technology Effect of Geometry Generator Variation Design 12 Slot 8 Pole on Power Efficiency Design,” pp. 2–7, 2018, doi: 10.4172/2325-9833.1000161.
- [8] M. Irfan and E. Erwin, “Perancangan Permanent Magnet Synchronous Generator Sultan Wind Turbine V-5 Sultan Wind Turbine V-5 Permanent Magnet Synchronous Generator Design,” vol. 3, pp. 131–142, 2021.
- [9] H. Herudin and W. D. Prasetyo, “Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM,” *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.36055/setrum.v5i1.886.
- [10] Liliana, Z. Aini, A. Wenda, and T. D. Putri, “Effect of Thickness and Type of Magnet against EMF Back PMSG 12S8P with FEM,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 990, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/990/1/012006.
- [11] M. R. Hadisiswoyo, I. Arifianto, S. Rahmatia, and R. Elson, “Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot 8 Pole ¼ Model,” pp. 48–52, 2018.
- [12] T. D. Putri, “3279-10571-1-Pb,” vol. 11, no. 1, pp. 45–50, 2022.
- [13] T. P. Zaputra and N. Gusnita, “Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole,” *Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 8, no. 2, p. 411, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.117875.
- [14] C. Anam, N. Nurhadi, and M. Irfan, “Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Magnetik Infolyca,” *Kinetik*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2017, doi: 10.22219/kinetik.v2i1.125.
- [15] I. M. Adi Sayoga, I. K. Wiratama, M. Mara, and A. D. Catur, “Pengaruh Variasi Jumlah Blade Terhadap Aerodinamik Performan Pada Rancangan Kincir Angin 300 Watt,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 103–109, 2014, doi: 10.29303/d.v4i2.59.
- [16] T. M. Ananda and N. Gusnita, “Analisis Perbandingan Pengaruh Material Inti Besi Stator dan Rotor Terhadap Efisiensi pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 18 Pole,” *J. AL-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 8, no. 2, p. 105, 2023, doi: 10.36722/sst.v8i2.1833.



- [17] Chapman s.j, “Electric Machinery Fundamentals, 4th edition, McGraw-Hill,” 2005. <http://www.elcom-hu.com/Mechatronics/Machines/EMtextbook4.pdf> (accessed Jun. 17, 2021).
- [18] I. Bagus, F. Citarsa, I. Ayu, and S. Adnyani, “Pengaruh Ketebalan Magnet Rotor terhadap Back EMF dan Efisiensi Permanent Magnet Synchronous Generator 12S8P,” vol. 9, no. 1, pp. 11–17, 2022, [Online]. Available: <https://dielektrika.unram.ac.id>.
- [19] P. Ilmiah, “Analisa Pengaruh Jumlah Lilitan Pada Permanent Magnet Synchronus Generator 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet Infolytica,” 2021.
- [20] M. N. Fikri, U. C. Buana, and D. B. Santoso, “Desain Permanent Magnet Synchronous Generator Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Daya 500 Watt Dengan Kecepatan Angin Rendah,” *Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 8, no. 2, p. 200, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.116750.
- [21] F. Fikasari, “Faradilla fikasari,” 2021.
- [22] H. Prasetijo, Winasis, Priswanto, and D. Hermawan, “Design of a single-phase radial flux permanent magnet generator with variation of the stator diameter,” *J. Teknol.*, vol. 81, no. 4, pp. 75–86, 2019, doi: 10.11113/jt.v81.12889.
- [23] E. Kasli, V. R. Dewi, and H. Mazlina, “Analisis Nilai Hambatan Jenis Aluminium Berdasarkan Panjang Kawat Yang Berbeda,” *J. Pendidik. Fis. dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, pp. 141–145, 2020, doi: 10.29303/jpft.v6i1.1455.
- [24] A. Budiman, H. Asy’ari, and A. R. Hakim, “Desain Generator Magnet Permanen Untuk Sepeda Listrik,” *Emitor*, vol. 12, no. 01, pp. 59–67, 2012.
- [25] M. I. Yasyak, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, “Naspub FIX\_Muhamad Ibnu Yasyak\_D400170137 (1),” 2021.