

Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada *Permanent Magnet Synchronous Generator* 18 Slot 16 Pole

Tri Parlan Zaputra^{1*}, Novi Gusnita²

^{1,2} UIN Suska Riau, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: triparlanzaputra20@gmail.com

Abstrak

Energi fosil masih mendominasi di Indonesia dan energi fosil bisa habis jika digunakan terus menerus dan untuk adanya kembali membutuhkan waktu yang sangat lama. Untuk mengatasi permasalahan yang ada pada energi fosil ini adalah dengan menggunakan sumber energi terbarukan. Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan dan dapat menggerakkan generator. Generator adalah mesin listrik yang dapat mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator *synchronous permanent magnet*. Dengan meningkatkan jumlah lilitan dan kecepatan putar pada PMSG dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). FEM merupakan metode yang dapat memecahkan satu persatu perhitungan ke yang lebih kecil lalu dihitung parameternya satu persatu ke setiap bagian. Untuk meningkatkan efisiensi pada PMSG 18 slot 16 pole menggunakan variasi kecepatan putar mulai dari 500 rpm, 100 rpm dan 1500 rpm dan variasi jumlah lilitan 50, 75 dan 100 lilitan dengan beban 10 ohm disamakan setiap variasinya. Dimana jumlah lilitan dan kecepatan berpengaruh terhadap efisiensi dan menghasilkan efisiensi terbaik 80,9% dengan nilai arus 13.83 ampere, tegangan 138.8 volt, daya input 2392.37 watt dan daya output 1956.04 watt.

Keyword: *Fossil, Generator, PMSG 18 Slot 16 pole, Finite Element Method, Efisiensi*

Abstract

Fossil energy still dominates in Indonesia and fossil energy can run out if it is used continuously and it takes a very long time for its return. To overcome the problems that exist in fossil energy is to use renewable energy sources. Wind is a renewable energy source and can drive a generator. Generator is an electrical machine that can convert mechanical energy into electrical energy. The type of generator used in this study is a synchronous permanent magnet generator. By increasing the number of turns and rotational speed on the PMSG can produce higher efficiency. The method used in this research is a method based on Finite Element Method (FEM). FEM is a method that can solve one by one calculations into smaller ones and then calculate the parameters one by one for each part. To increase efficiency on PMSG 18 slot 16 pole using rotational speed variations ranging from 500 rpm, 100 rpm and 1500 rpm and variations in the number of turns of 50, 75 and 100 turns with a load of 10 ohms equalized for each variation. Where the number of turns and speed affect efficiency and produce the best efficiency of 80.9% with a current value of 13.83 amperes, voltage 138.8 volts, input power 2392.37 amperes and output power 1956.04 amperes.

Keywords: *Fossil, Generator, PMSG 18 Slot 16 pole, Finite Element Method, Efficiency*

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan untuk keberlangsungan kehidupan bagi masyarakat agar mendapatkan kesejahteraan dalam hidup bermasyarakat. Energi tidak terbarukan atau energi fosil masih mendominasi di Indonesia. Energi fosil bisa habis jika digunakan terus menerus dan untuk adanya kembali membutuhkan waktu yang sangat lama. Untuk mengatasi permasalahan terhadap energi fosil adalah dengan memaksimalkan penggunaan pada sumber energi yang dapat diperbaharui yang bersumber dari alam seperti angin, uap, air, gas, panas bumi, matahari dan nuklir[1]. Salah satu kekayaan alam yang berasal dari energi terbarukan bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik adalah seperti energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang mempunyai potensi besar di Indonesia yang belum dapat digunakan semaksimalnya untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik yang sering disebut dengan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Energi angin tidak akan ada habisnya dan akan selalu ada selagi masih ada kehidupan didunia [2]. Tetapi, keberadaan energi angin ada beberapa hal yang mempengaruhi seperti ketinggian dari permukaan laut, cuaca, suhu lingkungan

dan lain sebagainya. Oleh karena itu energi angin bersifat fluktuatif atau kondisinya berubah ubah [3]. Energi angin sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan yang dapat menjawab permasalahan penggunaan energi tidak terbarukan atau energi fosil[4].

Untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dapat diterapkan pada alat yang disebut dengan generator. Jenis generator yang digunakan adalah *permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole* (PMSG) yang dapat menghasilkan *fluks* magnet. Hasil dari *fluks* magnet atau medan magnet yang dapat menjadi energi listrik. Yang dimaksud dengan *permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole* adalah generator yang memiliki magnet permanent yang mana mempunyai *slot* tempat lilitan atau *coil* pada generator yang memiliki 18 ruang tempat *coil* dan 16 *pole* adalah jumlah magnet yang berpasangan dengan 8 magnet mengarah ke arah utara dan 8 magnet yang mengarah ke arah selatan[5]. Fungsi dari generator adalah mengubah energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan induksi elektromagnetik yang dihasilkan dari magnet permanent yang ada pada generator[6].

Pada permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole memiliki kelebihan yaitu memiliki *cogging less* yang rendah, *Cogging less* berpengaruh pada PMSG. Karena, jika *cogging less* nya besar tidak akan bisa menghasilkan listrik dari PMSG pada saat kondisi angin rendah. [7]. Dalam pembuatan PMSG 18 slot 16 pole, untuk meningkatkan efisiensi pada jenis generator tersebut membutuhkan jumlah lilitan yang banyak dan kecepatan putar yang tinggi karena sesuai dengan hukum Faraday, semakin di naikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar pada generator maka arus dan tegangan nilainya semakin naik[8]. Ketika arus dan tegangan semakin tinggi, daya input dan daya output semakin tinggi pula dan ketika daya input dan daya output tinggi maka nilai efisiensi pada generator juga berpengaruh. Jumlah lilitan dan kecepatan putar pada generator menghasilkan tegangan induksi magnetik karena pada bagian stator ada *coil* atau tempat lilitan kumparan yang menghasilkan induksi magnetik karena adanya perputaran magnet yang ada pada bagian rotor[9]. Ketika memperbesar magnet nilai arus dan tegangan juga semakin naik, tetapi biaya ekonomisnya akan semakin tinggi. Untuk meminimalisir harga ekonomis maka di naikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar generator untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan semakin tinggi dan dapat mempengaruhi nilai efisiensi pada generator tersebut[10].

Dalam pembuatan atau perancangan generator membutuhkan sebuah software yang dapat mempermudah ketika pengerjaannya. Software yang digunakan adalah software yang berbasis *Finite Element Method* (FEM). FEM merupakan metode yang dapat memecahkan satu persatu perhitungan ke yang lebih kecil lalu dihitung parameternya satu persatu ke setiap bagian atau menyelesaikan suatu *problem* dengan membagi bagian bagian objek untuk di analisa ke bagian yang kecil [11].

Untuk mendapatkan hasil efisiensi yang lebih tinggi maka di butuhkan ketebalan magnet yang lebih tebal, tetapi ketika magnet di tebalkan maka akan menimbulkan biaya ekonomis yang lebih tinggi. Maka untuk meringankan biaya ekonomis untuk menaikkan nilai efisiensi solusi yang digunakan adalah dengan menaikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar agar menghasilkan induksi magnetic yang lebih tinggi dan nilai efisiensi akan berpengaruh terhadap jumlah lilitan dan kecepatan putar tersebut[12].

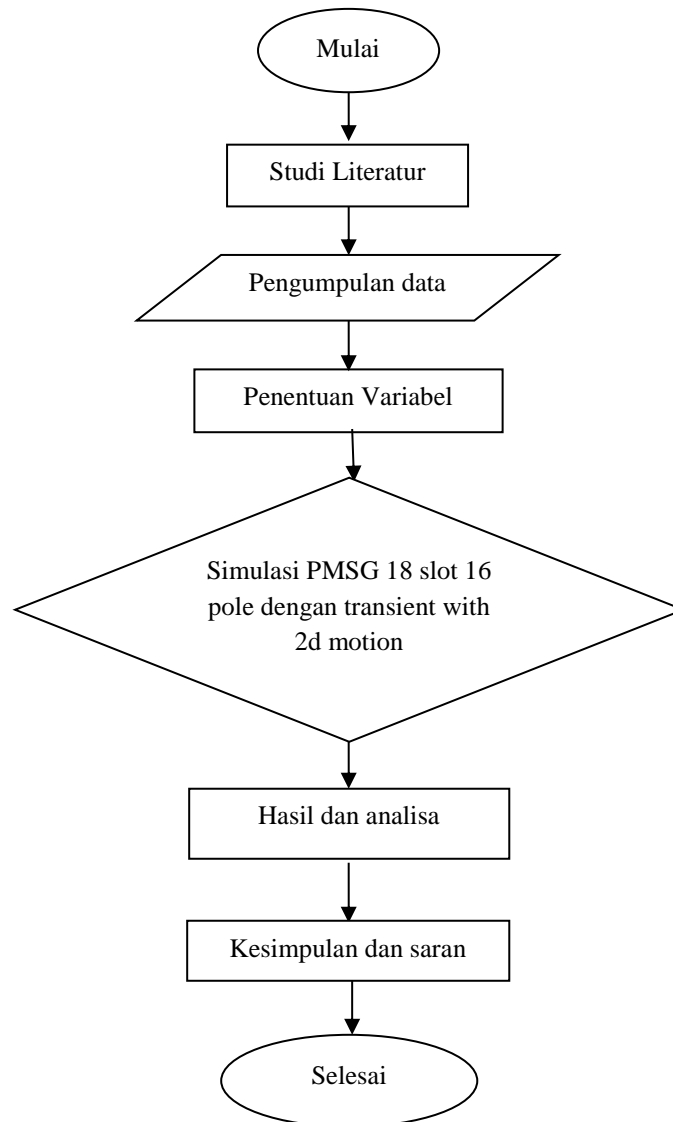
Pada penelitian ini dengan meningkatkan jumlah lilitan dan kecepatan putar pada permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan mengetahui hasil dari simulasi *permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole* mulai dari nilai arus, nilai tegangan, nilai torsi, nilai daya input, nilai daya output, efisiensi. Dengan jumlah lilitan yang di gunakan mulai dari 50 lilitan, 75 lilitan dan 100 lilitan dan kecepatan putar mulai dari 500 rpm, 1000 rpm dan 1500 rpm.

Penelitian terkait yang menggunakan PMSG ini pernah dilakukan beberapa peneliti diantaranya penelitian Kusuma A. Dalam penelitiannya yang berjudul Analisa Generator 3 Fasa Tipe Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk PLTB. Penelitian tersebut menguji efisiensi dan juga pengaruhnya terhadap kecepatan angin dan perubahan tegangan generator 3 fasa. Selain itu peneliti lain seperti Ahmad Sauky juga menggunakan generator serupa untuk penelitiannya. Penelitian tersebut membahas mengenai pengaruh jumlah lilitan stator terhadap generator magnet permanen fluks radial 3 fasa. Dalam penelitiannya didapatkan hasil bahwa jumlah lilitan mempengaruhi nilai tegangan dan arus keluaran serta efisiensinya. Penelitian lain juga dilakukan oleh Ayu Martha Lestari. Dalam penelitiannya, peneliti terkait menggunakan generator 12 slot 8 pole untuk dianalisa efisiensinya. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan hasil berupa kenaikan kecepatan putaran berpengaruh kepada nilai tegangan, arus dan torsi generator tersebut.

METODE

1. Diagram alir penelitian

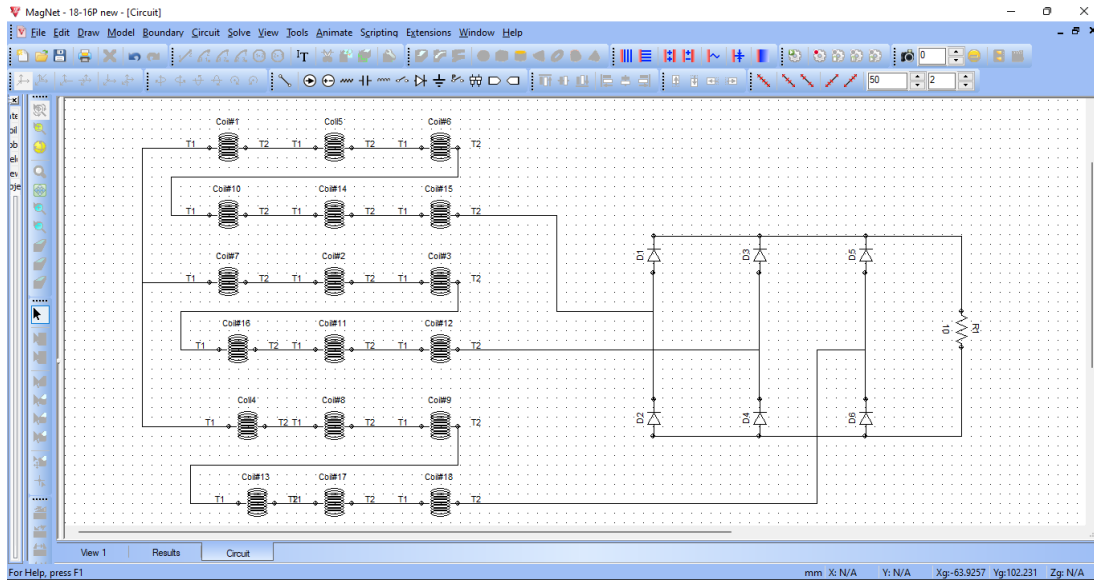
Tahapan tahapan simulasi untuk mendapatkan hasil dari nilai arus, tegangan, torsi, daya input, daya output dan efisiensi dengan nilai optimal dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada penelitian ini di mulai dengan membuat studi literatur bersumber dari jurnal jurnal yang telah di publikasi. Setelah melakukan studi literatur dilanjutkan dengan pengumpulan data. Mulai dari data material untuk menyusun generator *magnet permanent* agar bisa dibuat desain generator seperti stator, rotor, magnet, air gap dan air box. Setelah itu mulai mendesain PMSG 18 slot 16 pole menggunakan software *magnet infolytica*. Mulai mendesain dari stator, rotor, magnet permanen, dan air box. Ketika desain PMSG 18 slot 16 pole lanjut untuk mengatur variabel parameter yang ada pada PMSG 18 slot 16 pole seperti memasukkan nilai jumlah lilitan dari lilitan 50 lilitan, 75 lilitan dan 100 lilitan dan pengaturan kecepatan putar 500 rpm, 1000 rpm dan 1500 rpm. Lanjut untuk membuat *circuit* 3 fasa pada PMSG 18 slot 16 pole dengan memasukkan nilai beban sebesar 10 ohm dan sama dengan setiap variasi jumlah lilitan dan kecepatan putar. Pada PMSG

18 slot 16 Pole yang di rancang untuk stator dan rotor menggunakan material Carpenter: Silicon stell. Pada bagian magnet permanennya menggunakan material PM12: Br 1.2 meu 1.0. untuk air gap dan air box menggunakan material udara (Air).



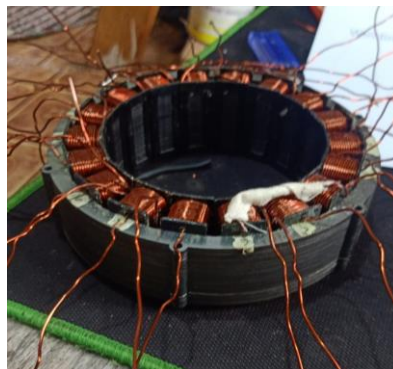
Gambar 2. Circuit PMSG 18 slot 16 pole

Setelah *circuit* di rangkain, lalu dilakukan simulasi transient 2d with motion lalu hasil dari simulasi dipindahkan ke microsof excel untuk dilakukan pengolahan data dan baru dilakukan analisa terkait perubahan yang terjadi karena jumlah lilitan dan kecepatan putar yang ada pada permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole terhadap efisiensi. Setelah mengetahui hasil dan analisa lalu membuat kesimpulan apakah jumlah lilitan dan kecepatan putar berpengaruh terhadap efisiensi.

2. Konstruksi pada *Permanent Magnet Synchronus Generator 18 Slot 16 Pole*

a. Stator

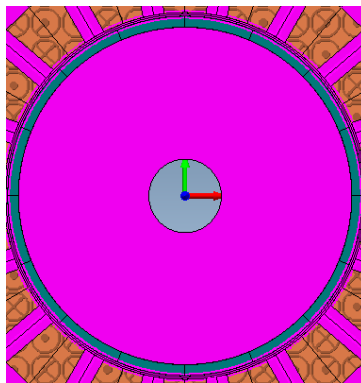
Pada stator terdiri kumparan atau lilitan yang terletak pada frame belakang dan frame depan. Stator terbuat dari lapisan plat besi tipis dan pada bagian stator terdapat pole tempat lilitan atau kumparan tembaga pada generator[13].



Gambar 3. Stator

b. Rotor

Fungsi rotor adalah membangkitkan medan magnet karna rotor yang berputar di porosnya pada *Permanent Magnet Synchronus Generator* (PMSG). Pada rotor terdiri inti kutup (pole core), kumparan medan, slip ring dan poros. Pada sekeliling rotor terdapat magnet permanent yang ikut berputar dengan poros dan rotor[13].



Gambar 4. Rotor

3. Persamaan Daya Keluaran Pada generator

1. Daya Generator

$$P_{in} = \tau \cdot n \cdot 2\pi / 60$$

Keterangan :

P_{in} : Daya Masuk (W)

τ : Torsi (Nm)

n : Kecepatan Putar (RPM)

$$P_{out} = I \cdot V$$

Keterangan :

P_{out} : Daya Keluar (W)

I : Arus (A)

V : Tegangan (V) [14]

2. Efisiensi

$$\eta = P_{out} / P_{in} \cdot 100\%$$

Keterangan :

η : Efisiensi (%)

P_{out} : Daya Keluar (W)

P_{in} : Daya Masuk (W) [15]

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Hasil dari penelitian *Permanent Magnet Synchronus Generator* 18 slot 16 pole dengan variasi jumlah lilitan 50 lilitan, 75 lilitan dan 100 lilitan dengan beban 10 ohm sama pada setiap variasi dan variasi kecepatan putar 500 rpm, 1000 Rpm dan 1500 Rpm. Untuk arus dan tegangan didapatkan dari hasil simulasi yang ada pada software. Dan untuk daya input, daya output dan tegangan di dapatkan hasil perhitungan yang dipindahkan ke Microsoft excel.

a. Data keluaran simulasi pada kecepatan 500 Rpm

Tabel 1. Hasil perhitungan pada kecepatan putar 500 Rpm

Jumlah lilitan	Arus	Tegangan	Daya		Efisiensi
			Input	Output	
50	3.96 Ampere	39.57 Volt	234.83 Watt	160.6 Watt	67.3 %
75	5.41 Ampere	54.15 Volt	392.2 Watt	298.98 Watt	75.6 %
100	6.68 Ampere	66.81 Volt	576.17 Watt	456.22 Watt	78.3 %

b. Data keluaran simulasi pada kecepatan 1000 rpm

Tabel 2. Hasil perhitungan pada kecepatan putar 1000 Rpm

Jumlah lilitan	Arus	Tegangan	Daya		Efisiensi
			Input	Output	
50	7.59 Ampere	75.9 Volt	755.12 Watt	588.74 Watt	77.2 %
75	10.02 Ampere	100.2 Volt	1265.52 Watt	1023.54 Watt	80.3 %
100	11.38 Ampere	113.8 Volt	1663.07 Watt	1321.86 Watt	78.6 %

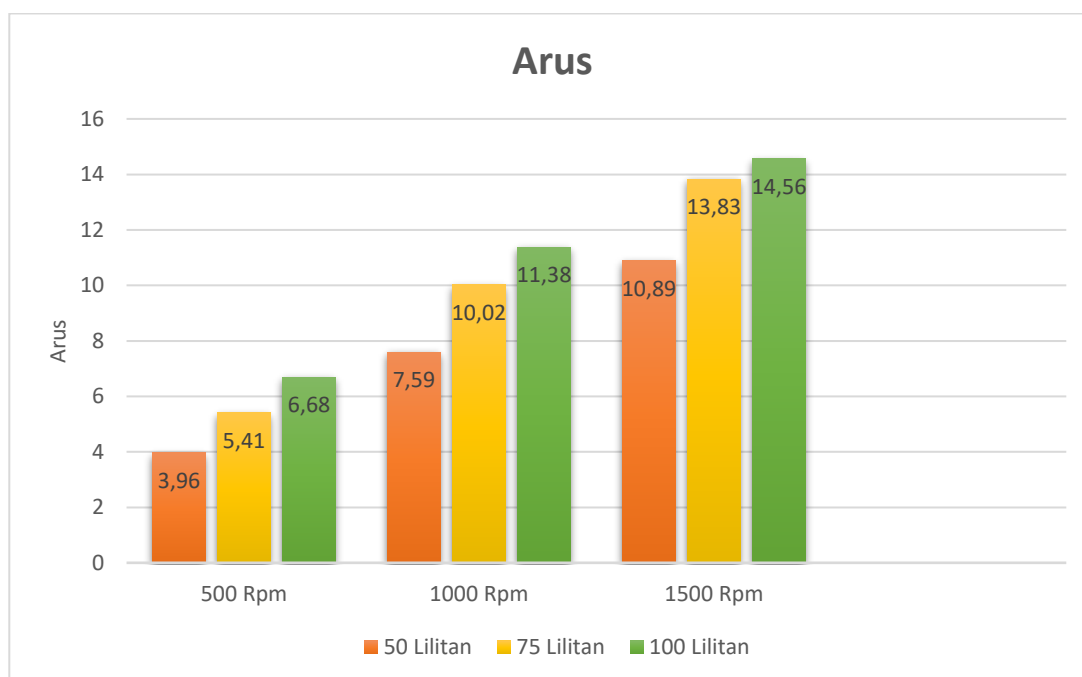
c. Data keluaran simulasi pada kecepatan 1500 rpm

Tabel 3. Hasil perhitungan pada kecepatan putar 1500 Rpm

Jumlah lilitan	Arus	Tegangan	Daya		Efisiensi
			Input	Output	
50	10.89 Ampere	108.9 Volt	1499.04 Watt	1212.55 Watt	80.2 %
75	13.83 Ampere	138.3 Volt	2392.37 Watt	1956.04 Watt	80.9 %
100	14.56 Ampere	145.6 Volt	2736.01 Watt	2171.98 Watt	78.0 %

2. Pembahasan

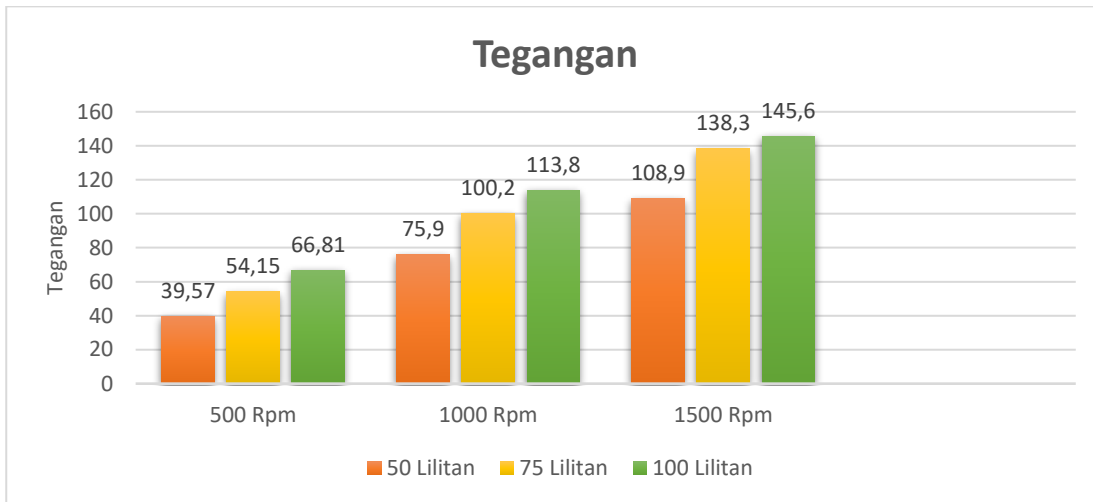
a. Arus



Gambar 5. Grafik Arus

Semakin di naikkan nilai jumlah lilitan dan kecepatan putar maka nilai arus mengalami kenaikan, sesuai hukum faraday, bahwa jumlah lilitan dan kecepatan putar di naikkan maka nilai arus juga semakin naik. Dapat dilihat pada gambar 5 di atas grafik pada arus mengalami kenaikan di setiap jumlah lilitan dan kecepatan putar dinaikkan.

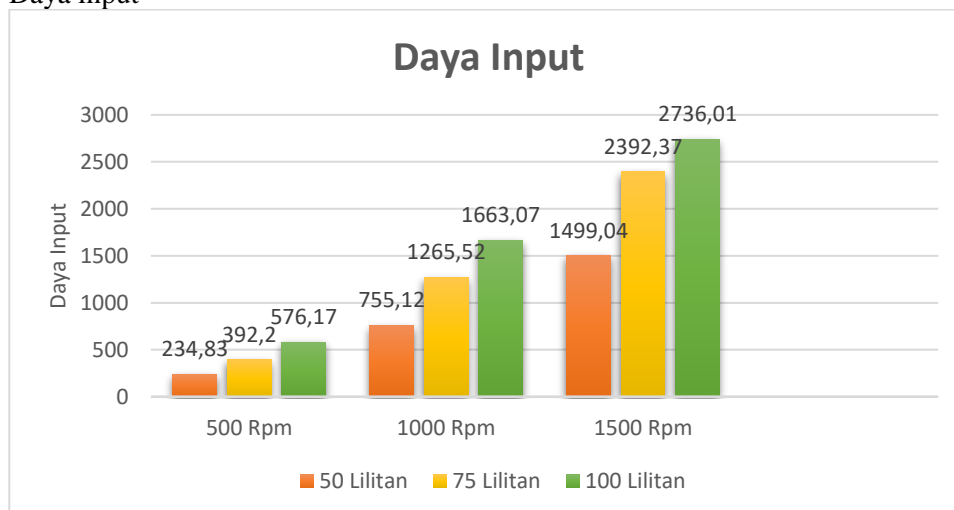
b. Tegangan



Gambar 6. Grafik Tegangan

Dapat dilihat pada gambar 6 bahwa semakin dinaikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar maka tegangan semakin naik. Sesuai dengan hukum faraday, jumlah lilitan dan kecepatan putar berpengaruh terhadap tegangan. Tegangan sebanding dengan arus dan mengalami kenaikan nilai tegangan di setiap jumlah lilitan dan kecepatan putar.

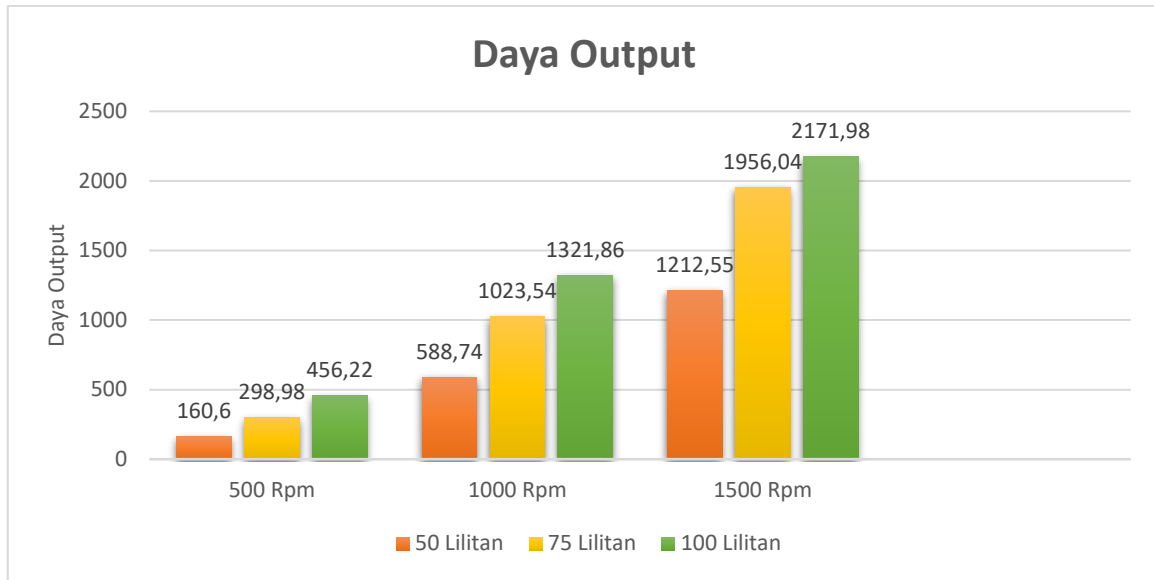
c. Daya input



Gambar 7. Daya Input

Dilihat pada gambar 7 bahwa semakin dinaikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar maka nilai daya input semakin naik karena daya input didapatkan hasil perkalian antara torsi dan kecepatan putar. Dan setiap jumlah lilitan dan kecepatan putar nilai daya input mengalami kenaikan.

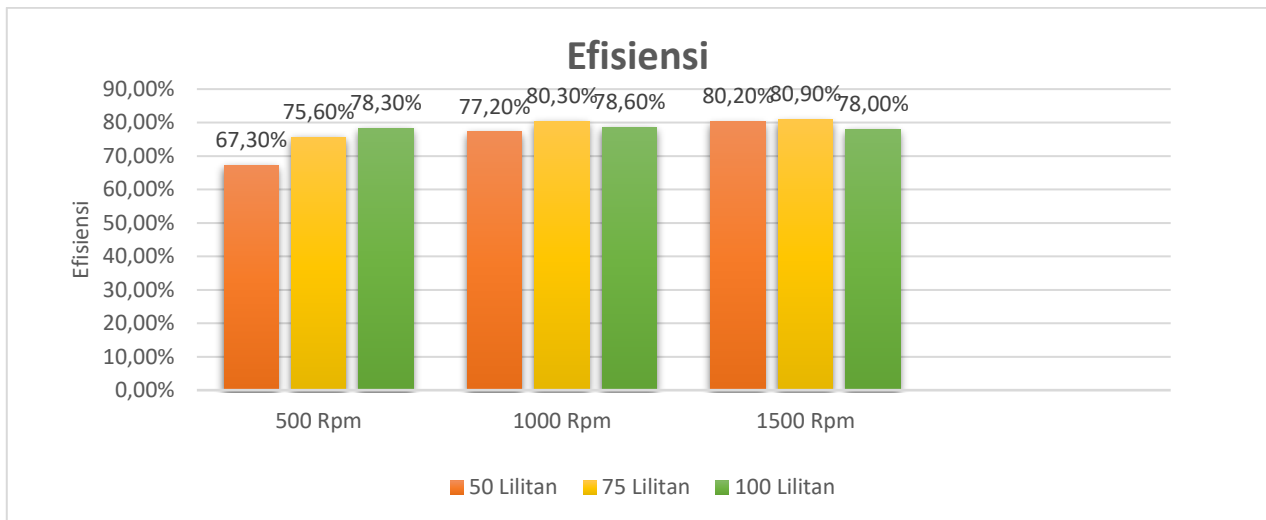
d. Daya output



Gambar 8. Grafik Daya Output

Untuk daya output didapatkan hasil dari perkalian antara arus dan tegangan. Semakin tinggi nilai arus dan tegangan maka semakin naik nilai daya output. Dapat dilihat pada gambar 8 nilai setiap jumlah lilitan dan kecepatan putar mengalami kenaikan nilai.

e. Efisiensi



Gambar 9. Grafik Efisiensi

Untuk mendapatkan efisiensi adalah hasil dari daya output (P_{out}) dibagi daya input (P_{in}) yang dikali 100%. Dilihat pada gambar 9 nilai efisiensi terbaik didapatkan pada jumlah lilitan 75 lilitan dan kecepatan putar 1500 rpm dengan hasil nilai 80,9%. Semakin dinaikkan nilai jumlah lilitan dan kecepatan putar tidak menjamin efisiensi semakin naik, karena setiap PMSG memiliki batasan berapa ratio perluasan atau pelebaran yang dimasukkan. Ratio bertujuan untuk mengurangi biaya tambahan dan mengurangi kerugian tembaga.

PENUTUP

Setelah melakukan simulasi hasil dari penelitian jumlah lilitan dan kecepatan putar terhadap efisiensi pada permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole menggunakan software berbasis finite element method (FEM), maka kesimpulan pada penelitian ini adalah Jumlah lilitan dan kecepatan putar yang ada pada permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole mempengaruhi nilai efisiensi. Karena nilai efisiensi didapatkan hasil pembagian daya output dan daya input dikali 100%. Untuk daya output hasil dari perkalian arus dan tegangan. Dan daya input hasil perkalian antara torsi dan kecepatan putar. Dan nilai efisiensi sangat di pengaruhi oleh jumlah lilitan dan kecepatan putar. Sesuai dengan hukum faraday semakin di naikkan jumlah lilitan dan kecepatan putar maka arus dan tegangan semakin naik. Nilai efisiensi tertinggi di dapatkan di jumlah lilitan 75 lilitan dengan kecepatan putar 1500 Rpm dengan nilai efisiensi 80,9%, nilai arus 13,83 ampere, nilai tegangan 138,3 volt, daya input 2392.37 watt dan daya output 1956.04 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] A. M. Lestari *et al.*, "Analisis Efisiensi Pada Generator 12 Slot 8 Pole," vol. 11, no. April, pp. 35–38, 2018.
- [3] A. M. Soedjanaatmadja, 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] 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.
- [5] M. N. KHOLIS, "Rancangan permanent magnet synchronous generator (pmsg) 12 slot 8 pole dengan menggunakan software magnet infolytica 7.5," pp. 5–19, 2020.
- [6] 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.
- [7] K. A and Supriyo, "Analisa Generator 3 Fasa Tipe Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk PLTB," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 1, pp. 12–17, 2015.
- [8] 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.
- [9] B. C. Wibowo, I. B. Winardi, M. Kom, and L. Belakang, "Simulasi Perubahan Tegangan Keluaran Permanent Magnet Synchronus Generator (PMSG) 12 Slot 8 Pole Terhadap Variasi Kecepatan Putar Rotor Dengan Software Berbasis Finite Element Method (FEM)," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [10] P. Ilmiah, "Analisa Pengaruh Jumlah Lilitan Pada Permanent Magnet Synchronus Generator 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet Infolytica," 2021.
- [11] 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.
- [12] 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>.
- [13] LAN, *Lentera Bumi Nusantara Profil. Tasik Malaya: Lentera Angin Nusantara*. Tasikmalaya, 2017.
- [14] 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.
- [15] 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.

BIODATA PENULIS

Tri Parlan Zaputra, lahir di tanjung jati, 20 Juli 1999. Menempuh pendidikan sarjana Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau pada Tahun 2018-sekarang.

Novi Gusnita, Menyelesaikan Pendidikan Sarjana pada Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Padang (STTP), pada Tahun 2000 dan Mendapatkan gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro di Universitas Gajah Mada pada Tahun 2007.