

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v8i3.1925>

Analisis Jumlah Lilitan dan Variasi Material Inti Besi Stator Rotor Terhadap Efisiensi *Permanent Magnet Synchronous Generator* 24 Slot 16 Pole Fluks Radial

Fikri Hidayah^{1*}, Novi Gusnita¹

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

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: hidayahkita11@gmail.com

Abstrak – Effort to replace increasingly limited fossil energy sources, new renewable energy (EBT) can be the right solution. This type of energy comes from natural resources that can be renewed continuously, such as wind energy. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) technology can be used optimally in wind turbines. However, research on the efficiency of this technology is still not optimal in terms of reducing energy consumption, power losses and operational costs. Therefore efforts are needed to increase generator efficiency. The generator is the main component of converting wind energy into electrical energy. The research was conducted on a 24 slot 16 pole permanent magnet synchronous generator type using the Finite Element Method (FEM) with 3 variations of the number of turns of 35, 50, 65 and variations of the stator rotor iron core material: TR 52: USS Transformer, Remko Soft: Pure, M1000-100A Silicon Steel. This research resulted in the highest current value of 9.92 Amperes, the highest voltage value was 99.2 volts, the value of the input power was 1199.2 Watts and the output power was 1014 Watts on the number of turns of 65 coils and Remko material: soft pure and for efficiency the best is obtained at a value of 87.20% on the number of turns of 50 turns and Remko material: Soft Pure.

Abstract – Dalam upaya menggantikan sumber energi fosil yang semakin terbatas, energi baru terbarukan (EBT) dapat menjadi solusi yang tepat. Jenis energi ini berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara terus-menerus, seperti energi angin. Teknologi Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) dapat digunakan secara optimal pada wind turbine. Namun penelitian efisiensi dari teknologi tersebut masih kurang optimal dalam hal untuk mengurangi konsumsi energi, rugi rugi daya dan biaya operasional. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan efisiensi generator. Generator adalah komponen utama pengkonversi energi baru menjadi energi listrik. Penelitian dilakukan pada jenis generator sinkron magnet permanen 24 slot 16 pole menggunakan metode Finite Element Method (FEM) dengan 3 variasi jumlah lilitan sebesar 35, 50, 65 dan variasi material inti besi stator rotor : TR 52: USS Transformer, Remko Soft : Pure, M1000-100A Silicon Steel. Penelitian ini menghasilkan nilai arus yang paling tinggi adalah 9.92 Ampere, nilai tegangan yang paling tinggi adalah 99.2 volt, nilai daya input adalah dengan nilai 1199.2 Watt dan daya keluar dengan nilai 1014 watt pada jumlah lilitan 65 lilitan dan material remko: soft pure dan untuk efisiensi yang paling baik di dapatkan pada nilai 87.20% pada jumlah lilitan 50 lilitan dan material Remko: Soft Pure.

Keywords – PLTB, Generator, Coil, Iron Core, Permeability Magnet.

PENDAHULUAN

Dalam segala aspek kehidupan manusia, energi sangat mempunyai peran penting didalamnya. Kegiatan industri, komersial, transportasi, bahkan sampai ke rumah tangga tidak pernah lepas dari

energi [1]. Energi dalam artian hukum perundang-undangan adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanik, kimia, dan elektromagnetika, baik secara langsung maupun melalui konversi atau transformasi [2]. Energi dibagi menjadi dua bagian yaitu terbarukan

dan fosil. Energi terbarukan terdiri dari surya, bayu, air, panas bumi dan bio energi, sedangkan energi fosil berupa minyak bumi, gas alam dan batu bara [3]. Di Indonesia pemanfaatan jenis energi lebih banyak menggunakan fosil, hal ini menyebabkan energi fosil akan semakin habis ketersediaannya [4]. Untuk menghadapi tantangan tersebut, pengembangan dan pemanfaatan teknologi energi terbarukan semakin pesat dilakukan. Salah satunya generator sinkron magnet permanen. Generator sinkron magnet permanen merupakan teknologi energi bayu yang memiliki komponen utama pengkonversi energi bayu menjadi energi listrik [5]. Komponen generator sinkron magnet permanen dirancang dan dianalisis menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM). Metode ini berfungsi untuk mendiskritisasi beberapa elemen secara detail dan memberikan beban/material pada elemen tersebut. Perancangan berlandaskan hukum Faraday, semakin ditambah jumlah lilitan pada stator, maka arus dan tegangan nilainya akan semakin bertambah [6]. Begitu juga dengan pemilihan material inti besi rotor dan stator berdampak pada permeabilitas untuk menghasilkan fluks magnetik, semakin baik permeabilitas material inti besi maka semakin baik kemampuan sebuah permanen magnet untuk mengalirkan fluks [7]. Sehingga hasil dari PMSG ini mendapatkan nilai daya keluaran yang besar dan efisiensi yang besar dari perbandingan antar 3 variasi lilitan dan material inti besi stator rotor.

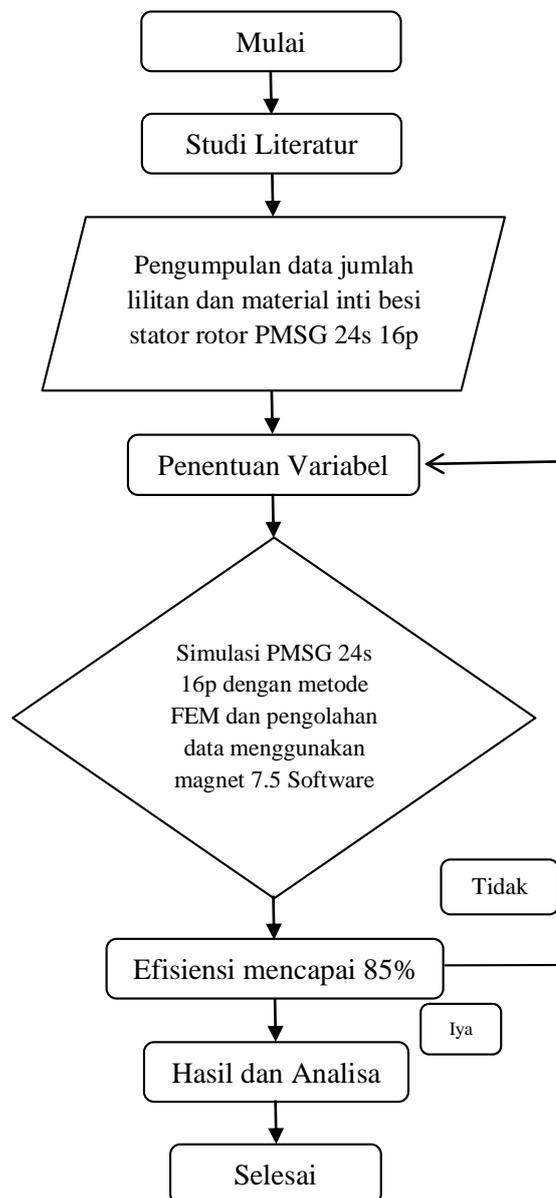
Penelitian sebelumnya terkait generator sinkron magnet permanen 18 slot 16 pole didapatkan hasil nilai efisiensi tertinggi 80,9% dari jumlah 75 lilitan dengan kecepatan putar 1500 Rpm. Hasil yang didapatkan masih belum optimal dikarenakan perlu kecepatan putar yang tinggi 1500 Rpm dan jumlah lilitan yang banyak [3]. Penelitian kedua menggunakan generator dengan 18 slot 16 pole menghasilkan daya keluaran 1 Kw dan efisiensi terbesar 73% dan disarankan untuk menguji bahan material inti besi lain yang dapat meningkatkan efisiensi dan daya keluaran [5]. Penelitian terakhir didapatkan hasil berupa pengaruh jumlah lilitan stator dan kecepatan putar terhadap generator mempengaruhi nilai keluaran daya dan efisiensi [8].

Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengurangi dampak dari penggunaan energi fosil, mengurangi rugi rugi daya dan mendapatkan nilai efisiensi lebih besar dari penelitian sebelumnya sebesar 85% dengan menganalisis pengaruh jumlah lilitan dan material inti besi stator rotor pada generator sinkron magnet dengan menguji material lainnya pada inti besi rotor stator dan jumlah lilitan.

METODE

Diagram alir penelitian

Langkah-langkah penelitian dan analisis yang dilakukan terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

Spesifikasi generator

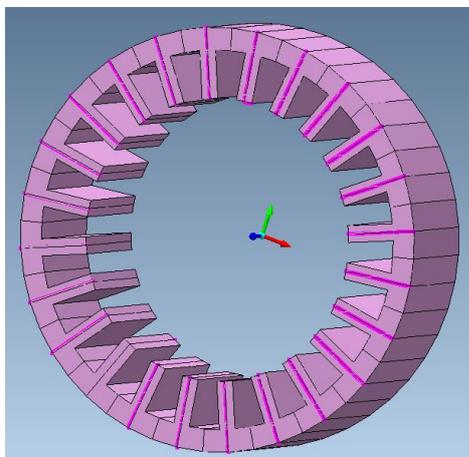
Spesifikasi yang dirancang pada generator sinkron magnet permanen 24 slot 16 pole dengan variasi jenis inti besi rotor stator TR 52: *USS Transformer*, *Remko Soft : Pure*, *M1000-100A Silicon Steel* dan jumlah lilitan 35, 50 dan 65 sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi generator, jumlah lilitan dan jenis inti besi rotor stator

No	Elemen	Keterangan
1	Dimensi	90 x 90
2	Slot dan pole	24 slot 16 pole
3	Bahan inti besi	TR 52: USS Transformer, Remko Soft : Pure, M1000-100A Silicon Steel
4	Jumlah lilitan	35, 50, 65
5	Airbox	Air
6	Air gap	Air
7	Magnet	PM12: Br 1.2 mur 1.0
8	Lilitan	Copper: 5.77e7 Siemens/Meter
9	Air gap stator rotor	1 mm

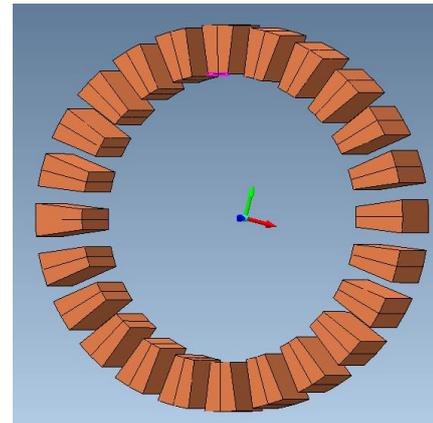
Pemodelan Generator menggunakan FEM

Metode FEM merupakan metode efektif dalam menghitung distribusi sebuah medan elektromagnetik. Metode ini berfungsi menunjukkan analisa distribusi fluks magnet dan memiliki kelebihan dalam menghitung beberapa parameter meliputi torsi, dan nilai induktansi [9]. *Software Magnet Infolytica* merupakan salah satu *software* yang berbasis *Finite Element Method* digunakan untuk melakukan perancangan generator dengan menggunakan material yang diinginkan dan menganalisis masalah medan elektromagnetik dalam generator untuk mendapatkan desain generator seperti yang diinginkan [5]. Diskritisasi metode elemen hingga (elemen-elemen yang sudah diberikan beban) generator sinkron magnet permanen 24 slot 16 pole sebagai berikut.



Gambar 2. Stator

Gambar 2 merupakan rancangan stator yang terdiri dari 24 Slot dan akan divariasikan dengan 3 material inti besi stator yaitu : TR 52: USS Transformer, Remko Soft : Pure, M1000-100A Silicon Steel.



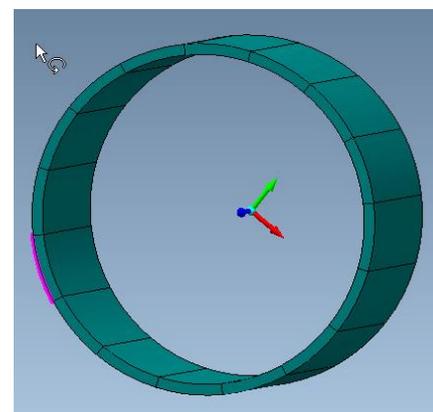
Gambar 3. Lilitan

Gambar 3 merupakan rancangan Material Copper 5.77e7 Siemens/Meter lilitan yang terdiri dari 24 dan bergantung pada stator dan akan divariasikan dengan 3 variasi lilitan yaitu 35,50 dan 65 lilitan.

Untuk karakteristik Material Copper 5.77e7 Siemens/Meter dapat dilihat pada tabel 2.

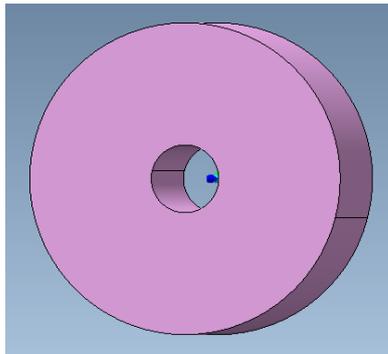
Tabel 2. Karakteristik Material Copper: 5.77e7 Siemens/Meter

No	Parameter	Besaran/Satuan
1	Konduktivitas	57700000 M
2	Spesifik Panas	383.1 J/Kg.C
3	Kerapatan	8954 Kg/m ³
4	Konduktivitas Thermal	386 W.mC
5	Max. Operation temp	20°C



Gambar 4. Magnet

Gambar 4 merupakan magnet yang terdiri dari 16 pole dan material magnet yang dipilih menggunakan material PM12: Br 1.2 mur 1.0 dan akan bergantung pada rotor generator sinkron magnet permanen 24 slot 16 pole.



Gambar 5. Rotor

Gambar 5 merupakan rotor dari generator sinkron magnet permanen yang akan divariasikan menggunakan 3 material inti besi yaitu : TR 52: *USS Transformer, Remko Soft : Pure, M1000-100A Silicon Steel*.

Variabel Uji

Variabel uji yang dilakukan pada generator berupa inputan dan pembebanan generator.

Inputan Generator

Material lilitan

Material lilitan umumnya yang sering digunakan adalah tipe Copper: $5.77e7$ Siemens/Meter. Sesuai dengan hukum Faraday semakin dinaikkan jumlah lilitan maka nilai arus dan tegangan semakin tinggi.

$$E = - BLv \tag{1}$$

Keterangan:

B = Medan Magnet

L = Panjang Kawat Konduktor

v = Kecepatan Gerak Pengantar

Untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi, dibutuhkan magnet yang lebih tebal. Namun, penambahan ketebalan magnet akan meningkatkan biaya produksi, sehingga perlu dicari solusi alternatif yang dapat meningkatkan efisiensi tanpa menambah biaya produksi secara signifikan. Salah satu solusinya adalah dengan meningkatkan jumlah lilitan, sehingga dapat menghasilkan induksi magnetik (nilai tegangan, nilai daya *output*) [9].

Material inti besi rotor dan stator

Pemilihan material inti besi rotor dan stator mengacu pada permeabilitas magnet atau perbandingan nilai B (rapat fluks) dan H (intensitas medan magnet). Permeabilitas magnet berhubungan dengan fluks magnetik, ketika medan magnet melewati luas penampang yang berubah-ubah dan diberikan *coil* maka induksi gaya gerak listrik (GGL) akan dihasilkan [10]. Sehingga tujuan dari variasi

material inti besi ini mendapatkan hasil efisiensi yang besar dari perbandingan 3 material inti besi stator dan rotor dengan permeabilitas yang berbeda. Perhitungan nilai permeabilitas bahan material menggunakan rumus persamaan sebagai berikut.

$$\mu = \frac{B}{H} \tag{2}$$

Keterangan :

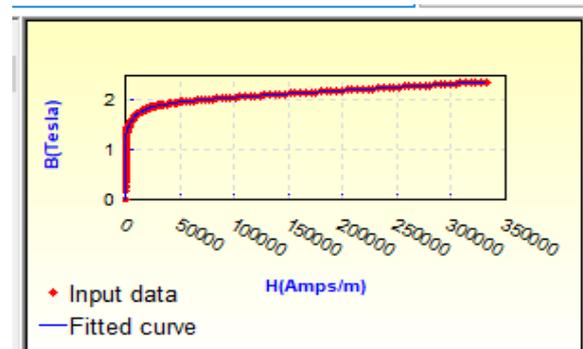
μ : Permeabilitas (Wb/Am)

B : Kerapatan fluks magnet (T)

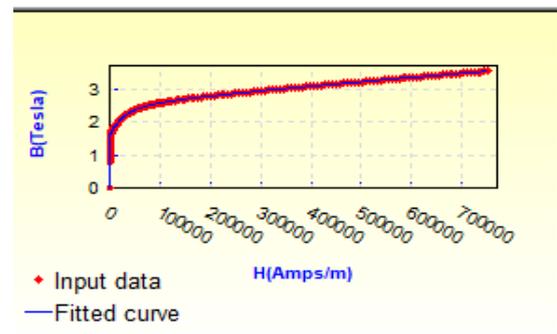
H : Intensitas medan magnet (A/m)

Diagram Kurva B-H dari 3 material inti besi rotor dan stator dapat dilihat pada Gambar 6-8.

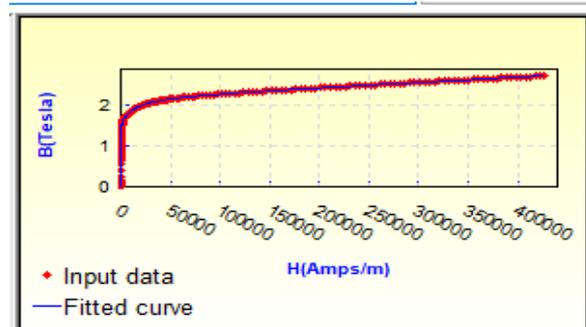
TR 52 USS Transformer



Gambar 6. Kurva B-H TR 52: USS Transformer



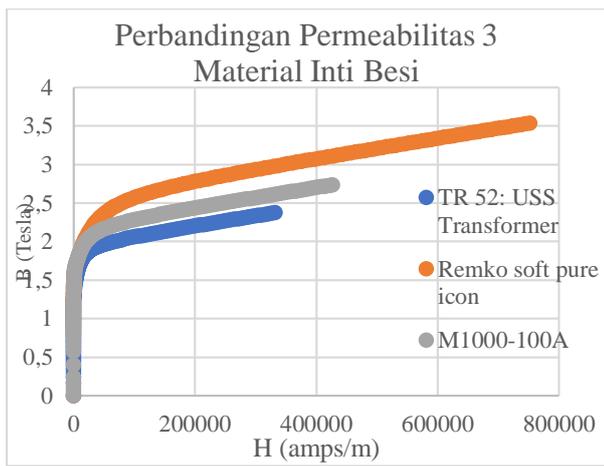
Gambar 7. Kurva B-H Remko soft pure icon



Gambar 8. Kurva B-H M1000-100A

Gambar 6-8 menunjukkan bahwa kemampuan permanen magnet untuk mengalirkan fluks magnet. Semakin besar luas area dibawah diagram semakin baik permanen magnet mengalirkan fluks magnet [11].

Untuk melihat lebih jelas perbandingan permeabilitas dari 3 material ini akan dilakukan penggabungan untuk jenis material inti besi rotor stator : TR 52: *USS Transformer*, *Remko soft pure icon* dan *M1000-100A* menggunakan *Microsoft Excel*. Perbandingan bahan material 3 inti besi rotor stator dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan permeabilitas 3 material

Kecepatan putar

Kecepatan putar dari alat pengkonversi generator berupa kecepatan sudut dan torsi. Kecepatan sudut (Rpm) dihasilkan dari hasil konversi kecepatan (m/s) sedangkan torsi merupakan gaya putar. Kecepatan sudut ini yang akan memutar generator. Dalam pengujian ini kecepatan sudut yang disimulasikan sebesar 500 Rpm [12].

Pembebanan

Pembebanan dilakukan dengan menghubungkan beban pada generator yang bertujuan untuk mendapatkan nilai arus dan daya yang dihasilkan. Selain itu pembebanan dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan efisiensi generator. Pembebanan yang diberikan sebesar 10 Ohm [13].

Simulasi Pembebanan dan Persamaan Daya Keluaran Pada generator

Simulasi pembebanan pada wiring diagram yang berbentuk *star*. Setelah itu dilakukan simulasi *transient 2d with motion*. Hasil dari simulasi diolah menggunakan *Microsoft excel* dan dilakukan analisa terkait perubahan yang terjadi berdasarkan jumlah lilitan dan material inti besi yang ada pada generator

sinkron magnet permanen [3]. Pengolahan data untuk mendapatkan nilai keluaran karakteristik menggunakan persamaan sebagai berikut.

Arus

Arus Listrik *Electric Current* merupakan perbandingan antara tegangan masukkan dengan hambatan [14].

Tegangan

Tegangan dihasilkan dari induksi elektromagnetik generator ini adalah tegangan bolak-balik [15].

Daya Masuk

$$P_{in} = T \times Rpm \times 2 \pi / 60 \quad (2)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

Rpm = Kecepatan Perputaran

$\pi = 3.14$

Daya Keluar

$$P_{out} = V \times I \quad (3)$$

Keterangan :

V = Tegangan

I = Arus

Efisiensi

$$n = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

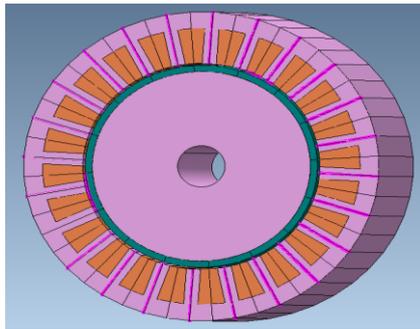
P_{out} = Daya Masuk

P_{in} = Daya Keluar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Dan Pembahasan

Hasil dari pemodelan generator dan penelitian generator sinkron magnet permanen 24 slot 16 pole sebagai berikut.



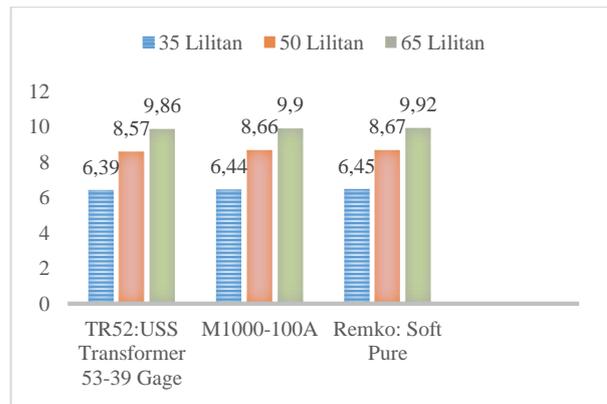
Gambar 10. Generator Sinkron Magnet Permanen 24S16P

Nilai Keluaran Generator Sinkron Magnet Permanen 24S16P Material Remko *Soft Pure* 50 Lilitan.

Time(s)	8.678	86.780	-17.195	900.353586	776.6544	0.872
	Current(A)	Voltage(V)	Magnetic Force/Torque	Pin	Pout	Efisiensi
0	0.000	0.000	-1.515	79.33956372	0	0.000
0.002	9.431	94.310	-17.358	908.8385962	889.4391	0.979
0.004	8.277	82.773	-10.609	555.4946296	685.1376	1.233
0.006	9.224	92.244	-22.380	1171.800434	850.89	0.726
0.008	9.505	95.051	-22.765	1191.98523	903.4679	0.758
0.01	9.644	96.437	-19.460	1018.946099	930.0179	0.913
0.012	7.069	70.692	-10.046	526.0279735	499.7313	0.950
0.014	7.201	72.007	-10.910	571.2308873	518.5009	0.908
0.016	9.228	92.282	-23.019	1205.252885	851.5928	0.707
0.018	10.759	107.593	-24.714	1294.031381	1157.629	0.895
0.02	8.092	80.922	-14.254	746.3192908	654.8426	0.877
0.022	7.240	72.403	-11.246	588.8148802	524.225	0.890
0.024	8.246	82.463	-14.420	755.0072956	680.0066	0.901
0.026	9.712	97.118	-21.866	1144.887655	943.194	0.824
0.028	9.127	91.268	-20.248	1060.198297	832.9845	0.786
0.03	9.914	99.138	-19.227	1006.727518	982.8304	0.976
0.032	9.010	90.099	-16.479	862.8188729	811.774	0.941
0.034	8.254	82.536	-10.582	554.0703569	681.2195	1.229
0.036	9.217	92.174	-22.353	1170.422994	849.6124	0.726
0.038	9.509	95.091	-22.779	1192.719278	904.2388	0.758
0.04	9.650	96.503	-19.472	1019.531201	931.2858	0.913
0.042	7.070	70.701	-10.047	526.0748196	499.8637	0.950
0.044	7.201	72.008	-10.906	571.0442277	518.5105	0.908
0.046	9.228	92.283	-23.019	1205.247941	851.6193	0.707
0.048	10.759	107.593	-24.714	1294.029992	1157.62	0.895
0.05	8.092	80.921	-14.253	746.2905426	654.8239	0.877

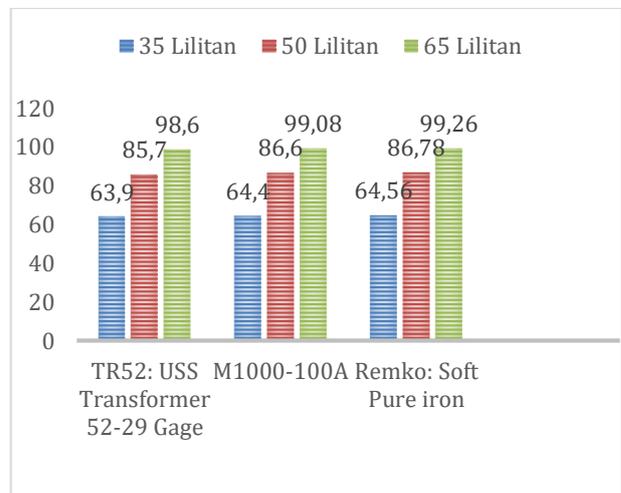
Gambar 11. Hasil pengolahan data menggunakan Microsoft excel

Simulasi PMSG 24S16P material inti besi Remko *Soft Pure*, 50 Lilitan dan dikalkulasikan menggunakan *Microsoft excel* dengan persamaan seperti yang sudah dijelaskan pada persamaan daya keluaran. Begitu juga dengan variasi lainnya (35,50,65 lilitan dengan 3 variasi material inti besi rotor dan stator). Perbandingan nilai untuk 2 variabel yaitu material dan jumlah lilitan dengan nilai arus, tegangan, daya masuk, daya keluaran dan efisiensi dilanjutkan menggunakan *Microsoft excel* dan dibuat dalam bentuk grafik dan tabel.



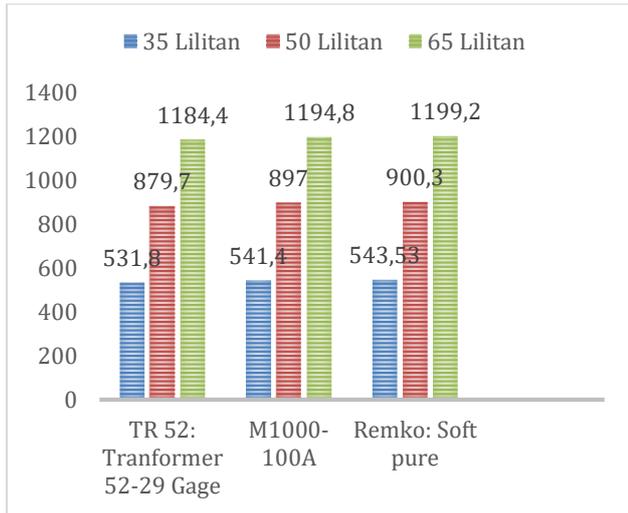
Gambar 12. Grafik Arus

Dilihat pada Gambar 12, bahwa semakin di naikkan jumlah lilitan maka nilai arus semakin naik, sesuai dengan hukum Faraday. Material Remko: *soft pure* adalah material yang paling bagus karena nilai arus pada setiap variasi lilitan yang paling tinggi. Nilai arus paling tinggi didapatkan pada material remko: *soft pure* pada lilitan 65 lilitan dengan nilai arus sebesar 9.92 Ampere.



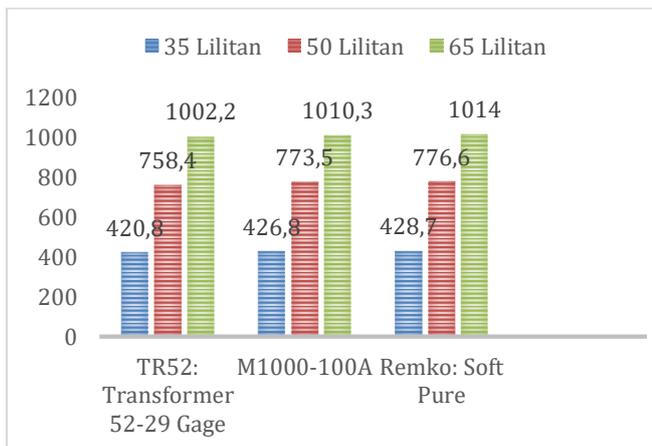
Gambar 13. Grafik Tegangan

Dilihat pada Gambar 13, semakin dinaikkan jumlah lilitan maka nilai tegangan semakin naik, karena pada hukum Faraday, semakin dinaikkan jumlah lilitan maka nilai tegangan semakin tinggi. Dan untuk material yang terbaik adalah pada material remko: *soft pure iron* karena dari setiap variasi jumlah lilitan material tersebut yang memiliki nilai paling tinggi yaitu sebesar 99.26 Volt.



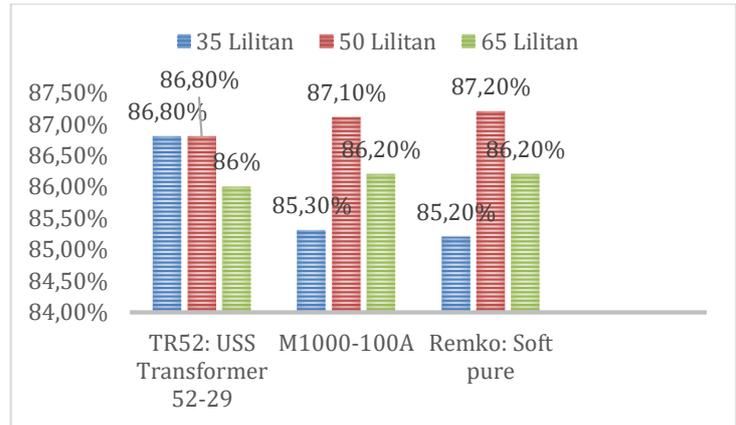
Gambar 14. Grafik dan Tabel Daya Masuk

Dilihat pada Gambar 14, dikarenakan pengaruh jumlah lilitan yang semakin dinaikkan maka nilai dari daya masuk juga semakin tinggi dan jumlah lilitan. Material remko: *soft pure* merupakan material yang paling baik dalam menghasilkan daya masuk pada lilitan 65 menghasilkan daya masuk sebesar 1199.2 Watt / 1 Kw.



Gambar 15. Grafik Daya Keluar

Dilihat pada gambar daya keluar sangat berpengaruh oleh jumlah lilitan, karena semakin dinaikkan jumlah lilitan maka nilai daya keluar semakin naik. Material juga mempengaruhi daya keluar, dapat dilihat pada gambar bahwa material remko: *soft pure* merupakan material yang paling tinggi menghasilkan nilai daya keluar pada setiap variasi material dan jumlah lilitan. Nilai paling baik dihasilkan nilai daya keluar yaitu 1014 Watt pada material remko: *soft pure* dengan jumlah lilitan 65 lilitan.



Gambar 16. Grafik dan Tabel Efisiensi

Dilihat pada gambar 16, bahwa nilai efisiensi didapatkan hasil pembagian dari daya keluar dan daya masuk. Nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada jumlah lilitan 50 lilitan pada material remko: *soft pure* dengan nilai efisiensi 87.20%. semakin tinggi jumlah lilitan tidak menjamin efisiensi semakin naik, dikarenakan setiap generator memiliki pelebaran masing masing rasio dan jumlah lilitan yang sesuai.

KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian generator sinkron magnet permanen 24 slot 16 pole yang menggunakan software yang berbasis *finite element method* (FEM), kesimpulan yang diambil dari penelitian ini bahwa jumlah lilitan dan material mempengaruhi nilai karakteristik pada permanent magnet synchronous generator 24 slot 16 pole dari nilai arus, tegangan, daya masuk, daya keluar dan efisiensi. Nilai efisiensi di dapatkan hasil dari daya keluar dibagi daya masuk. Daya keluar didapatkan dari hasil perkalian dari arus dan tegangan, daya masuk hasil perkalian oleh torsi dan kecepatan. Nilai arus yang paling tinggi adalah 9.92 Ampere, nilai tegangan yang paling tinggi adalah 99.2 volt, nilai daya input adalah dengan nilai 1199.2 Watt, daya keluar dengan nilai 1014 watt pada jumlah lilitan 65 lilitan dan material remko: *soft pure* dan untuk efisiensi yang paling baik di dapatkan pada nilai 87.20% pada jumlah lilitan 50 lilitan dan material Remko: *Soft Pure*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu di dalam penelitian ini, mulai dari bimbingan, saran,

kritik dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan secara lancar.

REFERENSI

- [1] Suharyati, N. Kristanto, S. Hesti Pambudi and dkk, "Indonesia Energy Outlook (IEO)," in -, -, 2021.
- [2] I. M. Astra, "Energi Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 11, no. 2, pp. 131-139, 2010.
- [3] T. P. Zaputra, Gusnita and Novi, "Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 8, no. 2, pp. 411-419, 2022.
- [4] P. RI, "Database Peraturan," Pemerintah, 17 Oktober 2014. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/5523/pp-no-79-tahun-2014>.
- [5] R. Saputra and Z. Aini, "Analisis Pengaruh Ketebalan dan Jenis Inti Besi Rotor dan Stator terhadap Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen 18S16P Fluks Radial," *Jurnal Sains, Teknologi, dan Industri*, vol. 18, no. 2, pp. 220-227, 2021.
- [6] M. A. Irawan, "Perancangan Generator Dengan Variasi Slot, Pole, Dan Lilitan Menggunakan Software Magnet," Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, 2019.
- [7] Liliana, Z. Aini, A. Wenda and T. D. Putri, "Effect of Thickness and Type of Magnet against EMF Back PMSG 12S8P with FEM," in *IPO Conference Series*, Padang, 2020.
- [8] A. S. A. Farisi, A. Wenda, Liliana and N. P. Miefthawati, "Analisa Pengaruh Jumlah Lilitan Stator Terhadap Generator Magnet Permanen Fluks Radial Tiga Fasa," *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 65-67, 2021.
- [9] Yasyak and M. Ibnu, "Analisa permeabilitas material stator pada pemodelan permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole menggunakan finite element method," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2021.
- [10] M. Abdullah, "Bab 6 GGL INDUKSI dan INDUKTANSI," in *Fisika Dasar II*, Bandung, Kampus Ganesa, 2017, pp. 410-479.
- [11] "Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7.5," in *Seminar Nasional Microwave, Antena dan Propagasi (SMAP)*, Bogor, 2018.
- [12] H. Piggott and J. Blow, *Windpower workshop*, United Kingdom: Centre for Alternative Technology, 2020.
- [13] M. Sumantri and S. Nuryadi, "Analisis Pengaruh Variasi Slot Dan Pole Terhadap Tegangan Dan Efisiensi Daya Pada Perancangan Generator Magnet Permanen Menggunakan Software Magnet," Universitas Teknologi Yogyakarta, Universitas Teknologi Yogyakarta, 2019.
- [14] Herudin and W. D. Prasetyo, "Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM. Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer," *Jurnal Ilmiah SETRUM*, vol. 5, no. 1, pp. 11-15, 2016.
- [15] G. Setiawan, "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1.," 2019, pp. 1-64.