

Jurnak Irfan Delafena

by Irfan Delafena

Submission date: 12-Jun-2023 09:56AM (UTC+0700)

Submission ID: 2114084183

File name: JURNAL_PENELITIAN_IRFAN_PROTEK12_2.docx (191.44K)

Word count: 3894

Character count: 23847

Analisis Pengaruh Luas Penampang Kawat Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Generator Sinkron Magnet Permanen 18 Slot 16 Pole

1

Irfan Delafena

Sultan Syarif Kasim State Islamic University Riau,
HR. Soebrantas Street Num. 155 Simpang Baru,
Panam, Pekanbaru, 28293
11750515194@students.uin-suska.ac.id

1

Liliana

Sultan Syarif Kasim State Islamic University Riau,
HR. Soebrantas Street Num. 155 Simpang Baru,
Panam, Pekanbaru, 28293
liliana@uin-suska.ac.id

Abstrak – Potensi energi terbarukan di Indonesia sangat besar dengan total 3.643,0 GW. Salah satunya adalah energi angin, potensi energi angin sangat besar yaitu 154,9 GW sangat sia-sia jika tidak dioptimalkan sebaik mungkin. Kendala terbesar pemanfaatan potensi angin adalah kecepatan angin yang rendah dibagian daerah di Indonesia. Maka dibutuhkan sistem pembangkit yang efektif agar menghasilkan keluaran yang efisien. *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* sangat cocok digunakan pada daerah potensi angin kecepatan rendah karena dengan rotasi rendah dapat menghasilkan efisiensi yang baik. Nilai keluaran dari *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* saat ini masih rendah dan masih bisa ditingkatkan untuk itu penelitian ini akan menganalisa pengaruh luas penampang kawat lilitan pada stator terhadap efisiensi *Generator Magnet Permanen 18 slot 16 pole* dengan kecepatan putar berdasarkan kecepatan angin di Indonesia. Variasi yang dilakukan pada luas penampang kawat lilitan 0,6 mm²-3,6 mm² dan kecepatan putar 500 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm. Dengan menggunakan software *MagNet 2D* berbasis *Finite Element Method (FEM)* untuk mendapatkan nilai keluaran berupa tegangan, arus dan torsi. Untuk nilai efisiensi data diolah kembali menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil pada penelitian ini memperlihatkan nilai Efisiensi meningkat. Efisiensi terbaik yang dihasilkan ketika kecepatan putar 500 rpm adalah 97,04% pada luas penampang kawat lilitan 2,6 mm², untuk kecepatan putar 750 rpm efisiensi mencapai 97,24% pada luas penampang kawat lilitan 2,4 mm² dan di kecepatan putar 1000 rpm efisiensi yang dihasilkan 97,16% pada luas penampang kawat lilitan 2,4 mm².

Kata kunci : Angin, Luas penampang, kecepatan putar, PMSG



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

I. INTRODUCTION

Energi Listrik sudah menjadi kebutuhan utama dalam usaha meningkatkan mutu kehidupan dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Untuk mencukupi kebutuhan terhadap energi listrik, Indonesia terus berupaya memenuhi kebutuhan dengan memanfaatkan potensi yang tersedia.

Berdasarkan statistik PLN 2021 kapasitas energi listrik yang terpasang di Indonesia adalah 64.553,04 MW dan 51,85% masih berasal dari energi konvensional[1]. Untuk menekan ketergantungan Indonesia terhadap energi dari fosil, Kementerian Energi dan Sumber daya mineral (ESDM) menargetkan pada tahun 2023 megaproyek 35000 MW segera rampung dengan memanfaatkan energi baru dan terbarukan (EBT) sebagai pilar utama. Kebijakan tersebut juga didukung oleh Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan, mengamanatkan bahwa pelaksanaan percepatan infrastruktur ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT)[2].

Ketersediaan energi fosil semakin berkurang dan pengaplikasian dari energi fosil berdampak kepada meningkatnya emisi gas rumah kaca apabila terus dijadikan pilar utama dalam pembangkitan energi listrik. Pemerintah harus segera *Move on* dan beralih pada energi baru dan terbarukan (EBT)[3]. Peran energi terbarukan harus segera di optimalkan secara efektif agar kebutuhan energi listrik di Indonesia terpenuhi. Potensi energi terbarukan di Indonesia cukup besar dengan total 3.643,0 GW dan energi angin memiliki potensi terbesar no 2 dengan potensi sebesar 154,9 GW. Dengan Kapasitas pembangkit energi angin yang dioptimalkan oleh PT.Perusahaan Listrik Indonesia (PLN) dan pihak swasta hanya 0,2 GW atau 0,1% dari Potensi yang tersedia. Minimnya pemanfaatan potensi energi disebabkan oleh faktor ekonomis dan kecepatan angin yang menengah di sebagian daerah di Indonesia, maka diperlukan pengoptimalan dalam nilai keluaran dari pembangkitan energi angin[4].

Daerah dengan kecepatan angin rendah 3-4 m/s seperti Provinsi Aceh, Lampung, Jawa Barat dan provinsi dengan kecepatan menengah lainnya [5]. Potensi tersebut dinilai tidak ekonomis apabila dilakukan pembangunan sistem pembangkit. Padahal potensi tersebut juga bisa menghasilkan energi listrik dengan memaksimalkan kinerja dari turbin angin untuk merubah energi kinetik menjadi energi mekanik[4]. Kecepatan angin berbanding lurus

dengan kecepatan putaran[10]. Pada kecepatan angin 3 m/s dengan menggunakan jenis *blade resin epoksi + fiber glass+ co* 4412 dapat menghasilkan kecepatan putar 545.29 rpm. Pada kecepatan angin 4 m/s kecepatan putar 708.9 rpm dan pada kecepatan angin 5 m/s kecepatan putaran 928.94 rpm[7]. Selain *blade* generator juga merupakan komponen utama dalam proses pembangkitan.

Proses pembangkitan energi listrik tenaga angin sangat membutuhkan komponen yang efektif agar menghasilkan efisiensi yang tinggi. Generator sinkron dapat bekerja secara maksimal apabila nilai efisiensi mencapai 90%. Untuk itu diperlukan penelitian mengoptimalkan nilai efisiensi pada generator[8]. *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) sangat cocok digunakan karena dengan rotasi rendah dapat menghasilkan efisiensi yang baik untuk mengatasi daerah dengan kecepatan angin yang rendah di Indonesia[9]. Dibandingkan generator induksi, PMSG memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga sangat efektif digunakan pada turbin angin[10].

Perancangan PMSG telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan melakukan pengujian pada rotor dan stator untuk menghasilkan keluaran yang terbaik. Penelitian tersebut akan menjadi dasar dalam penelitian ini dilakukan[11]. Pada variasi *permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole* memiliki kelebihan tambahan berupa *cogging less* yang rendah, dimana ini sangat bermanfaat pada kecepatan angin yang rendah karena masih bisa menghasilkan listrik secara efisiensi[12]. Seperti yang dijelaskan pada penelitian PMSG mengenai variasi kecepatan putar pada generator dan desain fluks radial dengan variasi beban dimana variasi tersebut dapat menunjang nilai keluaran pada generator dan memberikan pengaruh terhadap nilai efisiensi generator[13].

Variasi pada PMSG sudah pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Pada penelitian tersebut efisiensi dipengaruhi oleh output generator tergantung pada fluks yang diberikan oleh magnet permanen sehingga menghasilkan tegangan induksi sebagai kinerja generator[14]. 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 disetiap variasi PMSG[15][16]. Penelitian PMSG 18 slot 16 pole telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya mengenai pengaruh ketebalan dan jenis inti besi dan pengaruh material magnet permanen terhadap karakteristik generator[17]. Untuk penelitian-penelitian selanjutnya mengenai PMSG 18 slot 16 pole dimana efisiensi dipengaruhi jumlah lilitan dan kecepatan putaran dengan efisiensi tertinggi pada nilai 80,9%[18].

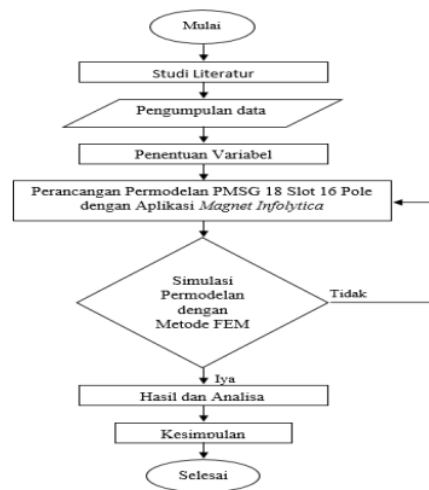
Peningkatan efisiensi di pengaruhi oleh daya input dan daya output pada generator, dimana daya output berbanding lurus dengan tegangan yang

dihasilkan oleh generator. Luas penampang berbanding lurus dengan diameter kawat lilitan dimana hal tersebut juga memiliki pengaruh terhadap tegangan yang 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[19]. 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[20]. Berdasarkan penjelasan di atas mengenai pengaruh turbin dan generator terhadap pembangkitan tenaga angin serta pengaruh luas penampang kawat lilitan pada nilai keluaran generator, maka penelitian kali ini akan menganalisa pengaruh luas penampang kawat lilitan terhadap efisiensi pada Generator Sinkron Magnet Permanen 18 Slot 16 Pole dengan bantuan aplikasi *MagNet Infolytica 7.5* menggunakan *Finite Element Method* (FEM) untuk beberapa kecepatan putar sesuai dengan kecepatan angin yang ada di Indonesia untuk memanfaatkan potensi angin.

II. METHODS

1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini akan menganalisa nilai keluaran generator sinkron magnet permanen setelah diberikan variasi luas penampang kawat lilitan stator dan kecepatan putaran menggunakan *Finite Element Method* (FEM) untuk mencapai efisiensi tertinggi. Langkah-langkah simulasi *permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole* terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap awal penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur dari penelitian terdahulu dan bahan bacaan dengan sumber yang tepercaya guna mengumpulkan data dan variable yang diperlukan untuk penelitian. Tahap selanjutnya menentukan variabel yang akan diteliti dengan berdasarkan pada kajian literatur dan data yang telah diperoleh. Tahapan selanjutnya perancangan model PMSG 18 Slot dan 16 Pole dengan bantuan aplikasi MagNet Infolytica 7.5. variabel pada penelitian akan dilakukan variasi luas penampang kawat lilitan pada stator dengan nilai 0.6 mm²-3.6 mm². Pengujian akan dilakukan dengan Kecepatan putar 500 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm dan untuk kebutuhan pengujian dalam perancangan PMSG 18 Slot dan 16 Pole ditambahkan rangkaian pembebanan sebesar 10 Ω. Hasil dari perancangan simulasi dengan metode FEM yaitu solve transient 2d with motion. Data pada simulasi diteruskan ke Microsoft Excel untuk diolah secara manual. Tahap terakhir adalah menganalisa hasil yang telah diolah dan menyimpulkan hasil penelitian. Apabila simulasi tidak menemukan hasil terbaik akan diulangi kembali pada tahapan penentuan variabel sampai pada hasil terbaik.

2. Spesifikasi Permanent Magnet Synchronous Generator

Tabel 1. Spesifikasi Permanent Magnet Synchronous Generator

Elemen	Keterangan
Jumlah Slot	18 slot
Jumlah Pole	16 pole
Dimensi	220 mm x 220 mm x 80 mm
Bahan Inti Besi Stator dan Rotor	Carpenter : Silicon Steel
Bahan Magnet	PM 12: Br 1.2 mur 1.0
Bahan Lilitan	Copper: 5.77e7 Siemens/meter
Bahan Air Box dan Air Gap	Air
Tebal Magnet	9 mm
Jumlah Lilitan	30 Lilitan

3. Variasi Permanent Magnet Synchronous Generator

Variasi pada penelitian ini berdasarkan teori dibawah ini. Dimana, pengaruh luas penampang lilitan pada generator dapat meningkatkan tegangan induksi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan resistensi kawat yang mengakibatkan arus yang mengalir pada kawat lilitan.

a. Hambatan

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

R = Hambatan (Ω)
 ρ = Hambatan jenis kawat (Ωm)
 l = Panjang kawat (m)
 A = Luas penampang kawat (m²)

Berdasarkan Hukum Ohm nilai tegangan berbanding lurus dengan nilai hambatan. Dimana, semakin besar hambatan semakin besar tegangan.

$$V = I \cdot R \quad (2)$$

V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)
 R = Hambatan (Ω)

Luas penampang kawat lilitan dapat mempengaruhi tegangan induksi pada generator atau induksi. Saat lilitan kawat pada generator ditingkatkan, maka tegangan induksi yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini dapat dijelaskan oleh hukum Faraday dan prinsip dasar induksi elektromagnetik, semakin banyak lilitan kawat pada generator, semakin besar area yang terkena fluks magnetik, sehingga meningkatkan jumlah fluks magnetik yang melintasinya dan akhirnya meningkatkan tegangan induksinya.

b. Fluks Magnetik

$$\Phi = B \cdot A \cos\theta \quad (3)$$

Φ = Fluks Magnetik (Wb)
 B = Medan Magnet (Tesla)
 A = Luas permukaan kawat (m²)

c. Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

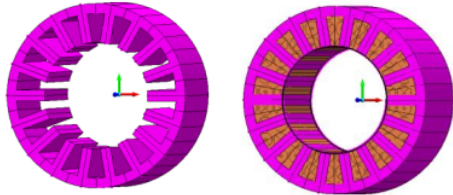
ε = GGL induksi (Volt)
 N = Jumlah Lilitan
 dΦ = Perubahan Fluks Magnet (Wb)
 dt = Perubahan Waktu (s)

Tabel 2. Variasi Permanent Magnet Synchronous Generator

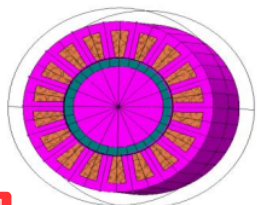
Luas penampang (mm ²)	Kecepatan Putar (rpm)		
	500	750	1000
0.6	500	750	1000
0.8	500	750	1000
1.0	500	750	1000
1.2	500	750	1000
1.4	500	750	1000
1.6	500	750	1000
1.8	500	750	1000
2.0	500	750	1000
2.2	500	750	1000
2.4	500	750	1000
2.6	500	750	1000
2.8	500	750	1000
3.0	500	750	1000
3.2	500	750	1000
3.4	500	750	1000
3.6	500	750	1000

4. Permodelan *Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot dan 16 Pole*

Penelitian diawali dengan merancang PMSG 18 Slot dan 16 Pole untuk memudahkan perancangan dan pemodelan maka akan dibantu oleh software MagNet Infolytica 7.5. MagNet Infolytica dirancang sebagai software permodelan dan perancangan 2 dimensi dan 3 dimensi untuk membantu dalam pemecahan masalah elektromagnetik. Komponen-Komponen yang bisa dirancang pada alat ini ialah komponen yang menggunakan belitan dan magnet permanen seperti motor, transformator, generator dan lain sebagainya[23].



Gambar 2. Stator bahan *Carpenter: Silicon Steel* dan lilitan *copper*



Gambar 3. *Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot dan 16 Pole*

Penelitian ini menggunakan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)*. FEM sendiri memiliki arti metode elemen hingga yang didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan masalah dalam persamaan differensial. Konsep dasar FEM menyelesaikan suatu masalah dengan membagi objek menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga (deskritisasi). Bagian kecil tersebutlah yang akan dianalisa dan digabungkan kembali untuk menyelesaikan objek yang diteliti[24]. FEM itu metode yang menggunakan teknik differensial parsial atau turunan sebagian. Teori differensial parsial yang digunakan pada metode ini adalah persamaan Maxwell.

Teori terkait mengenai karakteristik generator yang dihasilkan berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat dijelaskan pada teori-teori berikut.

a. Tegangan

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\lambda}{\Delta t} \quad (5)$$

ε = Tegangan Induksi (Volt)
 $\Delta\lambda$ = Perubahan Flux Linkage (Wb)
 Δt = Perubahan waktu (s)

b. Arus

$$I = \frac{V}{R} \quad (6)$$

I = Arus (A)

V = Tegangan (Volt)

R = Hambatan (Ω)

c. Torsi

$$\tau = F \cdot r \quad (7)$$

τ = Torsi (Nm)

F = Gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)

r = Jari-jari (m)

d. Daya Input

$$P_{in} = \frac{\tau \times n \times 2\pi}{60} \quad (8)$$

P_{in} = Daya Masuk (W)

τ = Torsi (Nm)

n = Kecepatan Putar (rpm)

e. Daya Output

$$P_{out} = I \cdot V \quad (9)$$

P_{out} = Daya Keluar (W)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

f. Efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya Keluar (W)

P_{in} = Daya Masuk (W)

III. RESULTS AND DISCUSSION

Hasil dari penelitian pada variasi luas penampang kawat dan Kecepatan putar dengan hambatan 10 Ω . Dari simulasi dengan bantuan aplikasi *MagNet Infolytica* peneliti mendapatkan karakteristik berupa tegangan, arus dan torsi. Namun, untuk nilai daya input, daya output dan efisiensi didapatkan dari hitungan manual pada *Microsoft Excel*.

1. Tegangan

Tabel 3. Hasil simulasi pada nilai tegangan

Luas Penampang (mm ²)	Tegangan (Volt)		
	500 rpm	750 rpm	1000 rpm
0.6	119.3934	175.1926	225.9628
0.8	123.4691	180.2795	233.274
1	126.0377	183.4025	236.4437
1.2	127.7766	185.5022	238.2656
1.4	129.0307	187.0028	239.4075
1.6	129.9737	188.1229	240.1418
1.8	130.7053	188.9868	240.6167
2	131.2871	189.67	241.1522
2.2	131.7589	190.2211	241.7055
2.4	132.1476	190.6729	242.1512
2.6	132.4721	190.6729	242.5068
2.8	132.7462	191.3632	242.7922
3	132.9797	191.6301	243.022
3.2	133.1803	191.8578	243.2069
3.4	133.3539	192.0534	243.3554
3.6	133.5049	192.2222	243.4738

Pada tabel diatas memperlihatkan nilai tegangan yang berbanding lurus dengan variasi pada luas penampang lilitan dan kecepatan putar. Hasil diatas membenarkan hukum faraday bahwa besarnya tegangan induksi yang dihasilkan berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik yang melintasi suatu daerah tertentu. Laju perubahan fluks magnetik pada generator dipengaruhi oleh kecepatan putar magnet pada rotor. Selain itu, luas penampang kawat lilitan juga dapat mempengaruhi resistansi kawat dan arus yang mengalir pada generator. Semakin besar luas penampang kawat lilitan, semakin besar pula resistansinya. Hal ini dapat mempengaruhi fluks magnet yang dihasilkan pada generator dan tentunya itu memberikan dampak perubahan pada besarnya tegangan induksi yang hasil generator.

2. Arus

Tabel 4. Hasil simulasi pada nilai arus

Luas Penampang (mm ²)	Arus (A)		
	500 rpm	750 rpm	1000 rpm
0.6	11.93934	17.51926	22.59628
0.8	12.34691	18.02795	23.3274
1	12.60377	18.34025	23.64437
1.2	12.77766	18.55022	23.82656
1.4	12.90307	18.70028	23.94075
1.6	12.99737	18.81229	24.01418
1.8	13.07053	18.89868	24.06167
2	13.12871	18.967	24.11522
2.2	13.17589	19.02211	24.17055
2.4	13.21476	19.06729	24.21512
2.6	13.24721	19.06729	24.25068
2.8	13.27462	19.13632	24.27922
3	13.29797	19.16301	24.3022
3.2	13.31803	19.18578	24.32069
3.4	13.33539	19.20534	24.33554
3.6	13.35049	19.22222	24.34738

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, tabel diatas menjelaskan pengaruh luas penampang kawat lilitan dan kecepatan putar terhadap nilai arus. Dimana luas penampang dan kecepatan putar berbanding lurus dengan nilai arus yang dihasilkan. Semakin besar variabel penelitian semakin besar juga nilai arus yang dihasilkan. Tentunya itu menunjang teori hukum faraday dimana luas penampang kawat lilitan memberikan pengaruh terhadap tegangan induksi yang dihasilkan. Begitu juga pada kecepatan putar jika kecepatan putar semakin cepat memberikan kenaikan pada tegangan induksi yang dihasilkan generator dimana hal tersebut memberikan pengaruh pada nilai arus dari keluaran pada generator.

3. Torsi

Tabel 5. Hasil simulasi pada nilai torsi

Luas Penampang (mm ²)	Torsi (Nm)		
	500 rpm	750 rpm	1000 rpm
0.6	-31.196	-44.063	-55.2447
0.8	-32.3841	-45.4464	-57.006
1	-33.1744	-46.3572	-57.6883
1.2	-33.7211	-47.017	-58.0866
1.4	-34.142	-47.5267	-58.354
1.6	-34.4806	-47.9387	-58.5448
1.8	-34.7622	-48.2832	-58.6875
2	-35.0023	-48.5788	-58.8888
2.2	-35.2114	-48.8377	-59.1216
2.4	-35.3964	-49.0681	-59.3302
2.6	-35.5624	-49.0681	-59.5166
2.8	-35.7129	-49.4654	-59.6849
3	-35.8508	-49.6397	-59.8386
3.2	-35.9782	-49.8014	-59.98
3.4	-36.0966	-49.9523	-60.111
3.6	-36.2074	-50.094	-60.2331

Berdasarkan tabel diatas menjelaskan nilai torsi pada yang meningkat setiap variasi luas penampang kawat lilitan dan kecepatan putar. Nilai torsi memang sangat berpengaruh pada luas penampang kawat lilitan. Karena luas penampang kawat berfungsi sebagai konduktor dimana semakin besar luas penampang lilitan semakin tinggi nilai torsi yang dibutuhkan. Torsi pada generator berfungsi untuk memutar poros pada generator. Berdasarkan hal tersebut torsi pada generator memiliki nilai negatif dikarenakan digunakan untuk memutar sedangkan pada motor bernilai positif karena tenaga yang dihasilkan untuk memutar torsi.

4. Daya Input

Tabel 6. Hasil simulasi pada nilai daya input

Luas Penampang (mm ²)	Daya Input (Watt)		
	500 rpm	750 rpm	1000 rpm
0.6	1633.42	3460.7	5785.216
0.8	1695.627	3569.352	5969.656
1	1737.009	3640.884	6041.101
1.2	1765.632	3692.707	6082.811
1.4	1787.67	3732.736	6110.821
1.6	1805.401	3765.096	6130.796
1.8	1820.143	3792.154	6145.739
2	1832.718	3815.372	6166.82
2.2	1843.664	3835.703	6191.201
2.4	1853.351	3853.798	6213.046
2.6	1862.04	3853.798	6232.56
2.8	1869.924	3885	6250.193
3	1877.145	3898.693	6266.284
3.2	1883.814	3911.392	6281.088
3.4	1890.015	3923.247	6294.804
3.6	1895.816	3934.377	6307.591

Tabel diatas menampilkan daya input pada generator. Pada teori terkait telah dijelaskan daya input dipengaruhi oleh torsi dan kecepatan putar. Nilai daya input mengalami peningkatan disetiap variasi luas penampang lilitan karena nilai torsi yang meningkat dan kecepatan putar yang digunakan pada generator. Karena pengaruh dua variabel tersebut menghasilkan nilai daya input yang signifikan.

5. Daya Output

Tabel 7. Hasil simulasi pada nilai daya output

Luas Penampang (mm ²)	Daya Output (Watt)		
	500 rpm	750 rpm	1000 rpm
0.6	1469.772	3157.958	5275.43
0.8	1571.618	3345.404	5621.742
1	1637.481	3463.451	5769.533
1.2	1682.674	3544.13	5854.227
1.4	1715.593	3602.451	5907.25
1.6	1740.51	3646.359	5941.215
1.8	1759.931	3680.445	5963.037
2	1775.421	3707.544	5988.49
2.2	1788.007	3729.502	6015.18
2.4	1798.388	3747.568	6036.674
2.6	1807.06	3747.568	6053.791
2.8	1814.382	3775.294	6067.488
3	1820.618	3786.057	6078.469
3.2	1825.97	3795.264	6087.263
3.4	1830.594	3803.188	6094.273
3.6	1834.611	3810.042	6099.814

Nilai daya output pada tabel diatas mengalami peningkatan pada setiap variasi luas penampang kawat lilitan dan kecepatan putar. Peningkatan nilai daya output dipengaruhi oleh nilai tegangan dan arus yang dihasilkan pada induksi magnet dimana nilai tersebut meningkat dari variasi luas penampang dan kecepatan putar. karena pengaruh dua faktor tersebut tentunya itu akan memberikan dampak terhadap daya output dari generator. Seperti yang dijelaskan pada teori terkait mengenai hukum faraday.

6. Efisiensi

Tabel 8. Hasil simulasi pada nilai efisiensi

Luas Penampang (mm ²)	Tegangan		
	500 rpm	750 rpm	1000 rpm
0.6	89.98	91.25	91.18
0.8	92.68	93.72	94.17
1	94.27	95.12	95.5
1.2	95.3	95.97	96.24
1.4	95.97	96.5	96.66
1.6	96.4	96.84	96.9
1.8	96.67	97.05	97.02

2	96.87	97.17	97.1
2.2	96.98	97.23	97.15
2.4	97.03	97.24	97.16
2.6	97.04	97.24	97.13
2.8	97.02	97.17	97.07
3	96.98	97.11	97.01
3.2	96.92	97.03	96.91
3.4	96.85	96.93	96.81
3.6	96.77	96.83	96.7

Berdasarkan grafik diatas menampilkan nilai efisiensi generator dari variasi luas penampang kawat lilitan dan kecepatan putar pada generator. Efisiensi dipengaruhi oleh daya input dan daya output, untuk memperoleh nilai dari efisiensi daya output akan dibagi dengan daya input dan dikalikan 100%. Untuk nilai efisiensi sendiri mencapai nilai tertinggi pada luas penampang berbeda disetiap kecepatan putar. Penyebabnya tentunya dari nilai daya output dan input dari setiap variasi luas penampang yang dipengaruhi oleh arus, tegangan dan torsi yang dihasilkan generator.

IV. CONCLUSION

Setelah melakukan simulasi dan percobaan berbasis *finite element method* (FEM) pada *permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole* dengan variasi luas penampang kawat lilitan dan kecepatan putaran berdasarkan kecepatan angin menengah dan rendah di Indonesia, maka didapatkan hasil nilai efisien pada kecepatan putar 500 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm pada PMSG 18 slot dan 16 pole. Pada kecepatan putar 500 rpm nilai efisien tertinggi terdapat pada luas penampang kawat lilitan 2.6 mm² dengan nilai efisiensi mencapai 97.04 %. Pada kecepatan putar 750 rpm nilai efisiensi terdapat pada luas penampang kawat lilitan 2.4 mm² dengan nilai efisiensi mencapai 97.24 % dan pada kecepatan 1000 rpm nilai efisien tertinggi terdapat pada luas penampang kawat lilitan 2.4 mm² dengan nilai efisiensi mencapai 97.16 %. Maka kesimpulannya kecepatan angin rendah dan menengah di Indonesia juga dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi dengan bantuan turbin dan generator yang efektif.

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] PLN(PERSERO), "STATISTIK PLN 2021," vol. 21, no. 1, pp. 1-9, 2020, [Online]. Available: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>.

[2] Suharyati *et al.*, "Energi Outlook Indonesia 2022," vol. 22, no. January, p. 2022, 2021.

[3] 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.

[4] "Potensi Energi Angin Indonesia 2020," *p3tkabt.esdm.go.id*, 2021. https://p3tkabt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020 (accessed Mar. 20, 2023).

- [5] B. P. STATISTIK, "Kecepatan Angin dan Kelembaban di Stasiun Pengamatan BMKG, 2011-2015," *13* *bps.go.id*, 2017. <https://www.bps.go.id/statictable/2017/02/08/1960/kecepatan-angin-dan-kelembaban-di-stasiun-pengamatan-bmkg-2011-2015.html> (accessed Apr. 03, 2023).
- [6] 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.
- [7] Sulaiman and A. Gunawan, "PENGUJIAN TURBIN ANGIN DENGAN VARIASI KECEPATAN ANGIN, PUTARAN MOTOR DAN PUTARAN GENERATOR DENGAN MENGGUNAKAN TEROWONGAN ANGIN JENIS HORIZONTAL 3 BLADE," vol. 1, no. 1, pp. 38–44, 2023.
- [8] D. A. Fauzi, "ANALISA EFISIENSI GENERATOR PLTU PULANG PISAU PADA SAAT PEMBEBANAN Dany," 2019.
- [9] M. A. Irawan, "Perancangan Generator Dengan Variasi Slot, Pole, Dan Lilitan Menggunakan Software Magnet," pp. 0–8, 2019.
- [10] Me. O. Suhada and I. Yasri, "Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah Meggi Octa Suhada1), Indra Yasri2) Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1 , 2) Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1 , Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bin," *Jom FTEKNIK*, vol. 5, pp. 1–7, 2018.
- [11] B. Galang Satya, "Desain Mini Generator Magnet Permanen," p. 23, 2018, [Online]. Available: <http://repository.uin-suska.ac.id/15845/>.
- [12] 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.
- [13] 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. 11–16, 2022, [Online]. Available: <https://dielektrika.unram.ac.id>.
- [14] Agus Nur Hidayat, Suyitno, and Daryanto, "Pengaruh Jumlah Lilitan Kumputan Stator Terhadap Kinerja Generator Magnte Permanen Fluks Aksial Satu Fasa," *J. Electr. Vocat. Educ. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 28–31, 2020, doi: 10.21009/jevvet.0022.06.
- [15] F. Fikasari, "ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN DIMENSI MAGNET PADA MODEL PMSG (PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR) 12 SLOT8 POLE," Surakarta, 2021.
- [16] 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.
- [17] T. D. Putri and L. Liliانا, "Analisis Pengaruh Material Magnet Permanent Terhadap Karakteristik Generator Sinkron Radial 18 Slot 16 Pole," *Power Elektron. J. Orang Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 45–50, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerelektron/article/view/3279>.
- [18] T. P. Zaputra and N. Gusnita, "Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 411, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.117875.
- [19] C. H. Cangara, "PENGARUH VARIASI DIAMETER KAWAT KUMPARAN GENERATOR LINIER TERHADAP PERFORMA GENERATOR LINIER Chalky Hianx Cangara Aris Ansori Abstrak," *J. Tek. MESIN*, vol. 10, no. 1, 2022.
- [20] P. LESTANTYO, "PENGARUH DIAMETER KAWAT DAN JUMLAH LILITAN SPULL ALTERNATOR TERHADAP ARUS DAN TEGANGAN YANG DIHASILKAN," 2017.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [11] M. R. H. Indrawan Arifianto, "Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7.5 Indrawan Arifianto, Muhamad Rangga HS," *Semin. Nas. Microw.*, pp. 43–48, 2018, [Online]. Available: https://repository.unpak.ac.id/tukan_gna/repo/file/files-20190204010207.pdf.
- [23] I. Adiwiyata, "Analysis Finite Element Method (Fem) for Friction Stir Welding," 2017.

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

12%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | repository.uin-suska.ac.id
Internet Source | 5% |
| 2 | Thopan Maidia Ananda, Novi Gusnita. "Analisis Perbandingan Pengaruh Material Inti Besi Stator dan Rotor Terhadap Efisiensi pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 18 Pole", JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI, 2023
Publication | 2% |
| 3 | Submitted to Universitas Khairun
Student Paper | 2% |
| 4 | media.neliti.com
Internet Source | 1% |
| 5 | Achmad Sangidzun, Danar Susilo Wijayanto, Herman Saputro, Soenarto, Mochammad Bruri Triyono. "Performance Test of Winglet Horizontal Shaft Wind Turbine Against Cut In Speed", Journal of Physics: Conference Series, 2021
Publication | 1% |
-

6	ejournal.poltektegal.ac.id Internet Source	1 %
7	jurnalmahasiswa.unesa.ac.id Internet Source	1 %
8	repository.pnj.ac.id Internet Source	1 %
9	Submitted to UIN Sultan Syarif Kasim Riau Student Paper	1 %
10	jtv.itp.ac.id Internet Source	1 %
11	repositori.uma.ac.id Internet Source	1 %
12	123dok.com Internet Source	1 %
13	scholar.unand.ac.id Internet Source	1 %
14	journal.peradaban.ac.id Internet Source	1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On