

## **Analisis Pengaruh Lebar Magnet Neodymium Pada Kinerja *Permanent Magnet Synchronous Generator (Pmsg)* 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet Infolytica**

Muhammad Afdhal Izzati<sup>(1)\*</sup>, Refdinal Nazir<sup>(2)</sup>, Anna Cyntia Pahsa De Yudanur<sup>(3)</sup>,  
Maulana Naseem Hamed<sup>(4)</sup>

Fakultas Teknik Universitas Andalas,  
Jl. Dr. Mohammad Hatta, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat  
25175, Indonesia

Email: [1afdhalizzati04@gmail.com](mailto:1afdhalizzati04@gmail.com)

---

### **Tersedia Online di**

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

---

### **Sejarah Artikel**

Diterima 10 Desember 2025  
Direvisi 22 Desember 2025  
Disetujui 20 Januari 2026  
Dipublikasikan 25 Mei 2026

---

### **Keywords:**

Magnet width variation,  
Electromagnetic performance,  
Energy conversion efficiency

---

---

### **Kata Kunci:**

Permanen Magnet Synchronous Generator, Efisiensi, Finite Element Method, Material Magnet Permanen

---

### **Corresponding Author:**

Name:  
Muhammad Afdhal Izzati  
Email:  
[afdhalizzati04@gmail.com](mailto:afdhalizzati04@gmail.com)

---

**Abstract:** *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) with 12 slots 8 poles, using Magnet Infolytica software. The main focus of the research is to evaluate the impact of changes in the width of the permanent magnet (32 mm to 52 mm) on electromagnetic characteristics, such as current, voltage, torque, input power, output power, and energy conversion efficiency. Simulations were carried out at a rotational speed of 750 rpm with a resistive load of 70 Ohm. The results showed that increasing the width of the permanent magnet had a positive impact on the performance of the PMSG, the best generator at a variation of the magnet width of 44 mm which had an efficiency of 88.6% with a current of 8.9 A, a voltage of 565.97 V, a torque of -66.08 N/m, an input power of 5189.79 Watts, and finally an output power of 4598.67 Watts. These findings are expected to be a reference in designing an optimal PMSG for small to medium-scale renewable energy power generation applications, especially in Wind Power Generation (PLTB) systems.*

**Abstrak:** *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) dengan 12 slot 8 pole menggunakan perangkat software Magnet Infolytica. Fokus utama penelitian adalah mengevaluasi dampak perubahan lebar magnet permanen (32 mm hingga 52 mm) terhadap karakteristik elektromagnetik, seperti arus, tegangan, torsi, daya input, daya output, dan efisiensi konversi energi. Simulasi dilakukan pada kecepatan rotasi 750 rpm dengan beban resistif sebesar 70 ohm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan lebar magnet permanen memberikan dampak positif terhadap performa PMSG. Generator terbaik pada variasi lebar magnet 44 mm yang memiliki efisiensi 88,6 % dengan arus sebesar 8,9 A, tegangan sebesar 565,97 V, torsi sebesar -66,08 N/m, daya input sebesar 5189,79 watt, dan terakhir daya output sebesar 4598,67 watt. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan*

*dalam perancangan PMSG yang optimal untuk aplikasi pembangkit listrik energi terbarukan skala kecil hingga menengah, khususnya pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).*

## **PENDAHULUAN**

Permintaan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Menurut proyeksi, tingkat konsumsi energi akan meningkat rata-rata sebesar 5,9% per tahun hingga tahun 2050. Kondisi ini menuntut

tersedianya sumber energi yang andal, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Selama ini, energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara masih menjadi sumber utama penyediaan energi. Namun, keterbatasan cadangan serta dampak negatif terhadap lingkungan mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan dan bersih (Hilmawan et al., 2020).

Salah satu solusi strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil adalah dengan memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT), seperti energi hidro, surya, dan angin. Di antara sumber-sumber EBT tersebut, energi angin memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia, khususnya di daerah pesisir dan perbukitan, meskipun pemanfaatannya hingga saat ini masih tergolong rendah (Damanik et al., 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu metode konversi energi angin menjadi energi listrik yang menjanjikan. PLTB bekerja dengan memanfaatkan turbin angin yang menggerakkan rotor generator, sehingga terjadi proses induksi elektromagnetik untuk menghasilkan energi listrik. Dalam sistem ini, jenis generator yang digunakan memegang peranan penting dalam menentukan efisiensi dan keandalan pembangkitan (Setiabudy & Sudiby, 2016).

Generator konvensional umumnya memerlukan arus eksitasi tambahan dan bekerja optimal pada kecepatan tinggi, sehingga kurang efisien untuk skala kecil dan lokasi terpencil yang tidak memiliki akses ke sumber energi eksternal (Maghfira et al., 2020). Sebagai alternatif, Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) menjadi solusi yang semakin populer karena menggunakan magnet permanen untuk membentuk medan magnet, sehingga tidak memerlukan arus eksitasi tambahan. Selain efisiensi tinggi, PMSG juga memiliki desain yang lebih sederhana dan lebih andal untuk aplikasi energi terbarukan berskala menengah hingga kecil (Putri & Liliana, 2022), (Herlina et al., 2017).

Beberapa penelitian sebelumnya telah membandingkan berbagai konfigurasi desain PMSG, seperti konfigurasi 12 slot 16 pole dan 24 slot 16 pole. Hasil studi menunjukkan bahwa konfigurasi 24 slot 16 pole mampu menghasilkan daya hingga 3919 Watt dengan efisiensi 86%, sementara konfigurasi 12 slot 16 pole hanya menghasilkan daya sebesar 1245,29 Watt dengan efisiensi 76%. Di sisi lain, konfigurasi 12 slot 8 pole juga telah dianalisis melalui simulasi dan menunjukkan tegangan maksimum sebesar 361,8 Volt pada kecepatan 2000 rpm, dengan efisiensi antara 83% hingga 89% (Andika & Aini, 2023).

Salah satu alasan utama mengkaji konfigurasi 12 slot 8 pole adalah karena jumlah slot dan pole memiliki pengaruh besar terhadap distribusi fluks magnet yang terbentuk. Lebar gigi stator berperan penting dalam menentukan aliran fluks pada inti besi (Yu et al., 2022), sehingga berdampak langsung pada kinerja elektromagnetik generator. Namun demikian, berdasarkan telaah terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, kajian yang secara khusus membahas pengaruh variasi lebar magnet permanen terhadap karakteristik elektromagnetik PMSG masih sangat terbatas, bahkan belum dikaji secara eksplisit. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada variasi jumlah slot-pole, jenis material magnet, serta pengaruh kecepatan dan beban, tanpa menginvestigasi secara mendalam dimensi geometris magnet permanen sebagai parameter desain utama.

Padahal, sifat material magnet seperti kerapatan fluks magnetik ( $B$ ) dan permeabilitas relatif ( $\mu_r$ ), yang sangat dipengaruhi oleh dimensi magnet, berperan penting dalam menentukan intensitas medan magnet serta nilai back-electromotive force (back-EMF) yang dihasilkan (Wahyu et al., 2023). Ketiadaan pembahasan kuantitatif mengenai pengaruh lebar magnet permanen inilah yang menjadi research gap utama dalam penelitian ini. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan dimensi magnet menjadi faktor krusial dalam upaya mengoptimalkan efisiensi, ukuran, dan daya keluaran dari PMSG.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi lebar magnet permanen terhadap kinerja PMSG dengan konfigurasi 12 slot 8 pole. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Magnet Infolytica dengan material magnet Neodymium Iron Boron. Beban ditetapkan sebesar 70 Ohm, dan variasi lebar magnet dianalisis pada kecepatan rotasi 750 rpm. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada analisis sistematis dan kuantitatif

pengaruh lebar magnet permanen terhadap distribusi fluks magnet dan kinerja elektromagnetik PMSG, yang belum dibahas secara spesifik pada penelitian sebelumnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penentuan dimensi magnet permanen yang optimal untuk mendukung pengembangan sistem PLTB skala menengah dan kecil yang lebih efisien dan andal.

## METODE

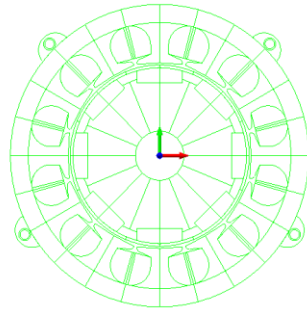
Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis Finite Element Method (FEM) dengan bantuan perangkat lunak Magnet Infolytica untuk menganalisis pengaruh variasi lebar magnet permanen terhadap kinerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) dengan konfigurasi 12 slot 8 pole. Penelitian ini bersifat kuantitatif-deskriptif dengan fokus pada evaluasi parameter elektromagnetik yang meliputi arus, tegangan, torsi, daya input, daya output, serta efisiensi konversi energi. Variabel utama yang divariasikan adalah lebar magnet permanen, yaitu 32 mm, 36 mm, 40 mm, 44 mm, 48 mm, dan 52 mm. Sementara itu, parameter tetap pada simulasi meliputi kecepatan rotasi rotor sebesar 750 rpm, jenis material magnet permanen Neodymium Iron Boron (NdFeB), dan beban resistif sebesar 70  $\Omega$ .

Table 1. Spesifikasi PMSG 12 Slot 8 Pole

Nama	Deskripsi	Keterangan
Slot	12	Slot
Pole	8	Pole
Massa Benda	19	Kg
Diameter PMSG	160	mm
Ketebalan PMSG	100	mm
Diameter Stator	62	mm
Diameter Rotor	98	mm
Diameter Shaft	26	mm
Dimensi Sleeve	1.5	mm
AirGap	1	mm
Lebar Permanent Magnet	32,36,40,44,48,52	mm
Ketebalan Permanent Magnet	10	mm
Coil	92/2.00	Lilitan/mm
Material Stator	M27 USS	
Material Rotor	M27 USS	
Material Permanent Magnet	Neodymium	
Material Coil	Copper	

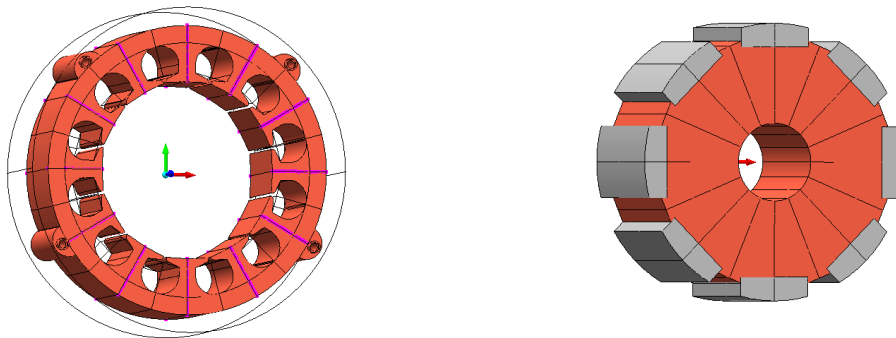
## Perancangan PMSG 12 Slot 8 Pole

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) banyak digunakan pada sistem pembangkit energi terbarukan karena efisiensinya tinggi, andal, dan memiliki struktur sederhana. Pada penelitian ini, PMSG dirancang dengan 12 slot stator dan 8 kutub rotor menggunakan perangkat lunak Infolytica MagNet untuk mensimulasikan fenomena elektromagnetik dua dan tiga dimensi. Magnet permanen divariasikan dalam enam ukuran lebar (32–52 mm) guna menganalisis pengaruhnya terhadap kepadatan fluks magnetik, gaya gerak listrik balik (back EMF), dan efisiensi energi. Desain mencakup pengaturan geometri rotor-stator, jumlah lilitan, serta parameter material, dengan simulasi dilakukan pada kecepatan 750 rpm dan beban resistif 70  $\Omega$  untuk memvalidasi kinerja dan efisiensi sistem (Mucharom et al., 2023) (M. Kurniawan et al., n.d.)



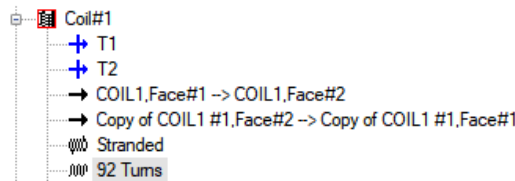
Gambar 1. Perancangan Awal Permanent Magnet Synchronous Generator 12 Slot 8 Pole

Pada tahap ini dilakukan pemodelan komponen utama Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), meliputi stator, rotor, dan magnet permanen dengan material yang disesuaikan terhadap karakteristik elektromagnetik dan mekanis sistem. Stator dan rotor menggunakan material M27: USS Motor – 26 Gage, yaitu baja silikon dengan sifat magnetik baik dan rugi histeresis rendah, sehingga mampu menyalurkan fluks magnetik secara efisien (Albarohin & Latifa, 2021). Magnet permanen dirancang dengan spesifikasi  $B_r = 1,2 \text{ T}$  dan  $\mu_r = 1,0$  untuk menghasilkan gaya tarik dan gaya gerak listrik (EMF) tinggi. Untuk menganalisis pengaruh dimensi magnet terhadap daya keluaran dan efisiensi sistem, digunakan enam variasi lebar magnet, yaitu 32 mm, 36 mm, 40 mm, 44 mm, 48 mm, dan 52 mm.



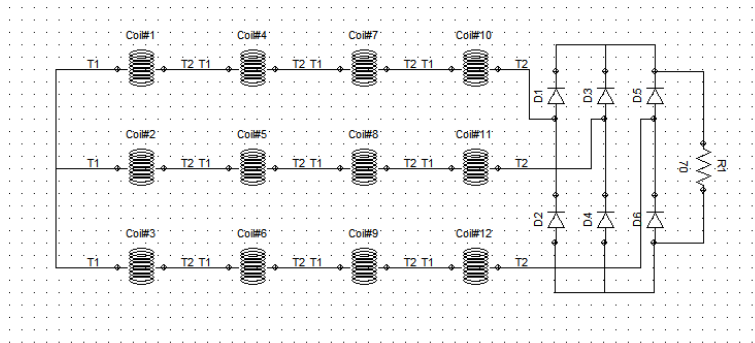
(a) Desain Stator PMSG 12 Slot 8 Pole (b) Desain Rotor & Magnet PMSG 12 Slot 8 Pole  
Gambar 2. PMSG 12 Slot 8 Pole

Stator pada Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) berfungsi menangkap fluks magnetik dari rotasi rotor yang dilengkapi dengan magnet permanen, menjadi pembeda utama dari generator sinkron konvensional (Dambrauskas et al., 2020) (Rangga Hadisiswoyo et al., 2018). Penelitian ini menggunakan konfigurasi 12 slot dan 8 kutub dengan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB) tipe 48/11 ( $B_r = 1,2 \text{ T}$ ,  $\mu_r = 1,0$ ) serta material stator M27: USS Motor – 26 Gage yang memiliki konduktivitas magnetik tinggi dan rugi histeresis rendah (Damanik et al., 2021). Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi lebar dan jenis material magnet terhadap efisiensi dan performa PMSG, dengan penentuan jumlah lilitan dan beban dilakukan untuk mendukung proses simulasi serta evaluasi kinerja sistem (M. W. Kurniawan et al., 2019).



Gambar 3. Jumlah Lilitan

Gambar 3 menunjukkan proses penentuan jumlah lilitan pada setiap coil PMSG yang dibuat sebanyak 92 lilitan, kemudian dilanjutkan dengan tahap penentuan beban sebesar 70 Ohm seperti yang terlihat pada Gambar 4 (Sumawang & Pramono, 2022).



Gambar 4. Rangkaian Pembebanan Permanent Magnet Synchronous Generator 12 slot 8 Pole

Gambar 4 Konfigurasi sistem terdiri dari 12 kumparan stator PMSG dengan 12 slot yang dihubungkan ke tiga jalur fasa simetris. Kumparan disusun paralel-seri untuk menghasilkan tegangan seimbang dari medan magnet rotor (Umami et al., 2018) (Guo et al., 2020). Ketiga fasa dihubungkan ke penyearah jembatan tiga fasa dengan enam dioda untuk mengubah tegangan AC menjadi DC. Beban resistif DC digunakan sebagai simulasi pembebanan guna menganalisis efisiensi konversi daya, kestabilan tegangan, dan kinerja keseluruhan PMSG (Wahyu et al., 2023) (J et al., 2018).

### Pengambilan Data Simulasi

Setelah perancangan PMSG selesai, dilakukan simulasi pada kecepatan 750 rpm dengan beban 70 Ohm untuk memperoleh data keluaran. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi Lebar magnet permanen terhadap karakteristik PMSG 12S8P. berikut adalah persamaan terkait variasi yang digunakan pada penelitian ini:

1. Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi

$$\varepsilon = -N \left( \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right) \quad (3.1)$$

Keterangan:

- $\varepsilon$  : GGL induksi (Volt)
- $N$  : Jumlah lilitan
- $\Delta \Phi$  : Perubahan fluks magnet (Wb)
- $\Delta t$  : Selang Waktu (s)

2. Flux Lingkage

$$\lambda = N \cdot \Phi \quad (3.2)$$

Keterangan:

- $\lambda$  : Tautan fluks (Wb)
- $N$  : Jumlah lilitan
- $\Phi$  : Fluks magnet (Wb)

3. Rumus kerapatan Flux Magnet

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (3.3)$$

Keterangan:

- $B$  : Kerapatan Fluks Magnetik (Tesla, T)
- $\Phi$  : Fluks magnetic total (weber)
- $A$  : Luas penampang tempat fluks mengalir ( $m^2$ )

$$w_m = \frac{C}{2p} \quad \text{dengan} \quad C = \pi \cdot D \quad (3.4)$$

Keterangan:

- $C$  : Keliling rotor (m)
- $D$  : Diameter rotor (m)
- $p$  : Jumlah pole (untuk 8 pole,  $p = 4$ )

Rumus Luas Penampang Magnet ( $A_m$ )

$$A_m = w_m \cdot h_m \quad (3.5)$$

$A_m$  : Luas penampang magnet( $m^2$ )

$w_m$  : Lebar magnet (arah keliling/permukaan rotor)

$h_m$  : ketebalan Magnet

Jika diketahui sifat magnet permanennya:

$$\Phi = B_r \cdot A_m \quad (3.6)$$

$B_r$  : Induksi magnet permanen (T)

$A_m$  : Luas penampang magnet( $m^2$ )

4. Arus

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.7)$$

Keterangan:

$I$  : Arus (A)

$V$  : Tegangan (V)

$R$  : Beban ( $\Omega$ )

5. Torsi

$$\tau = F \cdot r \quad (3.8)$$

Keterangan:

$\tau$  : Torsi (Nm)

$F$  : Gaya sentrifugal dari benda yang berputar (N)

$r$  : Jari-jari (m)

6. Daya Genetor

$$P_{out} = I \times V \quad (3.9)$$

Keterangan:

$P_{out}$  : Daya keluar (Watt)

$I$  : Arus (A)

$V$  : Tegangan (V)

$$P_{in} = T \times Rpm \times \frac{2\pi}{60} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$P_{in}$  : Daya masuk (Watt)

$T$  : Torsi (Nm)

$Rpm$  : Kecepatan (Rpm)

$\Pi$  : 3,14

7. Efisiensi

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.11)$$

Keterangan:

$P_{out}$  : Daya keluaran

$P_{in}$  : Daya masukan

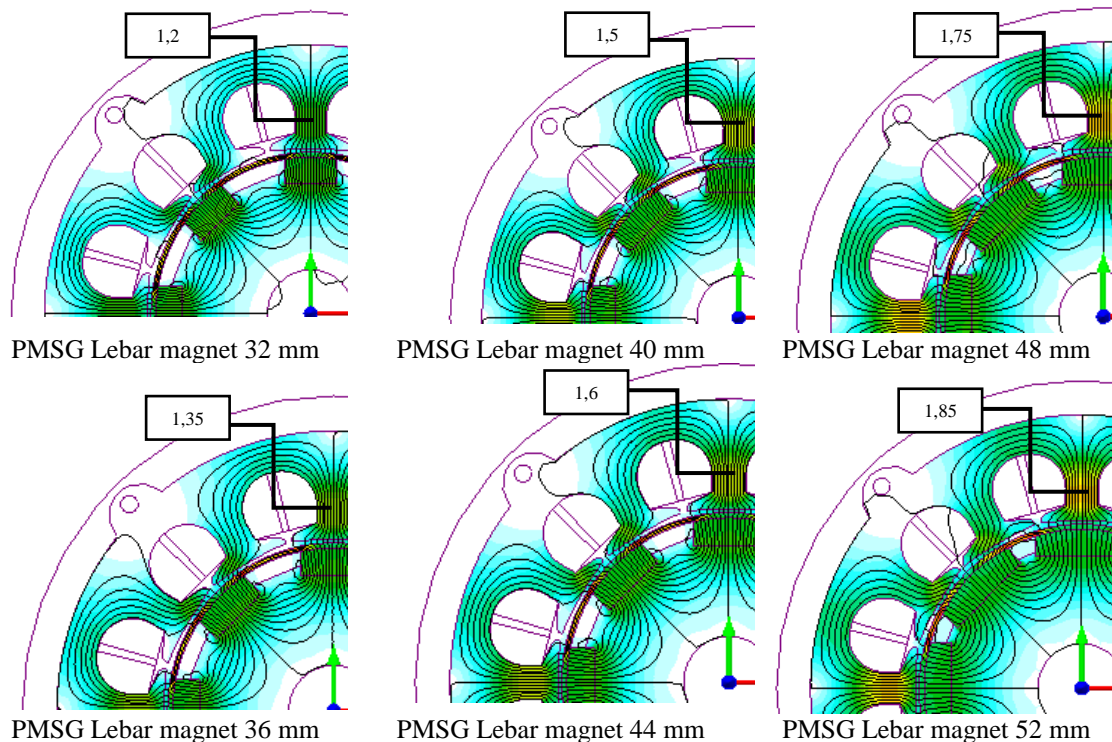
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menyimulasikan secara eksperimental pengaruh variasi Lebar magnet sebesar 32 millimeter, 36 millimeter, 40 millimeter, 44 millimeter, 48 millimeter dan 52 millimeter dengan jumlah lilitan sebanyak 92 lilitan pada konfigurasi Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 12 slot 8 kutub. Simulasi dilakukan dengan beban resistif sebesar 70 ohm dan variasi kecepatan putar sebesar 750 rpm. Hasil simulasi menghasilkan parameter keluaran berupa tegangan, arus, dan torsi. Sementara itu, parameter karakteristik

lainnya seperti daya input, daya output, dan efisiensi dihitung secara manual menggunakan persamaan yang relevan dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel.

### Perbandingan Kerapatan Fluks Magnet

Untuk memperjelas hasil simulasi yang telah dilakukan, pada bagian ini disajikan tabel ringkasan perbandingan kerapatan fluks magnet dengan variasi lebar magnet 32 mm, 36 mm, 40 mm, 44 mm, 48 mm, dan 52 mm. Tabel 4.1 tersebut memuat nilai kerapatan fluks pada beberapa titik kritis PMSG 12 slot 8 pole, meliputi celah udara (air-gap), gigi stator, dan yoke stator/rotor, serta kondisi fisis yang teramati pada setiap variasi. Penyajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai perubahan distribusi fluks magnet akibat perbedaan lebar magnet yang digunakan.



Gambar 5. Aliran Fluks Magnet pada PMSG

Untuk memperjelas hasil simulasi yang telah dilakukan, pada bagian ini disajikan Tabel ringkasan perbandingan kerapatan fluks magnet dengan variasi lebar magnet 32 mm, 36 mm, 40 mm, 44 mm, 48 mm, dan 52 mm. Tabel 2 tersebut memuat nilai kerapatan fluks pada beberapa titik kritis PMSG 12 slot 8 pole, meliputi celah udara (air-gap), gigi stator, dan yoke stator/rotor, serta kondisi fisis yang teramati pada setiap variasi. Penyajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai perubahan distribusi fluks magnet akibat perbedaan lebar magnet yang digunakan.

Table 2. Perbandingan Kondisi kerapatan Fluks Magnet

Lebar Magnet (mm)	Kerapatan Fluks Air-gap (T)	Kerapatan Fluks Gigi Stator (T)	Kerapatan Fluks Yoke (T)	Kondisi Fisis	keterangan
32 mm	0,60	1,2	0,9	Under-excited	Fluks kecil, tegangan induksi rendah, daya dan efisiensi rendah.
36 mm	0,75	1,35	1,0	Cukup stabil	Fluks meningkat, tegangan naik, harmonik menurun, masih aman dari saturasi.
40 mm	0,85	1,5	1,1	Baik	Profil kerapatan fluks lebih merata, daya output naik, rugi inti terkendali.

44 mm	0,95	1,6	1,2	Optimal	Distribusi fluks seimbang, bentuk gelombang mendekati sinus, efisiensi tertinggi.
48 mm	1,05	1,75	1,3	Nyaris jenuh	Hotspot mulai muncul di gigi stator, kenaikan fluks tidak sebanding, rugi inti naik.
52 mm	1,10	1,85	1,4	Over-excited / Jenuh	Saturasi lokal signifikan, kebocoran fluks tinggi, efisiensi menurun meski EMF meningkat.

Variasi lebar magnet pada PMSG berpengaruh signifikan terhadap distribusi fluks dan kinerja sistem. Pada lebar 32–36 mm, sistem berada dalam kondisi under-excited dengan kerapatan fluks di air-gap kurang dari 0,9 T, sehingga tegangan induksi dan efisiensi energi rendah. Peningkatan lebar magnet ke 40–44 mm menghasilkan distribusi fluks lebih proporsional, dengan ukuran 44 mm sebagai kondisi optimal karena menghasilkan fluks seimbang, rugi inti rendah, bentuk gelombang mendekati sinusoidal, serta efisiensi tinggi. Sementara itu, lebar 48–52 mm menyebabkan over-excited dengan kerapatan fluks melebihi 1,7 T yang memicu saturasi dan menurunkan efisiensi. Dengan demikian, lebar magnet 44 mm merupakan konfigurasi paling ideal untuk menghasilkan kinerja PMSG yang stabil dan efisien.

Table 3. PMSG 12 Slot 8 pole dengan lebar magnet 32 mm

Rpm	Arus (A)	Tegangan (V)	Torsi (Nm)	Daya (W)		Efisiensi (%)
				Input	Output	
500	4.05	283.17	-25.82	1352	1153	85.34 %
750	5.80	405.76	-34.74	2728	2359	86.47 %
1500	9.80	684.16	-53.64	8426	7398	87.80 %

Table 4. PMSG 12 Slot 8 pole dengan lebar magnet 36 mm

Rpm	Arus (A)	Tegangan (V)	Torsi (Nm)	Daya (W)		Efisiensi (%)
				Input	Output	
500	4.78	334.82	-35.78	1873	1615	86.24 %
750	6.87	481.03	-48.68	3823	3321	86.87 %
1500	12.24	853.66	-75.56	11868	10461	88.14 %

Table 5. PMSG 12 Slot 8 pole dengan lebar magnet 40 mm

Rpm	Arus (A)	Tegangan (V)	Torsi (Nm)	Daya (W)		Efisiensi (%)
				Input	Output	
500	5.16	360.96	-41.60	2178	1879	86.29 %
750	7.42	519.69	-56.35	4425	3880	87.68 %
1500	12.66	928.75	-88.66	13926	12354	88.70 %

Table 6. PMSG 12 Slot 8 pole dengan lebar magnet 44 mm

Rpm	Arus (A)	Tegangan (V)	Torsi (Nm)	Daya (W)		Efisiensi (%)
				Input	Output	
500	5.43	379.98	-45.6	2387	2082	87.24 %
750	8.09	565.97	-66.8	5189	4598	88.60 %
1500	14.5	1015.3	-105	16508	14775	89.50 %

Table 7. PMSG 12 Slot 8 pole dengan lebar magnet 48 mm

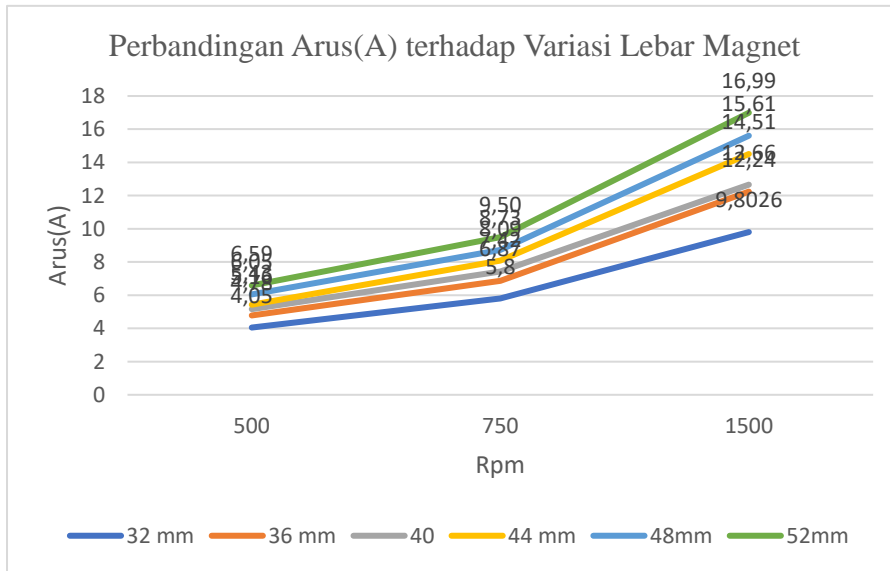
Rpm	Arus (A)	Tegangan (V)	Torsi (Nm)	Daya (W)		Efisiensi (%)
				Input	Output	
500	6.05	423.32	-54.67	2862	2568	89.74 %
750	8.73	611.25	-74.79	5874	5351	91.11 %
1500	15.61	1092.60	-118.5	18620	17105	91.86 %

Table 8. PMSG 12 Slot 8 pole dengan lebar magnet 54 mm

Rpm	Arus (A)	Tegangan (V)	Torsi (Nm)	Daya (W)		Efisiensi (%)
				Input	Output	
500	6.59	461.01	-64.37	3370	3041	90.23 %

750	9.50	664.85	-88.35	6939	6322	91.11 %
1500	16.99	1189.28	-140.9	22132	20245	91.47 %

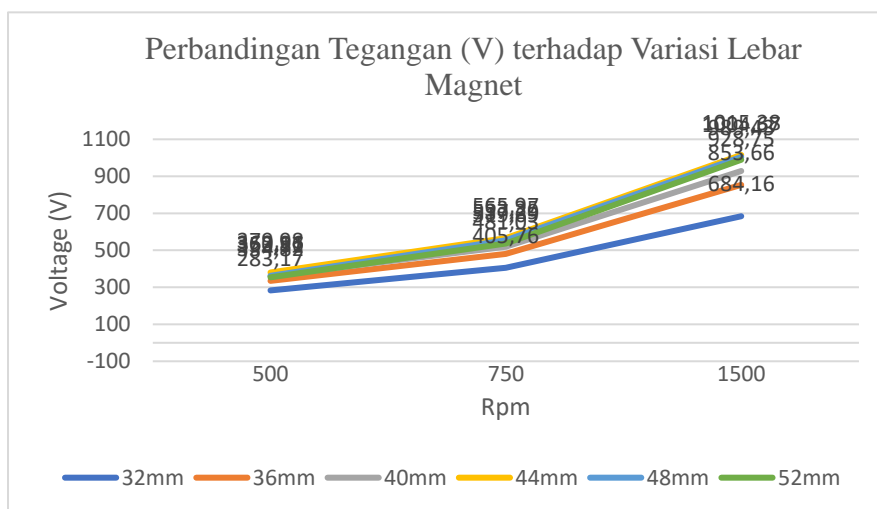
### Perbandingan Pengaruh Lebar Magnet Permanent Terhadap Arus (A)



Gambar 6. Grafik Perbandingan Arus (A) terhadap Variasi Lebar Magnet pada Perancangan permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole

Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi lebar magnet permanen pada PMSG 12 slot 8 kutub berpengaruh signifikan terhadap arus keluaran, dengan lebar 44 mm sebagai konfigurasi optimal. Pada lebar 32–36 mm, arus masih rendah (4–5 A) karena fluks dan GGL terbatas, sedangkan peningkatan ke 40–44 mm meningkatkan arus hingga 8,9 A dengan efisiensi 88,6% berkat keseimbangan fluks dan kapasitas stator. Namun, pada lebar 48–52 mm terjadi saturasi gigi stator yang menambah rugi inti dan kebocoran fluks, sehingga meski arus tinggi, efisiensi konversi energi menurun.

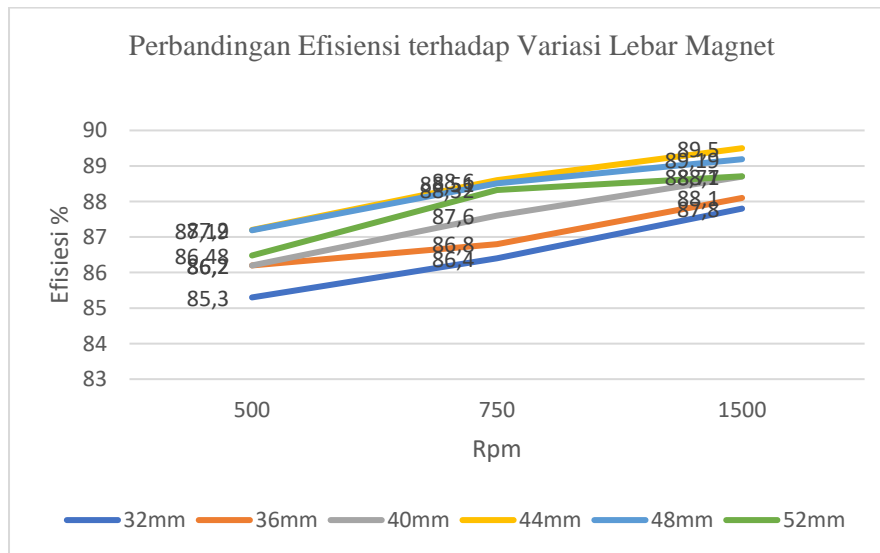
### Perbandingan Pengaruh Lebar Magnet Permanent Terhadap Tegangan (V)



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan (V) terhadap Variasi Lebar Magnet pada Perancangan permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole

Analisis variasi lebar magnet permanen (32–52 mm) terhadap tegangan keluaran PMSG 12 slot 8 kutub pada kecepatan 500, 750, dan 1500 rpm menunjukkan bahwa tegangan meningkat seiring kenaikan kecepatan, namun pola kenaikannya tidak linear dan bergantung pada lebar magnet. Konfigurasi 44 mm terbukti paling optimal dengan tegangan tertinggi mencapai 1015,38 V pada 1500 rpm, sedangkan magnet lebih kecil seperti 32 mm menghasilkan tegangan rendah (684,16 V) karena fluks tidak mencukupi. Pada lebar lebih besar (48–52 mm), tegangan justru menurun sedikit akibat saturasi gigi stator dan kebocoran fluks. Dengan demikian, lebar 44 mm memberikan keseimbangan terbaik antara induksi fluks dan kapasitas material inti untuk memaksimalkan kinerja tegangan PMSG.

### Perbandingan Pengaruh Lebar Magnet Permanen Terhadap Efisiensi %

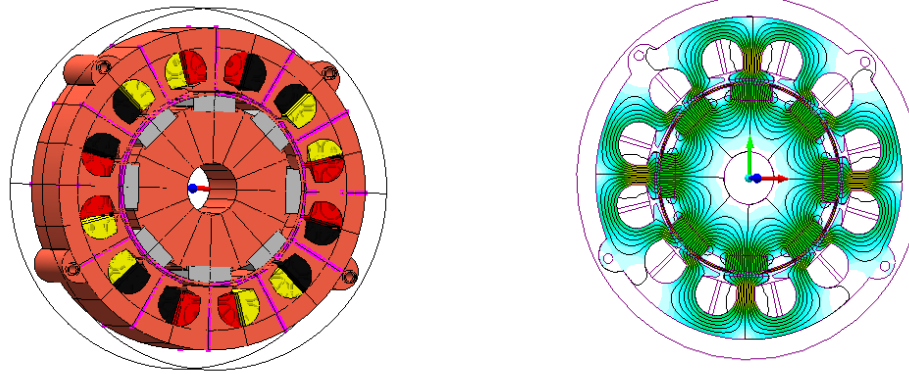


Gambar 8. Grafik Perbandingan Efisiensi terhadap Variasi Lebar Magnet pada Perancangan *permanent magnet synchronous generator 12 slot 8 pole*

Pengaruh variasi lebar magnet permanen (32 mm, 36 mm, 40 mm, 44 mm, 48 mm, dan 52 mm) terhadap efisiensi PMSG 12 slot 8 pole pada tiga rentang kecepatan (500, 750, dan 1500 rpm) secara konsisten menunjukkan bahwa konfigurasi 44 mm merupakan titik optimal. Lebar magnet 44 mm mencapai efisiensi tertinggi di semua kecepatan, dengan puncaknya 89,5% pada 1500 rpm, yang mengindikasikan keseimbangan terbaik antara fluks magnetik yang memadai dan rugi-rugi yang terkendali. Penggunaan magnet yang lebih kecil (32–36 mm) menghasilkan efisiensi yang lebih rendah (misalnya 87,1% pada 1500 rpm) karena fluks yang tidak mencukupi untuk konversi energi yang optimal. Sebaliknya, peningkatan lebar magnet di atas titik optimal (48–52 mm) justru menyebabkan penurunan efisiensi (hingga 88,7% pada 1500 rpm), sebuah fenomena yang diatribusikan pada terjadinya saturasi lokal pada inti dan peningkatan rugi-rugi fluks bocor, yang menegaskan bahwa penambahan material magnet tidak lagi proporsional dengan peningkatan kinerja konversi energi.

### PMSG yang paling optimal pada lebar magnet 44 millimeter

Pada kecepatan 750 rpm, konfigurasi lebar magnet 44 mm terbukti paling optimal, mencapai efisiensi tertinggi (88,6%) dengan daya input 5189,79 W dan daya output 4598,67 W. Konfigurasi ini memberikan kompromi terbaik antara peningkatan daya keluaran akibat fluks yang memadai dan minimisasi rugi-rugi. Lebar magnet yang lebih kecil (32–40 mm) menghasilkan efisiensi rendah karena fluks belum maksimal, sementara lebar yang lebih besar (48–52 mm) mengalami penurunan efisiensi akibat rugi-rugi yang lebih dominan dan indikasi saturasi inti.



(a) PMSG lebar magnet 44 millimeter

(b) Kerapatan fluks magnet

Gambar 9. Variasi PMSG yang paling optimal

Data hasil simulasi menunjukkan:

- Daya input  $P_{in} = 5\,189,79\text{ W}$
- Daya output  $P_{out} = 4\,598,67\text{ W}$
- Efisiensi  $\eta = P_{out}/P_{in} \times 100\% = 88,6\%$

Verifikasi torsi–daya (konsistensi dengan data torsi simulasi):

$$\omega = \frac{2\pi \cdot \text{RPM}}{60} = \frac{2\pi \cdot 750}{60} = 78,54\text{ rad/s}$$

torsi simulasi  $T = 66,08\text{ Nm}$ , maka

$$P_{in} = T \omega = 66,08 \times 78,54 = 5,19\text{ kW}$$

PMSG dengan konfigurasi 12 slot 8 pole menggunakan magnet permanen berlebar 44 mm teridentifikasi sebagai desain optimal. Analisis geometri generator menunjukkan distribusi fluks magnet yang merata dan padat pada celah udara, mengindikasikan aliran fluks yang efektif dan minim kebocoran (*flux leakage*), yang mendukung peningkatan *back-EMF* dan efisiensi. Hasil simulasi daya pada konfigurasi 44 mm memberikan kompromi terbaik, menghasilkan daya input ( $P_{in}$ ) sebesar 5189,79 W dan daya output ( $P_{out}$ ) 4598,67 W, dengan efisiensi puncak 88,6%. Verifikasi torsi-daya yang menunjukkan konsistensi (torsi 66,08 Nm pada kecepatan sudut 78,54 rad/s menghasilkan  $P_{in}$  5,19 kW semakin menguatkan validitas temuan ini. Oleh karena itu, lebar magnet 44 mm direkomendasikan sebagai dimensi yang paling seimbang untuk perancangan PMSG 12 slot 8 pole untuk aplikasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala kecil–menengah.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis pengaruh variasi lebar magnet permanen pada Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 12 slot 8 pole menggunakan perangkat lunak Magnet Infolytica, dapat disimpulkan bahwa lebar magnet permanen memiliki peran penting dalam menentukan kinerja elektromagnetik dan efisiensi sistem. Pada lebar magnet 32–36 mm, generator bekerja dalam kondisi under-excited dengan kerapatan fluks di celah udara kurang dari 0,9 T, sehingga menghasilkan tegangan induksi dan efisiensi yang rendah. Sebaliknya, pada lebar magnet 48–52 mm, meskipun tegangan dan torsi meningkat, terjadi saturasi pada gigi stator dan

kebocoran fluks yang berdampak pada meningkatnya rugi-rugi inti serta penurunan efisiensi secara keseluruhan.

Konfigurasi lebar magnet 44 mm terbukti menjadi titik optimum dalam penelitian ini karena menghasilkan kinerja paling stabil dan efisien. Pada konfigurasi ini, generator mampu menghasilkan tegangan 1015,38 V pada 1500 rpm dengan efisiensi 89,5%, serta 565,97 V pada 750 rpm dengan efisiensi 88,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa lebar magnet 44 mm memberikan keseimbangan terbaik antara kerapatan fluks, tegangan keluaran, arus, torsi elektromagnetik, dan efisiensi energi. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk menentukan lebar magnet permanen yang optimal pada PMSG 12 slot 8 pole guna mendukung pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) skala menengah dan kecil yang efisien dan andal telah tercapai.

## DAFTAR RUJUKAN

- Albarohin, I. A., & Latifa, U. (2021). Analisa Pengaruh Perbedaan Winding terhadap Back EMF dan Ke pada PMSG 18s16p. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 5(2), 189. <https://doi.org/10.22373/crc.v5i2.9401>
- Andika, R., & Aini, Z. (2023). Analisis Pengaruh Slot Terhadap Efisiensi Generator Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSG) 12 Slot 16 Pole dan 24 Slot 16 Pole Menggunakan FEM (Finite Element Method). *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 8(3), 213. <https://doi.org/10.36722/sst.v8i3.1705>
- Damanik, N., Purba, S., Calle, M. A. R. S., & Kurniawan, M. A. (2021). An 18 slot, 8-pole Permanent Magnet Synchronous Generator for Small-Scale Wind Turbine Energy Conversion: Design, Fabrication, and Experiments. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1150(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1150/1/012022>
- Dambrauskas, K., Vanagas, J., Zimnickas, T., Kalvaitis, A., & Ažubalis, M. (2020). A method for efficiency determination of permanent magnet synchronous motor. *Energies*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/en13041004>
- Guo, H., Ding, Q., Song, Y., Tang, H., Wang, L., & Zhao, J. (2020). Predicting temperature of permanent magnet synchronous motor based on deep neural network. *Energies*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/en13184782>
- Herlina, Setiabudy, R., & Sudiby, U. B. (2017). Analysis of Anti-Notch Method To the Reduction of the Cogging Torque in Permanent Magnet Synchronous Generator. *International Journal of Scientific & Engineering Research -IJSER*, 7(12), 1301–1310. <https://www.ijser.org/researchpaper/ANALYSIS-OF-ANTI-NOTCH-METHOD-TO-THE-REDUCTION-OF-THE-COGGING-TORQUE-IN-PERMANENT-MAGNET-SYNCHRONOUS-GENERATOR.pdf>
- Hilmawan, E., Pengkajian, B., Teknologi, P., & Sugiyono, A. (2020). *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2020 Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Sektor Energi di Indonesia Perencanaan energi nasional dan daerah View project* (Issue August). <https://www.researchgate.net/publication/344335844>
- J, W., Sudjadi, Karnoto, T, S., I, S., & A, D. (2018). Effect of Geometry Generator Variation Design 12 Slot 8 Pole on Power Efficiency Design. *Journal of Electrical Engineering and Electronic Technology*, 07(02), 2–7. <https://doi.org/10.4172/2325-9833.1000161>
- Kurniawan, M., Bagus, I., Citarasa, F., & Adnyani, I. A. (n.d.). *SIMULASI KOMBINASI BENTUK ROTOR PERMANENT MAGNET SINCHRONOUS GENERATOR 12S8P PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU DI NUSA TENGGARA BARAT*.
- Kurniawan, M. W., Iskandar, R. F., & Qurthobi, A. (2019). Software Magnet Study of the Effect of Umbrella Geometry on Output Power in 12S8P Generators for Wind Turbine Using Magnet Software. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2), 5462–5469. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/9799/9662>
- Maghfira, E., Harahap, A., Rosma, I. H., & Hamzah, A. (2020). Analisis Pengaruh Posisi

- Peletakan Magnet Permanen di Rotor Terhadap Kinerja Generator Sinkron Magnet Permanen. In *Jom FTEKNIK* (Vol. 7, Issue 2).
- Mucharom, R., Saputro, B. A., & Dhena, V. R. (2023). Pengaruh Variasi Tebal Magnet Terhadap Nilai Back EMF dan Ke pada Pemodelan PMSG 12S8P. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(1), 174–182. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i1.1954>
- Putri, T. D., & Liliana. (2022). Paper Talil. *Analisis Pengaruh Material Magnet Permanent Terhadap Karakteristik Generator Sinkron Radial 18 Slot 16 Pole*, 11(1), 45–50.
- Rangga Hadiswoyo, M., Arifianto, I., Rahmatia, S., & Elson, R. (2018). Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot 8 Pole ¼ Model. *Seminar Nasional Microwave*, 48–52.
- Setiabudy, R., & Sudiby, U. N. O. B. (2016). Analisis Metode Anti-Notch terhadap Pengurangan Torsi Cogging pada Permanent Magnet Synchronous Generator. *Jurnal Internasional Penelitian Ilmiah & Teknik*, 7(12), 1301–1313. [https://www.researchgate.net/publication/317227871\\_Analysis\\_of\\_Anti-Notch\\_Method\\_to\\_theReduction\\_of\\_the\\_Cogging\\_Torque\\_in\\_Permanent\\_Magnet\\_Synchronous\\_Generator](https://www.researchgate.net/publication/317227871_Analysis_of_Anti-Notch_Method_to_theReduction_of_the_Cogging_Torque_in_Permanent_Magnet_Synchronous_Generator)
- Sumawang, S. A. E., & Pramono, S. (2022). Analisis Perubahan Jumlah Slot pada Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) untuk Mencapai Nilai Optimal Back EMF dan KE Berbasis Finite Element Method (FEM). *Teknik*, 43(2), 140–146. <https://doi.org/10.14710/teknik.v43i2.44519>
- Umami, M. I., Nrartha, I. M. A., & Zubaidah, T. (2018). Desain Generator Sinkron Magnet Permanen Jenis Neodymium Iron Boron Untuk PLTB Daya 500 Watt Menggunakan Perangkat Lunak MagNet Infolytica. *Doctoral Dissertation, Universitas Mataram*, 1–7. <http://eprints.unram.ac.id/2707/15/15>. Jurnal.pdf
- Wahyu, M., Nurlina, N., & Irawan, D. (2023). Multitek Indonesia : Jurnal Ilmiah Multitek Indonesia : Jurnal Ilmiah. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, 17(1), 60–68.
- Yu, L., Chang, S., He, J., Sun, H., Huang, J., & Tian, H. (2022). Electromagnetic Design and Analysis of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor. *Energies*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/en15155441>