

## Pengaruh Ketebalan Magnet Rotor terhadap Back EMF dan Efisiensi Permanent Magnet Synchronous Generator 12S8P

Ida Bagus Fery Citarsa<sup>1</sup>, Ida Ayu Sri Adnyani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Electrical Engineering, University of Mataram,  
Jl. Majapahit 62, Mataram, Lombok NTB, INDONESIA

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article history:

Received December 2, 2021

Revised January 28, 2022

Accepted February 28, 2022

#### Keywords :

Wind;  
Generator;  
Magnet;  
Rotor;  
Combination

*The West Nusa Tenggara is one area that has good wind speeds. This makes it potential to install wind power plants there. In this study, a simulation analysis of the 12S8P PMSG (Permanent Magnet Synchronous Generator) rotor combination was carried out at a wind power plant in West Nusa Tenggara. The results show that the thicker the magnet used, the higher the back EMF and PMSG 12S8P efficiency. Meanwhile, changes in magnetic pole position and rotor geometry do not affect the back EMF value and efficiency. Another result also shows that the thicker the magnet used, the higher the efficiency of the wind power plant in West Nusa Tenggara using PMSG 12S8P as the generator. The above occurs because the thickness of the magnet affects the amount of flux produced by each phase which can then determine the back EMF value, output voltage, output power, and generator efficiency. The position of the magnetic poles and the geometry of the rotor have no effect because they do not change the amount of flux for each phase.*

Nusa Tenggara Barat (NTB) adalah salah satu daerah yang memiliki kecepatan angin yang baik sehingga sangat potensial untuk dipasang pembangkit listrik tenaga angin. Pada penelitian ini dilakukan analisis simulasi kombinasi rotor 12S8P PMSG (*Permanent Magnet Synchronous Generator*) pada sebuah pembangkit listrik tenaga angin di NTB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tebal magnet yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi dari *back EMF* dan PMSG 12S8P. Sedangkan perubahan posisi kutub magnet dan geometri rotor tidak mempengaruhi nilai *back EMF* dan efisiensi. Hasil lain juga menunjukkan bahwa semakin tebal magnet yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi pembangkit listrik tenaga angin di NTB yang menggunakan pembangkit PMSG 12S8P. Hal tersebut di atas terjadi karena ketebalan magnet mempengaruhi besarnya fluks yang dihasilkan oleh setiap fasa yang kemudian dapat menentukan nilai *back EMF*, tegangan keluaran, daya keluaran, dan efisiensi generator. Posisi kutub magnet dan geometri rotor tidak berpengaruh karena tidak mengubah besaran fluks untuk setiap fasa.

#### Corresponding Author:

Ida Bagus Fery Citarsa, Electrical Engineering, Mataram University, Mataram, Indonesia  
Email: ferycitarsa@unram.ac.id

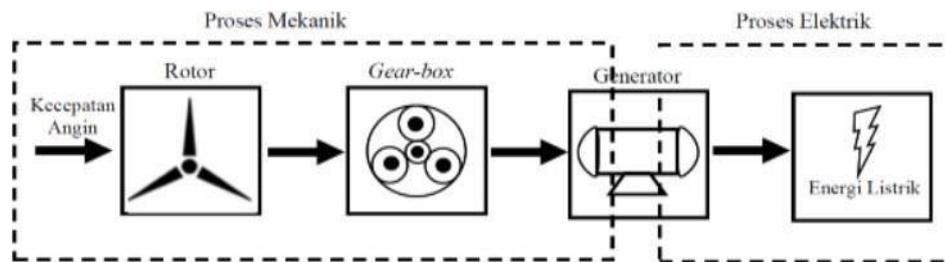
### 1. PENDAHULUAN

Pembakaran bahan bakar fosil merupakan sumber utama karbon dioksida yang termasuk dalam gasrumah kaca sebagai salah satu faktor utama pemanasan global. Berdasarkan keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1567K/21/MEM/2018 tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2018 sampai dengan 2027 menyebutkan bahwa target bauran energy pembangkitan akhir tahun 2025 dengan klasifikasi ibatubara 54,4%, EBT 23%, Gas 22,2%, dan BBM 0,4%. Demi mempertahankan keselarasan ekosistem Pemerintah masih berupaya untuk meningkatkan produksi listrik di bidang EBT. Kapasitas pembangkit tenaga listrik sampai dengan tahun 2018 mencapai 64,5 GW atau naik sebesar 3% dibandingkan kapasitas tahun 2017. Dengan posisi EBT telah mencapai 14% (sekitar 9.07 MW) dari target 23% (14.91 MW). Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) per 18 Juli 2017 merilis data bahwa dari 166 lokasi yang

diteliti, terdapat 35 lokasi yang mempunyai potensi angin yang bagus dengan kecepatan angin diatas 5 meter perdetik pada ketinggian 50 meter. Daerah yang mempunyai kecepatan angin bagus tersebut, salah satunya adalah wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).Nusa Tenggara Barat merupakan wilayah yang dilintasi oleh pola angin monsun dan merupakan pulau yang dikelilingi oleh pantai sehingga wilayah Nusa Tenggara Barat menerima hembusan angin yang cukup tinggi.Hal ini dapat berpotensi untuk dipasang turbin angin untuk dapat mengkonversi energi angin menjadi energi listrik atau yang sering disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).Wilayah pesisir pantai selatan merupakan wilayah yang dikenal dengan keindahan alamnya namun dibalik itu semua terdapat potensi yang sangat baik untuk pengembangan PLTB.

Generator adalah salah satu bagian utama dari pembangkit listrik tenaga angin yang dapat dikembangkan.Jenis Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) adalah salah satu jenis generator yang memiliki tingkat efisiensi tinggi karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga angin [2]. Untuk 12 slot 8 pole merupakan jenis konfigurasi jumlah kutub magnet permanen dan jumlah kumparan stator yang digunakan dalam penelitian ini. Konfigurasi ini dipilih karena merupakan konfigurasi yang paling sederhana. Pada penelitian ini digunakan software Magnet Infolytica 7.5 dengan prinsip pengembangan dimensi generator kemudian di dapatkan medan keluaran yang timbul akibat adanya rotasi rotor stator dan pengaruh medan magnet permanen. Dengan kondisi tersebut sehingga dirasa cocok sebagai salah satu pengembangan penelitian PLTB di Nusa Tenggara Barat.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang mengonversikan suatu energi kinetik dari udara menjadi energi mekanik yang menyebabkan putaran yang terjadi pada generator sehingga menghasilkan arus listrik.Energi angin dimanfaatkan untuk memutar baling-baling sehingga rotor berputar. Ketika rotor berputar maka secara otomatis generator tersebut akan mengalirkan energi listrik, seperti Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. PLTB Secara Umum [3]

Perhitungan nilai efisiensi PLTB secara umum dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [4]:

$$\eta_{PLTB} = \eta_b \times \eta_g \times \eta_t \times \eta_k \quad (1)$$

dimana:

$\eta_{PLTB}$  = efisiensi sistem PLTB (%)

$\eta_b$  = efisiensi bilah (%)

$\eta_g$  = efisiensi generator (%)

$\eta_t$  = efisiensi transmisi (%)

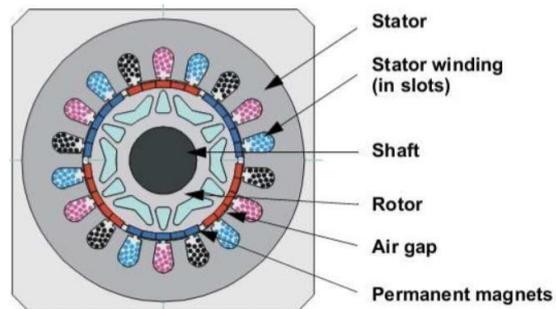
$\eta$  = efisiensi kontroler (%)

### 1.1. Generator

Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi mengkonversikan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Generator dapat menghasilkan gaya gerak listrik dengan induksi elektro magnetik yang diubah menjadi tenaga listrik. Pada umumnya generator memiliki keluaran tegangan tiga fasa. Maka dari itu generator merupakan komponen utama pada pembangkit listrik.Sedangkan komponen utama dari sebuah generator adalah, stator dan rotor[5].

### 1.2. Permanent Magnet Synchronous Generator

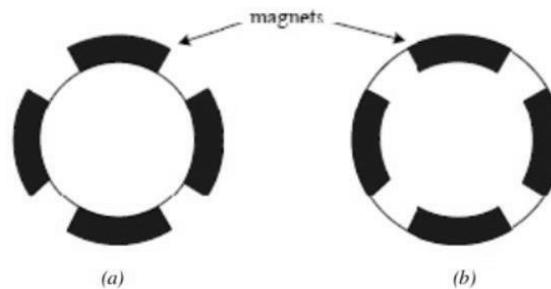
Generator sinkron magnet permanen (PMSG) adalah generator yang medan eksitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet[1].



Gambar2.Tampilan Melintang PMSG[2]

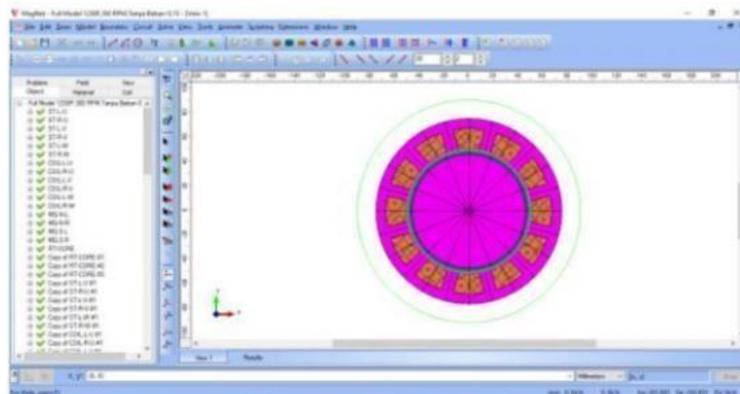
### 1.3. Macam-macam Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Berdasarkan arah aliran fluks yang dihasilkan oleh magnet permanen yang terletak pada rotor PMSG maka generator sinkron ini dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu generator sinkron dengan medan radial dan generator sinkron dengan medan aksial. Berdasarkan letak magnet permanen pada rotor maka PMSG tipe radial dikelompokkan menjadi dua yaitu Surface Mounted PMSG, dan Surface Inset PMSG.

Gambar 3.Tampilan Melintang dari PMSG radial  
(a)Surface Mounted (b)Surface Inset [2]

### 1.4. Software MagnetInfolytica 7.5

Software ini dirancang sebagai alat pemodelan 3-D lengkap untuk memecahkan masalah elektromagnetik yang dapat melibatkan medan magnet statik, medan varising dan arus eddy, dan kondisi sementara dengan gerakan bagian perangkat.

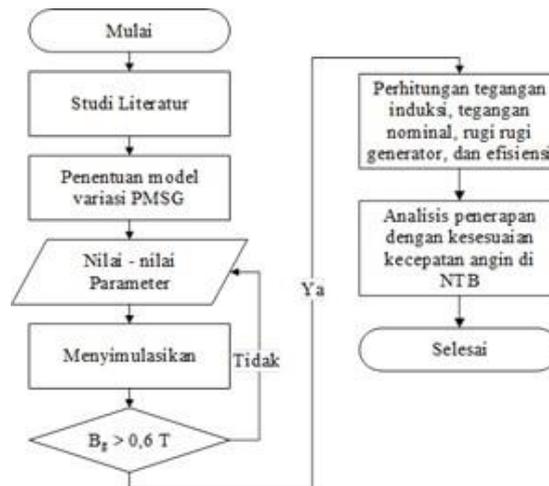


Gambar 4.Tampilan Software MagnetInfolytica 7.5

## 2. METODOLOGI

Pada penelitian ini, dilakukan analisis simulasi kombinasi bentuk rotor PMSG (Permanent Magnet Synchronous Generator) 12S8P pada pembangkit listrik tenaga bayu di Nusa Tenggara Barat. Ada beberapa nilai yang digunakan baik dalam pengukuran maupun pengujian. Dalam setiap perencanaan ada nilai acuan yang harus diperhatikan yaitu medan magnetnya harus berada di atas 0,6 Tesla. Dimana nilai yang ditentukan parameternya yaitu tebal magnet divariasikan mulai dari 1 mm sampai dengan 7 mm. kemudian untuk posisi magnet divariasikan dengan kombinasi utara selatan utara selatan dan selatan utara selatan utara. Kemudian kombinasi terakhir yaitu bentuk geometri rotor yang dimulai dari seluruh bagian dipenuhi inti besi hingga diberikan sedikit ruang untuk mengurangi berat dan lebih murah dalam proses percetakannya.

Sedangkan hasil yang diamati dan dianalisa nantinya ada beberapa nilai yang diperhatikan yaitu fluks yang dihasilkan dalam 3 fasa, tegangan fasa 4 coil, tegangan antar fasa, tegangan DC, tegangan rata-rata, dan nilai konstanta back EMF



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Simulasi *Back EMF* Kombinasi Bentuk PMSG 12S8P

Simulasi *back EMF* kombinasi bentuk PMSG 12S8P terdiri dari 3 simulasi, yaitu simulasi berdasarkan tebal magnet, posisi kutub magnet, dan geometri rotor, berikut hasil simulasinya.

Tabel 1. Berdasarkan Tebal Magnet

No.	Bentuk	Nilai Back EMF (Volt)
1	Tebal Magnet 1 mm	0,1150
2	Tebal Magnet 2 mm	0,1648
3	Tebal Magnet 3 mm	0,1943
4	Tebal Magnet 4 mm	0,2132
5	Tebal Magnet 5 mm	0,2253
6	Tebal Magnet 6 mm	0,2330
7	Tebal Magnet 7 mm	0,2380

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa tebal magnet mempengaruhi nilai *back EMF*. Semakin tebal magnet yang digunakan dalam simulasi maka nilai *back EMF* yang diperoleh semakin tinggi. Untuk selanjutnya dilakukan simulasi berdasarkan posisi kutub magnet dan geometri rotor pada tebal magnet 7 mm sebagai nilai tebal magnet yang menghasilkan nilai *back EMF* yang tertinggi pada Tabel 1.

**Tabel 2.** Berdasarkan Posisi Kutub Magnet pada Tebal Magnet 7 mm

No.	Bentuk	Nilai Back EMF (Volt)
1	Posisi magnet U-S-U-S	0,2379
2	Posisi magnet S-U-S-U	0,2379

**Tabel 3 .** Berdasarkan Geometri Rotor pada Tebal Magnet 7 mm

No.	Bentuk	Nilai Back EMF (Volt)
1	Tanpa geometri rotor	0,23787
2	Dengan geometri rotor	0,23793

Berdasarkan Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa posisi kutub magnet dan geometri rotor tidak mempengaruhi perubahan nilai *back EMF*.

### 3.2. Perhitungan Nilai Efisiensi Kombinasi Bentuk PMSG12S8P

Perhitungan nilai efisiensi kombinasi bentuk PMSG12S8P juga terdiri dari 3 perhitungan, yaitu berdasarkan tebal magnet, posisi kutub magnet, dan geometri rotor.

**Tabel 4.** Berdasarkan Tebal Magnet

No.	Bentuk	Perhitungan		
		Tegangan Keluaran (V0) (Volt)	Daya Keluaran (P0) (Watt)	Efisiensi Generator ( $\eta$ ) (%)
1	Tebal Magnet 1mm	15,798	98,738	73,299
2	Tebal Magnet 2mm	18,642	116,513	76,412
3	Tebal Magnet 3mm	20,677	129,232	78,228
4	Tebal Magnet 4mm	22,654	141,589	79,743
5	Tebal Magnet 5mm	23,652	147,822	80,430
6	Tebal Magnet 6mm	24,285	151,779	80,843
7	Tebal Magnet 7mm	24,679	154,244	81,091

Dari Tabel 4. dapat dilihat bahwa tebal magnet mempengaruhi nilai tegangan keluaran, daya keluaran, dan efisiensi generator. Dimana semakin tebal magnet maka nilai tegangan keluaran, daya keluaran, dan efisiensi generator yang dihasilkan juga semakin tinggi. Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan nilai efisiensi kombinasi bentuk PMSG 12S8P berdasarkan posisi kutub magnet dan geometri rotor pada tebal magnet 7 mm sebagai nilai tebal magnet yang menghasilkan nilai efisiensi kombinasi bentuk PMSG 12S8P yang tertinggi pada Tabel 4.

**Tabel 5.** Berdasarkan Posisi Kutub Magnet pada Tebal Magnet 7 mm

No.	Bentuk	Perhitungan		
		Tegangan Keluaran (V0) (Volt)	Daya Keluaran (P0) (Watt)	Efisiensi Generator ( $\eta$ ) (%)
1	Posisi Magnet U-S-U-S	24,679	154,244	81,091
2	Posisi Magnet S-U-S-U	24,679	154,244	81,091

**Tabel 6.** Berdasarkan Geometri Rotor pada Tebal Magnet 7 mm

No.	Bentuk	Perhitungan		
		Tegangan Keluaran (V0) (Volt)	Daya Keluaran (P0) (Watt)	Efisiensi Generator ( $\eta$ ) (%)
1	Tanpa Geometri Rotor	24,679	154,244	81,091
2	Dengan Geometri Rotor	24,696	154,353	81,102

Berdasarkan Tabel 5 dan 6 dapat dilihat bahwa posisi kutub magnet dan geometri rotor tidak mempengaruhi perubahan nilai efisiensi kombinasi bentuk PMSG12S8P.

### 3.3. Perhitungan Nilai Efisiensi PLTB di NTB

Dengan memperhatikan data kecepatan angin rata-rata Badan Pusat Statistik yang diwakili oleh stasiun Sumbawa Besar dengan kecepatan angin tertinggi dibandingkan stasiun lainnya di NTB diperoleh kecepatan angin rata-rata di NTB tahun 2019 dengan nilai 2,706 m/s sedangkan kecepatan efektif yang dapat dimanfaatkan PLTB adalah pada bulan mei sampai dengan bulan September dimana diperoleh kecepatan angina sekitar 3,030 m/s sampai dengan 3,235 m/s. Kecepatan angin di wilayah NTB dapat digolongkan dalam kecepatan angin efisiensi rendah. Berdasarkan itu maka dengan nilai konstanta bilah sebesar 0,3 [4]. Untuk nilai konstanta transmisi (*gear box*) antara bilah dan generator berada pada satu poros saja sehingga efisiensi yang diperoleh dengan nilai maksimum yaitu 1, sedangkan efisiensi kontroler bernilai 0,9[4]. Berdasarkan nilai efisiensi generator pada Tabel 4 dapat dihitung nilai efisiensi PLTB untuk tebal magnet 1 mm berdasarkan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}\eta_{\text{PLTB}} &= \eta_b \times \eta_g \times \eta_t \times \eta_k \\ &= 0,3 \times 0,733 \times 1 \times 0,9 \\ &= 0,1979 \\ &= 19,79\%\end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan pada tebal magnet selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Berdasarkan Tebal Magnet

No.	Bentuk	Efisiensi PLTB ( $\eta_{\text{PLTB}}$ )(%)
1	Tebal Magnet 1 mm	19,79
2	Tebal Magnet 2 mm	20,63
3	Tebal Magnet 3 mm	21,12
4	Tebal Magnet 4 mm	21,53
5	Tebal Magnet 5 mm	21,72
6	Tebal Magnet 6 mm	21,83
7	Tebal Magnet 7 mm	21,89

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa tebal magnet dapat mempengaruhi nilai efisiensi PLTB. Dimana semakin tebal magnet yang digunakan maka semakin tinggi juga efisiensi PLTB yang diperoleh. Sementara efisiensi PLTB tidak dipengaruhi variasi pada Posisi Magnet dan Geometri Rotor karena keduanya tidak berpengaruh terhadap nilai efisiensi kombinasi bentuk PMSG12S8P sebagai generator yang digunakan pada PLTB.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tebal magnet yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi dari *back EMF* dan PMSG 12S8P. Sedangkan perubahan posisi kutub magnet dan geometri rotor tidak mempengaruhi nilai *back EMF* dan efisiensi. Hasil lain juga menunjukkan bahwa semakin tebal magnet yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi pembangkit listrik tenaga angin di NTB yang menggunakan pembangkit PMSG 12S8P. Hal tersebut di atas terjadi karena ketebalan magnet mempengaruhi besarnya fluks yang dihasilkan oleh setiap fasa yang kemudian dapat menentukan nilai *back EMF*, tegangan keluaran, daya keluaran, dan efisiensi generator. Posisi kutub magnet dan geometri rotor tidak berpengaruh karena tidak mengubah besaran fluks untuk setiap fasa.

#### REFERENCES

- [1] Andika, dan H. Amir, "Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Tiga Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah," *JomFteknik*, vol. 5 no. 1, pp. 1-8, April 2018.
- [2] M. Azka, "Analisis Perancangan dan Simulasi Generator Sinkron Magnet Permanen dengan Rotor Berlubang," Universitas Indonesia.
- [3] M. Iqbal, "Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt," Universitas Islam Indonesia.
- [4] Tim Lentera Angin Nusantara, "Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin," Lentera Angin Nusantara.
- [5] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2000.

#### BIOGRAPHY OF AUTHORS



Ida Bagus Fery Citarsa adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram sejak tahun 1998. Menyelesaikan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang pada tahun 1997, pendidikan S-2 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada pada tahun 2001. Bidang penelitian yang ditekuni saat ini adalah di bidang elektronika daya untuk pengembangan energi terbarukan.

Email : [ferycitarsa@unram.ac.id](mailto:ferycitarsa@unram.ac.id)



Ida Ayu Sri Adnyani adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram sejak tahun 1998. Menyelesaikan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana pada tahun 1997, S-2 Ergonomi Fisiologi Kerja pada tahun 2003 dan S-3 Ergonomi Fisiologi Kerja pada tahun 2013 keduanya di Universitas Udayana. Sekarang bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram. Bidang penelitian yang ditekuni adalah bidang Sistem Tenaga Listrik.

Email : [adnyani@unram.ac.id](mailto:adnyani@unram.ac.id)