

**OPTIMASI DESAIN *AIR-GAP* PADA PMSG MELALUI PENGATURAN
ROTOR UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro

Program Studi S1 Teknik Elektro



Oleh:

Hamda Nilan

2100386

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNIK DAN INDUSTRI
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2025

**OPTIMASI DESAIN *AIR-GAP* PADA PMSG MELALUI PENGATURAN
ROTOR UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA**

Oleh

Hamda Nilan

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi S1 Teknik Elektro
Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri

© Hamda Nilan

Universitas Pendidikan Indonesia

April 2025

Hak Cipta dilindungi Undang – Undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, di fotocopy, atau cara lain tanpa izin dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN

HAMDA NILAN

E.5051.2100386

**OPTIMASI DESAIN *AIR-GAP* PADA PMSG MELALUI PENGATURAN
ROTOR UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI DAYA**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

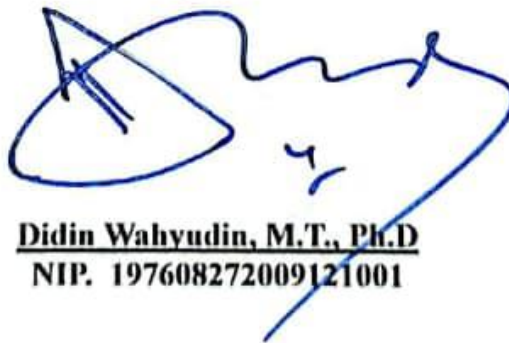
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Hj. Budi Mulyanti, M.Si.
NIP. 196301091994022001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Didin Wahyudin, M.T., Ph.D
NIP. 197608272009121001

ABSTRAK

Generator merupakan sebuah alat yang sangat penting untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) energi mekanik diperoleh dari pergerakan bilah turbin yang digerakan oleh angin. *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) menjadi pilihan utama dalam sistem PLTB karena memiliki performa yang stabil pada kecepatan rendah dan efisiensi daya yang tinggi. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi performa dan efisiensi PMSG adalah ketebalan *air-gap*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh ketebalan *air-gap* terhadap performa dan efisiensi daya pada desain PMSG. Simulasi dilakukan menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) melalui perangkat lunak MagNet Infolytica dengan mengubah ketebalan *air-gap* sebesar 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 dan 2,0 mm. Parameter kinerja yang diamati meliputi tegangan keluaran, arus, daya, torsi, dan efisiensi. Hasil menunjukkan bahwa *air-gap* 1,0 mm merupakan konfigurasi paling optimal dengan efisiensi daya maksimum sebesar 90.38%. Analisis mengungkap pengaturan ketebalan *air-gap* dapat mempengaruhi performa generator secara signifikan terhadap peningkatan performa dan efisiensi daya PMSG.

Kata kunci: *Permanent Magnet Synchronous Generator, Air-gap, Tegangan, Arus, Torsi, Efisiensi daya*

ABSTRACT

Generator is a very important tool to convert mechanical energy into electrical energy through the principle of electromagnetic induction. In a wind farm system, mechanical energy is obtained from the movement of turbine blades driven by the wind. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is the main choice in PLTB systems because it has stable performance at low speeds and high power efficiency. One of the important factors that affect the performance and efficiency of PMSG is the thickness of the air-gap. This study aims to examine the effect of water-gap thickness on power performance and efficiency in the design of PMSG. The simulation was carried out using the Finite Element Method (FEM) method through the MagNet Infolytica software by changing the thickness of the air-gap by 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm and 2.0 mm. The observed performance parameters include output voltage, current, power, torque, and efficiency. The results showed that the 1.0 mm air-gap was the most optimal configuration with a maximum power efficiency of 90.38%. The analysis revealed that the air-gap thickness setting can significantly affect the performance of the generator against the improvement of PMSG performance and power efficiency.

Keywords: *Permanent Magnet Synchronous Generator, Air-gap, Voltage, Current, Torque, Power efficiency*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 <i>Permanent Magnet Synchronous Generator</i> (PMSG)	6
2.2 Komponen PMSG	7
2.3 Efisiensi	8
2.4 Karakteristik Keluaran PMSG.....	9
2.4.1 Tegangan.....	9
2.4.2 Arus Listrik.....	10
2.4.3 Daya	11
2.4.4 Torsi.....	12
2.5 <i>Finite Element Method</i> (FEM)	12
2.6 Penelitian Yang Relevan	13
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Alur Penelitian.....	16
3.2 Pemodelan Generator	18

3.2.1 Rancangan Generator.....	18
3.2.2 Input Parameter Desain Rotor untuk Optimasi <i>Air-gap</i>	19
3.2.3 Pemilihan Material.....	20
3.3 Pengaturan Simulasi Dengan beban	21
3.4 Pengaturan Simulasi Variasi Kecepatan.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Pengaruh Kecepatan Putar Rotor Terhadap Tegangan Keluaran pada Generator PMSG dengan Ketebalan <i>Air-gap</i> yang Berbeda beda.	23
4.2 Pengaruh Kecepatan Putar Rotor Terhadap Arus pada Generator PMSG dengan Ketebalan <i>Air-gap</i> yang Berbeda-beda.	25
4.3 Pengaruh Torsi Terhadap Kecepatan Putar Rotor (RPM) pada Generator PMSG dengan Ketebalan <i>Air-gap</i> yang Berbeda-beda.	27
4.4 Pengaruh Kecepatan Putar Rotor Terhadap Daya pada Generator PMSG Dengan Ketebalan <i>Air-gap</i> yang Berbeda-beda.	28
4.5 Optimasi Desain <i>Air-gap</i>	30
4.6 Pemilihan Model PMSG dengan Efisiensi Tinggi.	31
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Simpulan.....	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen Utama PMSG	7
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitia.....	16
Gambar 3. 2 Rancangan Model Generator.....	18
Gambar 3. 3 Rangkaian pembebanan.....	21
Gambar 3. 4 Pengaturan Motion Untuk Memutar Rotor	22
Gambar 4. 1 Nilai Karakteristik Tegangan.....	24
Gambar 4. 2 Nilai Karakteristik Arus	26
Gambar 4. 3 Nilai Karakteristik Torsi.....	27
Gambar 4. 4 Nilai Karakteristik Daya <i>Input</i>	28
Gambar 4. 5 Nilai Karakteristik Daya <i>Output</i>	29
Gambar 4. 6 Desain PMSG 12S8P	31
Gambar 4. 7 Nilai Efisiensi Daya Berdasarkan Kecepatan Putar Rotor (RPM)...	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Yang Relevan.....	13
Tabel 3. 1 Parameter Dimensi Generator	19
Tabel 3. 2 Material PMSG	20
Tabel 3. 3 Data Waktu Variasi Kecepatan	22
Tabel 4. 1 Pengaruh Kecepatan putar rotor Terhadap keluaran	23
Tabel 4. 2 Tabel Pengaruh Kecepatan putar rotor Terhadap Arus	25
Tabel 4. 3 Nilai Efisiensi Setiap <i>Air-gap</i> yang Berbeda-beda.....	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 SK Pembimbing.....	39
Lampiran 2 Perpanjangan SK Pembimbing.....	40
Lampiran 3 Data Simulasi.....	41

DAFTAR PUSTAKA

- Ayala, E., & Simani, S. (2022). Robust Control Design Solution for a Permanent Magnet Synchronous Generator of a Wind Turbine Model. *IFAC-PapersOnLine*, 55(6), 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.189>
- Choi, M., & Kim, B. (2019). Calculation of PM Vernier Motors Using an Improved Air-Gap Permeance Function. *IEEE Transactions on Magnetics*, 55(6), 1–5. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2019.2901541>
- Faqih, M. R., Sutedjo, & Wahjono, E. (2019). Design and Fabrication of a Radial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator. *IES 2019 - International Electronics Symposium: The Role of Techno-Intelligence in Creating an Open Energy System Towards Energy Democracy, Proceedings*, 2, 644–649. <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2019.8901620>
- Fikri, M. N., Buana, U. C., & Santoso, D. B. (2022). Desain Permanent Magnet Synchronous Generator Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Daya 500 Watt Dengan Kecepatan Angin Rendah. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 8(2), 200. <https://doi.org/10.24036/jtev.v8i2.116750>
- Ge, Y., Liu, Z., Zhou, K., Yang, J., & Liu, D. (2022). Investigation of the electromagnetic characteristics and operating performance of a bidirectional PM excited machine. *Scientific Reports*, 12(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12567-w>
- Ghafoor, A., Apsley, J., & Kez, D. Al. (2025). *International Journal of Electrical Power and Energy Systems Operation of a wind turbine permanent magnet synchronous generator (PMSG) for ancillary frequency support services*. 167(May 2024). <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110623>
- Haller, S., Cheng, P., & Oelmann, B. (2015). Air-gap flux density measurement system for verification of permanent magnet motor FEM model. *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 445–450. <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392140>
- Hosseinpour, A., Rahideh, A., Abbas, A., Iqbal, A., El-Bayeh, C. Z., Flah, A., Ali, E., & Ghaly, R. N. R. (2024). Calculating torque, back-EMF, inductance, and unbalanced magnetic force for a hybrid electrical vehicle by in-wheel drive application. *Scientific Reports*, 14(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63702-8>
- Kallaste, A., Vaimann, T., Kilk, A., & Belahcen, A. (2014). Comparative analysis of wind generator energy efficiency based on machine design. *2014 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2014*, 4, 9–12. <https://doi.org/10.1109/RTUCON.2014.6998193>

- Magnussen, F., & Lendenmann, H. (2007). Parasitic effects in PM machines with concentrated windings. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 43(5), 1223–1232. <https://doi.org/10.1109/TIA.2007.904400>
- Manishe, M. I., Hasibuan, A., & Putri, R. (2021). Perancangan Radial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Finite Element Method (Fem). *Jurnal Energi Elektrik*, 9(2), 42. <https://doi.org/10.29103/jee.v10i1.4895>
- Niu, S., Ho, S. L., & Fu, W. N. (2014). A novel stator and rotor dual PM vernier motor with space vector pulse width modulation. *IEEE Transactions on Magnetism*, 50(2), 805–808. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2013.2280758>
- Nurendra, N., Sentosa, G. A., Wibawa, E. D., Priambodo, M. L., Rahman, I. A., & Zahra, I. N. (2023). High RPM small dimension 100 kW Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) manufacturing and performance testing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1135(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1135/1/012037>
- Pamungkas, T. D., Haddin, M., & Rijanto, E. (2017). Modifikasi Topologi Pengendali PID untuk Automatic Voltage Regulator Generator Sinkron. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 6(3). <https://doi.org/10.22146/jnteti.v6i3.342>
- Parashar, S., & Srivastava, R. K. (2015). Turn to turn fault analysis of three phase PMSG for different rotor air gap. *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 2015-Septe*, 114–120. <https://doi.org/10.1109/PowerEng.2015.7266304>
- Piggott, H. (1997). Windpower workshop: building your own wind turbine. In *Windpower workshop: building your own wind turbine. Machynlleth: Centre for Alternative Technology*.
- Salime, H., Bossoufi, B., Motahhir, S., & El Mourabit, Y. (2023). A novel combined FFOC-DPC control for wind turbine based on the permanent magnet synchronous generator. *Energy Reports*, 9, 3204–3221. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.02.012>
- Toba, A., & Lipo, T. A. (2000). Generic torque-maximizing design methodology of surface permanent-magnet vernier machine. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(6), 1539–1546. <https://doi.org/10.1109/28.887204>
- Wang, L. L., Shen, J. X., Luk, P. C. K., Fei, W. Z., Wang, C. F., & Hao, H. (2009). Development of a magnetic-g geared permanent-magnet brushless motor. *IEEE Transactions on Magnetism*, 45(10), 4578–4581. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2023071>
- Wardoyo, S., & Sabari, A. (2022). Pengaruh Variasi Umbrella Terhadap Back EMF dan Konstanta EMF Pada Pemodelan PMSG 12S8P Menggunakan Software

Design Electromagnetic. *Jurnal Ilmiah Setrum*, 11(1), 169–178.
<https://doi.org/10.36055/setrum.v11i1.15926>

Yuan, X., Du, Z., Li, Y., Qu, T., & Jiang, H. (2025). Damping characteristic analysis of grid-forming PMSG-based WT under different power oscillation damping controls. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 165(August 2023), 110453.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110453>

Zaputra, T. P., & Gusnita, N. (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 8(2), 411. <https://doi.org/10.24036/jtev.v8i2.117875>