

**SIMULASI PENGARUH VARIASI KOMBINASI *SLOT-POLE*
TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK GENERATOR PMSG
1000 WATT UNTUK APLIKASI TURBIN ANGIN**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun Oleh:

ANDHIKA RIZKY ERSANWANI

NPM.3332170091

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2023**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut:

Judul : Simulasi Pengaruh Variasi Kombinasi *Slot-Pole* Terhadap
Nilai Karakteristik Generator PMSG 1000 Watt Untuk
Aplikasi Turbin Angin
Nama Mahasiswa : Andhika Rizky Ersanwani
NPM : 3332170091
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 16 Oktober 2022



Andhika Rizky Ersanwani

3332170091

LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini ditetapkan bahwa skripsi berikut :

Judul : Simulasi Pengaruh Variasi Kombinasi *Slot-Pole* Terhadap
Nilai Karakteristik Generator PMSG 1000 Watt Untuk
Aplikasi Turbin Angin
Nama Mahasiswa : Andhika Rizky Ersanwani
NPM : 3332170091
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Elektro

Telah diuji dan dipertahankan pada tanggal 9 Januari 2023 melalui Sidang Skripsi
di di Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon dan dinyatakan
LULUS

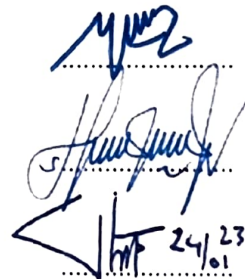
Dewan Penguji

Tanda Tangan

Pembimbing I : Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T.

Penguji I : Dr. Suhendar, S.Pd., M.T.

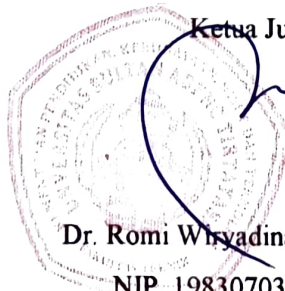
Penguji II : HM. Hartono, S.T., M.T.



Handwritten signatures of the examiners and supervisors, including a date stamp '24/01/23'.

Mengetahui,

Ketua Jurusan



Dr. Romi Whyadinata, S.T., M.Eng.

NIP. 198307032009121006

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkat dan rahmatNya sehingga terselesaikannya skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dengan rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga besar atas do'a dan dukungannya baik secara moril dan materil.
2. Dr. Romi Wiryadinata, M. Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Ceri Ahendriyanti, ST., M.Eng, selaku dosen pembimbing akademik.
4. Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi.
5. Sahabat dan teman-teman Teknik Elektro angkatan 2017 yang telah memberi dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap kepada Allah SWT agar berkenan membalas semua kebaikan untuk pihak yang telah membantu dan semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Cilegon, 16 Oktober 2022

Penulis

ABSTRAK

Andhika Rizky Ersanwani
Teknik Elektro

Simulasi Pengaruh Variasi Kombinasi *Slot-Pole* Terhadap Nilai Karakteristik Generator PMSG 1000 Watt Untuk Aplikasi Turbin Angin

Generator merupakan sebuah alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Penggerak generator dapat diperoleh dari energi terbarukan berupa angin atau air. Generator tersebut memiliki banyak variasi desain mulai dari pemilihan jenis lilitan, pemilihan material dan kombinasi jumlah *slot pole*. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan pengaruh perubahan kombinasi *slot-pole* tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu mensimulasikan variasi desain *slot-pole* terhadap kurva karakteristik generator. Hasil desain *slot-pole* terbaik yaitu 12S8P dan 15S8P, dengan efisiensi berkisar antara 87% dan 85%, kemudian dengan daya keluaran yaitu 1377,56 W dan 1108,88 W. Nilai arus untuk model 12S8P yaitu 8,26 A dan model 15S8P yaitu 8,86 A. Nilai tegangan untuk model 12S8P yaitu 165,26 V dan model 15S8P yaitu 177,25 V. Nilai torsi untuk model 12S8P yaitu 20,37 Nm dan 15S8P yaitu 17,51 Nm.

Kata Kunci : *Slot, Pole*, Desain Generator

ABSTRACT

Andhika Rizky Ersanwani
Electrical Engineering

Simulation of the Effect of *Slot-Pole* Combination Variations on Characteristic Values for a 1000 Watt PMSG Generator for Wind Turbine Applications

Generator is a device that can convert mechanical energy into electrical energy. Generator propulsion can be obtained from renewable energy in the form of wind or water. The generator has many design variations ranging from the selection of the type of *winding*, the selection of materials and the combination of the number of *pole* slots. The purpose of this study is to compare the effect of changing the *slot-pole* combination. The tests carried out are simulating the variation of the *slot-pole* design on the generator characteristic curve. The best *slot-pole* design results are 12S8P and 15S8P, with efficiencies ranging between 87% and 85%, then with an output power of 1377.56 W and 1108.88 W. Current values for the 12S8P model are 8.26 A and for the 15S8P model namely 8.86 A. The voltage value for the 12S8P model is 165.26 V and for the 15S8P model is 177.25 V. The *torque* value for the 12S8P model is 20.37 Nm and 15S8P is 17.51 Nm.

Keywords : *Slot, Pole, Generator Design*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PRAKATA	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Turbin Angin.....	6
2.2. Generator Sinkron.....	6
2.3. <i>Permanent Magnet Synchronous Generator</i> (PMSG).....	8
2.4. Jenis Generator Sinkron Magnet Permanen.....	10
2.4.1 Aliran Fluks Magnetik	11
2.4.2 Hubungan Stator dan Rotor.....	11
2.5. Komponen Generator Sinkron Permanen Magnet Radial Flux	12
2.6. Jenis Lilitan.....	13
2.7. Kombinasi <i>Slot</i> dan <i>Pole</i>	14
2.8. Daya dan Efisiensi	15
2.9. Torsi	16
2.10. Metode <i>Finite Element</i>	16
2.11. Kajian Pustaka	17

BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Prosedur Percobaan Desain.....	19
3.1.1 Pemilihan Material Stator dan Rotor	19
3.1.2 Pemilihan Material Magnet Permanen.....	20
3.1.3 Pemilihan Material Lilitan	20
3.2 Perancangan Generator	21
3.3 Pengaturan Simulasi Variasi Kecepatan	22
3.4 Pengaturan Simulasi dengan Beban.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Hasil Perancangan <i>Permanent Magnet Synchronous Generator</i>	26
4.2 Simulasi Variasi Desain <i>Slot</i> dan <i>Pole</i> Generator.....	27
4.2.1 Hasil Desain Model Generator Sinkron 12S8P.....	28
4.2.2 Hasil Desain Model Generator Sinkron 15S8P.....	34
4.2.3 Hasil Desain Model Generator Sinkron 18S10P.....	40
4.3 Pemilihan Model.....	46
BAB V KESIMPULAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN A DATA SIMULASI 12S8P	A-1
LAMPIRAN B DATA SIMULASI 15S8P	B-1
LAMPIRAN C DATA SIMULASI 18S10P	C-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram dari Sistem <i>Variable Speed Generator</i>	6
Gambar 2.2 Generator Sinkron Magnet Permanen	10
Gambar 2.3 Jenis Aliran Fluks Generator.....	11
Gambar 2.4 Hubungan Stator dan Rotor.....	12
Gambar 2.5 Komponen Bagian-Bagian Generator	13
Gambar 2.6 Jenis Lilitan	14
Gambar 3.1 Hasil Desain Geometri PMSG 12 Slot 8 Pole.....	22
Gambar 3.2 Pengaturan <i>Mation</i> pada Perancangan Generator	22
Gambar 3.3 Pengaturan pada Kecepatan 1000 RPM.....	23
Gambar 3.4 Pengaturan pada Waktu Rotor Berputar.....	24
Gambar 3.5 Rangkaian Simulasi dengan Beban	24
Gambar 4.1 Hasil Simulasi Medan Magnet Desain 12S8P	28
Gambar 4.2 Nilai Arus Model Generator 12S8P	29
Gambar 4.3 Nilai Tegangan Model Generator 12S8P	30
Gambar 4.4 Nilai Torsi Model Generator 12S8P.....	31
Gambar 4.5 Nilai Daya Masukan Model Generator 12S8P.....	32
Gambar 4.6 Nilai Daya Keluaran Model Generator 12S8P.....	33
Gambar 4.7 Nilai Efisiensi Model Generator 12S8P	34
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Medan Magnet Desain 15S8P	35
Gambar 4.9 Nilai Arus Model Generator 15S8P	35
Gambar 4.10 Nilai Tegangan Model Generator 15S8P.....	36
Gambar 4.11 Nilai Torsi Model Generator 15S8P.....	37
Gambar 4.12 Nilai Daya Masukan Model Generator 15S8P.....	38
Gambar 4.13 Nilai Daya Keluaran Model Generator 15S8P.....	39
Gambar 4.14 Nilai Efisiensi Model Generator 15S8P	40
Gambar 4.15 Hasil Simulasi Medan Magnet Desain 18S10P.....	41
Gambar 4.16 Nilai Arus Model Generator 18S10P	41
Gambar 4.17 Nilai Tegangan Model Generator 18S10P.....	42
Gambar 4.18 Nilai Torsi Model Generator 18S10P.....	43
Gambar 4.19 Nilai Daya Masukan Model Generator 18S10P.....	44

Gambar 4.20 Nilai Daya Keluaran Model Generator 18S10P.....	45
Gambar 4.21 Nilai Efisiensi Model Generator 18S10P	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tipe karakteristik <i>magnetic</i> Material M250-50A <i>steel</i>	19
Tabel 3.2 Karakteristik Magnet NdFeb 48/11	20
Tabel 3.3 Karakteristik <i>Copper: 5.77e7 Siemens/m</i>	20
Tabel 3.4 Parameter Awal Perhitungan Dimensi Generator	21
Tabel 4.1 Parameter Dimensi Generator	26
Tabel 4.2 Parameter Variasi Kecepatan	27
Tabel 4.3 Data Waktu Variasi Kecepatan	27
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Variasi Beban dan Kecepatan.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan di muka bumi. Sementara itu jumlah sumber daya energi di dunia ini semakin berkurang, sedangkan populasi penduduk dunia terus bertambah, oleh karena itu pengembangan energi terbarukan semakin penting, untuk mengurangi emisi karbon [1]. Memenuhi kebutuhan energi nasional, maka peran EBT sangat diperlukan. Berdasarkan PP nomor 79 tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional, dimana target bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025, dan 31% pada tahun 2050 [2]. Energi alternatif yang dimaksud yaitu energi terbarukan yang salah satunya merupakan energi angin. Penggunaan energi angin merupakan salah satu contoh dari pemanfaatan energi terbarukan. Eksploitasi energi angin ini sangat baik mengingat angin tidak akan pernah habis dan berkurang [3]. Total potensi energi angin berdasarkan data ESDM tahun 2019, Indonesia memiliki potensi untuk mendapatkan potensi energi sebesar 60,64 GW dari sektor energi angin saja [4]. Telah banyak dilakukan penelitian yang kaitannya dengan energi angin untuk menggantikan penggunaan energi fosil. Pemanfaatan energi angin banyak dilakukan baik dalam skala besar maupun skala kecil. Energi angin tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Energi kinetik dari kincir kemudian dikonversi menjadi energi mekanik yang nantinya digunakan untuk memutar generator dan dari generator tersebut akan menghasilkan energi listrik [5].

Perancangan generator turbin angin berskala kecil dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain mendesain geometri rotor atau stator generator. Desain *Permanent Magnet* (PM) rotor meliputi *surface-type*, *insert-type* atau *interior* PM dan *solid* PM [6]. *Interior* PM memiliki performa baik dalam regulasi kecepatan ketika memiliki kapasitas yang berlebih tetapi memiliki kekurangan yaitu kekuatan mekanik yang kurang dan memiliki *loss* yang besar [7]. *Surface* PM dapat mengatasi kekurangan dari *interior* PM tetapi memiliki kekurangan berupa konduktivitas *thermal* yang rendah dan demagnetisasi yang tinggi [8].

Perancangan desain generator dapat juga dilakukan dengan mengubah material laminasi, memilih kombinasi *slot-pole* dan merancang inti stator. Desain stator yang tidak memiliki *slot* atau *slotless* memiliki kelebihan yaitu vibrasi yang kecil dan struktur yang lebih sederhana, tetapi terdapat kekurangan berupa torsinya yang kecil [9]. Kekurangan dari desain *slotless* tersebut dapat dihilangkan dengan mendesain generator dengan geometri yang memiliki *slot* karena memiliki kelebihan berupa koefisien *thermal* yang bagus sehingga pendinginan generator lebih baik dan memiliki intensitas arus yang kecil sehingga dissipasi daya kecil [10].

Terdapat beberapa penelitian yang dilakukan untuk merancang generator, penelitian pertama membahas mengenai perancangan *radial flux permanent magnet synchronous* generator 18 *slot* 16 *pole* menggunakan jenis magnet Neodymium Iron Boron [11]. Perancangan *concentrated winding* menggunakan metode *clockwise* dan kombinasi pada PMSG 12 *Slot* 8 *Pole* dilakukan untuk mengetahui perbandingan tegangan keluaran dan *flux linkage* [12]. Studi yang kedua dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbandingan kombinasi *slot-pole* mesin multifase terhadap nilai faktor *winding*, rotor *losses* dan *cogging torque* [13]. Perbandingan kombinasi *slot-pole* juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh kombinasi tersebut terhadap nilai tegangan keluaran, arus keluaran dan daya yang dihasilkan [14]. Studi selanjutnya dilakukan untuk membandingkan generator *Interior PM* dengan kombinasi *slot-pole* terhadap nilai *back-EMF*, induktansi dan karakteristik torsinya [15].

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kombinasi *slot* dan *pole* pada generator sinkron tipe *radial flux* magnet permanen. Desain yang digunakan sebagai desain referensi ialah desain generator berkapasitas 1000 W yang kemudian dari desain referensi dikembangkan menjadi 8 desain lainnya. Parameter desain yang diteliti dari 9 model yang dibandingkan adalah keluaran berupa tegangan saat menggunakan beban, daya dan efisiensi. Penelitian ini dilakukan sebagai pertimbangan pemilihan kombinasi *slot-pole* untuk desain generator berkapasitas 1 kW. Analisis yang dilakukan menggunakan perhitungan rumus dan menggunakan metode *finite*

element. Software yang digunakan untuk simulasi analisis *Finite Element Method* (FEM) adalah *software Magnet Infolytica*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang masalah, maka dapat diambil rumusan masalah pada skripsi sebagai berikut.

1. Bagaimana mensimulasikan generator PMSG dengan kapasitas 1000W yang digunakan sebagai turbin angin?
2. Bagaimana enam kurva karakteristik pada setiap variasi generator?
3. Bagaimana pengaruh perubahan kombinasi *slot pole* dari variasi generator, untuk membandingkan terhadap tegangan, arus, daya masukan, daya keluaran dan efisiensi generator untuk mencari keluaran yang paling efisien?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi yang akan dilakukan ini diantaranya yaitu sebagai berikut.

1. Mensimulasikan generator PMSG dengan kapasitas 1000W yang digunakan sebagai turbin angin.
2. Membuat enam kurva karakteristik pada setiap variasi generator.
3. Membandingkan pengaruh perubahan kombinasi *slot-pole*, terhadap hasil keluaran tegangan, arus, daya masukan, daya keluaran dan efisiensi.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Dapat memahami ilmu tentang *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).
2. Mampu berkontribusi terhadap perkembangan pembangkit listrik energi baru terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga angin.
3. Dapat menjadi desain referensi untuk simulasi generator berkapasitas 1kW dan karakteristik dari generator sinkron *radial flux* berdasarkan variasi generator.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah untuk memfokuskan pokok permasalahan ini antara lain sebagai berikut.

1. Pembahasan mengenai jenis rotor yang digunakan adalah jenis bentuk *Surface Permenan Magnet* (SPM).
2. Pembahasan mengenai jenis generator PMSG kapasitas 1000 W.
3. Jumlah *slot* yang digunakan adalah 12 *slot*, 15 *slot*, dan 18 *slot*.
4. Jumlah *pole* yang digunakan adalah 8 *pole* dan 16 *pole*.
5. Parameter keluaran yang dianalisa adalah *flux linkage*, tegangan, daya dan efisiensi yang dihasilkan.
6. Variabel variasi resistansi yang digunakan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm.
7. Variabel kecepatan putar rotor bervariasi mulai dari 350 rpm, 500 rpm, 750 rpm dan 1000 rpm.

1.6. Sistematika Penelitian

Skripsi ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Sistematika penyusunannya adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, BAB ini menjelaskan tentang latar belakang masalah dalam penelitian ini, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka, BAB ini berisikan teori-teori yang dibutuhkan dalam penelitian, yang diantaranya mengenai turbin angin, generator, generator sinkron permanen magnet, generator sinkron permanen magnet *radial flux*.

BAB III Metode Penelitian, BAB ini membahas tentang metode-metode yang digunakan pada penelitian skripsi ini, yaitu meliputi diagram blok, alat dan bahan yang akan digunakan, metode penelitian, prosedur perancangan.

BAB IV Hasil analisa dan pembahasan, BAB ini menjelaskan tentang data yang akan ditampilkan dari hasil simulasi generator dalam bentuk grafis kemudian hasil tersebut akan dibahas dan di analisa dengan metode analisis grafis sesuai dengan teori yang ada, serta parameter-parameter lain yang terkait.

BAB V Penutup, BAB ini membahas tentang kesimpulan dan saran, dimana kesimpulan diperoleh dari uraian-uraian hasil penjelasan laporan penelitian skripsi yang dipaparkan secara singkat, padat dan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurlaila and A. T. Yulianto, “Perkembangan Energi Terbarukan di Beberapa Negara,” *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir*, pp. 11–21, 2019.
- [2] Anonim, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Kebijakan Energi Nasional No. 79” pp. 1–36, 2014.
- [3] Budiastara I. N., I. A. D. Giriantari, W. Artawijaya, and C. I. Partha, “Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Nusa Penida Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan,” *Jurnal Bumi Lestari*, vol. 9, no. 2, Agustus, pp. 263–267, 2009.
- [4] Adistia N. A., R. A. Nurdiansyah, J. Fariko, Vincent, and J. W. Simatupang, “Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia,” *TESLA Jurnal Teknik Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 105-110, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i2.9107.
- [5] Bachtiar A. and W. Hayyatul, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras,” *Jurnal Teknik Elektro ITP*, vol. 7, no. 1, pp. 34–45, 2018, doi: 10.21063/jte.2018.3133706.
- [6] Shaik N., “Design and Comparison of Permanent Magnet Motor Topologies for Different Application Sectors,” Thesis. Department of Electrical Engineering Polytechnic Milano, Milan, 2022.
- [7] Lim D. K. and J. S. Ro, “Analysis And Design Of A Delta-Type Interior Permanent Magnet Synchronous Generator By Using An Analytic Method,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 85139–85145, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2924537.
- [8] Liu W. and T. A. Lipo, “A Family Of Vernier Permanent Magnet Machines Utilizing An Alternating Rotor Leakage Flux Blocking Design,” *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, vol. 2, pp. 2461–2468, 2017, doi: 10.1109/ECCE.2017.8096472.
- [9] Ghaheri A., A. M. Ajamloo, H. Torkaman, and E. Afjei, “Design, Modelling And Optimisation Of A Slotless Axial Flux Permanent Magnet Generator For Direct-Drive Wind Turbine Application,” *IET Electric Power*

- Applications*, vol. 14, no. 8, pp. 1291–1310, 2020, doi: 10.1049/iet-epa.2019.0385
- [10] Magnussen F. and H. Lendenmann, “Parasitic Effects In PM Machines With Concentrated Windings,” *IEEE Transactions of Industry Applications*, vol. 43, no. 5, pp. 1223–1232, 2007, doi: 10.1109/TIA.2007.904400.
- [11] Manishe M. I., A. Hasibuan, and R. Putri, “Perancangan Radial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Finite Element Method (FEM),” *Jurnal Energi Elektrik*, vol. 10, no. 1, p. 42-48, 2021, doi: 10.29103/jee.v10i1.4895.
- [12] Pahlevi R. and D. B. Santoso, “Analisis Concentrated Winding Menggunakan Metode Clockwise dan Kombinasi pada PMSG 12S8P,” *Electrician - Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 2, pp. 223–231, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n2.2297.
- [13] Wolnik T., V. Styskala, T. Mlcak, “Study On The Selection Of The Number Of Magnetic Poles And The *Slot-Pole* Combinations In Fractional *Slot* PMSM Motor With A High Power Density,” *Energies*, vol. 15, no. 1, 2022, doi: 10.3390/en15010215.
- [14] Irfan M., R. F. Ariyanto, L. Syafaah, A. Faruq, Nurhadi, N. Subeki, “Stator Slotted Design Of Axial Flux Permanent Magnet Generator For Low-Speed Turbine,” *IOP Conference Series Material Science and Engineering (ICEAT)*, vol. 821, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/821/1/012027.
- [15] Sun T., J. Wang, C. Jia, L. Peng, “Integration Of FOC With DFVC For Interior Permanent Magnet Synchronous Machine Drives,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 97935–97945, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2996948.
- [16] Prashanth N. A., “Flux Maximization In Wind Turbine Permanent Magnet Synchronous Generator Made Of NdFeB Permanent Magnets,” *Materials Today Proceeding.*, vol. 49, no. June, pp. 731–737, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.224.
- [17] Heng T. Y., T. J. Ding, C. C. W. Chang, T. J. Ping, H. C. Yian, and M. Dahari, “Permanent Magnet Synchronous Generator Design Optimization For Wind Energy Conversion System: A Review,” *7th International Conference on Advances on Clean Energy Research, ICACER*, vol. 8, pp.

- 277–282, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.10.239.
- [18] Khan S., S. S. H. Bukhari, J. S. Ro, “Design and Analysis of a 4-kW Two-Stack Coreless Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Machine for Low-Speed Applications,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 173848–173854, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2957046.
- [19] Ullah W., F. Khan, S. Hussain, “Investigation of Inner/Outer Rotor Permanent Magnet Flux Switching Generator For Wind Turbine Applications,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 149110–149117, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3122883.
- [20] Zhao J., Y. Liu, and X. Xu, “Comparisons of Concentrated and Distributed Winding PMSM in MV Power Generation,” *Proceedings 23rd International Conference on Electrical Machines, ICEM*, 2018, doi: 10.1109/ICELMACH.2018.8507199.
- [21] Gonçalves P. F. C., S. M. A. Cruz, and A. M. S. Mendes, “Design Of A Six-Phase Asymmetrical Permanent Magnet Synchronous Generator For Wind Energy Applications,” *The 9th International Conference on Power Electronics, Machines and Drives*, vol. 2019, no. 17, pp. 4532–4536, 2019, doi: 10.1049/joe.2018.8175.
- [22] Soltani M., S. Nuzzo, D. Barater, G. Franceschini, “A Multi-Objective Design Optimization For A Permanent Magnet Synchronous Machine With Hairpin Winding Intended For Transport Applications,” *Electronics*, vol. 10, no. 24, 2021, doi: 10.3390/electronics10243162.
- [23] Mahmoud M. M., M. K. Ratib, M. M. Aly, and A. M. M. A. Rahim, “Wind-Driven Permanent Magnet Synchronous Generators Connected To A Power Grid: Existing Perspective And Future Aspects,” *Wind Engineering*, vol. 46, no. 1, pp. 189–199, 2022, doi: 10.1177/0309524X211022728.
- [24] Herisanu N., V. Marinca, G. Madescu, and F. Dragan, “Dynamic Response Of A Permanent Magnet Synchronous Generator To A Wind Gust,” *Energies*, vol. 12, no. 5, pp. 1–11, 2019, doi: 10.3390/en12050915.
- [25] Jedryczka C., D. Danielczyk, W. Szelag, “Torque Ripple Minimization of the Permanent Magnet Synchronous Machine By Modulation Of The Phase Currents,” *Sensors*, vol. 20, no. 2406, p. 11, 2020.

- [26] Pramono G. E., F. Muliawati, and N. F. Kurniawan, “Desain Dan Uji Kinerja Generator Ac Fluks Radial,” *Electronic Journal UIKA*, pp. 34–40, 2020.
- [27] Irfan J. and A. Hamzah, “Disain Dan Simulasi Generator Magnet Permanen 3 Phasa Menggunakan Softwawre Magnet Untuk Pembangkit Listrik Tenaga”, *JOM Fteknik*, vol. 6, hal. 1–7, 2019.
- [28] Sun T., J. M. Kim, G. H. Lee, J. P. Hong, M. R. Choi, “Effect of *pole* and *slot* combination on noise and vibration in *permanent* magnet synchronous motor,” *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 47, no. 5, pp. 1038–1041, 2011, doi: 10.1109/TMAG.2010.2093872.
- [29] Zhang Y. and F. Wang, “Choice Of *Pole-Slot* Number Combination For PM Generator Direct-Driven By Wind Turbine,”, 2008, doi: 10.1109/ICPST.2008.4745333.
- [30] Cortez R. I., J. D. L. Cruz, E. H. Mayoral, W. D. Gomez, “Evaluating the Broad Range Performance of a Radial Flux PMSG,”, 2019, doi: 10.1109/TLA.2019 .8986431.
- [31] Kilmartin J., A. Mahmoudi, “Effects of the *Pole-Slot* Combination on a Surface Permanent Magnet Generator for Wind Applications,” Thesis, Faculty of Science and Engineering Flinders University, Adelaide, 2016.
- [32] Dogan H., F. Wurtz, A. Foggia, and L. Garbuio, “Analysis Of *Slot-Pole* Combination Of Fractional-Slots PMSM For Embedded Applications,” *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, ACEMP 2011 and Electromotion 2011 Joint Conference*, pp. 611–615, 2011, doi: 10.1109/ACEMP.2011.6490669.
- [33] Suhada M. O. and I. Yasri, “Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah,” *JOM FTEKNIK*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2018.