

Rancang Bangun *Permanent Magnet Synchronous Generator* 18 Slot 16 Pole untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro

Rohmad Mucharom^{1✉}, Umar², Rojali Rifqal Amri³, Muhamad Irfan Eriansyah⁴

^{1, 2, 3, 4} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 01-10-2023

Direvisi : 05-10-2023

Diterima : 08-10-2023

ABSTRAK

Penggunaan energi baru terbarukan harus menjadi perhatian utama pemerintah Indonesia untuk mewujudkan energi bersih ramah lingkungan. Pembangkit listrik skala pico merupakan salah satu cara pemanfaatan sumber energi yang dapat digunakan untuk mendukung program pemerataan elektrifikasi di Indonesia. *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) adalah salah satu jenis Generator teknologi sumber listrik dari energi terbarukan yang dapat dikembangkan. Penelitian bertujuan untuk merancang PMSG 18S16P untuk mencari nilai tegangan, arus dan daya keluaran. Metode percobaan dilakukan dengan melakukan simulasi pemodelan pada software Infolytica MagNet dan dilakukan manufacturing kemudian di uji dengan berbagai variasi kecepatan putar. Variasi kecepatan putar yang digunakan dalam percobaan adalah 350,550,750,950 rpm. Data yang didapat dari hasil simulasi secara berurutan 7.87,12.76, 18.78, 28.06 VA. Beban yang digunakan pada simulasi adalah resistor 10 ohm. Sedangkan hasil uji dari proses manufacturing didapat data secara berurutan 0.855,2.81, 8.66, 18.14 VA. Untuk beban yang digunakan adalah lampu dc 20 watt. Semakin tinggi rpm maka akan semakin tinggi pula daya yang dikeluarkan.

Kata Kunci:

PMSG, PLTMH,
Winding, Magnet, 18S16P.

Keywords :

PMSG, PLTMH,
Winding, Magnet,
18S16P.

ABSTRACT

The use of new and renewable energy must be the main concern of the Indonesian government to realize clean, environmentally friendly energy. Pico-scale power plants are one of the ways to utilize energy sources that can be used to support the electrification equity program in Indonesia. The Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is a type of renewable energy generator that can be developed. The research aims to design PMSG 18S16P to find the value of voltage, current and output power. The experimental method was carried out by conducting modeling simulations on the Infolytica MagNet software and manufacturing was then tested with various variations of rotational speed. Variation of rotational speed used in the experiment is 350,550,750,950 rpm. The data obtained from the simulation results are sequentially 7.87,12.76, 18.78, 28.06 VA. The load used in the simulation is a 10 ohm resistor. While the test results from the manufacturing process obtained data sequentially 0.855, 2.81, 8.66, 18.14 VA. For the load used is a 20 watt dc lamp. The higher the rpm, the higher the power released.

Corresponding Author :

Rohmad Mucharom

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57169

Email: rohmadmucharom@gmail.com

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) telah menyebabkan kemajuan besar dalam kebudayaan, perubahan sosial dan penerapan teknologi, yang semakin memudahkan tercapainya tujuan manusia. Kemajuan selalu diikuti dengan peningkatan konsumsi energi (Bandri et al., 2021). Saat ini, tingkat kualitas hidup penduduk suatu negara juga bergantung pada tingkat konsumsi energi, karena kemajuan tidak dapat dicapai tanpa melibatkan penggunaan energi dalam skala besar.

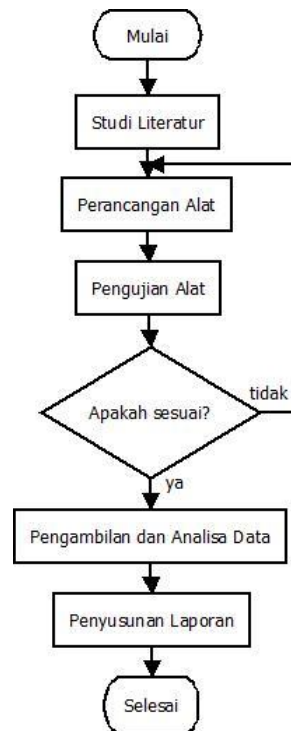
Energi suatu hal yang penting dalam kehidupan manusia. Meningkatnya permintaan energi dapat menjadi indikator meningkatnya kemakmuran (Bhuana et al., 2022). Semakin maju suatu negara, semakin banyak energi yang dibutuhkan. Baik industri maupun rumah tangga membutuhkan listrik. Di zaman sekarang ini, bahan bakar fosil masih menjadi pilihan utama untuk memenuhi kebutuhan energi. Dilihat dari sumber pengadaan energi dunia saat ini, minyak dan gas bumi merupakan sumber energi utama. Sumber daya minyak dan gas bumi di bumi sangat terbatas dan suatu saat akan habis (Doda & Mohammad, 2018). Peningkatan kebutuhan listrik tidak sebanding dengan penurunan cadangan energi fosil, sehingga produktivitas pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil akan menurun. Kelemahan dari penggunaan bahan bakar fosil adalah tidak ramah lingkungan, karena hasil pembakaran bahan bakar fosil adalah karbon dioksida, salah satu gas rumah kaca. Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1567K/21/MEM/2018 tentang persetujuan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) 2018 hingga 2027 menyebutkan pembaruan target pembangkit energi adalah batu bara 54,4%, EBT 23%, gas bumi 22,2%, dan BBM 0,4% pada akhir 2025 (Mucharom, 2022). Penggunaan energi baru dan terbarukan harus menjadi fokus utama pemerintah Indonesia, tidak hanya untuk mengurangi penggunaan energi fosil, tetapi juga menciptakan energi yang bersih atau ramah lingkungan (Widodo et al., 2018).

Salah satu jenis generator sinkron adalah *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) (Yuan-Chih Chang, 2018). Penggunaan PMSG dipilih karena memiliki keunggulan dibandingkan mesin lainnya seperti penggunaan magnet permanen yang tinggi pada generator (Faqih, 2019). Namun, nilai *cogging torque* yang ditimbulkan oleh magnet permanen pada rotor menjadi kelemahan dari jenis generator ini (Ujang 2022). Menurut Ujang (2022) menyatakan bahwa *cogging torque* memiliki sifat menarik dimana dapat mengakibatkan rotor berat untuk digerakkan ketika mendapat gaya yang kecil. Hal tersebut berpengaruh pada start awal menggerakkan generator dengan nilai *cogging torque* pada PMSG dimana terjadi akibat interaksi dari fluks magnet rotor dengan variasi permensi (kemampuan material dalam menyalurkan fluks magnet pada area air gap), sehingga mengakibatkan magnet permanen menjadi memiliki kecenderungan untuk menarik stator meskipun dalam keadaan tidak bergerak. Besarnya kekuatan medan magnet yang dihasilkan rotor saat berputar yang didalamnya terdapat magnet permanen yang menginduksi satu set tegangan tiga fasa dalam belitan stator sangat berpengaruh terhadap kinerja PMSG. Karena fungsi generator yang amat vital maka diperlukan perancangan yang optimal agar sesuai yang diinginkan di Era Industri 4.0. Perkembangan mesin listrik meningkat begitu cepat terutama pada bidang energi terbarukan salah satunya energi listrik yang memanfaatkan sumber dari tenaga yang memiliki skala kecil. Kondisi diatas menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan penelitian ini yang bertujuan merancang sebuah *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) sesuai yang diinginkan.

METODE PENELITIAN

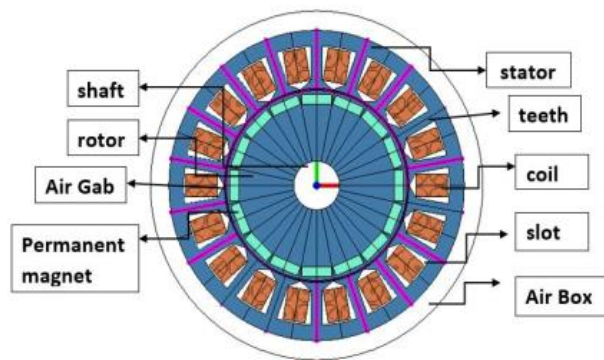
Penelitian Rancang Bangun PMSG dimulai dengan mempelajari serta pengumpulan dasar teori sebagai sumber informasi tentang topik yang diangkat dalam penyusunan naskah publikasi yang bersumber dari: buku, jurnal nasional atau internasional, dan internet untuk membantu proses penelitian. dilakukan proses desain PMSG menggunakan software kemudian ditindaklanjuti dengan perancangan hardware PMSG.

Penelitian ini penulis membuat beberapa tahap penelitian yang berguna untuk mencapai hasil yang diinginkan.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Adapun spesifikasi PMSG yang dirancang dengan menggunakan software magnet dalam penelitian ini ialah PMSG 18S16P. Untuk spesifikasi desain PMSG 18S16P yaitu



Gambar 2. Pemodelan Generator Pada Software Finite Element Method

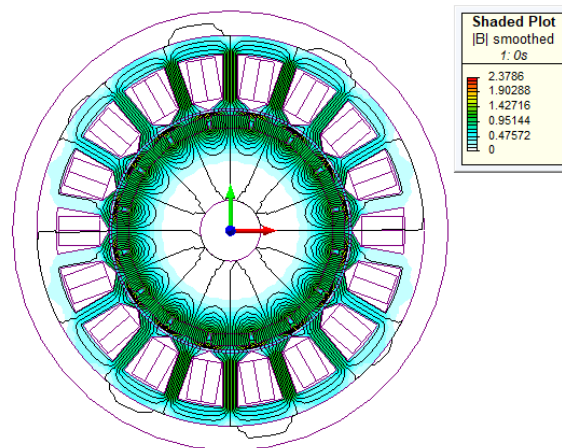
Tabel 1. Parameter PMSG 18S16P

Keterangan	Ukuran
Tebal Stator	50 mm
Tebal Rotor	50 mm
Diameter Dalam Stator	66 mm
Diameter Luar Stator	120 mm
Diameter Rotor	64 mm
Panjang Magnet	10 mm
Tebal Magnet	50 mm
Tinggi Magnet	5 mm
Air Gab	2mm
Jumlah Slot	18 slot
Jumlah Pole	16 pole

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi

Pemodelan yang dibuat kemudian dilakukan simulasi. Dapat diamati hasil fluks magnet dari simulasi. Berikut merupakan gambar fluks magnet dari hasil simulasi yang telah dilakukan.



Gambar 3. Aliran Fluks Magnet dan Indikator penyebaran fluks PMSG 18S16P

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 4 diketahui bahwa kerapatan dan penyebaran fluks memiliki nilai 1.422 Wb/m^2 . Hal tersebut menunjukkan tingkat penyebaran fluks dipengaruhi oleh tebal magnet. Fluks magnet yang ditunjukkan pada Gambar 4. memiliki warna hijau. Semakin gelap warna hijau menunjukkan semakin tinggi nilai fluks magnet. Sementara warna putih adalah area yang sama sekali tidak terdapat fluks magnet. Sementara untuk garis-garis hitam menunjukkan kepadatan penyebaran area fluks magnet.

Tabel 2. Hasil Simulasi

RPM	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)	Arus (I)	Daya Input (VA)	Daya Output (VA)	Losses	Efisiensi
350	14.2033	9.1222	0.86311	12.25901	7.87346	4.38555	64.20%
550	20.0203	12.6122	1.01131	20.24673	12.75484	7.49189	62.90%
750	24.1853	15.1112	1.24129	30.02097	18.75738	11.26359	62.40%
950	29.9068	18.5441	1.51311	45.25228	28.05926	17.19302	62%

Berdasarkan pengamatan pada tabel 2 menunjukkan hasil pengujian simulasi 350 rpm didapatkan nilai tegangan input 14.2033 volt dan tegangan output 9.1222 volt serta nilai arus 0.86311 ampere. Pengujian simulasi 550 rpm didapatkan nilai tegangan input 20.0203 volt dan tegangan output 12.6122 volt serta nilai arus 1.01131 ampere. Pengujian simulasi 750 rpm didapatkan nilai tegangan input 24.1853 volt dan tegangan output 15.1112 volt serta nilai arus 1.24129 ampere. Pengujian simulasi 950 rpm didapatkan nilai tegangan input 29.9068 volt dan tegangan output 18.5441 volt serta nilai arus 1.51311 ampere. Hasil yang didapat menunjukkan semakin tinggi rpm maka akan semakin tinggi juga tegangan serta arus keluarannya. Hal tersebut sesuai dengan hukum faraday.

Berdasarkan pengamatan pada tabel 2 didapatkan nilai daya input dan output beserta dengan efisiensinya. Hasil pengujian simulasi 350 rpm didapatkan nilai daya input 12.25901 VA dan daya output 7.87346 VA sehingga didapat nilai efisiensi 64.2%. Hasil pengujian simulasi 550 rpm didapatkan nilai daya input 20.24673 VA dan daya output 12.75484 VA sehingga didapat nilai efisiensi 62.9%. Hasil pengujian simulasi 750 rpm didapatkan nilai daya input 30.02097 VA dan daya output 18.75738 VA sehingga didapat nilai efisiensi 62.4%. Hasil pengujian simulasi 950 rpm didapatkan nilai daya input 45.25228 VA dan daya output 28.05926 VA sehingga didapat nilai efisiensi 62.03%.

Manufaktur

Manufaktur atau pembuatan hardware dilakukan pada pemodelan PMSG 18S16P yang telah dibuat. Gambar rancang bangun PMSG 18S16P dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.

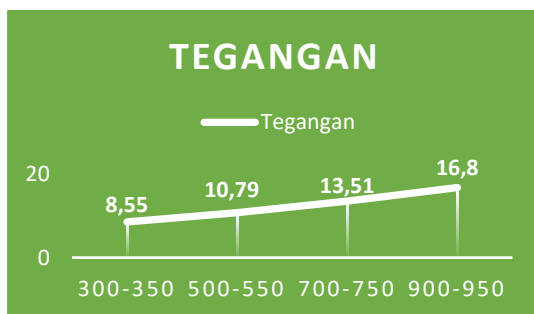


Gambar 4. Gambar stator dan rotor PMSG 18S16P

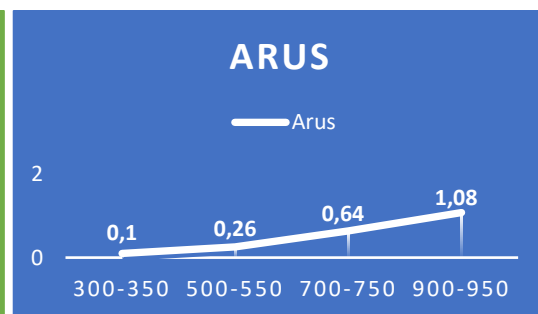
Gambar 4 menunjukkan hasil dari manufaktur yang dilakukan dimana gulungan dililitkan pada slot yang berjumlah 18 dan rotor ditemplei dengan magnet yang berlawanan kutup sejumlah 16 pole.

Tabel 3. Data Hasil Percobaan

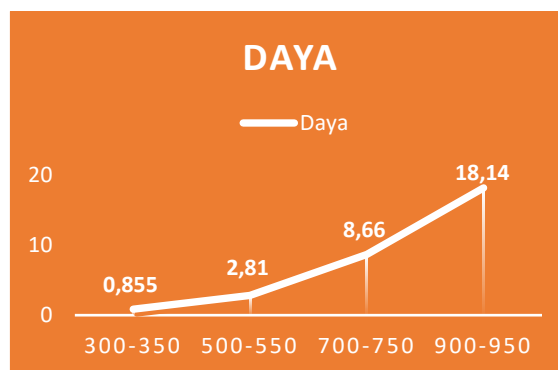
RPM	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (VA)
350-400	8.55	0.1	0.855
550-600	10.79	0.26	2.81
750-800	13.51	0.64	8.66
950-1000	16.80	1.08	18.14



Gambar 5. Grafik Tegangan



Gambar 6. Grafik Arus

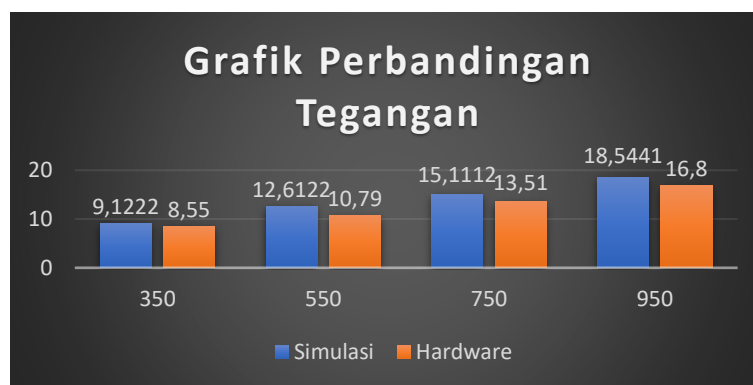


Gambar 7. Grafik Daya

Berdasarkan pengamatan pada grafik dan tabel dapat diamati bahwa dari tabel 3 didapatkan grafik yang menunjukkan grafik naik dari nilai tegangan dan arus serta daya keluaran generator. Terlihat dari Gambar 5, 6, 7 dengan rinci dalam tabel 3 menunjukkan hasil pengujian simulasi 300-350 rpm didapatkan nilai tegangan 8.55 volt dan nilai arus 0.1 ampere serta didapatkan nilai daya 0.855 VA. Hasil pengujian simulasi 500-550 rpm didapatkan nilai tegangan 10.79 volt dan nilai arus 0.26 ampere serta didapatkan nilai daya 2.81 VA. Pengujian simulasi 700-750 rpm didapatkan nilai tegangan 13.51 volt dan nilai arus 0.64 ampere serta didapatkan nilai daya 8.66 VA. Pengujian simulasi 900-950 rpm didapatkan nilai tegangan 16.80 volt dan nilai arus 1.08 ampere serta didapatkan nilai daya 18.14 VA. Hasil yang didapat menunjukkan semakin tinggi rpm maka akan semakin tinggi juga tegangan, arus serta daya keluarannya.

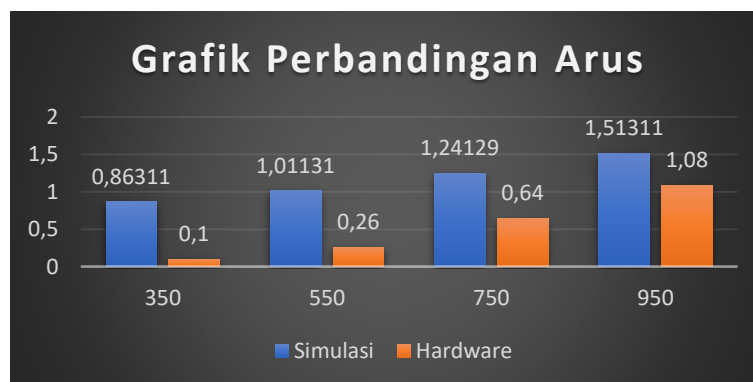
Tabel 4. Data Perbandingan Simulasi dan Hardware

RPM	Tegangan Simulasi	Tegangan Hardware	Arus Simulasi	Arus Hardware	Daya Simulasi	Daya Hardware
350-400	9.1222	8.55	0.86311	0.1	7.87	0.855
550-600	12.6122	10.79	1.01131	0.26	12.76	2.81
750-800	15.1112	13.51	1.24129	0.64	18.78	8.66
950-1000	18.5441	16.8	1.51311	1.08	28.06	18.14



Gambar 8. Grafik Perbedaan Tegangan

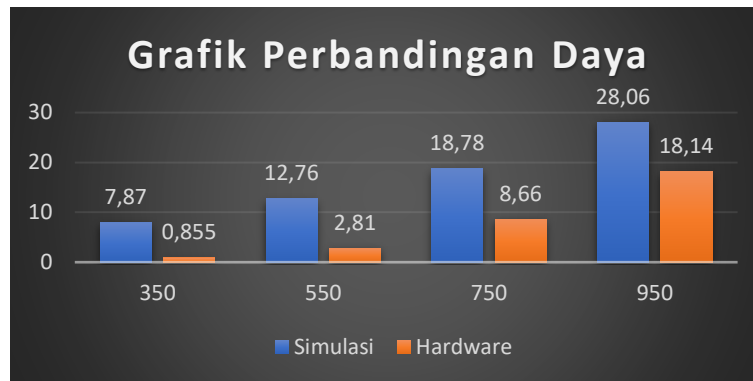
Berdasarkan pengamatan pada grafik dan tabel dapat diamati bahwa dari tabel 4 didapatkan grafik yang menunjukkan perbedaan ketinggian grafik dari nilai tegangan simulasi dan tegangan hardware keluaran generator. Gambar 8 dengan rinci dalam tabel 4 terdapat perbedaan data keluaran yang tidak terlalu besar antara simulasi dan hardware dengan nilai perbedaan kurang lebih 2 volt. Hal ini menunjukkan nilai tegangan dan simulasi mendekati sama atau sesuai antara simulasi dan hardware.



Gambar 9. Grafik Perbedaan Arus

Berdasarkan pengamatan pada grafik dan tabel dapat diamati bahwa dari tabel 4 didapatkan grafik yang menunjukkan perbedaan ketinggian grafik dari nilai arus simulasi dan daya hardware keluaran generator. Gambar 9 dengan rinci dalam tabel 4 terdapat perbedaan data

keluaran arus antara simulasi dan hardware yang cukup besar. Hal ini dipengaruhi oleh faktor eror dalam aplikasi serta kesalahan pada saat manufaktur hardware, perbedaan nilai fluks antara simulasi dan hardware kemudian perbedaan jarak gab rotor dan stator pada simulasi dan hardware. Perbedaan beban yang digunakan pada simulasi dan hardware juga berbeda sehingga mempengaruhi arus keluaran.



Gambar 10. Grafik Perbedaan Daya

Berdasarkan pengamatan pada grafik dan tabel dapat diamati bahwa dari tabel 4 didapatkan grafik yang menunjukkan perbedaan ketinggian grafik dari nilai daya simulasi dan daya hardware keluaran generator. Gambar 10 dengan rinci dalam tabel 4 terdapat perbedaan data keluaran daya antara simulasi dan hardware yang cukup besar dengan nilai kurang lebih 10 VA. Perbedaan arus keluaran yang cukup besar tentunya juga akan berpengaruh besar terhadap perbedaan daya keluaran antara hasil perancangan simulasi dan hardware.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan pada rancang bangun permanent magnet synchronous generator 18 slot 16 pole untuk pembangkit listrik tenaga pico hidro dapat disimpulkan dalam beberapa hal berikut :

1. Nilai keluaran tegangan, arus dan daya pada simulasi maupun hardware di pengaruhi oleh besar kecilnya nilai rpm.
2. Nilai keluaran tegangan, arus dan daya pada simulasi maupun hardware berbanding lurus berdasarkan nilai rpm.
3. Terdapat perbedaan nilai keluaran antara simulasi dan hardware yang dibuat dipengaruhi oleh faktor eror aplikasi atau kesalahan pada saat manufaktur, perbedaan nilai fluks antara simulasi dan hardware kemudian perbedaan jarak gab rotor dan stator pada simulasi dan hardware. Pengaruh kerapatan lilitan serta perbedaan beban yang digunakan.

Saran

Saran untuk penelitian rancang bangun PMSG selanjutnya dapat dilakukan penelitian untuk perbandingan jumlah dan ukuran lilitan yang bervariasi. Dapat pula dilakukan penelitian untuk pembuatan stator yang dapat digunakan menggulung lilitan agar lebih rapat. Saran lainnya bisa juga dilakukan penelitian dengan jumlah slot pole yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah atas segala puji syukur yang Allah SWT berikan serta rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dan dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca. Penulis mengucapkan banyak terimakasih yang telah membantu, memotivasi, dan memberikan dukungan dan doa dalam kelancaran penelitian, diantaranya : 1). Orang tua saya yang selalu memberikan dukungan dan doa baik material maupun non material; 2). Bapak Umar, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberi motivasi dan

mengarahkan dalam mengerjakan tugas akhir penelitian ini; 3) Bapak dan ibu dosen Teknik Elektro yang memberi dan mengajarkan ilmu selama perkuliahan; dan 4) PT. Lentera Bumi Nusantara yang memberi dan mengajarkan ilmu perancangan PMSG.

REFERENSI

- Bandri, S., Premadi, A., & Andari, R. (2021). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPh) RUMAH TANGGA. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 21(1), 16. <https://doi.org/10.36275/stsp.v21i1.345>
- Bhuana, C., Tasrif, T., Djalal, M. R., Andini, N., & Rezaldy, M. A. (2022). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 20(1), 110. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v20i1.3482>
- Doda, N., & Mohammad, H. (2018). Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Kabupaten Bone Bolango. *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.32662/gojise.v1i1.134>
- Faqih, M. R. (2019). Design and Fabrication of a Radial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator. *2019 International Electronics Symposium (IES)*, 2, 644–649.
- Mucharom, R. (2022). Pengaruh Variasi Tebal Magnet Terhadap Nilai Back EMF dan Ke pada Pemodelan PMSG 12S8P. *G-Tech :Jurnal Teknologi Terapan*, 6(2), 100–109.
- Ujang, U. C. B. (2022). Analisis Pengaruh Lebar Teeth Terhadap Penurunan Nilai Cogging Torque Pada Pmsg 18S16P. *Electrician*, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.23960/elc.v16n1.2245>
- Widodo, S., Suharno, K., Mujiarto, S., & Rasyidi, N. R. (2018). Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Terhadap Daya Yang Dihasilkan. *Journal of Mechanical Engineering*, 2(2). <https://doi.org/10.31002/jom.v2i2.1439>
- Yuan-Chih Chang, H.-C. C. & C.-Y. H. (2018). Design and Implementation of the Permanent Magnet Synchronous Generator Drive. *Wind Generator System*.