

Rancang Bangun Generator Turbin Angin Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) Neodymium dengan Stator berbahan Fiberglass

Anas Noor Firdaus¹, Afriana Kusdinar², Alif Paraj Fauzhan³, Yuni Ari Wibowo⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknologi Kelautan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Pangandaran, Pangandaran, Indonesia

Email: 1anasnoorfirdaus@gmail.com

Abstract

Alternative energy are need for the energy crisis that has occurred recently, one of the efforts to create alternative energy is by using wind, the energy obtained from the wind is converted into a generator. In general, generators produce voltage at quite high rpm, and also require exciter current for the trigger current to produce voltage. The aim of this research is to design a generator to obtain a constant voltage with low rotation, so a low speed generator is needed, namely the Axial Flux Permanent Magnet (AFPM) Generator. Methods and design results. The generator is made in the form of a single stator, single rotor. The generator stator is designed using fiberglass as a holder for 9 coils, while the rotor is designed in a disk shape using iron as a holder for the Neodymium N52 iron boron permanent magnet, totaling 9 slots and 12 poles, each slot consisting of 125 coils with a diameter of 0.6 mm, can work at revolutions per minute above 300, the faster the better and a maximum of 1200 rpm, the generator frame is also made using a main motor housing. Based on the objectives, methods and design results, the generator created can produce a voltage of 6 volts at a maximum rotation of 1500 rpm when tested in a low speed wind column of less than 14 m/s

Keywords: Wind Turbine, Neodymium, Fiberglass, Alternative Energy.

Abstrak

Energi alternatif merupakan kebutuhan akan krisis energi yang terjadi belakangan ini, salah satu upaya menciptakan energi alternatif yaitu dengan pemanfaatan angin, angin yang didapat diubah energinya dalam Generator. Pada umumnya generator menghasilkan tegangan dengan putaran rpm cukup tinggi, dan juga membutuhkan arus *exciter* untuk arus pemicu dalam menghasilkan tegangan. Tujuan penelitian ini adalah merancang generator untuk memperoleh tegangan yang konstan dengan putaran yang rendah maka dibutuhkan generator kecepatan rendah yaitu Generator Axial Flux Permanent Magnet (AFPM). Metode dan hasil perancangan Generator dibuat dalam bentuk *single stator single rotor*. Stator generator dirancang menggunakan *fiberglass* sebagai dudukan untuk 9 kumparan, sedangkan *rotornya* dirancang dalam bentukan piringan dengan menggunakan besi sebagai dudukan untuk magnet permanen *Neodymium N52 iron boron*, berjumlah 9 slot dan 12 pole, setiap slot terdiri dari 125 lilitan dengan diameter 0,6 mm, dapat bekerja pada putaran per menit di atas 300, semakin cepat semakin baik dan maksimal di 1200 rpm, rangka generator juga dibuat menggunakan *housing* motor induk. Berdasarkan tujuan, metode dan hasil perancangan, maka Generator yang dibuat dapat menghasilkan voltase (tegangan) 6 volt pada putaran maksimal 1500 rpm pada pengujian di kolom angin berkecepatan rendah kurang dari 14 m/s.

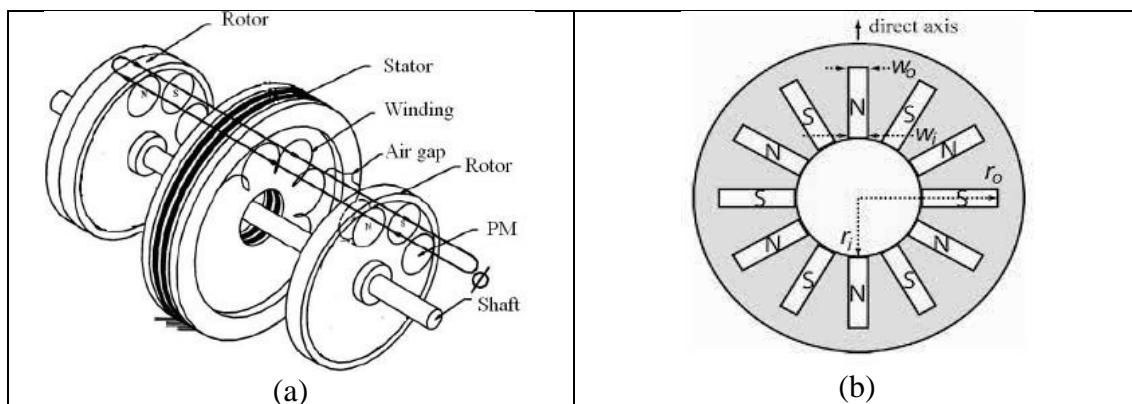
Kata Kunci: Turbin Angin, Neodymium, Fiberglass, Energi Alternatif.

1. PENDAHULUAN

Pembuatan teknologi generator turbin angin *axial flux permanent magnet* (AFPM) didorong oleh kebutuhan akan pentingnya energi alternatif yang potensial tersedia di alam terutama di area terbuka baik di pesisir maupun di dataran tinggi (Siagian et al., 2023). Kebutuhan energi di Indonesia dari tahun 2020 hingga 2024 mengalami peningkatan yang

signifikan. Pada tahun 2022, konsumsi energi mencapai 1.408 kWh per kapita, menunjukkan peningkatan yang stabil dari tahun ke tahun (Solikah & Bramastia, 2024). Jika dibandingkan dengan pelepasan energi dari sumber energi tak terbarukan, pelepasan energi dari pembangkit energi terbarukan relatif lebih sedikit (Sidi, 2016). Energi tak terbarukan yang telah lama menjadi pilihan utama dalam sistem pembangkit energi listrik kini semakin menurun kapasitasnya, pembangkit listrik terbarukan merupakan salah satu pilihan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini (Alim et al., 2023). Sumber energi lain terbarukan yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan lebih sedikit energi tak terbarukan, yaitu memanfaatkan sumber energi ramah lingkungan lainnya termasuk sinar matahari dan gelombang laut, sedangkan untuk angin dan arus air sebagian menggunakan turbin putaran rendah (Prayoga, 2024). Mayoritas generator yang ada di pasaran adalah model berkecepatan tinggi, yang memerlukan putaran tinggi untuk menghasilkan medan magnet, sementara magnet permanen *neodymium* (NdFeB) yang digunakan dalam rancang bangun generator magnet permanen fluks aksial ini memiliki kerapatan fluks magnet yang sangat ketat sehingga meniadakan kebutuhan arus pemicu DC (eksitasi) (Syam, 2021).

Menurut (Angriawan & Yuhendri, 2021) generator fluks aksial ini sering digunakan untuk turbin angin, dan mempunyai bentuk jauh lebih kecil dari biasanya. Pengoperasian generator fluks aksial dan generator konvensional pada umumnya memiliki prinsip yang serupa, magnet permanen digunakan untuk menciptakan medan magnet tetap, meniadakan kebutuhan pasokan arus searah untuk menciptakan medan magnet. Fluks aksial diperoleh dari magnet permanen yang telah mengalami pemrosesan khusus sehingga menyebabkan garis-garis gaya magnet keluar dari kutub magnet baik secara vertikal maupun aksial (Haqq et al., 2020).



Gambar 1. (a) Konstruksi Umum Generator *Flux Axial* dan (b) *Rotor*
Sumber gambar: (Rossouw, 2009) dan (Jain, 2021)

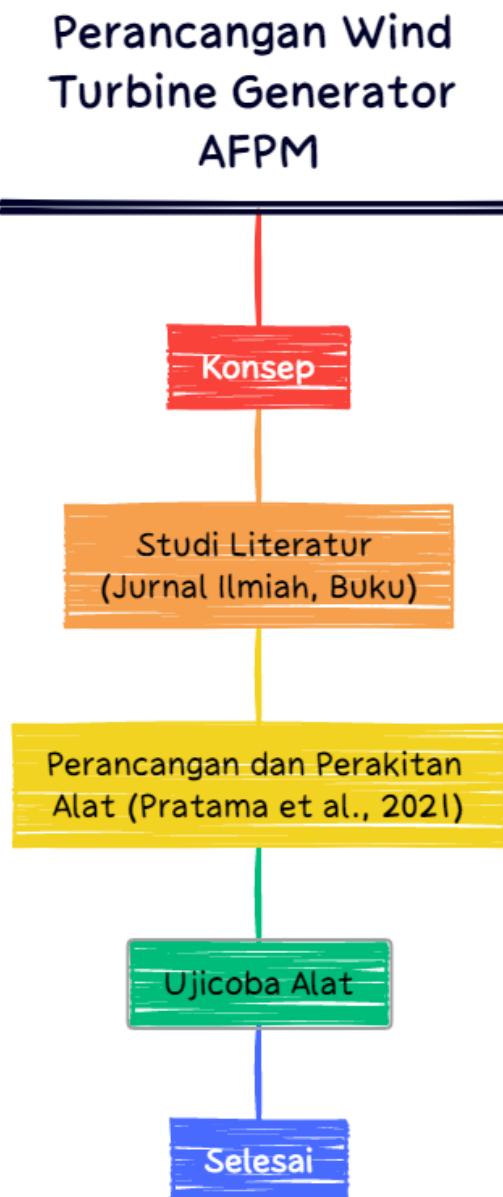
Generator fluks aksial (Gambar 1.a) serupa dengan generator konvensional pada umumnya, yaitu dengan adanya *stator*, *rotor*, dan celah udara. Generator fluks aksial ini memiliki kecenderungan untuk memperbesar diameternya guna meningkatkan daya keluarannya karena aliran fluksnya yang berbeda (Gieras, et al, 2004). *Rotor* (Gambar 1.b) terdiri dari kutub magnet yang menyediakan medan magnet primer, yang mengantikkan suplai arus searah, dan bagian penyangga disebut *yoke*, magnet permanen menggunakan "*Neodymium Iron Boron*" (NdFeB) (Rossouw, 2009). Setiap kumparan *stator* terdiri dari kumparan konduktor yang berfungsi sebagai tempat induksi elektromagnetik. Selain kutub magnet, kumparan *stator* juga memiliki berbagai bentuk yang sering digunakan, setiap bentuk kumparan *stator*, termasuk jari-jari, kelengkungan (kemiringan) sisi aktif kumparan dan panjang ujung sambungan, dapat disesuaikan untuk setiap bentuk magnet dan ukuran *rotor* cakram (Dunn et al., 2011). Menurut (Kobayashi

et al., 2009) medan magnet *rotor* merupakan magnet permanen kuat yang menghasilkan medan magnet utama, bahan feromagnetik dengan *hysteresis loop* lebar digunakan untuk membuat magnet permanen, lingkaran *hysteresis* yang besar menunjukkan bahwa magnet tidak banyak terpengaruh oleh induksi eksternal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan mempelajari referensi berupa studi literatur dalam perancangan alat, dilanjutkan dengan kesesuaian perancangan/perhitungan sebelum tahapan fabrikasi, kemudian kesesuaian cetakan / mal dan perakitan generator ke alat penangkap angin (*wind turbine*). Paralel dengan pekerjaan fabrikasi, perancangan system control dan pengujian juga dilakukan, kemudian penulisan hasil analisis berupa laporan penelitian yang dipublikasikan dalam jurnal. Berikut diagram alir kegiatan penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir Kegiatan

2.2 Rincian Kegiatan dalam Perancangan

Langkah-langkah kegiatan dalam perancangan generator *wind turbine axial flux permanent magnet* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan dan rincian kegiatan

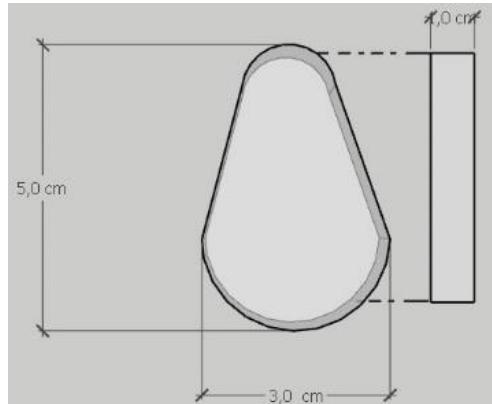
No.	Tahapan	Kegiatan	Rincian Kegiatan
1.	Studi Literatur	Studi Pustaka	Pengumpulan data untuk dijadikan referensi penelitian dan rancang bangun tentang Generator <i>Wind Turbine</i> (AFPM) <i>neodymium</i> berupa data teknik pembuatan, pengujian alat, dan informasi lain yang relevan.
2.	Perancangan Alat	Pembuatan Desain Alat	Desain direncanakan dengan menggunakan perangkat lunak <i>Sketchup</i> dan pemilihan alat dan bahan didasarkan pada hasil perhitungan menggunakan persamaan yang relevan, seperti nilai fluks magnet dan jumlah lilitan berdasarkan spesifikasi generator.
3.	Fabrikasi Alat	Pengerjaan	Membuat komponen-komponen yang dibutuhkan dan memasangnya. Melewati beberapa tahap mulai dari tahap perakitan, tahap pengecoran resin, tahap pembentukan, tahap finishing, dan disusul tahap penggecatan. Setelah tahap pengecoran resin penyatuhan bahan-bahan dilakukan dengan menggunakan metode pengelasan untuk menyatukan <i>rotor</i> .
4.	Pemasangan Sistem Kontrol	Pengerjaan	Sistem kontrol yang digunakan untuk alat ini yaitu menggunakan dioda yang dihubungkan dengan transfromator DC, <i>out</i> diukur dengan Avometer.
5.	Pengujian	Pengamatan Alat	Kegiatan ini dilakukan uji coba terhadap alat dengan mengukur tegangan dari alat dengan variasi kecepatan rpm yang dilakukan di <i>workshop</i> PT Lentera Bumi Nusantara, Ciheras, Tasikmalaya.
6.	<i>Operational</i>	Pengamatan Alat	Kegiatan evaluasi kinerja operasional generator <i>wind turbine</i> (AFPM), termasuk efisiensi konversi energi, kestabilan operasi, dan penanganan beban dinamis.
7.	<i>Maintenance</i>	Perawatan Alat	Kegiatan Pemeliharaan seperti pemeriksaan visual, pemeriksaan keluaran, dan penggantian komponen yang perlu dilakukan secara teratur agar memastikan kinerja generator tetap optimal dan mencegah kegagalan yang tidak terduga.
8.	Laporan	Hasil Akhir	Laporan berisi tentang data yang diambil mulai dari proses pembuatan alat dan hasil analisis pengujian alat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perancangan *Stator*

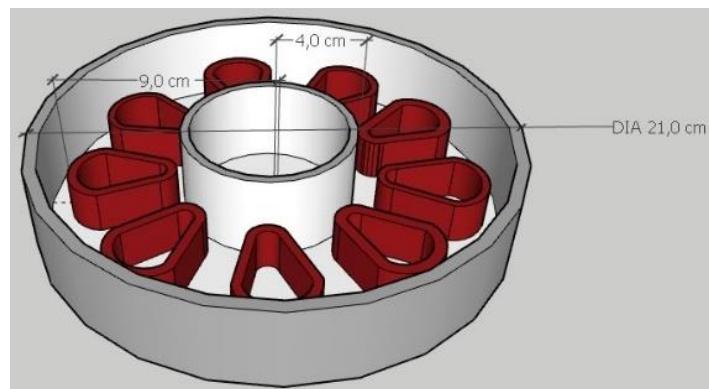
Pada tahap pertama setelah mempelajari studi literatur (Pratama et al., 2021), adalah menentukan jumlah kumparan dan jumlah lilitan setiap kumparan, selanjutnya dilakukan perancangan ukuran dan bentuk *stator*. Inti *stator* dibuat dari bahan fiberglass untuk mengurangi tarikan magnet permanen terhadap inti, bahan fiber ini terdiri dari resin dan katalis sebagai pengeras material. Pada penelitian ini jumlah kumparan dirancang berjumlah 9 (sembilan) kumparan dengan jumlah lilitan 125 (seratus dua puluh lima) lilitan setiap kumparan.

Perancangan desain *coil* yang digunakan adalah *coil* berbentuk trigona (segitiga), terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 1 cm berfungsi sebagai cetakan untuk melilit kumparan (Gambar 3).



Gambar 3. Desain Mal Coil ukuran 5 x 3 x 1 cm

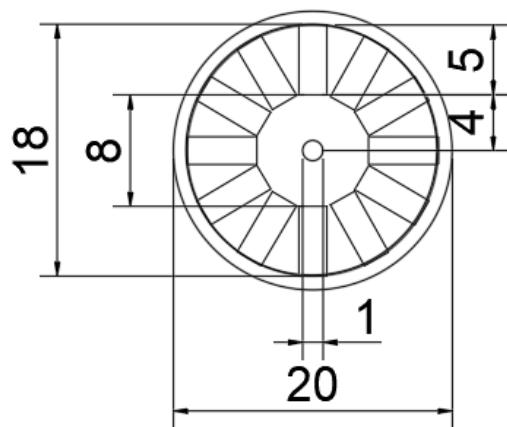
Perancangan desain *stator* yang dibuat adalah berbentuk dengan 9 (sembilan) kumparan, mempunyai diameter keseluruhan 210 mm, dan mempunyai radius dalam 40 mm dan radius luar 90 mm (Gambar 4).



Gambar 4. Desain Stator, dia. 21 x 9 x 4 cm

3.2. Perancangan Rotor

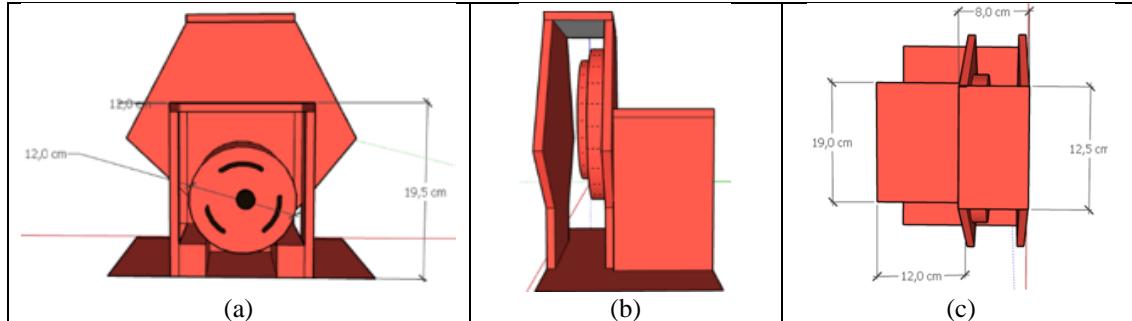
Rotor dipasang magnet permanen sebagai penghasil medan magnet yang akan melingkupi kumparan *stator*. Magnet permanen yang digunakan untuk *rotor* adalah magnet *neodymium* (*NdFeB*) N52 ukuran 50 mm x 20 mm x 5 mm sebanyak 12 (dua belas) buah yang dipasang bentuk melingkar. Penampang *rotor* dirancang menggunakan plat besi dengan diameter 20 cm dan ketebalan 5 mm. Berdasarkan jumlah magnet yang digunakan, maka diperoleh radius luar magnet permanen sebesar 9 cm dan radius dalam magnet permanen sebesar 4 cm (Gambar 5).



Gambar 5. Desain Rotor, dia.luar 20 cm x dia.dalam 18 cm x dan sumbu 8 cm

3.3.Perancangan Generator

Generator berbentuk sebuah bangunan balok dan trapesium, bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan alat ini adalah kayu lapis, yang dihubungkan menggunakan paku. Selain itu, untuk bagian ini juga diperlukan 1 (satu) buah motor induksi yang digunakan sebagai tempat berputarnya poros *rotor*, diameter motor induksi tersebut 12 cm (Gambar 6).



Gambar 6. Desain Penampang Generator
(a) tampak atas, (b) tampak samping, dan (c) tampak isometri

3.4.Perakitan (Fabrikasi) Stator

Pembuatan awal komponen *stator* dimulai dari pembuatan kumparan dan penyusunan kumparan hingga dirangkai menjadi tiga *phase*, spesifikasi *stator* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Komponen *Stator*

Parameter	Besaran (mm)
Diameter <i>Stator</i>	210
Radius Dalam <i>Stator</i>	40
Radius Luar <i>Stator</i>	90
Diameter Kawat Email	0,6

Komponen *stator* tersusun atas kawat email tembaga dengan diameter 0,6 mm, sebuah kumparan tembaga dililit hingga 125 (seratus dua puluh lima) kali, hubungan antar kumparan disusun secara seri menjadi 3 *phase* dengan setiap *phase* terdiri dari 3 kumparan, *stator* akan mempunyai empat kabel keluaran terdapat pada alternator atau generator listrik AC tiga *phase*, (*phase R*), (*phase S*), (*phase T*) dan (netral) (Gambar 7.a). Setelah dirangkai menggunakan rangkaian bintang menjadi 3 *phase*, *stator* kemudian dicor menggunakan resin dan *fiberglass*, Inti *stator* dibuat dari *fiberglass* untuk mengurangi tarikan magnet permanen terhadap inti. Bahan fiber ini terdiri dari resin dan katalis sebagai pengeras material (Gambar 7.b).



Gambar 7. (a) Rangkaian *Stator* 3 phase dan (b) *Stator* yang sudah di Cor Resin

3.5.Perakitan (Fabrikasi) Rotor

Pada *rotor* dipasang magnet permanen sebagai penghasil medan magnet yang akan melingkupi kumparan *stator*, magnet permanen yang digunakan untuk *rotor* adalah magnet *neodymium (NdFeB)* N52 yang dipasang dalam bentuk melingkar, *yoke rotor* dirancang menggunakan plat besi dengan diameter 20 cm dan ketebalan 5 mm.

Tabel 3. Spesifikasi Komponen *Rotor*

Parameter	Besaran (mm)
Diameter Piringan Rotor	200
Radius Dalam Rotor	40
Radius Luar Rotor	90
Panjang Magnet	50
Lebar Magnet	20
Tebal Magnet	5

Awal mula proses pembuatan komponen *rotor* dimulai dari pembuatan piringan *rotor*, proses pembuatan lubang sebagai tempat *bearing*, pemasangan magnet, penyusunan magnet dan perakitan komponen *rotor*. Magnet *rotor* digunakan sebagai komponen penggerak mula dari generator dengan memanfaatkan gaya tolak menolak antara magnet permanen dengan elektromagnet. Magnet *rotor* yang digunakan berjumlah 12 (dua belas) buah. Bagian atas magnet permanen dilapisi dengan resin tipis agar tidak lepas dari inti rotor.



Gambar 8. (a) Susunan Magnet N-S dan (b) *Rotor* yang sudah dilapis dengan Resin

3.6.Pengujian

Pengujian pertama dilakukan di *workShop* Ciheras University Tasikmalaya, *workshop* adalah fasilitas khusus yang digunakan untuk melakukan pengujian dan penelitian di bidang *wind turbine*. Tujuan pengujian ini adalah untuk menguji kinerja dan tegangan yang dihasilkan dari kecepatan yang bervariasi. Pengujian ini melalui beberapa tahap pengujian mulai dari tahap persiapan pengujian, tahap pengujian alat, dan tahap analisis data hasil pengujian.



Gambar 9. (a) *Workshop* perbengkelan dan (b) dan fasilitas pengujian *wind turbine*

Proses pengujian generator dilakukan untuk memvalidasi kinerja dari generator. Proses pengujian dan proses pengambilan data tegangan generator dengan mengambil beberapa data pada masing-masing kecepatan angin serta rpm yang tercapai. Pengambilan data selanjutnya yaitu pengambilan data tegangan antar *phase* dan tegangan *phase* dengan netral. Proses pengambilan data pada saat pengujian dilakukan secara langsung mulai dari data rpm yang menggunakan alat pengukur rpm yaitu alat *tachometer* dan data tegangan yang diambil pada *output* yang dihasilkan generator.

3.7. Hasil Pengujian

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur menggunakan alat pengukur *tachometer* dan *avometer* untuk mendapatkan data. Pengujian dilakukan dengan diameter *rotor* turbin 1 meter dan *tip speed ratio* $\lambda = 6$, mengukur pada *range* rpm tertentu yang dihasilkan oleh angin, yaitu pada rpm 100-300, 400-600, 700-900, 100-1200, dan 1300-1500, selisih yang coba dianalisa yaitu pada *range* rpm 300 saat pengujian dan pengukuran tanpa beban. Hasil pengukuran seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran rpm dan tegangan didapat

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)		
		N-R	N-S	N-T
1 - 3	100 - 300	0,39	0,43	0,44
4 - 6	400 - 600	1,21	1,29	1,24
7 - 8	700 - 900	1,85	1,91	1,88
9 - 11	1000 - 1200	2,55	2,5	2,6
12 - 14	1300 - 1500	3,29	3,22	3,27

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)		
		N-R	N-S	N-T
1 - 3	100 - 300	1,13	1,17	1,18
4 - 6	400 - 600	2,5	2,44	2,44
7 - 8	700 - 900	3,67	3,7	3,66
9 - 11	1000 - 1200	5,02	5,09	5,01
12 - 14	1300 - 1500	6,24	6,25	6,17

Hasil pengujian dalam operasi tanpa beban yang diuraikan dalam tabel, menunjukkan bahwa generator magnet permanen fluks aksial yang dirancang menghasilkan tegangan antar *phase*, pada saat kecepatan maksimal rpm 1300-1500 generator dapat menghasilkan tegangan sekitar 6,17 – 6,25 volt. Hasil ini menunjukkan bahwa generator magnet permanen fluksi aksial yang dirancang telah menghasilkan tegangan sesuai perencanaan. Generator ini dirancang untuk rating tegangan 5 volt, dimana nilai tersebut dapat diperoleh dalam kecepatan rendah, yakni antara rpm 300 sampai dengan rpm 1500. Hasil ini menunjukkan bahwa generator telah bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan.

4. KESIMPULAN

Hasil perancangan generator adalah *stator* dibuat dari bahan fiberglass dengan kumparan sejumlah 9 (sembilan) dan lilitan sejumlah 125 (seratus dua puluh lima) setiap kumparan. Diameter keseluruhan 210 mm, radius dalam 40 mm, dan radius luar 90 mm. *Coil* berbentuk trigona (segitiga) terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 1 cm. *Rotor*

dipasang magnet permanen *neodymium I* (*NdFeB*) N52 ukuran 50 x 20 x 5 mm sebanyak 12 (dua belas) buah dipasang melingkar, penampang *rotor* dirancang dengan diameter 20 cm dan ketebalan 5 mm, radius luar magnet permanen 9 cm dan radius dalam magnet permanen 4 cm. Generator dirancang dengan 1 (satu) buah motor induksi dengan diameter motor induksi 12 cm. Komponen *stator* tersusun atas kawat email tembaga dengan diameter 0,6 mm, sebuah kumparan tembaga dengan lilitan sejumlah 125 (seratus dua puluh lima) kali, susunan seri 3 *phase* dan setiap *phase* terdiri dari 3 kumparan. Pada pengujian didapat hasil dalam operasi tanpa beban, menunjukkan bahwa generator magnet permanen fluks aksial yang dirancang menghasilkan tegangan antar *phase*, pada saat kecepatan maksimal, pada rpm 1300-1500 generator dapat menghasilkan tegangan sekitar 6,17 – 6,25 volt, hasil ini menunjukkan bahwa generator magnet permanen fluks aksial yang dirancang telah menghasilkan tegangan sesuai perencanaan. Generator ini dirancang untuk *rating* tegangan 5 volt, dimana nilai tersebut dapat diperoleh dalam kecepatan rendah, yakni antara rpm 300 sampai dengan rpm 1500 untuk kecepatan angin antara 1 – 3 m/s sampai dengan 12 – 14 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa generator telah bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan dengan menghasilkan tegangan > 6 volt.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Politeknik Kelautan dan Perikanan Pangandaran, Pangandaran.
2. Ciheras University, Lentera Bumi Nusantara, Ciheras, Tasikmalaya.

REFERENCES

- Alim, M. S., Thamrin, S., & W., R. L. (2023). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Alternatif Ketahanan Energi Nasional Masa Depan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, 4(3), 2427–2435.
- Angriawan, F., & Yuhendri, M. (2021). Rancang Bangun Multistage Generator Magnet Permanen Fluksi Aksial. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2(2), 245–249. <https://doi.org/10.24036/jtein.v2i2.180>
- Dunn, A. M., Hofmann, O. S., Waters, B., & Witchel, E. (2011). Cloaking malware with the trusted platform module. *Proceedings of the 20th USENIX Security Symposium*, 395–410.
- Gieras, J.F.; Wang, R.J.; Kamper, M. J. (2004). *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2720-6>
- Haqq, G. A., Hardianto, T., & Sujanarko, B. (2020). Rancang Bangun Generator Permanen Magnet Satu Fasa Dengan Daya 50 Watt Tipe Fluks Aksial Dual Rotor. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.19184/jaei.v6i1.16775>
- Jain, A. (2021). Axial flux permanent magnet disc machines: A Review. *Asian Journal of Multidimensional Research*, 10(11), 224–228. <https://doi.org/10.5958/2278-4853.2021.01075.2>
- Kobayashi, H., Doi, Y., Miyata, K., & Minowa, T. (2009). Design of the axial-flux permanent magnet coreless generator for the multi-megawatts wind turbine. *European Wind Energy Conference and Exhibition 2009, EWEC 2009*, 7, 4736–4744.
- Pratama, P. P., Hadi, W., & Cahyadi, W. (2021). RANCANG BANGUN GENERATOR AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET (AFPM) MULTICAKRAM 1 FASA DENGAN KUTUB BERLAWANAN (N-S) MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN NEODYMIUM IRON BORON (NdFeB). *Transmisi*, 23(2), 58–67. <https://doi.org/10.14710/transmisi.23.2.58-67>
- Prayoga, D. F. (2024). Energi Ramah Lingkungan : Jenis, Manfaat, Dan Tantangan. *Universitas Medan Area*, <https://bktaruna.uma.ac.id/energi-ramah-lingkungan>. <https://bktaruna.uma.ac.id/energi-ramah-lingkungan-jenis-manfaat-dan-tantangan/>

- Rossouw, F. G. (2009). Analysis and Design of Axial Flux Permanent Magnet Wind Generator System for Direct Battery Charging Applications. In *Africa* (Issue March).
- Siagian, P., Suleman, N., Asrim, J. S. P., Tambi, Prihatini, S. E. W. W. O. Z., Budirohmi, A., & Armus, R. (2023). Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif. In *Yayasan Kita Menulis*. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Sidi, P. (2016). Peningkatan Energi Dalam Negeri terhadap Perkembangan Ekonomi Global dapat Meningkatkan Ketahanan Nasional. *Kajian Lemhannas RI*, 27(9), 25. https://www.lemhannas.go.id/images/Publikasi_Humas/Jurnal/Jurnal_Edisi_27_September_2016.pdf
- Solikah, A. A., & Bramastia, B. (2024). Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(1), 27–43. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- Syam, S. (2021). RANCANG BANGUN GENERATOR AKSIAL DENGAN MENGGUNAKAN MAGNET PERMANEN NdFeB PERSEGI PANJANG. *Jurnal Media Elektro*, X(2), 57–64. <https://doi.org/10.35508/jme.v10i2.4753>