



PERUBAHAN DIAMETER KAWAT TEMBAGA PADA KINERJA ENERGI LISTRIK GENERATOR TURBIN ANGIN

Putra Andi Kolala^{a*}, Lathifa Putri Afisna^a, Muhammad Syaukani^a, Muhammad Aksel Syah^a, Ilham Ramadhan Siregar^a, Galang Anugrah^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

*Corresponding authors at: putrakolala@gmail.com (P.A. Kolala) Tel.: +6285156476591

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 15 Agustus 2024

Direvisi pada 14 Februari 2025

Disetujui pada 25 Februari 2025

Tersedia daring pada 28 Februari 2025

Kata kunci:

Generator, angin, kawat tembaga

Keywords:

Generator, wind, copper wire

ABSTRAK

Generator merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang mengubah energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik. Pada penelitian ini, turbin digerakkan oleh angin yang dihasilkan di salah satu puncak gedung di Institut Teknologi Sumatera. Generator dirancang dengan tiga variasi diameter kawat tembaga dalam lilitannya, yaitu 0,15 mm, 0,75 mm, dan 1 mm, untuk mengevaluasi efisiensi daya listrik yang dihasilkan pada putaran rotor rendah. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kawat tembaga dengan diameter 0,15 mm menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 744 V, arus 29,6 A, dan daya 22.022,4 W pada putaran rotor yang tertinggi 1500 RPM. Diameter 0,75 mm menghasilkan tegangan 125 V, arus 4,8 A, dan daya 600 W, sedangkan diameter 1 mm menghasilkan tegangan 92 V, arus 3,4 A, dan daya 312,8 W. Dengan demikian, daya tertinggi dihasilkan oleh kawat berdiameter 0,15 mm, menunjukkan bahwa diameter kawat berpengaruh signifikan terhadap output daya generator turbin angin.

ABSTRACT

A generator is an apparatus made up of parts that are used in electrical power systems. The turbine rotation's mechanical energy is converted into electrical energy by this generator. At the Institut Teknologi Sumatera, wind is directed at the top of a building to create the motion of the turbine. An electrical bore was used to demonstrate this action. Three different diameters are used into the generator's design to maximize efficiency and reduce rotor revolutions. Three different sizes of copper wire—0.15 mm, 0.75 mm, and 1 mm—are used in the generator winding. According to experimental data, the 0.15 mm diameter copper wire produces the highest voltage (744 V) and current (29.6 A) at the maximum rotor rotation (i.e., 1500 RPM), yielding a power output of 22,022.4 W. The power output, current, and voltage for the 0.75 mm diameter copper wire are 600 W, 4.8 A, and 125 V, respectively. Meanwhile, the copper wire with a diameter of 1 mm produces 92 V of voltage, 3.4 A of current, and 312.8 W of power. of these wire modifications, the 0.15 mm diameter wire produces the maximum power.

1. PENGANTAR

Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama manusia, termasuk di Indonesia. Hingga akhir tahun 2022, kapasitas pembangkit listrik di Indonesia meningkat hampir 1,7 kali lipat dibandingkan 10 tahun sebelumnya. Sekitar 62% dari kapasitas pembangkit ini berada di wilayah Jawa-Bali, sedangkan di Pulau Sumatera sekitar 19%, Kalimantan 7%, Sulawesi 10%, Nusa Tenggara 2%, Maluku 4%, dan Papua 2% (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2023). Data ini menunjukkan bahwa pembangunan infrastruktur pembangkitan listrik di Indonesia masih belum merata

Indonesia sangat bergantung pada energi fosil sebagai sumber energi. Akibatnya, ketika Pemerintah pusat menetapkan kenaikan harga gas dan BBM baru-baru ini, dampaknya dirasakan oleh semua orang. Mengingat bahwa energi diperlukan untuk keperluan industri, transportasi, dan rumah tangga, energi dianggap sebagai salah satu cara untuk meningkatkan kesejahteraan sebuah wilayah. Masalah energi alternatif sekarang menjadi topik hangat di masyarakat. Pembangkit listrik Indonesia masih di dominasi oleh tenaga batu bara yang mengisi hingga separuh total kapasitas nasional. Sedangkan, pembangkit listrik berbasis EBT (Energi Baru Terbarukan) hanya memenuhi 15%, atau hanya bertambah sekitar 6 GW dalam 10 tahun terakhir (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2023). Di sisi lain PLN berkomitmen mencapai bauran energi dari EBT sebesar 23% mulai tahun 2025 (PT PLN, 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa PLN masih mempunyai tugas untuk memenuhi sisa kebutuhan EBT.

Dunia ketenaga listrikan memiliki perkembangan yang pesat. Berbagai teknologi listrik terus berkembang. Perangkat listrik sangat berpengaruh sebagai pemanfaatan energi terbarukan. Cara untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan yaitu menggunakan suatu alat yang dapat mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik (statis) yaitu generator. Dari sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan dan memberikan dampak yang minimal terhadap lingkungan, kita dapat memanfaatkan seperti angin, air, matahari dan lain-lain. Konstruksi alat Listrik yang bisa merubah jenis energi mekanik, kimia, maupun cahaya untuk menjadi listrik dapat disebut sumber gaya gerak listrik (GGL) atau statis.

Turbin angin merupakan salah satu jenis EBT yang masih menjadi tantangan nasional dalam pengembangannya. Padahal Badan Litbang ESDM telah mengembangkan peta potensi energi angin Indonesia dengan resolusi 5 km. Peta ini memberikan informasi mengenai karakteristik angin di berbagai wilayah, termasuk kecepatan angin rata-rata, kecepatan maksimum, dan minimum. Kecepatan angin yang rendah tidak menghalangi pemanfaatan energi angin menjadi listrik. Dibutuhkan generator yang dirancang khusus untuk menyesuaikan dengan kecepatan angin lokal. Pembangkit listrik tenaga angin untuk angin berkecepatan rendah beroperasi dengan prinsip yang sama seperti pembangkit lainnya. Penelitian dapat difokuskan pada pengaruh kecepatan angin terhadap *output* daya, pengujian putaran rotor pada generator yang dipengaruhi oleh angin, dan penentuan kesesuaian *output* daya generator dengan kondisi angin (Adam dkk., 2019).

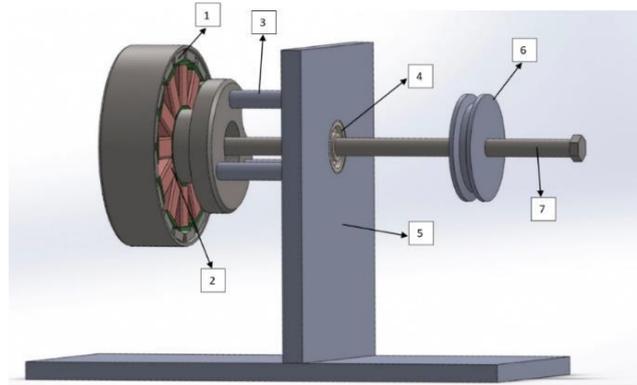
Generator berperan penting dalam mengonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Energi kinetik dan potensial, seperti yang dihasilkan oleh angin, dapat diubah menjadi listrik yang mendukung berbagai aspek kehidupan, termasuk pembangkitan listrik dan industri otomotif. Terdapat dua tipe utama generator: AC, yang menghasilkan tegangan yang siap pakai, dan DC, yang memerlukan komutator untuk menstabilkan tegangan yang dihasilkan (Hendra dkk., 2014). Di sisi lain, efisiensi generator turut serta dalam memengaruhi kinerja sistem. Semakin tinggi efisiensi suatu generator maka kinerja sistem semakin baik (Priambodo & Auliq, 2019).

Berdasarkan paparan sebelumnya maka perlu peninjauan konstruksi pada generator untuk memperoleh efisiensi terbaik pada angin suatu daerah dengan cara memvariasikan diameter kawat tembaga kumparan stator pada generator AC. Hal ini dilaksanakan untuk mengetahui daya optimum yang dihasilkan generator pada kecepatan angin yang rendah.

2. METODE

Penelitian yang dilakukan ini menggunakan pendekatan eksperimental yaitu mengubah variasi diameter dari kawat tembaga pada generator. Diameter penggunaan kawat yang diujikan ialah; 0,15 mm, 0,75 mm dan 1 mm. Penelitian dilaksanakan di Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia.

Generator yang digunakan pada penelitian ini merupakan generator sederhana. Visualisasi komponen beserta sambungannya ditunjukkan pada Gambar 1.



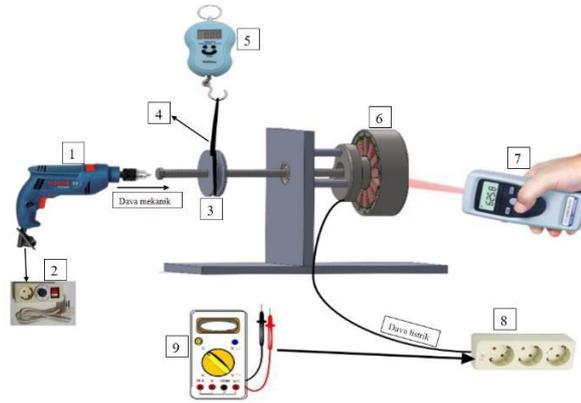
Gambar 1: Generator sederhana dibuat dengan *SolidWork*;

Keterangan Gambar: (1) rotor, (2), stator, (3) baut, (4) bearing, (5) penyanggah, (6) pulley, dan (7) shaft.

Skema pengujian yang dijelaskan melibatkan serangkaian langkah terstruktur untuk menguji dan mengukur kinerja perangkat mekanik dan elektrik. Tahap awal meliputi penyambungan mesin bor listrik ke *dimmer*, yang terhubung ke sumber listrik. *Dimmer* berperan penting dalam skema ini karena memungkinkan penyesuaian intensitas listrik yang mengalir, yang secara langsung mempengaruhi kecepatan putaran mesin bor. Mesin bor dapat digunakan sebagai penggerak mekanik untuk memutar poros generator, yang mempunyai maksud sebagai manifestasi dari kecepatan putaran rotor yang dihasilkan oleh kecepatan angin di salah satu puncak gedung Institut Teknologi Sumatera. Sederhananya hal ini bertindak sebagai pengganti angin dan dalam simulasi turbin angin, yang memungkinkan untuk mengontrol dan menyesuaikan putaran rotor sesuai dengan parameter pengujian yang diinginkan.

Selanjutnya, mesin bor akan memindahkan tenaga mekaniknya ke *shaft* yang terhubung dengan *pulley* dan rotor. *Pulley* ini, yang terkait dengan timbangan gantung digital. Timbangan gantung digital berfungsi untuk mengukur beban yang diterapkan pada sistem. Rotasi *pulley* memfasilitasi pengukuran torsi yang dihasilkan oleh *shaft*, memberikan data penting untuk analisis kinerja. Rotor yang berputar di sekitar stator akan memiliki Putaran Rotor dengan satuan unit RPM (*Revolution Per Minute*) yang diukur dengan *tachometer*. Pengukuran ini penting untuk menentukan kecepatan operasional yang sebenarnya dari perangkat dan untuk memastikan bahwa sistem beroperasi dalam batas yang aman dan efektif.

Dalam tahap akhir pengujian, konstruksi stator akan menghasilkan daya listrik yang kemudian akan diukur tegangan dan arusnya menggunakan multimeter. Ini memungkinkan untuk memverifikasi *output* listrik dari sistem dan memastikan bahwa semua komponen berfungsi sesuai dengan spesifikasi desain. Visualisasi skema pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Skema pengujian

Keterangan Gambar: (1) bor listrik, (2) *dimmer* (3) *pulley*, (4) tali, (5) timbangan gantung digital, (6) rotor, (7) *tachometer*, (8) soket listrik (9) multimeter

Pada penelitian ini, pengukuran daya *output* dihasilkan eksperimen menggunakan persamaan berikut.

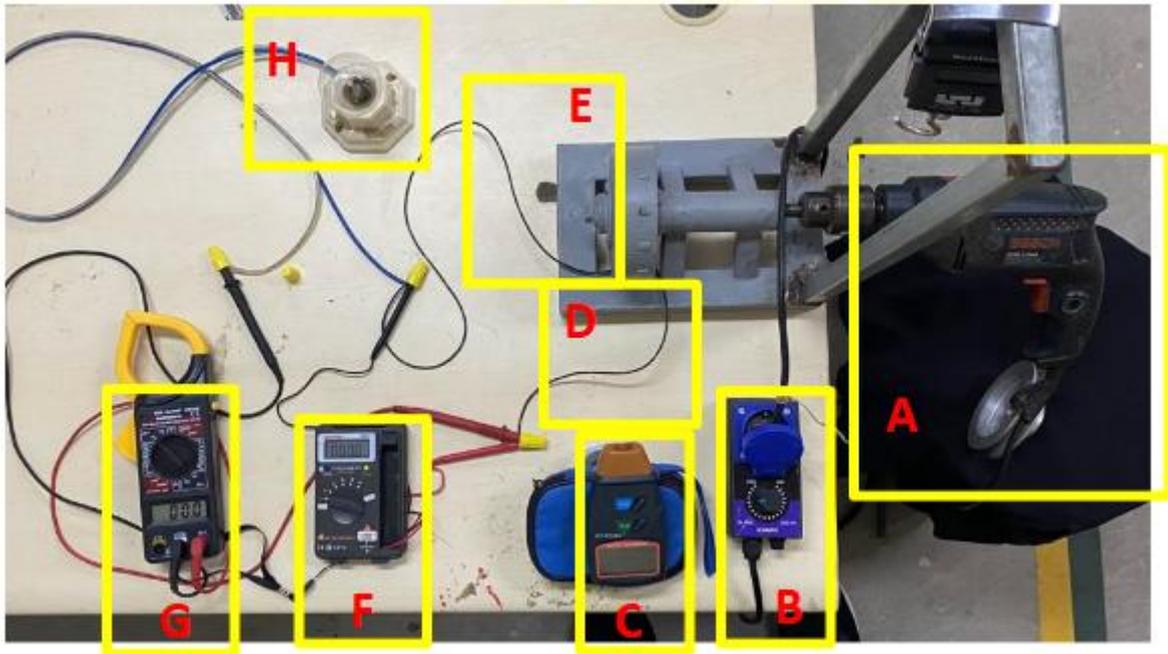
$$P = I \times V \tag{1}$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- P : Daya (*Watt*)
- I : Arus (*A*)
- V : Tegangan (*V*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen telah berhasil dilakukan. skema pengujian bentuk fisik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3: Skema pengujian bentuk fisik

Detail terkait komponen yang digunakan pada Gambar 3 dipaparkan pada tabel berikut.

Tabel 1: Nama dan fungsi alat eksperimen

Huruf	Nama Alat	Fungsi Alat
A	Mesin Bor	Sebagai penggerak untuk memutar generator.
B	<i>Dimmer</i>	sebagai pengatur daya listrik dan/atau kecepatan putaran pada mesin bor
C	<i>Tachometer</i>	Sebagai pengukur kecepatan putaran.
D dan E	Kabel <i>Output</i> Generator	Kabel daya yang dihasilkan generator.
F dan G	Multimeter	Sebagai pengukur tegangan dan arus.
H	Lampu	Sebagai beban listrik

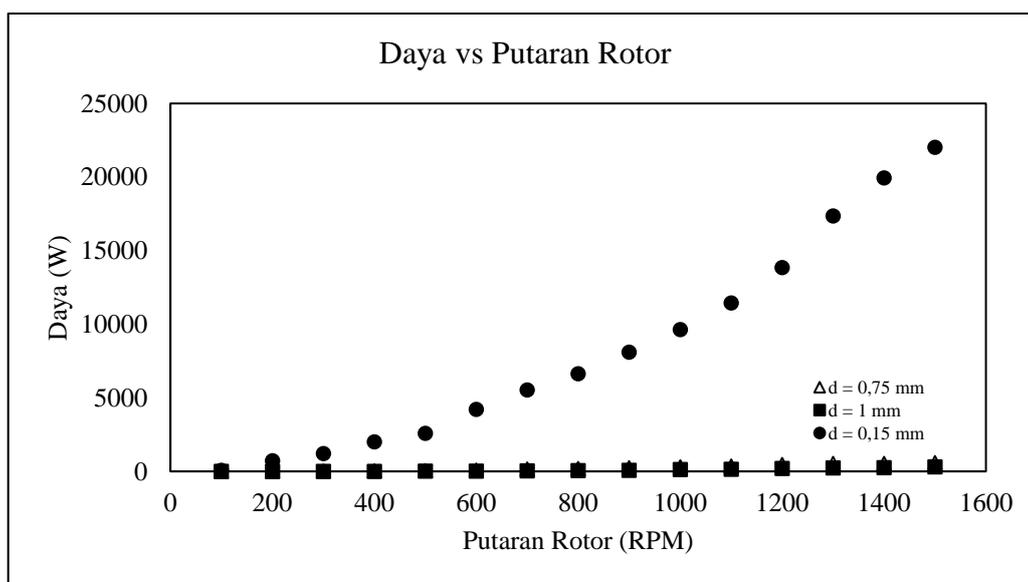
Berdasarkan aktivitas eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh data seperti Putaran Rotor (RPM), Tegangan (V), dan Arus (A). Selanjutnya, perhitungan daya menggunakan persamaan yang telah disebutkan sebelumnya. Tabel berikut menunjukkan data hasil eksperimen beserta kalkulasi daya.

Tabel 2: Parameter Pengujian Kawat Tembaga

Putaran Rotor (RPM)	Diameter Pengujian Kawat Tembaga								
	0,15 mm			0,75 mm			1 mm		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
100	68	1,2	81,6	5	0,1	0,5	2	0,1	0,2
200	140	5,2	728	15	0,5	7,5	8	0,2	1,6
300	190	6,4	1216	24,5	0,9	22,05	12	0,5	6
400	240	8,4	2016	35	1,2	42	19	0,7	13,3
500	270	9,6	2592	47,5	1,4	66,5	23	0,9	20,7
600	340	12,4	4216	55	1,6	88	28	1,1	30,8
700	384	14,4	5529,6	67,5	2,4	162	35	1,2	42
800	420	15,8	6636	75	2,7	202,5	41	1,4	57,4
900	460	17,6	8096	85	3,1	263,5	50	1,5	75
1000	502	19,2	9638,4	93	3,4	316,2	61	2,1	128,1
1100	540	21,2	11448	100	3,7	370	66	2,4	158,4
1200	592	23,4	13852,8	113	4,2	474,6	73	2,7	197,1
1300	668	26	17368	117	4,6	538,2	79	3	237
1400	702	28,4	19936,8	120	4,6	552	85	3,1	263,5
1500	744	29,6	22022,4	125	4,8	600	92	3,4	312,8

Sumber: data eksperimen 2024

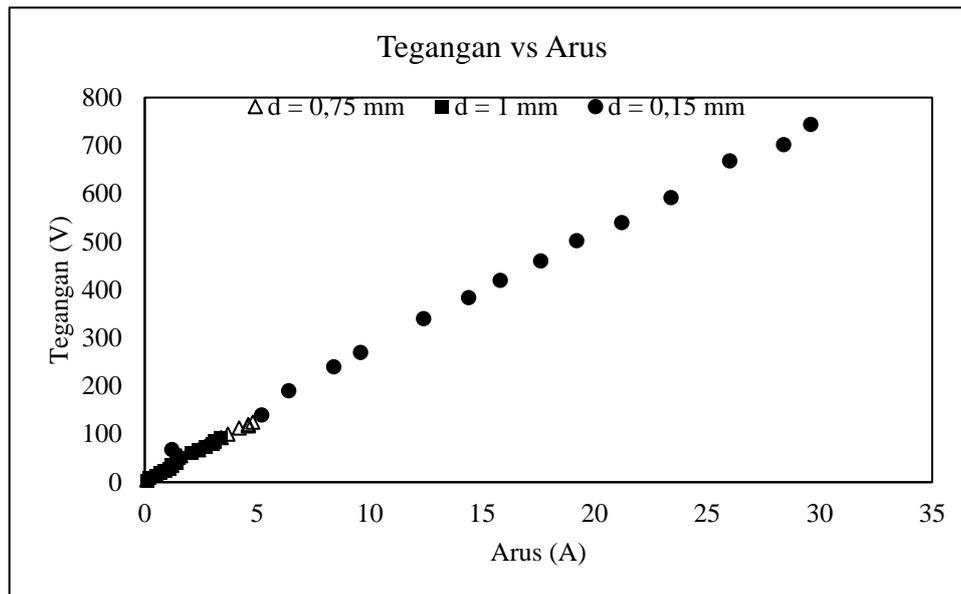
Tabel 2 menunjukkan tendensi bahwa dengan meningkatnya RPM, baik tegangan, arus, dan daya juga meningkat untuk semua diameter kawat. Diameter kawat yang lebih kecil (0,15 mm) menghasilkan daya yang jauh lebih besar dibandingkan diameter yang lebih besar (0,75 mm dan 1 mm). Selanjutnya tabel 2 ditransformasi ke dalam bentuk grafik untuk memudahkan interpretasi.



Gambar 4: Pengaruh putaran rotor terhadap daya pada diameter pengujian 0,15 mm, 0,75 mm dan 1 mm.

Gambar 4 menggambarkan hubungan antara kecepatan rotor (RPM) dan daya listrik yang dihasilkan untuk tiga diameter kawat tembaga atau bisa disebut grafik korelasi antara daya dan putaran rotor. Gambar tersebut menunjukkan tren peningkatan daya seiring putaran rotor meningkat, hal serupa terjadi pada penelitian Sakura dkk., (2017) yang memperoleh bahwa dengan bertambahnya putaran rotor, daya juga semakin besar. Pada putaran rotor 1500 RPM, pengujian kawat tembaga dengan diameter 0,75 mm dan 1 mm sebesar 600 W dan 312,8 W. Pada putaran rotor 100 RPM diameter 0,75 dan 1 mm sebesar 0,5 W dan 0,2 W. Sedangkan korelasi daya dengan putaran

rotor pada pengujian diameter 0,15 mm, daya maksimal yang dihasilkan sebesar 22.022,4 W ketika putaran rotor 1500 RPM dan daya minimal yang dihasilkan 81,6 W ketika putaran rotor 100 RPM. Jika dilihat dari pola pertumbuhan daya, daya meningkat secara eksponensial terhadap putaran rotor, terutama untuk kawat dengan diameter 0,15 mm. Untuk diameter kawat 0,75 mm dan 1 mm, daya meningkat lebih lambat dan jauh lebih kecil dibandingkan dengan kawat 0,15 mm.



Gambar 5: Pengaruh arus terhadap tegangan pada diameter pengujian 0,75 mm dan 1 mm.

Gambar 5 menampilkan korelasi tegangan dengan arus. Gambar 5 menampilkan pola garis lurus, yang menunjukkan bahwa tegangan dan arus memiliki hubungan linier. Ini sesuai dengan Hukum Ohm di mana tegangan berbanding lurus dengan arus. Tren yang ditunjukkan Gambar 5 ialah meningkat, hal serupa juga diperoleh oleh Sakura dkk., (2017). Tegangan maksimum yang diperoleh ialah 125 V dan 92 V untuk diameter 0,75 mm dan 1 mm. Tegangan minimum yang dihasilkan ialah 5 V dan 2 V untuk diameter 0,75 dan 1 mm. Sedangkan arus maksimum yang diperoleh 4,8 A dan 3,4 A untuk diameter 0,75 mm dan 1 mm. Arus minimum yang dihasilkan ialah 0,1 A untuk masing-masing diameter 0,75 mm dan 1 mm. Sedangkan untuk diameter 0,15 mm menampilkan tren yang sama dengan diameter lainnya, namun jarak antar data bersifat renggang, sedangkan dua diameter lainnya mempunyai kerapatan yang tinggi. Diameter 0,15 menunjukkan tegangan dan arus yang lebih besar dibanding dua pengujian diameter lainnya. Tegangan maksimum dan minimum yang diperoleh pada pengujian diameter 0,15 mm ialah 744 V dan 68 V. Di sisi lain arus maksimum dan minimum yang diperoleh ialah 29,6 A dan 1,2 A.

4. KESIMPULAN

Pengujian pengaruh variasi diameter kawat tembaga pada generator turbin angin telah sukses terlaksana. Pengujian dengan kawat diameter 0,15 mm mempunyai keunggulan dari semua sisi baik dari tegangan, arus, dan daya. Hal ini ditunjukkan dengan diperolehnya nilai maksimum pada tegangan, arus beserta daya pada putaran rotor 1500 RPM dengan nilai 744 V, 29,6 A dan 22.022,4 W. Sedangkan nilai minimum yang diperoleh 68 V, 1,2 A, dan 81,6 W untuk tegangan, arus beserta daya yang dihasilkan pada putaran rotor 100 RPM. Di sisi lain pertambahan ukuran diameter menunjukkan penurunan pada semua variabel dibanding diameter 0,15 mm, baik pada pengujian diameter kawat 0,75 mm dan 1 mm. Pengujian kawat dengan diameter 0,75 mm mempunyai tegangan, arus beserta daya maksimum pada putaran rotor 1500 RPM dengan nilai 125 V, 4,8 A, dan 600 W. Sebaliknya, kondisi minimum diperoleh pada putaran rotor 100 RPM dengan nilai 5 V, 0,1 A, dan 0,5 W untuk tegangan, arus beserta daya masing-masingnya. Pada pengujian diameter 1 mm diperoleh nilai yang lebih kecil dibanding diameter sebelumnya, pada keadaan maksimum yakni putaran rotor 1500 RPM nilai tegangan, arus, dan daya menunjukkan 92 V, 3,4 A, dan 312 W. Sedangkan kondisi terendahnya pada putaran rotor 100 RPM mempunyai nilai 2 V, 0,1 A, dan 0,2 W untuk tegangan, arus beserta daya yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil diameter kawat yang digunakan, semakin optimum *output* yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc. (*Rekayasa Elektrikal dan Energi*): *Jurnal Teknik Elektro*, 2(1).
- Hendra, Syaiful, M., & Indriani, A. (2014). Pembuatan Generator Sinkron Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dari Magnet Motor Bekas Di Desa Kemumu Bengkulu Utara. *Dharma Raflesia: Jurnal Ilmiah Pengembangan dan Penerapan IPTEKS*, 12(2).
- Priambodo, T., & Auliq, M. A. (2019). Analisa Perhitungan Efisiensi Daya Turbine Generator Siemens ST-300 7 MW di PTPN XI (Unit) PG. Semboro. *Jurnal UNMUH*.
- PT PLN. (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021 -2023*.

- Sakura, A., Supriyanto, A., & Surtono, A. (2017). Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber Energi Listrik Nanohidro. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 129–134.
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. (2023). Outlook Energi Indonesia 2023. *Biro Fasilitasi Kebijakan Energi Dan Persidangan*.