

ANALISIS OUTPUT GENERATOR TURBIN ANGIN SAVONIUS BERDASARKAN KECEPATAN ANGIN

**Ramadhani Setyobudi^a, Siti Chalimah^a, Amajida Sadrina^a, M Hendra Budi Satria^a,
Tria Puspa Sari^a**

^a Teknik Mesin, Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

*Email Korespondensi: tria.puspa.tm@upnjatim.ac.id

[Phone: 089508266298](tel:089508266298)

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan output generator berdasarkan kecepatan angin. Dalam sistem pembangkit listrik tenaga angin, kecepatan angin merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi generator. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kecepatan angin, daya generator, tegangan, dan arus yang diperoleh dari pengamatan langsung pada berbagai kondisi kecepatan angin. Kecepatan angin yang diobservasi berkisar antara 3 m/s hingga 4,5 m/s, dengan daya generator yang dihasilkan bervariasi antara 0,2452 W hingga 1,6332 W. Selain itu, data tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator juga dicatat untuk setiap kecepatan angin. Tegangan yang diukur berkisar antara 0,4 V hingga 1,315 V, sedangkan arus yang dihasilkan berkisar antara 0,613 A hingga 1,242 A. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi hubungan antara kecepatan angin dan output generator, serta menghitung efisiensi generator berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kecepatan angin dan daya keluaran generator. Efisiensi generator juga bervariasi sesuai dengan perubahan kecepatan angin, dengan beberapa kecepatan angin tertentu menunjukkan efisiensi yang sangat tinggi.

Keywords: Output generator, kinerja generator, kecepatan angin, efisiensi generator

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan fundamental bagi hampir setiap aspek kehidupan modern. Hampir semua orang, baik individu maupun sektor industri, bergantung pada pasokan listrik yang stabil untuk menjalankan berbagai kegiatan sehari-hari. Dalam rumah tangga, listrik digunakan untuk penerangan, alat-alat rumah tangga, komunikasi, dan hiburan. Dalam dunia industri, listrik menjadi sumber energi utama yang menggerakkan mesin-mesin produksi, peralatan teknologi, serta sistem distribusi yang efisien. Dengan berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil, diperlukan sumber energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan energi tersebut [1]. Energi angin adalah salah satu jenis energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang dapat diproduksi kembali secara cepat melalui proses alami. Energi angin memiliki sejumlah kelebihan, seperti sumber yang relatif mudah didapat dan dapat diperoleh secara gratis. Selain itu, energi angin menghasilkan limbah yang sangat minim, tidak mempengaruhi suhu dan iklim bumi secara global, dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi harga bahan bakar [2].

Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan dilakukan melalui penggunaan turbin angin, yang berfungsi untuk mengonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik. Turbin angin, sebagai alat utama dalam pemanfaatan energi angin, berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Teknologi ini telah terbukti efektif dalam menghasilkan listrik dengan dampak lingkungan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan sumber energi konvensional seperti bahan bakar fosil. Penggunaan turbin angin membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi, menjadikannya solusi yang lebih ramah lingkungan dalam memenuhi kebutuhan energi dunia [3]. Secara umum, terdapat dua jenis turbin angin yang umum digunakan, yaitu turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu horizontal (*horizontal axis wind turbine*). Keduanya memiliki desain dan karakteristik yang berbeda, disesuaikan dengan kondisi lingkungan dan kebutuhan energi di lokasi tertentu. Turbin angin sumbu vertikal memiliki bilah yang berputar di sekitar poros vertikal, memungkinkan turbin ini menangkap angin dari segala arah tanpa perlu menyesuaikan arah bilahnya terhadap angin. Salah satu keunggulan utama turbin angin tipe ini adalah kemampuannya untuk beroperasi pada kecepatan angin yang rendah, yang menjadikannya ideal untuk digunakan di lokasi dengan angin yang tidak terlalu kuat atau bervariasi. Selain itu, turbin vertikal juga lebih mudah dipasang dan dioperasikan di area perkotaan atau lokasi dengan ruang yang terbatas, karena tidak memerlukan menara tinggi seperti turbin horizontal.

Sementara itu, turbin angin sumbu horizontal biasanya lebih efisien dalam menghasilkan daya pada kecepatan angin yang tinggi dan sering digunakan di area terbuka dengan aliran angin yang konsisten. Meskipun turbin horizontal lebih umum digunakan dalam skala besar, keunggulan turbin vertikal dalam menangani angin rendah membuatnya cocok untuk aplikasi di lokasi yang lebih terpencil atau dalam skala kecil, seperti rumah tangga atau komunitas lokal yang ingin memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi alternatif.[4].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis output generator dari turbin angin Savonius yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan angin. Turbin angin Savonius merupakan jenis turbin sumbu vertikal yang dirancang untuk bekerja optimal pada kecepatan angin rendah hingga sedang. Fokus utama penelitian ini adalah mempelajari bagaimana perubahan kecepatan angin memengaruhi daya yang dihasilkan oleh generator. Data yang dikumpulkan mencakup kecepatan angin dan output daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada setiap kecepatan angin tertentu. Dengan menggunakan data ini, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi korelasi antara kecepatan angin dan output daya.

1.1 Energi Angin

Energi merupakan besaran yang tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya. Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha, yang terbagi menjadi energi kinetik dari benda yang bergerak seperti turbin angin, dan energi potensial dari zat-zat yang memiliki energi tersimpan seperti energi mekanik dan energi listrik. [5]. Energi angin merupakan energi yang dapat dianggap berasal dari energi matahari melalui proses radiasi panasnya di permukaan bumi yang tidak merata. Ini menyebabkan perbedaan temperatur dan rapat massa udara di permukaan bumi, yang menghasilkan perbedaan tekanan udara dan akhirnya menyebabkan aliran udara [6].

1.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan sistem konversi energi yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik melalui proses mengubah energi angin menjadi putaran mekanis pada rotor, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik menggunakan generator. Sistem ini berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari angin menjadi berbagai bentuk energi [7].

1.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal merupakan jenis turbin angin yang pertama diciptakan oleh manusia. Turbin modern ini menggunakan desain aerodinamis pada rotor yang tegak lurus, yang memungkinkan untuk menghasilkan momen gaya yang optimal dalam menangkap energi angin. Keuntungan dari turbin angin sumbu vertikal ini termasuk desain menara yang sederhana dan ekonomis. Turbin ini dapat diterapkan di daerah dengan kecepatan angin yang bervariasi dan dapat memanfaatkan angin dari berbagai arah, tanpa memerlukan mekanisme kontrol yaw. Turbin angin sumbu vertikal juga memiliki kecepatan angin awal yang lebih rendah daripada turbin angin horizontal, dan mengurangi resiko kerusakan saat angin bertiup kencang [8].

1.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius

Turbin angin sumbu vertikal merupakan tipe yang paling sederhana dan merupakan versi besar dari anemometer. Turbin angin Savonius berputar karena gaya dorong angin, sehingga kecepatan rotornya tidak akan melebihi kecepatan angin. Turbin ini cocok untuk aplikasi yang berdaya rendah dan biasanya dalam kondisi kecepatan angin yang bervariasi [9].

1.5 SKEA

Sistem konversi energi angin (SKEA) adalah sistem yang dirancang untuk mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik pada poros turbin, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Komponen-komponen yang digunakan adalah turbin angin, poros, mekanisme penggerak, generator, dan sistem penyimpanan energi.

1.6 Perhitungan

1. Daya angin

Daya angin adalah bentuk energi yang diperoleh melalui proses perputaran bilah kincir angin ketika angin bertiup. Ketika angin berhembus, ia berinteraksi dengan bilah kincir angin yang ada pada kincir tersebut. Interaksi ini bisa berupa dorongan atau tarikan dari angin terhadap bilah kincir. Akibat dorongan atau tarikan ini, bilah kincir berputar, dan gerakan putar tersebut mengubah energi angin

menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian bisa digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pembangkitan listrik atau penggerak mesin. Konversi energi kinetik dari angin menjadi putaran mekanis pada kincir angin merupakan dasar dari pembangkitan daya angin untuk menghasilkan listrik melalui generator [10].

$$W = \frac{1}{2} V^2 \rho A V \quad (1)$$

2. Daya turbin

Daya yang dihasilkan oleh kincir angin (Pout) adalah energi yang diproduksi oleh kincir karena adanya angin yang mengalir melintasi sudu atau bilah kincir. Proses ini mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanis pada kincir angin. Daya output ini merupakan hasil dari gaya yang diterima oleh sudu kincir dari aliran udara, yang kemudian digunakan untuk melakukan pekerjaan mekanis seperti memutar poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Dalam pengembangan teknologi energi angin, penting untuk memahami dan mengoptimalkan efisiensi konversi energi dari angin menjadi daya mekanis untuk mencapai produktivitas yang maksimal [10].

$$P = C_p \cdot W \quad (2)$$

3. Daya generator

Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dalam suatu interval waktu tertentu disebut sebagai daya generator. Daya ini mencerminkan jumlah total energi listrik yang dapat diproduksi oleh generator selama periode waktu yang ditentukan. Setiap generator memiliki kapasitas tertentu yang menentukan seberapa banyak energi listrik dapat dihasilkan dalam satuan waktu, seperti per jam atau per menit. Daya generator dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk desain mesin, kecepatan putar, dan efisiensi konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Oleh karena itu, daya generator adalah ukuran penting dalam menentukan seberapa efektif generator dalam menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan untuk berbagai aplikasi, dari penggunaan rumah tangga hingga industri besar. Generator berfungsi dengan mengubah energi mekanik, yang biasanya berasal dari sumber eksternal seperti turbin angin, menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator menghasilkan listrik dalam bentuk tegangan bolak-balik. [11].

$$P_g = V \times I \quad (3)$$

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu studi literatur dan pendekatan eksperimental. Studi literatur berperan sebagai dasar teoritis dalam analisis hasil eksperimen. Metode ini melibatkan pengumpulan dan kajian literatur atau penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Dengan memahami hasil-hasil dari penelitian sebelumnya, peneliti dapat membandingkan hasil eksperimen yang dilakukan dengan standar atau temuan yang telah ada. Studi literatur juga memberikan wawasan tambahan tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian sebelumnya, sehingga dapat memandu peneliti dalam menyusun metode eksperimen yang lebih akurat. Pada akhirnya, perbandingan antara hasil eksperimental dan literatur yang ada membantu dalam merumuskan kesimpulan yang lebih valid dan tepat.

Pendekatan eksperimental, di sisi lain, merupakan metode kunci dalam pengumpulan data primer yang spesifik terkait topik penelitian. Melalui eksperimen, data empiris yang langsung berkaitan dengan variabel yang diteliti, seperti hubungan antara kecepatan angin dan output daya generator, dapat diperoleh. Metode ini memberikan informasi langsung tentang bagaimana sistem turbin angin bekerja dalam kondisi nyata, yang memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola, tren, dan hubungan yang mungkin tidak terdeteksi hanya melalui kajian literatur. Kombinasi dari studi literatur dan eksperimen memastikan bahwa penelitian ini tidak hanya bergantung pada teori, tetapi juga didukung oleh bukti empiris, sehingga dapat menghasilkan kesimpulan yang lebih komprehensif dan dapat diandalkan.

Turbin angin sumbu vertikal dalam penelitian ini dirancang menggunakan bilah berbahan polyvinyl chloride (PVC) dengan ketebalan 3 mm dan sudut kelengkungan 110°. Bahan PVC dipilih karena ringan dan tahan terhadap berbagai kondisi cuaca. Untuk poros turbin, digunakan poros berbahan aluminium dengan diameter 8 mm dan tinggi 600 mm, yang dirancang untuk menahan rotasi bilah dengan stabilitas yang baik. Sementara itu, poros yang menghubungkan turbin dengan generator dibuat dengan diameter 6 mm dan tinggi 100 mm, juga berbahan aluminium untuk memastikan ketahanan dan efisiensi transmisi tenaga mekanik ke generator. Pada sistem transmisi, digunakan timing belt tipe GT2 M6 dengan panjang 280 mm untuk mentransfer putaran dari poros turbin ke generator. Timing belt ini dipilih karena kemampuannya menjaga sinkronisasi putaran dengan presisi tinggi. Untuk menghasilkan listrik, turbin angin dilengkapi dengan generator berukuran 24V, yang dihubungkan melalui sistem transmisi tersebut. Penggunaan generator ini memungkinkan turbin angin sumbu vertikal untuk menghasilkan daya listrik sesuai dengan kecepatan angin yang ditangkap, dan komponen-komponen yang digunakan dirancang untuk bekerja secara optimal dalam menghasilkan energi dari angin.

3. HASIL DAN DISKUSI

Setelah pendekatan eksperimental dengan turbin angin sumbu vertikal dilakukan, didapatkan data hasil pengujian pada tabel 1. Pada penelitian yang mencatat kecepatan angin antara 3 m/s hingga 4 m/s, variasi kecepatan angin ini sangat penting untuk dianalisis karena memiliki dampak langsung terhadap performa turbin angin, khususnya daya yang dihasilkan oleh turbin dan generator. Kecepatan angin dalam rentang ini umumnya tergolong rendah hingga sedang, yang ideal untuk pengujian turbin angin sumbu vertikal, terutama jenis yang dirancang untuk beroperasi pada kecepatan angin rendah seperti turbin angin Savonius.

Pada kecepatan angin 3 m/s, turbin mulai berputar dengan putaran yang stabil, namun daya listrik yang dihasilkan oleh generator mungkin belum maksimal. Pada titik ini, energi kinetik yang ditangkap oleh bilah turbin terbatas, dan efisiensi konversi dari energi angin menjadi energi mekanik masih relatif rendah. Di sisi lain, ketika kecepatan angin mencapai 4 m/s, daya yang dihasilkan oleh turbin cenderung meningkat secara signifikan. Bilah turbin dapat menangkap lebih banyak energi angin, meningkatkan putaran poros dan menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi dari generator.

Perbedaan antara daya yang dihasilkan pada kecepatan angin 3 m/s dan 4 m/s dapat dijadikan indikator untuk mengevaluasi efisiensi turbin dan generator, serta mendeteksi titik optimal operasi turbin angin. Data ini penting untuk memahami bagaimana perubahan kecil dalam kecepatan angin memengaruhi output daya dan efisiensi keseluruhan sistem, serta untuk menentukan desain turbin dan generator yang optimal dalam berbagai kondisi angin.

Tabel 1: Data hasil pengujian

Kecepatan angin (m/s)	Putaran Poros (RPM)	Tegangan (V)	Arus (I)
3	55	0,4	0,613
3,1	74,7	0,521	0,696
3,3	89	0,425	0,63
3,5	98,2	0,933	0,979
3,7	103,8	0,513	0,69
3,9	105,7	1,044	1,055
4,1	117,2	0,619	0,763
4,3	120,4	1,215	1,163
4,5	129,2	1,315	1,242

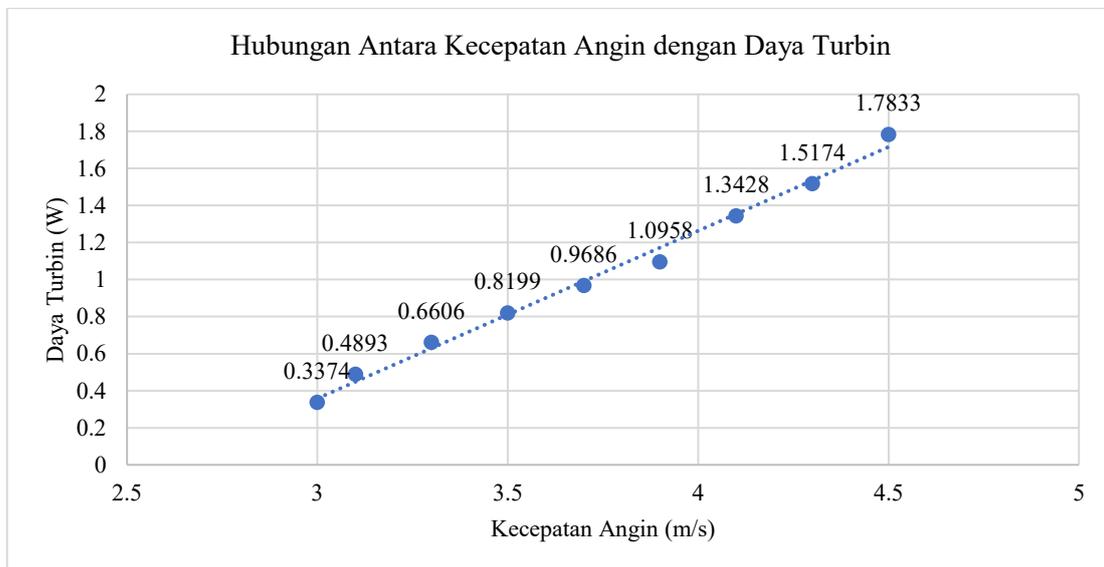
Data yang didapatkan pada tabel 1 selanjutnya akan diolah yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 2. Pengolahan data lebih lanjut mengungkapkan hubungan antara daya angin, torsi, koefisien daya, daya turbin, daya generator, dan efisiensi sistem. Pada kecepatan angin rendah dengan daya angin sebesar 2,8449 W, efisiensi sistem tercatat sebesar 9,4%, dengan daya turbin mencapai 0,2685 W dan daya generator sebesar 0,2452 W. Namun, seiring dengan peningkatan daya angin menjadi 9,6017 W, efisiensi sistem mengalami peningkatan signifikan hingga mencapai 20%, dengan daya turbin mencapai 1,9201 W dan daya generator sebesar 1,6332 W. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin yang lebih tinggi, sistem turbin angin bekerja jauh lebih efisien dalam mengonversi energi angin menjadi energi listrik. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan efisiensi sistem secara keseluruhan, diikuti oleh peningkatan torsi dan koefisien daya seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Hasil dari pengolahan data ini memperlihatkan performa optimal turbin angin sumbu vertikal yang diuji, yang tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2: Data hasil pengolahan

Daya angin (W)	Torsi (Nm)	Koefisien daya	Daya turbin (P)	Daya generator (P _g)	Efisiensi (%)
2,9304	0,0586	0,1151	0,3374	0,2452	9,4%

3,2333	0,0626	0,1513	0,4893	0,3626	12,4%
3,9004	0,0709	0,1694	0,6606	0,2678	13,7%
4,6534	0,0798	0,1762	0,8199	0,9134	14,0%
5,4976	0,0891	0,1762	0,9686	0,3540	13,8%
6,4381	0,0990	0,1702	1,0958	1,1014	15,3%
7,4803	0,1095	0,1795	1,3428	0,4723	17,7%
8,6292	0,1204	0,1758	1,5174	1,4130	18,6%
9,8902	0,1319	0,1803	1,7833	1,6332	20,0%

3.1 Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Daya Turbin

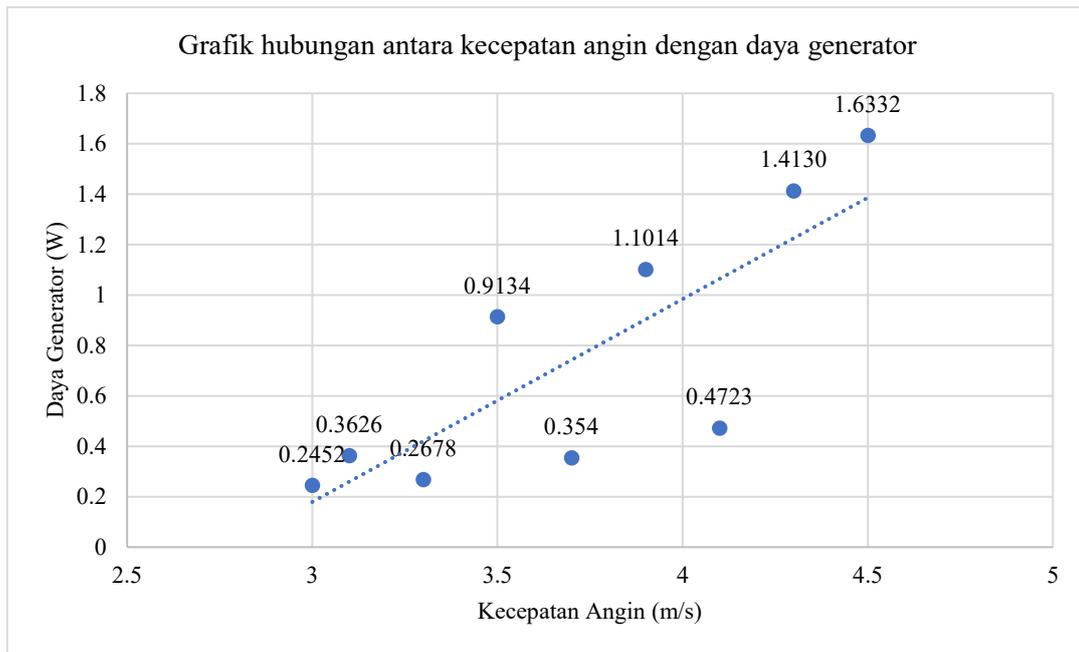


Gambar 1: Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Daya Turbin

Dalam analisis yang ditunjukkan pada Gambar 2, terdapat hubungan yang jelas antara kecepatan angin dan daya yang dihasilkan oleh turbin. Grafik menunjukkan bahwa daya turbin meningkat secara proporsional seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Hal ini berarti bahwa semakin tinggi kecepatan angin, semakin cepat pula turbin berputar, dan akibatnya daya yang dihasilkan oleh turbin juga semakin besar.

Untuk lebih memahami hubungan ini, mari kita lihat data konkret yang disajikan. Pada kecepatan angin 3 m/s, daya yang dihasilkan oleh turbin tercatat sebesar 0,34 watt. Ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin ini, turbin berputar dengan kecepatan tertentu yang menghasilkan daya sebesar 0,34 watt. Namun, ketika kecepatan angin meningkat menjadi 4,5 m/s, daya yang dihasilkan oleh turbin meningkat secara signifikan menjadi 1,78 watt. Peningkatan daya ini sejalan dengan prinsip dasar bahwa kecepatan angin yang lebih tinggi memberikan lebih banyak energi kinetik kepada turbin. Dengan kata lain, semakin cepat angin bertiup, semakin banyak energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi mekanik oleh turbin. Proses ini mengarah pada peningkatan daya yang dihasilkan oleh turbin.

3.2 Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Daya Generator



Gambar 2: Grafik Hubungan Antara Kecepatan Angin Dengan Daya Generator

Grafik selanjutnya yaitu membahas tentang hubungan antara kecepatan angin dengan daya generator. Pada grafik didapatkan daya generator sebesar 0,2452 pada saat kecepatan angin mencapai 3 m/s dan daya generator sebesar 1,6332 pada saat kecepatan angin mencapai 4,5 m/s. Kalau dilihat dari 2 data tersebut saat kecepatan angin terendah dan terbesar yaitu mengalami kenaikan. Tetapi pada saat kecepatan angin pada angka 3,3 m/s, 3,7 m/s, dan 4,1 m/s daya generator mengalami penurunan. Pada saat angin memutar turbin, daya turbin tidak langsung disalurkan ke generator tetapi ditransmisikan melalui *pulley* dan *belt*. Di transmisi inilah sering terjadi kehilangan daya dikarenakan beberapa faktor. Faktornya antara lain yaitu penempatan *pulley* dan *belt* yang kurang presisi, terjadinya selip pada *belt* dengan *pulley*, dan dimensi komponen transmisi yang terlalu kecil. Maka dari itu, mentransmisikan daya dengan baik juga penting agar tidak terjadi kehilangan daya.

4. KESIMPULAN

- Kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap output yang dihasilkan generator. Hubungan antara keduanya adalah berbanding lurus. Pada saat angin menabrak bilah turbin, itu menyebabkan poros turbin akan berputar sehingga saat kecepatan angin yang menabrak turbin semakin kencang maka didapat putaran poros turbin juga meningkat dan nantinya putaran generator akan meningkat. Putaran generator yang meningkat menyebabkan output dari generator ikut meningkat.
- Faktor lain yang mempengaruhi output generator yaitu metode penyaluran daya. Karena turbin angin ini menggunakan tipe transmisi *pulley* dan *belt*, maka rawan terjadi selip saat *pulley* memutar *belt*. Penempatan *pulley* yang kurang presisi juga dapat menyebabkan daya hilang pada saat proses transmisi daya. Dapat dilihat pada data, daya generator yang didapat menjadi berkurang dibanding daya turbin karena daya yang hilang pada saat proses transmisi daya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Usman, Kadaryono, M. D. Hariska, and M. Ali, "Perencanaan Lampu Penerangan Jalan Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal Savonius," *J. FORTECH*, pp. 99–105, 2023.
- [2] R. J. Ariazena, A. Suprayitno, and Gunawan, "PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (TASV) SAVONIUS 3 SUDU," *J. Teknol.*, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.wastukencana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/141>
- [3] Y. L. Xu, Y. X. Peng, and S. Zhan, "Optimal blade pitch function and control device for high-solidity straight-bladed vertical axis wind turbines," *Appl. Energy*, vol. 242, no. November 2018, pp. 1613–1625, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.03.151.
- [4] M. Firman, "Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L dengan Variasi Jarak Overlap," vol.

- 8, pp. 28–35, 2024.
- [5] K. D. Octari, “Analisis Pemanfaatan Energi Angin sebagai Pembangkit Listrik Alternatif pada Turbin Angin Sumbu Vertikal dan Horizontal,” vol. 8, pp. 23497–23502, 2024.
- [6] A. Nurdianto, “Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius,” *J. Tek. Elektro*, vol. 09, no. 01, pp. 711–717, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/download/29892/27395>
- [7] P. Siagian and Fahreza, “Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle to Grid (V2G),” *Semin. Nas. Teknol. Komput. Sains*, pp. 356–361, 2020, [Online]. Available: <https://prosiding.seminar-id.com/index.php/sainteks>
- [8] Z. Zulfikar, P. Harahap, and H. A. Laksono, “Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Generator Dc,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3646.
- [9] A. M. Siregar and F. Lubis, “Uji Keandalan Prototype Turbin Angin Savonius Tipe-U,” *J. Ilm. “MEKANIK” Tek. Mesin ITM*, vol. 5, no. 1, pp. 39–40, 2019.
- [10] I. Arif, “Analisis Dan Pengujian Kinerja Turbin Angin Savonius 4 Sudu,” *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 3, no. 2, p. 46, 2019, doi: 10.31543/jtm.v3i2.307.
- [11] Gunawan, “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pembaruan Menggunakan Tenaga Generator Ac,” *MeSTeRI*, vol. 1, no. 1, pp. 33–40, 2022.