

Analisis Efisiensi Turbin Angin *Vertical Savonius* dan *Omnidirectional* Menggunakan *Software Ansys*

Bima Mahendra^{1,*}, Arif Kurniawan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Energi Terbarukan
Turbin Angin Vertikal
Savonius
Omnidirectional

ABSTRAK

Sebagian besar listrik di Indonesia masih bergantung pada pembangkit konvensional seperti PLTU yang menyumbang sekitar 43% pasokan. Kondisi ini berdampak pada daerah terpencil yang sulit mengakses listrik. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa turbin angin vertikal jenis *Savonius helix* dan *Omnidirectional* sebagai solusi pembangkit listrik skala mikro. Analisis dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan ANSYS dengan parameter torsi, daya, dan efisiensi. Hasil menunjukkan kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap torsi dan daya kedua turbin. Turbin *Omnidirectional* menghasilkan torsi positif lebih awal pada 6 m/s sebesar 0,21 Nm dan mencapai puncak 1,01 Nm pada 11 m/s, lalu turun menjadi 0,72 Nm pada 14 m/s dengan daya maksimum 51,99 W. Turbin *Savonius* menghasilkan torsi terus meningkat dari -0,65 Nm pada 1 m/s hingga 4,92 Nm pada 14 m/s dengan daya maksimum 341,18 W. Perbedaan efisiensi dipengaruhi faktor aerodinamika, jumlah sudu, dan luas area sapuan angin. Desain sederhana turbin *Savonius* memberikan kinerja stabil pada kecepatan angin tinggi sedangkan kompleksitas sudu turbin *Omnidirectional* membatasi efisiensi pada kecepatan tinggi. Temuan ini menunjukkan pemilihan desain turbin perlu disesuaikan dengan karakteristik kecepatan angin lokasi pemasangan untuk memaksimalkan konversi energi.

* **Corresponding author:**
Bima Mahendra (email: bmahendra4140@gmail.com)

Diterima: 12 Agustus 2025

Disetujui: 16 September 2025

Dipublikasikan: 11 November 2025

1 Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik menjadi elemen utama yang mendukung perkembangan masyarakat modern Indonesia masih bergantung pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebesar 43%, Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGu) berada di posisi 2, Pembangkit listrik Tenaga Air (PLTA) pada posisi 3, dan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) pada posisi 4, dan pembangkit listrik lainnya tidak lebih dari 20% [1]. Namun, banyak daerah terpencil belum teraliri listrik karena sulitnya akses dan keterbatasan sumber daya untuk pembangkit konvensional. Kondisi ini menciptakan kesenjangan energi yang menghambat perkembangan sektor pendidikan, kesehatan, dan ekonomi [2].

Faktor utama yang menjadi kendala dalam penyediaan listrik di daerah terpencil adalah sulitnya akses ke wilayah tersebut serta keterbatasan sumber daya lokal [3]. Pembangkit listrik tenaga uap membutuhkan bahan bakar seperti gas bumi atau panas bumi, sedangkan pembangkit listrik tenaga air memerlukan pasokan air dan infrastruktur bendungan. Keterbatasan ini menyebabkan kesenjangan energi dan menghambat perkembangan sektor penting seperti pendidikan, kesehatan, dan ekonomi [4].

Pengembangan energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) masih sangat terbatas di Indonesia. Padahal, potensi energi angin tersebar luas di berbagai wilayah dan dapat dimanfaatkan hampir sepanjang tahun [5]. Turbin angin dapat menjadi solusi inovatif untuk menyediakan listrik di daerah yang tidak

memungkinkan pembangkit lain [6]. Selain itu, turbin angin memiliki fleksibilitas penggunaan baik untuk skala besar maupun skala individu. Turbin angin skala kecil dapat dipasang di rumah untuk mengurangi ketergantungan pada pasokan PLN. Keunggulan turbin angin lebih menonjol dibandingkan panel surya yang hanya bekerja saat ada sinar matahari [7]. Turbin angin memiliki prinsip kerja yang dapat berlangsung terus menerus selama angin berhembus serta menawarkan solusi energi yang berkelanjutan dan lebih efisien [4].

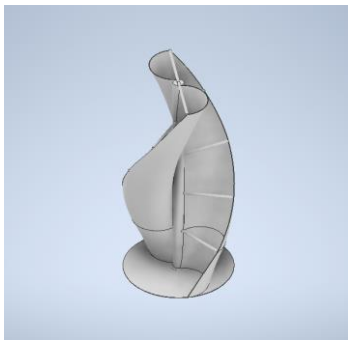
Turbin angin memiliki berbagai model dengan karakteristik teknis yang berbeda. Dua model turbin angin vertikal yang unggul untuk kondisi angin Indonesia adalah *Savonius* dan *Omnidirectional*. Turbin Savonius bekerja dengan prinsip *drag force* dan sudu berbentuk S untuk menangkap angin dari segala arah. Turbin *Omnidirectional* mampu menangkap angin 360° tanpa sistem *tracking* [8]. Kedua model turbin tersebut dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah dan sesuai untuk kondisi angin bervariasi di perkotaan maupun pelosok Indonesia. Performa turbin dipengaruhi oleh daya output, efisiensi, torsi, serta jumlah dan desain sudut (*blade*) [9]. Turbin tiga sudu umum digunakan karena seimbang antara efisiensi dan stabilitas mekanis. Turbin dengan dua atau lebih banyak sudu memiliki karakteristik berbeda sesuai kebutuhan, seperti kecepatan angin di lokasi tertentu. Variasi model turbin angin ini memberikan pemilihan desain yang paling sesuai untuk diterapkan di berbagai kondisi geografis dan kebutuhan energi [10]. Namun, belum ada yang secara komprehensif membandingkan efisiensi turbin *Savonius* dan *Omnidirectional* pada kondisi angin spesifik Indonesia.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin angin vertikal *Savonius* dan *Omnidirectional* pada kondisi angin Indonesia. Penelitian akan dilakukan melalui simulasi menggunakan *software* ANSYS dengan mempertimbangkan kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia untuk menentukan performa optimal kedua jenis turbin.

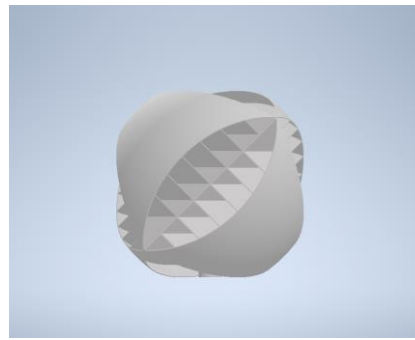
2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi turbin angin *vertical Savonius* dan *Omnidirectional*. Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah laptop dengan spesifikasi yang mampu menjalankan simulasi CFD. *Software* utama meliputi *Autodesk Inventor* untuk pembuatan model 3D turbin dan *ANSYS Fluent* untuk simulasi aliran fluida dan analisis CFD. Bahan penelitian berupa data kecepatan angin dari tiga daerah di Indonesia tahun 2024 digunakan untuk menentukan variasi kecepatan 1–14 m/s dalam simulasi.

Spesifikasi turbin yang dianalisis meliputi Turbin *Savonius* 2 sudu berdiameter 400 mm, tinggi 800 mm, luas sapuan 0,228 m² per sudut dan Turbin *Omnidirectional* 4 sudu berdiameter 448 mm, tinggi 401 mm, luas sapuan 0,358 m² per sudu.



Gambar 1 Model 3D Turbin *Savonius*.



Gambar 2 Model 3D Turbin *Omnidirectional*.

Pengumpulan data dilakukan melalui dua metode utama. Pertama, studi literatur untuk memahami konsep turbin angin *vertical* dan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensinya. Kedua, simulasi CFD menggunakan *ANSYS Fluent* dengan metode *steady motion*. Data utama diperoleh dari hasil simulasi berupa torsi dan koefisien *momentum* (*Cm*) untuk setiap variasi kecepatan angin dari 1 m/s hingga 14 m/s pada kedua jenis turbin.

Penelitian ini dilakukan melalui 6 tahapan prosedur yang tersusun secara sistematis. Pertama, pembuatan model 3D turbin *Savonius* dan *Omnidirectional* menggunakan *software* *Inventor* dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Kedua, *import model* ke *ANSYS Fluent* dan melakukan *meshing* serta konfigurasi *boundary condition*. Ketiga, setup parameter simulasi meliputi model turbulensi *k-epsilon* dan kondisi *steady state*.

Keempat, simulasi untuk setiap variasi kecepatan angin hingga mencapai konvergensi dengan kriteria residual di bawah 10^{-4} . Kelima, ekstraksi data torsi dan koefisien momentum dari hasil simulasi. Terakhir, kompilasi dan verifikasi data untuk memastikan konsistensi hasil.

Analisis data menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan fokus pada perbandingan performa kedua jenis turbin. Data torsi dan koefisien momentum dari simulasi diolah untuk menentukan performa kedua turbin pada berbagai kecepatan angin. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan perbandingan efisiensi antara turbin *Savonius* dan *Omnidirectional*.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian

Hasil pengujian dari dua jenis turbin angin vertikal (VAWT), yaitu turbin *Savonius* dan turbin *Omnidirectional*, yang diperoleh melalui proses simulasi numerik. Setiap jenis turbin diuji dengan variasi kecepatan angin untuk memperoleh data torsi, koefisien momentum, kecepatan sudut, dan daya keluaran. Data yang ditampilkan dalam bagian ini akan dijabarkan secara terpisah pada subbab masing-masing turbin, guna memberikan analisis yang lebih mendalam terhadap performa dan karakteristik masing-masing desain.

Tabel data turbin *Omnidirectional* berikut menyajikan hasil dari simulasi dan perhitungan yang dilakukan terhadap turbin angin vertikal. Data yang diperoleh langsung dari hasil simulasi meliputi nilai torsi (Nm) dan koefisien momentum, sedangkan data kecepatan sudut (ω) dan daya (P) diperoleh melalui proses perhitungan.

Table 1 Data Turbin *Omnidirectional*

No.	Velocity (m/s)	CJ (rad/s)	t (N.m)	P (watt)	Koefisien momen	RPM
1	1	4.46428571	-0.94799	-4.2321	-0.28611496	42.65241
2	2	8.92857143	-0.4417	-3.94379	-0.34157482	85.30482
3	3	13.3928571	-0.21946	-2.93925	-0.34781694	127.9572
4	4	17.8571429	-0.08122	-1.45042	-0.37590241	170.6096
5	5	22.3214286	-0.1013	-2.26113	-0.36344421	213.2621
6	6	26.7857143	0.208361	5.581111	-0.36585161	255.9145
7	7	31.25	0.332404	10.38763	-0.36674386	298.5669
8	8	35.7142857	0.471235	16.82981	-0.3774347	341.2193
9	9	40.1785714	0.673166	27.04683	-0.33875042	383.8717
10	10	44.6428571	0.999946	44.64046	-0.3128126	426.5241
11	11	49.1071429	1.008005	49.50024	-0.29052907	469.1765
12	12	53.5714286	0.970658	51.99955	-0.2849552	511.8289
13	13	58.0357143	0.85978	49.89797	-0.28304523	554.4813
14	14	62.5	0.720276	45.01724	-0.28591427	597.1338

Hasil pengujian turbin *Omnidirectional* menunjukkan bahwa turbin ini baru dapat berputar pada kecepatan angin minimal 6 m/s, dimana kecepatan tersebut tergolong lebih tinggi dari rata-rata kecepatan angin yang ada. Namun demikian nilai torsi yang di dapat dari kecepatan angin yang lebih tinggi tidak berubah secara signifikan, yang menandakan turbin jenis ini menghasilkan torsi yang relative konstan setelah mulai berputar.

Kemudian, tabel data turbin *savonius* menyajikan hasil dari simulasi dan perhitungan yang dilakukan terhadap turbin angin vertikal. Data yang diperoleh langsung dari hasil simulasi meliputi nilai torsi (Nm) dan koefisien momentum, sedangkan data kecepatan sudut (ω) dan daya (P) diperoleh melalui proses perhitungan.

Table 2 Data Turbin *Savonius*

No.	Velocity (m/s)	CJ (rad/s)	t (N.m)	P (watt)	Koefisien momen	RPM
1	1	4.95049505	-0.65082809	-3.22192	1.9132559	47.29772
2	2	9.9009901	-0.59933777	-5.93404	5.6254247	94.59545
3	3	14.8514851	-0.74105759	-11.0058	7.7877151	141.8932
4	4	19.8019802	-0.70408748	-13.9423	10.586053	189.1909
5	5	24.7524752	-0.59174477	-14.6471	13.785961	236.4886
6	6	29.7029703	-0.47067447	-13.9804	17.618559	283.7863

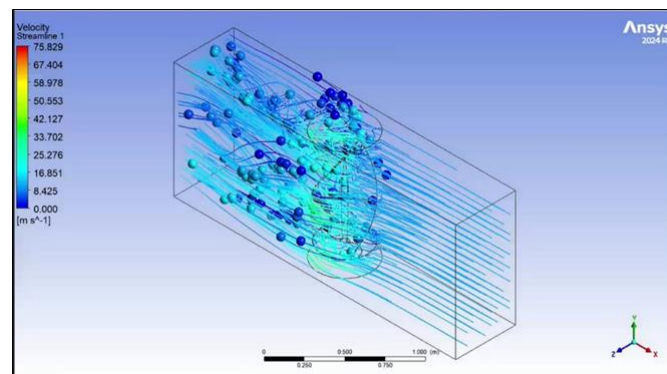
7	7	34.6534653	-0.15386384	-5.33192	23.170719	331.0841
8	8	39.6039604	0.33228555	13.15982	30.315329	378.3818
9	9	44.5544554	0.84657315	37.71861	38.499061	425.6795
10	10	49.5049505	1.4544027	72.00013	46.880257	472.9772
11	11	54.4554455	1.9689675	107.221	56.309405	520.275
12	12	59.4059406	2.9317806	174.1652	65.761991	567.5727
13	13	64.3564356	3.9566286	254.6345	75.857523	614.8704
14	14	69.3069307	4.9227527	341.1809	86.043402	662.1681

Hasil pengujian turbin *Savonius* menunjukkan turbin memerlukan kecepatan angin yang lebih besar untuk berputar dengan normal ditinjau dari torsi yang dihasilkan bernilai positif saat kecepatan angin 8 m/s. Namun peningkatan torsi dapat meningkat secara drastis seiring bertambahnya kecepatan angin yang ditunjukkan dengan nilai koefisien momen yang cukup besar.

3.2 Analisa Data Hasil Pengujian

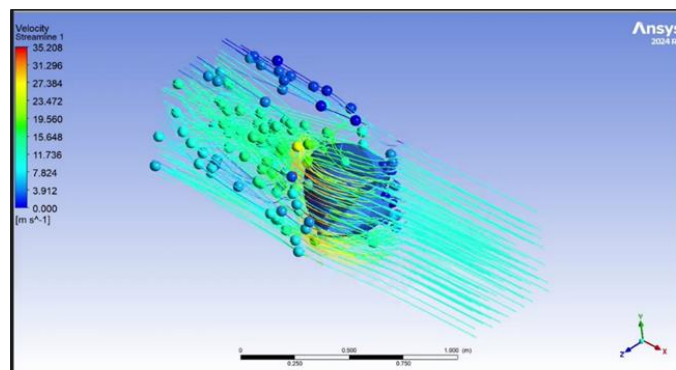
Hasil simulasi CFD menunjukkan perbedaan karakteristik signifikan antara turbin *Savonius* dan *Omnidirectional* pada berbagai kecepatan angin. Pembahasan ini menganalisis pola aliran angin, pengaruh kecepatan angin terhadap torsi dan daya, serta efisiensi kedua turbin untuk menentukan kondisi operasi optimal masing-masing desain.

Analisis pola aliran angin membandingkan aliran udara di sekitar turbin *Savonius* dan *Omnidirectional* pada kecepatan angin 11 m/s. Penelitian ini memilih kecepatan tersebut karena merupakan titik maksimum torsi turbin *Omnidirectional* berdasarkan hasil simulasi. Perbandingan ini mengidentifikasi pengaruh desain sudu dalam menangkap energi angin dan mengevaluasi pengaruh bentuk sudu terhadap perilaku aliran fluida kedua jenis turbin. Gambar berikut menunjukkan perbedaan pola aliran fluida yang terjadi pada masing-masing turbin pada kondisi operasi yang sama.



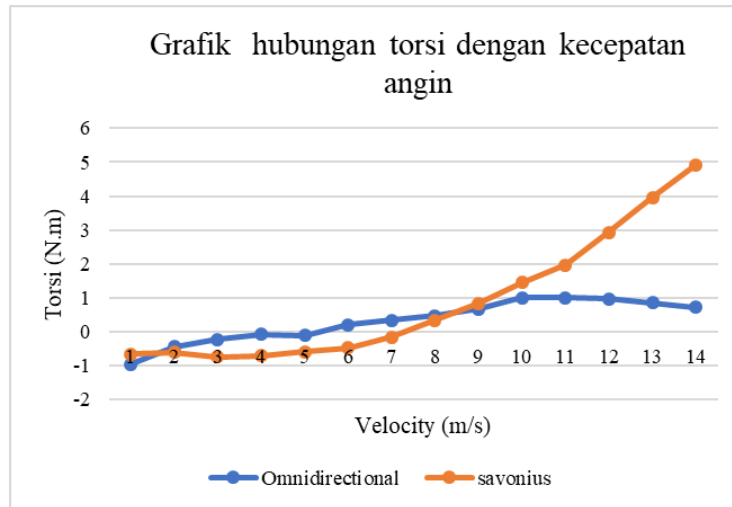
Gambar 3 Aliran Fluida Turbin *Savonius*

Berdasarkan simulasi *fluent*, turbin *Savonius* dapat beroperasi secara normal pada kecepatan angin tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa turbin belum mencapai titik puncak torsi pada kecepatan 11 m/s. Hal ini mengindikasikan potensi turbin *Savonius* untuk menghasilkan torsi yang lebih besar pada kecepatan angin yang lebih tinggi.



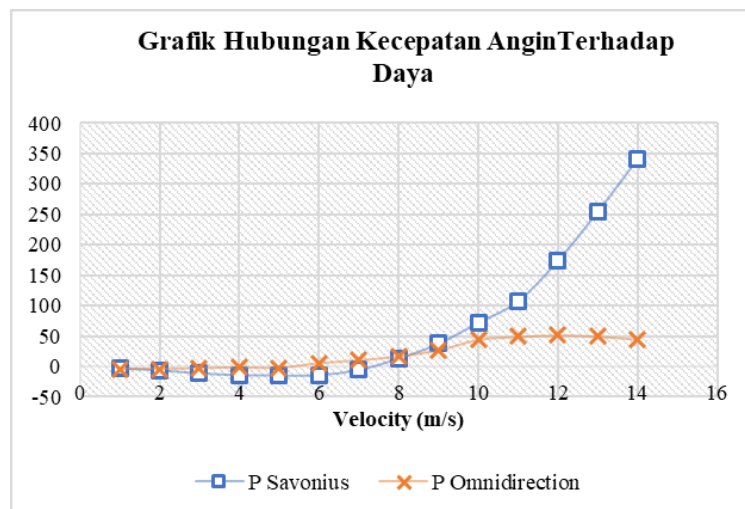
Gambar 4 Aliran Fluida Turbin *Omnidirectional*

Turbin *Omnidirectional* mengalami aliran turbulen di sekitar area sudunya pada kecepatan angin 11 m/s. Kondisi turbulensi ini mengurangi sifat aerodinamis turbin dan menurunkan efisiensi operasionalnya. Oleh karena itu, peningkatan kecepatan angin yang lebih tinggi tidak menghasilkan peningkatan torsi yang signifikan pada turbin ini.



Gambar 5 hubungan Torsi dengan Kecepatan Angin

Grafik hubungan kecepatan angin terhadap torsi menunjukkan peningkatan nilai torsi seiring bertambahnya kecepatan angin pada kedua jenis turbin. Nilai torsi awal yang bernilai negatif mengindikasikan bahwa kecepatan angin belum mencukupi untuk menggerakkan turbin secara optimal. Turbin *Omnidirectional* memiliki *cut-in speed* terendah pada kecepatan angin 6 m/s, namun peningkatan torsi selanjutnya tidak signifikan sehingga lebih sesuai untuk kondisi angin berkecepatan rendah. Turbin *Savonius* mulai beroperasi pada kecepatan angin 8 m/s dan menunjukkan peningkatan torsi yang tinggi secara proporsional, sehingga lebih efektif pada kondisi angin berkecepatan tinggi. Perbedaan karakteristik ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis turbin harus disesuaikan dengan profil kecepatan angin di lokasi instalasi.



Gambar 6 hubungan Kecepatan angin dengan Daya

Berdasarkan Gambar 6, kecepatan angin memiliki pengaruh langsung terhadap daya turbin dengan hubungan sebanding pangkat tiga dari kecepatan angin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya kedua turbin pada rentang kecepatan angin di bawah 9 m/s tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Peningkatan daya yang sangat signifikan terjadi pada kecepatan angin di atas 9 m/s, meskipun kondisi angin berkecepatan 9-14 m/s umumnya hanya terjadi pada situasi tertentu yang jarang dijumpai. Karakteristik peningkatan daya yang berbeda pada kedua turbin ini menjadi faktor penentu dalam pemilihan jenis turbin yang sesuai dengan profil kecepatan angin di lokasi instalasi.

Data hasil simulasi menunjukkan bahwa turbin *Savonius* memiliki performa unggul pada kecepatan angin tinggi dengan perbedaan daya yang signifikan dimulai pada kecepatan angin 10 m/s. Turbin *Omnidirectional* menghasilkan daya 44,64 Watt, sedangkan turbin *Savonius* mencapai 72 Watt pada kecepatan yang sama. Perbandingan efisiensi daya kedua turbin dievaluasi pada rentang kecepatan angin yang umum dijumpai dengan daya positif dan kondisi khusus dengan kecepatan angin di atas 9 m/s.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi daya turbin *Omnidirectional* cenderung fluktuatif pada rentang kecepatan angin 6–14 m/s. Nilai efisiensi meningkat dari 0,11 pada 6 m/s hingga mencapai puncak 0,60 pada 9 m/s, kemudian menurun bertahap hingga 0,07 pada 14 m/s. Penurunan ini mengindikasikan bahwa desain *Omnidirectional* kurang optimal pada kecepatan angin tinggi akibat hambatan aerodinamis dan kompleksitas bentuk sudu yang memicu turbulensi. Sebaliknya, turbin *Savonius* menunjukkan tren peningkatan efisiensi yang konsisten, dari 0,18 pada 8 m/s hingga 0,90 pada 14 m/s. Hal ini menandakan bahwa *Savonius* mampu memanfaatkan energi angin secara lebih efektif seiring bertambahnya kecepatan, yang didukung oleh desain sudu sederhana dan minim hambatan aliran.

3.3 Pembahasan

Hasil simulasi CFD memperlihatkan perbedaan kinerja yang signifikan antara turbin *Savonius* dan *Omnidirectional* pada berbagai kecepatan angin. Pada kecepatan 11 m/s, turbin *Savonius* menunjukkan pola aliran udara yang relatif stabil di sekitar sudu mengindikasikan bahwa titik puncak torsi belum tercapai dan masih terdapat potensi peningkatan kinerja pada kecepatan lebih tinggi. Sebaliknya, turbin *Omnidirectional* mengalami turbulensi signifikan di sekitar sudu, yang menurunkan sifat aerodinamis dan efisiensinya. Kondisi ini sejalan dengan temuan Safarov & Mamedov yang menyatakan bahwa turbin *Omnidirectional* lebih optimal di kecepatan rendah (5–9 m/s) dan mengalami penurunan performa pada kecepatan tinggi akibat turbulensi yang meningkat [8].

Hubungan torsi dengan kecepatan angin menunjukkan bahwa turbin *Omnidirectional* memiliki *cut-in speed* 6 m/s, namun peningkatan torsi mulai stagnan setelah 9 m/s. Turbin *Savonius* mulai beroperasi pada 8 m/s dan mengalami peningkatan torsi yang signifikan secara proporsional hingga kecepatan tinggi. Pola ini mendukung hasil penelitian Tjahjana et al. yang menemukan bahwa desain sudu *Savonius* yang sederhana mampu meminimalkan hambatan aliran, sehingga efisiensi torsi terus meningkat pada kecepatan >10 m/s [9].

Data daya memperlihatkan bahwa pada kecepatan 10 m/s, turbin *Omnidirectional* menghasilkan 44,64 W sedangkan *Savonius* mencapai 72 W. Efisiensi turbin *Omnidirectional* meningkat dari 0,11 pada 6 m/s hingga puncak 0,60 pada 9 m/s, lalu menurun hingga 0,07 pada 14 m/s. Sebaliknya, efisiensi *Savonius* meningkat konsisten dari 0,18 pada 8 m/s hingga 0,90 pada 14 m/s. Tren ini selaras dengan laporan Pambudi et al. yang menyebutkan bahwa turbin *Savonius* dapat mempertahankan efisiensi tinggi pada rentang kecepatan angin yang luas, menjadikannya pilihan yang tepat untuk daerah dengan fluktuasi kecepatan angin besar [7].

Berdasarkan hasil tersebut, turbin *Savonius* direkomendasikan untuk kondisi angin menengah hingga tinggi, sedangkan turbin *Omnidirectional* lebih sesuai untuk kecepatan rendah dengan arah angin bervariasi. Pemilihan jenis turbin yang tepat harus mempertimbangkan profil kecepatan angin di lokasi instalasi agar kinerja dan efisiensi pembangkit dapat dimaksimalkan, sebagaimana juga ditekankan oleh penelitian-penelitian terdahulu yang menunjukkan pentingnya kesesuaian desain turbin dengan karakteristik angin setempat.

4 Kesimpulan

Hasil analisis dan simulasi menunjukkan bahwa efisiensi turbin angin vertical dipengaruhi oleh empat faktor utama yaitu kecepatan angin, daya *output*, desain aerodinamika, dan karakteristik sudu turbin. Turbin *Omnidirectional* menunjukkan keunggulan pada kecepatan angin rendah dengan *cut-in speed* 6 m/s dan torsi maksimum 1,008 Nm pada 11 m/s, namun mengalami penurunan efisiensi akibat turbulensi aliran udara pada kecepatan tinggi. Turbin *Savonius* memiliki performa superior pada kecepatan angin tinggi dengan torsi yang terus meningkat hingga 4,92 Nm dan daya maksimum 341,18 Watt pada 14 m/s karena desain sederhana dengan 2 sudu yang menghasilkan aliran udara lebih lancar dan hambatan minimal. Perbedaan karakteristik ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis turbin harus disesuaikan dengan profil kecepatan angin di lokasi instalasi untuk mencapai efisiensi optimal.

5 Referensi

- [1] D. Setyawati and D. Setiawan, *Indonesia's expansion of clean power can spur growth and equality*. In Ember, 2024.
- [2] I. D. Apriliyanti, D. B. Nugraha, S. Kristiansen, and I. Overland, "To reform or not reform? Competing energy transition perspectives on Indonesia's monopoly electricity supplier Perusahaan Listrik Negara (PLN)," *Energy Research & Social Science*, vol. 118, p. 103797, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.erss.2024.103797.
- [3] D. N. Palupi, S. Sundari, M. I. Syahtaria, and L. Sianipar, "Analisis Dampak Lingkungan dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Co-firing Biomassa dan Baru bara sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan," *EJKEBI*, vol. 5, no. 3, pp. 1627–1635, Feb. 2024, doi: 10.47467/elmal.v5i3.781.
- [4] - Ismail, A. H. Ismail, and G. H. N. Nur Rahayu, "Wind Energy Feasibility Study of Seven Potential Locations in Indonesia," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 1970–1978, Oct. 2020, doi: 10.18517/ijaseit.10.5.10389.
- [5] A. Kleidon, "Physical limits of wind energy within the atmosphere and its use as renewable energy: From the theoretical basis to practical implications," *Physis*, vol. 1, no. 1, 2020, doi: <https://arxiv.org/abs/2010.00982>.
- [6] M. F. Ramadhany, T. A. Kusuma, Y. N. Chelsie, and G. S. Adi, "Optimization of Mechanical Design Bladeless Wind Turbine for Electricity Fulfilment in Nusa Tenggara Timur, Indonesia," Apr. 13, 2022. doi: 10.21203/rs.3.rs-1540751/v3.
- [7] N. A. Pambudi *et al.*, "Renewable Energy in Indonesia: Current Status, Potential, and Future Development," *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 2342, Jan. 2023, doi: 10.3390/su15032342.
- [8] A. Safarov and R. Mamedov, "Study Of Effective Omni-Directional Vertical Axis Wind Turbine For Low Speed Regions," *Iiumej*, vol. 22, no. 2, pp. 149–160, Jul. 2021, doi: 10.31436/iiumej.v22i2.1565.
- [9] D. D. D. P. Tjahjana *et al.*, "Study on Performance Improvement of the Savonius Wind Turbine for Urban Power System with Omni-directional Guide Vane (ODGV)," *ARFMTS*, vol. 55, no. 1, pp. 126–135, 2019.
- [10] R. McKenna *et al.*, "Reviewing methods and assumptions for high-resolution large-scale onshore wind energy potential assessments," *Economics*, 2021.