

PENGARUH KECEPATAN ANGIN TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL 5 KW MENGGUNAKAN NOZZEL KONVERGEN DI SUMBER MANJING WETAN KABUPATEN MALANG

Abdurrahman Fauzan Arib

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: abdurrahman.20075@mhs.unesa.ac.id

Aris Ansori

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arisansori@unesa.ac.id

Abstrak

Keterbatasan energi bahan bakar fosil yang semakin mendesak menjadikan pencarian solusi dalam pemanfaatan energi terbarukan seperti energi angin yang menjadi alternatif energi berkelanjutan. Namun, efektivitas energi angin sangat bergantung pada kecepatan angin yang bervariasi dari tiap lokasi. Desa Sekarbanyu Sumber Manjing Wetan Kabupaten Malang memiliki potensi dalam pemanfaatan energi angin menggunakan turbin angin sumbu vertikal yang dilengkapi dengan *nozzel* konvergen. *Nozzel* konvergen dirancang guna mempercepat aliran angin menuju bilah turbin, sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi energi kinetik angin menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis bagaimana perubahan kecepatan angin menggunakan turbin angin sumbu vertikal 5kW menggunakan *nozzel* konvergen. Metode eksperimental lapangan dengan menggunakan bantuan alat ukur multimeter digital dan anemometer untuk mendapatkan nilai voltase, ampere, dan kecepatan angin. Hasil penelitian ini menunjukkan kecepatan angin merupakan faktor utama dalam meningkatkan energi dan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin. Tegangan, arus, dan energi listrik menunjukkan korelasi positif dengan kecepatan angin, dengan daya meningkat dari 0,29Watt sampai dengan 33,43Watt. Sistem pembangkit energi angin bekerja optimal pada kecepatan angin tinggi. Meskipun efisiensi sistem tetap stabil dan bergerak landai pada kecepatan angin rendah.

Kata Kunci: Energi terbarukan, Turbin angin sumbu vertikal, *nozzel* konvergen,

Abstract

The growing urgency of fossil fuel energy limitations has driven the search for solutions in utilizing renewable energy sources, such as wind energy, as sustainable alternatives. However, the effectiveness of wind energy heavily depends on wind speed, which varies by location. Desa Sekarbanyu Sumber Manjing Wetan in Malang Regency has the potential for harnessing wind energy using a vertical axis wind turbine equipped with a convergent nozzle. The convergent nozzle is designed to accelerate the airflow towards the turbine blades, thereby increasing the efficiency of converting wind kinetic energy into electrical energy. This research aims to measure and analyze the impact of wind speed changes using a 5kW vertical axis wind turbine with a convergent nozzle. The field experimental method utilizes digital multimeters and anemometers to obtain values for voltage, current, and wind speed. The results indicate that wind speed is a key factor in increasing the energy and electrical power generated by the wind turbine. Voltage, current, and electrical energy show a positive correlation with wind speed, with power increasing from 0.29W to 33.43W. Wind energy generation systems work optimally at high wind speeds, although system efficiency remains stable and relatively flat at low wind speeds.

Keywords: Renewabel energy, Vertical axis wind turbine, *nozzel* convergent

PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi peningkatan permintaan energi karena populasi yang besar dan terus meningkat, menempati peringkat kelima terbesar secara global (Murniati, 2022). Ketergantungan pada bahan bakar fosil, terutama pada siang hari, menyoroti perlunya sumber energi alternatif (Firdaus, 2022). Energi terbarukan, seperti air, matahari, panas bumi, biomassa, dan angin, menawarkan solusi yang ramah lingkungan. Penggunaan sumber energi terbarukan mencegah penipisan cadangan bahan bakar fosil (Kaputra et al., 2022). Rencana Umum

Energi Nasional (RUEN) bertujuan untuk mendiversifikasi sumber energi guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil impor melalui penggunaan energi alternatif seperti tenaga angin (Kurniawan, 2016).

Indonesia, sebagai negara kepulauan di sepanjang garis khatulistiwa, memiliki potensi energi angin yang signifikan dengan kecepatan angin berkisar 3,5-7 m/s (Muklis et al., 2018). Meskipun beberapa daerah seperti Sekarbanyu, Sumber Manjing Wetan di Malang memiliki kecepatan angin yang lebih rendah (data BMKG, Juni 2024), angin masih dapat dimanfaatkan menggunakan

turbin angin sumbu vertikal (Pranoto et al., 2014). Turbin angin sumbu vertikal efisien dalam kondisi angin yang tidak stabil dan dapat menangkap angin dari berbagai arah (Diaurahman & Siswanto, 2016).

Turbin angin sumbu vertikal, khususnya jenis Darrieus dengan beberapa bilah, cocok untuk daerah dengan kecepatan angin yang lebih rendah, seperti Sekarbanyu (Utama et al., 2021). Pemasangan *nozzel* konvergen dapat meningkatkan efisiensi turbin dengan meningkatkan kecepatan aliran fluida (Usman et al., 2022). Penggunaan turbin ini di Sekarbanyu dapat menghasilkan listrik yang memadai, menunjukkan potensi energi terbarukan dalam mengurangi dampak lingkungan (Gonçalves et al., 2022).

Fenomena pemanfaatan ekspansi mendadak dalam aliran fluida digunakan dalam mensimulasikan medan aliran di atmosfer bagian atas menghasilkan tekanan efektif yang lebih rendah dari tekanan atmosfer (Putranto & Imron, 2018). Pemanfaatan deflektor sebelum rotor angin dapat menghemat energi dengan mengubah medan aliran di dekat rotor angin agar mengubah respon rotor terhadap aliran angin (Kang et al., 2013). *Nozzle* konvergen menjadi pemanfaatan perangkat tambahan dalam peningkatan performa turbin angin (Wabang et al., 2016).

Penelitian ini menekankan pentingnya kecepatan angin dalam pemanfaatan energi terbarukan dan menunjukkan manfaat potensial dari penerapan turbin angin sumbu vertikal dengan nosel konvergen di Sekarbanyu untuk meningkatkan kinerja turbin, berkontribusi pada pengembangan energi berkelanjutan dan mengurangi dampak lingkungan.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh kecepatan angin terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal 5kw menggunakan nozzel konvergen di Desa Sekarbanyu Sumber Manjing Wetan Kabupaten Malang”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin yang ada di Desa Sekarbanyu terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal 5kW menggunakan *nozzel* konvergen dalam bentuk daya, energi, dan efisiensi

METODE

Metode penelitian adalah mengukur dan menganalisa pengaruh kecepatan angin terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal 5kW menggunakan *nozzel* konvergen dalam bentuk daya, energi, dan efisien yang dihasilkan oleh generator turbin angin yang digunakan. Parameter yang diukur adalah daya listrik dengan variabel kontrol yang digunakan yaitu dimensi *nozzel* konvergen yang digunakan dan turbin angin sumbu vertikal dengan 5 bilah bertipe BT-5000. Penelitian dilaksanakan di Desa Sekarbanyu Sumber Manjing Wetan Kabupaten Malang dalam kurun waktu di bulan oktober dan desember yang dimana dilakukan di musim hujan. Penelitian ini menggunakan nilai kecepatan angin yang didapatkan langsung dilapangan menggunakan alat ukur dan nilai keluaran generator turbin angin dikonversi dari listrik 3 fase menjadi DC dengan *rectifier* menggunakan multimeter digital.

Alat dan Bahan Penelitian

Nozel konvergen terbuat dari bahan serat karbon fiber dengan rasio area 3,6 digunakan guna meningkatkan kinerja turbin angin sumbu vertikal yang digunakan. Nozel ini memiliki panjang 179,4 cm, diameter luar 5 meter, diameter dalam 1,38 meter, dan tinggi 200 cm. Nozel dipasang melingkar mengelilingi bilah turbin dengan tambahan tiang penyangga setinggi 600 cm. Turbin angin sumbu vertikal tipe Darrieus BT-5000, yang digunakan dalam penelitian ini, memiliki beberapa spesifikasi penting. Turbin ini memiliki daya nominal sebesar 5000W dan daya maksimum 5500W, dengan tegangan nominal yang bervariasi antara 24V, 48V, dan 96V. Turbin ini mulai beroperasi pada kecepatan angin 1,5 m/s dan memiliki kecepatan angin nominal 9 m/s, serta mampu bertahan hingga kecepatan angin 65 m/s. Diameter roda angin adalah 1,35 meter, dengan lima bilah yang masing-masing memiliki tinggi 1,8 meter dan terbuat dari paduan aluminium. Turbin ini menggunakan generator magnet permanen tanpa inti, dengan tingkat perlindungan IP65 dan dirancang untuk bekerja dalam kondisi kelembapan lingkungan hingga 90%.



Gambar 1 Turbin angin sumbu vertikal 5kW menggunakan *nozzel* konvergen

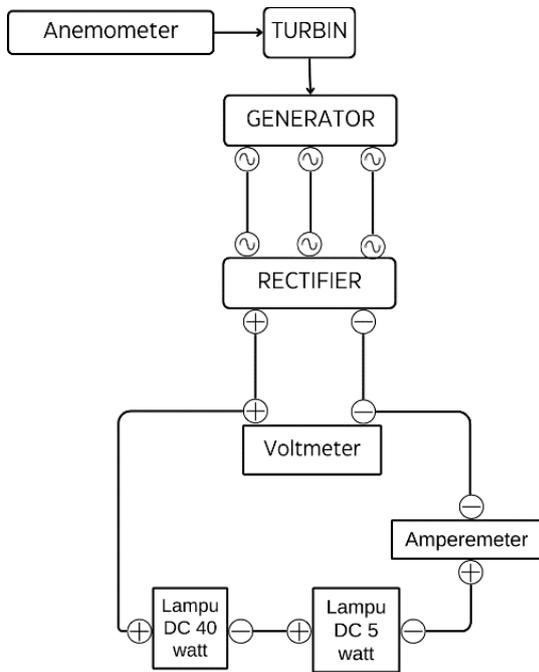
Pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer bermerk dekho tipe ft-7935. Anemometer yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kisaran kecepatan udara dari -30°C hingga 60°C atau 0,4-30 m/s, 0,8-58,3 knot, 0,9-67 mph, 78,7-5905 kaki/menit, dan 1,4-108 km/jam. Akurasi suhu udara adalah $\pm 15^{\circ}\text{C}$ dengan resolusi 0,1. Anemometer ini memiliki kecepatan pengambilan keputusan sampel 1 kali per detik dan suhu penyimpanan antara -30°C hingga 60°C .

Pengukuran voltase serta arus listrik menggunakan multimeter digital bertipe dekho dm-133d. Multimeter digital yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk memberikan hasil pengukuran yang akurat, dengan pembacaan maksimal 1999 pada layar LCD dan kecepatan pembaruan 2-3 kali per detik. Ukuran fisik dari multimeter

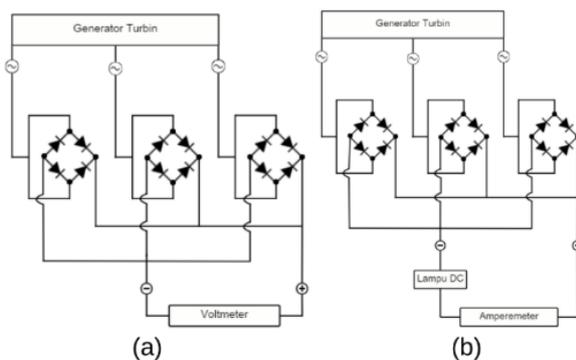
ini adalah 143mm x 74mm x 35mm, membuatnya cukup portabel dan mudah digunakan di lapangan. Dengan spesifikasi ini, multimeter diharapkan mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dan andal selama penelitian berlangsung. Alat ini dapat digunakan dalam kondisi lapangan yang beragam, untuk memastikan data yang dihasilkan dapat dipercaya untuk analisis lebih lanjut.

Prosedur Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan secara bersamaan dengan mengukur voltase, ampere, dan kecepatan angin dalam satu waktu. Data tegangan dan arus diperoleh dari keluaran generator turbin angin. Tegangan dan arus diukur menggunakan voltmeter dan amperemeter, dengan arus keluaran generator AC 3 fase dikonversi menjadi arus DC menggunakan dioda rectifier seri dan paralel, serta jembatan Wheatstone untuk penyimpanan di baterai. Pengambilan data kecepatan angin dilakukan di luar nozel sejajar di bawah turbin angin sumbu vertikal menggunakan anemometer sesuai arah angin.



Gambar 2 Skema pengambilan data



Gambar 3 (a) wiring diagram ukur voltase
(b) wiring diagram ukur ampere

Analisis Data

Pada tahap pengolahan data, perhitungan dilakukan untuk mengonversi nilai kecepatan angin menjadi kecepatan angin setelah nozel, menghitung daya listrik, daya angin, dan efisiensi turbin angin menggunakan berbagai rumus yang relevan. Data yang diperoleh diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang efisiensi turbin angin dalam kondisi lapangan yang berbeda.

Berdasarkan hukum kontinuitas, kecepatan aliran udara melalui nozel dihitung menggunakan luas penampang inlet dan outlet, menghasilkan rasio kecepatan $v_2 = v_1 \times 3,6$. Berikut perhitungan AR nozzel menggunakan luas juring lingkaran nozzel dan menggunakan hukum kontinuitas $A_1v_1 = A_2v_2$

$$L_1 = \frac{\alpha}{360} \times 2\pi \times r \quad L_2 = \frac{\alpha}{360} \times 2\pi \times r$$

$$L_1 = \frac{72}{360} \times 2\pi \times 2.484 \quad L_2 = \frac{72}{360} \times 2\pi \times 0.69$$

$$L_1 = 3.119 \text{ m}^2 \quad L_2 = 0.86664 \text{ m}^2$$

Setelah diketahui nilai tiap juring, nilai A1 dan A2 dari nozzel yang digunakan dapat diketahui dengan rumus, sebagai berikut:

$$A_1 = \text{Luas Penampang inlet}$$

$$A_2 = \text{Luas Penampang outlet}$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$L_1 \times h \times v_1 = L_2 \times h \times v_2$$

$$3.119\text{m}^2 \times 2\text{m}^2 \times v_1 = 0.8664\text{m}^2 \times 2\text{m}^2 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{v_1 \times 3.119\text{m}^2 \times 2\text{m}^2}{0.86664\text{m}^2 \times 2\text{m}^2}$$

$$v_2 = \frac{v_1 \times 3.119\text{m}^2}{0.86664\text{m}^2}$$

$$v_2 = v_1 \times 3.6$$

Rumus hukum kontinuitas

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = AR \times v_1$$

Dimana:

- A_1 : Luas Penampang inlet
- A_2 : Luas Penampang outlet
- v_1 : Kecepatan angin inlet
- v_2 : Kecepatan angin outlet
- AR : Aspek ratio nozzel

Rumus perhitungan daya angin

$$P = \frac{1}{2} \rho A v_w^3$$

$$A = \pi \times D \times h$$

Dimana :

- P : daya angin (watt)
- A : area sapuan motor (m²)
- ρ : massa jenis udara (kg/m³)
- v : kecepatan angin (m/s)

Rumus perhitungan daya listrik

$$P = I \times V$$

Dimana:

- I : Arus listrik (ampere)
- P : Daya listrik (watt)
- V : tegangan (volt)

Rumus perhitungan efisiensi

$$\eta = \left(\frac{P_{generator}}{P_{angin}} \right) \times 100\%$$

Dimana:

- η : efisiensi turbin angin sumbu vertikal.
- $P_{Generator}$: daya generator
- P_{angin} : daya Angin

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji eksperimen

Berdasarkan proses olah data penelitian ini menggunakan beberapa variabel berdasarkan rentang kecepatan angin mulai dari kecepatan angin 1.8 m/s – 4.68 m/s, 5.04 m/s – 8.6 m/s, 9 m/s – 12.24 m/s, dan 12.6 m/s – 15.12 m/s dengan diikuti nilai rata-rata energi dan rata-rata efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal 5 kw menggunakan Nozzel konvergen. Berikut merupakan tabel mengenai variabel yang digunakan

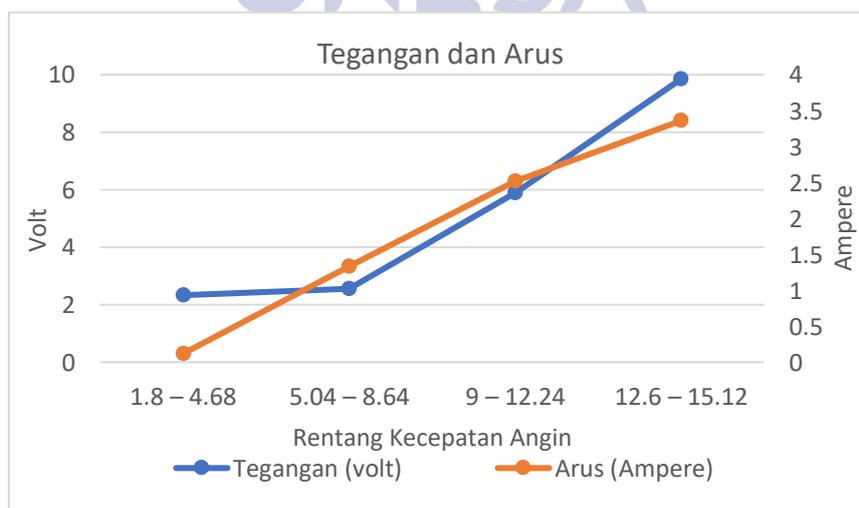
Tabel 1 Data hasil

Rentang kecepatan angin ouput nozzel (m/s)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Rata-rata Energi listrik (Watt/hour)	Rata-rata Efisiensi ouput nozzel (%)
1.8 – 4.68	2.33	0.12	0.29	0.12
5.04 – 8.64	2.55	1.33	3.39	0.18
9 – 12.24	5.89	2.52	15.10	0.22
12.6 – 15.12	9.85	3.36	33.43	0.24

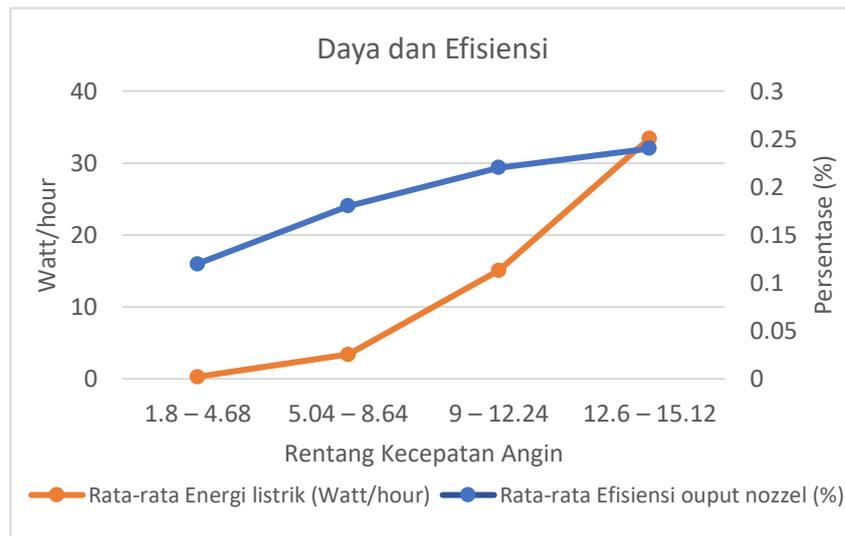
Pada tabel 4.4, teridentifikasi beberapa variabel rentang kecepatan angin yang meningkat dari 1.8m/s – 4.68m/s hingga 12.6m/s – 15.12m/s. Gambar 7 menunjukkan pola peningkatan konsisten dalam tegangan, arus, dan rata-rata energi listrik dimana tegangan bertambah dari 2.33V pada kecepatan angin rendah menjadi 9.85V pada kecepatan tinggi. Arus meningkat signifikan dari 0.12A menjadi 3.36A, mendukung peningkatan output daya dari 0.29W menjadi 33.43W. Analisis statistik menunjukkan variasi signifikan pada parameter listrik dengan rata-rata tegangan 5.655V, rentang dari 2.33V hingga 9.85V, serta rata-rata arus 1.8325A, rentang dari 0.12A hingga 3.36A, menunjukkan berbagai kondisi operasional. Energi listrik data mencatat total 394 watt/jam dan rata-rata 11.2 watt/jam, menunjukkan fluktuasi tinggi energi listrik yang dihasilkan. Tren ini menunjukkan sistem lebih efektif pada kecepatan angin tinggi dimana lebih banyak energi kinetik angin dikonversi menjadi energi listrik.

Data yang diperoleh menunjukkan adanya korelasi positif antara kecepatan angin dan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin. Saat kecepatan angin meningkat, daya listrik yang dihasilkan juga mengalami peningkatan yang signifikan. Rata-rata daya listrik tercatat sebesar 13,0525 W, dengan rentang antara 0,29 W hingga 33,43 W. Rentang ini menunjukkan bahwa kondisi angin yang lebih kencang berkontribusi pada peningkatan output daya. Grafik daya dan efisiensi pada gambar 8 menunjukkan peningkatan drastis daya yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Hal ini menunjukkan bahwa turbin angin berfungsi lebih efektif dalam mengonversi energi kinetik dari angin menjadi daya listrik saat angin bertambah cepat.

Meskipun kecepatan angin berhubungan positif dengan daya listrik yang dihasilkan, efisiensi turbin angin menunjukkan pola yang berbeda. Efisiensi rata-rata yang tercatat adalah 0,18%, dengan rentang antara 0,12%



Gambar 4 Grafik tegangan dan arus



Gambar 5 Grafik daya dan efisiensi

hingga 0,24% pada kecepatan angin di luar nozel dan 0,12% hingga 0,24% pada kecepatan angin setelah nozel. Data ini menunjukkan bahwa efisiensi turbin tidak mengalami perubahan signifikan meskipun terjadi peningkatan kecepatan angin.

Peningkatan energi angin dalam pemanfaatan nozzel konvergen menjadikan inti dalam pembahasan, mengetahui penggunaan turbin angin sumbu vertikal 5 bilah di daerah yang terhitung kecepatan angin rendah dapat memberikan dampak yang signifikan. Dimulai dari kecepatan angin 1,8m/s sampai dengan kecepatan angin tertinggi 15,12m/s dengan hasil daya terendah 0,29W sampai dengan tertinggi 33,43W menunjukkan suplai kebutuhan energi listrik dari turbin angin sumbu vertikal menggunakan nozzel konvergen. Performa turbin angin sumbu vertikal 5kW mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin yang ada di Desa Sekarbanyu Sumber Manjing Wetan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data kecepatan angin terhadap beberapa faktor yang digunakan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Kecepatan angin merupakan faktor kunci dalam meningkatnya energi listrik yang dihasilkan oleh generator turbin angin sumbu vertikal 5 kW, dengan tegangan arus dan, energi listrik berkorelasi positif terhadap kecepatan angin secara langsung.

Peningkatan kecepatan angin juga diikuti dengan peningkatan daya yang dihasilkan oleh turbin angin secara signifikan dari 0,29Watt menjadi 33,43Watt. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pembangkit energi angin bekerja lebih optimal pada kecepatan angin yang lebih

tinggi, di mana lebih banyak energi kinetik angin dikonversi menjadi energi listrik.

Efisiensi terhadap kecepatan angin tetap menunjukkan stabilitas relatif meskipun berada relatif rendah.

Hasil penelitian ini menyoroti bahwa kecepatan angin adalah faktor utama dalam meningkatkan kinerja sistem pembangkit energi angin. Untuk memaksimalkan efisiensi, penelitian lanjutan tentang perbaikan desain dan teknologi diperlukan agar sistem dapat beroperasi lebih baik pada kecepatan angin rendah hingga menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. Aris Ansori, S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan dukungan yang telah diberikan selama penelitian ini berlangsung.

Ucapan terima kasih kepada Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas dan dana yang diberikan untuk penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada seluruh tim peneliti yang telah membantu dalam proses pengumpulan data dan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Diaurahman, D., & Siswanto, R. (2016). Perencanaan Konstruksi Dan Elemen Mesin Turbin Angin Sumbu Vertikal Type Darrieus. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 1(2), 99–112. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v1i2.30>
- Firdaus, A. A. (2022). Pemantauan Kecepatan Turbin Angin Sumbu Vertikal Secara Real-time Berdasarkan Internet of Things. *ALINIER: Journal of Artificial*

