



Green Agriculture Energy: Pemanfaatan Turbin Angin sebagai Strategi Transisi Energi Terbarukan di Pedesaan

Anita Putri¹, Quratul Aini², Adi Putrawan³, Nuraini Rahmah⁴, Anita⁵, Widia^{6*}

¹⁻⁶ STKIP Harapan Bima, NTB, Indonesia

Email: widia@habi.ac.id

Article Info	
Article History Received : 02-06-2026 Accepted : 30-06-2026 Online : 02-07-2026	
Kata kunci: Green Agriculture; Turbin Angin; Energi Terbarukan; Pedesaan;	Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang, menguji, dan membandingkan kinerja turbin angin sumbu vertical (VAWT) dan sumbu Horizontal (HAWT) skala mikro, serta mendiseminasikan teknologi tersebut kepada masyarakat sebagai upaya mendukung pemanfaatan energi terbarukan di wilayah pedesaan. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan tahapan perancangan dan pembuatan prototipe VAWT dan HAWT, pengujian kinerja berdasarkan variasi panjang bilah dan jumlah baling-baling, analisis performa pembangkitan listrik, serta demonstrasi teknologi kepada kelompok tani di Desa Sanolo, Kecamatan Bolo, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat. Objek penelitian berupa prototipe VAWT tipe Savonius dan HAWT skala mikro. Data dikumpulkan menggunakan anemometer, tachometer digital, multimeter digital, lembar observasi, dan dokumentasi. Parameter yang diamati meliputi kecepatan angin, kecepatan putaran turbin, tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi sistem. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif melalui perbandingan nilai performa pada setiap variasi perlakuan untuk menentukan konfigurasi terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan angin berpengaruh positif terhadap peningkatan putaran turbin, tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi sistem. Prototipe HAWT dengan tiga baling-baling menunjukkan performa terbaik pada kategori turbin sumbu horizontal, sedangkan prototipe VAWT dengan panjang bilah 60 cm menghasilkan kinerja paling optimal pada kategori turbin sumbu vertikal. Demonstrasi teknologi kepada kelompok tani menunjukkan respons positif masyarakat terhadap pemanfaatan energi angin sebagai alternatif sumber energi terbarukan. Dengan demikian, kedua prototipe berpotensi dikembangkan sebagai teknologi pembangkit listrik skala mikro yang mendukung kemandirian energi dan pembangunan berkelanjutan di wilayah pedesaan
Keywords Green Agriculture; Wind Turbines; Renewable Energy; Rural Areas.	Abstract: This study aims to design, test, and compare the performance of micro-scale vertical axis wind turbines (VAWT) and horizontal axis wind turbines (HAWT), and disseminate the technology to the community as an effort to support the utilization of renewable energy in rural areas. The study used an experimental method with the stages of designing and manufacturing VAWT and HAWT prototypes, performance testing based on variations in blade length and number of blades, electricity generation performance analysis, and technology demonstration to farmer groups in Sanolo Village, Bolo District, Bima Regency, West Nusa Tenggara. The research objects were Savonius type VAWT prototypes and micro-scale HAWT. Data were collected using an anemometer, digital tachometer, digital multimeter, observation sheets, and documentation. The parameters observed included wind speed, turbine rotation speed, voltage, current, electrical power, and system efficiency. Data were analyzed descriptively quantitatively by comparing performance values in each treatment variation to determine the best configuration. The results

showed that increasing wind speed had a positive effect on increasing turbine rotation, voltage, current, electrical power, and system efficiency. The HAWT prototype with three blades demonstrated the best performance in the horizontal axis turbine category, while the VAWT with a blade length of 60 cm produced the most optimal performance in the vertical axis turbine category. Technology demonstrations to farmer groups demonstrated a positive community response to the use of wind energy as an alternative renewable energy source. Thus, both prototypes have the potential to be developed as micro-scale power generation technologies that support energy independence and sustainable development in rural areas.

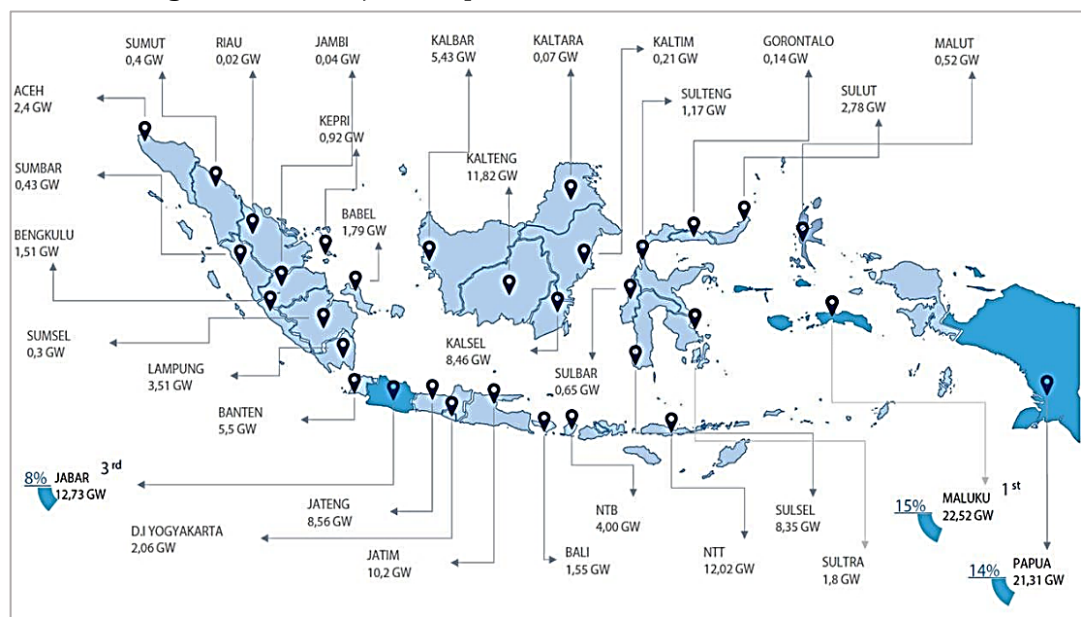
Support by:



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

A. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, dengan sumber utama mencakup tenaga surya, angin, air, biomassa, laut, dan panas bumi. Disisi lain, Kebutuhan energi yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi menjadi tantangan global, terutama di wilayah pedesaan yang masih menghadapi keterbatasan akses energi. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan masalah ketersediaan energi, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim (Martosaputro & Murti, 2014; Marwan, 2024). Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu strategi penting dalam mendukung pembangunan berkelanjutan dan ketahanan energi masyarakat (IEA, 2024). Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin karena bersifat ramah lingkungan, tersedia secara alami, dan dapat dimanfaatkan pada berbagai skala, termasuk skala mikro untuk kebutuhan masyarakat pedesaan (IRENA, 2023). Menurut Kaonang, (2024) dan Rimbawati, (2025) bahwa potensi angin di masing-masing wilayah Indonesia bervariasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Potensi Energi Angin di Wilayah Indonesia
(Sumber: Ismail et al., 2020)

Berdasarkan hasil observasi potensi angin di Daerah NTB yang dilakukan oleh Ismail et al., (2020) menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin berkisar antara 3-5 m/s. Sedangkan menurut Kaonang, (2024) potensi energi angin di wilayah NTB 4 GW. Menurut Hasibun et al, (2021) bahwa Indonesia memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan pembangkit listrik energi terbarukan dari energi angin. Hal ini sejalan dengan Rencana Induk Nasional Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL 2021-2030) menyatakan bahwa, Indonesia akan menambah pembangkit listrik sebesar 40,6 GW selama 10 tahun dengan porsi EBT mencapai 20,9GW atau 51,6% (Ifnaldi, 2022). Hidro 10391 MW (25,6%), Angin 597 MW (1,5%), Bioenergi 590 MW (1,5%), Panas Bumi 3355 MW (8,3%), Tenaga Surya 4680 MW (11,5%), Pasang surut air laut 1310 MW (3,2%).

Turbin angin merupakan teknologi yang berfungsi mengonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator. Secara umum, terdapat dua jenis turbin angin yang banyak dikembangkan, yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). HAWT dikenal memiliki efisiensi konversi energi yang lebih tinggi karena memanfaatkan gaya angkat (*lift force*), sedangkan VAWT memiliki keunggulan dalam kemudahan konstruksi, kemampuan beroperasi pada kecepatan angin rendah, serta tidak memerlukan sistem pengarah angin (*yaw system*) (Islam et al., 2008). Perbedaan karakteristik tersebut menjadikan kedua jenis turbin memiliki potensi aplikasi yang berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan dan kebutuhan pengguna.

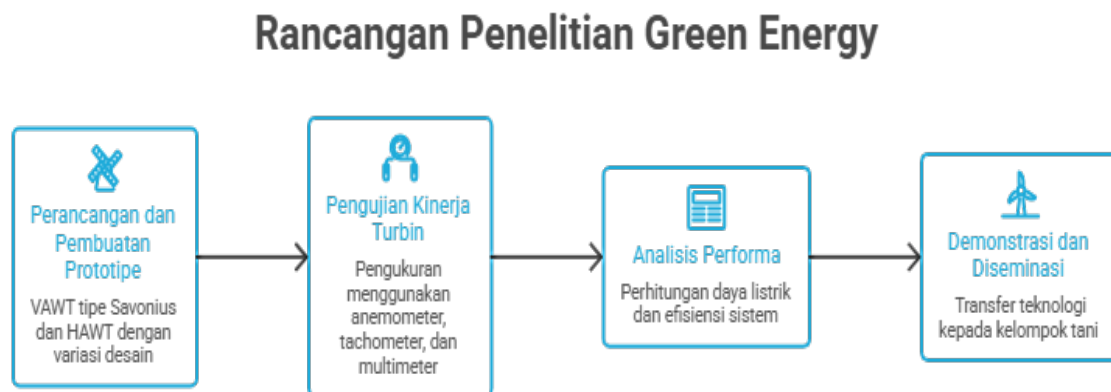
Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa performa turbin angin sangat dipengaruhi oleh desain aerodinamis bilah, jumlah baling-baling, panjang bilah, serta kondisi kecepatan angin. Eltayesh et al. (2021) menemukan bahwa optimasi desain bilah dapat meningkatkan efisiensi konversi energi secara signifikan. Penelitian lain menunjukkan bahwa konfigurasi tiga baling-baling pada HAWT menghasilkan keseimbangan terbaik antara efisiensi dan stabilitas putaran dibandingkan jumlah baling-baling lainnya (Rahman et al., 2022). Sementara itu, Afrianto et al. (2025) melaporkan bahwa variasi dimensi bilah pada VAWT berpengaruh langsung terhadap daya keluaran dan efisiensi sistem. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek teknis pengembangan turbin dan belum banyak mengintegrasikan hasil pengujian teknologi dengan upaya diseminasi serta pemberdayaan masyarakat sebagai pengguna akhir teknologi energi terbarukan.

Berdasarkan kajian tersebut, ditemukan terbatasnya studi yang membandingkan performa HAWT dan VAWT skala mikro sekaligus mengimplementasikan hasil pengembangannya dalam bentuk transfer teknologi kepada masyarakat pedesaan. Padahal, keberhasilan pengembangan energi terbarukan tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh penerimaan sosial dan keterlibatan masyarakat dalam proses adopsi teknologi (Romero-Lankao et al., 2023; Campos et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini menjadi penting dilakukan untuk menghasilkan desain turbin angin yang optimal sekaligus memperkenalkan teknologi tersebut kepada masyarakat sebagai alternatif sumber energi yang mendukung kemandirian energi dan pembangunan berkelanjutan di wilayah pedesaan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menjawab beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

- Bagaimana performa turbin angin HAWT dan VAWT skala mikro berdasarkan variasi jumlah baling-baling dan panjang bilah pada berbagai kecepatan angin?
- Manakah konfigurasi turbin angin yang menghasilkan tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi tertinggi?
- Bagaimana potensi pemanfaatan turbin angin skala mikro sebagai media transfer teknologi dan pemberdayaan masyarakat menuju kemandirian energi di wilayah pedesaan?

B. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan pengembangan prototipe (*prototype development*) yang bertujuan untuk merancang, menguji, dan mengevaluasi kinerja turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine/VAWT*) dan turbin angin sumbu horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT*) skala mikro. Penelitian dilaksanakan melalui tahapan perancangan dan pembuatan prototipe, pengujian kinerja turbin, analisis performa pembangkitan listrik, serta demonstrasi teknologi kepada masyarakat. Objek penelitian berupa prototipe VAWT tipe Savonius dengan variasi panjang bilah dan prototipe HAWT dengan variasi jumlah baling-baling. Kegiatan demonstrasi dan diseminasi teknologi dilakukan kepada kelompok tani di Desa Sanolo, Kecamatan Bolo, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat (NTB), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian green energy: Pemanfaatan turbin angin

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi anemometer untuk mengukur kecepatan angin, tachometer digital untuk mengukur kecepatan putaran turbin, multimeter digital untuk mengukur tegangan, arus, dan hambatan listrik, lembar observasi untuk pencatatan data, serta kamera dokumentasi. Parameter yang diamati meliputi kecepatan angin (m/s), kecepatan putaran turbin (rpm), tegangan (V), arus (A), hambatan (Ω), daya listrik (W), dan efisiensi sistem (%).

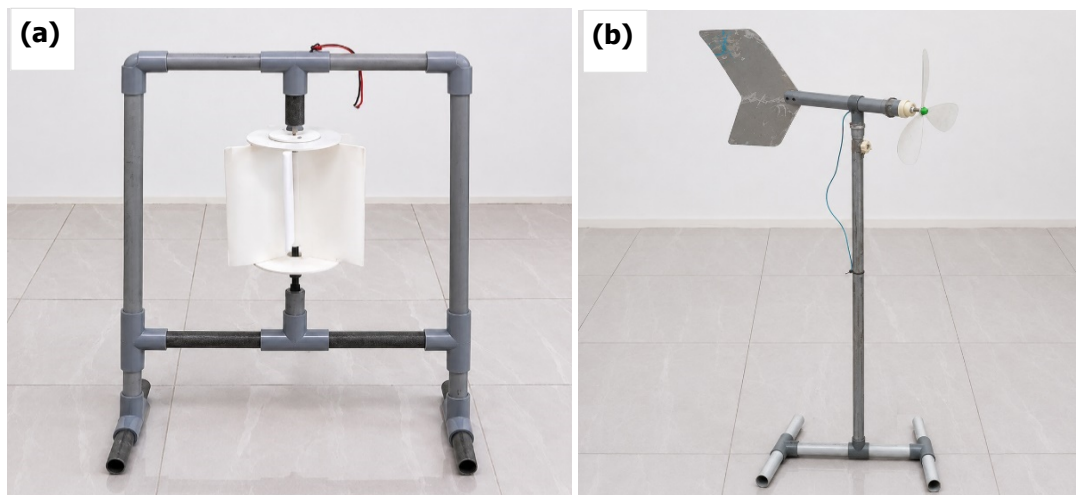
Pengumpulan data dilakukan dengan menguji setiap prototipe pada beberapa kondisi kecepatan angin. Data kecepatan putaran turbin, tegangan, arus, dan hambatan diukur secara langsung menggunakan instrumen yang telah disiapkan. Selanjutnya, daya listrik dihitung menggunakan persamaan $P = V \times I$, sedangkan efisiensi sistem dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran listrik dan daya angin yang diterima turbin. Setelah pengujian selesai, prototipe didemonstrasikan kepada kelompok tani sebagai bentuk diseminasi hasil penelitian dan transfer teknologi energi terbarukan.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif dengan menghitung dan membandingkan nilai kecepatan putaran, tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi pada setiap variasi perlakuan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian deskriptif untuk menentukan konfigurasi turbin yang memiliki performa terbaik berdasarkan nilai daya dan efisiensi tertinggi.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil dan Temuan

Kincir angin yang didesain ada dua jenis yaitu 1) Turbin angin dengan sumbu horizontal (TASH) atau *Horizontal Axis Wind Turbin* (HAWT) dan; 2) Turbin angin dengan sumbu vertikal (TASV) atau *Vertical Axis Wind Turbin* (VAWT), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Turbin angin; a) *Vertical Axis Wind Turbin* (VAWT), b) *Horizontal Axis Wind Turbin* (HAWT)

Berdasarkan Gambar 3, ditampilkan dua jenis turbin angin skala kecil (mikro), yaitu *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) pada Gambar (a) dan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) pada Gambar (b). VAWT adalah tipe Savonius, secara visual rotor berputar pada sumbu vertikal dengan bentuk sudu melengkung menyerupai huruf "S", yang merupakan ciri khas turbin Savonius. Sedangkan HAWT dengan sumbu putar horizontal, rotor menghadap langsung ke arah datangnya angin sehingga menghasilkan gaya angkat (*lift force*) yang memutar baling-baling. Kedua alat tersusun dari komponen sederhana seperti pipa PVC, poros, rotor/bilah baling-baling, dinamo DC, bearing, kabal penghantar dan rangka penyangga yang mudah didapatkan dilingkungan sekitar. Kedua turbin dirancang sebagai prototipe pembangkit listrik tenaga angin skala mikro yang memanfaatkan energi kinetik angin menjadi energi mekanik, kemudian dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Adapun prinsip kerja dan perbandingan dari kedua turbin tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Prinsip kerja turbin angin VAWT dan HAWT

Prinsip Kerja VAWT (Gambar a)	Prinsip Kerja HAWT (Gambar b)
• Angin yang mengenai permukaan sudu menghasilkan gaya dorong (<i>drag force</i>). • Perbedaan tekanan pada kedua sisi sudu menyebabkan rotor berputar. • Putaran rotor diteruskan ke poros utama yang dapat dihubungkan dengan generator listrik mini. • Turbin jenis ini mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah dan tidak memerlukan sistem pengarah angin (<i>yaw system</i>).	• Angin mengalir melewati bilah turbin. • Bentuk aerodinamis bilah menghasilkan gaya angkat. • Rotor berputar dan menggerakkan poros horizontal. • Putaran poros diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. • Ekor (<i>tail vane</i>) berfungsi menjaga rotor tetap menghadap arah angin.

Tabel 2. Perbandingan turbin angin VAWT dan HAWT

Aspek	VAWT	HAWT
Arah Sumbu	Vertikal	Horizontal
Jenis Gaya Dominan	Drag force	Lift force
Perlu Menghadap Angin	Tidak	Ya
Efisiensi	Relatif lebih rendah	Lebih tinggi
Kecepatan Awal	Rendah	Sedang-Tinggi
Kompleksitas Konstruksi	Sederhana	Lebih kompleks
Cocok untuk Pembelajaran	Sangat cocok	Sangat cocok
Cocok pada Angin Rendah	Baik	Cukup baik

2. Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil pengamatan dan analisis data pada prototype kincir angin horizontal dan vertikal, terlihat bahwa variasi jumlah baling-baling serta dimensi bilah memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa sistem pembangkit listrik tenaga angin. Parameter utama yang diamati meliputi tegangan, arus listrik, hambatan, kecepatan angin, kecepatan putaran turbin, dan efisiensi sistem. Secara umum, peningkatan kecepatan angin menyebabkan kenaikan putaran turbin, tegangan, serta arus listrik yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa energi kinetik angin yang diterima baling-baling berhasil dikonversi menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi energi listrik melalui generator. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menjelaskan bahwa daya dan efisiensi turbin angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin dan karakteristik aerodinamis baling-baling (Eltayesh et al., 2021; Anandia et al., 2024). Sedangkan menurut Islam & Islam (1994) menjelaskan bahwa konfigurasi tiga blade merupakan desain paling umum pada turbin modern karena memiliki rasio efisiensi dan kestabilan putaran yang paling baik. Namun jika bilah pada turbin angin terlalu banyak juga tidak akan efektif. Penambahan jumlah blade secara berlebihan dapat meningkatkan *drag force* sehingga menurunkan kecepatan rotasi turbin dan mengurangi efisiensi sistem (Eltayesh et al., 2021; Rahman et al., 2022).

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa prototype turbin horizontal dengan 3 baling-baling merupakan konfigurasi paling efektif pada kategori HAWT, sedangkan prototype turbin vertikal dengan panjang bilah 60 cm merupakan konfigurasi paling

optimal pada kategori VAWT. Kedua prototype tersebut mampu menghasilkan kombinasi terbaik antara putaran rotor, tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi sistem. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa optimasi jumlah baling-baling, panjang blade, dan karakteristik aerodinamis merupakan faktor utama dalam meningkatkan performa turbin angin skala kecil untuk pembangkit energi listrik (Eltayesh et al., 2021; Afrianto et al., 2025; Pangestu et al., 2025)

Setelah kegiatan pengujian efisiensi kincir angin VAWT dan HAWT dilakukan, alat tersebut didemonstrasikan bagaimana penggunaan alat turbin angin skala kecil kepada kelompok tani di Desa Sanolo, Kecamatan Bolo, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat (NTB). Terlihat beberapa anggota kelompok tani bersama tim pelaksana kegiatan berpose di lokasi demonstrasi sambil memperlihatkan prototipe turbin angin yang ditempatkan di bagian tengah kelompok, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 4. Penyerahan turbin angin skala mikro pada kelompok tani

Gambar 4 di atas menunjukkan adanya proses transfer pengetahuan dan teknologi dari tim pelaksana kepada masyarakat, kehadiran anggota kelompok tani yang terlibat secara langsung dalam demonstrasi mengindikasikan bahwa kegiatan tidak hanya bersifat sosialisasi, tetapi juga berorientasi pada pemberdayaan masyarakat melalui pengenalan teknologi energi terbarukan yang sederhana, murah, dan mudah diaplikasikan. Pendekatan semacam ini sejalan dengan konsep pengembangan masyarakat berbasis teknologi tepat guna yang menempatkan masyarakat sebagai subjek utama dalam proses adopsi inovasi energi terbarukan. Keterlibatan aktif masyarakat dalam perencanaan, implementasi, dan pemanfaatan teknologi energi terbarukan menjadi faktor penting yang menentukan keberlanjutan dan keberhasilan program energi di wilayah pedesaan (Aisah & Herdiansyah, 2019; Muhayatul & Umar, 2025).

Partisipasi aktif peserta yang terlihat dari keterlibatan mereka dalam kegiatan menunjukkan adanya penerimaan yang positif terhadap inovasi yang diperkenalkan. Hal ini mengindikasikan bahwa masyarakat memiliki minat untuk memahami dan mengembangkan pemanfaatan energi angin sebagai alternatif sumber energi yang ramah lingkungan, terutama pada daerah yang memiliki potensi angin cukup baik seperti

wilayah pesisir dan dataran terbuka di Kabupaten Bima. Temuan ini sejalan dengan penelitian Rachmawatie et al., (2021) yang menunjukkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan berbasis angin dan surya dapat meningkatkan kapasitas masyarakat dalam mengelola sumber daya lokal sekaligus memperkuat kemandirian energi masyarakat pedesaan. Keterlibatan masyarakat dalam kegiatan demonstrasi merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan adopsi teknologi energi terbarukan, karena partisipasi aktif masyarakat dapat meningkatkan rasa memiliki, penerimaan sosial, dan keberlanjutan pemanfaatan teknologi yang diperkenalkan (Romero-Lankao et al., 2023; Campos et al., 2025).

Selain itu, kegiatan yang bersentuhan langsung dengan masyarakat menggambarkan keberhasilan tahap diseminasi teknologi, yaitu mempertemukan hasil inovasi dengan pengguna potensial. Demonstrasi alat VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) dan HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk memahami prinsip kerja, manfaat, serta potensi penerapan teknologi turbin angin dalam mendukung aktivitas pertanian. Teknologi tersebut berpotensi dimanfaatkan untuk penyediaan listrik skala kecil, pengisian baterai, penerangan lahan pertanian, maupun pengoperasian perangkat sederhana yang mendukung produktivitas petani. Menurut Mills (2017), pengembangan energi angin di wilayah pedesaan tidak hanya memberikan manfaat energi, tetapi juga memberikan dampak ekonomi dan sosial yang positif bagi masyarakat, termasuk peningkatan stabilitas ekonomi serta penguatan keberlanjutan sektor pertanian.

Selain itu, kegiatan ini juga mencerminkan upaya mendukung pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan energi terbarukan. Penggunaan energi angin dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap sumber energi fosil dan meningkatkan kemandirian energi di tingkat desa (Haqiqi, 2023; Pinandita et al, 2025). Studi dilakukan oleh Pugu et al. (2024) menunjukkan bahwa implementasi energi terbarukan di wilayah pedesaan memberikan dampak positif terhadap aspek ekonomi, pendidikan, dan kesadaran lingkungan masyarakat. Melalui kegiatan demonstrasi seperti yang terlihat pada Gambar 4, masyarakat tidak hanya memperoleh pemahaman teknis mengenai teknologi energi angin, tetapi juga meningkatkan literasi energi dan kesadaran lingkungan yang menjadi fondasi penting dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan.

Lebih lanjut, energi angin memiliki potensi besar sebagai instrumen pemberdayaan masyarakat pedesaan karena mampu menyediakan sumber energi yang bersih, berkelanjutan, dan relatif mudah dikembangkan pada skala komunitas. Pengembangan energi angin di wilayah pedesaan telah terbukti mampu mendorong kemandirian energi, menciptakan peluang ekonomi baru, serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat apabila didukung oleh partisipasi masyarakat dan pendampingan yang memadai. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya mendokumentasikan kegiatan demonstrasi alat, tetapi juga menggambarkan proses pemberdayaan masyarakat, peningkatan literasi teknologi, penguatan kapasitas kelompok tani, serta pengembangan kesadaran akan pentingnya pemanfaatan energi terbarukan dalam mendukung pembangunan pedesaan yang berkelanjutan.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai desain dan pengujian prototype turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine/VAWT), dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah baling-baling dan panjang bilah berpengaruh signifikan terhadap performa pembangkitan energi listrik. Peningkatan kecepatan angin dari 2,5 m/s hingga 3,5 m/s secara konsisten meningkatkan kecepatan putaran turbin, tegangan, arus listrik, dan daya yang dihasilkan pada seluruh prototype yang diuji. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa prototype HAWT dengan 3 baling-baling dan prototype VAWT dengan panjang bilah 60 cm merupakan desain terbaik pada masing-masing kategori. Kedua konfigurasi tersebut mampu menghasilkan kombinasi yang optimal antara kecepatan putaran, tegangan, arus, daya listrik, dan efisiensi sistem, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai teknologi pembangkit listrik tenaga angin skala kecil berbasis energi terbarukan.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi teoritis dan praktis dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga angin skala kecil. Teknologi ini berpotensi dimanfaatkan untuk mendukung kebutuhan energi masyarakat, terutama pada sektor pertanian, seperti sistem irigasi, penerangan lahan pertanian, pengisian baterai, maupun kebutuhan energi lainnya. Penggunaan turbin angin juga dapat menjadi alternatif dalam mendukung transisi menuju energi bersih dan mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Rekomendasi yang perlu dilakukan kedepan adalah pengembangan desain bilah menggunakan material yang lebih ringan dan kuat serta optimasi bentuk aerodinamis untuk meningkatkan efisiensi dan daya keluaran turbin. Prototype yang telah dikembangkan dapat dijadikan dasar pengembangan program pemberdayaan masyarakat dan petani melalui pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi terbarukan untuk mendukung kemandirian energi di wilayah pedesaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada STKIP Harapan Bima yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini dan kepada dosen pendamping yang selalu kebersamai kami dari awal sampai akhir penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Afrianto, D., Kurniawan, A., Fernanda, Y., & Qalbina, F. (2025). Analisis numerik kinerja turbin angin Darrieus tipe H terhadap variasi jumlah blade dan kecepatan angin dengan pendekatan simulasi CFD. *Didaktik*, 11(4). <https://doi.org/10.36989/didaktik.v11i04.8744>
- Aisah, I. U., & Herdiansyah, H. (2019). Strategi pemberdayaan masyarakat dalam pelaksanaan program Desa Mandiri Energi. *Share: Social Work Journal*, 9(2), 130-141. <https://doi.org/10.24198/share.v9i2.21015>
- Anandia, F. P., Sahid, S., & Roihatin, A. (2024). Experimental study of the performance of a horizontal axis wind turbine with variations in the number of blades. *Eksergi*, 21(3). <https://doi.org/10.32497/eksergi.v21i03.7110>
- Campos, I., Wittmayer, J. M., Hielscher, S., Oliveira, F., Alves, F. M., Progscha, S., & Wientjes, A. (2025). Just participation in wind energy: The role of social innovations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 209, 115146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115146>
- Eltayesh, A., Castellani, F., Burlando, M., Hanna, M. B., Huzayyin, A. S., El-Batsh, H. M., & Becchetti, M. (2021). Experimental and numerical investigation of the effect of blade number on the aerodynamic performance of a small-scale horizontal axis wind turbine. *Alexandria Engineering Journal*, 60(4), 3931-3944. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.048>

- Haqiqi, A. Z. (2023). Penggunaan biomassa sebagai energi alternatif pembangkit listrik di wilayah pedesaan. *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation*, 1(1), 42-51. <https://doi.org/10.54378/joseon.v1i1.6766>
- Hasibuan, A., Parinduri, L., & Sulaiman, O. K. (2021). Potensi pengembangan energi angin sebagai energi baru terbarukan di Indonesia. *Journal of Electrical Technology*, 6(2), 45-52. <https://doi.org/10.30743/jet.v6i2.4135>
- IEA. (2024). *World energy outlook 2024*. International Energy Agency Publishing
- Ifnaldi, A. (2022). Analisis target bauran energi baru terbarukan dalam RUPTL 2021-2030. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 3(1), 17-25. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13381>
- IRENA. (2023). *Renewable power generation costs in 2023*. International Renewable Energy Agency.
- Islam, M. R., Ting, D. S. K., & Fartaj, A. (2008). Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 1087-1109. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.023>
- Islam, M. Q., & Islam, A. K. M. S. (1994). The aerodynamic performance of a horizontal-axis wind turbine calculated by strip theory and cascade theory. *JSME International Journal*, 37(4), 871-877. <https://doi.org/10.1299/jsmeb.37.871>
- Ismail, M., Abdullah, A. G., & Suryadi, D. (2020). Analisis potensi energi angin sebagai pembangkit listrik tenaga bayu di Kabupaten Bima Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, 3(2), 67-74. <https://doi.org/10.33795/jetam.v3i2.43>
- Kaonang, G. (2024, January 21). Potensi energi baru terbarukan Indonesia mencapai 3.686 GW. *Kompas.com*. <https://www.kompas.com/cekfakta/read/2024/01/21/203740282/cek-fakta-gibran-klaim-ebt-di-indonesia-potensinya-capai-3686-gigawatt>
- Martosaputro, S., & Murti, N. (2014). Blowing the wind energy in Indonesia. *Energy Procedia*, 47, 273-282. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.225>
- Marwan, M. (2024). Tantangan pengembangan energi baru terbarukan di Indonesia dalam menghadapi transisi energi nasional. *Jurnal Kebijakan Energi Indonesia*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.51510/jkei.v5i1.2024>
- Mills, S. (2017). Wind energy and rural community sustainability. In *Handbook of sustainability and social science research* (pp. 215-225). Cham: Springer International Publishing.
- Muhayatul, M., & Umar, G. (2025). Transformasi Energi Terbarukan dalam Kerangka Pembangunan Berkelanjutan: Studi Evaluatif Atas Kebijakan dan Implementasi di Indonesia. *Trends in Applied Sciences, Social Science, and Education*, 3(1), 13-30. <https://doi.org/10.71383/tase.v3i1.83>
- Pangestu, W. A., Minora, P., & Rusdianasari. (2025). Kajian komprehensif variasi bentuk blade turbin angin: Analisis aerodinamika, biomimetik, dan efisiensi energi. *Jurnal Surya Teknik*, 12(2). <https://doi.org/10.37859/jst.v12i2.10569>
- Pinandita, S., Elawati, N. E., & Al Amin, A. F. (2025). Peningkatan Efisiensi Ekonomi Melalui Pemanfaatan Energi Terbarukan untuk Penerangan Jalan di Desa Banjarsari. *Jurnal Implementasi Ilmu Ekonomi*, 2(1), 39-53. <https://doi.org/10.26623/ji2e.v2i1.10521>
- Pugu, M. R., Judijanto, L., & Bungai, J. (2024). *Use of renewable energy in rural areas: Literature review and application in community service*. *Journal of Community Dedication*, 4(2), 441-454.
- Rachmawatie, D., Rustiadi, E., Fauzi, A., & Juanda, B. (2021). Driving factors of community empowerment and development through renewable energy for electricity in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(1), 326-332. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10533>
- Rahman, F., Nurjannah, I., Sari, H. N., Christian, A., & Hidayat, M. K. (2022). Optimalisasi metode blade turbin angin sumbu horizontal. *Otopro*, 18(2), 59-64. <https://doi.org/10.26740/otopro.v18n2.p59-64>
- Rimbawati, S. T. (2025). *Dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan: Potensi, tantangan dan solusi dalam transformasi energi*. umsu press.
- Romero-Lankao, P., Gnann, T., Heeter, J., & Colleagues. (2023). *Community engagement and equity in renewable energy projects*. National Renewable Energy Laboratory (NREL).