



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 22328-22335

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Menggunakan Turbin Savonius Dengan Generator Fluks Aksial Untuk Aplikasi Penerangan Jalan

Davin Narendra Khadafi¹, Apip Miptahudin², Sunarta³

Universitas Pertahanan Republik Indonesia

davinnarendrak@gmail.com, twentyoneezra@gmail.com, amiptahudin@gmail.com, sunarta@idu.ac.id

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik dan pengembangan energi terbarukan mendorong pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu menggunakan turbin Savonius dan generator fluks aksial untuk aplikasi penerangan jalan. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan turbin, generator, sensor, Arduino Mega 2560, dan baterai penyimpanan energi dalam satu kesatuan. Metode penelitian yang digunakan adalah rancang bangun eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Pengujian dilakukan menggunakan angin buatan dan angin alami dengan mengukur parameter kecepatan angin, putaran generator (RPM), tegangan, arus, dan daya keluaran. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dirancang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe PLTB mampu bekerja pada kecepatan angin rendah dengan menghasilkan tegangan maksimum 13,6 V, arus 0,47 A, daya 6,39 W, dan putaran generator 676 rpm pada kecepatan angin 3,5 m/s. Peningkatan kecepatan angin terbukti meningkatkan putaran generator dan daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan pengujian lapangan selama 24 jam, sistem menghasilkan energi listrik sebesar 24 Wh atau setara dengan kemampuan pengisian baterai sebesar 2 Ah pada sistem 12 V. Hasil analisis terhadap beban lampu LED DC 12 V 5 W menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan hanya mampu memenuhi sekitar 40% dari kebutuhan energi beban sebesar 60 Wh untuk operasi selama 12 jam, dengan lama operasi lampu yang dapat dipenuhi sekitar 4,8 jam. Meskipun belum mampu memenuhi kebutuhan penerangan selama satu malam penuh.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Generator Fluks Aksial, Penerangan Jalan, Pembangkit Listrik, Tenaga Bayu, Turbin Savonius.

1. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik nasional yang terus meningkat sebagian besar masih dipenuhi oleh pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Kondisi ini secara signifikan berkontribusi pada peningkatan emisi CO₂, yang merupakan penyebab utama pemanasan global. Pemerintah telah menetapkan target emisi nol bersih pada tahun 2060 sebagai langkah strategis untuk mengurangi tingkat emisi CO₂ secara bertahap (Kuncoro et al., 2024).

Penggunaan energi pada lingkungan kampus menjadi sasaran yang cukup signifikan. Pembangunan Smart Campus, ketersediaan energi listrik yang andal, efisien, dan ramah lingkungan menjadi faktor penting dalam mendukung kegiatan akademik, operasional, serta keamanan lingkungan (Situmorang & Pakpahan, 2023). Penerangan jalan merupakan salah satu aspek vital yang memerlukan kebutuhan energi berkelanjutan untuk menunjang kenyamanan dan keselamatan civitas akademika di lingkungan kampus (Widi Aribowo et al., 2025).

Sistem penerangan di lingkungan Smart Campus Universitas Pertahanan RI sebagian besar bergantung pada pasokan listrik dari jaringan PLN atau memanfaatkan energi surya. Teknologi panel surya banyak digunakan sebagai sumber energi terbarukan, sistem ini memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu kendala utama adalah biaya investasi awal yang relatif tinggi, baik dari sisi pengadaan panel maupun instalasinya (Hari Purwoto et al., 2023).

Kinerja panel surya sangat bergantung pada intensitas penyinaran matahari, sehingga efisiensinya menurun pada kondisi cuaca mendung atau wilayah dengan radiasi matahari yang rendah. Hal tersebut menjadikan panel surya kurang optimal apabila diterapkan secara luas tanpa dukungan sistem energi alternatif yang memadai (Sutopo et al., 2020).

Sebagai alternatif pemanfaatan energi angin dapat digunakan melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Energi angin menunjukkan potensi yang signifikan di berbagai wilayah Indonesia, termasuk di lingkungan kampus yang relatif terbuka dan memiliki sirkulasi udara yang proporsional. Namun, karakteristik angin di daerah

perkotaan dan sekitar kampus umumnya memiliki kecepatan rendah (2–5 m/s) (Maulana et al., 2021). Sehingga tidak semua jenis turbin angin dapat beroperasi secara efektif. Maka, diperlukan jenis turbin yang mampu berfungsi pada kecepatan angin rendah dengan efisiensi yang tinggi (Alam & Jin, 2023).

Turbin Savonius, yang diklasifikasikan sebagai jenis Vertical Axis Wind Turbine, merupakan salah satu model turbin yang sangat sesuai untuk kondisi kecepatan angin rendah seperti yang umum ditemui di daerah perkotaan. Turbin ini beroperasi berdasarkan prinsip gaya hambat, di mana bilah-bilahnya menangkap energi angin dari berbagai arah, sehingga memungkinkan putaran yang stabil meskipun arah angin tidak stabil. Konstruksi turbin Savonius relatif sederhana yang membantu proses perawatan dan instalasi yang lebih mudah, serta biaya produksi yang lebih terjangkau dibandingkan dengan turbin poros horizontal (Francisco et al., 2025).

Energi mekanik dari rotasi turbin dapat di konversi menjadi energi Listrik menggunakan generator khusus yang dirancang untuk beroperasi pada kecepatan putaran rendah, seperti generator magnet permanen atau generator induksi dengan efisiensi tinggi (Kusnadi et al., 2021). Generator yang dinilai sesuai dengan kondisi turbin savonius adalah generator fluks aksial (axial flux generator), karena efisien dan menghasilkan torsi yang besar dan memiliki konstruksi yang ringan. Integrasi antara turbin savonius dan generator fluks aksial dapat berpotensi menghasilkan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dalam skala kecil yang efisien (Isra' Nuur Darmawan et al., 2024).

Sistem ini tidak hanya mampu mengoptimalkan pemanfaatan energi angin lokal dengan kecepatan rendah, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi karbon, penghematan biaya operasional jangka panjang (Indra Herlamba Siregar S, Mesin et al., 2020). Selain itu, implementasi teknologi ini dapat menjadi sarana untuk pendidikan dan penelitian di bidang energi berkelanjutan, mendorong inovasi dalam pengembangan infrastruktur hijau yang selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan nasional (Akinsemolu & Onyeaka, 2025).

Penelitian mengenai rancang bangun PLTB menggunakan turbin Savonius dengan generator fluks aksial memiliki nilai strategis dalam bidang pendidikan dan penelitian. Penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai sarana pembelajaran serta pengembangan teknologi energi terbarukan yang aplikatif (Nawan et al., 2022). Implementasi sistem ini merupakan langkah konkret dalam mendukung program pemerintah menuju transisi energi hijau yang efisien, mandiri, dan berkelanjutan (Fahmi & Alam, 2025).

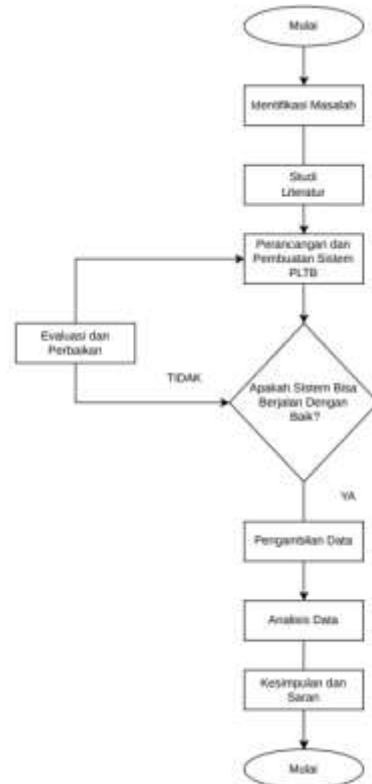
Tujuan dari penelitian ini merancang dan membangun prototipe turbin savonius dengan generator fluks aksial yang efisien, serta dilakukan pengujian terhadap performanya dalam menghasilkan daya listrik yang memadai untuk penerangan jalan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan terhadap kemajuan energi terbarukan skala kecil dan berfungsi sebagai alternatif solusi energi berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode rancang bangun eksperimental (*experimental design research*), dengan penekanan pada pengesahan kinerja sistem yang dikembangkan terhadap persyaratan tenaga untuk pencahayaan jalan. Metode ini berfokus pada pendekatan kuantitatif, di mana parameter teknis seperti kecepatan angin, torsi, rotasi rotor, serta tegangan dan daya output diukur dalam tahap pengujian. (Boubakar & Aissa, 2024) Tahapan pokok mencakup perancangan sistem turbin dan generator melalui *Autocad*, perakitan prototipe dengan bahan yang disesuaikan berdasarkan kondisi angin setempat, serta evaluasi kinerja di lokasi penelitian (Francisco et al., 2025).

Prototipe dievaluasi di lokasi lapangan guna menilai efisiensi transformasi energi serta stabilitas output listrik yang dihasilkan. Pengumpulan data dilakukan melalui penggunaan sensor anemometer dan multimeter untuk mengukur respons sistem terhadap variasi kondisi angin (Widi Aribowo et al., 2025). Melalui rancangan ini, diprediksi bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini dapat berfungsi sebagai model implementasi energi terbarukan berskala prototipe yang efisien dan berkelanjutan.

Prosedur Penelitian

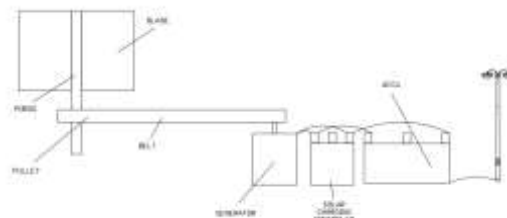


Gambar 1. Gambar Prosedur penelitian
Sumber: Diolah Oleh Peneliti

Penelitian diawali dengan proses identifikasi masalah, yaitu mengamati dan menentukan permasalahan yang menjadi dasar penelitian terkait pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif untuk penerangan jalan. Setelah permasalahan teridentifikasi, dilakukan studi literatur dengan mengumpulkan berbagai referensi berupa buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan turbin Savonius, generator fluks aksial, sistem pembangkit listrik tenaga bayu, serta teknologi pendukung lainnya. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori yang kuat sebagai dasar dalam proses perancangan dan pengembangan sistem. Setelah sistem dinyatakan layak dan berfungsi dengan baik, dilakukan pengambilan data melalui pengujian menggunakan sumber angin buatan dan angin alami. Data yang dikumpulkan meliputi parameter kecepatan angin, putaran generator (RPM), tegangan, arus, dan daya keluaran. Selanjutnya, data tersebut diolah dan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dikembangkan. Tahap akhir penelitian berupa penyusunan kesimpulan dan saran, yang disusun berdasarkan hasil analisis untuk menjawab tujuan penelitian serta memberikan rekomendasi bagi pengembangan penelitian sejenis di masa mendatang.

3. Hasil dan Diskusi

Perancangan Sistem PLTB

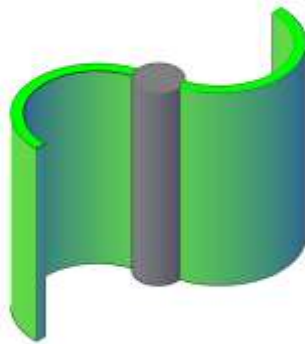


Gambar 2. Perancangan Sistem PLTB

Sumber: Diolah Oleh Peneliti

Gambar tersebut merupakan rangkaian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang memanfaatkan turbin savonius tipe-U sebagai komponen utama dalam proses konversi energi. Sistem diawali dengan pemanfaatan

energi kinetik angin yang memutar bilah turbin Savonius berdasarkan prinsip gaya hambat. Energi mekanik hasil putaran turbin kemudian diteruskan ke generator fluks aksial, yang berfungsi mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC) melalui mekanisme induksi elektromagnetik. Pemilihan turbin savonius dan generator fluks aksial didasarkan pada kemampuannya untuk beroperasi secara efektif pada kondisi kecepatan angin rendah.



Gambar 3. Perancangan Design Bilah Turbin

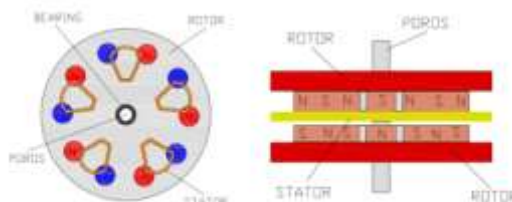
Sumber: Diolah Oleh Peneliti

Gambar tersebut memperlihatkan bentuk 3 dimensi dari turbin angin savonius tipe-u yang telah dirancang menggunakan *AutoCAD*. Sudu turbin dihubungkan dengan poros yang terhubung satu axis vertikal dengan transmisi gear box yang sudah disambungkan dengan poros generator sehingga dihasilkan energi Listrik (Shahrul Nuno Gomes, Ir. Wahyu Budi Mursanto, 2024).

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Savonius

No	Parameter	Spesifikasi
1.	Sudu Turbin	2 Sudu
2.	Diameter Sudu Turbin	15 cm
3.	Tinggi Turbin	50 cm
4.	Ketebalan	2 mm
5.	Material	PVC (Polyvinyl Chloride)

Tabel tersebut menunjukkan spesifikasi komponen utama turbin savonius, khususnya pada bagian sudu atau bilah turbin yang berfungsi menangkap energi kinetik dari angin. Sudu turbin memiliki peran penting dalam menentukan efisiensi konversi energi, karena bentuk dan dimensinya berpengaruh langsung terhadap kecepatan putar serta torsi yang dihasilkan. Pada sistem ini, digunakan konfigurasi dual turbine, yaitu dua susunan sudu yang dipasang secara vertikal untuk meningkatkan kestabilan putaran dan memperbesar torsi pada kecepatan angin rendah.



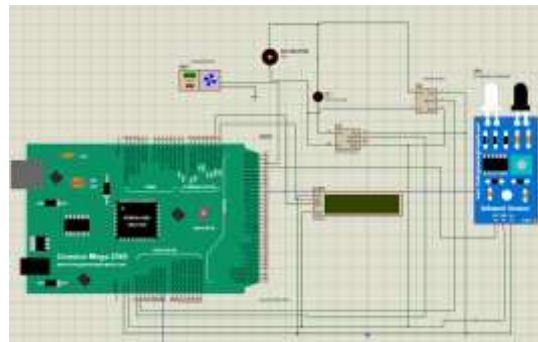
Gambar 4. Perancangan Design Generator Fluks Aksial

Sumber: Diolah Oleh Peneliti

Proses pembuatan melibatkan tahapan pencetakan stator dengan resin epoksi untuk melindungi lilitan dari kelembapan dan getaran. Setelah komponen utama selesai, generator dirakit dengan memperhatikan celah udara yang optimal antara rotor magnet dan stator untuk mencapai fluks maksimum. Pengujian awal dilakukan menggunakan motor penggerak dengan kecepatan variabel untuk mengukur tegangan induksi dan kestabilan output. Data awal ini menjadi dasar untuk kalibrasi dan penyempurnaan desain sebelum integrasi dengan sistem turbin Savonius (Agus Nur Hidayat et al., 2020).

**Tabel 2. Spesifikasi Generator
Fluks Aksial**

No	Parameter	Spesifikasi
1.	Fungsi	Generator AC
2.	Konfigurasi	Dual Axis
3.	Diameter	32 cm
4.	Material	PVC (Polyvinyl Chloride) Kawat Tembaga email 0,6 mm Magnet Neodymium N42 20x3 mm



Gambar 6. Perancangan sensor pada sistem PLTB

Sumber: Diolah Oleh Peneliti

**Tabel 3. Spesifikasi Generator
Fluks Aksial**

No	Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino Mega 2560
1.	Sensor Anemometer	VCC GND VOUT	5V GND D2
2.	IR Obstacle Sensor/LM393 Speed Sensor	VCC GND OUT	5V GND D3
3.	Sensor Tegangan 25V	VCC GND VOUT	5V GND A1

4.	Sensor Arus ACS712 5A	VCC GND VOUT	5V GND A0
5.	LCD I2C 20x4	VCC GND SCL SCA	5V GND Pin 21 Pin 20

Berdasarkan tabel konfigurasi wiring yang tersebut sistem monitoring pada pembangkit listrik tenaga bayu ini dirancang dengan memanfaatkan Arduino Mega 2560 sebagai pusat pengolahan data dari berbagai sensor yang terintegrasi. Sensor anemometer dihubungkan ke pin digital D2 untuk membaca pulsa yang dihasilkan oleh putaran baling-baling sensor, sehingga kecepatan angin dapat dihitung secara real-time. IR Obstacle Sensor/LM393 Speed Sensor terhubung pada pin digital D3 yang berfungsi untuk mendeteksi putaran poros generator atau rotor melalui pembacaan pulsa. Pada sisi pengukuran parameter listrik, sistem memanfaatkan sensor tegangan 25 V dan sensor arus ACS712 5A yang terhubung ke pin analog Arduino.

Sensor tegangan dihubungkan ke pin A1 untuk mengukur besar tegangan keluaran generator, sedangkan sensor arus ACS712 5A dihubungkan ke pin A0 untuk mendeteksi arus yang mengalir menuju beban. Kedua sensor ini bekerja secara simultan untuk memperoleh data listrik yang diperlukan dalam perhitungan daya keluaran sistem. Integrasi kedua sensor tersebut memungkinkan sistem menghasilkan data tegangan, arus, dan daya secara berkelanjutan selama proses pengujian berlangsung. LCD I2C 20×4 yang terhubung melalui jalur komunikasi I2C pada pin SDA (Pin 20) dan SCL (Pin 21) Arduino Mega 2560. Seluruh komponen memperoleh suplai tegangan 5 V dan terhubung pada jalur ground (GND) yang sama untuk menjaga kestabilan referensi tegangan selama proses akuisisi data. Dengan konfigurasi wiring tersebut, sistem mampu melakukan pemantauan kecepatan angin, putaran generator, tegangan, arus, dan daya secara terintegrasi.



Gambar 7. Pengujian Generator Menggunakan Osiloskop

Sumber : Diolah Oleh Peneliti

Tabel 4. Hasil Pengujian Generator Menggunakan Osiloskop

No	Tegangan (V)	Frekuensi (Hz)
1.	3 V	30 Hz
2.	4,5 V	44 Hz
3.	6 V	58 Hz
4.	7,5 V	70 Hz
5.	9 V	83 Hz
6.	12 V	110 Hz

Berdasarkan data hasil pengujian generator menggunakan osiloskop, terlihat adanya kecenderungan bahwa peningkatan tegangan keluaran selalu diikuti oleh kenaikan frekuensi sinyal yang dihasilkan. Pada tahap awal pengujian, generator menghasilkan tegangan sebesar 3 V dengan frekuensi 30 Hz, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai 12 V dengan frekuensi 110 Hz. Hubungan ini menunjukkan bahwa perubahan kecepatan putaran rotor berpengaruh langsung terhadap besarnya energi listrik yang dibangkitkan oleh generator.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Menggunakan Angin Buatan

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	RPM Generator
1,5 m/s	6,1 V	0,21 A	1,28 W	381
1,7 m/s	6,6 V	0,22 A	1,45 W	300
2 m/s	8,5 V	0,29 A	2,46 W	423
2,5 m/s	10,2 V	0,35 A	3,57 W	559
2,8 m/s	11 V	0,38 A	4,18 W	583
3,5 m/s	13,6 V	0,47 A	6,39 W	676

Berdasarkan tabel hasil pengujian dengan kondisi angin buatan, terlihat bahwa peningkatan kecepatan angin memberikan pengaruh langsung terhadap kenaikan tegangan, arus, dan daya keluaran generator. Pada saat kecepatan angin meningkat dari 1,5 m/s menjadi 3,5 m/s, tegangan keluaran bertambah dari 6,1 V menjadi 13,6 V. Kenaikan tersebut menunjukkan bahwa putaran generator yang dihasilkan turbin semakin tinggi sehingga gaya gerak listrik yang dibangkitkan oleh generator juga meningkat. Nilai arus yang dihasilkan juga mengalami peningkatan secara bertahap seiring bertambahnya kecepatan angin. Arus keluaran naik dari 0,21 A pada kecepatan angin 1,5 m/s menjadi 0,47 A pada kecepatan 3,5 m/s. Meskipun kenaikannya tidak sebanding dengan tegangan hasil tersebut menunjukkan bahwa generator mampu menyuplai energi listrik yang lebih besar ketika menerima energi mekanik yang lebih tinggi dari turbin.

**Tabel 6. Hasil Pengujian Lapangan
Pukul 06.00 – 12.00**

Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	RPM
06:00	0,7	0	0	0	0
07:00	0,5	0	0	0	0
08:00	0,6	0	0	0	0
09:00	0,6	0	0	0	0
10:00	0,6	0	0	0	0
11:00	1,2	5,7	0,19	1,08	221
12:00	1,2	5,7	0,19	1,08	221
Rata-rata	0,77 m/s	1,63V	0,05A	0,31W	63,14RPM

Berdasarkan hasil pengujian pada rentang waktu 06.00-12.00, diperoleh rata-rata kecepatan angin sebesar 0,77 m/s, dengan rata-rata tegangan 1,63 V, arus 0,05 A, daya 0,31 W, dan putaran generator 63,14 rpm. Pada periode pukul 06.00 -10.00, kecepatan angin yang berada pada kisaran 0,5-0,7 m/s belum mampu menghasilkan putaran rotor yang cukup untuk menggerakkan generator, sehingga tegangan, arus, daya, dan putaran generator masih bernilai nol. Kondisi ini menunjukkan bahwa energi kinetik angin yang tersedia masih berada di bawah kebutuhan minimum sistem untuk memulai proses konversi energi.

4. Kesimpulan

Perancangan dan pembangunan prototipe PLTB berhasil dilakukan menggunakan turbin Savonius yang dipadukan dengan generator fluks aksial untuk aplikasi penerangan di Smart Campus Universitas Pertahanan RI. Sistem yang terdiri dari turbin Savonius, sistem transmisi pulley, generator fluks aksial, dioda penyearah, solar charge controller, baterai, serta lampu LED DC berhasil diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem pembangkit listrik

tenaga bayu yang mampu beroperasi pada kondisi kecepatan angin rendah. Integrasi turbin Savonius dengan generator fluks aksial berhasil menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk penerangan skala kecil. Pada hasil pengujian sistem menghasilkan tegangan maksimum sebesar 13,6 V, arus sebesar 0,47 A, daya sebesar 6,39 W, dan putaran generator mencapai 676 rpm pada kecepatan angin 3,5 m/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa generator fluks aksial memiliki karakteristik yang sesuai untuk diaplikasikan pada turbin Savonius yang bekerja pada putaran relatif rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kemampuan sistem dalam mendukung aplikasi penerangan masih dipengaruhi oleh kondisi kecepatan angin di lokasi penelitian. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di lingkungan Smart Campus Universitas Pertahanan RI, kecepatan angin yang tersedia cenderung lebih rendah dan tidak sepenuhnya sesuai dengan kondisi yang ditargetkan pada tahap perancangan. Maka energi listrik yang dihasilkan belum mencapai performa optimal untuk memenuhi kebutuhan penerangan secara berkelanjutan. Prototipe yang dikembangkan tetap mampu beroperasi, menghasilkan energi listrik, dan membuktikan bahwa integrasi turbin Savonius dengan generator fluks aksial dapat bekerja pada kondisi angin rendah. Sistem ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut melalui optimalisasi desain turbin, sistem transmisi, maupun pemilihan lokasi pemasangan yang memiliki potensi angin lebih baik.

Referensi

1. Adanta, D., Sahim, K., & Mohruni, A. S. (2021). Feasibility study of pvc pipes as vertical axis wind turbines type savonius bucket for remote areas application. *International Journal on Energy Conversion*, 9(2), 41–47. <https://doi.org/10.15866/irecon.v9i2.19270>
2. Adi Suryantara, I. M., Indra Partha, C. G., & Sukerayasa, I. W. (2024). Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Sumbu Vertikal. *Jurnal SPEKTRUM*, 11(1), 108. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2024.v11.i01.p12>
3. Agus Nur Hidayat, Suyitno, & Daryanto. (2020). Pengaruh Jumlah Lilitan Kumparan Stator Terhadap Kinerja Generator Magnte Permanen Fluks Aksial Satu Fasa. *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 2(2), 28–31. <https://doi.org/10.21009/jevet.0022.06>
4. Akinsemolu, A. A., & Onyeaka, H. (2025). The role of green education in achieving the sustainable development goals: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 210, 9. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115239>
5. Alam, F., & Jin, Y. (2023). The Utilisation of Small Wind Turbines in Built-Up Areas: Prospects and Challenges. *Wind*, 3(4), 418–438. <https://doi.org/10.3390/wind3040024>
6. Boubakar, F., & Aissa, A. (2024). An axial flux generator for wind turbine in autonomous low-power production. *An Axial Flux Generator for Wind Turbine in Autonomous Low-Power Production*, 18(2), 1–7. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.57647/j.mjee.2024.1802.39> An
7. Fahmi, F., & Alam, H. (2025). Development of Smart and Green University Towards a Sustainable and Environmentally Friendly Campus: Case Study at Universitas Sumatra Utara. *Proceeding of International Conference on Science and Technology UISU*, 1–6. <https://doi.org/10.30743/10qam522>
8. Fang, L. H., & Rahim, A. (2022). Design of Savonius model wind turbine for power catchment. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(3), 2285–2299. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp2285-2299>
9. Francisco, J., Rhakasywi, D., & Fahrudin, F. (2025). Experimental Analysis of the Performance of Savonius VAWT with Different Numbers of Blades on Roofs. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(4), 1–7. <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i4.1675>
10. Hari Purwoto, B., Alimul, M. F., & Fahmi Huda, I. (2023). Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Teknik Elektro*, 18 No. 01, 4.
11. Indra Herlamba Siregar S, Mesin, S. T., Teknik, F., Surabaya, U. N., & T. (2020). Uji EKSPERIMEN KINERJA MODEL TURBIN ANGIN JENIS SWIRLING SAVONIUS DEFLEKTOR DIAM DENGAN PENAMBAHAN FREE DRAG REDUCING DI TEROWONGAN ANGIN. *Ejournal.Unesa.Ac.Id*, 8(1), 153–160.
12. Isra' Nuur Darmawan, Alif, M., & Kholistianingsih, K. (2024). Rancang Bangun Generator Fluks Axial Magnet Permanen Satu Phasa Sistem 24 V dan 48 V pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 8(2), 8. <https://doi.org/10.32528/jp.v8i2.1129>
13. Kuncoro, A. H., Santosa, J., Fitriana, I., Nurrohm, A., Sugiyono, A., Slamet, Djubaedah, E., Nurliyanti, V., Niode, N., & Wijaya, P. T. (2024). Towards Net Zero Emission in Indonesia: Strategic Fuel Demand Analysis for Sustainable Electricity (2022-2060). *Kyushu University Institutional Repository Towards*, 11(4), 3606–3617. <https://doi.org/https://doi.org/10.5109/7326993> 出版情報 : Evergreen.
14. Kusnadi, H., Ramdhan, M. R., & Supriadi, O. (2021). Pembuatan Turbin Angin Vertikal Savonius Skala Rumah Tangga. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.32493/epic.v4i1.11387>
15. Maulana, E., Djatmiko, E., Mahandika, D., & Putra, R. C. (2021). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U untuk Kapasitas 100 W. *Jurnal Asimetri*: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi, 3(2), 8. <https://doi.org/10.35814/asimetri.v3i2.2164>
16. Nawan, R. A., Raynaldi, M. R., & Winarno, A. (2022). Rancang Bangun Turbin Angin Savonius Generator DC Dengan Tegangan 24 Volt Sebagai Penerangan Jalan Daerah Pesisir. *SinarFe7*, 63–65. <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/352%0Ahttps://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/download/352/314>
17. Shahrl Nuno Gomes, Ir. Wahyu Budi Mursanto, B. S. (2024). Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe-U 4 Sudu Sumbu Vertikal. *Jurnal Teknik Energi*, 12(2), 8–16. <https://doi.org/10.35313/energi.v12i2.5239>
18. Situmorang, S. M., & Pakpahan, V. M. (2023). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Atap Gedung Kampus Efarina menuju Green Eco Campus. *Remik: Riset Dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 7(1), 843–852. <https://doi.org/http://doi.org/10.33395/remik.v7i1.12225>
19. Sutopo, W., Mardikaningsih, I. S., Zakaria, R., & Ali, A. (2020). A model to improve the implementation standards of street lighting based on solar energy: A case study. *Energies*, 13(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en13030630>
20. Widi Aribowo, Aditya Chandra Hermawan, & Mahendra Widyartono. (2025). Perancangan dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 12(1), 1–6.