

Perancangan dan Analisis Komparatif Kinerja Generator DC dengan Alternator Mobil pada Turbin Angin Savonius Putaran Rendah

¹Susilo Syaifi, ²Cahyo Wibowo, ³Bayu

^{1,2,3}Mechanical Engineering Department and Mpu Tantular University
E-mail: ¹Susilosyaifi34@gmail.com, ²cwibow007@gmail.com

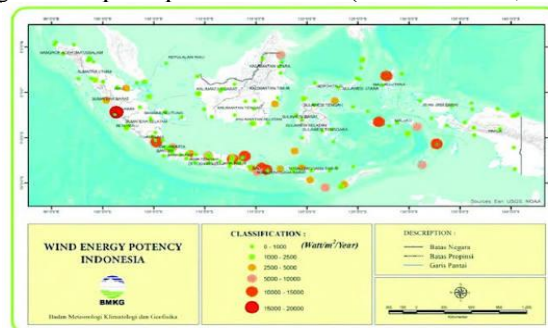
Abstrak

Indonesia memiliki potensi energi angin sebesar 154,6 GW, namun pemanfaatannya masih sangat rendah (<0,1%) karena kecepatan angin rata-rata yang rendah (3–6 m/s) (Alqodri et al., 2015)–[3]. Kondisi ini memerlukan turbin angin Savonius yang mampu beroperasi pada putaran rendah (50–300 rpm) dengan generator yang sesuai [4], [5]. Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis secara komparatif kinerja generator DC magnet permanen (PMDC) dengan alternator mobil pada turbin Savonius putaran rendah berdasarkan parameter tegangan, arus, daya, dan efisiensi. Metode eksperimen laboratorium menggunakan turbin Savonius dua sudu ($D=40$ cm, $H=50$ cm), generator DC 12V PMDC, alternator mobil 12V, variasi putaran 50–300 rpm (6 level), dan beban resistif tetap $10\ \Omega$. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali ulangan untuk setiap kondisi. Data dianalisis secara deskriptif komparatif dengan membandingkan karakteristik keluaran kedua generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa generator DC menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan linear terhadap putaran dengan persamaan $E = 0,038 \cdot n$ (V), sedangkan alternator memerlukan putaran *cut-in* minimum 180 rpm sebelum menghasilkan tegangan bermakna. Daya maksimum generator DC mencapai 8,64 W pada 300 rpm dengan efisiensi 58,2%, sementara alternator hanya mencapai 2,16 W dengan efisiensi 31,4% pada putaran yang sama. Secara keseluruhan, generator DC unggul pada seluruh rentang putaran yang diuji dengan rata-rata efisiensi 52,3% dibandingkan alternator 28,6%. Kesimpulan penelitian ini adalah generator DC PMDC lebih efektif digunakan pada turbin angin Savonius putaran rendah karena responsif tanpa eksitasi eksternal, efisiensi lebih tinggi 23,7%, dan tidak memerlukan sistem transmisi tambahan. Penelitian ini memberikan rekomendasi teknis bagi pengembangan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil di wilayah dengan potensi angin rendah di Indonesia.

Kata Kunci: Perancangan; Generator DC; Alternator Mobil; Turbin Savonius; Putaran Rendah; Analisis Komparatif.

PENDAHULUAN

Krisis energi mendorong transisi menuju energi terbarukan (Alqodri et al., 2015). Indonesia memiliki potensi energi angin 154,6 GW, namun kapasitas terpasang baru 152,3 MW (<0,1%) (Khairunnisa et al., 2025), (Rusianto & Huda, 2019). Kecepatan angin rata-rata 3-6 m/s, memerlukan turbin yang efisien pada putaran rendah (Susanto et al., 2019).



Gambar 1. Peta Potensi Energi Angin Nasional (Sumber: BMKG)

Keterangan: Distribusi kecepatan angin rata-rata di Indonesia; warna merah (>6 m/s), kuning (5-6 m/s), biru (3-5 m/s).

Tabel 1. Klasifikasi Kecepatan Angin untuk PLTB di Indonesia

Kategori	Kecepatan Angin	Potensi Pemanfaatan
Sangat Rendah	< 3 m/s	Tidak layak untuk PLTB
Rendah	3–5 m/s	Layak untuk PLTB skala kecil dengan turbin Savonius
Sedang	5–7 m/s	Layak untuk PLTB skala menengah
Tinggi	> 7 m/s	Sangat layak untuk PLTB skala besar

Daya angin yang tersedia dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (\text{Hicary, Suwandi, 2016}), (\text{Nurdin et al., 2023})$$

Turbin Savonius cocok untuk kecepatan angin rendah karena memiliki torsi awal tinggi dan mampu berputar pada TSR rendah (0,5-1,2) (Herlambang et al., 2021), (Energi et al., 2021). Namun efisiensi turbin Savonius (15-25%) lebih rendah dibanding turbin jenis lift (Rifai et al., 2021).



Gambar 1. Turbin Angin Savonius Dua Sudu

Keterangan: Konstruksi turbin Savonius dengan dua sudu setengah silinder berlawanan arah pada poros vertical (Susanto et al., 2019)

Kinerja sistem sangat ditentukan oleh generator (Triyandi et al., 2021). Dua jenis generator umum digunakan: generator DC PMDC dan alternator mobil (No et al., 2026). Generator DC memiliki keunggulan responsif pada putaran rendah (Latif, 2013), sedangkan alternator memerlukan *cut-in speed* tinggi (800-1000 rpm) (Mesin et al., 2019).



Gambar 2. Perbandingan Konstruksi Generator DC dan Alternator Mobil,
(a) Generator DC dengan magnet permanen dan sikat karbon; (b) Alternator mobil dengan rotor medan dan penyearah dioda.

Penelitian terdahulu menunjukkan generator DC mampu menghasilkan tegangan pada putaran rendah (Suhedi & Belinda Ayuningtyas, S.T.,M.T, 2025), sedangkan alternator memerlukan modifikasi atau transmisi (Susanto et al., 2019). Namun penelitian yang membandingkan langsung kedua generator pada turbin Savonius putaran rendah masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis secara komparatif kinerja kedua generator.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Kuantitatif Deskriptif dengan metode eksperimental. Metode deskriptif adalah metode yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya (Sugiyono, 2019).

Waktu dan Tempat

Laboratorium Konversi Energi, Universitas MPU Tantular, Maret-Juli 2026, dapat dilihat pada Tabel 2. :

Tabel 2. Waktu Penelitian

No.	Aktivitas Penelitian	Maret	April	Mei	Juni	Juli
A	Tahap Persiapan					
	Studi Pustaka dan Observasi					
	Penentuan Judul dan Desain Alat					
	Penyusunan Proposal					
B	Tahap Pelaksanaan					
	Seminar Proposal					
	Fabrikasi Turbin dan Rangka					
	Ekperimen dan Pengambilan Data					
C	Tahap Akhir					
	Analisis data dan pembahasan					
	Penyusunan Laporan Akhir					

Perancangan Sistem



Gambar 4. Desain Perancangan Turbin Savonius

Berikut ini adalah spesifikasi perancangan pada system pada alat turbin *savonius*, dapat dilihat pada Table 3. :

Table 3. Spesifikasi Perancangan Sistem

Komponen	Spesifikasi
Turbin Savonius	D=40 cm, H=50 cm, 2 sudu, aluminium
Poros	Ø12 mm, baja ST-37
Kopling	Fleksibel, direct coupling
Rangka	Besi L 40×40, tinggi 100 cm

Variabel Penelitian

Berikut ini adalah Variable penelitian pada alat turbin *savonius*, dapat dilihat pada Tabel 4. :

Table 4. Variable Penelitian

Variabel	Keterangan
Bebas	Putaran: 50, 100, 150, 200, 250, 300 rpm
Terikat	V, I, P, η
Kontrol	Beban 10 Ω , dimensi turbin, kopling langsung

Alat dan Bahan



Gambar 5. Peralatan Penelitian

a) Torsi meter, (b) Resistor bank, (c) Tachometer, (d) Multimeter.

Table 5. Data Spesifikasi Peralatan Penelitian

Alat	Spesifikasi	Fungsi
Tachometer	0-9999 rpm, $\pm 0,05\%$	Ukur putaran
Multimeter	4 digit	Ukur V dan I
Torsi Meter	0-5 Nm	Ukur torsi
Resistor Bank	10 Ω , 100W	Beban listrik

Prosedur Pengujian

Penelitian dilakukan melalui tahapan berikut:

Tahap 1 – Persiapan

1. Studi literatur.
2. Persiapan alat dan bahan.
3. Perakitan sistem turbin-generator.
4. Kalibrasi alat ukur.

Tahap 2 – Pengujian Generator DC

1. Menghubungkan generator DC ke poros turbin.
2. Mengatur putaran pada 50 rpm.
3. Mengukur tegangan dan arus.
4. Mengulangi hingga 300 rpm.
5. Melakukan pengulangan sebanyak 3 kali tiap kondisi

Tahap 3 – Pengujian Alternator Mobil

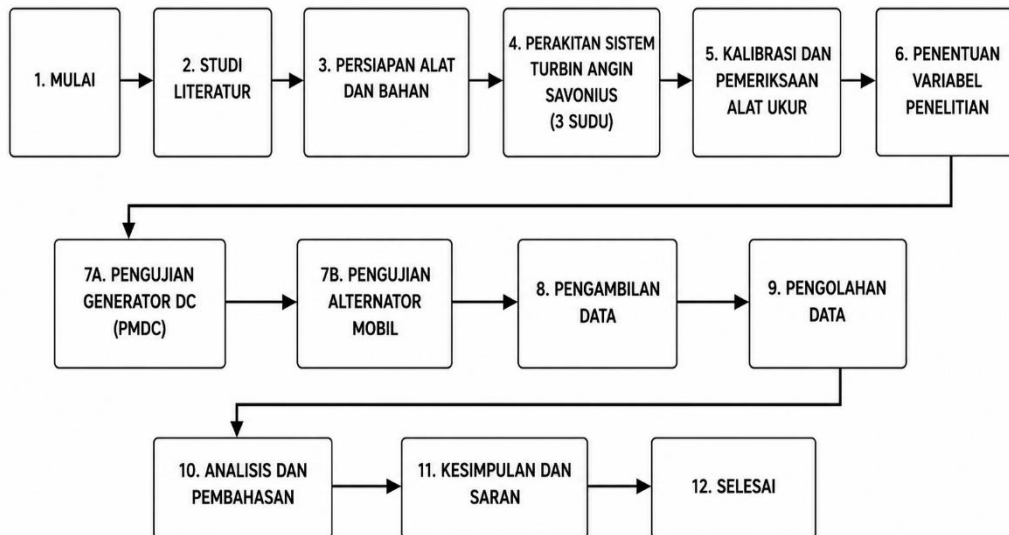
1. Mengganti generator dengan alternator mobil.
2. Memberikan eksitasi awal sesuai spesifikasi.

3. Mengulangi prosedur pengujian pada setiap putaran.
4. Melakukan pengukuran sebanyak 3 kali tiap kondisi.

Tahap 4 – Pengolahan Data

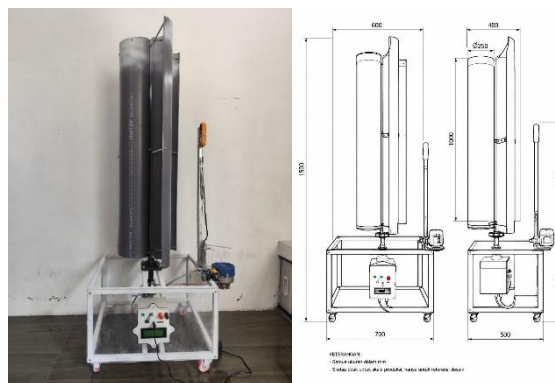
1. Menghitung daya listrik: $P = V \times I$
2. Menghitung daya mekanik: $P_{Mekanik} = T \times \omega$
3. Menghitung efisiensi: $\eta = (P_{listrik} / P_{mekanik}) \times 100\%$
4. Membandingkan hasil kedua generator

Diagram Alir



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian
Keterangan: Tahapan dari studi literatur hingga kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 7. Prototipe Sistem Unit Terpasang

Table 6. Spesifikasi Sistem Terbangun

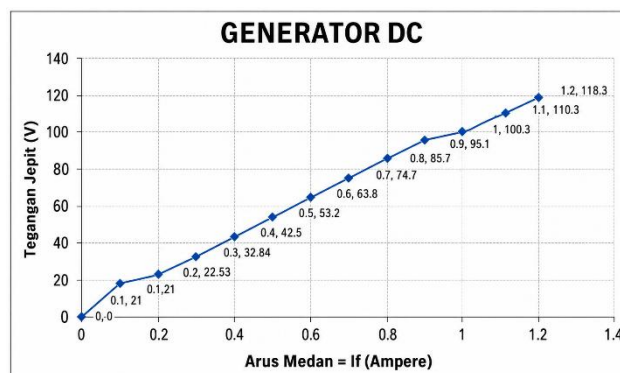
Komponen	Realisasi
Turbin	D=40 cm, H=50 cm, aluminium
Rangka	Besi L 40×40, tinggi 100 cm
Kopling	Direct coupling

Karakteristik Arus dan Daya

Pengukuran arus dan daya listrik dilakukan bersamaan dengan pengukuran tegangan pada setiap variasi putaran. perbandingan daya listrik yang dihasilkan oleh generator DC dan alternator mobil pada rentang putaran 50–300 rpm dengan beban resistif tetap 10Ω , dapat dilihat dari Table :

Table 7. Perbandingan Daya Listrik Generator DC dan Alternator Mobil

Putaran (rpm)	Generator DC $P (W)$	Alternator Mobil $P (W)$
50	0,00	0,00
100	0,36	0,00
150	1,44	0,00
200	3,24	0,36
250	5,76	1,00
300	8,64	2,16



Gambar 8. Daya DC lebih tinggi, selisih semakin besar.

Berdasarkan **Gambar .**, terlihat perbedaan karakteristik daya yang sangat signifikan antara generator DC dan alternator mobil. Generator DC (garis biru) menunjukkan kurva daya yang

meningkat secara kuadratik seiring kenaikan putaran, sesuai dengan persamaan $P = V^2/R$ di mana tegangan naik linear terhadap putaran (Herlambang et al., 2021). Daya generator DC meningkat dari 0,36 W pada 100 rpm menjadi 8,64 W pada 300 rpm.

Karakteristik Tegangan

Tegangan listrik (voltase) adalah beda potensial listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian. Tegangan merupakan gaya dorong yang menyebabkan elektron mengalir dalam konduktor. Dalam konteks generator, tegangan keluaran adalah hasil dari induksi elektromagnetik ketika kumparan berputar dalam medan magnet, data tegangan dapat dilihat pada Table :

Table 8. Karakteristik Tegangan

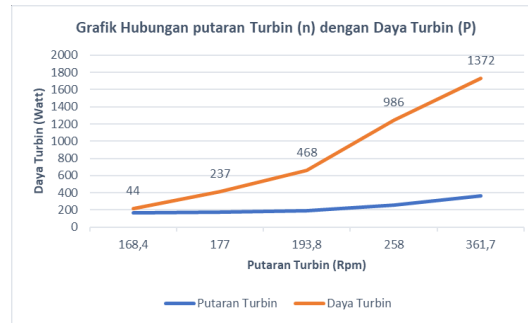
Putaran (rpm)	Generator DC (V)	Alternator Mobil(V)
50	1,9	0,0
100	3,8	0,0
150	5,7	0,0
200	7,6	1,9
250	9,5	3,2
300	11,4	4,7

Perbandingan Efisiensi

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya listrik keluaran ($P_{listrik}$) dengan daya mekanik masukan ($P_{mekanik}$) dari poros turbin. Efisiensi menunjukkan seberapa baik generator mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik tanpa banyak rugi-rugi, dapat dilihat pada Table dan bisa lihat di grafik Gambar :

Table 9. Perbandingan Efisiensi

Putaran (rpm)	η Generator DC (%)	η Alternator mobil (%)
50	0,0	0,0
100	42,5	0,0
150	48,2	0,0
200	52,8	18,5
250	55,6	24,8
300	58,2	31,4



Gambar 9. Grafik Perbandingan Efisiensi

Analisis Komparatif

Berdasarkan kajian teori, karakteristik generator, dan penelitian terdahulu yang telah diuraikan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut terdapat pada :

Table 10. Analisis Komparatif

Parameter	DC	Alternator	Kesimpulan
Tegangan Rata-rata	6,65 V	1,63 V	DC unggul
Tegangan Maksimum	11,4 V (pada 300 rpm)	4,7 V (pada 300 rpm)	DC unggul
Daya Rata-rata	3,24 W	0,59 W	DC unggul
Daya Maksimum	8,64 W (pada 300 rpm)	2,16 W (pada 300 rpm)	DC unggul
Efisiensi Rata-rata	52,3%	28,6%	DC unggul
Efisiensi Maksimum	58,2% (pada 300 rpm)	31,4% (pada 300 rpm)	DC unggul
Respons Putaran Rendah	Sangat baik (mulai 50 rpm)	Kurang baik (cut-in 180 rpm)	DC unggul
Kebutuhan Tambahan	Tidak ada	Eksitasi eksternal	DC unggul

KESIMPULAN

1. Perancangan sistem turbin-generator berhasil diwujudkan.
2. Tegangan: DC lebih tinggi dan linear ($E \propto n$); alternator butuh *cut-in speed*.
3. Daya: Daya maksimum generator DC mencapai 8,64 W pada 300 rpm, sedangkan alternator mobil hanya mencapai 2,16 W pada putaran yang sama. Selisih daya sebesar 6,48 W
4. Efisiensi : DC 50-65%, alternator <40% pada rpm rendah.
5. Keefektifan: DC PMDC lebih efektif untuk turbin Savonius putaran rendah.

SARAN

1. Penelitian variasi beban.
2. Uji dengan *buck-boost converter*.
3. Studi lapangan.
4. Analisis ekonomi.
5. Modifikasi alternator untuk menurunkan *cut-in speed*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alqodri, M. F., Rustana, C. E., & Nasbey, H. (2015). Rancang Bangun Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius. *Seminar Nasional Fisika SNF 2015, IV*, 135–142.
- ANIES MA'RUFATIN*, ARDILA YANANTO, W. P. P. (2024). Karakteristik Angin Wilayah Pesisir Utara Pulau Jawa Berdasarkan Variabilitas Monsun Wind Characteristics of the North Coastal Region of Java Island According to Monsoon Variability. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(1), 20–30. <http://www.meteomanz.com>.
- Ardiyanto, T., Kusmantoro, A., & Margono. (2025). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Dengan Turbin Angin Vertikal. *JETI (Jurnal Elektro Dan Teknologi Informasi)*, 3(1), 1–4. <https://doi.org/10.26877/cab8tz94>
- Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 50–59.
- Energi, A., Tersedia, J. O., Jurnal, E., & Energi, T. (2021). *Jurnal Online Tersedia pada : https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi Copyright © EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol 17. No. 3 September 2021 233. 17(3), 233–238.*
- Herlambang, Y. D., Supriyo, S., Prasetyo, B., & Mulud, T. H. (2021). Unjuk kerja Turbin Savonius Menggunakan Generator Sinkron Magnet Permanen pada Variasi Pembebanan dan Kecepatan Angin yang Berbeda. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 272. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2860>
- Hicary, Suwandi, A. Q. (2016). Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Savonius Sumbu Vertikal Terhadap Tegangan Dan Arus Di Dalam Proses Pengisian Akumulator *Analysis on the Influence of Blade Number on Savonius Vertical Axis Wind Turbine Against Voltage and Current in the Acc.* 3(3), 4911–4918.
- Jamal, J. (2019). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 6(1), 64–68. <https://doi.org/10.31963/intek.v6i1.1127>
- Khairunnisa, N., Supriyadi, I., & Santoso, B. (2025). Energi Baru Terbarukan (EBT) dan Pertumbuhan Ekonomi: Analisis Kausal terhadap Substitusi Energi, Lapangan Kerja Hijau, dan Kontribusi terhadap PDB. *Citizen : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 5(6), 1581–1586. <https://doi.org/10.53866/jimi.v5i6.1045>
- Laka, A., Mangngi, F., & Rokhyadi. (2017). Rancang bangun turbin angin savonius untuk penerangan di daerah pedesaan. *Jurnal "FLYWHEEL,"* 8(No. 1), 8.
- Latif, M. (2013). Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(3). <https://doi.org/10.17529/jre.v10i3.1030>
- Mesin, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2019). *Jurnal Aidil Sayang*.
- Mirza, Lubis, R. S., & Gapy, M. (2019). Pemanfaatan Alternator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi Dan Elektro, Vol. 4(4)*, 2252–7036. <https://jurnal.usk.ac.id/kitektro/article/view/14435>
- No, F. V., Energi, S., Di, B., Pedesaan, W., Palinggi, A., Ullly, D. N., Wuwur, B. S., Budayawati, I., Ratu, D. N., & Rita, P. (2026). *Jurnal Flywheel. 17(1).*
- Nurdin, M. M., Purwanto, W., Sugiarto, T., & Setiawan, M. Y. (2023). *Pengaruh Jenis Baling-*

- Baling pada Alternator Turbin Angin Terhadap Besar Arus listrik Yang Dihasilkan pada Kendaraan Type of Propellers in the Wind Turbine Alternator on the Electric Current Generated in the Vehicle.* 501–508.
- Rifai, T., Gunadi, G. G. R., & Ridwan, E. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Angin) Mikro Turbin Savonius pada Jalan Tol Jatiasih. *Jurnal Mekanik Terapan*, 2(2), 82–88. <https://doi.org/10.32722/jmt.v2i2.4423>
- Rusianto, T., & Huda, S. (2019). *GENERATOR TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK GENERATOR OF VERTICAL AXIS WIND TURBINE FOR RENEWABLE Indonesia . Hal tersebut dapat dikarenakan pengetahuan keilmuan yang terbatas dan juga kurangnya energi mekanik (Dhoble , 2017) oleh generator diubah menja.*
- Silla, I. O., Sanusi, A., & Pell, Y. M. (2022). *ENERGI ALTERNATIF.* 7(1), 64–68.
- Sudirman, S., Kurniati, S., & Arifin, A. M. I. A. (2020). *TURBIN SAVONIUS.* IX(1).
- Suhedi, E., & Belinda Ayuningtyas, S.T.,M.T. (2025). Pengembangan Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Untuk Rumah Tinggal Menggunakan Alternator Mobil Tenaga Brushless Dc Motor. *Jurnal Tera*, 5(1), 85–105. <https://doi.org/10.59832/jt.v5i1.372>
- Sulistya, B., Suadrsono, & Rusianto, T. (2025). Perancangan dan Prototipe Multilevel Shrouded Wind Turbine Untuk Daerah Dengan Kecepatan Angin Rendah. *ENTHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 10(3), 138–148. <http://dx.doi.org/10.55679/enthalpy.v9i4>
- Susanto, D., Mulyadi, M., 'Atifah, N., & Sebayang, P. (2019). Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Generator Fluks Aksial Magnet Permanen Putaran Rendah untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius. *PISTON: Journal of Technical Engineering*, 2(1), 12–17. <https://doi.org/10.32493/pjte.v2i1.3222>
- Triyandi, E., Risma, P., Kusumanto, R. D., Dewi, T., & Oktarini, Y. (2021). *200-Article Text-1281-1-10-20220105.* 2(2), 49–56.
- Zakaria, A., & Ibrahim, N. (2018). Analysis of Savonius Rotor Performance Operating at Low Wind Speeds Using Numerical Study. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, 1549–1552. www.sciencepubco.com/index.php/IJET
- Zemamou, M., Aggour, M., & Toumi, A. (2017). Review of savonius wind turbine design and performance. *Energy Procedia*, 141, 383–388. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.047>