

Analisis Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Profil Sudu U, Sudu Helix Tanpa *End Plate* Dan Menggunakan *End Plate*

Mitra Hari Ramadhan*, Muhammad Firman dan Heri Irawan

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari
Jl. Adhyaksa No. 2 Kayu Tangi, Banjarmasin, 70123

*E-mail: mitrahariramadhan@gmail.com

Dikirim: 20 Mei 2026; Diterima: 20 Juli 2026; Diterbitkan: 25 Juli 2026

Abstract

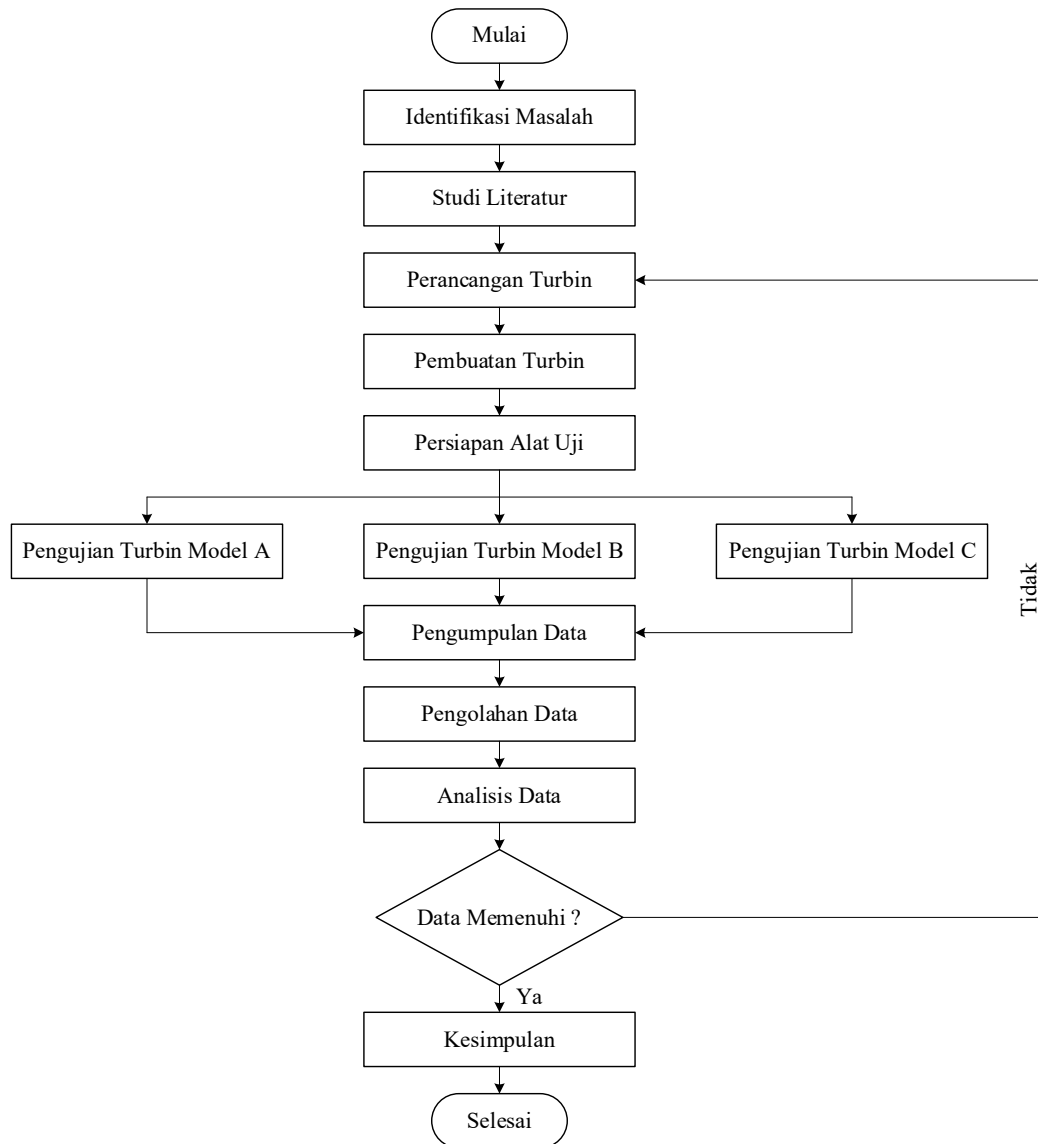
This study aims to analyze the performance of a Savonius-type wind turbine through variations in blade profile and the addition of an end plate. Experimental testing was conducted using a wind tunnel across three configurations: Model A (U-profile), Model B (helical profile without end plate), and Model C (helical profile with end plate). Wind speed was varied at 3.0 m/s, 4.0 m/s, and 5.0 m/s to evaluate turbine performance, including rotor rotational speed, torque, mechanical power, Tip Speed Ratio (TSR), and power coefficient (C_p). The results demonstrate that blade geometry modification combined with end plate addition significantly improves turbine performance. Model C exhibited the best performance, achieving a maximum mechanical power of 0.36 W and a maximum torque of 0.0135 Nm at a wind speed of 5.0 m/s. Furthermore, Model C attained the highest power coefficient (C_p), with a maximum C_p of 0.16 at a wind speed of 3.0 m/s, indicating the most optimal aerodynamic efficiency. In conclusion, the combination of a helical blade and an end plate effectively reduces tip losses while maximizing energy conversion. This design is therefore strongly recommended for the development of micro-scale wind power generation in regions characterized by low wind speeds.

Keywords: End Plate; Helical Profile; Power Coefficient; Savonius Wind Turbine

1. Pendahuluan

Pemanfaatan energi baru terbarukan menjadi solusi atas penipisan bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca [1]. Indonesia memiliki potensi angin yang besar, khususnya di wilayah pesisir, namun umumnya berkarakteristik kecepatan rendah [2]. Turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius dinilai sesuai untuk kondisi ini karena memiliki kemampuan *self-starting* yang baik, konstruksi sederhana, dan mampu beroperasi pada turbulensi tinggi [3]. Meskipun berpotensi, efisiensi konversi energi turbin Savonius konvensional masih relatif rendah. Koefisien daya (C_p) turbin Savonius standar umumnya berada pada kisaran yang rendah, sehingga daya yang dihasilkan belum optimal [4]. Faktor yang memengaruhi kinerja turbin antara lain bentuk profil sudu dan penggunaan *end plate* yang berfungsi mengurangi kehilangan aliran di ujung sudu (*tip loss*) [5]. Implementasi di lapangan masih banyak menggunakan desain konvensional berupa sudu berbentuk U tanpa modifikasi geometri maupun *end plate* yang optimal [6]. Secara teoritis, modifikasi geometri sudu menjadi bentuk heliks diketahui mampu menghasilkan distribusi torsi yang lebih merata dan mengurangi fluktuasi putaran [7]. Penelitian oleh Mu et al, 2022 menyatakan bahwa sudu heliks mampu menghilangkan torsi negatif yang ada pada profil U [8]. Selain itu, pemasangan *end plate* dapat meningkatkan perbedaan tekanan antara sisi maju dan sisi balik sudu [9]. Meskipun demikian, kajian komprehensif yang membandingkan secara langsung kinerja turbin Savonius dengan profil sudu U, sudu heliks tanpa *end plate*, dan sudu heliks dengan *end plate* dalam kondisi pengujian yang sama masih relatif terbatas [10]. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa analisis komparatif terhadap ketiga konfigurasi rotor tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan kinerja turbin angin Savonius (putaran, torsi, daya, dan C_p) antara profil sudu U, profil sudu helix tanpa *end plate*, dan profil sudu helix dengan *end plate* pada berbagai variasi kecepatan angin.

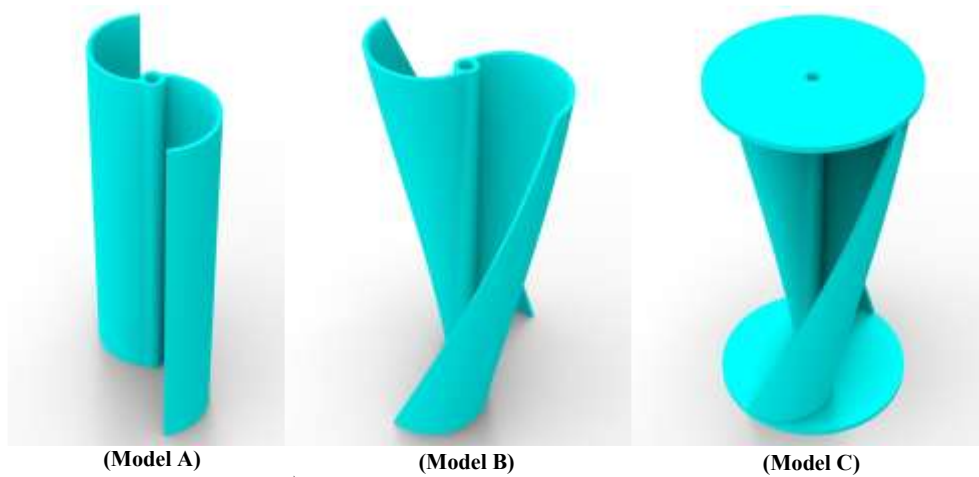
2. Material dan metodologi



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan identifikasi masalah terkait rendahnya efisiensi turbin angin Savonius. Studi literatur dilakukan untuk memahami karakteristik aerodinamika berbagai profil sudu dan pengaruh *end plate*. Selanjutnya dilakukan perancangan dan pembuatan tiga model turbin dengan dimensi yang sama. Bahan utama pembuatan sudu turbin menggunakan material PLA (*Poly lactid Acid*) yang dicetak menggunakan mesin 3D printer, dengan poros baja berdiameter 10 mm, bearing dan end plate berbentuk lingkaran. Dimensi rotor yang digunakan memiliki diameter (D) 0,15 m dan tinggi (H) 0,28 m.

Alat yang digunakan meliputi *Wind Tunnel* sebagai sumber aliran udara, anemometer digital untuk mengukur kecepatan angin, tachometer digital untuk mengukur putaran rotor (RPM) dan torque meter untuk mengukur torsi. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tiga model turbin yaitu : model A (Profil sudu U), model B (Profil Helix tanpa *end plate*) dan model C (Profil Helix dengan *end plate*) desain geometri dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini. Serta variasi kecepatan angin yaitu 3,0 m/s, 4,0 m/s dan 5,0 m/s. Variabel terikat meliputi putaran rotor turbin (RPM), Torsi (Nm), Daya Mekanik Turbin (W), *Tip Speed Ratio* (TSR) dan koefisien daya (C_p).



Gambar 2. Variasi Geometri Turbin (A) Savonius U, (B) Savonius Helix Tanpa *End Plate*, (C) Savonius Dengan *End plate*

Daya angin (P_a) yang tersedia dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) :

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

Dimana ρ adalah densitas udara ($1,225 \text{ kg/m}^3$), A adalah luas penampang (m^2) dan v adalah kecepatan angin (m/s)

Daya mekanik turbin (P_t) dihitung dari perkalian torsi (T) dan kecepatan sudut (ω) sesuai persamaan (2) :

$$P_t = T \cdot \omega \quad (2)$$

Tip Speed Ratio (λ) dihitung dengan menggunakan persamaan (3) :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \quad (3)$$

Dimana r adalah jari-jari rotor (m).

Koefisien daya (C_p) yang merepresentasikan efisiensi aerodinamis turbin dihitung dengan persamaan (4) :

$$C_p = \frac{P_t}{P_a} = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3} \quad (4)$$

3. Hasil dan pembahasan

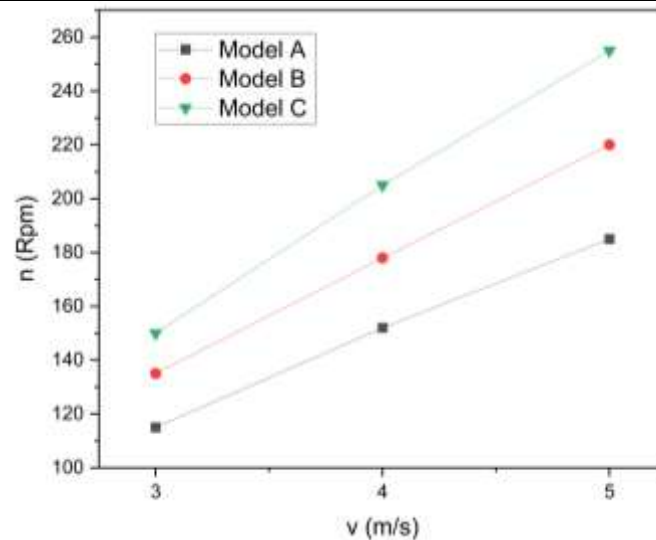
Berdasarkan pengujian eksperimental yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al-Banjari, diperoleh data kinerja dari tiga konfigurasi turbin angin Savonius (Model A : Profil sudu U, Model B : Profil Helix tanpa *end plate*, dan Model C : Profil Helix dengan *end plate*) pada tiga variasi kecepatan angin ($3,0 \text{ m/s}$, $4,0 \text{ m/s}$ dan $5,0 \text{ m/s}$). Setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali dan diambil nilai rata-ratanya untuk meminimalisir kesalahan pengukuran.

3.1. Data Hasil Pengukuran Putaran Rotor Turbin Angin

Putaran rotor turbin merupakan indikator pengukuran kinerja turbin terhadap energi kinetik angin. Hasil rata-rata pengukuran putaran rotor turbin disajikan pada Tabel di bawah ini.

Tabel 1. Rata-Rata Putaran Rotor Turbin

Kecepatan Angin (m/s)	Model A (RPM)	Model B (RPM)	Model C (RPM)
3,0	115	135	150
4,0	152	178	205
5,0	185	220	255

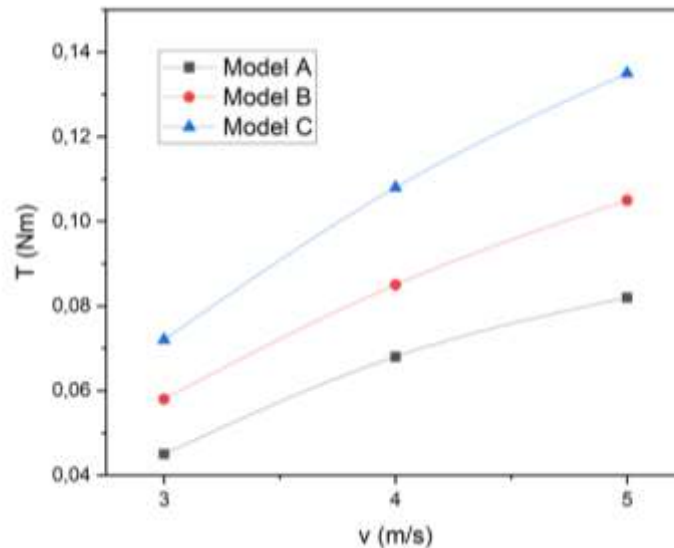
**Gambar 3.** Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Putaran Rotor Turbin

Pada Gambar 3 terlihat bahwa peningkatan kecepatan angin diikuti oleh peningkatan putaran rotor (RPM) pada ketiga model turbin. Kondisi ini terjadi karena energi kinetik udara meningkat seiring dengan naiknya kecepatan angin, sehingga gaya hambat (*drag force*) yang bekerja pada sisi cekung sudu (*advancing blade*) menjadi semakin besar. Dari hasil pengujian ketiga konfigurasi, Model C (Sudu Helix dengan *End Plate*) menghasilkan putaran tertinggi pada setiap variasi kecepatan angin. Pada kecepatan angin 5,0 m/s, Model C mencapai 255 RPM, disusul oleh Model B (Helix tanpa *End Plate*) sebesar 220 RPM, sedangkan Model A (Sudu U) menghasilkan putaran paling rendah yaitu 185 RPM. Keunggulan Model B dibandingkan Model A disebabkan oleh profil sudu heliks yang membantu mereduksi torsi negatif yang umumnya muncul pada sudu tipe U ketika sudu berada pada fase kembali (*returning blade*) melawan arah angin. Selain itu, bentuk heliks membuat turbin menerima aliran angin secara lebih merata dan kontinu dari berbagai sudut azimuth, sehingga putaran menjadi lebih stabil dan meningkat lebih cepat. Temuan ini sangat sejalan dengan penelitian (Mu et al. (2022) yang melaporkan bahwa turbin spiral (helix) mampu melakukan *start-up* pada semua sudut azimuth dan menghilangkan torsi negatif yang ada pada profil U, sehingga koefisien torsi rata-rata meningkat.

3.2. Data Hasil Pengukuran Torsi

Tabel 2. Rata-Rata Hasil Pengukuran Torsi Turbin

Kecepatan Angin (m/s)	Model A (Nm)	Model B (Nm)	Model C (Nm)
3,0	0,0045	0,0058	0,0072
4,0	0,0068	0,0085	0,0108
5,0	0,0082	0,0105	0,0135



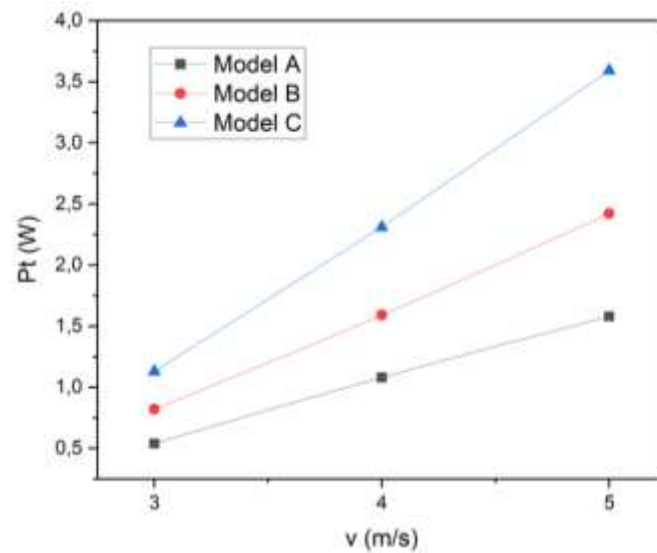
Gambar 4. Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Torsi

Pada gambar 4 memperlihatkan pengaruh variasi kecepatan angin terhadap torsi yang dihasilkan oleh ketiga konfigurasi turbin. Secara keseluruhan grafik menunjukkan nilai kenaikan dimana torsi meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan angin akibat bertambahnya gaya hambat (*drag force*) pada sisi cekung sudu (*advancing blade*). Berdasarkan data pengujian, model C (sudu Helix dengan end plate) menghasilkan torsi tertinggi sebesar 0,135 Nm pada kecepatan angin 5,0 m/s, sedangkan untuk model B (sudu Helix tanpa end plate) menghasilkan torsi sebesar 0,105 Nm dan pada model A (sudu U) menghasilkan torsi terendah yaitu sebesar 0,082 Nm. Torsi pada turbin model B dibandingkan dengan model A secara teoritis dikonfirmasi oleh Mu et al.,2022 yang menyatakan bahwa desain sudu helix mampu menghilangkan torsi negatif yang umumnya muncul pada profil sudu U [8]. Hal ini juga sejalan dengan temuan Debnath & Gandhirajan.,2023 yang melaporkan bahwa rotor helix menghasilkan distribusi torsi yang jauh lebih stabil [11]. Sementara itu, peningkatan torsi yang signifikan pada model C terhadap model B disebabkan fungsi *end plate*. Sebagaimana diungkapkan oleh Prasetya et al.,2023, penggunaan *end plate* pada turbin helix membuat aliran menjadi lebih fokus ke sudu dan mencegah kebocoran aliran (*tip loss*), sehingga perbedaan tekanan dan gaya dorong yang dihasilkan menjadi lebih optimal [12].

3.3. Data Hasil Perhitungan Daya Mekanik Turbin

Tabel 3. Rata-Rata Perhitungan Daya Mekanik Turbin

Kecepatan Angin (m/s)	Model A (W)	Model B (W)	Model C (W)
3,0	0,05	0,08	0,11
4,0	0,11	0,16	0,23
5,0	0,16	0,24	0,36



Gambar 5. Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Mekanik Turbin

Pada Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara kecepatan angin dengan daya mekanik turbin. Grafik menunjukkan dimana daya mekanik turbin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Pada kecepatan angin 5,0 m/s pada turbin model C menghasilkan daya mekanik maksimum sebesar 0,36 Watt. Sedangkan pada model B hanya menghasilkan daya mekanik turbin sebesar 0,24 Watt, dan turbin pada model A menghasilkan daya mekanik terendah yaitu sebesar 0,16 Watt. Tingginya keluaran daya pada model C membuktikan bahwa integrasi antara desain sudu helix dengan end plate mampu mengekstrak energi angin secara lebih efisien. Temuan ini sangat sejalan dengan penelitian Prabowoputra & Prabowo.,2022 yang menjelaskan bahwa modifikasi geometri rotor berpengaruh signifikan terhadap karakteristik aerodinamika dan daya mekanik turbin. [13].

3.4. Data Hasil Perhitungan *Tip Speed Ratio* (TSR)

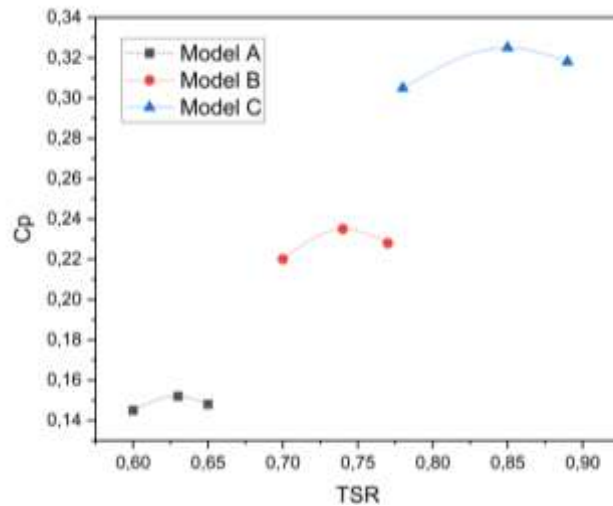
Tabel 4. Rata-Rata Hasil Perhitungan *Tip Speed Ratio* (TSR)

Kecepatan Angin (m/s)	Model A (TSR)	Model B (TSR)	Model C (TSR)
3,0	0,301	0,353	0,393
4,0	0,298	0,349	0,402
5,0	0,290	0,345	0,400

3.5. Data Hasil Perhitungan Koefisien Daya (Cp)

Tabel 5. Rata-Rata Hasil Perhitungan Koefisien Daya (Cp)

Kecepatan Angin (m/s)	Model A (Cp)	Model B (Cp)	Model C (Cp)
3,0	0,08	0,12	0,16
4,0	0,07	0,10	0,14
5,0	0,05	0,08	0,11



Gambar 6. Hubungan *Tip Speed Ratio* (TSR) Terhadap Koefisien Daya (C_p)

Pada Gambar 6 ditunjukkan hubungan antara *Tip Speed Ratio* (TSR) dan koefisien daya (C_p) untuk tiga model turbin. Grafik memperlihatkan korelasi negatif antara TSR dan C_p . Artinya, ketika TSR meningkat akibat kenaikan kecepatan angin, nilai C_p justru mengalami penurunan. Penurunan C_p pada kecepatan angin yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa pada kondisi aliran yang lebih cepat terjadi peningkatan turbulensi serta munculnya gaya drag negatif pada sisi returning blade. Walaupun demikian, turbin pada model C menghasilkan nilai C_p tertinggi pada seluruh rentang TSR yang diuji, dengan efisiensi maksimum sebesar 0,16 pada TSR 0,393 di kecepatan angin 3,0 m/s. Kemampuan turbin model C dalam mempertahankan efisiensi tersebut sejalan dengan hasil analisis numerik dan eksperimental dari penelitian Akkus et al., 2022, yang melaporkan bahwa keberadaan end plate secara signifikan meningkatkan efisiensi turbin dan memungkinkan turbin beroperasi pada rentang TSR yang lebih tinggi melalui reduksi tip vortex [14]. Selain itu, temuan ini juga mendukung penelitian Micha Premkumar et al., 2018 dan Lajnef et al., 2020, yang menyatakan bahwa modifikasi bentuk sudu dan penambahan komponen penutup aliran (*end plate*) dapat membuat nilai C_p turbin menjadi lebih merata, lebih tinggi, dan lebih optimal dibandingkan desain sudu U maupun helix tanpa penutup [9], [15].

4. Kesimpulan

Turbin dengan profil sudu U (Model A) menunjukkan kinerja paling rendah dengan daya mekanik maksimum 0,16 W dan maksimum 0,08 pada kecepatan angin 5,0 m/s dan 3,0 m/s. Modifikasi sudu menjadi tipe helix (Model B) meningkatkan kinerja secara signifikan dibandingkan Model A karena mampu mendistribusikan torsi lebih merata dan mengurangi torsi negatif, mencapai daya 0,24 W dan C_p 0,12. Turbin profil sudu helix dengan *end plate* (Model C) menunjukkan kinerja paling optimal. *End plate* berhasil menahan kebocoran aliran (*tip loss*), menghasilkan putaran 255 RPM, torsi 0,0135 Nm, daya mekanik 0,36 W, dan efisiensi aerodinamis tertinggi C_p sebesar 0,16. Kombinasi penerapan sudu helix dan *end plate* terbukti menjadi pendekatan paling efektif dalam meningkatkan performa turbin Savonius dan sangat direkomendasikan untuk aplikasi skala mikro di wilayah berkecepatan angin rendah.

Daftar Pustaka

- [1] J. L. Holechek, H. M. E. Geli, M. N. Sawalhah, and R. Valdez, "A Global Assessment: Can Renewable Energy Replace Fossil Fuels by 2050?," *Sustainability*, vol. 14, no. 8, p. 4792, Apr. 2022, doi: 10.3390/su14084792.

- [2] B. S. Premono, D. D. D. P. Tjahjana, and S. Hadi, "Wind Energy Potential Assessment To Estimate Performance Of Selected Wind Turbine In Northern Coastal Region Of Semarang-Indonesia," presented at the International Conference On Engineering, Science And Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016), Solo, Indonesia, 2017, p. 030026. doi: 10.1063/1.4968279.
- [3] P. Siagian and M. E. Dalimunthe, "Application Of Savonius Type Turbine Technology For The Conversion Of Low Speed Wind Into Small Electrical Energy Source," *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 190–197, 2022.
- [4] H. A. Hassan Saeed, A. M. Nagib Elmekawy, and S. Z. Kassab, "Numerical Study Of Improving Savonius Turbine Power Coefficient By Various Blade Shapes," *Alex. Eng. J.*, vol. 58, no. 2, pp. 429–441, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.aej.2019.03.005.
- [5] X.-H. Wang, J. S.-Y. Foo, A. Fazlizan, W.-T. Chong, and K.-H. Wong, "Effects Of Endplate Designs On The Performance Of Savonius Vertical Axis Wind Turbine," *Energy*, vol. 310, p. 133205, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.133205.
- [6] B. Zhang, B. Song, Z. Mao, W. Tian, B. Li, and B. Li, "A Novel Parametric Modeling Method and Optimal Design for Savonius Wind Turbines," *Energies*, vol. 10, no. 3, p. 301, Mar. 2017, doi: 10.3390/en10030301.
- [7] L. B. Kothe, S. V. Möller, and A. P. Petry, "Numerical and experimental study of a helical Savonius wind turbine and a comparison with a two-stage Savonius turbine," *Renew. Energy*, vol. 148, pp. 627–638, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.151.
- [8] Z. Mu *et al.*, "Study on Aerodynamic Characteristics of a Savonius Wind Turbine with a Modified Blade," *Energies*, vol. 15, no. 18, p. 6661, Sep. 2022, doi: 10.3390/en15186661.
- [9] M. Lajnef, M. Mosbah, Y. Chouaibi, and Z. Driss, "Performance Improvement in a Helical Savonius Wind Rotor," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 45, no. 11, pp. 9305–9323, Nov. 2020, doi: 10.1007/s13369-020-04770-6.
- [10] D. M. Prabowoputra and A. R. Prabowo, "Effect of Geometry Modification on Turbine Performance: Mini-Review of Savonius Rotor," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, pp. 777–783, 2022, doi: 10.18178/ijmerr.11.10.777-783.
- [11] P. Debnath and V. Gandhirajan, "A comprehensive review on design and development analysis and blade material selection of helical Savonius rotor," *Wind Eng.*, vol. 47, no. 4, pp. 883–894, Aug. 2023, doi: 10.1177/0309524X231166852.
- [12] H. Y. Prasetya, D. S. Wijayanto, and T. W. Saputra, "Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Dan Penggunaan End Plate Terhadap Cut In Speed Turbin Angin Savonius Heliks," *NOZEL J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, p. 91, Mar. 2023, doi: 10.20961/nozel.v4i2.72230.
- [13] D. M. Prabowoputra and A. R. Prabowo, "Effect of Geometry Modification on Turbine Performance: Mini-Review of Savonius Rotor," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, pp. 777–783, 2022, doi: 10.18178/ijmerr.11.10.777-783.
- [14] M. B. Akkus, Z. Haksever, and S. Teksin, "Experimental and Numerical Analysis of Savonius Wind Turbine with End Plate on Various Types," *Energy Environ. Storage*, vol. 2, no. 2, pp. 54–63, May 2022, doi: 10.52924/IUJX7477.
- [15] T. Micha Premkumar, S. Sivamani, E. Kirthees, V. Hariram, and T. Mohan, "Data set on the experimental investigations of a helical Savonius style VAWT with and without end plates," *Data Brief*, vol. 19, pp. 1925–1932, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.dib.2018.06.113.