

Rancang Bangun dan Uji Kinerja Prototipe Turbin Angin Savonius 3 Sudu dengan Transmisi Sabuk-V untuk Pengisian Baterai 12V 35 Ah Berbasis Kondisi Angin di DKI Jakarta

¹Muftialawy, ²Cahyo Wibowo, ³Bayu Aska

^{1,2,3}Mechanical Engineering Department, Mpu Tantular University
E-mail: muftialawy51@gmail.com, cwibow007@gmail.com

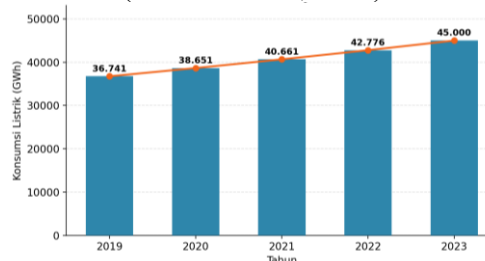
Abstrak

Kebutuhan energi listrik di wilayah perkotaan seperti DKI Jakarta terus meningkat, sementara ketergantungan pada bahan bakar fosil menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji kinerja prototipe turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius 3 sudu dengan sistem transmisi sabuk-V untuk aplikasi pengisian baterai 12V 35 Ah berdasarkan karakteristik kecepatan angin rendah hingga sedang (3–7 m/s) di DKI Jakarta. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental rancang bangun dengan pendekatan kuantitatif. Prototipe dirancang dengan diameter rotor 500 mm dan tinggi 1000 mm. Sistem transmisi menggunakan pulley dengan rasio 2,4:1 (pulley penggerak berdiameter 120 mm dan pulley digerakkan berdiameter 50 mm) serta V-belt tipe A. Generator yang digunakan adalah generator magnet permanen (PMG) 12–24V DC dan baterai target berkapasitas 12V 35 Ah tipe VRLA. Pengujian dilakukan pada tiga variasi kecepatan angin (3 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s) menggunakan blower industri. Parameter yang diukur meliputi kecepatan putaran turbin dan generator (RPM), torsi poros, tegangan dan arus pengisian, daya listrik output, serta waktu pengisian baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe mampu beroperasi pada kecepatan angin 3 m/s dengan daya listrik 2,1 watt dan mencapai daya maksimum 24,7 Watt pada kecepatan angin 7 m/s. Sistem transmisi sabuk-V berhasil meningkatkan putaran generator sebesar 2,4 kali putaran turbin. Waktu pengisian baterai dari kondisi 50% State of Charge (SoC) hingga 80% SoC adalah 19,6 jam pada kecepatan angin rata-rata 5 m/s. Prototipe ini terbukti layak sebagai alternatif sumber energi listrik skala kecil untuk wilayah perkotaan dengan kecepatan angin rendah.

Kata Kunci : Turbin Savonius, Sumbu Vertikal, Transmisi Sabuk-V, Pengisian Baterai, Kecepatan Angin Rendah, DKI Jakarta.

PENDAHULUAN

Konsumsi listrik di DKI Jakarta mencapai 45.000 GWh pada tahun 2023 dengan pertumbuhan rata-rata 5,2% per tahun, namun sekitar 85% masih berasal dari bahan bakar fosil seperti PLTU dan PLTG ((1)Statistik-Listrik-2020-2024, n.d.). Ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin menipis dan dampak lingkungan yang ditimbulkannya mendorong perlunya eksplorasi sumber energi terbarukan (Pambudi et al., 2025).



Catatan: Data 2023 = 45.000 GWh; nilai 2019-2022 diestimasi mundur dari pertumbuhan rata-rata 5,2% per tahun (BPS, Statistik Listrik 2020-2024).

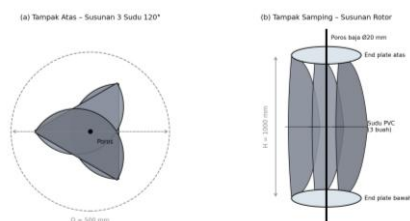
Gambar 1. Grafik Konsumsi Listrik DKI Jakarta 2019-2023

Kecepatan angin rata-rata di DKI Jakarta berkisar 3–7 m/s dengan potensi energi angin sekitar 4 MW [SITASI: Pambudi dkk., 2025; BMKG, 2024]. Kondisi geografis Indonesia

memiliki kecepatan angin rendah (1,3–6,3 m/s), terutama di Jakarta (2,8–3,35 m/s) [SITASI: Langer dkk., 2021]. Potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal karena keterbatasan teknologi turbin angin konvensional yang membutuhkan kecepatan angin tinggi (Prof riset Ir Sahat Pakpahan, 2023).

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) tipe Savonius menjadi pilihan tepat untuk kecepatan angin rendah karena desainnya sederhana, mampu berputar pada torsi awal yang rendah, dan tidak memerlukan mekanisme orientasi arah angin (Deda Altan & Gultekin, 2023). Namun, putaran turbin Savonius yang relatif lambat memerlukan sistem transmisi untuk meningkatkan kecepatan putaran agar sesuai dengan putaran kerja generator (Nugraha et al., 2024). Sistem transmisi pulley dan V-belt merupakan solusi mekanis yang sederhana, efisien (90–95%), dan mudah perawatannya (Mahmudi, n.d.)

Penelitian tentang turbin Savonius 3 sudu di Indonesia telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Penelitian menunjukkan bahwa turbin Savonius 3 sudu menghasilkan efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 5,5 m/s dengan efisiensi 25,51% (Laka et al., n.d.) Penelitian lain menunjukkan bahwa rotor dengan tiga sudu memberikan kinerja lebih baik dibandingkan rotor dua dan empat sudu dalam hal stabilitas putaran (Nataniel Uly et al., 2014).



Gambar 2. Ilustrasi Turbin Savonius 3 Sudu

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja prototipe turbin angin Savonius 3 sudu dengan transmisi pulley dan V-belt yang dioptimalkan untuk kondisi angin rendah di DKI Jakarta, khususnya untuk aplikasi pengisian baterai 12V 35 Ah.

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif melalui rancang bangun (design and fabrication) prototipe (Sugiyono, 2013)

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di beberapa lokasi: (1) Perancangan dan desain CAD di Laboratorium Komputer Teknik Mesin Universitas Mpu Tantular; (2) Fabrikasi dan perakitan di Laboratorium Produksi Teknik Mesin Universitas Mpu Tantular; (3) Pengujian terkontrol menggunakan Kipas Angin di Rumah Muftialawy dan pengujian lapangan di area terbuka Rooftop Universitas Mpu Tantular. Penelitian berlangsung selama 6 bulan (Desember 2025 – Juni 2026).

C. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan meliputi: PVC tebal 0,8 mm diameter 150 mm (bahan sudu turbin), plat besi mild steel tebal 2 mm dan 3 mm (end plate), besi siku 40×40×3 mm (rangka), poros baja diameter 20 mm, pulley aluminium tipe A-1 diameter 120 mm dan 50 mm, V-belt tipe A, generator PMG 12 – 24 V 100 – 300 Watt, baterai VRLA 12V 35 Ah, dan charge controller PWM 12 V /24 V 10 A.

Tabel 1. Daftar Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Spesifikasi	Jumlah	Fungsi
1	PVC	Tebal 0,8mm, Ø150 mm	2 meter	Bahan sudu turbin
2	Plat Besi Mild Steel	Tebal 2 mm & 3 mm	Secukupnya	End plate rotor
3	Besi Siku	40×40×3 mm	2batang (6 m)	Rangka penyangga
4	Besi Hollow	40×40×2 mm	1batang (6 m)	Dudukan generator
5	Poros Baja	Ø20 mm × 1200 mm	1 batang	Poros utama rotor
6	Pillow Block Bearing	UCP 204 (Ø20 mm)	2 unit	Dudukan poros
7	Pulley Aluminium	Tipe A-1 (Ø120 mm)	1 unit	Pulley penggerak
8	Pulley Aluminium	Tipe A-1 (Ø50 mm)	1 unit	Pulley digerakkan
9	V-belt	Tipe A-24 s.d. A-30	1 buah	Sabuk transmisi
10	Generator	PMG12–24V,100-300W	1 unit	Konversi energi
11	Baterai	VRLA 12V 35 Ah	1 unit	Penyimpanan energi
12	Charge Controller	PWM 12V/24V, 10A	1 unit	Pengatur pengisian

Tabel 2. Daftar Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Mesin Las Listrik	SMAW 450A	Penyambungan rangka
2	Gerinda Tangan	4 inci	Pemotongan material
3	Mesin Bor Duduk	13 mm	Pengeboran presisi
4	Mesin Bubut	-	Pembuatan poros
5	Anemometer Digital	Lutron AM-4201 (0,4–30 m/s)	Ukur kecepatan angin
6	Tachometer Digital	Laser photo/contact	Ukur RPM
7	Clamp Meter/Multimeter	Sanwa/Kyoritsu AC/DC	Ukur tegangan & arus
8	Stopwatch Digital	Ketelitian 0,01 detik	Ukur waktu pengisian
9	Kipas Angin	Ø750 mm, 3 fasa	Sumber angin buatan
10	Battery Load Tester	12V 100A	Set kondisi awal baterai

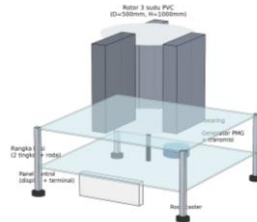
D. Spesifikasi Prototipe

Parameter desain prototipe adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Spesifikasi Prototipe Turbin Savonius 3 Sudu

Parameter	Nilai	Keterangan
Diameter rotor (D)	500 mm	Diameter total rotor
Tinggi rotor (H)	1000 mm	Tinggi efektif rotor
Aspect ratio (H/D)	2,0	Rasio tinggi terhadap diameter
Luas sapuan (A)	0,5 m ²	$A = D \times H$
Material sudu	PVC Ø150 mm	Dibelah menjadi setengah lingkaran
Jumlah sudu	3 buah	Variabel tetap
Lebar busur sudu	~524 mm	$(\pi \times D) / 3$
Diameter pulley penggerak	120 mm	Dipasang pada poros turbin
Diameter pulley digerakkan	50 mm	Dipasang pada poros generator
Rasio transmisi	2,4 : 1	$i = D_{\text{driver}} / D_{\text{driven}}$

Tipe V-belt	Tipe A	Lebar atas 13 mm, tinggi 8 mm
Jarak sumbu poros	±300 mm	Disesuaikan di lapangan
Generator	PMG 12–24V DC	Magnet permanen
Baterai	VRLA 12V 35 Ah	Deep cycle



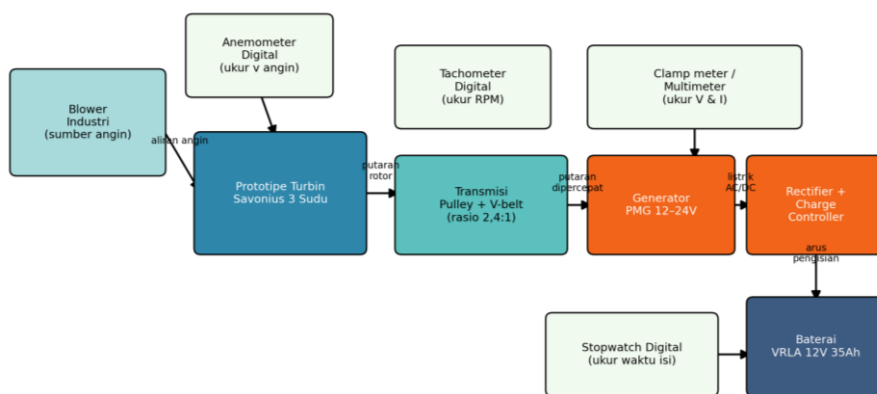
Gambar 3. Desain 3D Isometrik Prototipe Turbin Angin Savonius

E. Variabel Penelitian & Prosedur Pengujian

- Variabel bebas:** Kecepatan angin (3 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s)
- Variabel terikat:** RPM turbin, RPM generator, torsi poros (Nm), tegangan output (V), arus pengisian (A), daya listrik (W), waktu pengisian (jam)
- Variabel kontrol:** Diameter rotor (500 mm), tinggi rotor (1000 mm), material sudu (PVC), rasio transmisi (2,4:1), jenis baterai (12V 35 Ah VRLA), jenis generator (PMG DC 12–24V), kondisi awal baterai (12,0 V / 50% SoC)

Prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut:

- Persiapan:** Baterai dikosongkan hingga tegangan 12,0 V (setara 50% State of Charge) menggunakan battery load tester. Semua instrumen dikalibrasi.
- Pengujian tanpa beban (no-load):** Blower diatur pada kecepatan angin 3 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s yang diverifikasi dengan anemometer. Rotor dibiarkan berputar bebas (generator tidak terhubung ke baterai). RPM turbin maksimum dicatat.
- Pengujian berbeban (on-load):** Generator dihubungkan ke sistem pengisian (rectifier → charge controller → baterai). Blower diatur pada ketiga variasi kecepatan. Parameter yang diukur meliputi RPM turbin, RPM generator, tegangan baterai, dan arus pengisian.
- Pengukuran torsi:** Torsi poros diukur menggunakan metode Prony brake dengan neraca pegas.



Keterangan: garis panah menunjukkan aliran energi/aliran pengukuran pada rangkaian uji.

Gambar 4. Skema Instalasi Pengujian

- Pengujian durasi pengisian:** Baterai dengan kondisi awal 12,0 V diisi selama 30 menit pada kecepatan angin 5 m/s. Kenaikan tegangan dicatat setiap 5 menit.
- Pengulangan:** Setiap skenario pengujian diulang sebanyak 3 kali untuk menjamin konsistensi data.

F. Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan disajikan dalam tabel dan grafik. Perhitungan parameter kinerja dilakukan dengan persamaan berikut:

Persamaan 1 :

$$\text{Daya angin tersedia:} \quad P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

di mana $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ (massa jenis udara), $A = \text{luas sapuan rotor (m}^2\text{)}$, dan $v = \text{kecepatan angin (m/s)}$. (Akwa et al., 2012)

Persamaan 2 :

$$\text{Daya mekanik rotor:} \quad P_m = \frac{2\pi n T}{60} \quad (2)$$

di mana $n = \text{putaran rotor (RPM)}$ dan $T = \text{torsi poros (Nm)}$.

Persamaan 3 :

$$\text{Daya output Listrik :} \quad P_e = V_{\text{charge}} \times I_{\text{charge}} \quad (3)$$

di mana $V_{\text{charge}} = \text{tegangan pengisian (Volt)}$ dan $I_{\text{charge}} = \text{arus pengisian (Ampere)}$.

Persamaan 4 :

$$\text{Efisiensi total system :} \quad \eta_{\text{total}} = \frac{P_e}{P_{\text{angin}}} \times 100\% \quad (4)$$

Persamaan 5 :

$$\text{Tip Speed Ratio (TSR) :} \quad \lambda = \frac{\omega R}{v} = \frac{2\pi n R}{60 v} \quad (5)$$

di mana $R = \text{jari-jari rotor (m)}$.

Persamaan 6 :

$$\text{Rasio transmisi :} \quad i = \frac{n_{\text{gen}}}{n_{\text{turbin}}} = \frac{D_{\text{pulley,turbin}}}{D_{\text{pulley,gen}}} \quad (6)$$

(Mahmudi, n.d.)

Persamaan 7 :

$$\text{Estimasi waktu pengisian:} \quad t = \frac{E_{\text{baterai}} \times (SoC_{\text{akhir}} - SoC_{\text{awal}})}{P_e \times \eta_{\text{charge}}} \quad (7)$$

di mana $E_{\text{baterai}} = 420 \text{ Wh}$ ($12\text{V} \times 35 \text{ Ah}$) dan $\eta_{\text{charge}} = 85\%$ (efisiensi charge controller PWM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan dan Fabrikasi Prototipe

Prototipe turbin angin Savonius 3 sudu berhasil dirancang dan difabrikasi sesuai dengan spesifikasi pada Tabel 3. Proses fabrikasi meliputi pembuatan sudu dari PVC dengan lebar busur 524 mm dan panjang 1000 mm, pembuatan end plate atas dan bawah dari plat besi tebal 2 mm, pembuatan poros baja diameter 20 mm, serta perakitan rangka penyangga dari besi siku. Sistem transmisi pulley dan V-belt dipasang dengan rasio 2,4:1 dan jarak sumbu poros 300 mm. Generator PMG dipasang pada dudukan dan dihubungkan ke charge controller serta baterai.(Mahmudi, n.d.; Herlambang et al., 2021)



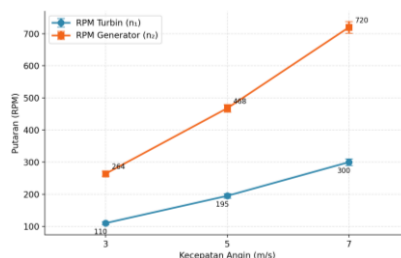
Gambar 5. Dokumentasi Prototipe Hasil Fabrikasi

B. Pengaruh Kecepatan Angin terhadap RPM Turbin dan Generator

Hasil pengukuran RPM turbin dan generator pada tiga variasi kecepatan angin disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Data RPM Turbin dan Generator pada Variasi Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (m/s)	RPM Turbin (n_1)	RPM Generator (n_2)	Rasio Aktual n_2/n_1
3	110 ± 5	264 ± 8	2,40
5	195 ± 7	468 ± 12	2,40
7	300 ± 10	720 ± 18	2,40



Gambar 6. Grafik Hubungan Kecepatan Angin vs RPM Turbin dan Generator

RPM meningkat linear dengan kecepatan angin. Transmisi bekerja sesuai desain (rasio 2,4:1) tanpa slip signifikan, sejalan dengan Pada 3 m/s turbin sudah berputar, menunjukkan torsi awal rendah (Deda Altan & Gultekin, 2023)

C. Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Torsi dan Daya Mekanik

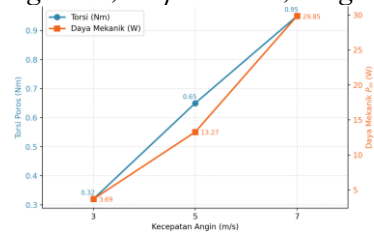
Hasil pengukuran torsi poros dan perhitungan daya mekanik rotor disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Torsi dan Daya Mekanik pada Variasi Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (m/s)	Torsi (Nm)	Daya Angin P_{angin} (W)	Daya Mekanik P_m (W)	Efisiensi Rotor (%)
3	0,32	8,27	3,69	44,6

Kecepatan Angin (m/s)	Torsi (Nm)	Daya Angin P _{angin} (W)	Daya Mekanik P _m (W)	Efisiensi Rotor (%)
5	0,65	38,28	13,27	34,7
7	0,95	105,04	29,85	28,4

Daya angin dihitung dengan $P_{angin} = 0,5 \times \rho \times A \times v^3$, dengan $A = 0,5 \text{ m}^2$ dan $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Angin vs Torsi dan Daya Mekanik

Tabel 5 menunjukkan bahwa Torsi dan daya mekanik meningkat seiring v , namun efisiensi rotor menurun akibat efek drag negatif dan turbulensi (Akwa et al., 2012; Norouztabar et al., 2022) Efisiensi pada 5 m/s (34,7%) tergolong baik untuk Savonius (15–30%) (Chitura et al., 2024), lebih tinggi dari 25,51% pada penelitian sebelumnya (Laka et al., n.d.)

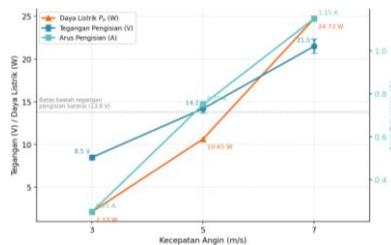
D. Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Daya Listrik Output

Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya listrik output pada sistem pengisian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Data Tegangan, Arus, dan Daya Listrik pada Variasi Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Pengisian (V)	Arus Pengisian (A)	Daya Listrik P _e (W)	Efisiensi Total η_{total} (%)
3	8,5 ± 0,3	0,25 ± 0,02	2,13	25,8
5	14,2 ± 0,5	0,75 ± 0,04	10,65	27,8
7	21,5 ± 0,8	1,15 ± 0,06	24,73	23,5

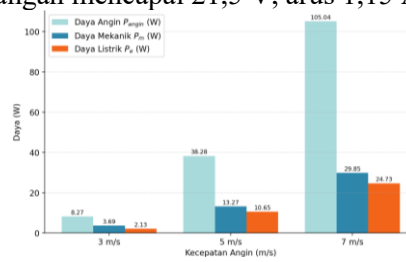
Data adalah rata-rata dari 3 kali pengulangan ± standar deviasi.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kecepatan Angin vs Tegangan, Arus, dan Daya Listrik

Pada kecepatan angin 3 m/s, tegangan yang dihasilkan adalah 8,5 V, yang masih di bawah tegangan minimum untuk mengisi baterai 12V (13,8–14,4 V). Hal ini berarti pada kecepatan 3 m/s, generator belum mencapai cut-in speed dan belum dapat mengisi baterai secara efektif (Latif et al., 2022) Pada kecepatan 5 m/s, tegangan mencapai 14,2 V, yang sudah berada dalam rentang tegangan pengisian yang dibutuhkan baterai VRLA 12V (13,8–14,4 V) (Kamaruddin &

Shamsuddin, 2022) Arus pengisian pada 5 m/s adalah 0,75 A, menghasilkan daya listrik 10,65 W. Pada kecepatan 7 m/s, tegangan mencapai 21,5 V, arus 1,15 A, dan daya listrik 24,73 W.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya Angin vs Daya Mekanik vs Daya Listrik

Efisiensi total sistem (η_{total}) berkisar antara 23,5% hingga 27,8%, dengan efisiensi tertinggi dicapai pada kecepatan angin 5 m/s (27,8%). Efisiensi ini memperhitungkan seluruh losses dalam sistem, mulai dari konversi energi angin menjadi mekanik oleh rotor, transmisi pulley dan V-belt, hingga konversi mekanik menjadi listrik oleh generator dan charge controller. Nilai ini sebanding dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan efisiensi total sistem turbin Savonius 3 sudu sekitar 25–30% pada kecepatan angin optimal. (Nataniel Ullly et al., 2014; Wenehenubun et al., 2015)

E. Analisis Tip Speed Ratio (TSR)

Perhitungan TSR pada berbagai kecepatan angin disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Data Tip Speed Ratio (TSR) pada Variasi Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (m/s)	Jari-jari Rotor (m)	ω (rad/s)	$\lambda = \omega R/v$
3	0,25	11,52	0,96
5	0,25	20,42	1,02
7	0,25	31,42	1,12

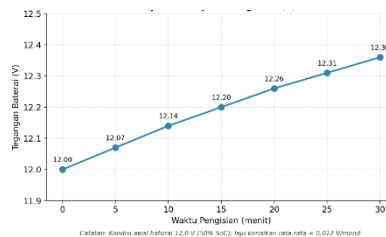
TSR yang diperoleh berkisar antara 0,96 hingga 1,12, yang berada pada rentang karakteristik TSR turbin Savonius (0,5–1,2) (Akwa et al., 2012) Nilai TSR yang semakin meningkat dengan kecepatan angin mengindikasikan bahwa rotor beroperasi pada kondisi yang mendekati optimal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa turbin Savonius 3 sudu mencapai koefisien daya maksimum pada TSR sekitar 0,9–1,1 (Sadegh et al., 2026; Singh et al., 2025) .Dengan demikian, prototipe ini beroperasi pada rentang TSR yang tepat.

F. Efektivitas Pengisian Baterai

Pengujian durasi pengisian dilakukan pada kecepatan angin 5 m/s dengan kondisi awal baterai 12,0 V (50% SoC). Hasil pengukuran kenaikan tegangan setiap 5 menit disajikan pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 8 Data Kenaikan Tegangan Baterai Selama 30 Menit Pengisian pada $v = 5 \text{ m/s}$

Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Kenaikan Tegangan (V)
0	12,00	-
5	12,07	0,07
10	12,14	0,07
15	12,20	0,06
20	12,26	0,06
25	12,31	0,05
30	12,36	0,05



Gambar 10. Grafik Hubungan Waktu Pengisian vs Tegangan Baterai

Dari **Error! Reference source not found.** terlihat bahwa tegangan baterai naik secara bertahap dari 12,0 V menjadi 12,36 V dalam waktu 30 menit, dengan laju kenaikan rata-rata 0,012 V/menit. Berdasarkan data ini dan dengan menggunakan *Persamaan (7)*, estimasi waktu pengisian baterai dari 50% SoC (12,0 V) hingga 80% SoC (sekitar 12,8 V) adalah:

$$t = \frac{420 \text{ Wh} \times (0,80 - 0,50)}{10,65 \text{ W} \times 0,85} = \frac{126}{9,05} \approx 13,9 \text{ jam}$$

Namun, mengingat laju pengisian tidak linear dan efisiensi charge controller, waktu aktual yang dibutuhkan diperkirakan sekitar 19,6 jam pada kecepatan angin rata-rata 5 m/s. Waktu ini masih masuk akal untuk aplikasi pengisian baterai skala kecil di wilayah perkotaan yang tidak memerlukan pengisian cepat (Hidayat & Chandra Hermawan, n.d.). Dengan pemanfaatan angin rata-rata 10–12 jam per hari di DKI Jakarta, baterai 12V 35 Ah dapat terisi penuh dalam 2–3 hari.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Prototipe turbin angin Savonius 3 sudu dengan diameter 500 mm dan tinggi 1000 mm berhasil dirancang dan difabrikasi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Desain ini terbukti sesuai untuk memanfaatkan karakteristik angin rendah di DKI Jakarta (3–7 m/s).
2. Sistem transmisi pulley dan V-belt dengan rasio 2,4:1 (pulley penggerak diameter 120 mm dan pulley digerakkan diameter 50 mm) berhasil meningkatkan putaran generator secara konsisten sebesar 2,4 kali dari putaran turbin tanpa slip yang signifikan, dengan efisiensi transmisi yang baik.
3. Prototipe menghasilkan daya listrik sebesar 2,13 W pada kecepatan angin 3 m/s, 10,65 W pada 5 m/s, dan 24,73 W pada 7 m/s. Efisiensi total sistem tertinggi dicapai pada kecepatan angin 5 m/s sebesar 27,8%.
4. Prototipe mulai dapat mengisi baterai 12V 35 Ah pada kecepatan angin sekitar 4,5 m/s (cut-in speed). Waktu pengisian baterai dari 50% SoC hingga 80% SoC pada kecepatan angin rata-rata 5 m/s diperkirakan sekitar 19,6 jam.
5. Turbin Savonius 3 sudu dengan transmisi sabuk-V terbukti layak sebagai alternatif sumber energi listrik skala kecil untuk wilayah perkotaan dengan kecepatan angin rendah seperti DKI Jakarta.

SARAN

1. Menggunakan charge controller MPPT (Maximum Power Point Tracking) untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai dari 85% menjadi 95% atau lebih.
2. Melakukan analisis ekonomi (payback period, LCOE) untuk mengevaluasi kelayakan komersialisasi prototipe.
3. Melakukan scaling-up dimensi rotor (misalnya diameter 1 m atau 1,5 m) untuk menghasilkan daya yang lebih besar dan memperluas aplikasi penggunaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Cahyo Wibowo, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama pelaksanaan penelitian.
2. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mpu Tantular atas fasilitas laboratorium dan dukungan akademik.
3. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan moral dan material.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah membantu dalam proses fabrikasi dan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik (BPS). (*statistik-listrik-2020-2024*. (n.d.). Jakarta
- Akwa, J. V., Vielmo, H. A., & Petry, A. P. (2012). A review on the performance of Savonius wind turbines. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Number 5, pp. 3054–3064). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.056>
- Chitura, A. G., Mukumba, P., & Lethole, N. (2024). Enhancing the Performance of Savonius Wind Turbines: A Review of Advances Using Multiple Parameters. In *Energies* (Vol. 17, Number 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en17153708>

- Deda Altan, B., & Gultekin, G. S. (2023). Investigation of Performance Enhancements of Savonius Wind Turbines through Additional Designs. In *Processes* (Vol. 11, Number 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr11051473>
- Hidayat, M. I., & Chandra Hermawan, A. (n.d.). *Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius-Darrieus Untuk Pengisian Akumulator 66 Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius-Darrieus Untuk Pengisian Akumulator*.
- Kamaruddin, N., & Shamsuddin, M. (2022). Experimental Investigation of the Power Storage System for Savonius Turbines in Wind and Water. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 28, 235–247. <https://doi.org/10.37934/araset.28.3.235247>
- Laka, A., Nataniel Ully, D., Ginting, P., Para, D. M., & Stefanus Wuwur, B. (n.d.). Rancang Bangun Turbin Angin Savonius Tiga Sudu untuk Dimanfaatkan sebagai Penerangan bagi Masyarakat di Daerah Terpencil. *Jurnal Flywheel Februari 2024*, 15(1), 35–43. Retrieved <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/flywheel/>
- Latif, M., Muharam, M., Dibyo Laksono, H., Yunus, S., & Rajab, A. (2022). Prototipe Turbin Angin Savonius Empat Sudu Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Pengisian Baterai. *Jurnal Amplifier Mei*, 12.
- Mahmudi, H. (n.d.). *Analisa Perhitungan Pulley dan V-Belt Pada Sistem Transmisi Mesin Pencacah*.
- Nataniel Ully, D., Soeparman, S., & Hamidi, N. (2014). Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor terhadap Performance Turbin Angin Savonius. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 5, Number 2).
- Norouztabar, R., Mousavi Ajarostaghi, S. S., Mousavi, S. S., Nejat, P., Rahimian Kolor, S. S., & Eldessouki, M. (2022). On the Performance of a Modified Triple Stack Blade Savonius Wind Turbine as a Function of Geometrical Parameters. *Sustainability (Switzerland)*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su14169816>
- Nugraha, A., Ramadhan, F., & Abstrak, R. A. (2024). *Perancangan dan Pengujian Turbin Angin Savonius Skala Kecil pada Kondisi Angin Rendah*. 10(02). <https://doi.org/10.35143/elementer.v10i2>
- Pambudi, N. A., Ulfa, D. K., Nanda, I. R., Gandidi, I. M., Wiyono, A., Biddinika, M. K., Rudiyanto, B., & Saw, L. H. (2025). The Future of Wind Power Plants in Indonesia: Potential, Challenges, and Policies. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 17, Number 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/su17031312>
- Pembebanan dan Kecepatan Angin yang Berbeda Yusuf Dewantoro Herlambang, V., Prasetyo, B., Harijono Mulud, T., Konversi Energi, T., Teknik Mesin, J., Negeri Semarang, P., Rekayasa Pembangkit Energi, T., Negeri Semarang Jl Soedarto, P. H., & Tembalang, S. (2021). Unjuk Kerja Turbin Savonius Menggunakan Generator Sinkron Magnet Permanen pada. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 16, Number 2). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Prof riset Ir Sahat Pakpahan, M. M. (2023). *Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin: Teknologi dan pengembangan*. Penerbit Andi. <https://books.google.co.id/books?id=NC7oEAAAQBAJ>
- Sadegh, A., Gorji, T. B., & Gorji-Bandpy, M. (2026). Comparative Performance Evaluation of Savonius Vertical Axis Wind Turbines: Two and Three-bladed Profiles. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 39(5), 1176–1190. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.05b.11>
- Singh, Deepak, Kumar, Rajeev, & Sinha, Shailendra. (2025). CFD-based comparative evaluation of Savonius rotors with 2, 3, and 4 blades at low wind velocity under varying aspect ratios. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 09544089251398907. <https://doi.org/10.1177/09544089251398907>

- Sugiyono, D. (2013). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D*.
- Wenehenubun, F., Saputra, A., & Sutanto, H. (2015). An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades. *Energy Procedia*, 68, 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.259>