

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL TIPE SAVONIUS SKALA KECIL SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK UNTUK PENERANGAN JALAN

Taruna Putra¹

Edi Septe

Tarunaputra199@gmail.com

ABSTRAK

Ketersediaan energi listrik untuk penerangan jalan di wilayah perkotaan dan daerah terpencil masih menghadapi kendala keterbatasan sumber energi serta ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional. Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan adalah pemanfaatan energi angin melalui turbin angin vertikal *tipe* Savonius skala kecil. Penelitian ini bertujuan merancang, merealisasikan, dan menganalisis kinerja turbin angin Savonius tiga bilah sebagai sumber energi listrik untuk penerangan jalan. Metode yang digunakan meliputi perancangan *prototipe*, pembuatan dan perakitan sistem mekanik dan elektrik, serta pengujian pada kondisi angin alami berkecepatan rendah dan tidak konstan. Parameter yang dianalisis meliputi kecepatan putar rotor, tegangan, arus, daya listrik, serta efisiensi konversi energi. Hasil pengujian menunjukkan daya angin tertinggi sebesar 48.3 watt, yang dikonversi menjadi daya mekanik sebesar 9.64 watt dengan efisiensi 11.75%. Daya listrik yang dihasilkan sebesar 5.68 watt dengan efisiensi konversi mekanik ke listrik sebesar 58.8%. Daya tersebut cukup untuk mendukung lampu DC 5 watt, meskipun kestabilan output dipengaruhi fluktuasi kecepatan angin. Dengan optimalisasi desain dan sistem konversi, turbin angin Savonius berpotensi menjadi solusi penerangan jalan berbasis energi terbarukan yang mandiri dan berkelanjutan.

Kata Kunci: turbin angin vertikal, savonius, perancangan, daya

ABSTRACT

The availability of electrical energy for street lighting in urban and remote areas still faces challenges due to limited energy sources and dependence on conventional power grids. One potential alternative solution is the utilization of wind energy through a small-scale vertical axis Savonius wind turbine. This study aims to design, construct, and analyze the performance of a three-blade Savonius wind turbine prototype as a power source for street lighting. The research method includes prototype design, mechanical and electrical system assembly, and performance testing under natural low and fluctuating wind conditions. The analyzed parameters include rotor rotational speed, output voltage and current, electrical power, and energy conversion efficiency. The results show that the highest available wind power was 48.3 watts, which was converted into 9.64 watts of mechanical power with an efficiency of 11.75%. The generated electrical power reached 5.68 watts with a mechanical-to-electrical conversion efficiency of 58.8%. The produced power is sufficient to support a 5-watt DC street lamp, although output stability is affected by wind speed fluctuations. With further design and energy conversion optimization, the Savonius wind turbine has the potential to serve as an independent and sustainable renewable energy-based street lighting solution.

Keyword: vertical axis wind turbine, Savonius, design, power output

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk sistem penerangan jalan terus meningkat seiring dengan perkembangan wilayah perkotaan maupun daerah terpencil. Penerangan jalan memiliki peran penting dalam meningkatkan keselamatan, keamanan, dan kenyamanan pengguna jalan pada malam hari. Namun demikian, penyediaan energi listrik untuk penerangan jalan masih menghadapi berbagai kendala, terutama di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik secara optimal atau memiliki keterbatasan pasokan energi. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil dan jaringan listrik konvensional juga menimbulkan permasalahan keberlanjutan serta peningkatan biaya operasional.

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu solusi strategis untuk mengatasi permasalahan tersebut. Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang tersedia secara alami, ramah lingkungan, dan berpotensi dikembangkan pada skala kecil (Mulyadi dan Marhatang, 2013). Salah satu teknologi konversi energi angin yang sesuai untuk daerah dengan kecepatan angin rendah dan tidak konstan adalah turbin angin vertikal *tipe* Savonius (Ucok dkk, 2020). Turbin ini memiliki keunggulan berupa konstruksi sederhana, kemampuan *self-starting* yang baik, serta tidak memerlukan sistem pengarah angin, sehingga cocok diaplikasikan pada lingkungan terbuka seperti area pinggir jalan (Husen dkk, 2023).

Meskipun demikian, kinerja turbin angin vertikal *tipe* Savonius sangat dipengaruhi oleh parameter desain seperti diameter dan tinggi rotor, jumlah dan bentuk bilah, serta sistem transmisi dan generator yang digunakan (Junaidi dan Premadi, 2024). Selain itu, faktor lingkungan seperti kecepatan dan karakteristik aliran angin juga menentukan besarnya daya yang dapat dikonversi menjadi energi listrik (Dewan dkk, 2021). Oleh karena itu, diperlukan kajian perancangan dan analisis kinerja yang komprehensif untuk mengetahui tingkat efisiensi dan potensi aplikasinya sebagai sumber energi penerangan jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan *prototipe* turbin angin vertikal *tipe* Savonius skala kecil serta menganalisis kinerja dan efisiensi konversi energinya dalam menghasilkan daya listrik untuk sistem penerangan jalan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem penerangan jalan berbasis energi angin yang mandiri, efisien, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Tambusai Batang Dui, Duri, Provinsi Riau, pada bulan Agustus 2025 sampai dengan Februari 2026. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tahapan perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis kinerja turbin angin vertikal *tipe* Savonius skala kecil sebagai sistem pembangkit listrik untuk penerangan jalan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

1. Tahap Studi Literatur

Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur untuk mengkaji teori dan penelitian terdahulu terkait turbin angin vertikal *tipe* Savonius, karakteristik angin kecepatan rendah, konsep konversi energi angin, serta perhitungan daya dan efisiensi sistem. Studi literatur ini menjadi dasar dalam menentukan parameter desain rotor, sistem transmisi, dan pemilihan generator.

2. Tahap Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perancangan *prototipe* turbin angin vertikal *tipe* Savonius tiga bilah. Parameter desain yang ditentukan meliputi diameter dan tinggi rotor, jumlah dan bentuk bilah, diameter poros, sistem transmisi *pulley* dan *belt*, serta spesifikasi generator dan komponen kelistrikan (*charge controller* dan baterai). Perancangan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi kecepatan angin rendah di lokasi penelitian.

Tabel 1. Parameter Teknis Turbin

Parameter	Nilai (satuan)	Keterangan
Tinggi Rotor (H)	1 m	Menyesuaikan kebutuhan output daya
Diameter Rotor (D)	0.5 m	Disesuaikan untuk skala kecil
Jumlah Bilah	3 buah	<i>Tipe</i> klasik Savonius
Bentuk Bilah	Setengah Silinder	Memaksimalkan gaya <i>drag</i>
Bahan Bilah	Aluminium	Tahan korosi dan ringan
Jenis Generator	DC 12 Volt	Untuk penerangan LED
Kecepatan Angin Rencana	3.5 m/s	Rata-rata wilayah penelitian

3. Tahap Pembuatan dan Perakitan

Tahap ini meliputi proses fabrikasi bilah, perakitan rotor dan poros, pemasangan *Bearing*, rangka penopang, sistem transmisi, serta instalasi sistem kelistrikan. Seluruh komponen dirakit menjadi satu sistem turbin angin yang siap diuji di lapangan.

4. Tahap Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan secara langsung di lokasi penelitian pada kondisi angin alami. Parameter yang diukur meliputi kecepatan angin, kecepatan putar rotor (rpm), tegangan (V), arus (A), dan daya listrik (W) yang dihasilkan. Data diambil pada interval waktu tertentu untuk mengetahui variasi performa turbin terhadap perubahan kecepatan angin.

5. Tahap Analisa Data

Analisa data dilakukan untuk menentukan:

- a. Daya angin teoritis menggunakan persamaan:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

- b. Daya mekanik turbin berdasarkan hasil putaran dan torsi rotor

- c. Daya listrik keluaran generator berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus:

$$P_{listrik} = V \times I$$

- d. Efisiensi konversi energi angin ke mekanik dan mekanik ke listrik,

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangka rotor turbin savonius direncanakan 3 bilah dengan menggunakan plat ST37 dengan ketebalan 2mm dan bilah menggunakan plat aluminium dengan ketebalan 0.4mm. Dengan menggunakan komponen ini diharapkan turbin mampu bekerja pada kecepatan angin 3.5m/s. tahapan pertama menentukan kelengkungan bilah turbin dimana sudut kelengkungan yang di asumsikan 120°, diameter rotor rencana 500mm maka diameter bilah dapat dicari (Hibbeler, 2016):

$$d = R \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$$

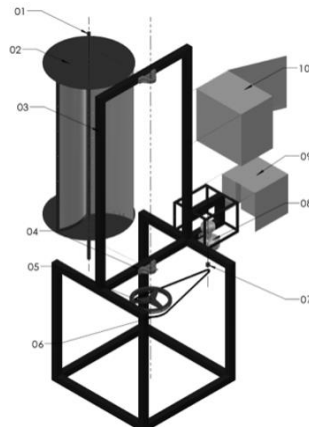
$$d = 250mm \left(1 - \cos \frac{120^\circ}{2} \right) = 125 mm$$

Menghitung rasio kelengkungan bilah terhadap diameter rotor:

$$\frac{d}{D} = \frac{125 mm}{500 mm} = 0.25$$

Rasio kelengkungan bilah rencana masih dalam rentang optimal savonius (0.2-0.5). Penerus putaran dari poros rotor ke generator di rencanakan menggunakan *pulley* dan *belt* dengan diameter *pulley* 1 (*pulley* rotor) 100 mm dan *pulley* 2 (*pulley* generator) 25.4mm maka rasio *pulley* didapat 3.94 dengan rasio ini diharapkan generator mendapatkan daya maksimum untuk bekerja.

Berdasarkan parameter desain dan pemilihan komponen maka desain dari turbin savonius dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini:



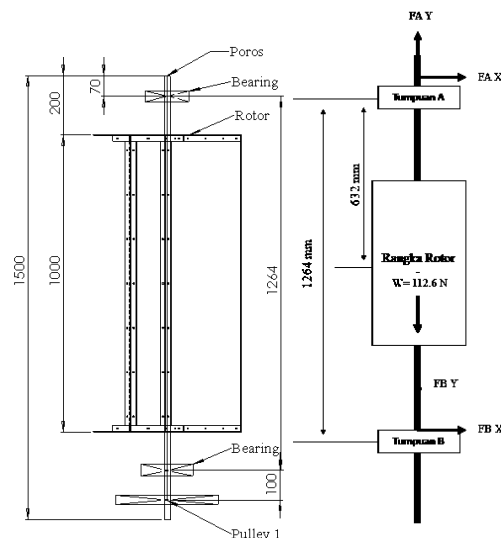
Gambar 2. Assembly Turbin Savonius

Berdasarkan gambar 2 assembly turbin savonius dijelaskan komponen-komponen dari desain pada table 2. Dibawah:

Tabel 2. Komponen Turbin Savonius

No	Nama	Jumlah	Bahan	Keterangan
1	Poros	1	ST37	D20mm
2	Rotor Savonius	1	ST37 + Aluminium	D500mm, 3 Bilah
3	Rangka Utama	1	ST37	Hollow 40x40x2
4	Bearing	2	-	ASB P204
5	Pulley 1	1	Aluminium	D100mm, d20mm
6	Belt	1	Rubber	W:60, L:100, t : 2
7	Pulley 2	2	Plastik	D 25.4mm, d 8 mm
8	Generator	1	-	220 V, 35w
9	Cover Generator	1	Aluminium	T :0.4 mm
10	Control Panel	1	ST37 +Aluminium	Hollow 20x20x2

Setelah didapatkan desain awal turbin savonius, baik komponen dan dimensi komponen maka dapat dilakukan analsisa keamanan struktur poros turbin terhadap beban yang bekerja terhadapnya baik gaya berat dari rotor.



Gambar 3. Struktur dan Diagram Benda Bebas Poros

Maka reaksi tumpuan dapat dicari:

Diameter poros (dporos) = 20 mm
 Panjang Poros (Lporos) = 1,500 mm
 Material Poros = ST37
 Density (ρ) = 7.85g/cm³
 Tegangan Luluh (σ_{yield}) = 235 MPa
 Berat Rangka Rotor (m) = 11.48 kg
 Gaya berat rangka rotor (W) = 112.6 N
 Momen *inersia* penampang(I) = 7.854 mm⁴
 Jarak serat lentur (c) = 10 mm

Suatu benda dikatakan berada dalam kondisi setimbang apabila resultan gaya yang bekerja padanya sama dengan nol (Hibbeler, 2016).

$$\begin{aligned} \sum \uparrow + \sum Ma &= 0 \\ (FB \times 1,264 \text{ mm}) - (W \times 632 \text{ mm}) &= 0 \\ FB &= 56.3 \text{ N} \\ \uparrow + \sum Fy &= 0 \\ FA + FB &= 112.6 \text{ N} \\ FA &= 56.3 \text{ N} \end{aligned}$$

Mencari momen lentur akibat gaya berat (Hibbeler, 2016)::

$$M_{max} = \frac{W \times L}{4} = \frac{112.6 \text{ N} \times 1,264 \text{ mm}}{4} = 35,590 \text{ N.mm}$$

Maka tegangan lentur maksimum (Hibbeler, 2016)::

$$\sigma_b = \frac{M_{max} \times c}{I} = \frac{35,590 \text{ N.mm} \times 10 \text{ mm}}{7,854 \text{ mm}^4} = 45.3 \text{ MPa}$$

Faktor keamanan poros menggunakan kriteria tegangan luluh (Hibbeler, 2016):

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_b} = \frac{235 \text{ MPa}}{45.3 \text{ MPa}} = 5.19$$

Ringkasan :

Gaya berat rotor : 112.6 N
 Gaya geser maks : 56.3 N
 Momen lentur maks : 35,590 N.mm
 Tegangan lentur : 45.3 MPa
 Faktor keamanan : ≈ 5.2 (Aman)

Setelah di lakukan beberapa proses baik perencanaan sampai pengadaan dan perakitan maka didapatkan *prototipe* turbin savonius seperti gambar 4. dibawah ini.



Gambar 4. Turbin Savonius

Selanjutnya dilakukan pengujian kinerja turbin savonius dengan menghitung kinerja turbin pada waktu pagi hari, siang hari dan sore hari. Waktu ini menggambarkan kerja turbin pada saat pengecasan baterai dengan memanfaatkan energi angin.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Putaran Poros (RPM)	
1	Pagi	08:00	24.5	0.13	4.6	548.1
2		08:30	24.2	0.12	4.4	544.6
3		09:00	24.0	0.12	4.3	538.6
4		09:00	23.8	0.11	4.1	525.9
5		10:00	23.5	0.10	4.0	520.7
6	Siang	10:30	23.2	0.09	3.9	459.7
7		11:00	22.8	0.07	3.5	454.3
8		11:30	22.5	0.05	3.3	444.5
9		12:00	22.4	0.03	3.2	438.6
10		12:30	22.3	0.02	3.0	420.3
11	Sore	15:00	31.9	0.15	4.9	678.8
12		15:30	32.0	0.15	5.0	683.3
13		16:00	32.3	0.15	5.1	743.6
14		16:30	32.5	0.16	5.2	761.6
15		17:00	33.4	0.17	5.4	768.7

Berdasarkan table 3. data hasil pengujian pada kecepatan angin pada pagi hari hingga sore didapat tegangan, arus dan putran poros yang dihasilkan turbin untuk mengisi daya batrai. Maka daya turbin dilihat dari tegangan dan arus dapat dicari.

Waktu pengujian sore hari pukul 17:00 didapat:

Kecepatan angin (v) = 5.4 m/s
 Putaran Poros (n) = 768.7 rpm
 Tegangan (V) = 33.4 volt
 Arus (I) = 0.17 amper
 Jumlah bilah = 3 bilah
 Diameter Rotor (D) = 500 mm = 0.5 m
 Diameter Bilah (d) = 125 mm = 0.125 m
 Tinggi Bilah (H) = 1,000 mm = 1 m
 Masa Jenis Udara (ρ) = 1.225 kg/m³

Mencari luas sapuan rotor (VAWT- Savonius) (Manwell dkk, 2010):

$$A = D \times H = 0.5 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0.5 \text{ m}^2$$

Kecepatan sudut poros (Hibbeler, 2016):

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \times 768.7 \text{ RPM}}{60} = 80.53 \text{ rad/s}$$

Mencari *tip speed ratio* (TSR) (Burton dkk, 201) :

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{v} = \frac{80.53 \text{ rad/s} \times 0.25 \text{ m}}{5.4 \text{ m/s}} = 3.73$$

Daya Angin Teoritis (Manwell dkk, 2010):

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \times \rho A v^3 = \frac{1}{2} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 0.5 \text{ m}^2 \times \left(5.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3$$

$$P_{angin} = 48.22 \text{ watt}$$

Estimasi daya mekanik turbin savonius (Hibbeler, 2016):

$$C_p = 0.2$$

$$P_{turbin} = C_p \times P_{angin} = 0.2 \times 48.22 \text{ watt}$$

$$P_{turbin} \approx 9.64 \text{ watt}$$

Estimasi Torsi Rotor (Hibbeler, 2016):

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{9.64 \text{ watt}}{80.53 \text{ rad/s}} = 0.12 \text{ N.m}$$

Maka daya generator dapat dicari (Manwell dkk, 2010):

$$W = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (I)} = 33.4 \text{ volt} \times 0.17 \text{ amper}$$

$$W = 5.68 \text{ watt}$$

Ringkasan Hasil:

Luas Sapuan Rotor	: 0.5 m ²
Torsi Rotor	: 0.12 N.m
Kecepatan Sudut	: 80.53 rad/s
TSR	: 3.73
Daya Angin	: 48.22 watt
Daya Mekanik Turbin	: 9.64 watt
Daya Generator	: 5.68 watt

Selanjutnya mencari seberapa besar efisiensi sistem keseluruhan dari angin ke listrik (*overall efficiency*) (Manwell dkk, 2010):

$$\eta_{sistem} = \frac{P_{listrik}}{P_{angin}} \times 100\% = \frac{5.68}{48.22} \times 100\% = 11.75\%$$

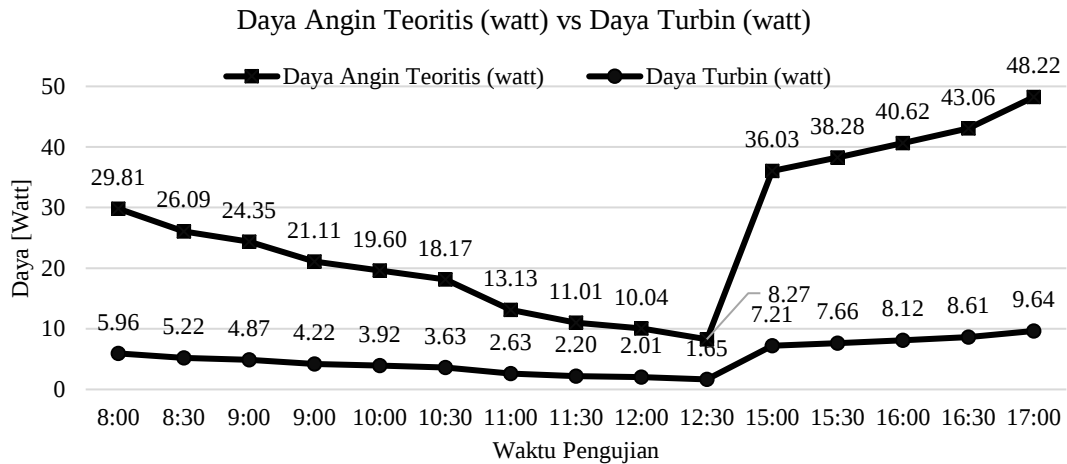
Mencari efisiensi mekanik ke elektrik (Turbin ke Listrik):

$$\eta_{sistem} = \frac{P_{listrik}}{P_{Turbin}} \times 100\% = \frac{5.68}{9.64} \times 100\% = 58.8 \%$$

Berdasarkan perhitungan daya turbin dan torsi rotor didapat data yang ditampilkan pada table 4. dibawah in:

Tabel 4. Data Hasil Perhitungan Daya Mekanik Turbin dan Torsi

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Poros (RPM)	Kecepatan Sudut Rotor (ω)	TSR	Daya Angin Teoritis (watt)	Daya Turbin (watt)	Torsi Rotor (N.m)
1	8:00	4.6	548.1	57.42	3.12	29.81	5.96	0.10
2	8:30	4.4	544.6	57.05	3.24	26.09	5.22	0.09
3	Pagi 9:00	4.3	538.6	56.42	3.28	24.35	4.87	0.09
4	9:00	4.1	525.9	55.09	3.36	21.11	4.22	0.08
5	10:00	4	520.7	54.55	3.41	19.60	3.92	0.07
6	10:30	3.9	459.7	48.16	3.09	18.17	3.63	0.08
7	11:00	3.5	454.3	47.59	3.40	13.13	2.63	0.06
8	Siang 11:30	3.3	444.5	46.57	3.53	11.01	2.20	0.05
9	12:00	3.2	438.6	45.95	3.59	10.04	2.01	0.04
10	12:30	3	420.3	44.03	3.67	8.27	1.65	0.04
11	15:00	4.9	678.8	71.11	3.63	36.03	7.21	0.10
12	15:30	5	683.3	71.58	3.58	38.28	7.66	0.11
13	Sore 16:00	5.1	743.6	77.90	3.82	40.62	8.12	0.10
14	16:30	5.2	761.6	79.79	3.84	43.06	8.61	0.11
15	17:00	5.4	768.7	80.53	3.73	48.22	9.64	0.12

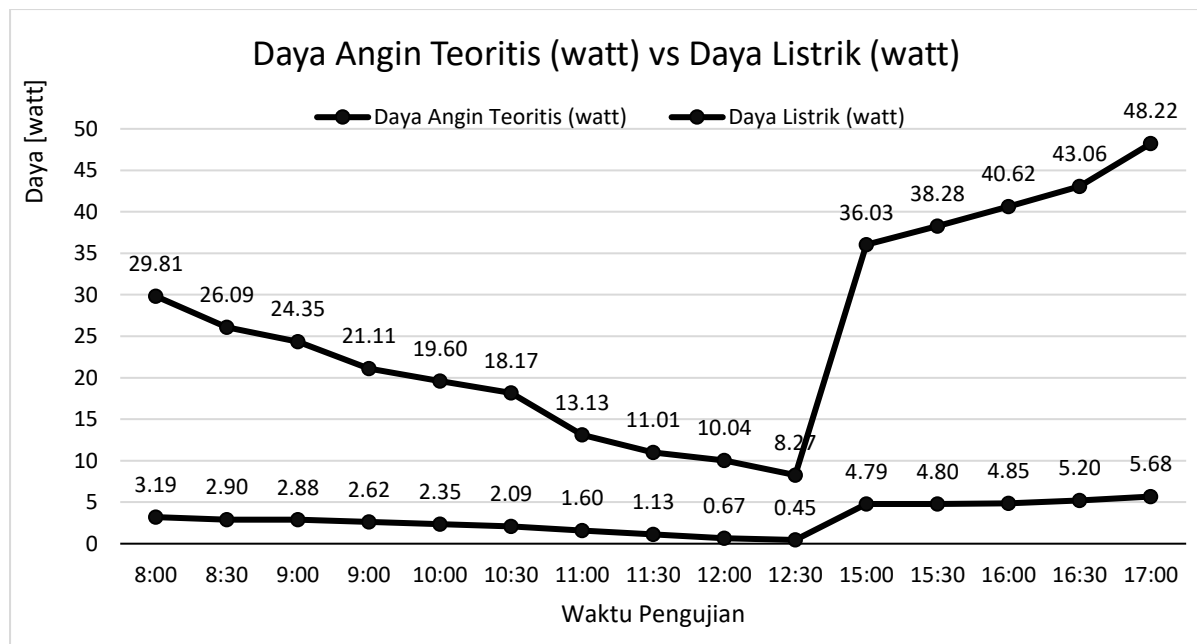


Gambar 5. Grafik Daya Angin Teoritis vs Daya Turbin

Berdasarkan hasil perhitungan, turbin angin vertikal *tipe* Savonius dengan diameter rotor 0.5 m dan tinggi 1 m memiliki luas sapuan sebesar 0.5 m². Luas sapuan rotor ini sangat penting karena menentukan berapa besar energi angin yang dapat ditangkap oleh turbin. Pada kecepatan angin 5.4 m/s, daya angin teoritis yang tersedia sebesar 48.22 W. Dengan asumsi koefisien daya sebesar 0.2, daya mekanik turbin yang dihasilkan diperkirakan sebesar 9.64 W. Nilai *Tip speed ratio* (TSR) yang diperoleh sebesar 3.73, nilai TSR terlalu rendah mengakibatkan turbin lambat dan energi tidak maksimal sedangkan nilai TSR yang terlalu tinggi bilah tidak mampu menangkap aliran angin dan efisiensi turun. Untuk turbin savonius memiliki standar TSR 0.8-1.2. Pada penelitian ini nilai TSR yang didapat 3.73 masih di dalam rentang aman untuk turbin savonius. Daya angin teoritis merupakan daya maksimum yang tersedia pada aliran angin yang melewati luas sapuan rotor turbin. Namun, tidak seluruh daya angin tersebut dapat dikonversi menjadi daya mekanik turbin akibat adanya keterbatasan aerodinamis dan rugi-rugi aliran. Hubungan antara daya angin teoritis dan daya turbin dinyatakan melalui koefisien daya (C_p), di mana daya turbin merupakan hasil perkalian antara daya angin teoritis dan nilai C_p . Pada turbin angin vertikal *tipe* Savonius, nilai C_p relatif lebih kecil dibandingkan turbin angin horizontal, sehingga daya mekanik yang dihasilkan hanya merupakan sebagian dari daya angin yang tersedia. Daya turbin memiliki nilai lebih kecil dari pada daya angin karena dibatasi oleh koefisien daya dan hukum Betz, serta adanya rugi aerodinamis pada turbin *tipe* Savonius yang berbasis gaya hambat.

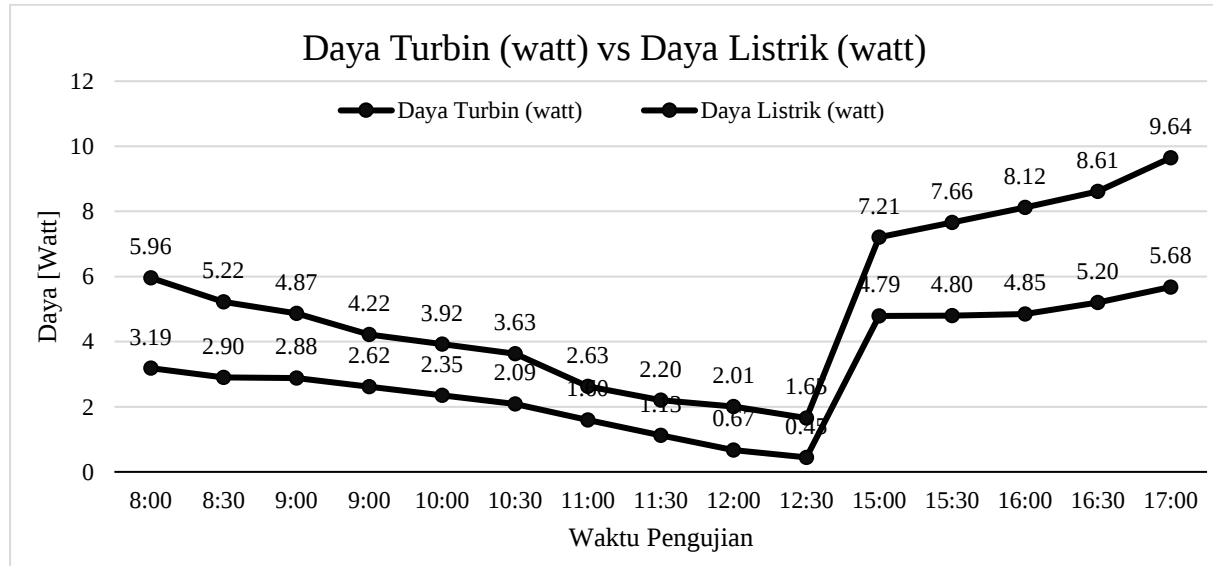
Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Daya Generator

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya Generator (watt)
1	08:00	4.6	24.5	0.13	3.20
2	08:30	4.4	24.2	0.12	2.90
3	Pagi	09:00	24.0	0.12	2.88
4		09:00	23.8	0.11	2.62
5		10:00	23.5	0.10	2.35
6	10:30	3.9	23.2	0.09	2.10
7	11:00	3.5	22.8	0.07	1.60
8	Siang	11:30	22.5	0.05	1.13
9		12:00	22.4	0.03	0.67
10		12:30	22.3	0.02	0.45
11	15:00	4.9	31.9	0.15	4.78
12	15:30	5.0	32.0	0.15	4.80
13	Sore	16:00	32.3	0.15	4.85
14		16:30	32.5	0.16	5.20
15		17:00	33.4	0.17	5.68



Gambar 6. Grafik Daya Angin Teoritis vs Daya Listrik

Daya angin teoritis sebesar 4822 W tidak dapat sepenuhnya dikonversi menjadi energi listrik karena adanya batas aerodinamika, kerugian mekanik, serta keterbatasan efisiensi generator dan sistem elektronika. Daya listrik yang dihasilkan sebesar 5.68 W menunjukkan efisiensi total sistem sebesar 11.8%, yang masih berada dalam rentang wajar untuk turbin angin poros vertikal skala kecil.



Gambar 7. Grafik Daya Turbin vs Daya Listrik

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan pada keluaran *charger controller* sebesar 5.68 W, dengan tegangan 33.4 V dan arus 0.17 A. Jika dibandingkan dengan daya turbin mekanik sekitar 9.64 W, maka efisiensi konversi dari daya mekanik menjadi daya listrik berada pada kisaran 45–50%. Nilai ini masih tergolong wajar untuk sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan generator AC dan rangkaian elektronika daya sederhana.

Perbedaan antara daya turbin mekanik dan daya listrik keluaran terutama disebabkan oleh efisiensi generator yang terbatas, rugi-rugi pada penyearah dan *charger controller*, serta fluktuasi kecepatan putar akibat karakteristik turbin Savonius yang sangat bergantung pada kecepatan angin. Selain itu, penggunaan generator yang membutuhkan torsi awal relatif besar juga menyebabkan sebagian daya mekanik tidak dapat dikonversi secara optimal menjadi energi listrik.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun daya listrik yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan daya turbin mekanik, sistem yang dirancang telah mampu melakukan konversi energi secara fungsional dan realistis. Daya listrik sebesar 5.68 W dinilai cukup potensial untuk aplikasi beban ringan seperti penerangan jalan skala kecil, terutama jika sistem dioperasikan pada kondisi kecepatan angin yang lebih stabil atau dilakukan optimalisasi pada desain turbin dan sistem transmisi.

KESIMPULAN

Prototipe turbin angin vertikal *tipe* Savonius skala kecil berhasil dirancang dan direalisasikan, serta mampu beroperasi pada kondisi kecepatan angin rendah dan tidak konstan. Hal ini menunjukkan bahwa turbin *tipe* Savonius memiliki karakteristik *self-starting* yang baik sehingga sesuai untuk diaplikasikan pada lingkungan terbuka seperti area pinggir jalan dengan potensi angin yang relatif rendah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *prototipe* turbin angin mampu menghasilkan energi listrik dengan daya dan efisiensi konversi energi tertentu yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan angin dan beban listrik. Daya angin yang tersedia tertinggi tercatat pada pukul 17:00 WIB sebesar 48.3 watt. Daya angin yang mampu di konversi menjadi daya mekanik oleh turbin savonius sebesar 9.64 watt. Nilai efisiensi sistem konversi energi angin ke mekanik sebesar 11.75%. Sedangkan daya listrik yang dihasilkan 5.68 watt, nilai efisiensi konversi energi dari energi mekanik ke energi listrik sebesar 58.8%. Nilai cukup untuk mendukung kebutuhan penerangan jalan skala kecil berbasis lampu DC berdaya rendah 5 watt, meskipun kestabilan output masih dipengaruhi oleh fluktuasi kecepatan angin lingkungan.

Parameter desain seperti diameter dan tinggi rotor, jumlah dan bentuk bilah Savonius, serta sistem transmisi dan generator berpengaruh signifikan terhadap kinerja turbin angin vertikal. Parameter diameter rotor berpengaruh terhadap luas permukaan bilah yang mampu menangkap angin yaitu TSR. Nilai TSR yang didapat 3.75 dimana nilainya masih didalam batas aman. Selain itu, faktor lingkungan berupa kecepatan angin dan kondisi aliran udara di sekitar lokasi pemasangan turut menentukan performa sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, optimalisasi desain dan pemilihan komponen yang tepat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem penerangan jalan berbasis energi angin agar dapat diimplementasikan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Altan, B. D., dan Gultekin, G. S. (2023). Investigation of Performance Enhancements of Savonius Wind Turbines through Additional Designs. *Processes* (MDPI), 1-23.
- Ananda, R. M. (2024). Optimizing Savonius Wind Turbine Performance: Analysis of Blade Number's Influence. *Mekintek Journal: Journal of Mechanical, Energy, Industry and Technology*, 19-26.
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., dan Bossanyi. (2011). *Wind Energy Handbook* (2nd ed.). John Wiley dan Sons.
- Dewan, dan et al. (2021). *Savonius Wind Turbines: A Review of Recent Advances*.

- Fitrandi, R. I. (2014). Karakteristik Turbin Angin Savonius 2 dan 3 Blade Dengan Menggunakan Bantuan Guide Vane. JTM (Jurnal Teknik Mesin UNESA), 125-131.
- Hau, E. (2013). Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics (3rd ed.). Springer.
- Hibbeler, R. C. (2016). Engineering Mechanics: Statics (14th ed.). Pearson.
- Huggins, R. A. (2016). Energy Storage. Springer.
- Husen, A., Setiadi, B., dan Fikri, M. (2023). Rancang Bangun Smal lTurbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Dengan Metode Matriks. Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi (SAINTECH), 121-131.
- Jamal, J. (2019). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius. INTEKJurnal Penelitian, 64-68.
- Junaidi, dan Premadi, A. (2024). Optimasi Kinerja Generator Turbin Angin Vertikal Savonius yang Dimodifikasi. Jurnal Ilmia Sain dan Teknologi (Scientica), 555-577.
- Lillahulhaq, Z., Masfufiah, I., dan Amirullah, I. (2022). Studi Eksperimen Pengaruh Penggunaan Endplate Berlubang Pada Turbin Savonius. SJME KINEMATIKA, 63-72.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., dan Rogers, A. L. (2010). Wind Energy Explained: Theory, Design and Application (2nd ed.). John Wiley dan Sons.
- Mulyadi, M., dan Marhatang. (2013). Rancang Bangun Turbin Savonius untuk Penerangan Lampu Pantai. Jurnal Teknik Mesin Sinergi, 171-179.
- Sakti, G., dan Yuwono, T. (2021). Numerical And Experimental Investigation Of The Effect Of A Circular Cylinder As Passive On Savonius Wind Turbine Performance. Journal Of Southwest Jiaotong University, 73-93.
- Su'udy, A. H. (2021). Karakteristik Turbin Savonius Dengan Variasi Sudut. EKSERGI Jurnal Teknik Energi, 233-238.
- Sularso dan Suga. 2004. Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin Cetakan ke-8 Jakarta: Pradnya Paramita.
- Ucok, M., Sugeng, dan et al. (2020). Analisa Perbandingan 2 dan 3 Blade Turbin Savonius . SAINSTECH.
- Zemamou, M., Aggour, M., dan Toumi, A. (2017). Review Of Savonius Wind Turbine Design And Performance. ELSEVIER ScienceDirect, 25-29.