

## Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe *Hybrid Savonius - Darrieus* Untuk Pengisian Akumulator

**M. Ilmi Hidayat**

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: m.ilmi.19022@mhs.unesa.ac.id

**Aditya Chandra Hermawan**

D4 Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: adityahermawan@unesa.ac.id

### Abstrak

Energi angin adalah sumber energi terbarukan yang bagus dan ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dari energi mekanik. Turbin angin adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi angin. Turbin angin sumbu vertikal *H-rotor* dan *Savonius* dibahas dalam artikel ini. Turbin angin vertikal memiliki banyak keunggulan, termasuk tidak tergantung pada arah angin, memiliki efisiensi rotasi yang tinggi, torsi awal yang tinggi, dan kemampuan memulai sendiri yang sangat baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat prototipe pembangkit listrik tenaga angin sumbu vertikal tipe *hybrid* dan mengevaluasi kinerjanya. Eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan. Pengujian prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) yang telah dibuat menunjukkan bahwa tegangan yang diukur mencapai 8,58 volt pada kecepatan angin tertinggi 5,8 m/s dan tegangan yang diukur adalah 2,1 volt pada kecepatan angin terendah 3,4 m/s. Selain itu, ketika baterai diisi dengan kecepatan angin 5,8 m/s, ditemukan tegangan pengisian sebesar 12,08 volt dan arus pengisian sebesar 0,24 ampere dengan lama pengisian 20,83 Jam

**Kata Kunci:** Energi Angin, Turbin *Savonius*, Turbin *Darrieus*, Kombinasi Turbin Sumbu Vertikal

### Abstract

Wind energy is a good and environmentally friendly renewable energy source that can be used to generate electricity from mechanical energy. A wind turbine is a device used to convert wind energy. H-rotor vertical axis wind turbines and *Savonius* are discussed in this article. Vertical wind turbines have many advantages, including independent of wind direction, have high rotational efficiency, high starting torque, and excellent self-starting ability. The purpose of this study was to create a prototype of a *hybrid* type vertical axis wind power plant and evaluate its performance. Experimentation is the research method used. Testing of the prototype of the Wind Power Plant (PLTB) that has been made shows that the measured voltage reaches 8,58 volts at the highest wind speed of 5,8 m/s and the measured voltage is 2,1 volts at the lowest wind speed of 3,4 m/s. It found a charging voltage of 12.08 volts and a charging current of 0.24 amperes with a charging time of 20.83 hours.

**Keywords:** wind energy, *savonius* turbine, *darrieus* turbine, vertical axis turbine combination

## PENDAHULUAN

Banyak negara mulai menyadari pentingnya penggunaan sumber energi terbarukan sebagai pengganti energi konvensional seperti gas, minyak bumi, dan batubara pada tahun 2010. Hal ini telah menyebabkan dampak negatif pada lingkungan. Biaya eksploitasi sumber daya energi konvensional diperkirakan akan meningkat dengan semakin berkurangnya sumber daya tersebut, yang pada gilirannya akan menyebabkan kenaikan harga jual kepada masyarakat. Di sisi lain, energi konvensional juga akan melepaskan emisi karbon ke atmosfer, yang merupakan penyebab utama dari masalah pemanasan global. (Contained Energy Indonesia 2011).

Ketika dimanfaatkan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, energi angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang bermanfaat dan ramah lingkungan. Konversi energi angin melibatkan transformasi energi angin menjadi gerakan mekanik pada turbin, yang kemudian menggerakkan suatu perangkat sesuai dengan kebutuhan. Proses ini disebut kincir angin

atau turbin angin. Perangkat yang mengubah energi angin menjadi gerakan mekanik disebut sebagai turbin angin. (Aji dan Widyartono, 2020).

Di Indonesia, terdapat potensi energi angin yang dapat dimanfaatkan sepanjang tahun, yang memungkinkan pengembangan sistem pembangkit listrik skala kecil. Kincir angin dengan sumbu vertikal adalah salah satu jenis kincir angin yang paling sederhana, yang berputar dengan kecepatan angin dari berbagai arah dan dapat dengan mudah digunakan untuk menghasilkan energi listrik. (Nakhoda & Saleh, 2015).

Inovasi terbaru dalam desain turbin angin sumbu vertikal adalah tipe *hybrid*. Tipe *hybrid* menggabungkan rotor *savonius* dan *darrieus* dalam satu sumbu vertikal. Dalam studi yang ditulis oleh (Rassoulinejad-Mousavi et al., 2013) "*Experimental Study of a Combined Three Bucket H-Rotor with Savonius Wind Turbine* ", informasi tentang karakteristik dan hasil turbin angin ini, menunjukkan bahwa menggabungkan rotor *savonius* dan *darrieus* H-rotor satu

sama lain menghasilkan turbin angin yang efisien yang memiliki kemampuan self-starting yang lebih baik selain koefisien daya yang lebih tinggi.

Menurut penelitian (Kumar & Nikhade, 2014) dengan judul “Hybrid Kinetic Turbine Rotors A Review” ditemukan bahwa torsi *start-up* dari rotor gabungan meningkat yang memfasilitasi pemasangan turbin hibrida *Darrieus-Savonius* dengan kecepatan rendah dan Koefisien daya turbin kinetik meningkat menggunakan konfigurasi rotor hibrida hingga 10 persen.

Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan pengujian dan analisis kinerja prototipe PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Pengujian dilakukan pada berbagai kecepatan angin untuk mengetahui peforma prototipe yang dihasilkan. Analisis dilakukan untuk mengetahui kemampuan prototipe dalam pengisian aki.

**METODE**

**Pendekatan Penelitian**

Pendekatan penelitian yang digunakan yaitu metode penelitian eksperimen, menurut (Asrin, 2022) metode penelitian ini adalah bagian dari metode penelitian kuantitatif karena pengambilan data penelitian berupa angka-angka dan analisis. Dalam hal ini, perancangan dan pengujian alat dilakukan untuk memperoleh data tentang kinerja prototipe dalam berbagai kondisi dan membandingkannya dengan kinerja teoritis yang diharapkan.

**Studi Literatur**

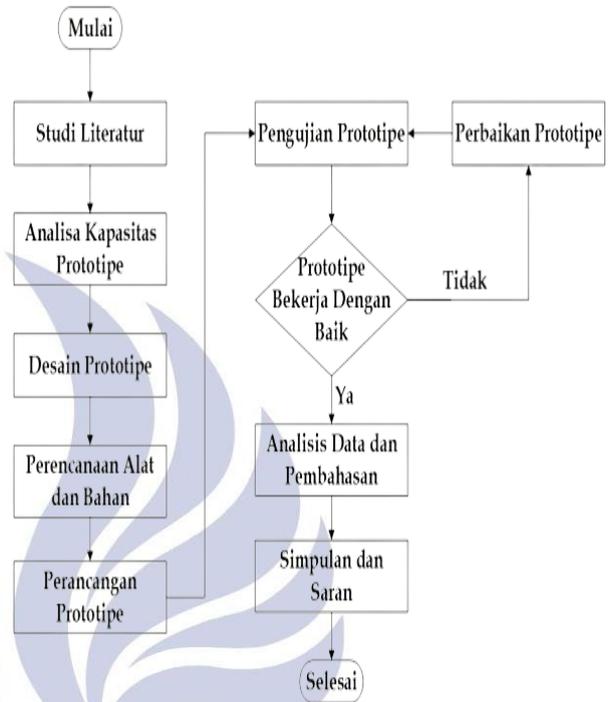
Studi literatur ini dilakukan untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber yang terkait pada persoalan-persoalan yang akan dibahas. Pada penelitian ini, penulis mengamati penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan turbin angin sumbu vertical tipe *savonius* dan tipe *darrieus*. Dari beberapa penelitian yang dibaca penulis ditemukannya kekurangan dimana kekurangan tersebut terdapat pada kelemahan bentuk turbin angin sumbu vertical tipe *savonius* dan tipe *darrieus*. Oleh karena itu penulis ingin mengembangkan bentuk turbin angin sumbu vertical dengan cara menggabungkan kedua bentuk turbin angin tipe *savonius* dan tipe *darrieus* agar dapat menutupi kelemahan dari masing-masing bentuk turbin.

**Prosedur Penelitian**

Untuk memulai pembuatan prototipe pembangkit listrik tenaga angin, pertama-tama perlu memeriksa penelitian sebelumnya. Selanjutnya, kapasitas prototipe PLTB sumbu vertical tipe *savonius-darrieus* dievaluasi. Setelah itu, proses desain prototipe PLTB sumbu vertical tipe *savonius-darrieus* dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCad. Tahap berikutnya mencakup perencanaan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk membuat prototipe PLTB, termasuk perangkat ukur yang akan digunakan. Setelah semua peralatan dikumpulkan, langkah berikutnya adalah membuat prototipe PLTB sumbu vertikal *Savonius-Darrieus* sesuai dengan desain awal yang telah dibuat.

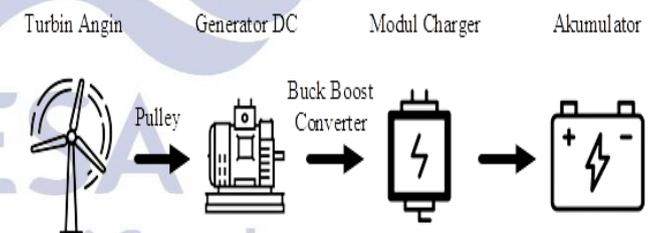
Pengujian prototipe dilakukan di bagian berikutnya dari proses; jika hasilnya tidak sesuai, prototipe diperbaiki dan dilanjutkan ke tahap pengambilan data. Hasil percobaan dianalisis setelah data dikumpulkan. Langkah terakhir adalah mengumpulkan kesimpulan dari data. Dalam pelaksanaan penelitian, gambaran besar terkait prosedur penelitian terdapat pada Gambar 1.

Gambar 1 Diagram Alir Penelitian



**Sistem Kerja Prototipe**

Sistem kerja dari prototipe PLTB sumbu vertical tipe *hybrid savonius-darrieus* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Sistem Kerja Prototipe

Dari Gambar 2, terdapat turbin angin yang berfungsi menangkap energi kinetik dari angin sehingga dapat menggerakkan bilah-bilahnya. Selanjutnya generator yang berfungsi menghasilkan energi listrik, putaran pada turbin dihubungkan kegenerator menggunakan *pulley* sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan kemudian diatur dan ditingkatkan tegangannya melalui sistem *buck boost converter*. Selanjutnya, listrik yang telah diatur nilai tegangannya mengalir ke modul *charger* yang mengatur distribusi tegangan dan arus listrik yang mengalir ke aki untuk penyimpanan. Ketika kondisi penyimpanan aki dirasa penuh, modul *charger* dapat memutuskan suplai langsung ke aki untuk menghindari *overcharging*

### Rumus Perhitungan Teoritis

Perhitungan teoritis yang diterapkan dalam penyusunan penelitian ini yaitu menganalisis daya turbin angin yang akan dihasilkan dan daya yang ideal pada pengisian baterai.

#### 1. Menentukan Daya Turbin Angin

Kinerja turbin biasanya didasarkan pada hubungan antar kinerja koefisien  $C_p$  (Kooiman & Tullis, 2010). Daya turbin angin dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_T = C_p \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (1)$$

Keterangan:

$P_T$  = daya yang dihasilkan turbin angin (Watt)

$P_W$  = daya angin (Watt)

$C_p$  = koefisien daya (0,3)

$\rho$  = massa jenis angin ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ )

$A$  = luas daerah sapuan turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan angin ( $\text{m/s}^2$ )

Menurut (Tong, 2010), karena ada berbagai kerugian aerodinamis dalam sistem turbin angin, misalnya, kerugian ujung pisau, akar pisau, profil, bangun rotasi, dll., Koefisien daya nyata  $C_p$  jauh lebih rendah dari batas teoretisnya, biasanya berkisar antara 30% sampai 45%. Kepadatan udara menurut (Mathew, 2006) dapat dianggap sebagai 1,225 untuk sebagian besar kasus praktis.

#### 2. Menentukan Luas Daerah Sapuan Turbin

Luas daerah sapuan turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut (Sunny & Kumar, 2016).

$$A = HD \quad (2)$$

Keterangan :

$H$  = ketinggian turbin (m)

$D$  = diameter turbin (m)

#### 3. Menentukan Arus Pengisian Aki

Dalam menentukan daya yang ideal pada pengisian baterai bergantung pada beberapa faktor, antara lain kapasitas baterai, tegangan pengisian, arus pengisian dan waktu pengisian (Nurdiyanto & Haryudo, 2020). Arus pengisian aki dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{N}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

$I$  = arus pengisian (A)

$N$  = kapasitas baterai (Ah)

$t$  = durasi pengisian (Jam)

#### 4. Menentukan Daya Pengisian Aki

Daya pengisian aki dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$P = VI \quad (4)$$

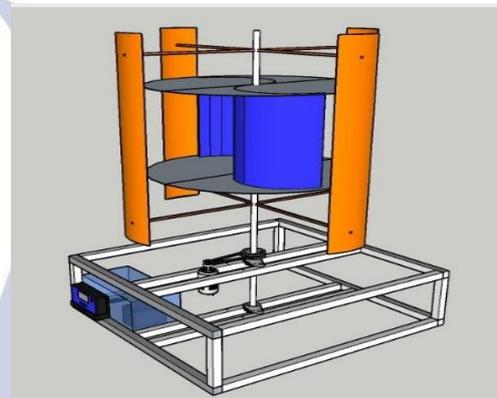
Keterangan:

$P$  = daya optimal pengisian baterai (Watt)

$V$  = tegangan pengisian (V)

### Desain Prototipe

Pada prototipe PLTB yang akan dirancang, jumlah sudu yang digunakan sebanyak 6 bilah dengan turbin *savonius* sebanyak 2 bilah yang terletak pada area dalam dan turbin *darrieus* sebanyak 4 bilah yang terletak pada area luar. Pada Gambar 3, menunjukkan desain prototipe PLTB.



Gambar 3 Rancangan Desain Prototipe PLTB

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini berupa prototipe PLTB sumbu vertikal tipe *hybrid* yang dimana dari jenis turbin tersebut digunakan untuk pengisian aki dengan sumber tegangan yang berasal dari generator. Setelah perakitan alat terpasang sempurna sesuai dengan desain yang sudah direncanakan, langkah selanjutnya yaitu pengujian dan menganalisis alat yang telah dibuat. Pada Gambar 4, menunjukkan hasil perancangan prototipe yang telah dibuat.



Gambar 4 Hardware Prototipe PLTB

### Pengujian Tegangan Generator

Hasil pengujian tentang efek kecepatan angin terhadap tegangan generator disajikan dalam Tabel 1. Pengujian ini

menggunakan angin yang dihasilkan oleh blower dengan berbagai variasi kecepatan angin.

Tabel 1 Pengujian Generator

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (V)
3,4	2,1
4	3,03
4,4	5,14
5,1	6,46
5,8	8,58

Ketika kecepatan angin meningkat sebanding dengan kecepatan angin, nilai tegangan generator meningkat secara langsung, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Pada uji coba dengan kecepatan angin tertinggi 5,8 m/s, tegangan generator mencapai 8,58 volt, sementara pada uji coba dengan kecepatan angin terendah 3,4 m/s, tegangan generator hanya menghasilkan 2,1 volt.

**Pengujian Peforma Prototipe PLTB**

Pengujian peforma dilakukan untuk mengetahui kinerja alat dalam menghasilkan tegangan dan arus dengan kondisi angin alami yang terletak di pantai kenjeran kota surabaya dengan lama pengambilan data selama 7 hari.

1. Pengujian prototipe PLTB pada hari pertama

Pada Tabel 2, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari pertama dengan pengambilan data yang diambil berupa rata-rata nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus dari setiap waktu.

Tabel 2 Hasil Pengujian Prototipe Hari Pertama

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2,2 – 2,6	09.00	2	0,2
2,5 – 2,9	10.00	2,5	0,2
2,8 – 3,2	11.00	2,5	0,2
3,1 – 3,4	12.00	3	0,2
3 – 3,4	13.00	3	0,2
3,2 – 3,6	14.00	3,5	0,22
4,2 – 4,7	15.00	4,5	0,22
3,8 – 4,1	16.00	4	0,22

Berdasarkan informasi dari Tabel 2, pada pukul 09.00 menunjukkan kecepatan angin terendah sebesar 2,2 hingga 2,6 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 2 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 15.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,2 hingga 4,7 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 4,5 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

2. Pengujian prototipe PLTB pada hari kedua

Pada Tabel 3, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari kedua dengan pengambilan data yang diambil berupa nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus rata-rata dari setiap waktu.

Tabel 3 Hasil Pengujian Prototipe Hari Kedua

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2,1 – 2,4	09.00	2	0,2
2,4 – 2,8	10.00	2,5	0,2
2,3 – 2,6	11.00	2	0,2
3,2 – 3,5	12.00	3	0,2
3,1 – 3,4	13.00	3	0,2
3,2 – 3,8	14.00	3,5	0,2
3,9 – 4,2	15.00	4	0,22
4,1 – 4,5	16.00	4	0,22

Berdasarkan informasi dari Tabel 3, pada pukul 09.00 menunjukkan kecepatan angin terendah sebesar 2,1 hingga 2,4 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 2 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 16.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,1 hingga 4,5 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 4 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

3. Pengujian prototipe PLTB hari ketiga

Pada Tabel 4, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari ketiga dengan pengambilan data yang diambil berupa nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus rata-rata dari setiap waktu.

Tabel 4 Hasil Pengujian Prototipe Hari Ketiga

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2,3 – 2,7	09.00	2,5	0,2
2,2 – 2,5	10.00	2	0,2
2,7 – 3	11.00	2,5	0,2
3,2 – 3,6	12.00	3	0,2
3,4 – 3,7	13.00	3,5	0,22
3,5 – 3,9	14.00	3,5	0,2
4,2 – 4,5	15.00	4	0,22
4,4 – 4,9	16.00	5	0,22

Berdasarkan informasi dari Tabel 4, pada pukul 10.00 menunjukkan kecepatan angin terendah sebesar 2,2 hingga 2,5 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 2 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 16.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,4

hingga 4,9 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 4,5 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

4. Pengujian prototipe PLTB hari keempat

Pada Tabel 5, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari keempat dengan pengambilan data yang diambil berupa nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus rata-rata dari setiap waktu.

Tabel 5 Hasil Pengujian Prototipe Hari Keempat

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2 – 2,3	09.00	1,5	0,2
2,2 – 2,5	10.00	2	0,2
2,8 – 3,1	11.00	2,5	0,2
3 – 3,4	12.00	3	0,2
3,2 – 3,6	13.00	3	0,2
3,3 – 3,7	14.00	3,5	0,2
4,1 – 4,5	15.00	4	0,22
4 – 4,3	16.00	4	0,22

Berdasarkan informasi dari Tabel 5, pada pukul 09.00 menunjukkan kecepatan angin terendah sebesar 2 hingga 2,3 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 1,5 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 15.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,1 hingga 4,5 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 4 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

5. Pengujian prototipe PLTB hari kelima

Pada Tabel 6, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari kelima dengan pengambilan data yang diambil berupa nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus rata-rata dari setiap waktu.

Tabel 6 Hasil Pengujian Prototipe Hari Kelima

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2,2 – 2,6	09.00	2	0,2
2,1 – 2,5	10.00	2	0,2
2,8 – 3,2	11.00	2,5	0,2
3,3 – 3,6	12.00	3	0,2
3,5 – 3,7	13.00	3,5	0,2
3,4 – 3,8	14.00	3,5	0,2
3,8 – 4,3	15.00	4	0,22
4,4 – 5,2	16.00	5	0,22

Berdasarkan informasi dari Tabel 6, pada pukul 09.00 menunjukkan kecepatan angin terendah

sebesar 2,2 hingga 2,6 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 2 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 16.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,4 hingga 5,2 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 5 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

6. Pengujian prototipe PLTB hari keenam

Pada Tabel 7, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari keenam dengan pengambilan data yang diambil berupa nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus rata-rata dari setiap waktu.

Tabel 7 Hasil Pengujian Prototipe Hari Keenam

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2,2 – 2,5	09.00	2	0,2
2,3 – 2,8	10.00	2,5	0,2
2,9 – 3,3	11.00	3	0,2
2,8 – 3,1	12.00	2,5	0,2
3 – 3,4	13.00	3	0,2
3,2 – 3,7	14.00	3,5	0,22
3,8 – 4,3	15.00	4	0,22
4,4 – 4,7	16.00	4,5	0,22

Berdasarkan informasi dari Tabel 7, pada pukul 09.00 menunjukkan kecepatan angin terendah sebesar 2,2 hingga 2,5 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 2 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 16.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,4 hingga 4,7 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 4,5 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

7. Pengujian prototipe PLTB hari ketujuh

Pada Tabel 8, menunjukkan hasil pengujian peforma kinerja prototipe PLTB pada hari ketujuh dengan pengambilan data yang diambil berupa nilai kecepatan angin, tegangan, dan arus rata-rata dari setiap waktu.

Berdasarkan informasi dari Tabel 8, pada pukul 09.00 menunjukkan kecepatan angin terendah sebesar 2 hingga 2,2 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 2 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,2 ampere. Sedangkan pada pukul 16.00 menunjukkan kecepatan angin tertinggi sebesar 4,3 hingga 5 m/s dengan nilai tegangan hasil pengukuran mencapai 5 volt dan arus yang dihasilkan sebesar 0,22 ampere.

Tabel 8 Hasil Pengujian Prototipe Hari Ketujuh

Kecepatan Angin (m/s)	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
2 – 2,2	09.00	1,5	0,2
2,1– 2,4	10.00	2	0,2
2,8 – 3,2	11.00	2,5	0,2
3,2 – 3,6	12.00	3	0,2
3,4 – 3,8	13.00	3,5	0,2
3,5 – 3,9	14.00	3,5	0,22
4,2 – 4,8	15.00	4,5	0,22
4,3 – 5	16.00	5	0,22

**Analisa Perbandingan Turbin Savonius, Darrieus, dan Hybrid**

Dalam penelitian yang telah dilaksanakan, dilakukan perbandingan performa antara data penelitian (Arief, 2023) turbin *savonius* dan data penelitian (Dodi & karnowo, 2020) turbin *darrieus* dengan data performa turbin *hybrid* yang telah didapatkan. Pada Tabel 9 menunjukkan perbandingan nilai tegangan antara turbin *savonius*, *darrieus*, dan turbin *hybrid*.

Tabel 9 Perbandingan Tegangan Pada Setiap Turbin

Kecepatan Angin (m/s)	Turbin Savonius (V)	Turbin Darrieus (V)	Turbin Hybrid (V)
4	3,5	2,176	5,14
5	4	4,336	6,46

Dari data yang tertera pada Tabel 9 dapat diamati perbandingan nilai tegangan antara kecepatan angin 4 m/s dan 5 m/s. Pada kecepatan angin 4 m/s terlihat turbin *savonius* menghasilkan tegangan sebesar 3,5 volt, sedangkan turbin *darrieus* menghasilkan tegangan sebesar 2,173 volt, dan turbin *hybrid* menghasilkan tegangan sebesar 5,14 volt. Sedangkan pada kecepatan angin 5 m/s tegangan yang dihasilkan turbin *savonius* meningkat menjadi 4 volt, turbin *darrieus* mencapai 4,336 volt, dan turbin *hybrid* mencapai 6,46 volt.

**Pengujian Pengisian Akumulator**

Pada Tabel 10, menunjukkan hasil pengujian untuk pengisian akumulator pada kondisi kecepatan angin rata-rata 5,8 m/s, dengan dengan kecepatan yang dihasilkan menggunakan *blower*.

Berdasarkan informasi dari Tabel 10, pengumpulan data uji pengisian aki dilakukan selama 6 jam untuk menentukan durasi pengisian aki, arus rata-rata selama 6 jam mencapai 0,24 A, dan kecepatan angin rata-rata mencapai 5,8 m/s. Dengan kapasitas aki (N) sebesar 5 Ah dan menggunakan persamaan (3), dapat ditemukan bahwa aki dapat diisi penuh dalam 20,83 jam dengan nilai arus pengisian rata-rata sebesar 0,24 A. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Pengujian Pengisian Akumulator

Waktu Pengisian (Jam)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
1	5,8	12,11	0,23	2,78
2	5,8	12,07	0,22	2,65
3	5,8	12,08	0,22	2,66
4	5,8	12,06	0,25	3,01
5	5,8	12,08	0,23	2,78
6	5,8	12,06	0,25	3,01
Rata-rata	5,8	12,08	0,24	2,9

**PENUTUP  
Simpulan**

Hasil uji menunjukkan bahwa prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan sumbu vertikal tipe *hybrid Savonius-Darrieus* memiliki kinerja yang berbeda dalam menghasilkan energi listrik pada kecepatan angin yang berbeda. Mengisi akumulator dengan kecepatan angin rata-rata 5 m/s, tegangan rata-rata 12,08 volt dan arus rata-rata 0,24 ampere dihasilkan, dengan tegangan terendah 2,1 volt dan tertinggi 8,58 volt. Perhitungan menunjukkan bahwa waktu 20,83 jam diperlukan untuk mengisi ulang akumulator.

**Saran**

Untuk menghasilkan nilai tegangan dan arus yang sesuai dengan desain awal, dapat dipertimbangkan penggunaan generator atau alternator dengan spesifikasi lebih tinggi untuk penelitian berikutnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aji, S., dan Widyartono, M. 2020. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Generator*. Jurnal Teknik Elektro, 9, 579 - 586.

Arief, Rozihan. 2023. *Monitoring Arus dan Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan ESP8266 Berbasis Node-Red*. Jurnal Teknik Elektro, 1-10.

Asrin, Ahmad. 2022. *Metode Penelitian Eksperimen*. Mukhlisina Revolution Center, 2.

Contained Energy Indonesia. 2011. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta: PT Cipta Tani Lestari.

Dodi, N., dan karnowo. 2020. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H*. Saintekno, 45-59.

Kooiman, S., dan Tullis, S. 2010. *Response of a vertical axis wind turbine to time varying wind conditions found within the urban environment*. Wind Engineering, 389-401.

Mathew, Sathyajith. 2006. *Wind Energy*. Kerala: Springer Berlin, Heidelberg.

Nakhoda, Y. I., dan Saleh, C. 2015. *Rancang Bangun*

*Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen. Industri Inovatif, 5, 19-24.*

Nurdiyanto, A., dan Haryudo, S. I. 2020. *Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Turbin Angin Savonius. Jurnal Teknik Elektro, 9, 711-717.*

Rassoulinejad-Mousavi, S., Jamil, M., dan Layeghi, M. 2013. *Experimental Study of a Combined Three Bucket H-Rotor with Savonius Wind Turbine. World Applied Sciences Journal, 2, 205-211.*

Sunny, K. A., dan Kumar, N. M. 2016. *Vertical axis wind turbine: Aerodynamic modelling and its testing in wind tunnel. Procedia Computer Science, 1017-1023.*

Tong, Wei. 2010. *Fundamentals of wind energy. In W. Tong, Wind Power Generation and Wind Turbine Design pp. 3-48. Virginia: WIT Press.*

