

# RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE SAVONIUS DENGAN KETERBATASAN AREA YANG ADA DI GEDUNG PERKULIAHAN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS UDAYANA

Ahmad Rizal Arifin<sup>1</sup>, Cok Gede Indra Partha<sup>2</sup>, I Wayan Sukerayasa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali, 80361

Email : [ar1882488@gmail.com](mailto:ar1882488@gmail.com)

## ABSTRAK

Konsep energi listrik melibatkan penggunaan energi secara terus menerus dalam kehidupan sehari-hari. Energi terbarukan yang dapat diubah menjadi energi listrik adalah energi angin dengan menggunakan PLTB. Konversi energi angin dari energi kinetik menjadi energi listrik merupakan fungsi utama suatu sistem PLTB, dengan turbin angin sebagai komponen utamanya. Kincir angin *Savonius* misalnya, mampu bekerja pada kecepatan angin yang lebih rendah, seperti yang ada di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang PLTB Turbin *savonius* dengan dimensi turbin diameter 50cm, tinggi 50cm, diameter sudu 25cm, dan 3 sudu. Hasil pengujian menunjukkan kecepatan turbin terendah 78 rpm dan tertinggi 111,5 rpm sebelum generator dibebani dikecepatan angin 3 m/s dan 5 m/s. Setelah generator dibebani hambatan  $5\Omega$ , kecepatan turbin terendah 39,5 rpm dan tertinggi 95,5 rpm dikecepatan angin 3 m/s dan 5 m/s. Efisiensi turbin tertinggi sebesar 10,27%. Torsi terendah sebesar 0,07 Nm dan tertinggi sebesar 0,28 Nm pada kecepatan angin 3 m/s dan 5 m/s.

**Kata kunci :** PLTB, VAWT, Turbin *Savonius*

## ABSTRACT

*The concept of electrical vitality includes the persistent utilize of vitality in standard of living. Renewable vitality that can be changed over into electrical vitality is wind vitality utilizing PLTB. The transformation of wind energy from motor vitality to electrical vitality is the most work of a PLTB framework, with a wind turbine as the most component. The Savonius windmill, for case, is able of working at lower wind speeds, such as those in Indonesia. The aim of this research is to design a Savonius Turbine PLTB with turbine dimensions of 50cm diameter, 50cm height, 25cm blade diameter, and 3 blades. The test results show that the lowest turbine speed is 78 rpm and the highest is 111.5 rpm before the generator is loaded at wind speeds of 3 m/s and 5 m/s. After the generator is loaded with a resistance of  $5\Omega$ , the lowest turbine speed is 39.5 rpm and the highest is 95.5 rpm at wind speeds of 3 m/s and 5 m/s. The highest turbine efficiency is 10.27%. The lowest torque was 0.07 Nm, and the highest was 0.28 Nm at wind speeds of 3 m/s and 5 m/s.*

**Key Words :** PLTB, VAWT, *Savonius Turbine*.

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari. Ketika kebutuhan energi listrik terus meningkat dan cadangan minyak bumi semakin berkurang, masyarakat berusaha mencari energi alternatif. Menurut informasi *Blue Print* Pengelolaan Tenaga

Nasional (BP-PEN) di Indonesia Tahun 2006 - 2025 Departemen Tenaga dan Sumber Energi (ESDM) Nasional, kebutuhan tenaga listrik nasional tahun 2017 - 2026 diproyeksikan bertambah pesat sebesar 8,3% serta khususnya di Jawa serta Bali diperkirakan bertambah sebesar 7,2% [1]. Pemanfaatan energi terbarukan merupakan salah satu solusi

untuk menanggulangi kebutuhan tenaga listrik yang terus bertambah.

Pemanfaatan energi angin sudah sejak lama dilakukan sebelum adanya pembangkit listrik tenaga bayu (angin) seperti alat pompa air, penggiling kacang/padi dan aerasi tambak ikan, pemanfaatan energi angin di era modern dapat bersaing untuk kebutuhan primer seperti energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ialah sebuah komponen kelistrikan dengan sistem konversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang kemudian diubah menjadi energi listrik dengan sistem kerja memanfaatkan energi angin untuk mendorong turbin agar dapat berputar dan menggerakkan generator.

Pemilihan lokasi pemasangan PLTB sangat penting dilakukan karena potensi kecepatan angin yang berhembus setiap tahunnya berbeda – beda. Keterbatasan lokasi pemasangan menjadi kendala untuk dibangunnya sebuah pembangkit listrik tenaga bayu yang memerlukan tempat yang luas dengan pemasangan jenis turbin yang banyak digunakan seperti sumbu horizontal karena turbin jenis ini membutuhkan tiang atau tower untuk meletakkan turbin dan generator [2]. Turbin angin yang sering digunakan pada PLTB memiliki sumbu horizontal yang arah putaran turbin sejajar dengan tanah. Turbin angin sumbu vertikal memiliki sumbu rotor yang arah putaran tegak lurus dengan tanah. Kelebihan dari turbin angin jenis vertikal tidak perlu diarahkan dari datangnya angin dan tidak memerlukan mekanikal yaw atau pengarah angin pada turbin untuk dapat memutar turbin [3].

Potensi kecepatan angin diketahui pada suatu tempat cenderung berbeda. Penelitian tentang Kajian Potensi Sumber Energi Terbarukan Di Bali, secara umum kecepatan angin di Bali terbilang rendah dengan rata – rata 3,4 m/s, kecuali di Nusa Penida dengan rata – rata kecepatan angin 4,8 m/s dan seraya denga kecepatan angin rata – rata 4,8 m/s [4]. Data tahun 2018 yang didapatkan potensi kecepatan angin yang berhembus di *rooftop* gedung DH teknik elektro Universitas Udayana mencapai 5 m/s selama satu tahun.

Penelitian tentang Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin *Savonius*, turbin angin *savonius* dengan yang memiliki 3 buah sudu menghasilkan unjuk kerja yang bagus dibandingkan

dengan jumlah sudu lainnya, hal ini menjadikan aliran angin dapat menerpa sudu dibelakangnya dan akan meningkatkan gaya momen juga menambah gaya hambat negatif pada sudu [5].

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan keterbatasan area yang ada di *rooftop* gedung perkuliahan teknik elektro Universitas Udayana untuk merancang PLTB sumbu vertikal tipe turbin *savonius* dalam memanfaatkan energi angin agar menghasilkan energi listrik alternatif dengan luasan area yang digunakan sebesar 1 m<sup>2</sup> dan ukuran diameter turbin angin sebesar 50 cm dengan jumlah sudu 3 buah.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Angin

Angin didefinisikan sebagai udara yang bergerak akibat perputaran bumi dan variasi tekanan udara disekitarnya. Terjadi karena adanya perbedaan suhu yang menimbulkan angin. Udara naik ke atas, menjadi lebih panas, mengembang, dan menjadi lebih ringan, di daerah khatulistiwa yang panas sebelum berpindah ke tempat yang lebih dingin seperti daerah kutub, sebaliknya di daerah kutub yang sangat dingin, udara menjadi dingin dan turun. Akibatnya, udara menjauh dari kutub sehingga menyebabkan terjadinya perputaran udara [2].

### 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah sebuah alat konversi untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi kinetik angin dengan menggunakan turbin angin yang dapat memutar. Terdapat 2 jenis turbin yang dapat digunakan pada PLTB yaitu *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* dan *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* [6].

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan memanfaatkan energi kinetik angin untuk menyapu turbin yang selanjutnya diubah menjadi energi mekanik sebagai penggerak generator yang dihubungkan melalui transmisi berupa *gearbox/pulley*. Komponen utama dari PLTB terdiri dari:

1. Turbin angin.

Turbin angin berfungsi sebagai alat yang menghasilkan energi mekanik dengan memanfaatkan energi kinetik dari angin.

2. Transmisi.  
Transmisi dapat berupa *gearbox/pulley* berfungsi sebagai penghubung putaran yang dihasilkan turbin untuk disalurkan menuju generator.
3. Generator.  
Generator berfungsi sebagai alat konversi energi mekanik menjadi energi listrik.

### 2.3 Turbin Savonius

Turbin *savonius* awal ditemukan oleh seorang profesor Finlandia bernama *Sigurd J. Savonius*, turbin angin *Savonius* memiliki konstruksi yang sederhana. Turbin kelompok sumbu vertikal yang dimaksud memiliki rotor setengah lingkaran sebagai desain intinya. Turbin *savonius* memiliki prinsip kerja yang berdasarkan *differential drag windmill*. Tipe hambat yang dimanfaatkan turbin *savonius* pada setiap sudunya untuk menghasilkan energi putar pada turbin. *Drag*/hambatan adalah gaya yang dimanfaatkan oleh turbin secara berlawanan terhadap arah angin yang menyapu sudu pada turbin angin atau luas sapuan sudu turbin angin [6]. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung dimensi turbin yang digunakan.

1. Dimensi turbin  
Dimensi turbin angin terdiri dari tinggi, diameter roto, dan diameter sudu turbin. Untuk menentukan tinggi turbin angin dengan menggunakan persamaan berikut.

- a. Tinggi turbin  
Menentukan luas rotor turbin dengan menggunakan persamaan lingkaran sebagai berikut.

$$L = \pi r^2 \quad (1)$$

Keterangan:

L = Luas lingkaran rotor (m<sup>2</sup>)  
 $\pi$  = Konstanta phi (3,14)  
 r = Jari – jari rotor (m)

Untuk menentukan tinggi turbin dengan menggunakan persamaan berikut.

$$L = 2 \times \pi \times r^2 \times t \quad (2)$$

Keterangan:

L = Luas silinder tabung (m<sup>2</sup>)  
 $\pi$  = konstanta phi (3,14)  
 r = Jari – jari (m)  
 t = Tinggi silinder (m)

- b. Luas sapuan sudu  
Sudu turbin *savonius* terdiri dari dua bagian yaitu ukuran diameter dan tinggi sudu yang digunakan. Dari persamaan 1 dan 2 didapatkan untuk menghitung luas sapuan sudu turbin dengan persamaan berikut [7].

$$A = D \times H \quad (3)$$

Keterangan:

A = Luas sapuan sudu (m<sup>2</sup>)  
 D = Tinggi Turbin (m)  
 H = Diameter turbin (m)

2. Daya angin  
Daya angin merupakan energi yang dihasilkan oleh angin pada kecepatan angin yang menyapu luasan dari turbin angin [8].

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (4)$$

Keterangan:

P<sub>w</sub> = Daya angin (watt)  
 A = Luas sapuan turbin (m<sup>2</sup>)  
 $\rho$  = Kerapatan udara (1,225 kg/m<sup>3</sup>)  
 V = Kecepatan angin (m/s)

3. Daya mekanik turbin  
Daya mekanik turbin (P<sub>A</sub>) merupakan energi yang dihasilkan oleh rotor turbin akibat gaya dorong angin. Daya turbin berbeda dengan daya angin dikarenakan daya turbin dipengaruhi oleh koefisien daya [8].

$$P_A = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times A \times V^3 \quad (5)$$

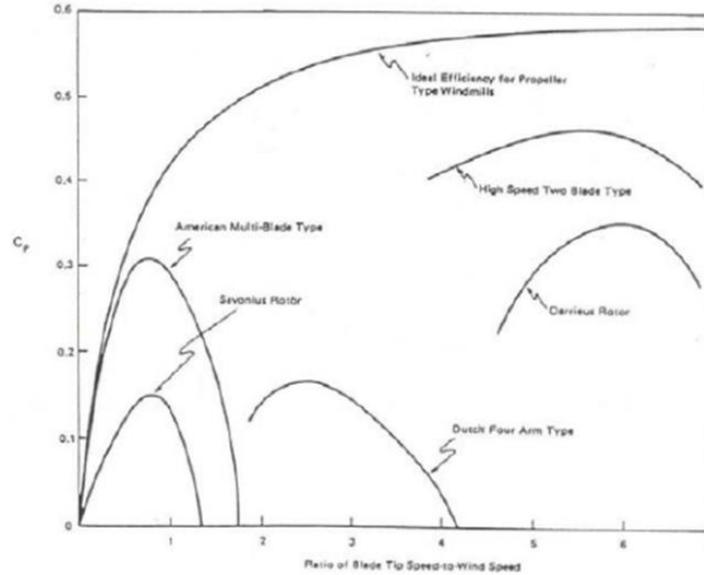
Keterangan:

P<sub>A</sub> = Daya turbin angin (watt)  
 C<sub>p</sub> = Koefisien daya  
 $\rho$  = Kerapatan udara (1,225 kg/m<sup>3</sup>)  
 A = Luas sapuan turbin (m<sup>2</sup>)  
 V = Kecepatan angin (m/s)

Koefisien daya adalah perbandingan daya mekanik yang dihasilkan turbin dengan daya angin, nilai C<sub>p</sub> dari turbin angin tidak dapat melebihi nilai ideal sebesar 0,59, nilai ini disebut *Betz Limit* (diperoleh dari ilmuwan Jerman *Albert Betz*) secara teori efisiensi maksimum yang diperoleh turbin angin tidak akan melebihi nilai

Betz, karena turbin angin juga memiliki rugi – rugi dari setiap bahan yang digunakan seperti; rugi – rugi poros, *bearing*, dan lain – lain [2]. Nilai koefisien daya secara tidak

langsung mempengaruhi nilai *tip speed ratio* (TSR), untuk besar nilai  $C_p$  pada turbin angin *savonius* memiliki nilai antara 0 sampai 0,18.



Gambar 1 Grafik Hubungan Nilai  $C_p$  terhadap TSR [2].

4. *Tip Speed Ratio*

*Tip Speed Ratio* adalah kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin. Pada kecepatan angin tertentu, kecepatan ujung rotor mempengaruhi kecepatan rotor turbin [9].

$$\lambda = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times V} \quad (6)$$

Keterangan:

- $\lambda$  = *Tip Speed Ratio*
- D = Diameter rotor (m)
- n = Putaran Turbin (rpm)
- V = Kecepatan angin (m/s)

5. Torsi

Suatu benda yang berputar pada suatu sumbu disebut torsi, terkadang disebut juga momen, dikecepatan putaran yang sama, semakin tinggi torsi yang diberikan maka semakin kecil daya yang diserap [9].

$$T = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times N} \quad (7)$$

Keterangan:

- T = Torsi (Nm)
- $\pi$  = Konstanta phi (3,14)
- P = Daya yang dihasilkan (Watt)
- N = Putaran turbin (rpm)

6. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin angin diperoleh dari perbandingan daya angin dan daya mekanik turbin untuk mendapatkan hasil kinerja dari turbin terhadap kecepatan angin [10].

$$\eta = \frac{P_A}{P_W} \times 100\% \quad (8)$$

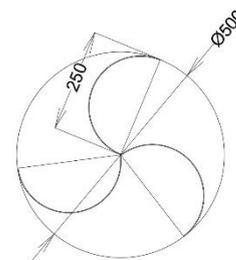
Keterangan:

- $\eta$  = Efisiensi (%)
- $P_A$  = Daya angin (Watt)
- $P_W$  = Daya Turbin (Watt)

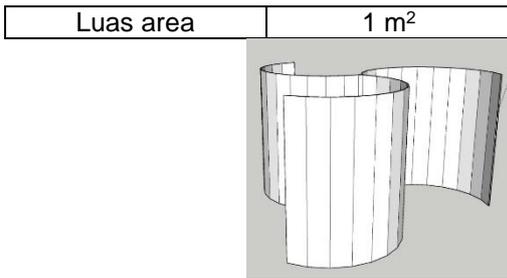
Spesifikasi turbin angin tipe *savonius* yang digunakan ditunjukkan pada tebal 1.

Tabel 1 Spesifikasi Turbin Angin Tipe *Savonius*.

Parameter	Keterangan
Diamater rotor	50 cm



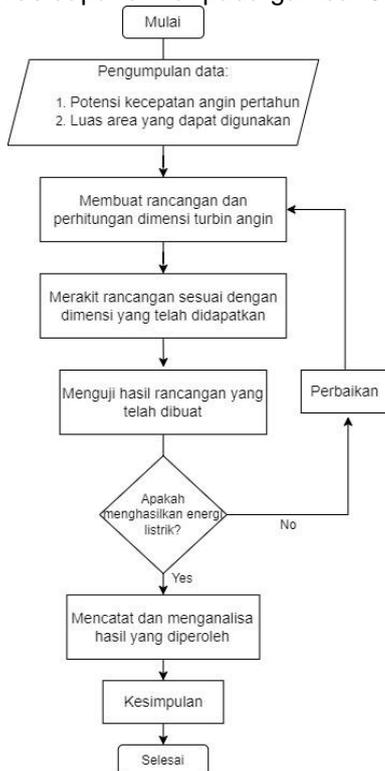
Diameter sudu	25 cm
Jumlah sudu	3 buah
Kecepatan angin	5 m/s



Gambar 2 Desain Turbin Angin Tipe Savonius.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di *Rooftop* Gedung Perkuliahan DH dan Laboratorium Workshop, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari sampai Oktober 2023. Secara sistematis perancangan pembuatan alat PLTB sumbu vertikal menggunakan turbin angin *savonius* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram alur penelitian Rancang Bangun PLTB

Berikut penjelasan dari gambar 3:  
Langkah 1. Pengumpulan data

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data yaitu survei lokasi penelitian untuk menentukan luas area yang digunakan karena sudah terpasangnya 2 pembangkit lainnya dan data kecepatan angin tahunan yang berhembus di lokasi.

Langkah 2. Membuat rancangan dan perhitungan rancangan.

Perancangan dibuat dan disesuaikan dengan perhitungan pada desain turbin angin menggunakan persamaan 1 ( $L = \pi \times r^2$ ) dan persamaan 2 ( $L = 2 \times \pi \times r^2 \times t$ ) untuk mendapatkan tinggi turbin yang digunakan, selanjutnya membuat desain yang telah didapatkan dengan menggunakan *software Autodesk inventor 2020*, desain ini digunakan sebagai acuan dalam membangun rancangan PLTB.

Langkah 3. Merakit hasil rancangan.

Merakit hasil rancangan yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan desain 3D yang telah dibuat sebelumnya.

Langkah 4. Menguji PLTB yang telah dibuat.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan blower untuk mendapatkan variasi kecepatan angin dari 3 – 5 m/s. Apabila alat PLTB bekerja secara normal dan dapat menghasilkan energi listrik, maka dilakukan pencatatan dan analisa dari alat tersebut, namun apabila alat tidak dapat bekerja secara optimal maka akan dilakukan perancangan dan perakitan kembali untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

Langkah 5. Mencatat dan menganalisa hasil yang didapat.

Setelah dilakukan pengujian, maka dilakukan pencatatan hasil yang diperoleh selama pengujian dan menganalisa dari hasil tersebut sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran.

Langkah 6. Kesimpulan.

Setelah melakukan kelima langkah sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan dari hasil dan analisa alat yang telah dibuat.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas mengenai perancangan dan pengujian seluruh sistem PLTB sumbu vertikal tipe *savonius* dan dilanjutkan dengan menganalisa hasil dari data yang telah didapatkan.

#### 4.1 Perancangan Turbin Savonius.

Penelitian ini menggunakan diameter turbin sebesar 50 cm karena keterbatasan area yang ada di lokasi sudah adanya 2 pembangkit yang terpasang agar tidak mengganggu kinerja dari pembangkit tersebut dan adanya akses jalan untuk melakukan perawatan, serta jumlah sudu yang digunakan sebanyak 3 buah, dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 untuk

mengetahui tinggi turbin yang digunakan didapatkan hasil sebagai berikut:

$$L = \pi x r^2$$

$$L = 3,14 x 0,25^2$$

$$L = 3,14 x 0,062$$

$$L = 0,196m^2$$

Menentukan tinggi turbin menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

$$L = 2 \times \pi \times r^2 \times t$$

$$0,196 = 2 \times 3,14 \times 0,25^2 \times t$$

$$0,196 = 2 \times 0,196 \times t$$

$$0,196 = 0,389 \times t$$

$$\frac{0,196}{0,389} = t$$

$$0,50 m = t$$

Diperoleh luas sapuan sudu sebagai berikut:

$$A = D \times H$$

$$A = 0,25 \times 0,5$$

$$A = 0,125m^2$$

Luas sapuan pada sudu turbin sebesar 0,125m<sup>2</sup>, penelitian ini menggunakan 3 buah sudu diperoleh nilai sapuan angin pada turbin sebesar 0,37m<sup>2</sup>.

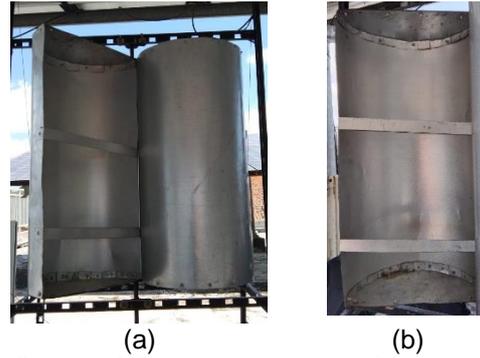
Berdasarkan hasil perhitungan rancangan yang telah dilakukan, maka diperoleh parameter turbin angin yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2 Parameter Turbin Angin

Parameter	Keterangan
Diameter turbin	50 cm
Diameter sudu	25 cm
Tinggi turbin	50 cm
Luas sapuan turbin	0,37 m <sup>2</sup>

#### 4.2 Realisasi Turbin Angin Savonius

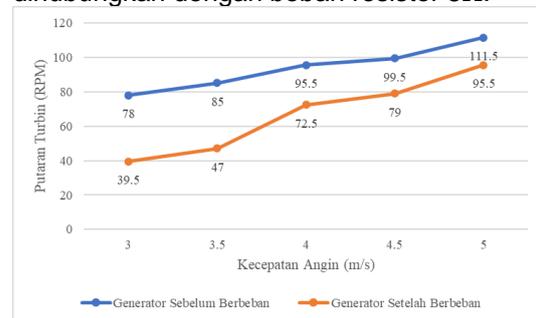
Realisasi turbin angin savonius menggunakan 3 buah sudu yang berbentuk setengah silinder dengan spesifikasi diameter rotor 50 cm, diameter sudu 25 cm, tinggi turbin 50 cm, dan luas sapuan turbin sebesar 0,37 m<sup>2</sup> dengan rancangan ini menggunakan kecepatan angin sebesar 5 m/s sesuai rata – rata kecepatan angin yang diperoleh saat pengukuran.



Gambar 4 Realisasi Turbin Angin Savonius (a) Realisasi Sudu Turbin Angin (b).

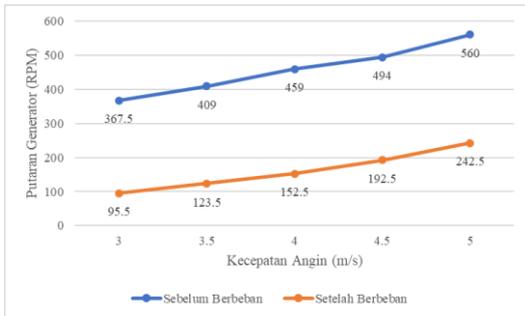
#### 4.3 Hasil Pengukuran Pengujian PLTB Turbin Savonius.

Tujuan dari adanya pengukuran variabel pembangkit listrik tenaga bayu yaitu untuk mengetahui daya mekanik turbin yang didapatkan pada kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian. Pengujian menggunakan kecepatan angin 3 – 5 m/s dengan kenaikan kecepatan angin sebesar 0,5 m/s. variabel yang digunakan untuk mengukura PLTB ini diantaranya putaran turbin dan putaran generator sebelum dan sesudah generator dihubungkan dengan beban resistor 5Ω.



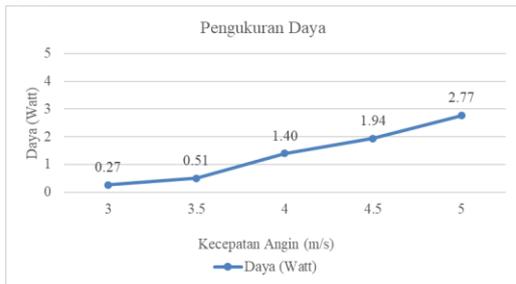
Gambar 5 Grafik Pengukuran Putaran Turbin.

Gambar 5 dapat dilihat putaran turbin terendah sebesar 78 rpm sebelum generator berbeban terjadi pada kecepatan angin 3 m/s dan setelah generator berbeban putaran turbin sebesar 39,5 rpm, sedangkan putaran turbin tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5 m/s sebelum generator berbeban sebesar 111,5 rpm dan setelah generator berbeban sebesar 95,5 rpm. Penurunan putaran turbin terjadi karena pada saat generator berbeban putaran generator menjadi lebih berat dan menyebabkan putaran turbin turun.



Gambar 6 Grafik Pengukuran Putaran Generator.

Gambar 6 dapat dilihat meningkatnya putaran generator seiring meningkatnya kecepatan angin yang digunakan. Penurunan putaran generator saat berbeban karena terjadi reaksi jangkar pada generator pada saat terhubung dengan beban yang mengakibatkan terjadinya medan jangkar pada setiap magnet dan kumparan generator untuk menghasilkan arus jangkar yang menyebabkan putarannya menjadi lebih berat dan menyebabkan putaran turbin turun.



Gambar 7 Grafik Pengukuran Daya Output Generator.

Gambar 7 merupakan hasil pengukuran daya yang dihasilkan generator dengan variasi kecepatan angin saat pengujian dan beban yang digunakan yaitu resistor 5Ω. Hasil pengukuran daya diperoleh tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5 m/s sebesar 2,77 watt dan terendah terjadi pada kecepatan angin 3 m/s, semakin besar kecepatan angin yang mendorong turbin angin maka daya yang dihasilkan oleh generator akan semakin besar.

### 4.3 Perhitungan Hasil Pengujian

Perhitungan hasil pengujian PLTB dari variabel yang telah didapatkan diantaranya: perhitungan daya angin, tip speed ratio, daya mekanik turbin, torsi, dan

efisiensi pada setiap variasi kecepatan angin.

1. Daya angin  
Perhitungan daya angin dengan menggunakan variasi kecepatan angin pada saat pengujian, mengacu pada persamaan 4, maka daya angin diperoleh dalam bentuk tabel 3.

$$P_W = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 0,36 \times 3^3$$

$$P_W = \frac{1}{2} \times 0,44 \times 27$$

$$P_W = \frac{1}{2} \times 11,8$$

$$P_W = 5,95 \text{ Watt}$$

Tabel 3 Perhitungan Daya Angin.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Angin (Watt)
1	3	5.95
2	3.5	9.45
3	4	14.11
4	4.5	20.09
5	5	27.56

Berdasarkan tabel 3 diperoleh daya angin yang menyapu turbin akan semakin meningkat seiring meningkatnya kecepatan angin yang digunakan.

2. Tip Speed Ratio

Diperoleh hasil pengukuran putaran turbin terhadap variasi kecepatan angin pada saat generator dihubungkan beban, maka dapat dihitung nilai TSR dengan persamaan 6. Hasil perhitungan TSR disajikan dalam tabel 4.

$$\lambda = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times V}$$

$$\lambda = \frac{3,14 \times 0,5 \times 39,5}{60 \times 3}$$

$$\lambda = \frac{62}{180}$$

$$\lambda = 0,34$$

Tabel 4 Perhitungan Tip Speed Ratio.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	TSR (λ)
1	3	39.5	0.34
2	3.5	47	0.35
3	4	72.5	0.47
4	4.5	79	0.46
5	5	95.5	0.50

Setelah mendapatkan nilai TSR dengan variasi kecepatan angin dan hasil pengukuran putaran turbin, dapat ditarik garis dari grafik hubungan TSR dan koefisien daya pada rotor savonius. Dapat dilihat

pada tabel 5 koefisien daya yang didapatkan pada masing – masing TSR.

**Tabel 5** Hubungan TSR Terhadap Koefisien Daya.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	TSR ( $\lambda$ )	Koefisien Daya
1	3	39.5	0.34	0.07
2	3.5	47	0.35	0.07
3	4	72.5	0.47	0.09
4	4.5	79	0.46	0.09
5	5	95.5	0.50	0.1

3. Daya mekanik turbin.  
Setelah memperoleh nilai koefisien daya masing – masing kecepatan angin pada tabel 6, maka dapat dihitung daya mekanik turbin dengan persamaan 5. Daya turbin dapat dilihat pada tabel 8.

$$P_A = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times A \times V^3$$

$$P_A = \frac{1}{2} \times 0,07 \times 1,225 \times 0,37 \times 3^3$$

$$P_A = \frac{1}{2} \times 0,03 \times 27$$

$$P_A = \frac{1}{2} \times 0,81$$

$$P_A = 0,43 \text{ Watt}$$

**Tabel 6** Perhitungan Daya Mekanik Turbin.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Koefisien Daya	Daya Turbin (Watt)
1	3	0.07	0.43
2	3.5	0.07	0.68
3	4	0.09	1.31
4	4.5	0.09	1.86
5	5	0.1	2.83

Berdasarkan tabel 6 diperoleh daya mekanik turbin yang semakin meningkat seiring meningkatnya kecepatan angin yang digunakan.

4. Torsi  
Berdasarkan gambar 5 dan 7 hasil pengukuran putaran turbin saat generator terhubung beban resistor  $5\Omega$  dan daya yang dihasilkan oleh generator, maka dapat dihitung besarnya torsi yang bekerja pada turbin dengan persamaan 7.

$$T = \frac{60 \times P}{2 \times \pi \times N}$$

$$T = \frac{60 \times 0,27}{2 \times 3,14 \times 39,5}$$

$$T = \frac{15,6}{248}$$

$$T = 0,07 \text{ Nm}$$



**Gambar 8** Torsi Turbin Angin.

Gambar 8 merupakan hasil perhitungan torsi yang bekerja pada turbin angin. Diperoleh torsi tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5 m/s sebesar 0,28 Nm dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,77 watt. Semakin besar daya yang dihasilkan dengan beban yang sama, maka diperoleh nilai torsi yang semakin meningkat, hal ini terjadi karena perbandingan torsi dengan daya yang dihasilkan generator berbanding lurus dan berbanding terbalik dengan putaran turbin. Semakin besar putaran turbin yang didapatkan dengan daya yang konstan maka nilai torsi akan semakin kecil.

5. Efisiensi  
Berdasarkan tabel 3 dan 6 maka dapat dihitung efisiensi turbin angin dengan menggunakan persamaan 8, dengan perbandingan daya angin ( $P_{in}$ ) dan daya mekanik turbin ( $P_{out}$ ). Efisiensi pada setiap kecepatan angin disajikan dalam bentuk tabel 7.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,43}{5,95} \times 100\%$$

$$\eta = 7,22 \%$$

**Tabel 7** Efisiensi Turbin.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Angin (Watt)	Daya (Watt)	Efisiensi (%)
1	3	5.95	0.43	7.22%
2	3.5	9.45	0.68	7.19%
3	4	14.11	1.31	9.28%
4	4.5	20.09	1.86	9.26%
5	5	27.56	2.83	10.27%

Berdasarkan tabel 7 efisien turbin angin tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5 m/s sebesar 10,27% dan terendah terjadi pada kecepatan

angin 3 m/s sebesar 7,22%. Hasil efisiensi yang diperoleh masih kecil, sesuai dengan nilai batas *bezt* efisiensi turbin angin *savonius* tidak akan melebihi sebesar 18%, hal ini terjadi karena adanya rugi – rugi aerodinamik dan bahan yang digunakan.

## 5. KESIMPULAN

Rancangan turbin angin *savonius* menggunakan 3 sudu dengan diameter sebesar 50 cm, diameter sudu 25 cm, dan tinggi turbin 50 cm dengan luas sapuan rotor sebesar 0,36m<sup>2</sup>. Hasil pengukuran putaran turbin sebelum generator berbeban pada kecepatan angin 3m/s sebesar 78 rpm, 3,5 m/s sebesar 85 rpm, 4 m/s sebesar 95,5 rpm, 4,5 m/s sebesar 99,5 rpm, 5 m/s sebesar 111,5 rpm, saat generator terhubung dengan beban hambatan 5Ω putaran turbin menjadi turun sebesar 39,5 rpm kecepatan angin 3 m/s, 47 rpm kecepatan angin 3,5 m/s, 72,5 rpm kecepatan angin 4 m/s, 79 rpm kecepatan angin 4,5 m/s, 95,5 rpm kecepatan angin 5 m/s, didapatkan daya mekanik pada turbin saat generator berbeban masing – masing sebesar 0,43 watt, 0,68 watt, 1,31 watt, 1,86 watt, 2,83 watt dengan nilai TSR dan C<sub>P</sub> di setiap kecepatan angin sebesar 0,34 dan 0,35 dengan nilai C<sub>P</sub> 0,07 pada kecepatan angin 3 dan 3,5 m/s, 0,47 dan 0,46 dengan nilai C<sub>P</sub> 0,09 dikecepatan angin 4 dan 4,5 m/s, 0,50 dengan nilai C<sub>P</sub> 0,1 dikecepatan angin 5 m/s. Efisiensi turbin yang didapatkan kecil, karena turbin angin dengan gaya *drag* memiliki efisiensi dibawah 19% dari nilai batas *bezt*. Torsi terkecil pada kecepatan angin 3 m/s dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,27 watt nilai torsi 0,07 Nm dan torsi tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5 m/ sebesar 0,28 Nm dan daya yang dihasilkan 2,77 watt.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. P. T. S. Energi, "BLUEPRINT PENGELOLAAN ENERGI NASIONAL," 2006.
- [2] Y. Daryanto, "Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu," *BALAI PPTAGG - UPT-LAGG*, 2007.
- [3] B. F. Ibrahim Nawawi, "SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SKALA KECIL PADA

BANGUNAN BERTINGKAT," 2016.

- [4] M. Suarda, "KAJIAN POTENSI SUMBER ENERGI TERBARUKAN DI BALI," *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*, pp. 1-4, 2008.
- [5] H. Adiyatma, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius," pp. 8-9, 2012.
- [6] D. Muhammad Hasan Basri, "RANCANG BANGUN DAN DESAIN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MODEL SAVONIUS," *JURNAL SIMETRIK*, pp. 208 - 2014, 2019.
- [7] I. P. Y. Pramana, "RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU POROS VERTIKAL TIPE SAVONIUS," 2022.
- [8] E. T. S. L. d. Rombe, "Pemodelan Pembangkit Hibrid Energi Bayu dengan Energi Surya," *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro*, pp. 43-48, 2017.
- [9] E. D. D. M. d. R. C. P. Eka Maulana, "The Design of Wind Power Plant with a U-Type Savonius Turbine for a Capacity of 100 W," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, pp. 183-190, 2021.
- [10] D. Patabang, "Rancang Bangun Kincir Angin Savonius Untuk Membangkitkan Energi Listrik Skala Kecil," *Jurnal Mekanikal*, pp. 1-6, 2010.
- [11] A. E. Prasetyo, "Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Savonius Diameter 1,2 Meter," pp. 7-9, 2011.
- [12] E. Y. Widyanto, "Elemen Mesin," *Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia*, 2013.