

# PEMBUATAN *PROTOTYPE* PLTB TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE-U SUMBU VERTIKAL DENGAN SUDUT KELENGKUNGAN SUDU 135° MENGGUNAKAN SUMBER ANGIN BUANGAN *EXHAUST KITCHEN*

I Wayan Gde Wredhira Wirartama<sup>1</sup>, I Wayan Arta Wijaya<sup>2</sup>, I Gusti Ngurah Janardana<sup>3</sup>

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

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten Badung, Bali 80361

[wredhirawira01@gmail.com](mailto:wredhirawira01@gmail.com)<sup>1</sup>, [artawijaya@unud.ac.id](mailto:artawijaya@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [janardana@unud.ac.id](mailto:janardana@unud.ac.id)<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Khususnya di Bali, dikenal pulau pariwisata baik wisatawan lokal maupun manca negara, oleh karena itu banyak hotel-hotel, resorts dan restaurant bagi wisatawan. Pemda Bali mendorong pelaku pariwisata seperti hotel membangun sumber tenaga listrik dari energi baru terbarukan agar program Bali Clean and Green dapat terwujud. Selain pemanfaatan energi angin alami, terdapat angin buatan yaitu hasil energi buangan (*waste energy*) dari *exhaust fan* yang merupakan energi yang dapat digunakan untuk memutar atau menggerakkan pembangkit, oleh karena itu penulis memanfaatkan *waste energy* dalam bentuk angin buangan dari *exhaust fan kitchen*. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat prototipe PLTB dengan turbin savonius sumbu vertikal dengan sudut kelengkungan bilah 135° agar mendapatkan luas sapuan angin yang lebih besar dan menggunakan perbedaan turbin 2 bilah dan 4 bilah untuk mendapatkan perbandingan output yang maksimal. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode kuantitatif. Penelitian ini berhasil menghasilkan output dengan memaksimalkan angin buangan *exhaust fan* sebesar 5,84 m/s. Nilai output generator tertinggi pada turbin 2 bilah dan berbeban 40 ohm yaitu 2,93 vdc, 0,62 mA dan 1,80 Watt, sedangkan Nilai output generator tertinggi pada turbin 4 bilah dan berbeban 40 ohm yaitu 3,22 vdc, 0,74 mA dan 2,39 Watt.

**Kata kunci** : PLTB, Turbin Angin Vertikal, *Exhaust Fan*

## ABSTRACT

*Bali is known as a tourism island for both local and foreign tourists, therefore there are many hotels, resorts and restaurants for tourists. In order to fulfill the Bali Clean and Green program, the Regional Government of Bali encourages tourism-related businesses, such as hotels, to construct sources of electricity from new renewable energy. The authors use waste energy in the form of exhaust wind from the kitchen exhaust fan in addition to using natural wind energy. Artificial wind is created when waste energy from exhaust fans is converted into a form that can be used to rotate or power a generator. Making a PLTB prototype with a vertical axis Savonius turbine with a blade curvature angle of 135 degrees is the goal of this research in order to increase the wind sweep area and obtain the highest output ratio. This study employed a quantitative methodology. This study was able to maximize the exhaust fan's wind speed, which was 5.84 m/s. The highest generator output value is at 2.93 vdc, 0.62 mA, and 1.80 Watt for a 2-blade turbine and 40 ohm load, and at 3.22 vdc, 0.74 mA, and 2.39 Watts for a 4-blade turbine and 40 ohm load.*

**Key Words** : PLTB, Vertical Wind Turbine, *Exhaust Fan*

## 1. PENDAHULUAN

Pemda Bali mendorong pelaku pariwisata seperti hotel membangun sumber tenaga listrik dari energi baru terbarukan agar program Bali Clean and Green dapat terwujud. Pergub No.45/2019 juga mengatur tentang pengembangan bangunan yang memiliki keseimbangan antara energi yang dihasilkan serta energi yang digunakan (zero energy building). Khususnya di Bali, pelaku pariwisata yang memiliki hotel dan restaurant terdapat *kitchen* yang memiliki sistem *exhaust*. Angin buangan dari sistem *exhaust* merupakan energi yang dapat digunakan untuk memutar atau menggerakkan pembangkit secara konsisten dengan kecepatan angin sebesar 5-7m/s dan potensi daya angin sebesar 8,195 W.

Penelitian Rancang Bangun Turbin Angin Savonius Untuk Penerangan Penginapan Di Desa Temajak Kecamatan Paloh Kabupaten Sambas. Di Desa Temajak merupakan daerah pesisir pantai yang masih kurang menikmati energi listrik. Pembangkit listrik tenaga angin ini berguna sebagai penerangan untuk salah satu penginapan di Desa Temajak Pada perancangan dibuat desain turbin angin savonius menggunakan tiga buah sudu variasi 1 fin dengan ukuran sudu tinggi 70 cm dan diameter 39,6 cm. Efisiensi tertinggi pada kecepatan angin 4m/s yang diperoleh pada turbin angin savonius dari pengujian di laboratorium sebesar 0,1954% sedangkan di lapangan sebesar 1,554%[1].

Pada penelitian Pengembangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe *Triple-Stage* Savonius Dengan Poros Ganda bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sebuah turbin sederhana yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah. Turbin dirancang dengan membuat enam buah rotor savonius yang kemudian divariasikan susunan sudutnya pada ketiga rotor yaitu 0°, 90° dan 120°. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa susunan sudut 120° beroperasi paling optimal karena mampu menghasilkan daya output dan putaran turbin tertinggi yaitu sebesar 1,024 Watt dan 234,6 RPM dengan efisiensi maksimum sebesar 3,393%. [2].

Penelitian ini dalam upaya memanfaatkan energi buangan *exhaust fan* menggunakan turbin angin savonius dengan memvariasikan jumlah bilah (2 dan 4) dan sudut kelengkungan bilah 135° agar mendapatkan luas sapuan angin pada bilah dan hasil output yang lebih besar.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teori Kecepatan Angin

Kecepatan angin adalah jarak tempuh angin atau pergerakan udara per satuan waktu dan dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/d), kilometer per jam (km/j), dan mil per jam (mi/j). Satuan mil (mil laut) per jam disebut juga knot (kn); 1 kn = 1,85 km/j = 1,151 mi/j = 0,514 m/d atau 1 m/d = 2,237 mi/j = 1,944 kn. Kecepatan angin bervariasi dengan ketinggian dari permukaan tanah, sehingga dikenal adanya profil angin, dimana makin tinggi gerakan angin makin cepat [3].

### 2.2 Exhaust Fan

Kipas pembuangan udara (*Exhaust fan*) merupakan kipas yang berfungsi untuk menghisap udara di dalam ruangan untuk dibuang ke luar. Alat ini membantu mengatur sirkulasi udara di dalam ruangan baik di rumah maupun industri [4]. Di rumah dan rumah makan, *exhaust fan* banyak digunakan di dapur, karena biasanya ditempat tersebut terdapat banyak sekali asap dan udara kotor dari proses memasak.

### 2.3 Turbin Angin Savonius

Turbin angin Savonius pertama kali diperkenalkan oleh seorang insinyur Finlandia yang bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922 [5]. Turbin

angin Savonius adalah turbin angin yang memiliki bentuk dan konstruksi yang sangat sederhana. Turbin ini terdiri atas dua hingga tiga bucket atau sudu yang disusun sedemikian rupa sehingga jika dilihat dari atas akan terlihat seperti membentuk huruf S [6].

**2.4 Parameter Analisa pada Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Savonius Sumbu Vertikal**

Dalam menentukan luas plat yang akan digunakan untuk membuat sudu dapat diketahui dengan mencari sudut ( $\alpha$ ) atau sudut yang dibentuk oleh kedua ujung plat setelah proses pembentukan sudu. Adapun persamaan untuk menentukan sudut ( $\alpha$ ) yaitu sebagai berikut ini :

$$h = \frac{L}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{4} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

h = tinggi lengkungan sudu (m)

L = lebar sudu (m)

Setelah diketahui sudut ( $\alpha$ ), maka untuk menentukan jari-jari sudu dapat digunakan persamaan berikut :

$$r = \frac{L}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

r = Jari-jari sudu (m)

L = lebar sudu (m)

Setelah Jari – jari sudah diketahui maka untuk menentukan lebar plat yang akan digunakan dapat diperoleh dengan persamaan:

$$b = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

b = lebar sudu setelah dilengkungkan (m)

d = Diameter sudu (m)

Maka luas plat yang akan digunakan sebagai bahan sudu dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$A = t \cdot b \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

A = Luas penampang sudu setelah dilengkungkan (m<sup>2</sup>)

t = panjang sudu (m)

b = lebar setelah dilengkungkan (m)

**2.5 Konversi Energi pada PLTB**

1. Energi Kinetik

Energi kinetik pada angin yang dapat menggerakkan baling-baling menjadi energi mekanis pada turbin. Baling-baling tersebut berputar pada porosnya, sehingga dapat mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik [7]. Luas daerah sapuan untuk turbin angin Savonius adalah tinggi rotor dikali diameter.

2. Daya Angin

Daya angin adalah besaran energi yang dapat dihasilkan oleh angin pada kecepatan tertentu yang menabrak sebuah turbin angin dengan luas bidang tertentu Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah [8]:

$$P_w = \frac{\rho a A v^3}{2} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

P<sub>w</sub> = Daya angin (Watt),

$\rho a$  = Massa jenis udara (kg/m<sup>3</sup>),

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>),

v = Kecepatan angin (m/s).

3. Koefisien Daya

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin, nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593. Perancangan pembangkit listrik tenaga angin biasanya memiliki koefisien daya (CP) yang memiliki nilai

dibawah kostanta *betz law*, dikarenakan adanya rugi-rugi seperti rugi tembaga, rugi besi, rugi *bearing*, dan lain-lain. Besarnya nilai  $C_P$  ini memiliki nilai antara 0 – 0,8 dan juga tergantung pada jenis turbin yang akan digunakan[9].

4. Torsi

Sama halnya dengan putaran, torsi juga dipengaruhi oleh besar kecilnya diameter turbin. Pada torsi yang diameternya besar dihasilkan torsi yang besar sedangkan pada diameter kecil torsi yang dihasilkan lebih kecil. Besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$T = m \times g \times r \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

- m = Massa (kg)
- g = Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- T = Torsi (Nm)

5. Daya Turbin

Daya turbin adalah besaran energi mekanik yang dapat dibangkitkan oleh rotor turbin angin akibat mendapatkan daya dari hembusan angin. Daya turbin angin tidak sama dengan daya angin dikarenakan daya turbin angin dipengaruhi oleh koefisien daya ( $C_p$ ). keluaran daya mekanik optimal dari turbin angin terhadap kecepatan angin dapat dihitung seperti pada persamaan berikut: [10]

$$P_{opt} = \frac{C_p \rho A v^3}{2} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- $P_{opt}$  = Daya turbin optimal
- $C_p$  = Koefisien daya
- $\rho$  = kerapatan angin (1.2 kg/s)
- A = luas daerah sapuan angin (m<sup>2</sup>)
- v = kecepatan angin (m/s)

Daya turbin dengan pengaruh torsi merupakan daya yang dihasilkan oleh angin penggerak turbin untuk menggerakkan poros turbin pada torsi dan kecepatan tertentu. Untuk mencari nilai

daya mekanik turbin ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$P = t \times \omega = t \times \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- $P_{rotor}$  = Daya turbin (Watt)
- t = Torsi (Nm)
- n = Putaran turbin (Rpm)
- $\omega$  = Kecepatan sudut turbin (Rad/s)

Untuk mencari nilai efisiensi dari turbin angin Savonius menggunakan persamaan:

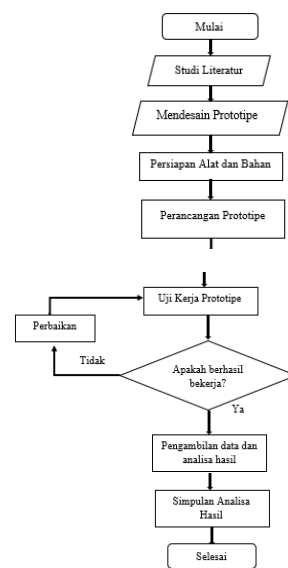
$$\eta = \frac{P_{poros}}{P_o} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

- $\eta$  = Effisiensi turbin (%)
- $P_{poros}$  = Daya poros turbin (watt)
- $P_i$  = Daya angin (watt)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana dan Kitchen Intuitive Sanur. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari bulan Juli 2022. Prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 :



Gambar 1. *Flow Chart* Perencanaan  
Prototipe PLTB Savonius

Pada *flow chart* diatas menunjukkan tahapan perancangan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) skala prototipe diawali dengan melakukan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian. Tahapan desain pemodelan prototipe PLTB Turbin Savonius dibuat dengan menggunakan software Sketchup dan AutoCad. Desain ini digunakan sebagai acuan pembuatan prototipe PLTB Turbin Savonius. Langkah berikutnya menyiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk membangun prototipe. Kemudian dilakukan perakitan dan pemodelan prototipe PLTB Turbin Savonius sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Perakitan prototipe PLTB Turbin Savonius telah selesai, dilanjutkan dengan tahap pengujian dari prototipe dengan hasil kerja yang diinginkan. Tahap pengujian prototipe PLTB Turbin Savonius dilakukan dengan cara meletakkan turbin didepan mulut *ducting* yang tersambung dengan *exhaust fan kitchen*, lalu mengarahkan arah buangan angin exhaust menuju turbin.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil Perancangan

Hasil Rancangan Turbin Angin Savonius Sumbu Vertikal dengan Sudut Kelengkungan Sudu  $135^\circ$  yang terealisasi seperti berikut,



Gambar 2. Hasil Rancangan Prototype turbin Savonius

Penjelasan bagian – bagian dari hasil perancangan alat uji adalah sebagai berikut:

##### 1. Rangka Penyangga Turbin

Rangka penyangga digunakan sebagai tempat peletakan antara turbin dan generator. Rangka penyangga dibuat dengan menggunakan besi siku 4x4 cm dengan tebal 2,5mm, di rakit sesuai dengan gambar dengan cara mengelas dengan memperhatikan fungsi setiap sisinya.

##### 2. Existing Exhaust fan dengan ducting

Dalam situasi lokasi pengujian (*existing*), *exhaust fan* sudah terhubung dengan *ducting* yang merupakan jalur hisap dan dorong angin buangan dari *kitchen*.

##### 3. Generator dan Turbin Savonius Sumbu Vertikal

Generator yang digunakan pada perancangan prototipe PLTB menggunakan Generator DC (*Direct Current*). Pada perancangan prototipe PLTB sumbu vertikal yang digunakan adalah jenis turbin angin savonius 4 bilah dan 2 bilah. Turbin savonius sumbu vertikal memiliki poros yang terhubung dengan bilah bilah yang digunakan dan menggunakan *bearing* sebagai media putar turbin angin savonius sumbu vertikal. Bilah dengan sudut kelengkungan  $135^\circ$  dengan lebar 50 cm, didapatkan luas plat yang lebih luas yaitu  $635 \text{ cm}^2$  dibandingkan luas plat dengan sudut kelengkungan  $90^\circ$  dengan lebar bilah yang sama 50 cm yaitu  $588 \text{ cm}^2$

##### 4. Realisasi Pulley dan Pulley Generator

generator yang digunakan memerlukan putaran sebesar 1000 rpm sedangkan turbin dianggap hanya mampu menghasilkan putaran sebesar 60 rpm.

Ukuran diameter *Pulley* pada turbin yaitu 40 cm sedangkan diameter *Pulley* pada generator yaitu 2,5 cm sehingga rasio *Pulley* generator dan turbin bernilai 1:16.

##### 4.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian didapat dari penelitian yang telah dilakukan dengan berbagai tahap pengukuran untuk mendapatkan data hasil yang optimal. Pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Pengujian arus pada Exhaust Fan

Pengujian arus *exhaust fan* dilakukan tanpa dan dengan pemasangan turbin dilakukan untuk mengetahui performa *exhaust fan*, dengan spesifikasi 237 W, 220V

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus Exhaust

Waktu	Arus Exhaust fan Tanpa Turbin (A)	Arus Exhaust Setelah dipasang Turbin (A)
1	1,1	1,1
2	1,1	1,2
3	1,2	1,1
4	1,1	1,2
5	1,2	1,2
Rata-rata	1,14	1,16

Pengukuran arus dengan pemasangan turbin didepan ujung ducting dengan jarak 5 cm. Hasil pengukuran mendekati nominal arus sesuai spesifikasi *exhaust fan* tidak adanya kenaikan yang signifikan dengan diletakan turbin didepan *ducting exhaust*. Adanya perbedaan arus dikarenakan pengaruh tegangan tidak stabil, *exhaust fan* yang sudah lama digunakan dan alat ukur yang tidak bisa mengukur secara presisi.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Exhaust Fan

Waktu	Kecepatan Angin Exhaust Tanpa Turbin (m/s)	Kecepatan Angin Exhaust Setelah dipasang Turbin berjarak 5cm dari ujung ducting (m/s)
1	5,7	5,9
2	5,9	5,8
3	5,8	5,8
4	5,9	5,8
5	5,8	5,9
Rata-rata	5,82	5,84

Dari tabel hasil pengukuran kecepatan angin *exhaust fan* didapatkan hasil pengukuran kecepatan angin yang mendekati yaitu 5,82 m/s tanpa turbin pada tengah keluaran ujung *ducting* jarak 0 cm dan 5,84 m/s setelah dipasang turbin berjarak 5 cm dari posisi tengah ujung *ducting*. Maka daya angin yang dapat dihasilkan dari turbin angin savonius dapat diperoleh dari perhitungan dengan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{\rho a \times c_p \times A \times v^3}{2}$$

$$P_w = \frac{1,225 \times 0,18 \times 0,445 \times 5,84^3}{2}$$

$$P_w = 8,195 W$$

Dari perhitungan diatas dengan kecepatan angin sebesar 5,84 m/s didapatkan daya angin yang dihasilkan dari tubin angin yaitu sebesar 8,195 Watt

2. Pengujian Tubin 2 Bilah

Tabel hasil pengukuran kecepatan putar turbin sebelum diberi beban, didapatkan hasil pengukuran kecepatan putar rata-rata pada as turbin yaitu 43,2 rpm

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Turbin 2 Bilah

Waktu	Kecepatan Putar Turbin
1	44
2	43
3	42
4	44
5	43
Rata-rata	43,2

Dari hasil kecepatan putar turbin, maka potensi torsi turbin angin pada kecepatan angin 5,84 m/s dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau = \frac{P_w}{\omega}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Diketahui bahwa  $P_w = 8,195$  watt dan  $n = 43,2$  rpm. Sehingga berdasarkan rumus dan nilai yang diketahui, maka didapatkan potensi torsi dari turbin angin yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 43,2}{60}$$

$$\omega = 4,52 \text{ rad/s}$$

Perhitungan kecepatan sudut turbin menyesuaikan dengan hasil pengukuran kecepatan putar turbin didapatkan  $\omega$  sebesar 3,72 rad/s, maka didapatkan besar torsi turbin, sebagai berikut:

$$\tau = \frac{8,195}{4,52}$$

$$\tau = 1,81 \text{ N/m}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya mekanik turbin angin sebesar 8,195 W yang didapatkan dengan kecepatan turbin 41 rpm, maka torsi turbin yang dihasilkan sebesar 1,81 Nm. Sehingga potensi daya dari turbin didapatkan dengan persamaan berikut.

$$P_t = \tau \times \omega$$

$$P_t = 1,81 \times 4,52$$

$$P_t = 8,18 \text{ watt}$$

Didapatkan hasil potensi daya yang akan dihasilkan turbin ( $P_t$ ) sebesar 8,18 watt, sehingga efisiensi daya output generator turbin dibandingkan dengan  $P_t$  tersebut.

Pengukuran tegangan dilakukan dengan memasang multimeter tekanan yang digunakan adalah parameter dalam keadaan standar dan tanpa beban. Adapun hasil pengukuran dari tegangan generator adalah

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Turbin 2 Bilah

Waktu	Beban (watt)	Tegangan output Tanpa Beban (VDC)	Tegangan Output Rata-rata
1	0	3,3	3,2
2		3,0	
3		3,3	
4		3,2	
5		2,2	

Berdasarkan hasil pengukuran dapat diketahui hasil rata-rata pengukuran didapatkan tegangan generator adalah 3,2 V.

### 3. Pengujian Turbin 4 Bilah

Tabel hasil pengukuran kecepatan putar turbin sebelum diberi beban, didapatkan hasil pengukuran kecepatan putar rata-rata pada as turbin yaitu 51,4 rpm

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kecepatan Putar Turbin 4 Bilah

Waktu	Kecepatan Putar Turbin
1	49
2	51
3	52
4	53
5	52
<b>Rata-rata</b>	<b>51,4</b>

Dari tabel hasil pengukuran kecepatan putar turbin maka potensi torsi turbin angin pada kecepatan angin 5,8 m/s dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau = \frac{P_w}{\omega}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Diketahui bahwa  $P_w = 8,195$  watt dan  $n = 51,4$  rpm. Sehingga berdasarkan rumus dan

nilai yang diketahui, maka didapatkan potensi torsi dari turbin angin yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 51,4}{60}$$

$$\omega = 5,38 \text{ rad/s}$$

Perhitungan kecepatan sudut turbin menyesuaikan dengan hasil pengukuran kecepatan putar turbin didapatkan  $\omega$  sebesar 5,38 rad/s, maka didapatkan besar torsi turbin, sebagai berikut:

$$\tau = \frac{8,195}{5,38}$$

$$\tau = 1,52 \text{ N/m}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi daya mekanik turbin angin sebesar 8,195 W yang didapatkan dengan kecepatan turbin 51,4 rpm, maka torsi turbin yang dihasilkan sebesar 1,52 Nm. Sehingga potensi daya dari turbin didapatkan dengan persamaan berikut.

$$P_t = \tau \times \omega$$

$$P_t = 1,52 \times 5,38$$

$$P_t = 8,17 \text{ watt}$$

Didapatkan hasil potensi daya yang akan dihasilkan turbin 4 bilah ( $P_t$ ) sebesar 8,17 watt terdapat perbedaan yang tidak signifikan terhadap hasil  $P_t$  dari turbin 2 bilah, sehingga efisiensi daya output generator turbin 4 bilah dapat dibandingkan dengan  $P_t$  tersebut. Pengukuran tegangan dilakukan dengan memasang multimeter tekanan yang digunakan adalah parameter dalam keadaan standar dan tanpa beban. Adapun hasil pengukuran dari tegangan generator sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Tegangan Turbin 4 Bilah

Waktu	Beban (watt)	Tegangan Output Tanpa Beban (VDC)	Tegangan Output Rata-rata
1	0	3,8	3,7
2		3,8	
3		3,6	
4		3,6	
5		3,7	

Menurut hasil pengukuran dapat diketahui hasil rata-rata pengukuran didapatkan tegangan generator yaitu 3,7 V.

**4.3 Analisa Perbandingan Hasil Putaran Generator dan Turbin 2 bilah dan 4 Bilah**

Tabel hasil pengukuran kecepatan putar generator dan turbin 2 bilah dan 4 bilah yang menggunakan pulley untuk menaikkan kecepatan putar yang terhubung menggunakan vbelt setelah diberi variasi beban

Tabel 7. Hasil Putaran Turbin dan Generator turbin 2 Bilah dan 4 Bilah

BEBAN	PUTARAN (RPM) Turbin 4 Bilah		PUTARAN (RPM) Turbin 2 Bilah	
	Turbin	Generator	Turbin	Generator
40 ohm	30	480.6	23.2	374.8
80 ohm	29.2	467.4	22.4	360
120 ohm	28.6	459	21.8	347.2
160 ohm	27.8	445.2	21.6	344.6
200 ohm	27	433.8	21.2	338.2

Pada turbin 2 bilah didapatkan kecepatan putar turbin tertinggi dengan beban 40 ohm sebesar 23,2 rpm sedangkan pada turbin 4 bilah didapatkan kecepatan putar turbin tertinggi dengan beban 40 ohm sebesar 30 rpm dan terdapat perbedaan sebesar 6,8 rpm dari kedua jumlah bilah. Pada kecepatan putar generator turbin 2 bilah didapatkan nilai tertinggi dengan beban 40 ohm sebesar 374,8 rpm sedangkan pada turbin 4 bilah didapatkan kecepatan putar generator tertinggi dengan beban 40 ohm sebesar 480,6 rpm dan terdapat perbedaan sebesar 105,8 rpm kecepatan generator dari kedua jumlah bilah.

**4.4 Analisa Perbandingan Hasil Output Generator Kondisi Berbeban Dengan Turbin 2 bilah dan 4 bilah**

Tabel hasil pengukuran kecepatan putar generator dan turbin 2 bilah dan 4 bilah setelah diberi variasi beban

Tabel 8. Perbandingan Hasil Output Turbin 2 Bilah dan 4 Bilah

BEBAN	Output Generator 4 Bilah			Output Generator 2 Bilah		
	Tegangan	Arus	Daya	Tegangan	Arus	Daya
40 ohm	3.22	0.74	2.39	2.93	0.62	1.80
80 ohm	3.08	0.68	2.09	2.88	0.56	1.62
120 ohm	2.94	0.60	1.76	2.8	0.50	1.40
160 ohm	2.88	0.56	1.62	2.72	0.44	1.20
200 ohm	2.82	0.52	1.46	2.64	0.40	1.06

Perbedaan nilai yang diperoleh dari arus hasil output generator turbin 2 bilah dan 4 bilah yaitu 0,12-0,10 mA saat generator berbeban 4 ohm sampai 20 ohm. Namun, selisih tegangan dan daya hasil output generator turbin 2 bilah dan 4 bilah yaitu 0,18 vdc dan 0,40 watt saat generator berbeban 20 ohm dan saat generator berbeban 4 ohm selisih yang didapatkan 0,29 vdc dan 0,59 watt.

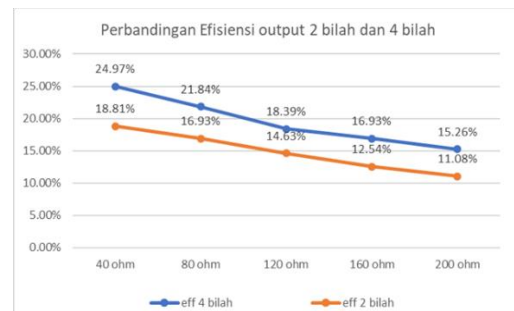
Tabel 4.28 perbandingan hasil torsi dari 4 bilah dan 2 bilah

Variasi Pembebanan LED DC	Torsi 4 bilah (Nm)	Torsi 4 bilah tanpa pembebanan (Nm)	Torsi 2 bilah (Nm)	Torsi 2 bilah tanpa pembebanan (Nm)
40 ohm	0.76	1.52	0.74	1.81
80 ohm	0.69		0.69	
120 ohm	0.59		0.61	
160 ohm	0.56		0.53	
200 ohm	0.52		0.48	

Turbin 2 bilah menghasilkan torsi 1,81 Nm dan saat dikopel generator dan beri beban 40 ohm sampai 200 ohm, torsi dari turbin 2 bilah menurun menjadi 0,74 - 0,48 Nm. Begitupula dengan turbin 4 bilah menghasilkan torsi 1,52 Nm dan saat dikopel generator dan beri beban 40 ohm sampai 200 ohm, torsi dari turbin 4 bilah menurun menjadi 0,76 - 0,52 Nm.

**4.5 Analisa Efisiensi Hasil Output Turbin 2 Bilah dan 4 Bilah**

Hasil analisa efisiensi yang didapatkan digambarkan dalam grafik berikut.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Efisiensi Output Turbin 2 bilah dan 4 bilah



Dari gambar diatas nilai efisiensi tertinggi pada turbin 4 bilah yaitu 29,16% pada pembebanan 40 ohm dan nilai efisiensi terendah pada turbin 4 bilah saat menggunakan beban 200 ohm sebesar 17,82%. Sedangkan pada turbin 2 bilah nilai efisiensi tertinggi yaitu 21,96% pada saat pembebanan 40 ohm dan nilai efisiensi terendah pada turbin 2 bilah saat menggunakan beban 200 ohm sebesar 12,93%.

## 5. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah :

1. Rancangan prototipe pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan turbin angin savonius tipe-u sumbu vertikal sesuai dengan perancangan, perhitungan dan berhasil menghasilkan output dengan memaksimalkan angin buangan *exhaust fan*
2. Bertambahnya jumlah bilah maka hasil putaran dan torsi semakin kecil. Pada output yang dihasilkan, jumlah bilah 4 lebih tinggi dibandingkan jumlah bilah 2.
3. Terjadi penurunan arus saat pembebanan pada generator dinaikan. Penurunan arus generator DC yang digunakan dipengaruhi reaksi jangkar pada generator ketika generator terhubung dengan beban yang menyebabkan reaksi *demagnetising*. Menggunakan beban resistansi dipasangkan secara seri yang menyebabkan nilai arus akan menurun, ketika nilai resistansi seri meningkat.
4. Nilai output baik kecepatan putar, output generator turbin dan efisiensi yang lebih besar yaitu 29,16% saat menggunakan turbin 4 bilah dibandingkan 2 bilah dengan efisiensi 21,96% dari prototipe PLTB Turbin Savonius menggunakan angin buangan *exhaust fan* sebagai sumber energi dengan kecepatan angin sebesar 5,8 m/s,

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Valentino, V, Yusuf, M.I, Heindro, A. 2021. Perancangan Turbin Angin Savonius Untuk Penerangan Penginapan di Desa Temajuk. Journal Of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology, Vol. 2, No.1 2021. Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak.
- [2] Saputra, C.I. 2015. Pengembangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Triple-Stage Savonius Dengan Poros Ganda. Prosiding Seminar Nasional Fisika, E-Journal vol 4, 2015.
- [3] Sudarto, 2011. Pemanfaatan Dan Pengembangan Energi Angin Untuk Proses Produksi Garam Di Kawasan Timur Indonesia. Jurnal Triton. Vol 7 No 2: 61 – 7.
- [4] Padmika, M, Wibawa, I.M.S. dan Trisnawati, N.L.P., 2017. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator. Buletin Fisika Vol. 18 No. 2 Agustus 2017 : Universitas Udayana Bali.
- [5] Ambrosio, M., Megdalia, M. 2010. *Vertical Axis Wind Turbines : History, Technology and Applications*, Jonny Hylander and Goran Siden, Swedia.
- [6] Kusbiantoro, A. 2013. Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. Repository E-Journal Universitas Brawijaya. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/142036>. Diakses pada tanggal 20 Desember 2021
- [7] Chairany, P. dan Sugiyanto, 2016. Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Untuk Sistem Penerangan Perahu Nelayan. Jurnal Rekayasa Mesin: Diploma Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, UGM.
- [8] Alit, I.B., Nurchayati, S.H., Pamuji. 2016. Turbin Angin Posros Vertikal Tipe Savonius Bertingkat Dengan Variasi Posisi Sudut. Dinamika

- Teknik Mesin, Vol. 6, No. 2  
Desember 2016. Fakultas Teknik,  
Universitas Mataram.
- [9] Balineni, S.C., Krishna, S.R., Kumar,  
B.S., Kumar, G.V., 2011, *Design  
and Fabrication of Savonius Vertical  
Axis Wind Turbin, Department of  
Mechanical Engineering Gokaraju  
Rangaraju Institute of Engineering  
and Technology, Jawaharlal Nehru  
Technological University.*
- [10] Wardana, Y.K., Partha, C.G.I.,  
Sukerayasa, I.W. 2021, Pemanfaatan  
Udara Buang *Exhaust Fan* untuk  
Pembangkit Listrik Tenaga Bayu  
Dengan Pengaruh Penambahan  
Honeycomb Berbasis ATMega 2560.  
Universitas Udayana, Jurnal  
Spektrum Vol. 8, No. 1 Maret 2021.