

# PEMBUATAN DAN PENGUJIAN TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE-U 4 SUDU SUMBU VERTIKAL

*Shahrul Nuno Gomes<sup>1)</sup>, Ir. Wahyu Budi Mursanto<sup>2)</sup>, Budi Suharto<sup>3)</sup>*

*Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung 40012*

*E-mail: <sup>1</sup>[shahrul.nuno.tken20@polban.ac.id](mailto:shahrul.nuno.tken20@polban.ac.id) <sup>1</sup>, [wahyumursanto@gmail.com](mailto:wahyumursanto@gmail.com) <sup>2</sup>, [budi.suharto@yahoo.com](mailto:budi.suharto@yahoo.com) <sup>3</sup>*

## ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada perancangan, fabrikasi, dan pengujian turbin angin Savonius sumbu vertikal berjumlah 4 sudu dengan tipe sudu berbentuk U. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi turbin pada berbagai kondisi angin. Desain turbin melibatkan pemanfaatan konfigurasi sumbu vertikal, yang memungkinkan kesederhanaan dalam konstruksi, kemudahan dalam perawatan, dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan arah angin. Konfigurasi sudu turbin berbentuk U meningkatkan pembangkitan torsi, yang mengarah ke keluaran daya yang lebih baik. Untuk membuat turbin diperlukan bahan dan komponen yang tepat, dan proses pembuatannya dilakukan dengan teliti agar turbin memiliki kinerja yang baik. Dimensi dan ukuran turbin ditentukan dengan diameter 0,3 meter dan tinggi 0,5 meter. Serangkaian percobaan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja turbin di bawah kecepatan angin yang berbeda. Output daya generator, putaran turbin, dan torsi yang dihasilkan oleh turbin diukur dan dianalisis. Dari pengujian yang dilakukan pada kecepatan angin maksimal sebesar 10 m/s menghasilkan putaran turbin sebesar 296 rpm dan daya generator sebesar 20,3 Watt, koefisien daya sebesar 0,0311 dengan nilai TSR 0,464, serta efisiensi sistem sebesar 7,25%.

**Kata kunci:** Turbin angin savonius, kecepatan angin, putaran turbin, daya generator

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia mengalami kenaikan setiap tahunnya. Kenaikan tingkat kebutuhan energi ini dipengaruhi oleh kenaikan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi dan penggunaan energi yang terus bertambah. Energi listrik menjadi kebutuhan primer dalam mendukung aktivitas kehidupan manusia. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, manusia mulai berinovasi sehingga ditemukan alternatif energi yang mudah didapat, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Alternatif tersebut adalah energi terbarukan. Beberapa contoh energi terbarukan antara lain energi matahari, energi air, energi panas bumi, dan tentunya energi angin.

Energi angin merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Energi angin merupakan energi yang ramah lingkungan dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Hal ini dikarenakan energi angin memiliki energi kinetik dari alam yang dapat menggerakkan suatu alat untuk mengubahnya menjadi energi mekanik. Dalam pemanfaatannya untuk pembangkit listrik dibutuhkan turbin angin untuk menggerakkan poros alternator yang akan mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik, ada banyak jenis turbin angin salah satu yang sering digunakan adalah jenis turbin angin savonius. Turbin angin Savonius diciptakan oleh Sigurd J.

Savonius pada tahun 1922. Turbin angin tipe savonius adalah tipe turbin jenis drag, sehingga turbin jenis ini tidak dapat berputar lebih cepat dari kecepatan angin. Jenis turbin drag memiliki tip speed ratio (TSR) bernilai sama dengan atau kurang dari 1. Kelebihan dari turbin angin tipe savonius, yaitu:

- Tipe savonius memiliki cut-in speed di kisaran kecepatan angin 2,5 m/s yang artinya turbin ini dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah.
- Turbin ini mempunyai nilai starting torque yang tinggi, sehingga membuat turbin tipe ini mampu menghasilkan daya pada kecepatan angin rendah.
- Turbin ini memiliki kemampuan menerima angin dari segala arah.
- Biaya untuk pembuatan turbin ini memiliki biaya yang relatif murah karena komponen dan konstruksi yang relatif sederhana.
- Komponen transmisi daya mekanik ke generator dapat diletakkan dekat dengan permukaan sehingga dapat memudahkan maintenance.

Kelebihan dari turbin angin savonius ini tentunya sesuai untuk diaplikasikan pada pembangkit listrik daya rendah seperti pada instalasi domestik. Selain itu, karena kemampuannya dalam menerima angin dari segala arah membuat turbin dengan tipe ini sesuai apabila dipasang pada lokasi dengan arah angin yang bervariasi

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Angin

Udara yang bergerak dari daerah dengan tekanan udara

yang tinggi menuju daerah dengan tekanan udara yang rendah. Terjadinya angin disebabkan adanya perbedaan temperatur di suatu area, angin dapat bergerak secara horizontal maupun vertikal dengan kecepatan yang fluktuatif. Angin yang bergerak menyebabkan terjadinya energi kinetik. Energi angin dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui putaran turbin yang disebabkan oleh aliran energi kinetik angin yang dapat memutar kemudian turbin dihubungkan dengan generator, dari putaran turbin akan memutar generator dan dari putaran generator inilah dihasilkan tegangan listrik.

## 2.2 Konversi Energi Angin menjadi Listrik

Aliran angin memiliki energi kinetik, hal ini dikarenakan udara memiliki massa dan bergerak dengan kecepatan. Daya mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin merupakan aliran angin yang ditransformasi menjadi energi kinetik. Aliran angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu menyapu susunan sudu turbin angin sehingga turbin dapat bergerak. Secara matematis, udara dengan massa  $m$  dan bergerak dengan kecepatan  $v$ , ditunjukkan oleh persamaan II.1:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Dimana :

$E_k$  : energi kinetik (Joule)

$m$  : massa udara (kg)

$v$  : kecepatan angin (m/s)

Untuk menghitung luas penampang sudu turbin angin savonius, dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$A = D \times H$$

Dimana :

$D$  = diameter sudu (m)

$H$  = tinggi sudu (m)

Dari dua persamaan diatas besar daya sapuan yang dihasilkan dari energi angin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_A = \frac{1}{2} A \cdot v^3 \cdot \rho$$

Dimana :

$P_A$  : daya (Watt)

$A$  : luas penampang ( $m^2$ )

$v$  : kecepatan angin (m/s)

$\rho$  : kerapatan udara ( $kg/m^3$ )

Daya mekanik turbin juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_M = T \cdot \omega$$

Dimana :

$P_M$  : daya mekanik (Watt)

$T$  : Torsi (Nm)

$\omega$  : kecepatan sudut (rad/s)

$F$  : gaya (N)

$r$  : jari-jari poros (m)

$n$  : putaran poros turbin (rpm)

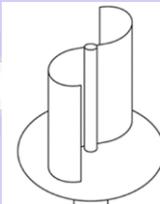
$m$  : massa benda (kg)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

## 2.3 Turbin Savonius

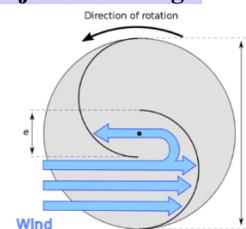
Turbin angin savonius diciptakan pertama kali di Finlandia oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922 dengan bentuk menyerupai huruf S apabila dilihat dari atas. Turbin savonius secara umumnya bergerak lebih pelan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang lebih besar. Konstruksi dari turbin ini sangat sederhana. Pada perkembangannya turbin savonius banyak mengalami perubahan bentuk rotor, di bawah ini terdapat beberapa tipe dari turbin savonius apabila dilihat dari atas yaitu:

- Turbin savonius tipe U
- Turbin savonius tipe S
- Turbin savonius tipe L



Gambar 1 Turbin Savonius

## 2.4 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius



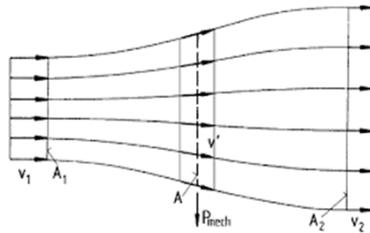
Gambar 2 Aliran Angin pada Turbin Savonius

Karena kelengkungan, sudu turbin mengalami lebih sedikit hambatan saat bergerak melawan angin dibandingkan saat bergerak bersama angin. Hambatan diferensial menyebabkan turbin savonius berputar dikarenakan turbin ini merupakan turbin bertipe *drag*, turbin savonius mengekstraksi tenaga angin jauh lebih sedikit daripada turbin dengan tipe gaya *lift* dengan ukuran yang sama. Sebagian besar area sapuan rotor savonius mungkin dekat dengan tanah, jika instalasi turbin tanpa menggunakan tiang yang tinggi, membuat energi keseluruhan ekstraksi kurang efektif karena kecepatan angin yang rendah ditemukan pada ketinggian tanah yang lebih rendah. Turbin savonius banyak

digunakan karena biaya pembuatannya yang murah jauh lebih dipertimbangkan dibandingkan dengan efisiensinya.

**2.5 Teori Momentum Betz**

Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin. Kecepatan aliran udara akan berkurang dan garis aliran membelok ketika mengenai rotor dipandang pada satu bidang. Kecepatan aliran udara yang berkurang disebabkan karena sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin. Pada kondisi aktual putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diserap turbin.



Gambar 4 Model Aliran Betz

**2.6 Tip Speed Ratio**

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan rasio antara kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin bebas. Angin dengan kecepatan nominal tertentu akan berpengaruh pada TSR akan mempengaruhi kecepatan putar rotor. TSR dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

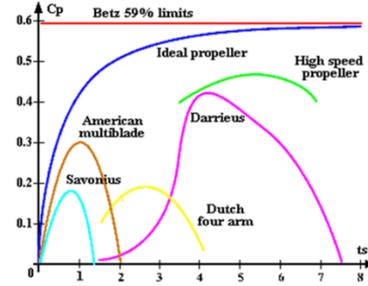
$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

Dimana:

- D : diameter turbin (m)
- n : putaran rotor turbin (rpm)
- v : kecepatan angin (m/s)

**2.7 Koefisien Daya (CP)**

Koefisien Cp menunjukkan jumlah energi yang dapat diserap oleh turbin tertentu dari angin. Secara numerik Betz limit, untuk turbin angin sumbu horizontal adalah 16/27 atau sama dengan 59,3%. Nilai tersebut merupakan efisiensi maksimum (disebut juga sebagai koefisien daya) dari turbin angin. Artinya, ketika turbin angin dapat beroperasi dalam kondisi terbaik, efisiensinya tidak akan melebihi 59,3%. Hubungan antara TSR dengan koefisien daya pada berbagai tipe turbin angin ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 5 Diagram Cp - TSR

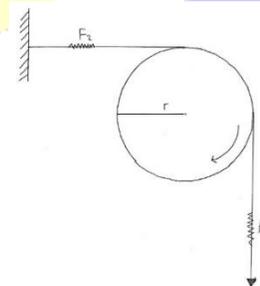
Nilai Koefisien Daya dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$C_p = \frac{P_M}{P_A}$$

Dimana :

- P<sub>A</sub> = Daya Angin (Watt)
- P<sub>M</sub> = Daya Mekanik (Watt)

**2.8 Penentuan Torsi**



Gambar 6 Ilustrasi Pengukuran Torsi

Berdasarkan gambar di atas untuk menentukan besarnya torsi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T = r \cdot (F_2 - F_1)$$

$$T = r \cdot F$$

dimana:

- F = gaya (N)
- r = Jari-jari poros (m)

**2.9 Generator DC**

Generator DC adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran mekanis menjadi energi listrik DC. Energi mekanik digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar di dalam medan magnet.

Untuk menghitung daya keluaran generator digunakan persamaan sebagai berikut:

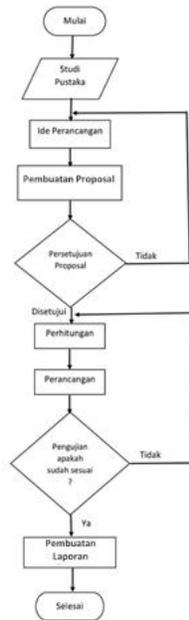
$$P = V \cdot I$$

Dimana:

- P = Daya (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

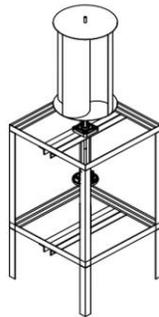
### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Pembuatan dan Pengujian Alat



Gambar 7 Diagram Alir

#### 3.2 Desain Turbin Angin Savonius



Gambar 8 Hasil Rancangan Turbin Angin Savonius

Pada Gambar 8 memperlihatkan bentuk 3 dimensi dari turbin angin savonius yang sudah dirancang. Dari gambar dapat dilihat bagian-bagian turbin angin savonius yang telah di assembly menjadi satu instalasi yang terhubung sebagai pembangkit listrik tenaga bayu. Sudu turbin dihubungkan dengan poros yang terhubung satu axis vertikal dengan transmisi planetary gear yang sudah dikopel dengan poros generator. Dari putaran turbin akan ditransmisikan menuju planetary gear untuk memutar poros generator sehingga dihasilkan energi listrik.

#### 3.3 Spesifikasi Turbin Angin Savonius

Turbin yang di bangun memiliki bagian alas memiliki diameter sebesar 30 cm dan tinggi 50 cm. Dari nilai tersebut dapat dicari nilai luas penampang dengan

mengalikan diameter dengan alas yang nantinya nilai luas penampang ini digunakan untuk menghitung daya angin. Alasan mengapa dipilih ukuran demikian dikarenakan melihat potensi angin di Indonesia yang rata-rata di kisaran 3 m/s - 6 m/s, dengan potensi angin demikian didapatkan daya angin sebesar 2,43 Watt diharapkan turbin ini mampu berputar dan menghasilkan energi listrik dalam skala kecil dan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan domestik. Selain menimbang dari sisi potensi angin, alasan lain dipilihnya ukuran demikian adalah dengan mempertimbangkan ukuran blower pada saat pengujian yang memiliki ukuran diameter sebesar 79 cm, tentunya perlu dibuat turbin yang mampu menerima aliran energi angin dengan ukuran blower tersebut, agar dari aliran angin blower tersebut dapat memutar turbin dengan maksimal.

Tabel 1 Spesifikasi Turbin Angin Savonius

Rangka	
Tinggi	93,5 cm
Lebar	50 cm
Sudu	
Tinggi	50 cm
Lebar	30 cm
Poros	
Panjang	120 cm
Diameter	1 inch
Bearing	
Jenis	<i>Pillow Block Bearing</i>
Diameter	1 inch
Transmisi Mekanik	
Jenis	<i>Planetary Gear</i>
Rasio	1 : 8

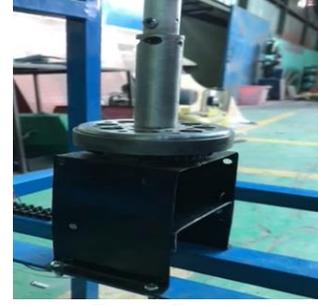
#### 3.4 Proses Pembuatan Turbin Angin Savonius

##### 3.4.1 Sudu Turbin

1. Siapkan plat alumunium.
2. Berikan tanda pada plat alumunium sesuai ukuran yang telah ditentukan.
3. Potong plat alumunium yang sudah diberi tanda menjadi 4 bagian.
4. Tekuk plat yang telah dipotong menjadi bentuk setengah lingkaran menggunakan alat *roll*.
5. Siapkan triplek komposit untuk membuat atap turbin.
6. Berikan tanda pada triplek komposit sesuai ukuran yang telah ditentukan.
7. Potong triplek komposit membentuk lingkaran menjadi 2 bagian.
8. Tempelkan sudu dan atap turbin menggunakan lem.
9. Cat turbin menggunakan *pylox* berwarna putih, untuk hasilnya seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 9 Pembuatan Sudu Turbin



Gambar 11 Tempat Dudukan Generator

### 3.4.2 Rangka Turbin

1. Siapkan besi hollow.
2. Tandai sesuai ukuran yang telah ditentukan.
3. Potong besi hollow yang sudah ditandai menggunakan gerinda.
4. Sambungkan besi hollow yang telah dipotong menggunakan las dapat dilihat sesuai gambar di bawah
5. Cat seluruh rangka menggunakan pylox berwarna biru.



Gambar 10 Pembuatan Rangka

### 3.4.3 Rangka Turbin

1. Siapkan plat besi.
2. Potong plat besi menjadi 3 bagian sesuai ukuran yang telah ditentukan.
3. Sambungkan plat besi yang telah dipotong menggunakan las.
4. Lubangi plat besi menggunakan bor.
5. Bentuk dari tempat dudukan generator dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

### 3.5 Proses Perakitan Turbin

1. Siapkan seluruh part yang telah dibuat.
2. Pasang pillow block bearing pada ruang poros menggunakan baut.
3. Masukkan poros pada pillow block bearing.
4. Kencangkan bearing menggunakan kunci L agar poros tetap diam.
5. Pasangkan dudukan generator pada ruang poros bagian bawah dengan menggunakan baut.
6. Pasangkan generator pada tempat dudukan generator yang telah dipasang pada rangka.
7. Pasangkan planetary gear pada poros turbin dan poros generator.
8. Hasil turbin yang telah dirakit dapat dilihat pada gambar sebagai berikut .



Gambar 12 Perakitan Turbin

### 3.6 Prosedur Pengujian

1. Siapkan alat ukur berupa anemometer, tachometer, multimeter, serta neraca pegas.
2. Pasangkan terowongan angin pada blower dan hubungkan input autotrafo pada sumber, kemudian hubungkan blower pada output autotrafo.
3. Kaitkan neraca pegas 2 (F2) yang telah diikat tali pada salah satu kaki rangka kemudian lingkarkan pada poros turbin dan bagian tali lainnya ikatkan pada neraca pegas 1 (F1) dan tarik.
4. Hubungkan probe pada multimeter ke generator.
5. Putar variabel pada autotrafo secara perlahan hingga

- fan pada blower berputar.
- Ukur kecepatan angin menggunakan anemometer.
  - Ukur putaran turbin menggunakan tachometer.
  - Ukur tegangan dan arus keluaran generator menggunakan multimeter.
  - Ulangi langkah 5 hingga 8 untuk setiap pengambilan data pada kecepatan angin 1 - 10 m/s. seperti yang terlihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 13 Pengujian Turbin

generator semakin besar.

#### 4.1.2 Data Hasil Pengujian Tanpa Generator

Dapat dilihat pada Tabel 4.2, pengujian kinerja turbin angin tanpa generator dilakukan dengan menggunakan variasi kecepatan angin 1 - 10 m/s. Dari variasi kecepatan angin tersebut di dapatkan parameter pengukuran berupa putaran turbin. Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa setiap kenaikan kecepatan angin mengakibatkan parameter pengukuran putaran turbin mengalami kenaikan. Setiap kenaikan kecepatan angin maka akan mengakibatkan putaran turbin akan semakin cepat.

Tabel 4.3 Data Pengujian Tanpa Generator

No	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)
1	1	0
2	2	0
3	3	36,7
4	4	70
5	5	110,2
6	6	192
7	7	228
8	8	257
9	9	286
10	10	373

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian dengan Generator

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Pg (Watt)
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	60	498	3,9	0,17	0,663
6	91	776	4	0,21	0,84
7	113	973	5,3	0,45	2,385
8	163	1236	8,79	0,87	7,6473
9	255	2137	13,8	1,1	15,18
10	296	2355	14,5	1,4	20,3

Tabel 4.2 Data Pengujian dengan Generator

Dapat dilihat pada Tabel 4.2, pengujian kinerja turbin dilakukan dengan menggunakan variasi kecepatan angin 1 - 10 m/s. Dari variasi kecepatan angin tersebut di dapatkan parameter pengukuran berupa putaran turbin, putaran generator, tegangan keluaran generator, dan arus keluaran generator. Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa setiap kenaikan kecepatan angin mengakibatkan seluruh parameter pengukuran mengalami kenaikan. Setiap kenaikan kecepatan angin maka akan mengakibatkan putaran turbin semakin cepat, hal ini akan berakibat pada putaran generator yang semakin cepat pula, dari putaran generator yang semakin cepat ini akan mengakibatkan arus dan tegangan output yang dihasilkan

### 4.2 Data Hasil Perhitungan

#### 4.2.1 Data Hasil Perhitungan dengan Generator

angin akan berakibat pada kenaikan setiap parameter pengukuran, dari setiap parameter pengukuran ini akan mengakibatkan data karakteristik turbin angin mengalami kenaikan namun ada pengecualian pada nilai efisiensi yang mengalami penurunan dikarenakan selisih antara daya mekanik turbin dengan daya generator memiliki selisih yang jauh atau dengan kata lain kemampuan konversi energi mekanik turbin menjadi energi listrik memiliki persentase yang kecil, hal ini sejalan apabila melihat daya angin yang seharusnya memiliki potensi sapuan angin yang besar, namun pada saat pengujian daya mekanik yang dihasilkan bernilai kecil atau dengan kata lain kemampuan turbin untuk menyerap energi kinetik angin memiliki persentase yang kecil.

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan dengan Generator

F2 (N)	F1 (N)	T (Nm)	TSR	Pa (Watt)	$\omega$ (rad/s)	Pm (Watt)	Cp	$\eta_s$ (%)
0	0	0	0	0,09	0	0	0	0
0	0	0	0	0,72	0	0	0	0
0	0	0	0	2,43	0	0	0	0
0	0	0	0	5,76	0	0	0	0
0,8	0,5	0,0039	0,1884	11,25	6,28	0,02449	0,00218	27,0701
1,4	1	0,0052	0,23812	19,44	9,52467	0,04953	0,00255	16,96
3,36	2	0,01768	0,25344	30,87	11,8273	0,20911	0,00677	11,4056
7,35	3,75	0,0468	0,31989	46,08	17,0607	0,79844	0,01733	9,57781
9,44	4,65	0,06227	0,44483	65,61	26,69	1,66199	0,02533	9,13365
11,95	5	0,09035	0,46472	90	30,9813	2,79916	0,0311	7,25217

#### 4.2.2 Data Hasil Perhitungan tanpa Generator

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat pada setiap kenaikan

kecepatan angin akan berakibat pada kenaikan setiap parameter pengukuran, dari setiap parameter pengukuran ini akan mengakibatkan data karakteristik turbin angin seperti TSR, kecepatan sudut, daya mekanik dan koefisien daya mengalami kenaikan.

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan tanpa Generator

F2 (N)	F1 (N)	T (Nm)	TSR	PA (Watt)	$\omega$ (rad/s)	PM (Watt)	Cp
0	0	0	0	0,09	0	0	0
0	0	0	0	0,72	0	0	0
5,7	1,75	0,05135	0,19206	2,43	3,84127	0,19725	0,08117
6,62	2,02	0,0598	0,27475	5,76	7,32667	0,43813	0,07607
7,4	2,7	0,0611	0,34603	11,25	11,5343	0,70474	0,06264
8	3,25	0,06175	0,5024	19,44	20,096	1,24093	0,06383
9,12	4,3	0,06266	0,51137	30,87	23,864	1,49532	0,04844
9,5	4,59	0,06383	0,50436	46,08	26,8993	1,71698	0,03726
10,1	4,92	0,06734	0,49891	65,61	29,9347	2,0158	0,03072
11	5,4	0,0728	0,58561	90	39,0407	2,84216	0,03158

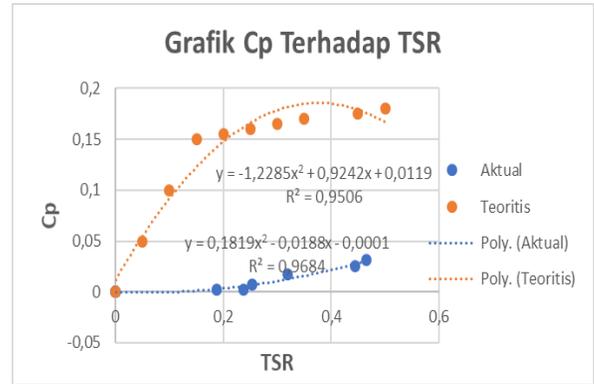
### 4.3 Karakteristik Turbin Angin Savonius

#### 4.3.1 Karakteristik Turbin Angin Savonius dengan Generator



Gambar 14 Grafik Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi Sistem

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa efisiensi turbin angin savonius mengalami penurunan setiap kecepatan angin mengalami kenaikan. Efisiensi tertinggi diperoleh sebesar 27,071 % ketika turbin beroperasi pada kecepatan angin 5 m/s. Hal ini membuktikan bahwa turbin angin savonius memiliki kondisi operasional terbaik pada kondisi kecepatan angin rendah. Grafik mengalami penurunan karena perbandingan antara daya mekanik dengan daya generator memiliki selisih yang jauh pada setiap kenaikan kecepatan angin, dengan kata lain kemampuan daya mekanik untuk mengkonversikan energi listrik memiliki persentase yang kecil, hal ini dapat dipengaruhi oleh generator yang digunakan.



Gambar 15 Diagram Cp - TSR dengan Generator

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 dapat dilihat pada kondisi aktual nilai koefisien daya tertinggi diperoleh sebesar 0,0311 pada nilai TSR 0,464, sedangkan pada teoritis dengan nilai TSR sebesar 0,5 didapatkan nilai koefisien daya mendekati 0,2 terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai Cp aktual dengan teoritis. Nilai koefisien daya dipengaruhi oleh nilai daya mekanik pada turbin, serta daya angin. Daya mekanik sendiri dipengaruhi oleh nilai torsi dimana setiap terjadi kenaikan kecepatan angin, maka nilai torsi akan semakin besar sehingga mengakibatkan daya mekanik yang semakin besar pula. Nilai TSR sendiri dipengaruhi oleh putaran turbin, pada pengujian kali ini setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s diikuti dengan kenaikan putaran turbin rata-rata 47 rpm sehingga mengakibatkan kenaikan nilai TSR.

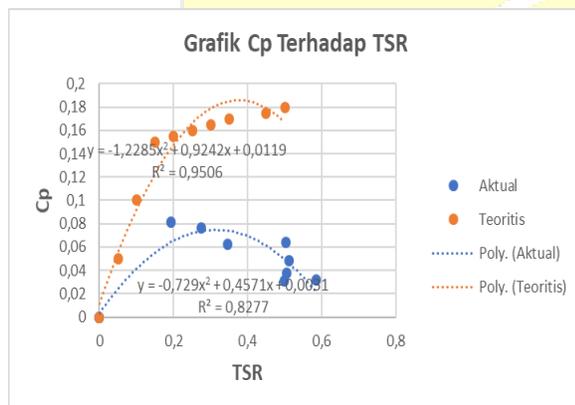
Perbedaan antara kondisi aktual dan teoritis ini disebabkan oleh putaran turbin yang tidak mampu menahan gaya gesek dan momen inersia sehingga daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin tidak maksimal. Hal ini disebabkan pada saat turbin berputar ada gaya gesek yang bekerja pada poros sehingga ini menimbulkan hambatan pada putaran turbin sehingga daya mekanik tidak terkonversi dengan maksimal. Selain itu, pengaruh dari kondisi angin pada saat pengujian, dengan kondisi persebaran angin yang dihasilkan blower tidak merata mengakibatkan kemampuan konversi energi angin menjadi energi mekanik pada turbin tidak maksimal, sehingga antara daya angin dengan daya mekanik memiliki selisih yang jauh atau dengan kata lain memiliki kemampuan konversi energi mekanik yang rendah sedangkan apabila dilakukan pengujian pada kondisi angin alami dengan persebaran angin yang lebih merata kemampuan konversi energi angin menjadi energi mekanik menjadi lebih maksimal karena angin alami memiliki daya sapuan angin yang lebih baik dibandingkan dengan blower.

Selain dari faktor di atas, faktor perbedaan jenis material antara sudu turbin dengan alas turbin dapat mengakibatkan hambatan pada saat turbin berputar dikarenakan perbedaan jenis material ini dapat mengakibatkan nilai massa pada turbin menjadi besar sehingga turbin memiliki momen inersia yang besar, sehingga terdapat hambatan pada saat turbin berputar.

Selain dari faktor tersebut, jenis aliran angin yang dihasilkan oleh blower tidak dapat ditentukan apakah alirannya laminar atau turbulen pada variasi kecepatan yang berbeda.

#### 4.3.2 Karakteristik Turbin Angin Savonius tanpa Generator

Pada Gambar 16 memperlihatkan perbandingan antara kondisi  $C_p$  terhadap TSR pada keadaan teoritis dibandingkan dengan kondisi aktual pengujian turbin tanpa generator. Dapat dilihat pada kondisi aktual nilai koefisien daya tertinggi diperoleh sebesar 0,0811 pada nilai TSR 0,1906 sedangkan pada teoritis dengan nilai TSR sebesar 0,5 didapatkan nilai koefisien daya mendekati 0,2 terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai  $C_p$  aktual dengan teoritis. Nilai koefisien daya dipengaruhi oleh nilai daya mekanik pada turbin, serta daya angin. Daya mekanik sendiri dipengaruhi oleh nilai torsi dimana setiap terjadi kenaikan kecepatan angin, maka nilai torsi akan semakin besar sehingga mengakibatkan daya mekanik yang semakin besar pula



Gambar 16 Diagram  $C_p$  - TSR Turbin Angin Savonius tanpa Generator

Nilai TSR sendiri dipengaruhi oleh putaran turbin, pada pengujian kali ini setiap kenaikan kecepatan angin sebesar 1 m/s diikuti dengan kenaikan putaran turbin rata-rata 48 rpm sehingga mengakibatkan kenaikan nilai TSR. Perbedaan antara kondisi aktual dan teoritis ini disebabkan oleh momen torsi yang dihasilkan turbin dengan jumlah 4 sudu mengakibatkan turbin memiliki momen torsi yang besar karena jumlah sudu akan mempengaruhi momen torsi pada turbin sehingga mengakibatkan daya mekanik yang dihasilkan turbin semakin besar pula sehingga turbin tidak mampu menahan gaya gesek dan momen inersia yang bekerja, hal ini mengakibatkan daya mekanik turbin menjadi tidak maksimal. Hal ini dapat terlihat dari nilai koefisien daya yang dihasilkan memiliki rasio antara daya mekanik dan daya angin berada di bawah 10%, artinya kemampuan turbin dalam mengkonversikan daya angin menjadi daya mekanik tidak mencapai 10%.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Telah berhasil dibuat turbin angin savonius sumbu vertikal dengan spesifikasi jumlah sudu 4 buah dengan dimensi tinggi 0,5 meter dan diameter 0,3 meter, panjang poros 1,2 meter dengan diameter 0,0254 meter, dan kerangka turbin dengan tinggi 0,935 meter dan lebar 0,5 meter.
2. Turbin ini memiliki daya keluaran generator maksimal sebesar 20,3 Watt, efisiensi sistem tertinggi diperoleh sebesar 27,07%, koefisien daya tertinggi diperoleh sebesar 0,0311 pada nilai TSR 0,467 ketika beroperasi pada kecepatan angin 10 m/s.

### 5.2 Saran

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada turbin angin ini, maka dari itu penulis menyarankan agar perancangan dapat lebih disempurnakan supaya mendapatkan hasil kinerja yang lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ridwan dan Abdul Latief. 2019. Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Terhadap Distribusi Kecepatan dan Tekanan. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 24(2), 141-151.
- Maulana, Eka dkk. 2021. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U untuk kapasitas 100W. *Jurnal Asimetrik : Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 3(2), 183-190.
- Basuki, dkk. 2020. Analisis Performa Kinerja Turbin Angin Savonius 2 Sudu. *Fakultas Teknik: Universitas Hasyim Asy'ari*.
- Tuapetel, J. Victor, dkk. 2019. Analisis dan Pengujian Kinerja Turbin Angin Savonius 4 Sudu. *Jurnal Teknik Mesin – ITI Vol. 3, No. 2, ISSN: 2548-3854*.
- Sumiati, Ruzita. 2012. Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang. *Jurnal Teknik Mesin - PNP Vol. 1, No. 1, ISSN: 1829-8958*.
- Stepanus, dkk. 2018. Energi Angin Sebagai Sumber Daya Listrik Data Recovery. *Jurnal Lektrokom Vol. 1 Magister Teknik Elektro. Universitas Kristen Indonesia*.
- Latif, Melda. 2013. Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 10, No. 3. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang*.
- Habibie, M. Najib, Achmad Sasmito. dan Roni Kurniawan. 2011. Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Sulawesi Dan Maluku. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 12(2), 181-187.

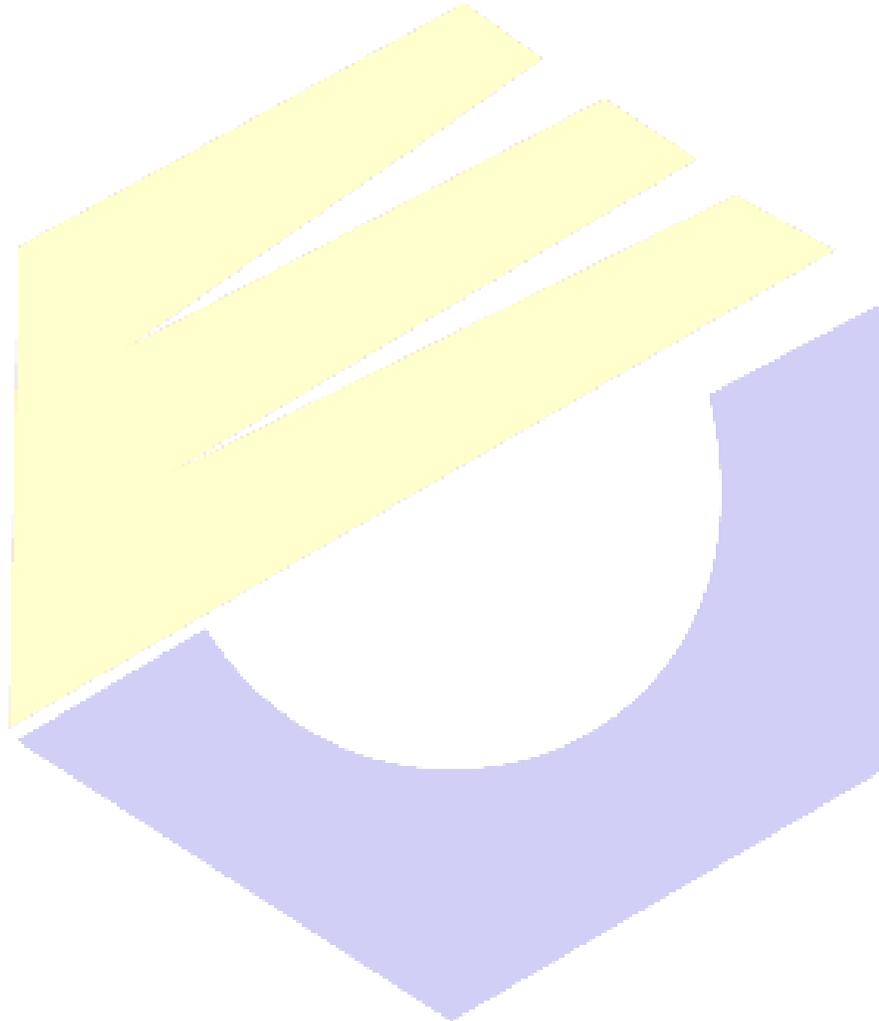
Jurnal Energi	Volume 12 Nomor 2	November 2023	ISSN: 2089-2527
---------------	-------------------	---------------	-----------------

David, A.Spera. 2002. Wind Turbine Technology Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, Second Edition, ASME Press. New York.

Adeseye Adeyeye, Kehinde. 2020. The Effect of the Number of Blades on the Efficiency of A Wind Turbine. IOP Publish

Wei Tong. 2010. Wind Power Generation and Wind Turbine Design. Kollmorgen Corp. USA.

Coyle, Franklin. 2016. Introduction to Wind Power. The English Press. New York.



POLBAN