



**PENGARUH PEMASANGAN DEFLEKTOR DENGAN VARIASI POSISI  
SUDUT PADA ROTOR TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN  
SAVONIUS**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana strata satu*

*( S-1) Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



**Disusun Oleh :**

**WILDAN CHALIS ALFATONI**

**21801052091**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

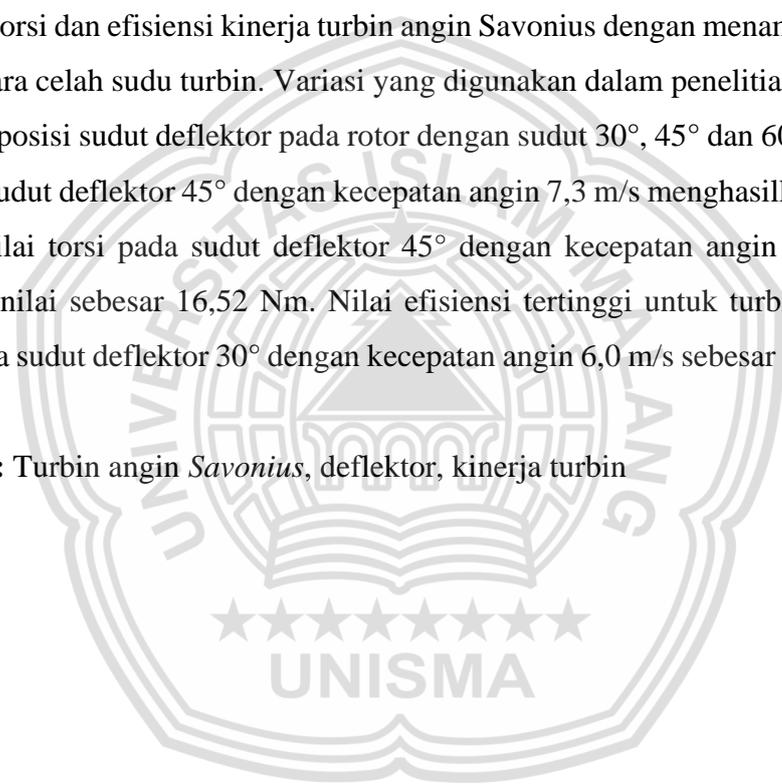
**2023**

## ABSTRAK

**Wildan Chalis Alfatoni, Dosen Pembimbing : Ir. H. Margianto, M.T. dan Nur Robbi, S.T., M.T. 2023.** “Pengaruh Pemasangan Deflektor Dengan Variasi Posisi Sudut Pada Rotor Terhadap Kinerja Turbin Angin *Savonius*”. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

Turbin angin *Savonius* merupakan salah satu jenis turbin angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dan merupakan jenis turbin angin *Vertikal Axis Wind Turbine* (VAWT). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya *output*, torsi dan efisiensi kinerja turbin angin *Savonius* dengan menambahkan deflektor antara celah sudu turbin. Variasi yang digunakan dalam penelitian adalah variasi sudut posisi sudut deflektor pada rotor dengan sudut  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ . Daya output pada sudut deflektor  $45^\circ$  dengan kecepatan angin 7,3 m/s menghasilkan nilai 4,56 watt. Nilai torsi pada sudut deflektor  $45^\circ$  dengan kecepatan angin 7,3 m/s menghasilkan nilai sebesar 16,52 Nm. Nilai efisiensi tertinggi untuk turbin angin *Savonius* pada sudut deflektor  $30^\circ$  dengan kecepatan angin 6,0 m/s sebesar 1,005%.

**Kata Kunci :** Turbin angin *Savonius*, deflektor, kinerja turbin

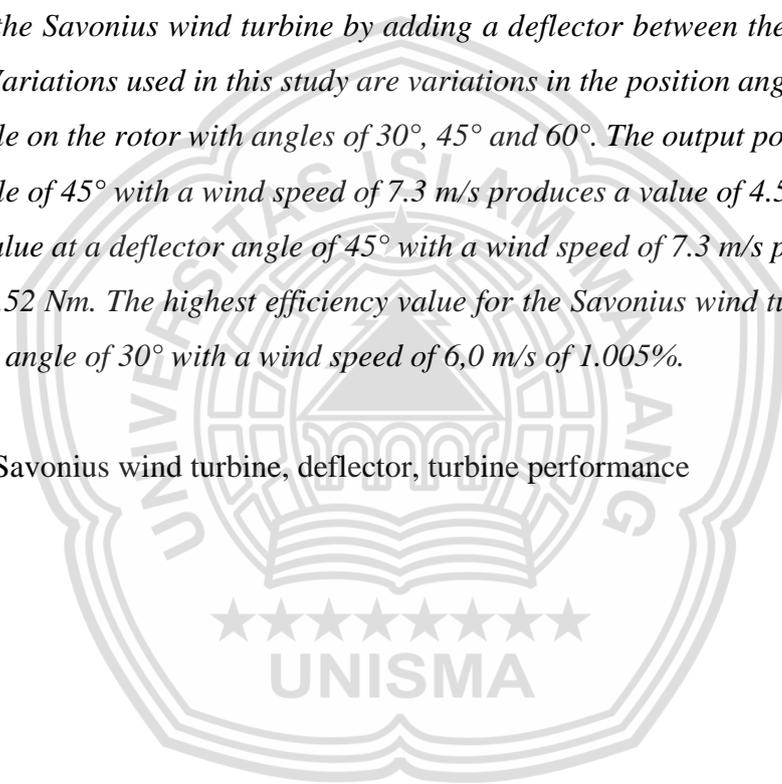


## ABSTRACT

**Wildan Chalis Alfatoni, Advisor : Ir. H. Margianto, M.T. and Nur Robbi, S.T., M.T. 2023.** " Effect of Installing a Deflector With Variations in Angle Position on the Rotor on the Performance of the Savonius Wind Turbine". Thesis, Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic University of Malang.

*The Savonius wind turbine is a type of wind turbine that can be used to generate electricity and is a type of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) wind turbine. This study aims to determine the output power, torque and performance efficiency of the Savonius wind turbine by adding a deflector between the turbine blade gaps. Variations used in this study are variations in the position angle of the deflector angle on the rotor with angles of 30°, 45° and 60°. The output power at a deflector angle of 45° with a wind speed of 7.3 m/s produces a value of 4.56 watts. The torque value at a deflector angle of 45° with a wind speed of 7.3 m/s produces a value of 16.52 Nm. The highest efficiency value for the Savonius wind turbine is at a deflector angle of 30° with a wind speed of 6,0 m/s of 1.005%.*

**Keywords :** Savonius wind turbine, deflector, turbine performance



## MOTTO

*“ Ilmu saat diciptakan oleh Allah diperintahkan untuk mendekat maka mendekat, di perintah untuk menjauh maka menjauh. Sehingga orang yang berilmu pasti tunduk patuh kepada Allah SWT ”*

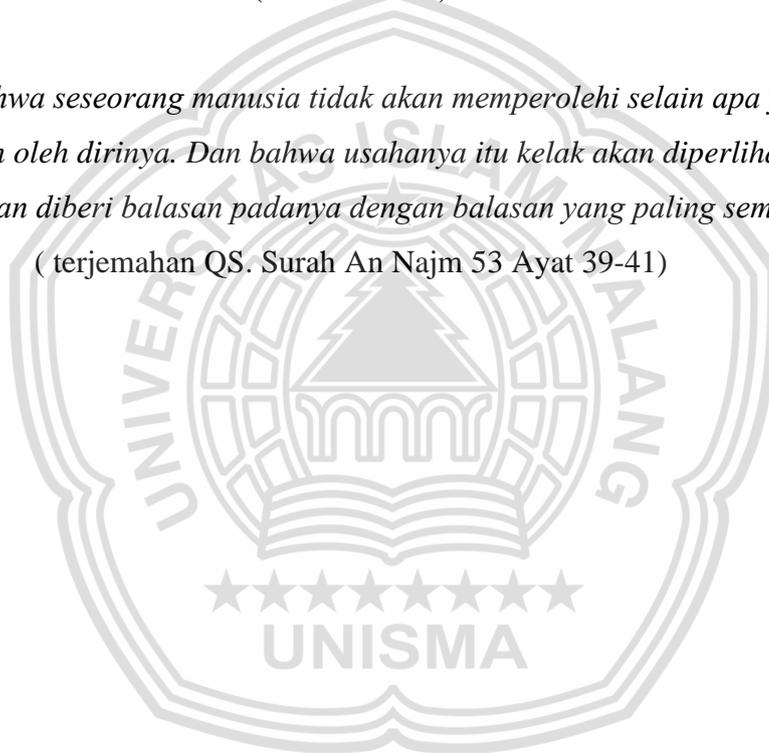
( Al Habib Ahmad Jamal bin Toha Ba’agil )

*“ Bukan ilmu yang seharusnya mendatangimu, tapi kamu yang seharusnya mendatangi ilmu ”*

( Imam Malik )

*“ Dan bahwa seseorang manusia tidak akan memperoleh selain apa yang diusahakan oleh dirinya. Dan bahwa usahanya itu kelak akan diperlihatkan. Kemudian akan diberi balasan padanya dengan balasan yang paling sempurna ”*

( terjemahan QS. Surah An Najm 53 Ayat 39-41)



## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur atas berkat rahmat Allah S.W.T yang telah memberikan ridho, pertolongan, ampunan dosa serta pertolongannya. Rasa syukur telah diberikan kepada saya yang telah dikabulkan doa-doa saya dan doa-doa orang disekitar saya atas kelancaran selama proses penddidikan yang saya tempuh selama ini sehingga dijadikan pribadi yang berilmu, berakhlaqul karimah

Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi besar Rosulallah Muhammad S.A.W yang telah menuntun kita menuju jalan kebaikan menjadikan manusia berakhlaqul karimah dan semoga kita bisa di beri syafaat di hari akhir kelak.

Pertama capaian ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya Ibu Susi Lisnawati dan Bapak Moch. Kamsidi yang telah memberikan saya dukungan materi, motivasi, doa ataupun yang lainnya demi kebahagiaan dan kesuksesan saya di masa depan. Tak lupa Adik saya Nabila dan Zahra yang selalu support saya untuk bisa secepatnya menyelesaikan skripsi saya

Kedua terimakasih juga pada teman seperjuangan skripsi saya Muhammad Syahrul Mubarak, Muhammad Ali Fikri yang selalu memberikan masukan, saran dan motivasi selama ini.

Terima kasih Kepada Bapak Ir. H. Margianto, M.T.. dan Bapak Nur Robbi, S.T., M.T. yang telah membimbing saya dengan sabar, memberikan saran, masukan dan fasilitas agar bisa menyelesaikan penelitian saya.

Terimakasih juga saya ucapkan kepada teman teman saya angkatan teknik mesin 2018 yang berjuang bareng dari maba sampai sekarang.

## RIWAYAT HIDUP

Nama : Wildan Chalis Alfatoni

TTL : Malang, 28 Februari 2000

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Agama : Islam

Pekerjaan : Mahasiswa

Warganegara : Indonesia

E-mail : wildanchalis32@gmail.com

Alamat : Jl. Sebuku 23 No. 43 Bunulrejo Kecamatan Blimbing Kota Malang  
Jawa Timur.



### Riwayat Pendidikan

Jenjang Pendidikan	Nama Sekolah/ Perguruan Tinggi	Bidang Ilmu	Tahun Masuk	Tahun Keluar
SD	SD Negeri Bunulrejo 2	-	2006	2012
SMP	SMP Negeri 20 Malang	-	2012	2015
SMA	SMK Negeri 4 Malang	Produksi Grafika	2015	2018
S-1	Universitas Islam Malang	Teknik Mesin	2018	2023



## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah kehadiran Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Pemasangan Deflektor Dengan Variasi Posisi Sudut Pada Rotor Terhadap Kinerja Turbin Angin *Savonius*”. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Keluarga saya khususnya kedua orang tua yang telah memberikan kesempatan agar bisa melanjutkan studi ke perguruan tinggi dan selalu memberi support yang tak terbatas.
2. Bapak Prof. Dr. H. Maskuri Bakri, M.Si. selaku Rektor Universitas Islam Malang.
3. Bapak Ir. H. Margianto, M.T. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan arahan, saran, motivasi kepada penulis.
4. Bapak Nur Robbi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan motivasi, bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis.
5. Dosen Teknik Mesin Bapak Nur Robbi S.T., M.T., Bapak Ir. Margianto, M.T. Bapak Mochammad Basjir, S.T., M.T., Bapak Cepi Yazirin, S.Pd., M.T., Ibu Ir. Hj. Unung Lesmanah, M.T. Bapak Artono Raharjo, S.T., M.T. Bapak Ir Abdul Wahab dan Ibu Ismi Choirotin, S.T., M.T., M.Sc. Serta ibu Dr. Ena Marlina, S.T., M.T.
6. Teman Teman saya Syahrul, Fikri yang telah menyediakan tempat, fasilitas, dukungan, motivasi untuk membantu menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-Teman Cah Remek Syahrul, Faisal, Eko, Bonor, Bibit, Deny, Azmi, Dimas, Adji, Fikri dll yang telah memberi dukungan, motivasi dan membantu menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-Teman Satu Penelitian Syahrul, Fikri yang sudah memberi dukungan, motivasi dan membantu menyelesaikan skripsi ini.
9. Kepada pemilik NIM 180242610003 yang sudah memberi dukungan dan motivasi dalam proses menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-Teman Teknik Mesin Angkatan 2018 yang sudah memberi dukungan, motivasi dan membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena



itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan karya tulis ilmiah ini sehingga dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 27 Maret 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
SURAT PENYATAAN .....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
MOTTO .....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
RIWAYAT HIDUP.....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR SIMBOL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Energi Angin .....	7
2.2.1 Definisi Angin.....	7
2.2.2 Potensi Energi Angin .....	7
2.3 Turbin Angin .....	10
2.4 Klasifikasi Turbin Angin.....	11
2.4.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) .....	11
2.4.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) .....	12
2.5 Turbin Angin <i>Savonius</i> .....	12
2.6 Karakteristik Aerodinamika Turbin <i>Savonius</i> .....	13

2.6.1	Rotor <i>Savonius</i> Dua Bucket .....	13
2.6.2	Rotor <i>Savonius</i> Multi Bucket .....	15
2.7	Teori Momentum Elementer Betz .....	16
2.8	Sistem Konversi Energi Angin .....	17
2.9	Faktor yang berpengaruh terhadap performa kinerja turbin angin .....	19
2.9.1	Desain dan Spesifikasi Rotor .....	19
2.10	Parameter Performa Turbin .....	19
2.10.1	Daya <i>output</i> .....	20
2.10.2	Torsi .....	22
2.10.3	Efisiensi .....	23
2.10.4	Hipotesa .....	23
BAB III METODE PENELITIAN .....		25
3.1	Metode Penelitian .....	25
3.2	Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	25
3.3	Variabel Penelitian .....	25
3.4	Instalasi Penelitian .....	26
3.5	Alat dan Bahan Penelitian .....	28
3.5.1	Alat Penelitian .....	28
3.5.2	Bahan Penelitian .....	31
3.6	Prosedur Penelitian .....	33
3.6.1	Perancangan Desain Komponen .....	33
3.6.2	Metode Pengambilan Data .....	33
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		37
4.1	Data Hasil Penelitian .....	37
4.2	Pengolahan Data .....	37
4.3	Pembahasan .....	52
4.3.1	Daya <i>Output</i> .....	52
4.3.2	Torsi .....	53
4.3.3	Efisiensi .....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		57
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	57



DAFTAR PUSTAKA .....	58
LAMPIRAN .....	61



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Bentuk-Bentuk Turbin Angin Horizontal .....	11
Gambar 2. 2 Bentuk-Bentuk Turbin Angin Vertikal .....	12
Gambar 2. 3 Rotor Savonius Dua Bucket Tanpa Overlap .....	14
Gambar 2. 4 Rotor <i>Savonius</i> Dua Bucket Dengan Overlap .....	14
Gambar 2. 5 Rotor Savonius Dua Bucket “L” Dengan Overlap .....	15
Gambar 2. 6 Rotor Savonius Multi Bucket .....	15
Gambar 2. 7 Model Aliran dari Teori Momentum Betz .....	16
Gambar 2. 8 Koefisien Daya Berbanding Dengan Rasio .....	17
Gambar 2. 9 Diagram Skematik Turbin Angin Rotor Savonius .....	18
Gambar 3. 1 Bentuk-Bentuk Turbin Angin Horizontal .....	25
Gambar 3. 2 Desain Turbin Angin Savonius .....	27
Gambar 3. 3 Desain Turbin Angin Savonius .....	28
Gambar 3. 4 Avometer .....	29
Gambar 3. 5 Tachometer .....	29
Gambar 3. 6 Anemometer .....	29
Gambar 3. 7 Stopwatch .....	30
Gambar 3. 8 Kabel .....	30
Gambar 3. 9 dinamo .....	30
Gambar 3. 10 Baut dan Mur .....	31
Gambar 3. 11 Besi Balok .....	31
Gambar 3. 12 Drum Plastik HDPE .....	31
Gambar 3. 13 Pulley .....	32
Gambar 3. 14 V-belt .....	32
Gambar 3. 15 Bearing .....	32
Gambar 3. 16 Plat .....	33
Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut deflektor terhadap Nilai Daya Output .....	52
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut Deflektor Terhadap .....	53
Gambar 4. 3 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut Deflektor Terhadap Nilai Efisiensi .....	55

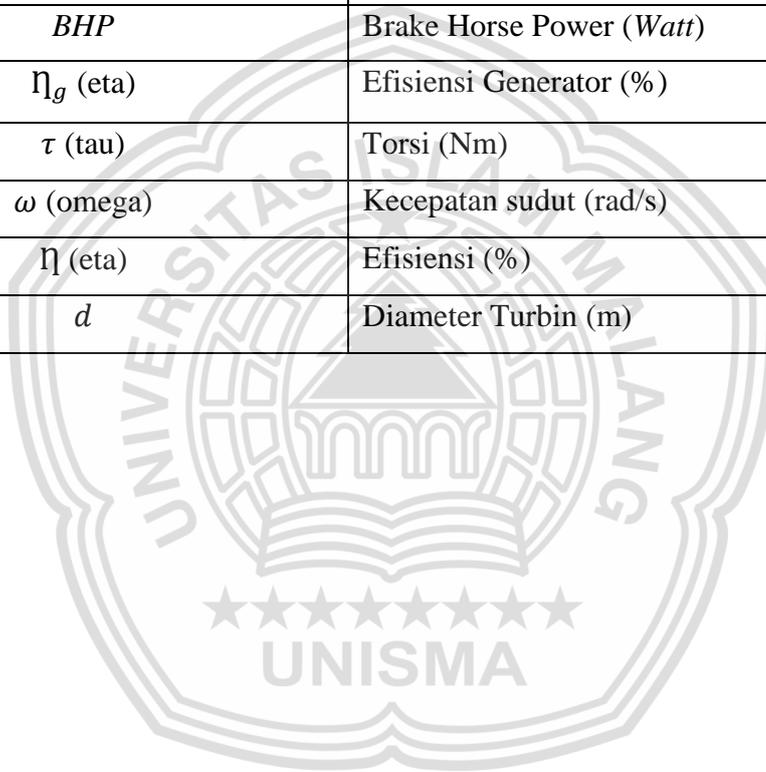
## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Potensi Tenaga Angin .....	9
Tabel 2.2 Data Kecepatan Angin .....	10
Tabel 4. 1 Data Hasil Penelitian pada Sudut Deflektor 30° .....	37
Tabel 4. 2 Data Hasil Penelitian pada Sudut Deflektor 45° .....	37
Tabel 4. 3 Data Hasil Penelitian pada Sudut Deflektor 60° .....	37



## DAFTAR SIMBOL

$P_{out}$	Daya <i>Output</i> ( <i>Watt</i> )
V	Tegangan Listrik ( <i>Volt</i> )
I	Arus Listrik ( <i>Ampere</i> )
$P_{in}$	Daya <i>input</i> ( <i>watt</i> )
q	Kepadatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )
A	Luas daerah sapuan sudu / luas permukaan rotor ( $\text{m}^2$ )
v	Kecepatan angin ( $\text{m/s}$ )
<i>BHP</i>	Brake Horse Power ( <i>Watt</i> )
$\eta_g$ (eta)	Efisiensi Generator (%)
$\tau$ (tau)	Torsi (Nm)
$\omega$ (omega)	Kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )
$\eta$ (eta)	Efisiensi (%)
d	Diameter Turbin (m)



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daya energi di dunia ini sedang terjadi penurunan, khususnya energi fosil. Kemudian permintaan energi semakin besar karena laju pembangunan penduduk. Jika tidak ditemukan energi alternatif baru akan terjadi darurat energi. Beberapa tempat di Indonesia sekarang menghadapi keadaan darurat energi yang serius, pemadaman yang tak henti-hentinya khususnya di luar pulau Jawa. (Prabowo & Siregar, 2018)

Untuk mengatasi gangguan terhadap energi fosil, perlu dilakukan konversi, konservasi, dan pengembangan sumber energi terbarukan. Perkembangan ini harus memperhatikan tiga hal yaitu: energi, ekonomi dan ekologi. Sehingga, diperlukan pengembangan energi dalam jumlah besar dengan biaya dan dampak rendah terhadap lingkungan. Kurniawan (2016) menyimpulkan bahwa salah satu kegunaan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar yang dapat dikembangkan adalah energi angin.

Pada kemajuan energi di masa depan seharusnya tidak berbahaya bagi ekosistem. Diantaranya menggabungkan energi angin, potensi angin yang dapat diubah atau dipindahkan ke dalam berbagai jenis energi seperti daya. Dalam kerangka ada dua kesulitan yang signifikan dalam mengubah energi angin, khususnya produktivitas energi, dan perubahan kecepatan arah angin. (Prabowo & Siregar, 2018)

Indonesia secara geografis dilintasi garis khatulistiwa yang memiliki iklim tropis. Energi angin kemungkinan ada di Indonesia mengingat informasi kecepatan angin di berbagai daerah. Aset energi angin Indonesia berkisar antara 3 m/s-6 m/s pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah. Salah satu alat yang dapat dimanfaatkan sebagai tenaga yang ramah lingkungan dengan menggunakan angin adalah turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Turbin angin *savonius* merupakan salah satu jenis turbin angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dan merupakan jenis turbin angin *Vertikal Axis Wind Turbine* (VAWT). Tawakal & Siregar (2020) menyatakan bahwa untuk

mencapai performa turbin yang lebih baik, beberapa perubahan dilakukan pada turbin angin *Savonius*. Beberapa ilmuwan telah berusaha untuk meningkatkan efektivitas turbin *savonius* dengan berbagai upaya yang dilakukan.

Penelitian tentang turbin angin *savonius* sangat dibutuhkan usaha untuk memperoleh efisiensi yang maksimal. Penambahan deflektor pada rotor memiliki pengaruh yang besar karena peningkatan kecepatan angin mempengaruhi faktor daya dan koefisien torsi yang dihasilkan oleh turbin. Berdasarkan penjelasan diatas peneliti akan melakukan penelitian yang berjudul **“Pengaruh Pemasangan Deflektor Dengan Variasi Posisi Sudut Pada Rotor Terhadap Kinerja Turbin Angin *Savonius*”**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi pemasangan deflektor terhadap nilai daya *output* yang dihasilkan ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pemasangan deflektor terhadap nilai torsi yang dihasilkan ?
3. Bagaimana pengaruh variasi pemasangan deflektor terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan ?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, supaya pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah yaitu :

1. Objek penelitian adalah hasil rancangan turbin angin *savonius* dengan penambahan dua deflektor pada sudu bawah.
2. Penelitian ini hanya fokus dalam kinerja penambahan deflektor pada turbin angin *savonius*. Deflektor mempunyai variasi sudut 30°, 45°, 60°.
3. Turbin mempunyai tinggi 80 cm dan diameter 80 cm.
4. Pengambilan data dengan kecepatan sumber angin alami yang diambil di Paciran Lamongan.
5. Penelitian ini menggunakan perbandingan 1:4 antara diameter pulley generator dan pulley turbin.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Peneliti yang diusulkan dalam skripsi ini memiliki beberapa tujuan diantaranya yaitu :

1. Mengetahui seberapa besar torsi yang dihasilkan turbin angin *savonius* berdasarkan kecepatan angin dan sudut deflektor yang terukur di persawahan Paciran Lamongan.
2. Mengetahui seberapa besar daya *output* yang dihasilkan turbin angin *savonius* berdasarkan kecepatan angin dan sudut deflektor yang terukur di persawahan Paciran Lamongan.
3. Mengetahui seberapa besar efisiensi yang dihasilkan turbin angin *savonius* berdasarkan kecepatan angin dan sudut deflektor yang terukur di persawahan Paciran Lamongan.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan oleh penelitian ini :

1. Memberikan informasi tentang penggunaan energi alternatif yaitu energi angin dalam memenuhi kebutuhan masyarakat.
2. Memberikan pengetahuan dasar tentang alat konversi energi angin yaitu Turbin angin Savoius.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penyajian, penyusunan dan pembahasan, maka penulisan laporan skripsi ini tersusun atas :

**BAB 1 : PENDAHULUAN**

Berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan, Manfaat dan Sistematika Penulisan.

**BAB 2 : LANDASAN TEORI**

Berisi tentang teori-teori tentang yang berhubungan dengan Turbin Angin.

**BAB 3 : METODE PENELITIAN**

Berisi tentang tentang tempat dan waktu penelitian, tahap

penelitian meliputi pengambilan data, pengolahan dan analisa data, menentukan daya *output*, torsi, efisiensi yang dikeluarkan.

**BAB 4 : HASIL DAN ANALISA DATA**

Berisikan hasil dari penelitian Turbin angin *Savonius*.

**BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan kesimpulan tentang Turbin angin *Savonius* serta saran-saran.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Irawan & Siregar (2020) meneliti tentang Turbin Angin Swirling *Savonius* Dengan Deflektor Bergerak Terhadap Kinerja Di Terowongan Angin. Metode yang digunakan adalah eksperimen deskriptif pada turbin angin dengan menambahkan deflektor dan memodifikasi bilah turbin dengan memberi overlap pada bilah. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan daya dan Coefficient Power turbin yang dihasilkan. Penelitian menunjukkan bahwa daya terbaik diperoleh pada penambahan deflektor bergerak 16 buah dengan daya sebesar 2.2852 watt dengan beban 4200 gram. CP terbaik diperoleh dengan penambahan deflektor bergerak 16 buah dengan CP sebesar 11.9365 % dengan beban 4200 gram. Untuk karakteristik jumlah total cp terbaik antara sisi advancing blade dengan returning blade didapatkan pada variasi deflektor 16 sebesar 9.78 dengan total advancing blade 45.98 dan total returning blade -36.21.

Penelitian Irani (2020) meneliti tentang Kinerja Variasi Sudut Guide Vane Terhadap Performa Turbin Angin *Savonius* Tipe U. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan penambahan guide vane terdiri dari 3 variasi sudut, diantaranya 30°, 60°, dan 80° dengan variasi jarak 150 cm, 180 cm, dan 200 cm dari sumber. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan guide vane atau deflektor terhadap kinerja kincir angin *Savonius* Tipe U. Penelitian menunjukkan bahwa hasil data yang maksimal pada turbin angin *Savonius* Tipe U pada variasi penambahan guide vane sudut pitch 40° dengan jarak 150 cm, angin rata rata kecepatan 7,6 m/s sampai 7,9m/s dan putaran turbin 218,1 rpm, daya yang dihasilkan 61,70 watt dengan Cp 0,88%, torsi 3,46 Nm menggunakan beban 12 watt Lampu LED.

Penelitian Victor (2020) meneliti tentang Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Deflektor Terhadap Performa Turbin Air Poros Vertikal Tipe *Savonius* Tiga Sudu. Metode yang digunakan eksperimen dengan penambahan deflektor terdiri dari 3 variasi sudut yaitu 20°, 30°, dan 40°. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut deflektor terhadap performa yang dihasilkan turbin

Air *Savonius*. Penelitian menunjukkan performa yang dihasilkan turbin Air *Savonius* tiga sudu dengan menggunakan deflektor daripada performa yang dihasilkan tanpa menggunakan deflektor. Penggunaan deflektor  $40^\circ$  adalah paling baik dengan nilai daya 0,787 watt, putaran turbin 136,8 rpm, dan efisiensi mekanis 4,7%.

Experimental Investigation Of The Wind Deflector Effect On *Savonius-Darrieus* Turbine Performance. Metode yang dilakukan Klistafani (2021) menggunakan eksperimen kombinasi dari inovasi teknologi hybrid turbin dan wind deflektor yang berharap berdampak positif terhadap peningkatan angin performa turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa yang dihasilkan turbin angin *Savonius-Darrieus* Hybrid tanpa menggunakan wind deflektor dan penambahan wind deflektor. Hasil penelitian ini menunjukkan penambahan wind deflektor pada turbin hybrid *Savonius-Darrieus* mampu untuk menghasilkan nilai putaran rotor turbin lebih besar dibandingkan dengan turbin hybrid tanpa wind deflektor. Persentase kenaikan performa turbin akibat penambahan wind deflektor sangat bergantung pada kecepatan angin masuk diterima. Peningkatan performa tertinggi diperoleh sebesar 59,62% pada kecepatan angin 3m/s saat turbin beroperasi.

Analisis Kinerja Turbin Angin *Savonius* Overlap Bertingkat Dengan Penambahan Deflektor Pada Rotor Bawah Dan Variasi Sudut Efektif Pada Rotor Atas. Metode yang dilakukan Hidayat (2019) menggunakan metode kuantitatif dengan metode *true-experimental* dengan menambahkan deflector antara celah sudu luar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memperoleh nilai *output* tenaga turbin angin *Savonius* bertingkat dengan deflektor pada rotor bawah dan variasi sudut efektif rotor atas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada deflektor  $20^\circ$  menunjukkan efisiensi tertinggi dari kinerja turbin angin *Savonius* bertingkat dengan deflektor skala laboratorium. Besar nilai efisiensi yaitu 13,266% pada kecepatan angin 5m/s dan posisi sudut  $40^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ .

## 2.2 Energi Angin

### 2.2.1 Definisi Angin

Energi angin adalah energi yang berasal dari alam, angin ini disebabkan oleh perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah panas, udara menjadi panas, memanjang dan menjadi lebih ringan, naik dan bergerak ke daerah dingin, udara menjadi dingin dan jatuh. Akibatnya ada jalur udara. Perkembangan ini dikenal sebagai angin. Saat ini, energi angin hanya memenuhi sebagian kecil dari kebutuhan energi. Dengan cara ini mendorong dalam inovasi pemanfaatan energi angin semakin berkembang dan biaya keperluan semakin murah. Perpindahan udara panas naik dan turunnya udara dingin adalah karena konveksi. Kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi adalah pada kecepatan 1,5 ~ 3,3 m/s, dengan pembatasan tersebut diperlukan upaya yang serius agar energi angin di Indonesia yang didelegasikan angin kecepatan rendah dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik. (Suprpto, 2016)

### 2.2.2 Potensi Energi Angin

Potensi energi angin Indonesia teridentifikasi sekitar 978 MW. Pada beberapa lokasi di wilayah Indonesia memiliki melakukan beberapa kali penelitian dan pengukuran potensi energi angin baik dengan cara instansi pemerintah seperti (LAPAN, BMKG). Potensi tenaga angin di darat daya terbatas, dengan kecepatan angin rata-rata antara 3 m/s dan 7 m/s.

Pada kecepatan 5 sampai 20 m/s, teknologi turbin angin skala besar dapat berfungsi secara efektif. Kecepatan angin kurang dari 5 m/s lebih cocok untuk konversi menjadi energi mekanik atau generator tenaga angin skala kecil; akibatnya, di daerah dengan angin kencang, kecepatan angin kurang dari 5 m/s lebih cocok untuk penggunaan turbin angin sumbu vertikal untuk menghasilkan listrik yang baik. (Prasetyo, 2019)

Indonesia memiliki potensi energi angin sebesar 978 MW. Wilayah Sidrap dan Jeneponto di Sulawesi Selatan, keduanya di Indonesia, berpotensi menghasilkan lebih dari 200 MW listrik dari angin. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT Angin) saat ini beroperasi di kedua wilayah tersebut. Kapasitas 75 MW di Sidrap dan 72 MW di Jeneponto. Wilayah lain

selain Sidrap dan Jeneponto memiliki potensi sumber energi angin yang cukup besar. Berdasarkan analisis dan pemetaan potensi energi angin yang telah dilakukan, daerah-daerah berikut memiliki banyak potensi: Sukabumi 170 MW, Garut 150 MW, Lebak, Pandeglang, dan Lombok masing-masing 150 MW, dan Lombok 100 MW.

Gunung Kidul (10 megawatt) dan Bantul (50 megawatt) di DIY Yogyakarta, Belitung Timur (10 megawatt), Tanah Laut (90 megawatt), Selayar (5 megawatt), Buton (15 megawatt), Kupang (20 megawatt), Tengah Selatan Timur (20 megawatt), dan Sumba Timur (3 megawatt) di Nusa Tenggara Timur, Kei Kecil (5 megawatt), dan Saumlaki (5 megawatt) di Ambon. Ada beberapa lokasi potensial di lokasi ini, dan pengembang listrik swasta sedang mengembangkannya. (Prasetyo, 2019)

Indonesia terletak di daerah khatulistiwa, secara alami memiliki potensi energi angin sedang. Namun, karena efek nozel, penyempitan antara dua pulau, atau daerah lereng gunung di antara dua gunung yang berdekatan, ada wilayah geografis yang merupakan daerah angin.

Potensi energi angin Indonesia diperkirakan sekitar 978 MW. Berikut adalah hasil penelitian dan pengukuran potensi energi angin yang dilakukan di sejumlah lokasi di wilayah Indonesia oleh lembaga pemerintah non departemen (LAPAN, BMKG), pemerintah daerah, dan lembaga/perusahaan asing.

- Survei dan pengukuran langsung di lokasi :
  - LAPAN : > 120 lokasi di berbagai wilayah Indonesia
  - Wind Guard : 12 Lokasi (NTT)
  - Windrock Int : 20 Lokasi (NTT)
  - Soluziona : 3 lokasi (Sulsel dan Jateng)
  - Npsa : 2 Lokasi (Sumut)
- Data sekunder dari : BMKG, WMO, NCDC, dan 3 TIER
- Peta potensi energi angin NTT : Sumba dan Timor (NREL)

Kekuatan potensi tenaga angin di darat terbatas, dengan kecepatan angin rata-rata 3 sampai 7 m/s. Tabel dibawah ini menunjukkan potensi energi angin di Indonesia. (Prasetyo, 2019)

Tabel 2. 1 Potensi Tenaga Angin

Kelas	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m <sup>2</sup> )	Jumlah Lokasi	Daerah/Wilayah
Kurang Potential	<3,0	< 45	66	Sumbar, Bengkulu, Jambi, Jateng, NTB, Kalsel, NTT, Sultra, Sulut, Maluku
Potensi Rendah (Skala Kecil)	3,0 – 4,0	< 75	34	Lampung, DIY, Bali, Jatim, Jateng, NTB, Kalsel, NTT, Sulut, Sulteng, Sumut, Sulbar
Potensi Menengah (Skala Menengah)	4,1 - 5,0	75 – 100	34	Bengkulu, Banten, DKI, Jateng, Jatim, NTB, NTT, Sultra, Sulteng, Gorontalo, Sulsel
Potensi Tinggi (Skala Besar)	>5,0	> 150	19	DIY, Jateng, Sulsel, NTB, NTT, Sulut

Sumber : (Prasetyo, 2019)

Tabel 2.2 Data Kecepatan Angin



ID WMO : 06939  
 Nama Stasiun : Stasiun Meteorologi Tuban  
 Lintang : -6.82290  
 Bujur : 111.99177  
 Elevasi : 5

Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg	ddd_car
15-05-2023	4	70	2	S
16-05-2023	3	190	2	SW
17-05-2023	3	60	2	S
18-05-2023	5	50	2	C
19-05-2023	3	60	1	C
20-05-2023	3	50	1	C
21-05-2023	5	70	2	E
22-05-2023	4	50	2	SW
23-05-2023	6	90	2	C
24-05-2023	4	60	2	C
25-05-2023	5	70	2	E
26-05-2023	4	80	2	E
27-05-2023	3	60	2	SW
28-05-2023	5	70	2	NE
29-05-2023	4	80	2	C
30-05-2023	3	140	2	E
31-05-2023	5	190	2	S
01-06-2023	5	70	2	E
02-06-2023	4	70	2	NE
03-06-2023	6	50	2	C
04-06-2023	4	110	1	C
05-06-2023	5	60	2	SW
06-06-2023	5	80	2	SW
07-06-2023	8	90	2	C
08-06-2023	5	60	2	NE
09-06-2023	4	220	2	S
10-06-2023	4	50	2	SW
11-06-2023	4	90	2	S
12-06-2023	6	60	2	E
13-06-2023	5	60	2	E
14-06-2023	5	70	1	C
15-06-2023	4	100	2	E

Keterangan :  
 8888: data tidak terukur  
 9999: Tidak Ada Data (tidak dilakukan pengukuran)  
 ff\_x: Kecepatan angin maksimum (m/s)  
 ddd\_x: Arah angin saat kecepatan maksimum (")  
 ff\_avg: Kecepatan angin rata-rata (m/s)  
 ddd\_car: Arah angin terbanyak (")

Sumber : BMKG Tuban

### 2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah peralatan yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi yang dapat digunakan untuk energi mekanik, listrik, dan panas. Tujuan utama energi angin adalah untuk menghasilkan tenaga mekanik dan listrik yang murah tanpa mencemari udara seperti sumber-sumber alam melakukannya. Tujuan dari generator tenaga angin adalah untuk mengubah

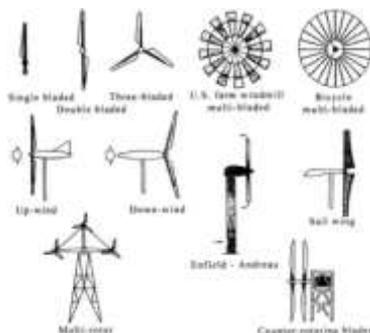
energi angin menjadi listrik, bentuk yang sederhana dan berguna. Desain dasar panggilan untuk konversi energi dengan biaya rendah dan efisiensi tinggi. Energi kinetik angin diubah menjadi energi mekanik ketika melewati bilah turbin angin, memungkinkannya memutar poros. Energi mekanik ini kemudian ditransmisikan ke generator melalui gearbox, memungkinkan generator untuk mengubah energi mekanik menjadi energi mekanik dan energi listrik. (Fauzi, 2018)

## 2.4 Klasifikasi Turbin Angin

Berdasarkan sumbu putar rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dan turbin angin sumbu horizontal (HAWT). Sedangkan jika dilihat dari fungsi aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe drag dimana memanfaatkan gaya hambatan sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe lift yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

### 2.4.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin dengan sumbu horizontal memiliki sudu-sudu yang berputar pada bidang vertikal seperti baling-baling pesawat terbang. Turbin angin biasanya Blade dengan bentuk penampang khusus di mana aliran udara di satu sisi dapat bergerak lebih cepat daripada aliran udara di sisi lain berangin melewatinya. Fenomena ini menciptakan area bertekanan rendah di belakang blade dan area bertekanan tinggi di depan blade. Perbedaan tekanan ini menciptakan gaya yang memutar sudu. (Daryanto, 2007)



Gambar 2. 1 Bentuk-Bentuk Turbin Angin Horizontal

Sumber : (Tuapetel *et al.*, 2019)

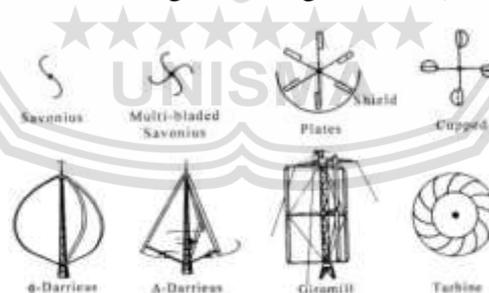
Turbin angin jenis ini adalah turbin angin yang paling banyak digunakan sekarang. Terdapat sebuah Menara Kipas yang berfungsi sebagai pemutar menghadap arah angin. Kebanyakan turbin angin jenis ini dibuat dengan dua atau tiga bilah kipas Walaupun terdapat juga turbin dengan bilah kipas kurang atau lebih yang disebut di atas. (Hasibuan et al., 2018)

Kelebihan dan kekurangan dari turbin angin horizontal, kelebihanannya yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan cut-in wind speed rendah dan kekurangan yaitu jenis turbin angin ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin untuk membantu proses kerja dari Horizontal wind turbin.

#### 2.4.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama dengan grup horizontal. Namun, bilahnya berputar di bidang sejajar dengan tanah, seperti mesin kocokan telur. (Daryanto, 2007)

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros rotor utama yang disusun secara vertikal. Keuntungan utama dari penyusunan turbin ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke arah angin agar efektif. Keuntungan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu memanfaatkan angin dari segala arah. (Idris et al., 2020)



Gambar 2. 2 Bentuk-Bentuk Turbin Angin Vertikal

Sumber : (Tuapetel et al., 2019)

#### 2.5 Turbin Angin Savonius

Peluncuran turbin angin *Savonius* pertama ditemukan oleh seorang insinyur asal Finlandia bernama Sigurd J. *Savonius* pada tahun 1922. Turbin

angin *Savonius* merupakan turbin angin dengan bentuk dan struktur yang sangat sederhana, sehingga proses pembuatannya tidak memerlukan biaya yang mahal. Turbin ini memiliki rancangan dua hingga tiga sudu, terlihat seperti huruf S jika dilihat dari atas. Design turbin angin vertikal jenis *savonius* dirancang untuk penggunaannya lebih difokuskan pada daerah yang memiliki kecepatan anginnya kecil. Selain itu, turbin *Savonius* tidak perlu menyesuaikan arah hanya karena perubahan arah angin. Kecepatan turbin *Savonius* memiliki putaran yang rendah torsi yang dihasilkan tinggi, jadi tidak diperlukan energi awal untuk memutar rotor. (Pramasetya & Dewantara, 2022)

Pada dasarnya rotor turbin angin dialiri tenaga dari angin membuatnya lebih pelan dan menghasilkan listrik. Hal ini dapat dilihat dari gaya yang diberikan oleh angin pada turbin. Benda yang bergerak ke arah angin menciptakan gaya yang disebut "Drag". (Hasibuan et al., 2018)

Turbin angin *Savonius* bekerja dengan mengubah energi angin menjadi energi mekanik dalam bentuk gaya dorong (drag force). Beberapa sudu turbin angin menarik energi angin dan beberapa sudu lainnya melawan angin. Sudu yang menarik energi angin disebut downwind sedangkan yang melawan angin disebut upwind. Sudu upwind berfungsi dapat mengurangi kecepatan rotor. Besarnya torsi pada rotor dan kecepatan rotor (rpm) ditentukan oleh perbedaan antara drag force sudu upwind dengan sudu downwind. (Hasibuan et al., 2018)

## 2.6 Karakteristik Aerodinamika Turbin *Savonius*

Penelitian mengenai *savonius* banyak dilakukan secara teoritis dan eksperimen. Beberapa analisa hanya mampu menyimpulkan efisiensi sudu Secara umum dan tidak secara spesifik. Ada beberapa tulisan yang menggunakan simulasi numerik kontinuitas. Hanya saja penelitian mendalam mengenai efek aliran dan korelasinya terhadap jumlah sudu, faktor kerenggangan antar sudu, faktor kelengkungan sudu dan sebagainya belum banyak yang mengupasnya (Saragi et al., 2021).

### 2.6.1 Rotor *Savonius* Dua Bucket

Sumber energi kinetik angin dihasilkan dari gaya hambat (drag) yang digunakan untuk memutar poros turbin yang dilalui angin pada bilah sudu

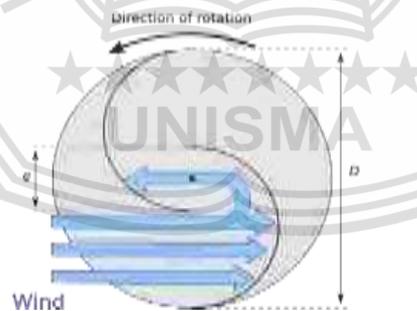
turbin, hal ini sesuai dasar dari prinsip aerodinamis. Bentuk permukaan yang cekung pada sisi bilah sudu turbin akan menghasilkan gaya hambat (drag) yang lebih besar dari sisi cembung bilah sudu. Pemanfaatan gaya hambat (drag) pada turbin yang dihasilkan oleh energi angin, mempunyai efisiensi yang terbatas karena kecepatan putar sudu turbin tidak akan lebih besar dari kecepatan angin yang melaluinya. Penggunaan dari rotor *savonius* dua bucket memiliki 3 variasi, yaitu :



Gambar 2. 3 Rotor *Savonius* Dua Bucket Tanpa Overlap

Sumber : (Saragi *et al.*, 2021)

Variasi *savonius* dua bucket tanpa overlap memiliki bentuk yang tidak meliki jarak celah antara kedua bucketnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Posisi poros yang melekat langsung dengan kedua bucketnya menyebabkan variasi ini memiliki kekuatan yang tinggi namun memiliki efisiensi yang rendah dibandingkan variasi lainnya



Gambar 2. 4 Rotor *Savonius* Dua Bucket Dengan Overlap

Sumber : (Saragi *et al.*, 2021)

Variasi rotor yang di tunjukkan pada Gambar 2.5 adalah variasi yang paling umum ditemukan. Pada variasi rotor *savonius* ini terdapat celah antara bucket yang menyebabkan putaran energi kinetik dari sumber angin dan meminimalkan getaran yang terjadi pada turbin. Efisiensi kerja pada variasi *savonius* dengan overlap lebih tinggi jika dibandingkan dengan variasi *savonius* tanpa overlap.



Gambar 2. 5 Rotor *Savonius* Dua Bucket “L” Dengan Overlap

Sumber : (Saragi *et al.*, 2021)

Pada gambar 2.6 ditunjukkan variasi *savonius* bentuk “L” dengan overlap yang memiliki efisiensi lebih baik dari kedua variasi *savonius* diatas. Kemampuan dalam membelokkan fluida yang dimiliki variasi jenis ini dapat bekerja sama halnya dengan airfoil saat angin menabrak tepi dari rotor yang akan menghasilkan gaya lift. Dengan bentuk “L” seperti pada gambar, perancangan rotor dengan variasi ini sedikit lebih sulit untuk dibentuk karena dibutuhkan bahan logam roll dan membutuhkan mesin press untuk membentuk desain rotor dengan sempurna.

### 2.6.2 Rotor *Savonius* Multi Bucket



Gambar 2. 6 Rotor *Savonius* Multi Bucket

Sumber : (Saragi *et al.*, 2021)

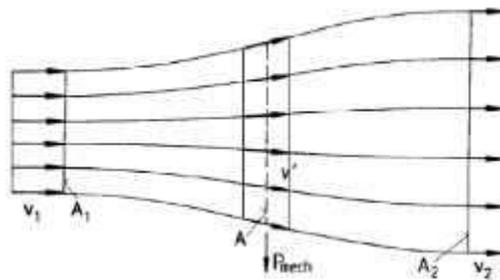
Penggunaan dari variasi rotor dengan 5 variasi bucket atau lebih menghasilkan torsi awal yang lebih besar dibandingkan variasi rotor *savonius* dengan 2 bucket. Dapat disimpulkan bahwa besarnya torsi yang dihasilkan bergantung pada jumlah variasi bucket yang digunakan, dimana semakin

banyak jumlah bucket yang digunakan maka besar torsi awal yang dihasilkan akan lebih besar.

## 2.7 Teori Momentum Elementer Betz

Berdasarkan teori momentum elementer Betz, besarnya energi yang maksimum dapat diserap dari angin hanya 0.59259 dari energi yang tersedia. Hal tersebut dapat dicapai dengan merancang sudu sedemikian rupa serta dengan memperhitungkan kecepatan keliling sudu pada puncak perputaran (perputaran maksimum) sudu sebesar 6 kali kecepatan angin. Pada dasarnya turbin angin untuk generator listrik hanya akan bekerja antara suatu kecepatan angin minimum, yaitu kecepatan start  $C_s$ , dan kecepatan nominalnya  $C_r$ . (Deskabelly & Nuryadi, 2019)

Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya.



Gambar 2. 7 Model Aliran dari Teori Momentum Betz

Model Aliran dari Teori Momentum Betz

Sumber : (Deskabelly & Nuryadi, 2019)

Koefisien daya hasil dari konversi daya angin ke daya mekanis turbin tergantung pada perbandingan dari kecepatan angin sebelum dan sesudah dikonversikan. Jika keterkaitan ini di masukan ke dalam bentuk grafik, secara langsung solusi analitis juga dapat ditemukan dengan mudah. Dapat dilihat bahwa koefisien daya mencapai maksimum pada rasio kecepatan angin tertentu seperti pada terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 8 Koefisien Daya Berbanding Dengan Rasio

Sumber : (Deskabelly & Nuryadi, 2019)

Besarnya efisiensi teoritis atau maksimum dari turbin angin ( $C_p$ ) adalah:

$$C_p = \frac{16}{27} = 0,593$$

ini menunjukkan bahwa turbin angin dapat mengkonversikan tidak lebih dari 60% energi total yang terdapat pada angin. Betz adalah orang pertama yang menemukan nilai ini, untuk itu nilai ini disebut juga dengan Betz faktor.

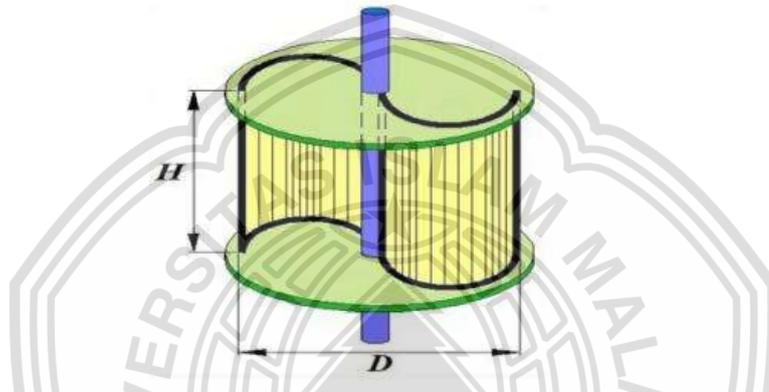
## 2.8 Sistem Konversi Energi Angin

Dalam sistem konversi energi angina tau sering disebut dengan SKEA, merupakan suatu sistem yang didalamnya bertujuan mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Apabila berbicara mengenai sebuah sistem, maka pembahasan energi akan menjadi pencapaian sistem untuk menghasilkan nilai energi per waktu. Sebelum membahas sistem kita mengetahui bahwa energi adalah suatu besaran turunan dengan Nm atau joule. Dalam pengetahuan teknologi dan fisika energi diartikan sebagai kemampuan melakukan kerja, sedangkan hukum energi dalam alam berbunyi energi tidak dapat diciptakan

ataupun dimusnahkan, melainkan energi dapat diubah menjadi suatu bentuk ke bentuk yang lain (Hidayat, 2019).

Perubahan energi memerlukan sebuah sistem atau alat yang dapat menghasilkan nilai sebagai tolak ukur keberhasilan kinerja. Keberhasilan suatu kerja sistem konversi energi angin tersebut dipengaruhi oleh bentuk-bentuk energi lainnya, untuk mengetahui hal tersebut maka dibawah adalah paparannya :

Luas daerah sapuan untuk turbin angin *Savonius* yaitu tinggi rotor dikali dengan diameter rotor dapat dilihat persamaan sebagai berikut :



Gambar 2. 9 Diagram Skematik Turbin Angin Rotor *Savonius*

Sumber : (Alit *et al.*, 2016)

Sehingga dapat ditulis dengan rumus

$$A = 4d.h \text{ (m}^2\text{)}$$

Keterangan :

$A$  : Luas area rotor (m<sup>2</sup>)

$d$  : Diameter rotor (m)

$h$  : Tinggi rotor (m)

Energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) seperti persamaan berikut :

$$P_w = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \text{ (watt)}$$

$P_w$  : Daya angin (watt)

$\rho$  : Densitas udara (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  : Luas sapuan rotor (m<sup>2</sup>)

$v$  : Kecepatan Angin (m/s)

Kepadatan udara bervariasi dengan ketinggian di atas permukaan air laut dan suhu. Nilai untuk standar rata-rata di Indonesia digunakan adalah  $1,2 \text{ kg/m}^3$  (saputra 2016).

## 2.9 Faktor yang berpengaruh terhadap performa kinerja turbin angin

Performa Kinerja Turbin Angin *Savonius* dengan penambahan deflektor mempunyai beberapa factor yang dapat mempengaruhi kinerja turbin angin. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja turbin angin *Savonius* yaitu desain, spesifikasi rotor dan parameter performa turbin.

### 2.9.1 Desain dan Spesifikasi Rotor

#### a. Dimensi Rotor

Dimensi rotor yaitu perbandingan antara tinggi dengan diameter rotor turbin atau sering disebut dengan aspect ratio

#### b. Jumlah Sudu

Jumlah sudu berpengaruh pada perancangan turbin angin, dimana jumlah sudu dapat mempengaruhi torsi turbin angin.

#### c. Bentuk Sudu

Pada penelitian sebelumnya bahwa bentuk sudu mempengaruhi performa turbin. Penelitian turbin *savonius* dapat disimpulkan bahwa sudu U dan L mempunyai efisiensi yang berbeda dalam penerapannya sebagian sudu turbin angin *Savonius*.

#### d. Deflektor

Deflektor pada dasarnya merupakan suatu kesatuan terhadap kincir angin sumbu vertikal layaknya sudu yang menangkap angin dan mengarahkan angin ke sudu rotor, sehingga kincir dapat bergerak. Kelebihan dari deflektor adalah sebagai pengarah angin dan dapat menambah luas penampang sehingga dapat berpengaruh dalam meningkatkan hasil sapuan angin.

### 2.10 Parameter Performa Turbin

Parameter performa turbin unjuk kerja dari turbin angin *Savonius*. Berdasarkan dalam rumusan masalah dan beberapa faktor diatas, maka ada tiga

parameter penting dalam mengetahui performa atau kinerja turbin angin *Savonius* yaitu daya *output*, torsi dan efisiensi. Ketiga parameter tersebut yaitu sebagai berikut :

### 2.10.1 Daya *output*

Daya *output* adalah daya yang keluar dari generator yang dihasilkan dari putaran turbin berupa perkalian antara tegangan dan arus. Besar arus listrik generator pada turbin angin akan menentukan nilai daya *output*. Semakin besar arus yang dihasilkan maka semakin tinggi efisiensi generator turbin. Sebaliknya semakin kecil arus yang dihasilkan oleh generator, semakin efisien yang dihasilkan efisiensi generator turbin. (Priyaningsih, 2017) Daya *output* yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$P_{out} = V \times I \text{ (Watt)} \quad \text{(Priyaningsih, 2017)}$$

Keterangan :

$P_{out}$  = Daya *output* (Watt)

I = Arus listrik (Ampere)

V = Tegangan listrik (Volt)

Pada rangkaian listrik sederhana berlaku hukum Ohm yang menyatakan bahwa beda potensial atau potensial drop akibat suatu beban berbanding lurus dengan arus listrik. Menentukan daya generator dapat menggunakan persamaan dibawah :

$$V = I.R \quad \text{(Ariyanto & Usman, 2020)}$$

Keterangan :

V : Tegangan (Volt)

I : Kuat arus (Ampere)

R : Hambatan (Ohm)

Untuk menentukan arus generator dapat menggunakan persamaan dibawah :

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{(Ariyanto & Usman, 2020)}$$

Keterangan :

I : Arus Generator (Ampere)

P : Daya Generator (Watt)

V : Tegangan Generator(Volt)

Besar daya *input* yang dihasilkan oleh turbin angin ditentukan berdasarkan kecepatan sumber angin di pantai. Semakin besar daya *output* yang dihasilkan semakin besar keluaran efisiensi generator turbin. Sebaliknya semakin kecil daya *output* yang dihasilkan oleh generator maka semakin efisien yang dihasilkan oleh efisiensi generator. (Priyaningsih, 2017) Daya *input* yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$P_{in} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \quad (\text{Priyaningsih, 2017})$$

Keterangan :

$P_{in}$  = Daya *input* (watt)

$\rho$  = Kepadatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

A = Luas daerah sapuan sudu / luas permukaan rotor ( $\text{m}^2$ )

V = Kecepatan angin (m/s)

Luas daerah sapuan sudu / luas permukaan rotor dapat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah

$$A = d \times \text{jumlah sudu} \times h$$

Keterangan :

A : Luas daerah sapuan sudu / luas permukaan rotor ( $\text{m}^2$ )

d : Diameter Rotor (m)

h : Tinggi Rotor (m)

Performa kinerja dari generator sinkron dapat dilihat dengan menghitung efisiensi generator dari perbandingan antara daya *input* dan daya *output* yang dihasilkan oleh generator. Daya masukan generator berupa daya mekanik dan daya keluaran berupa daya listrik. (Refaldi et al., 2022). Seperti halnya mesin-mesin listrik lainnya dengan dapat dituliskan persamaan berikut ini.

$$\eta_g = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (\text{Refaldi et al., 2022})$$

Keterangan :

$\eta_g$  = Efisiensi generator (%)

$P_{out}$  = Daya *output* (Watt)

$P_{in}$  = Daya *input* (watt)

### 2.10.2 Torsi

Torsi adalah ukuran kekuatan atau gaya yang dapat menyebabkan objek berputar sekitar sumbu. Persamaan torsi pada turbin angin. *Savonius* adalah perhitungan BHP (*Brake Horse Power*) yang dibagi dengan kecepatan sudut dari putaran turbin. BHP adalah daya aktual turbin yang di ukur setelah mengalami pembebanan yang disebabkan oleh generator, gearbox, pompa ataupun perangkat tambahan lainnya. Brake yang dimaksud adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memberikan beban pada turbin sehingga putarannya dapat terjaga secara konstan. Nilai BHP dapat dihitung setelah didapatkan harga  $P_g$  dengan rumus sebagai berikut :

$$BHP = \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (Watt)} \quad (\text{Hidayat, 2019})$$

Keterangan :

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

$P_g$  = daya generator (watt)

$\eta_g$  = efisiensi generator (%)

Torsi dapat dihitung setelah mendapatkan nilai BHP, torsi turbin angin *savonius* dapat dicari dengan rumus dibawah

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

$$\text{Dimana } \omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

Keterangan :

$\tau$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

$n$  = Kecepatan putaran (rpm)

Rumus kecepatan sudu dapat dilihat dengan menggunakan rumus dibawah :

$$u = \frac{d \times \omega}{2} \quad (\text{Sahin \& Prawira, 2020})$$

Keterangan :

$d$  : Diameter Turbin

$\omega$  : Kecepatan Sudut (rad/s)

### 2.10.3 Efisiensi

Efisiensi didefinisikan sebagai hasil bagi BHP dan daya *input*, secara matematis ditulis dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{\text{Pin}} \times 100 \quad (\text{Hidayat, 2019})$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi (%)

*Pin* = Daya *input* (watt)

### 2.10.4 Hipotesa

Variasi deflektor pada turbin angin *Savonius* akan mempengaruhi kinerja turbin dalam menghasilkan energi listrik. Deflektor adalah komponen yang digunakan untuk mengarahkan aliran udara ke arah bilah turbin, sehingga meningkatkan performa turbin dengan memaksimalkan pengambilan energi dari angin. Berdasarkan hipotesa ini, kita mengasumsikan bahwa variasi desain atau konfigurasi deflektor pada turbin angin *Savonius* akan memiliki efek signifikan terhadap kinerja turbin. Beberapa hipotesa spesifik yang dapat diuji dalam konteks ini meliputi:

1. Penambahan deflektor dengan sudut yang lebih besar akan meningkatkan efisiensi turbin angin *Savonius*. Ini diasumsikan karena sudut yang lebih besar dapat memaksimalkan pengalihan aliran udara ke arah bilah turbin, meningkatkan potensi energi yang dapat diambil.
2. Variasi ukuran atau panjang deflektor akan mempengaruhi kinerja turbin angin *Savonius*. Ukuran deflektor yang lebih besar dapat memberikan lebih banyak permukaan pengalihan aliran udara, yang dapat meningkatkan efisiensi dan produksi energi turbin.
3. Pola arah angin akan memengaruhi efektivitas deflektor pada turbin angin *Savonius*. Pola arah angin yang konsisten dan searah dengan orientasi deflektor dapat memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan angin yang bervariasi secara arah dan kecepatan.

Untuk menguji hipotesa-hipotesa ini, eksperimen dapat dilakukan dengan menggunakan model turbin angin *Savonius* yang dilengkapi dengan

variasi deflektor. Pengukuran daya *output*, torsi, efisiensi digunakan untuk membandingkan kinerja turbin dalam kondisi yang berbeda.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah true experimental karena dalam desain ini peneliti dapat mengontrol semua variabel luar yang dapat mempengaruhi jalannya eksperimen. Pengaruh dari beberapa perlakuan yang berbeda terhadap suatu percobaan akan dibandingkan sehingga diperoleh suatu kejadian yang saling berhubungan. Dengan cara ini objek penelitian turbin angin *Savonius* akan diuji pengaruh pemasangan deflektor dengan variasi posisi sudut pada rotor turbin angin *Savonius*.

### 3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

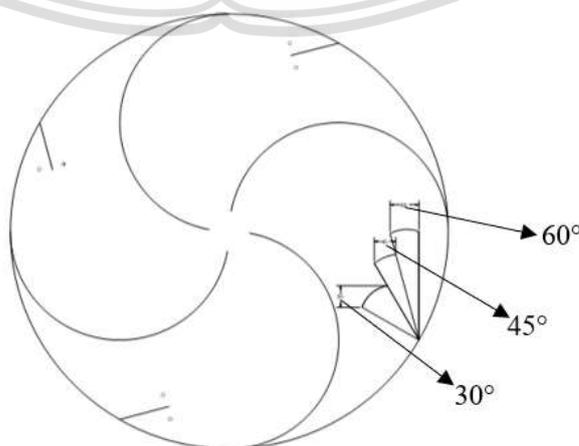
Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2023, tempat yang digunakan penelitian adalah Pinggir Pantai Lorena Paciran Lamongan Jawa Timur.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan penelitian adalah :

#### 1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah empat pasang deflektor dengan sudut deflektor 30°, 45° dan 60°.



Gambar 3. 1 Bentuk-Bentuk Turbin Angin Horizontal

Sumber : Dokumentasi Pribadi

## 2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel yang diamati dari penelitian ini adalah daya *output*, torsi dan efisiensi turbin angin.

## 3. Variabel Terkontrol (*Controlled Variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga agar tetap konstan selama penelitian berlangsung sehingga dapat diasumsikan hanya variabel bebas yang mempengaruhi variabel terikat. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah letak pengambilan data di pinggir Pantai Lorena Paciran Kabupaten Lamongan.

### 3.4 Instalasi Penelitian

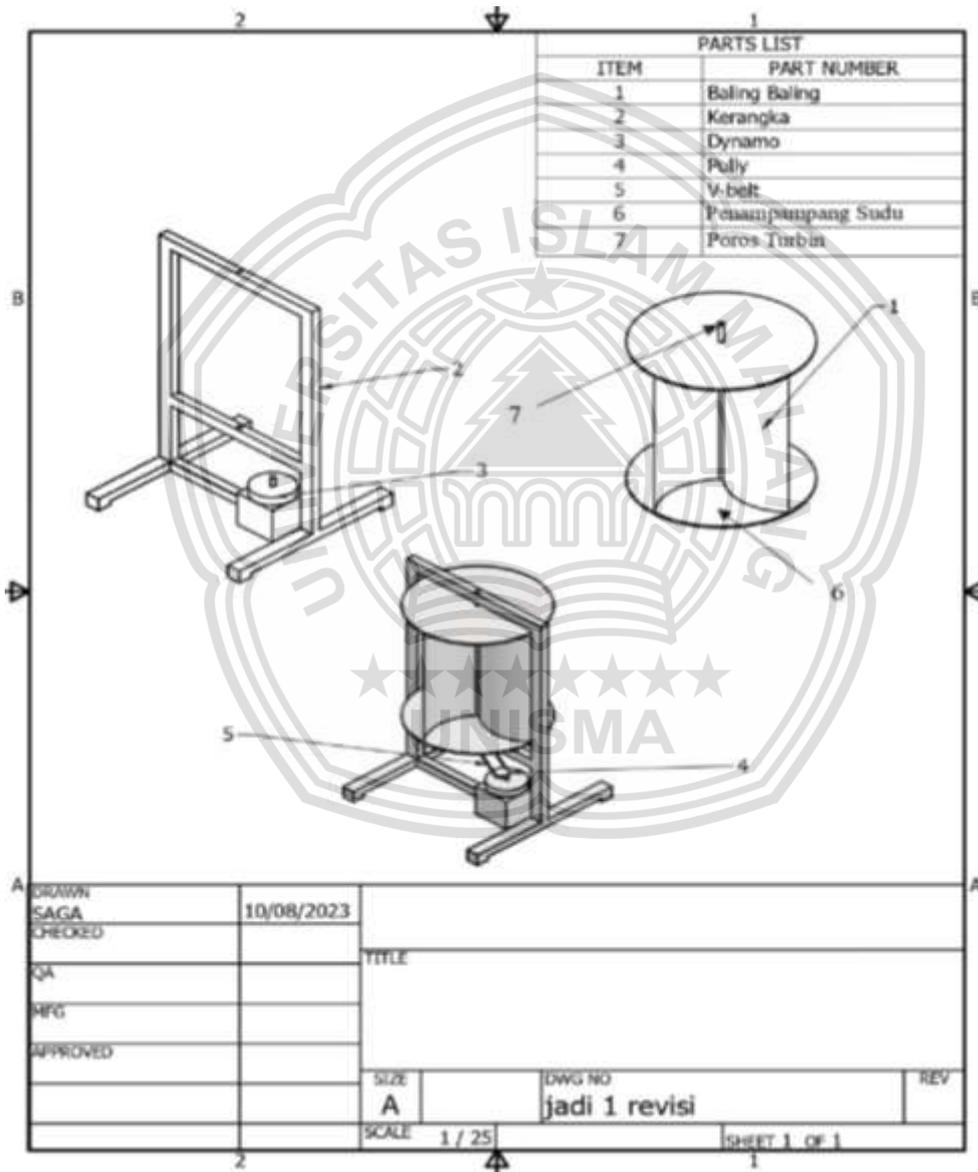
Model rancangan penelitian dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui pengaruh pemansangan deflektor terhadap kinerja turbin angin dengan variasi sudut deflektor dan variasi jumlah deflektor pada rotor turbin angin *Savonius*.

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis dan kesimpulan yang tepat. Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang suatu hal yang besar.

Spesifikasi instalasi penelitian turbin angin *Savonius*.

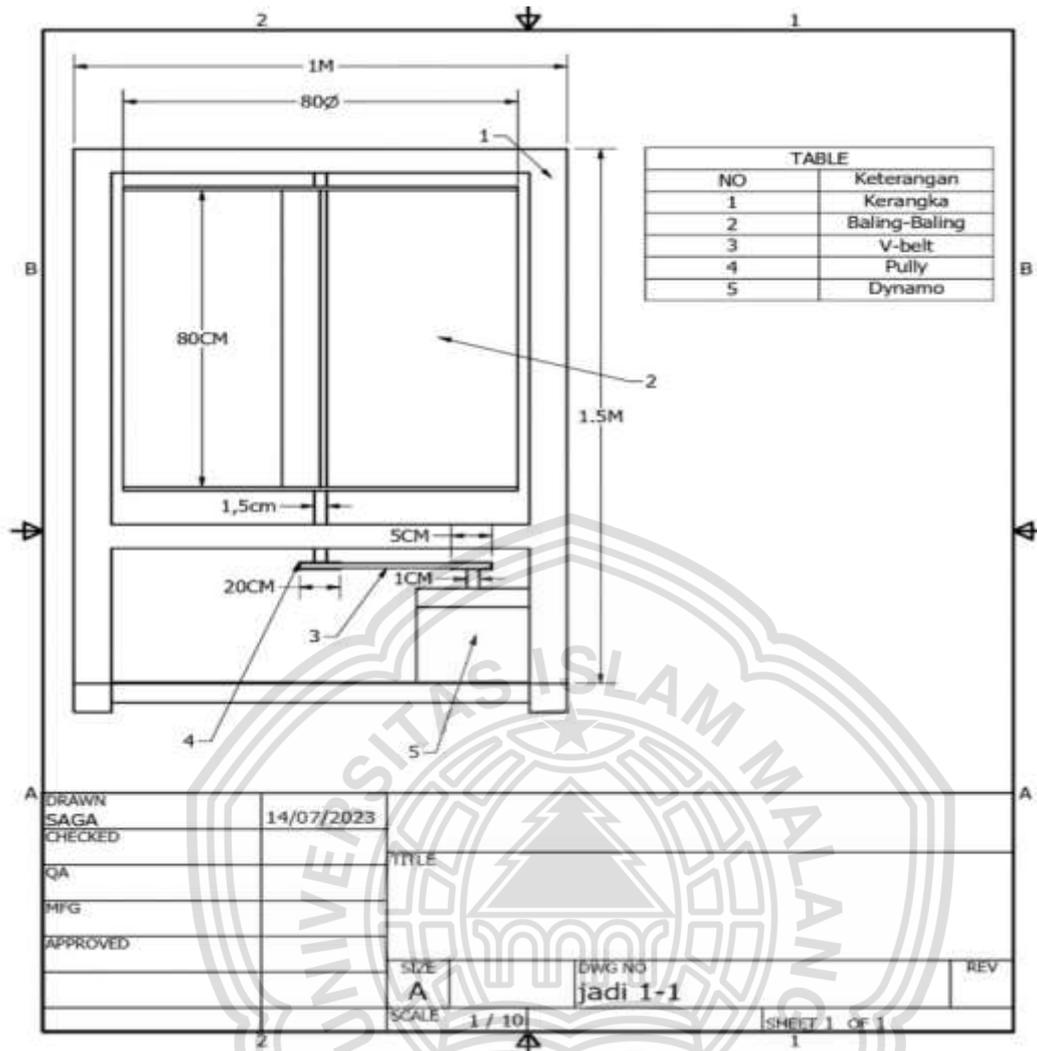
1. Tinggi total turbin : 150 cm :
2. Rotor *Savonius*
  - a) Tinggi rotor turbin : 80 cm
  - b) Diameter Rotor : 80 cm
  - c) Jumlah sudu : 4 sudu
  - d) Diameter Satu sudu : 40 cm
  - e) Material sudu : Tandon air plastic
  - f) Material rangka sudu : Mild stell plate

- 3. Deflektor
  - a) Jumlah deflektor : 4 buah
  - b) Dimensi deflektor : 80 cm x 20 cm
  - c) Material deflektor : Impraboard
  - d) Variasi sudut deflektor : 30°, 45° dan 60°.
- 4. Generator DC : Type XDB-60, SMC 220V 50/60Hz  
70 watt 6uF
- 5. Magnet dinamo : Magnet Neodymium Nd2Fe14B



Gambar 3. 2 Desain Turbin Angin *Savonius*

Sumber : Dokumentasi Pribadi



Gambar 3. 3 Desain Turbin Angin Savonius

Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 3.5 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.5.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Avometer

Avometer adalah alat yang digunakan untuk mengatur hambatan atau tegangan arus listrik.



Gambar 3. 4 Avometer

Sumber : Dokumentasi Pribadi

2. Tachometer

Tachometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran pada dynamo.



Gambar 3. 5 Tachometer

Sumber : Dokumentasi Pribadi

3. Anemometer

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin.



Gambar 3. 6 Anemometer

Sumber : Dokumentasi Pribadi

4. Stopwatch

Stopwatch digunakan sebagai alat pengukur waktu pada saat pengambilan data.



Gambar 3. 7 Stopwatch

Sumber : Dokumentasi Pribadi

5. Kabel

Kabel digunakan sebagai sambungan arus listrik pada dinamo ke lampu



Gambar 3. 8 Kabel

Sumber : Dokumentasi Pribadi

6. Dinamo

Dinamo digunakan sebagai alat yang dapat menghasilkan tegangan listrik.



Gambar 3. 9 dinamo

Sumber : Dokumentasi Pribadi

7. Baut dan Mur

Baut dan Mur digunakan untuk melepas dan memasang sudu turbin angin *savonius*.



Gambar 3. 10 Baut dan Mur

Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 3.5.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Besi Balok

Besi balok digunakan sebagai kerangka dasar pembuatan turbin angin *savonius*.



Gambar 3. 11 Besi Balok

Sumber : Dokumentasi Pribadi

#### 2. Drum Plastik HDPE

Drum plastik digunakan untuk dasar pembuatan sudu pada turbin angin *savonius*.



Gambar 3. 12 Drum Plastik HDPE

Sumber : Dokumentasi Pribadi

3. Pulley

Pulley digunakan sebagai komponen penghubung putaran yang diterima dari motor listrik kemudian diteruskan dengan menggunakan v belt ke benda yang ingin di gerakkan.



Gambar 3. 13 Pulley

Sumber : Dokumentasi Pribadi

4. V-belt

V-belt digunakan sebagai penghubung antara pulley turbin dan pulley dinamo yang berbahan karet dengan penampang trapezium.



Gambar 3. 14 V-belt

Sumber : Dokumentasi Pribadi

5. Bearing

Bearing adalah Bantalan yang berfungsi untuk membuat gerakan rotating

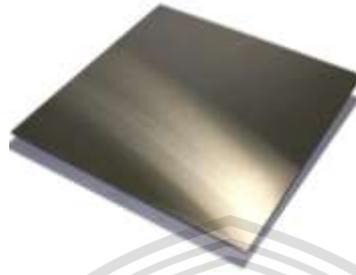


Gambar 3. 15 Bearing

Sumber : Dokumentasi Pribadi

#### 6. Plat

Plat digunakan sebagai penampang untuk sudu turbin angin *savonius*.



Gambar 3. 16 Plat

Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 3.6 Prosedur Penelitian

#### 3.6.1 Perancangan Desain Komponen

Adalah hasil perancangan turbin angin *Savonius* dengan mencari dimensi minimum yang diizinkan dalam mendesain sesuai dengan referensi yang ada sebagai acuan dalam mendesain, selanjutnya dibuat assembly dari komponen-komponen yang telah dibuat meliputi rotor turbin, rangka turbin, gearbox dan komponen penunjang lainnya.

#### 3.6.2 Metode Pengambilan Data

Berikut ini adalah prosedur dari pengambilan data pada turbin angin *Savonius*.

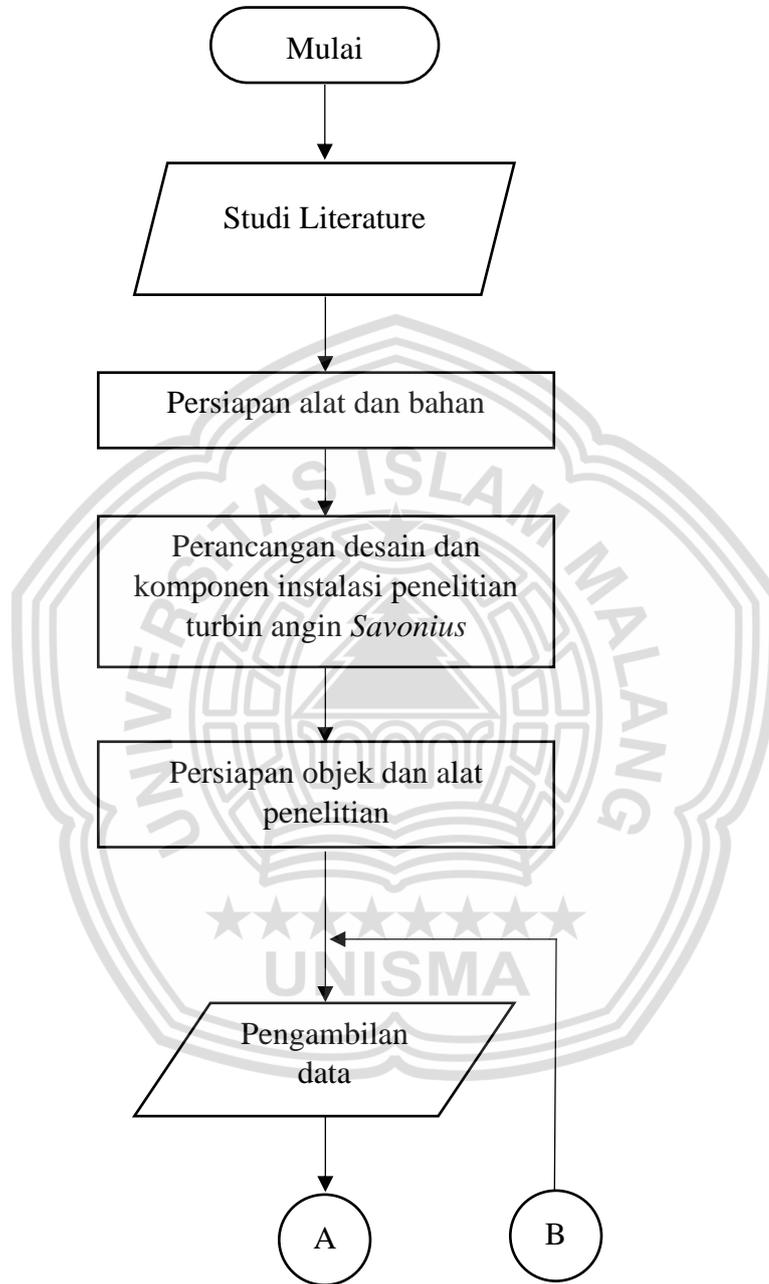
1. Mempersiapkan komponen turbin angin, alat ukur, rangkaian listrik dan indikator beban berupa lampu led yang akan digunakan untuk mengetahui arus listrik yang dikeluarkan.
2. Pengecekan angin pada tempat penelitian dengan menggunakan alat anemometer.
3. Memasang rotor turbin dan pulley kedalam rangka turbin angin.
4. Memasang generator pada rangka turbin angin.
5. Memasang v-belt pada pulley turbin dan pulley generator.

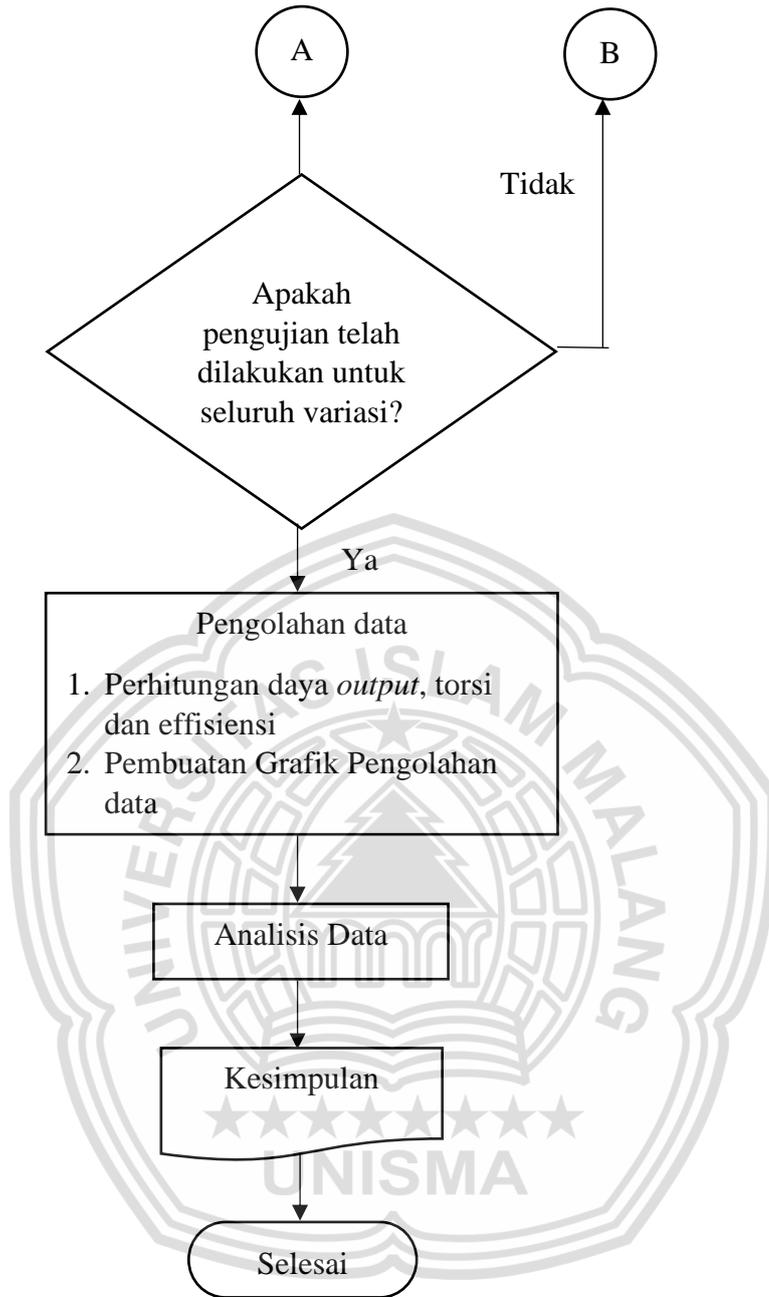
6. Memasang rangkaian listrik.
7. Memasang Avometer pada rangkaian listrik.
8. Pengecekan kecepatan putaran turbin menggunakan tachometer.
9. Pengukuran tegangan dan arus menggunakan Avometer pada generator untuk mencari daya yang dihasilkan oleh generator.
10. Pengambilan data.



### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pengujian turbin angin *Savonius*





## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian

Data awal pengambilan data dari unjuk kerja turbin angin *Savonius* dengan menggunakan deflektor yang dilakukan di Pantai Lorena Paciran Lamongan meliputi rpm, tegangan, arus listrik dan kecepatan angin ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 1 Data Hasil Penelitian pada Sudut Deflektor 30°

No	<i>n(rpm)</i>	<i>V(volt)</i>	<i>I(ampere)</i>	<i>v(m/s)</i>
1	163,6	8,5	0,36	6,8
2	158,2	8	0,32	6,3
3	165,2	9	0,40	7,0
4	152,5	7,8	0,29	6,0

Sumber : Data Hasil Penelitian

Tabel 4. 2 Data Hasil Penelitian pada Sudut Deflektor 45°

No	<i>n(rpm)</i>	<i>V(volt)</i>	<i>I(ampere)</i>	<i>v(m/s)</i>
1	167,2	8,9	0,42	7,0
2	165,8	8,8	0,40	6,9
3	169,1	9,3	0,46	7,2
4	172,4	9,5	0,48	7,3

Sumber : Data Hasil Penelitian

Tabel 4. 3 Data Hasil Penelitian pada Sudut Deflektor 60°

No	<i>n(rpm)</i>	<i>V(volt)</i>	<i>I(ampere)</i>	<i>v(m/s)</i>
1	158,2	8,0	0,32	7,0
2	160,3	8,2	0,34	7,3
3	142,8	7,5	0,24	6,5
4	150,6	7,8	0,28	6,9

Sumber : Data Hasil Penelitian

### 4.2 Pengolahan Data

Hasil eksperimen memperoleh data mentah yang akan diolah sesuai

persamaan-persamaan perhitungan manual untuk mengetahui hasil dari variable terikat meliputi daya *output*, torsi dan efisiensi. Berikut akan dijelaskan beberapa langkah perhitungan untuk memperoleh performa turbin angin *Savonius* dengan deflektor. Contoh perhitungan ini mengambil dari salah satu data pada sudut deflektor  $45^\circ$  dan kecepatan angin 7,3 m/s.

### 1. Perhitungan daya *output*

Untuk menghitung daya *output* dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$P_{out} = V.I$$

Diketahui bahwa tegangan generator listrik menunjukkan angka 9,5 Volt dan arus listrik 0,48 Ampere. Maka besar daya *output* yang keluar adalah:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V.I \\ &= 9,5 \text{ volt} \cdot 0,48 \text{ ampere} \\ &= 4,56 \text{ watt} \end{aligned}$$

### 2. Perhitungan Torsi

Setelah mendapatkan besar daya *output* maka selanjutnya mencari *BHP* (daya aktual turbin setelah dilakukan pembebanan oleh *generator*) untuk mendapatkan torsi. Untuk menghitung *BHP* dapat menggunakan rumus dibawah:

$$BHP = \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)}$$

Dimana untuk mencari  $\eta_g$  dapat menggunakan rumus dibawah ini:

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

Daya *output* sudah diketahui sebelumnya sebesar 4,56 Watt dan Untuk mencari  $P_{in}$  dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3$$

Kerapatan udara yang telah ditetapkan adalah  $1,2 \text{ kg/m}^3$  dan luas permukaan rotor sebesar  $1,28 \text{ m}^2$  serta diaplikasikan pada kecepatan angin 7,3 m/s.

Maka nilai daya *input* adalah:

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 7,3^3 \text{ m/s} \\ &= 298,765 \text{ watt} \end{aligned}$$

Daya *output* sudah diketahui sebesar 4,56 Watt dan daya *input* watt 298,765  
 Maka nilai  $\eta_g$  dapat dihitung :

$$\begin{aligned}\eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{4,56 \text{ watt}}{298,765 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 1,53\%\end{aligned}$$

Daya *output* sudah diketahui sebesar 4,56 Watt dan efisiensi *generator* sebesar 1,53%. Maka besar *BHP* dapat dihitung,

$$\begin{aligned}BHP &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\ &= \frac{4,56 \text{ Watt}}{1,53\%} \\ &= 298,039 \text{ watt}\end{aligned}$$

Setelah diketahui nilai *BHP* maka dapat menghitung torsi dengan rumus dibawah ini:

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

Sebelum menghitung torsi harus menghitung nilai  $\omega$  (kecepatan sudut), untuk mendapatkan nilai kecepatan sudut dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah:

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

Dimana nilai  $n$  dari data 4 sudu yaitu 172,4 rpm, maka besar nilai  $\omega$  adalah:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 172,4 \text{ rpm}}{60} \\ &= 18,044 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

Dalam mendapatkan data kecepatan sudu ini berkaitan dengan kecepatan sudut dikalikan dengan diameter dibagi dua sesuai persamaan rumus seperti.

$$\begin{aligned}u &= \frac{d \times \omega}{2} \\ &= \frac{0,4 \text{ m} \times 18,044 \text{ rad/s}}{2} \\ &= 3,60 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan tersebut dapat langsung di *input* dalam rumus torsi, dimana nilai BHP sebesar 298,039 Watt. Maka nilai torsi adalah:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{\text{BHP}}{\omega} \\ &= \frac{298,039 \text{ watt}}{18,044 \text{ rad/s}} \\ &= 16,52 \text{ Nm}\end{aligned}$$

### 3. Perhitungan efisiensi

Untuk menghitung efisiensi dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{P_{in}}$$

Nilai  $P_{in}$  sudah diketahui sebelumnya sebesar 298,765 watt dan nilai BHP sebesar 149,508. Maka nilai efisiensi adalah:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{BHP}}{P_{in}} \\ &= \frac{298,079 \text{ watt}}{298,765 \text{ watt}} \\ &= 0,997 \%\end{aligned}$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor  $30^\circ$  dengan kecepatan angin 6,8 m/s

$$\begin{aligned}P_{out} &= V \cdot I \\ &= 8,5 \text{ volt} \cdot 0,36 \text{ ampere} \\ &= 3,06 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{in} &= \frac{1}{2} \times q \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6,8^3 \text{ m/s} \\ &= 241,483 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{3,06 \text{ watt}}{241,483 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 1,26 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}BHP &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\ &= \frac{3,06 \text{ watt}}{1,26 \%} \\ &= 242,857 \text{ watt}\end{aligned}$$

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

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 163,6 \text{ rpm}}{60}$$

$$= 17,123 \text{ rad/s}$$

$$u = \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)}$$

$$= \frac{0,4 \text{ m} \times 17,123 \text{ rad/s}}{2}$$

$$= 3,42 \text{ m/s}$$

$$\tau = \frac{\text{BHP}}{\omega}$$

$$= \frac{242,857 \text{ watt}}{17,123 \text{ rad/s}}$$

$$= 14,18 \text{ Nm}$$

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{P_{in}}$$

$$= \frac{242,857 \text{ watt}}{241,483 \text{ watt}}$$

$$= 1,002 \%$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 30° dengan kecepatan angin 6,3 m/s

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$= 8,0 \text{ volt} \cdot 0,32 \text{ ampere}$$

$$= 2,56 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6,3^3 \text{ m/s}$$

$$= 192,036 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{2,56 \text{ watt}}{192,036 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$= 1,33 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)}$$

$$= \frac{2,56 \text{ watt}}{1,33 \%$$

$$= 192,481 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 158,2 \text{ rpm}}{60}$$

$$= 16,558 \text{ rad/s}$$

$$u = \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)}$$

$$= \frac{0,4 \text{ m} \times 16,558 \text{ rad/s}}{2}$$

$$= 3,31 \text{ m/s}$$

$$\tau = \frac{\text{BHP}}{\omega}$$

$$= \frac{192,481 \text{ watt}}{16,558 \text{ rad/s}}$$

$$= 11,62 \text{ Nm}$$

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{P_{in}}$$

$$= \frac{192,481 \text{ watt}}{16,558 \text{ watt}}$$

$$= 1,004 \%$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 30° dengan kecepatan angin 7 m/s

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$= 9,0 \text{ volt} \cdot 0,4 \text{ ampere}$$

$$= 3,6 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 7^3 \text{ m/s}$$

$$= 263,424 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{3,6 \text{ watt}}{263,424 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$= 1,36 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)}$$

$$= \frac{3,6 \text{ Watt}}{1,36 \%$$

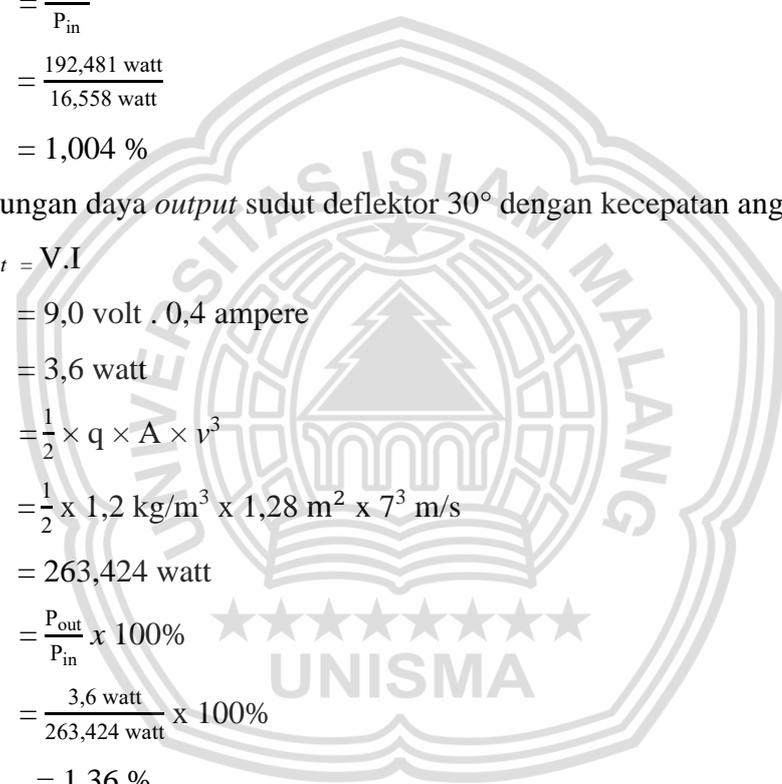
$$= 264,705 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 165,2 \text{ rpm}}{60}$$

$$= 17,290 \text{ rad/s}$$

$$u = \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)}$$



$$= \frac{0,4 \text{ m} \times 17,290 \text{ rad/s}}{2}$$

$$= 3,45 \text{ m/s}$$

$$\tau = \frac{\text{BHP}}{\omega}$$

$$= \frac{264,705 \text{ watt}}{17,290 \text{ rad/s}}$$

$$= 15,31 \text{ Nm}$$

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{P_{in}}$$

$$= \frac{264,705 \text{ watt}}{263,424 \text{ watt}}$$

$$= 1,001 \%$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 30° dengan kecepatan angin 6 m/s

$$P_{out} = V.I$$

$$= 7,8 \text{ volt} \cdot 0,29 \text{ ampere}$$

$$= 2,26 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6^3 \text{ m/s}$$

$$= 165,888 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{2,26 \text{ watt}}{165,888 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$= 1,36 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)}$$

$$= \frac{2,26 \text{ Watt}}{1,36 \%$$

$$= 166,176 \text{ watt}$$

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

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 152,5 \text{ rpm}}{60}$$

$$= 15,961 \text{ rad/s}$$

$$u = \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)}$$

$$= \frac{0,4 \text{ m} \times 15,961 \text{ rad/s}}{2}$$

$$= 3,19 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{\text{BHP}}{\omega} \\ &= \frac{166,176 \text{ watt}}{15,961 \text{ rad/s}} \\ &= 10,41 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{BHP}}{P_{\text{in}}} \\ &= \frac{166,176 \text{ watt}}{165,888 \text{ watt}} \\ &= 1,005 \%\end{aligned}$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 45° dengan kecepatan angin 7 m/s

$$\begin{aligned}P_{\text{out}} &= V.I \\ &= 8,9 \text{ volt} \cdot 0,42 \text{ ampere} \\ &= 3,74 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 7^3 \text{ m/s} \\ &= 263,424 \text{ watt}\end{aligned}$$

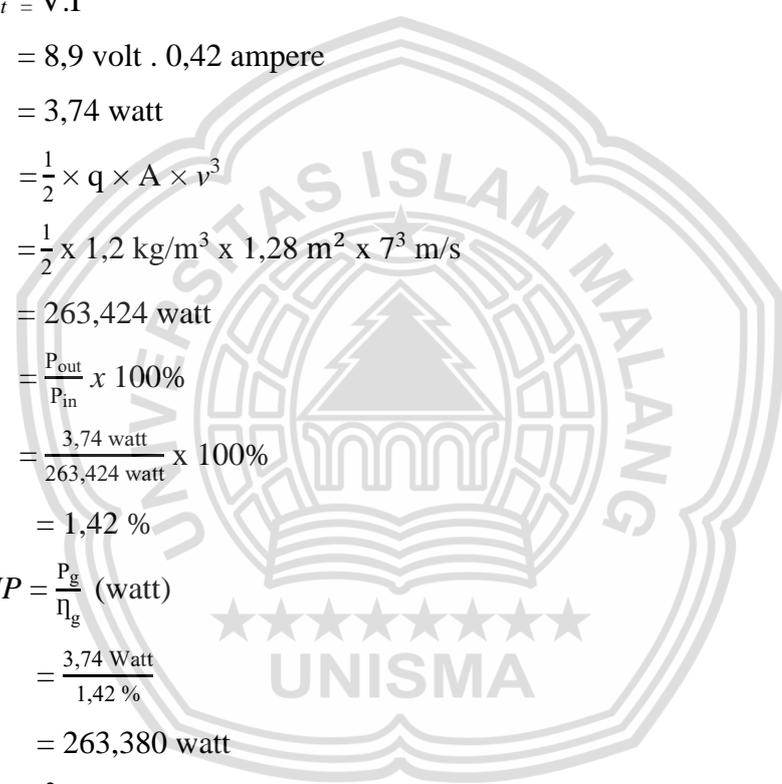
$$\begin{aligned}\eta_g &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{3,74 \text{ watt}}{263,424 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 1,42 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{BHP} &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\ &= \frac{3,74 \text{ Watt}}{1,42 \%} \\ &= 263,380 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 167,2 \text{ rpm}}{60} \\ &= 17,500 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\ &= \frac{0,4 \text{ m} \times 17,500 \text{ rad/s}}{2} \\ &= 3,50 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\tau = \frac{\text{BHP}}{\omega}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{263,380 \text{ watt}}{17,500 \text{ rad/s}} \\
 &= 15,05 \text{ Nm} \\
 \eta &= \frac{\text{BHP}}{P_{in}} \\
 &= \frac{263,380 \text{ watt}}{263,424 \text{ watt}} \\
 &= 0,999 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor  $45^\circ$  dengan kecepatan angin 6,8 m/s

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V.I \\
 &= 8,8 \text{ volt} \cdot 0,40 \text{ ampere} \\
 &= 3,52 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6,8^3 \text{ m/s} \\
 &= 241,483 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

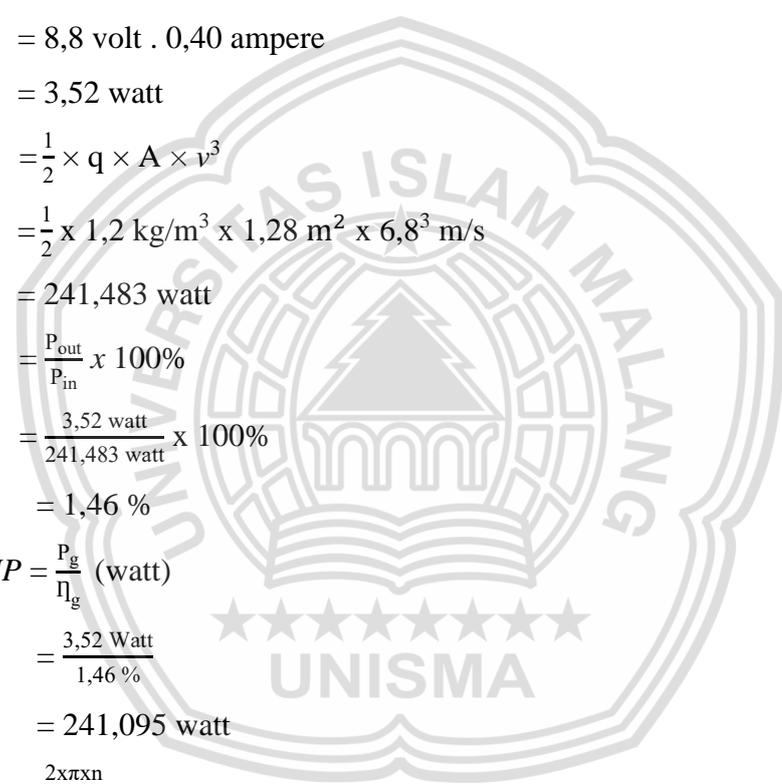
$$\begin{aligned}
 \eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{3,52 \text{ watt}}{241,483 \text{ watt}} \times 100\% \\
 &= 1,46 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BHP} &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\
 &= \frac{3,52 \text{ Watt}}{1,46 \%} \\
 &= 241,095 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\
 &= \frac{2 \times 3,14 \times 165,8 \text{ rpm}}{60} \\
 &= 17,353 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\
 &= \frac{0,4 \text{ m} \times 17,353 \text{ rad/s}}{2} \\
 &= 3,47 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{\text{BHP}}{\omega} \\
 &= \frac{241,095 \text{ watt}}{17,353 \text{ rad/s}}
 \end{aligned}$$



$$= 13,89 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{BHP}}{P_{\text{in}}} \\ &= \frac{241,095 \text{ watt}}{241,483 \text{ watt}} \\ &= 1,002 \% \end{aligned}$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 45° dengan kecepatan angin 7,2 m/s

$$\begin{aligned} P_{\text{out}} &= V.I \\ &= 9,3 \text{ volt} \cdot 0,42 \text{ ampere} \\ &= 4,28 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{in}} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 7,2^3 \text{ m/s} \\ &= 286,654 \text{ watt} \end{aligned}$$

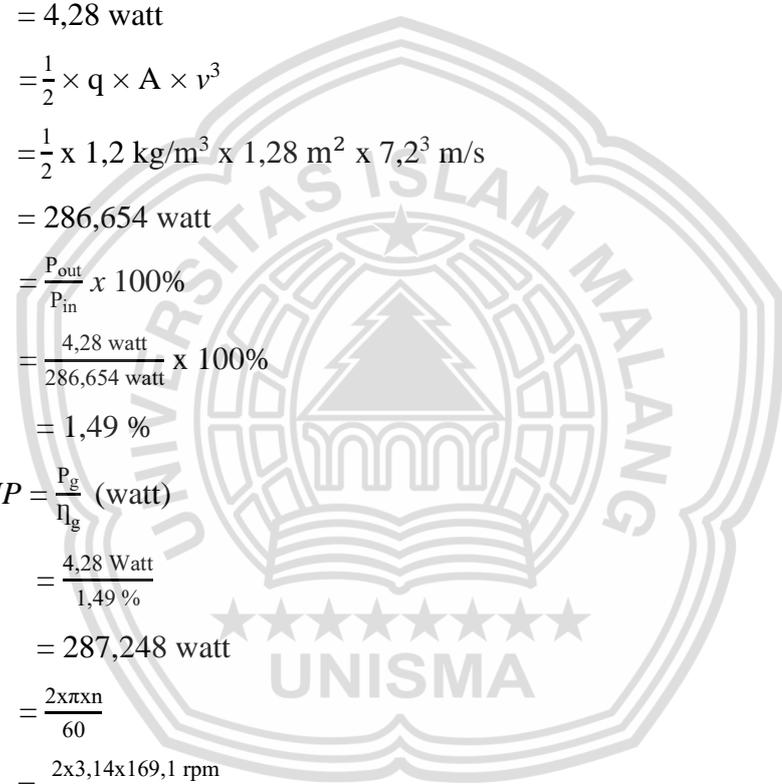
$$\begin{aligned} \eta_g &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{4,28 \text{ watt}}{286,654 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 1,49 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\ &= \frac{4,28 \text{ Watt}}{1,49 \%} \\ &= 287,248 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 169,1 \text{ rpm}}{60} \\ &= 17,699 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\ &= \frac{0,4 \text{ watt} \times 17,699 \text{ watt}}{2} \\ &= 3,53 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{\text{BHP}}{\omega} \\ &= \frac{287,248 \text{ watt}}{17,699 \text{ rad/s}} \\ &= 16,23 \text{ Nm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\eta &= \frac{BHP}{P_{in}} \\ &= \frac{287,248 \text{ watt}}{286,654 \text{ watt}} \\ &= 0,998 \%\end{aligned}$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 60° dengan kecepatan angin 7 m/s

$$\begin{aligned}P_{out} &= V.I \\ &= 8,0 \text{ volt} \cdot 0,32 \text{ ampere} \\ &= 2,56 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{in} &= \frac{1}{2} \times q \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 7^3 \text{ m/s} \\ &= 263,424 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,56 \text{ watt}}{263,424 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 0,97 \%\end{aligned}$$

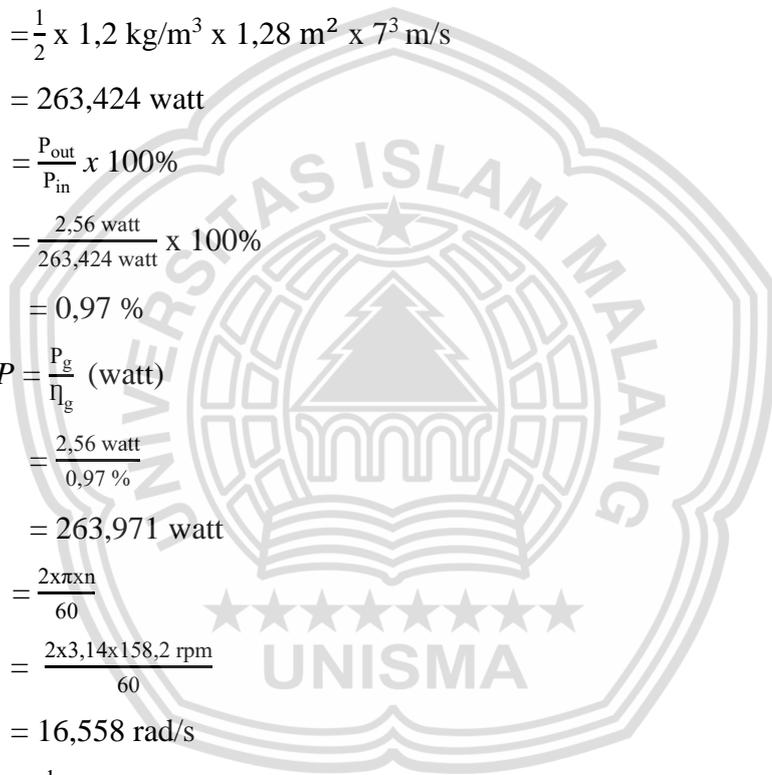
$$\begin{aligned}BHP &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\ &= \frac{2,56 \text{ watt}}{0,97 \%} \\ &= 263,971 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 158,2 \text{ rpm}}{60} \\ &= 16,558 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\ &= \frac{0,4 \text{ watt} \times 16,558 \text{ watt}}{2} \\ &= 3,31 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{BHP}{\omega} \\ &= \frac{263,917 \text{ watt}}{16,558 \text{ rad/s}} \\ &= 15,94 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\eta = \frac{BHP}{P_{in}}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{263,917 \text{ watt}}{263,424 \text{ watt}} \\
 &= 0,999 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor 60° dengan kecepatan angin 6,7 m/s

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V.I \\
 &= 7,6 \text{ volt} \cdot 0,26 \text{ ampere} \\
 &= 1,98 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6,7^3 \text{ m/s} \\
 &= 230,985 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{1,98 \text{ watt}}{230,985 \text{ watt}} \times 100\% \\
 &= 0,86 \%
 \end{aligned}$$

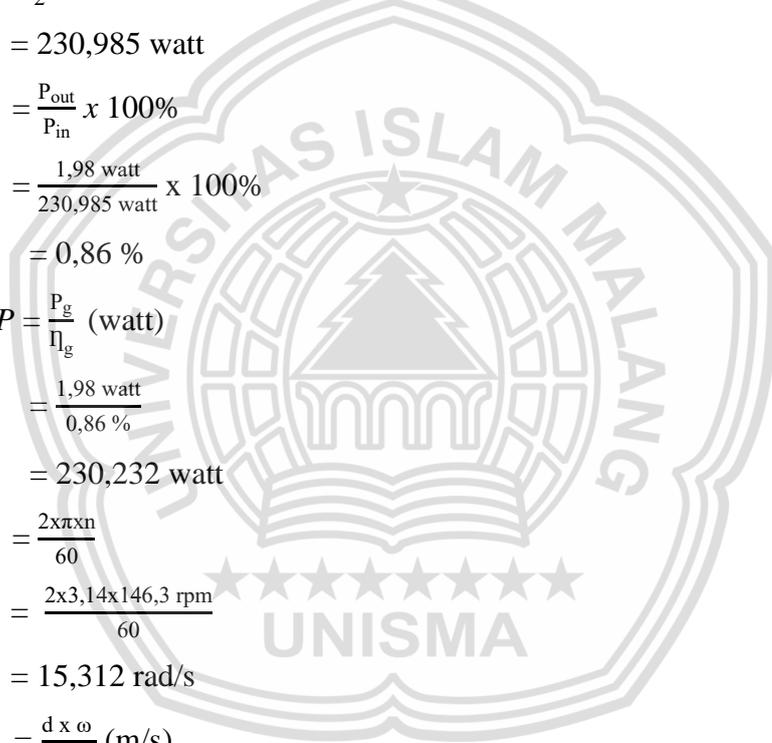
$$\begin{aligned}
 BHP &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\
 &= \frac{1,98 \text{ watt}}{0,86 \%} \\
 &= 230,232 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\
 &= \frac{2 \times 3,14 \times 146,3 \text{ rpm}}{60} \\
 &= 15,312 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\
 &= \frac{0,4 \text{ m} \times 15,312 \text{ rad/s}}{2} \\
 &= 3,06 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{BHP}{\omega} \\
 &= \frac{230,323 \text{ watt}}{15,312 \text{ rad/s}} \\
 &= 15,04 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{BHP}{P_{in}} \\
 &= \frac{230,323 \text{ watt}}{230,985 \text{ watt}}
 \end{aligned}$$



$$= 1,004 \%$$

Perhitungan daya *output* sudut deflektor  $60^\circ$  dengan kecepatan angin 6,5 m/s

$$\begin{aligned} P_{out} &= V.I \\ &= 7,5 \text{ volt} \cdot 0,24 \text{ ampere} \\ &= 1,8 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6,5^3 \text{ m/s} \\ &= 210,912 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{1,8 \text{ watt}}{210,912 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 0,85 \%$$

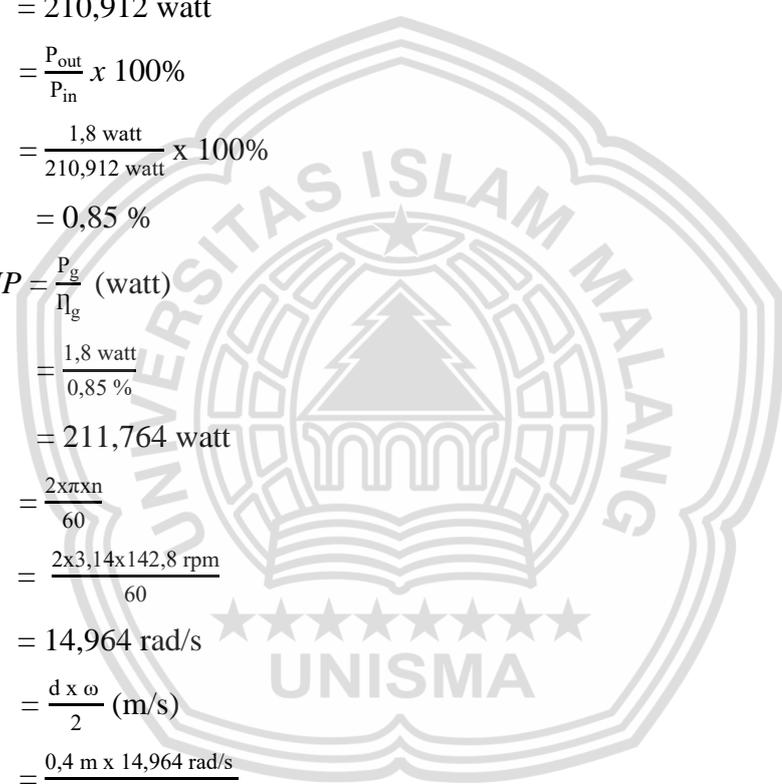
$$\begin{aligned} BHP &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\ &= \frac{1,8 \text{ watt}}{0,85 \%} \\ &= 211,764 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 142,8 \text{ rpm}}{60} \\ &= 14,964 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\ &= \frac{0,4 \text{ m} \times 14,964 \text{ rad/s}}{2} \\ &= 2,99 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{BHP}{\omega} \\ &= \frac{211,764 \text{ watt}}{14,964 \text{ rad/s}} \\ &= 14,15 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{BHP}{P_{in}} \\ &= \frac{211,764 \text{ watt}}{210,912 \text{ watt}} \\ &= 1,004 \%$$



Perhitungan daya *output* sudut deflektor 30° dengan kecepatan angin 6,9 m/s

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V.I \\
 &= 7,8 \text{ volt} \cdot 0,28 \text{ ampere} \\
 &= 2,18 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \frac{1}{2} \times q \times A \times v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,28 \text{ m}^2 \times 6,9^3 \text{ m/s} \\
 &= 252,294 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_g &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,18 \text{ watt}}{252,284 \text{ watt}} \times 100\% \\
 &= 0,86 \%
 \end{aligned}$$

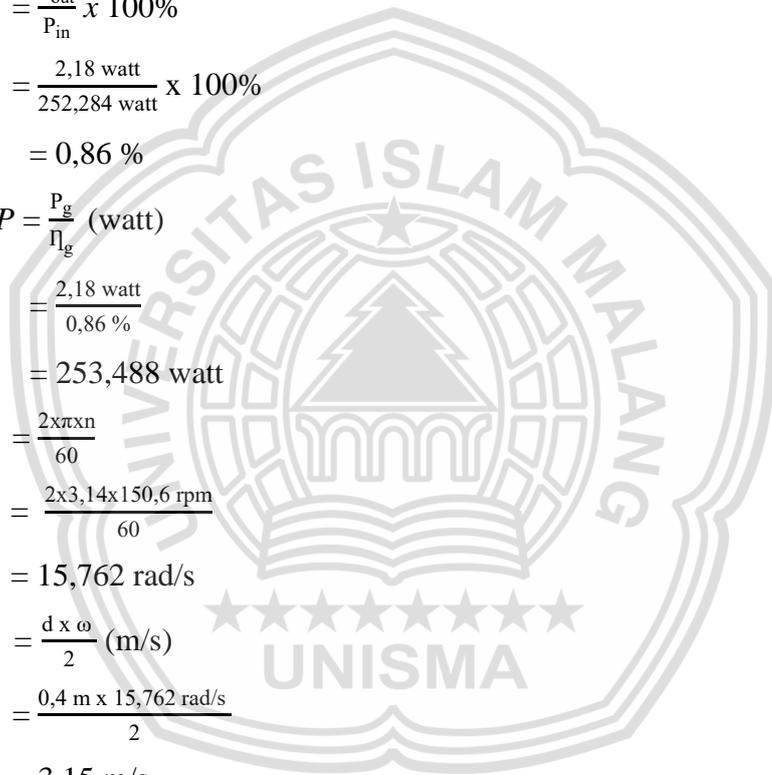
$$\begin{aligned}
 BHP &= \frac{P_g}{\eta_g} \text{ (watt)} \\
 &= \frac{2,18 \text{ watt}}{0,86 \%} \\
 &= 253,488 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2\pi \times n}{60} \\
 &= \frac{2 \times 3,14 \times 150,6 \text{ rpm}}{60} \\
 &= 15,762 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{d \times \omega}{2} \text{ (m/s)} \\
 &= \frac{0,4 \text{ m} \times 15,762 \text{ rad/s}}{2} \\
 &= 3,15 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{BHP}{\omega} \\
 &= \frac{253,488 \text{ watt}}{15,762 \text{ rad/s}} \\
 &= 15,76 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{BHP}{P_{in}} \\
 &= \frac{253,488 \text{ Watt}}{252,292 \text{ Watt}} \\
 &= 1,001 \%
 \end{aligned}$$



Dengan cara yang sama perhitungan data penelitian variasi deflektor menunjukkan hasil pada table dibawah ini :

**Tabel 4.1** Data Hasil Pehitungan Sudut Deflektor 30°

Sudut Deflektor 30°								
Kecepatan Angin (m/s)	$P_{out}$ (watt)	$P_{in}$ (watt)	$\eta_g$ (%)	BHP (watt)	$\omega$ (rad/s)	$\tau$ (Nm)	$\eta$ (%)	$u$ (m/s)
6,8	3,06	241,483	1,26	242,857	17,123	14,18	1,002	3,42
6,3	2,56	192,036	1,33	192,481	16,558	11,62	1,004	3,31
7,0	3,6	263,424	1,36	264,705	17,290	15,31	1,001	3,45
6,0	2,26	165,888	1,36	166,176	15,961	10,41	1,005	3,19

Sumber : Hasil Pengolahan Data Penelitian

**Tabel 4 2** Data Hasil Perhitungan Sudut Deflektor 45°

Sudut Deflektor 45°								
Kecepatan Angin (m/s)	$P_{out}$ (watt)	$P_{in}$ (watt)	$\eta_g$ (%)	BHP (watt)	$\omega$ (rad/s)	$\tau$ (Nm)	$\eta$ (%)	$u$ (m/s)
7,0	3,74	263,424	1,42	263,380	17,500	15,05	0,999	3,50
6,8	3,52	241,483	1,46	241,095	17,353	13,89	1,002	3,47
7,2	4,28	286,654	1,49	287,248	17,699	16,23	0,998	3,53
7,3	4,56	298,765	1,53	298,039	18,044	16,52	0,997	3,60

Sumber : Hasil Pengolahan Data Penelitian

**Tabel 4 3** Data Hasil Perhitungan Sudut Deflektor 60°

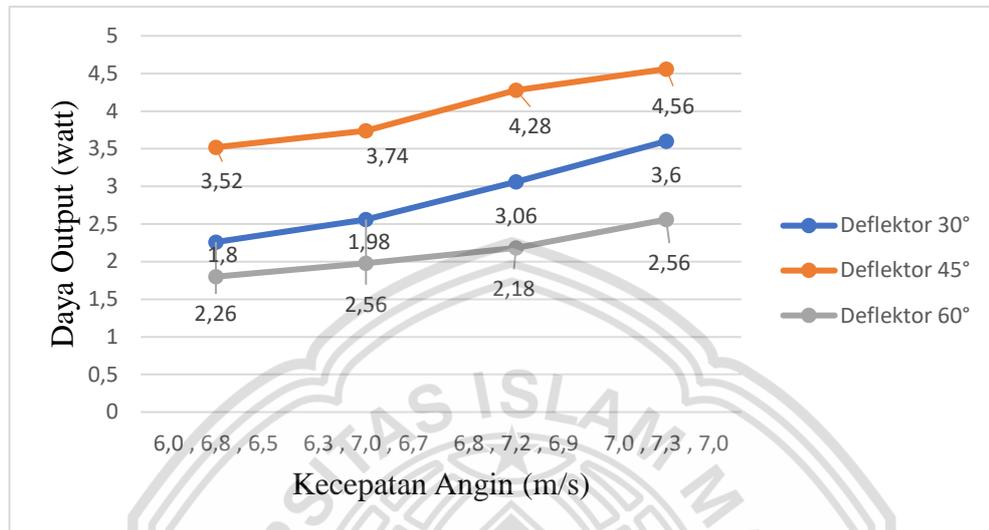
Sudut Deflektor 60°								
Kecepatan Angin (m/s)	$P_{out}$ (watt)	$P_{in}$ (watt)	$\eta_g$ (%)	BHP (watt)	$\omega$ (rad/s)	$\tau$ (Nm)	$\eta$ (%)	$u$ (m/s)
7,0	2,56	263,424	0,97	264,917	16,558	15,94	0,999	3,31
6,7	1,98	230,985	0,86	230,232	15,312	15,04	1,004	3,06
6,5	1,8	210,912	0,85	211,764	14,964	14,15	1,004	2,99
6,9	2,18	252,294	0,86	253,488	15,762	16,08	1,001	3,15

Sumber : Hasil Pengolahan Data Penelitian

### 4.3 Pembahasan

#### 4.3.1 Daya Output

Daya *output* disini adalah daya keluaran dari *generator*, dapat disebut juga perkalian antara tegangan listrik ( $V$ ) dan arus listrik ( $I$ ). Berikut adalah grafik keluaran daya *output* pada sudut deflektor  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ .



Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut deflektor terhadap Nilai Daya Output

Sumber : Hasil Pengolahan Data Penelitian

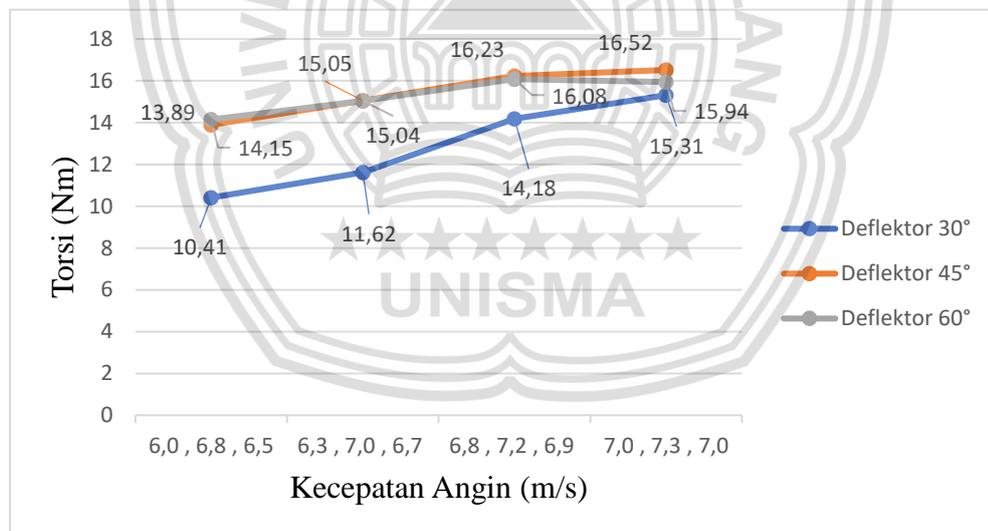
Berdasarkan gambar 4.1 menunjukkan grafik daya *output* ( $P_g$ ) turbin angin *Savonius* tipe U dari beberapa variabel penelitian. Daya *output* turbin angin *Savonius* tipe U tertinggi yaitu pada sudut deflector  $45^\circ$  dengan kecepatan angin 7,3 m/s yang mempunyai nilai 4,56 Watt, sedangkan daya *output* terendah yang dihasilkan turbin angin *Savonius* tipe U yaitu pada sudut deflektor  $60^\circ$  dengan kecepatan angin 6,5 m/s yang mempunyai nilai daya *output* sebesar 1,8 Watt.

Pengujian telah dilakukan dengan memvariasikan penambahan deflektor pada turbin angin untuk mengetahui performa turbin angin *savonius*. Berdasarkan perolehan nilai yang telah ditunjukkan pada grafik diatas, ada beberapa faktor yang menyebabkan tinggi dan rendahnya daya output. Faktor pertama yaitu kecepatan angin, karena semakin besar kecepatan angin yang mengenai rotor turbin akan mempengaruhi putaran turbin sehingga tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ) akan memperoleh hasil yang tinggi,

sehingga akan menjadikan daya output semakin besar. Faktor kedua yaitu jumlah sudu pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa sudut deflektor  $45^\circ$  mempunyai kinerja yang lebih bagus dalam menghasilkan daya output dibandingkan dengan sudut deflektor  $30^\circ$  dan  $60^\circ$ . Karena penggunaan deflektor sudut  $45^\circ$  dapat menangkap dan mengarah angin lebih banyak pada sudu turbin, sehingga turbin angin mendapatkan putaran yang lebih optimal. Faktor ketiga yaitu tempat penelitian, karena semakin banyak gedung atau rumah, angin akan semakin banyak terhalang untuk mengenai turbin, dan akan menyebabkan putaran turbin tidak optimal, sehingga daya output tidak maksimal. Faktor ke empat yaitu tinggi turbin, karena semakin tinggi turbin, turbin akan menangkap angin lebih banyak sehingga putaran turbin akan menjadi lebih optimal dan daya output akan lebih maksimal nilainya.

#### 4.3.2 Torsi

Torsi merupakan salah satu parameter yang penting dalam performa turbin angin Savonius, yang diakibatkan oleh putaran turbin. Berikut adalah grafik yang menunjukkan nilai torsi pada variasi sudut deflektor.



Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Antara Variasi Sudut Deflektor Terhadap Nilai Torsi

Sumber : Hasil Pengolahan Data Penelitian

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan grafik torsi turbin angin *Savonius* tipe u dari beberapa variabel penelitian. Nilai torsi turbin angin *Savonius* tertinggi terdapat pada sudut  $45^\circ$  yang mempunyai nilai 16,52 Nm,

sedangkan torsi terendah yang dihasilkan turbin angin *Savonius* pada sudut  $30^\circ$  yang mempunyai nilai sebesar 10,41 Nm.

Pengujian telah dilakukan dengan memvariasikan penambahan deflektor pada turbin angin untuk mengetahui performa turbin angin *savonius*. Pengujian telah dilakukan dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin angin untuk mengetahui performa turbin angin *savonius*. Torsi yang dihasilkan turbin angin *savonius* dipengaruhi oleh kecepatan angin dan luas dari sudu turbin angin atau luas daerah sapuan angin. Jadi semakin besar nilai kecepatan angin dan luas daerah sapuan angin maka semakin besar nilai torsi yang dihasilkan. Berdasarkan alur atau garis pada grafik 4.2 diatas dapat kita ketahui bahwa nilai torsi yang terdapat pada sudut deflektor sudut  $45^\circ$  lebih besar menghasilkan torsi dari pada sudut  $30^\circ$  dan sudut  $60^\circ$ . Faktor pertama yang dapat mempengaruhi tinggi rendahnya nilai torsi adalah kecepatan angin ( $v$ ), karena besar kecilnya kecepatan angin dapat mempengaruhi jumlah putaran ( $n$ ) sehingga besar kecilnya nilai kecepatan sudut ( $w$ ) akan mempengaruhi nilai torsi, apabila nilai ( $w$ ) semakin besar maka nilai torsi akan semakin kecil.

#### 4.3.3 Efisiensi

Efisiensi adalah suatu parameter penting untuk mengetahui unjuk kerja turbin angin *Savonius* dengan variasi jumlah deflektor. Hasil perhitungan efisiensi dalam penelitian turbin angin *Savonius* tipe u dengan variasi sudu menghasilkan grafik seperti pada gambar dibawah ini.

Berdasarkan gambar 4.3 adalah grafik efisiensi dari turbin angin *Savonius* dengan variasi deflektor, dapat dilihat bahwa nilai tertinggi berada pada sudut deflektor  $60^\circ$ . Efisiensi tertinggi terdapat pada sudut deflektor  $30^\circ$  dengan efisiensi sebesar 1,005% dan efisiensi terendah pada sudu dengan menghasilkan efisiensi sebesar 0,997%.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daya energi di dunia ini sedang terjadi penurunan, khususnya energi fosil. Kemudian permintaan energi semakin besar karena laju pembangunan penduduk. Jika tidak ditemukan energi alternatif baru akan terjadi darurat energi. Beberapa tempat di Indonesia sekarang menghadapi keadaan darurat energi yang serius, pemadaman yang tak henti-hentinya khususnya di luar pulau Jawa. (Prabowo & Siregar, 2018)

Untuk mengatasi gangguan terhadap energi fosil, perlu dilakukan konversi, konservasi, dan pengembangan sumber energi terbarukan. Perkembangan ini harus memperhatikan tiga hal yaitu: energi, ekonomi dan ekologi. Sehingga, diperlukan pengembangan energi dalam jumlah besar dengan biaya dan dampak rendah terhadap lingkungan. Kurniawan (2016) menyimpulkan bahwa salah satu kegunaan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar yang dapat dikembangkan adalah energi angin.

Pada kemajuan energi di masa depan seharusnya tidak berbahaya bagi ekosistem. Diantaranya menggabungkan energi angin, potensi angin yang dapat diubah atau dipindahkan ke dalam berbagai jenis energi seperti daya. Dalam kerangka ada dua kesulitan yang signifikan dalam mengubah energi angin, khususnya produktivitas energi, dan perubahan kecepatan arah angin. (Prabowo & Siregar, 2018)

Indonesia secara geografis dilintasi garis khatulistiwa yang memiliki iklim tropis. Energi angin kemungkinan ada di Indonesia mengingat informasi kecepatan angin di berbagai daerah. Aset energi angin Indonesia berkisar antara 3 m/s-6 m/s pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah. Salah satu alat yang dapat dimanfaatkan sebagai tenaga yang ramah lingkungan dengan menggunakan angin adalah turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik. Turbin angin *savonius* merupakan salah satu jenis turbin angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dan merupakan jenis turbin angin *Vertikal Axis Wind Turbine* (VAWT). Tawakal & Siregar (2020) menyatakan bahwa untuk

mencapai performa turbin yang lebih baik, beberapa perubahan dilakukan pada turbin angin *Savonius*. Beberapa ilmuwan telah berusaha untuk meningkatkan efektivitas turbin *savonius* dengan berbagai upaya yang dilakukan.

Penelitian tentang turbin angin *savonius* sangat dibutuhkan usaha untuk memperoleh efisiensi yang maksimal. Penambahan deflektor pada rotor memiliki pengaruh yang besar karena peningkatan kecepatan angin mempengaruhi faktor daya dan koefisien torsi yang dihasilkan oleh turbin. Berdasarkan penjelasan diatas peneliti akan melakukan penelitian yang berjudul **“Pengaruh Pemasangan Deflektor Dengan Variasi Posisi Sudut Pada Rotor Terhadap Kinerja Turbin Angin *Savonius*”**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi pemasangan deflektor terhadap nilai daya *output* yang dihasilkan ?
2. Bagaimana pengaruh variasi pemasangan deflektor terhadap nilai torsi yang dihasilkan ?
3. Bagaimana pengaruh variasi pemasangan deflektor terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan ?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, supaya pembahasan tidak terlalu luas maka diperlukan suatu pembatasan masalah yaitu :

1. Objek penelitian adalah hasil rancangan turbin angin *savonius* dengan penambahan dua deflektor pada sudu bawah.
2. Penelitian ini hanya fokus dalam kinerja penambahan deflektor pada turbin angin *savonius*. Deflektor mempunyai variasi sudut 30°, 45°, 60°.
3. Turbin mempunyai tinggi 80 cm dan diameter 80 cm.
4. Pengambilan data dengan kecepatan sumber angin alami yang diambil di Paciran Lamongan.
5. Penelitian ini menggunakan perbandingan 1:4 antara diameter pulley generator dan pulley turbin.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Peneliti yang diusulkan dalam skripsi ini memiliki beberapa tujuan diantaranya yaitu :

1. Mengetahui seberapa besar torsi yang dihasilkan turbin angin *savonius* berdasarkan kecepatan angin dan sudut deflektor yang terukur di persawahan Paciran Lamongan.
2. Mengetahui seberapa besar daya *output* yang dihasilkan turbin angin *savonius* berdasarkan kecepatan angin dan sudut deflektor yang terukur di persawahan Paciran Lamongan.
3. Mengetahui seberapa besar efisiensi yang dihasilkan turbin angin *savonius* berdasarkan kecepatan angin dan sudut deflektor yang terukur di persawahan Paciran Lamongan.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan oleh penelitian ini :

1. Memberikan informasi tentang penggunaan energi alternatif yaitu energi angin dalam memenuhi kebutuhan masyarakat.
2. Memberikan pengetahuan dasar tentang alat konversi energi angin yaitu Turbin angin Savoius.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penyajian, penyusunan dan pembahasan, maka penulisan laporan skripsi ini tersusun atas :

**BAB 1 : PENDAHULUAN**

Berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan, Manfaat dan Sistematika Penulisan.

**BAB 2 : LANDASAN TEORI**

Berisi tentang teori-teori tentang yang berhubungan dengan Turbin Angin.

**BAB 3 : METODE PENELITIAN**

Berisi tentang tentang tempat dan waktu penelitian, tahap

penelitian meliputi pengambilan data, pengolahan dan analisa data, menentukan daya *output*, torsi, efisiensi yang dikeluarkan.

**BAB 4 : HASIL DAN ANALISA DATA**

Berisikan hasil dari penelitian Turbin angin *Savonius*.

**BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan kesimpulan tentang Turbin angin *Savonius* serta saran-saran.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa jumlah sudu dan kecepatan angin berpengaruh terhadap performa turbin angin *savonius* dimana :

1. Daya *output* yang dihasilkan pada sudut deflektor  $45^\circ$  mendapatkan hasil tertinggi dengan nilai 4,56 Watt pada kecepatan angin 7,3 m/s. Besar nilai daya *output* dipengaruhi oleh kecepatan angin dan pemasangan deflektor, karena semakin tinggi kecepatan angin maka putaran turbin juga semakin tinggi, yang memutar generator sebagai penghasil daya *output*.
2. Nilai torsi tertinggi dihasilkan oleh sudut deflektor  $45^\circ$  pada kecepatan angin 7,3 m/s sebesar 16,52 Nm. Nilai torsi berbanding lurus dengan daya *output*, dipengaruhi oleh BHP dan kecepatan sudut.
3. Nilai efisiensi tertinggi untuk turbin angin *savonius* tipe u yaitu pada sudut deflektor  $30^\circ$  dengan nilai efisiensi 1,005% pada kecepatan angin 6,0. Semakin meningkatnya kecepatan angin maka (*BHP*) semakin meningkat. Hal ini dikarenakan efisiensi merupakan perbandingan antara (*BHP*) dan ( $P_{in}$ ).

#### 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk :

1. Dilakukan penelitian tentang pengaruh bentuk sudu terhadap performa turbin angin *savonius*.
2. Dilakukan penggabungan antara turbin angin *savonius* dan *darrieus* untuk mengetahui performa dari turbin tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alit, I. B., Nurchayati, N., & Pamuji, S. H. (2016). Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudut. *Dinamika Teknik Mesin*, 6(2).
- Ariyanto, N. A., & Usman, M. K. (2020). Analisis Pengaruh Variasi Ampere Terhadap Pengisian Baterai Mobil Listrik Habe EV-2 Yang Dirangkai Seri. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 9(1), 15–21.
- Daryanto, Y. (2007). *Kajian potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAGG Yogyakarta.
- Deskabelly, A., & Nuryadi, S. (2019). *Analisis Pengaruh Karakteristik Turbin Terhadap Kinerja Turbin Angin Tipe Propeller*. University of Technology Yogyakarta.
- Fauzi, A. R. (2018). *Pengaruh Lengkung Sudu Dan Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros, Torsi Dan Efisiensi Pada Turbin Angin Savonius Profil U*. Universitas Brawijaya.
- Hasibuan, S., Widodo, B., & Purba, R. (2018). Rancang Bangun Prototype Turbin Angin Guna Menentukan Perbandingan Efisiensi Yang Dihasilkan Dari Jumlah Blade 8 dan Jumlah Blade 4. *Lektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 1(1).
- Hidayat, A. R. (2019). *Analisis kinerja turbin angin savonius overlap bertingkat dengan deflektor pada rotor bawah dan variasi sudut efektif pada rotor atas*. Universitas Negeri Malang.
- Idris, A. R., Siampa, F., Noor, N. A., & Thaha, S. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 4(1), 28–34.
- Irani, C. (2020). *Kinerja Variasi Sudut Guide Vane Terhadap Performa Turbin Angin Savonius Tipe U*. Politeknik Negeri Jember.
- Irawan, M. R. A., & Siregar, I. H. (2020). UJI EKSPERIMEN MODEL TURBIN ANGIN SWIRLING SAVONIUS DENGAN DEFLEKTOR BERGERAK TERHADAP KINERJA DI TEROWONGAN ANGIN. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1).
- Jamal, J. (2019). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 6(1), 64. <https://doi.org/10.31963/intek.v6i1.1127>

- Klistafani, Y., Firman, F., Anwar, N. R. H., Insan, A. M. A., & Arfandi, M. (2021). EXPERIMENTAL INVESTIGATION INTO THE EFFECT OF A WIND DEFLECTOR ON SAVONIUS-DARRIEUS TURBINE. *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 61–66.
- Kurniawan, H. (2016). *Pemodelan Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) Tipe H-Rotor Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Pulau Tabuhan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prabowo, dony aji, & Siregar, indra herlamba. (2018). Studi Experimental Turbin Angin Savonius Satu Tingkat Dengan Penambahan Fix Drag Reducing Pada Returning Blade ( Studi Kasus Pada Dua Sudu ). *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 07(1).
- Pramasetya, N. W., & Dewantara, B. Y. (2022). Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Pv Dan Turbin Angin Type Savonius Untuk Penerangan Pada Jalan Tol. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer TRIAC*, 9(2), 46–53.
- Prasetyo, A. (2019). Studi potensi penerapan dan pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- Priyaningsih, N. (2017). Analisis Efisiensi Generator Pada Wind Turbine. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2).
- Refaldi, I., Basir, Y., & Wardhani, D. U. Y. (2022). Analisis Fluktuasi Beban Terhadap Efisiensi Generator Sinkron di PT. PEMBANGKIT LISTRIK PALEMBANG JAYA. *Jurnal Ampere*, 6(2), 91–103.
- Sahin, K., & Prawira, F. (2020). Studi Eksperimental Turbin Darrieus Dengan Sudu Overlap. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 20(1), 7–14.
- Saragi, J., Agus Yogiarto, A., & Sukmajati, S. (2021). *RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK PENERANGAN KAWASAN PESISIR PANTAI*. INSTITUT TEKNOLOGI PLN.
- Suprpto, M. (2016). Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan 4, 6 dan 8 Sudu. *AL JAZARI: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*, 1(2).
- TAWAKAL, I., & SIREGAR, I. H. (2020). UJI EKSPERIMEN KINERJA MODEL TURBIN ANGIN JENIS SWIRLING SAVONIUS DEFLEKTOR

DIAM DENGAN PENAMBAHAN FREE DRAG REDUCING DI TEROWONGAN ANGIN. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1).

Tuapetel, J. V., Triprayoga, I. A., & Santika, P. M. (2019). Analisis dan pengujian kinerja turbin angin Savonius 4 sudu. *J. Tek. Mesin ITI*, 3(2), 46.

Victor, Y. (2020). *STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUDUT DEFLEKTOR TERHADAP PERFORMA TURBIN AIR POROS VERTIKAL TIPE SAVONIUS TIGA SUDU*. Institut Teknologi Kalimantan.

