



**ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN ANGIN TIPE SAVONIUS  
TERHADAP KONDISI LINGKUNGAN DI KABUPATEN  
PROBOLINGGO**

**SKRIPSI**

Oleh

**Ryan Fitrah Farazi**

**NIM 131910101098**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN ANGIN TIPE SAVONIUS  
TERHADAP KONDISI LINGKUNGAN DI KABUPATEN  
PROBOLINGGO**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Ryan Fitrah Farazi**

**NIM 131910101098**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Hariri Efendi dan Sri Rukmi Hayati yang telah memberikan pengorbanan dengan penuh keikhlasan hati yang tiada henti hingga saat ini dan selalu menjadi motivasi hidup saya.
2. Kepada Keluarga Safri Agung S, dan tante saya Sri Susiawati sebagai orang tua kedua saya, serta adek saya Sultan, Lana, dan Kirana.
3. Kepada Bapak Rozek.,S.T selaku penanggung jawab lab mesin SMKN 3 Pamekasan dan adik-adik siswa SMKN 2 Pamekasan yang telah membantu proses pembuatan alat uji.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membagikan ilmu selama kuliah, semoga bermanfaat bagi kehidupan dikemudian hari. Terimakasih khususnya saya sampaikan kepada Bapak Aris Zainul Muttaqin.,S.T.,M.T atas ide, saran serta motivasinya, Kemudian Moch Edoward R., S.T.,M.T selaku Dosen pembimbing utama dan Bapak Hari Sutjahjono.,S.T.,M.T selaku Dosen pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan hingga terselesaikannya skripsi ini, serta Bapak Santoso Mulyadi.,S.T.,M.T selaku Dosen penguji utama dan Bapak Muh. Nurkoyim Kustanto., S.T., M.T selaku Dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran sebagai pertimbangan kesempurnaan penelitian ini.
5. Serta teman-teman seluruhnya yang tidak dapat disebutkan satu-persatu dalam membantu terselesainya penelitian ini khususnya Teknik Mesin angkatan 2013 semoga untuk kedepannya kita tetap menjadi satu keluarga (*Solidarity Forever*).

### MOTTO

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat Allah melainkan orang-orang yang kufur”

(QS Yusuf : 87)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kadar kesanggupannya.”

(QS Al Baqarah : 286)

“Bersabarlah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu dan tetaplah bersiap siaga dan bertaqwalah kepada Allah supaya kamu menang.” (QS Al Imraan : 200 )

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” (QS Al Insyirah : 5)

“Dan Perumpamaan-perumpamaan ini Kami buat untuk manusia, dan tiada orang yang memahaminya kecuali orang berilmu.”

(QS Al-An’kabuut : 43 )

---

Tafsir Al-Quran oleh KEMENAG

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ryan Fitrah Farazi

NIM : 131910101098

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Turbin Angin Tipe Savonius Terhadap Kondisi Lingkungan Di Kabupaten Probolinggo” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus di junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 17 Januari 2019

Yang Menyatakan,

Ryan Fitrah Farazi  
NIM 131910101098

**SKRIPSI**

**ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN ANGIN TIPE SAVONIUS  
TERHADAP KONDISI LINGKUNGAN DI KABUPATEN  
PROBOLINGGO**

Oleh

Ryan Fitrah Farazi

NIM 131910101098

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Moch. Edoward R., S.T.,M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono., S.T.,M.T

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Unjuk Kerja Turbin Angin Tipe Savonius Terhadap Kondisi Lingkungan Di Kabupaten Probolinggo” karya Ryan Fitrah Farazi telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : 17 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

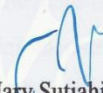
**Tim Penguji**

Dosen Pembimbing Utama,



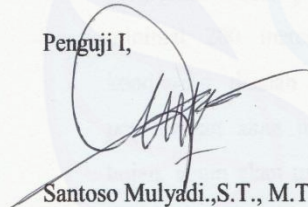
Moch. Edoward R., S.T., M.T.  
NIP. 19870430 201404 1 001

Dosen Pembimbing Anggota,



Hary Sutjahjono, S.T., M.T.  
NIP. 196812051997021002

Penguji I,



Santoso Mulyadi, S.T., M.T.  
NIP. 197002281997021001

Penguji II,



Muh. Nurkoyim K., S.T., M.T.  
NIP. 196911221997021001

Mengesahkan  
Dekan,



Dr. I. Entis Hidayah, M.U.M  
NIP 19661215 199503 2 001

**RINGKASAN**

**ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN ANGIN TIPE  
SAVONIUS TERHADAP KONDISI LINGKUNGAN DI  
KABUPATEN PROBOLINGGO**

Ryan Fitrah Farazi, 131910101098; 2018; 54 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Angin merupakan salah satu energi yang dapat diberdayakan dan dapat diperbaharui. Terdapat beberapa fenomena alam yang berkaitan dengan angin salah satunya adalah angin gending. Angin gending merupakan nama lain dari angin fohn yang berhembus di daerah Kecamatan Gending, Kabupaten Probolinggo. Angin ini memiliki sifat panas dan kering, hal tersebut dipengaruhi oleh tekanan udara disekitarnya. Pada saat pergerakan massa udara naik ke pergunungan yang memiliki ketinggian minimal 200 meter, massa udara tersebut akan mengalami proses kondensasi disalah satu sisi pergunungan, sedangkan pada sisi lain pergunungan akan membentuk bayangan hujan. Pada daerah bayangan hujan, angin akan turun dengan kecepatan yang tinggi, karena kecepatan yang tinggi tersebut, mengakibatkan menaiknya suhu udara yang menjadi panas (naiknya suhu udara 1 derajat setiap turun 100 meter) dan kering karena kandungan uap air telah terbuang di lereng sebelumnya. Angin ini sering ditemukan bersamaan dengan proses hujan orografis. Hal ini juga didukung oleh kontur wilayah Kecamatan Gending yang dikelilingi Gunung Argopuro, Gunung Geni dan Lamong di bagian selatan dan timur. Sedangkan di utara terdapat Bukit Bentar.

Energi baru dan terbarukan adalah solusi untuk meningkatkan peran energi dalam mendukung pasokan pemenuhan kebutuhan energi Nasional. Dalam kehidupan sehari-hari sering kali kita menjumpai energi yang belum dimanfaatkan dan terbuang percuma di udara bebas, seperti halnya energi angin, panas bumi, panas matahari dan lain sebagainya.



Sebenarnya energi tersebut dapat dikonversi menjadi energi listrik. Turbin angin merupakan suatu alat yang dapat mengkonversi energi mekanik angin menjadi energi listrik melalui putaran rotor dan dinamo. Teknologi ini dikenal sebagai teknologi yang terbaru serta ramah lingkungan tidak menghasilkan emisi gas buang.

Turbin angin *savonius multiblade* merupakan turbin angin dengan tipe sumbu vertikal (VAWT) yang memiliki banyak bilah (*blade*) sehingga memungkinkan tangkapan angin lebih banyak dan dalam segala jenis aliran. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap unjuk kerja turbin angin *savonius multiblade* dengan variasi ketinggian yaitu pada ketinggian 2m dan 10 dengan harapan pemberian perlakuan tersebut mengetahui unjuk kerja dari turbin tersebut di wilayah kabupaten Probolinggo. Penelitian ini dilakukan di Desa Brumbung lor, Kecamatan Gending, Kab. Probolinggo.

Dari hasil penelitian didapatkan hasil bahwa semakin tinggi letak turbin maka kecepatan angin semakin tinggi pula, semakin tinggi maka daya angin yang dihasilkan semakin besar dan daya mekanik turbin semakin besar. Hal itu dapat dilihat pada hasil pengujian menunjukkan bahwa daya angin terbesar pada jam 4 sebesar 181,3 W pada ketinggian 10m dalam pengamatan 1 dan pada jam 4 sebesar 168,5 W pada pengamatan 2. Kemudian aliran laminar terjadi pada jam 3 - 5 pagi sehingga pengamatan terbaik dilakukan pada rentang waktu tersebut. Efisiensi diperoleh dari perbandingan antara daya mekanik turbin dengan daya angin. Dari pengamatan tersebut didapatkan efisiensi rata-rata sebesar 22% pada ketinggian 10m dan 41% pada ketinggian 2m pada pengamatan 1, kemudian 6% pada ketinggian 10 m dan 34% pada ketinggian 2m dalam pengamatan 2.

**SUMMARY**

***Analysis The Performance Of Wind Turbine Savonius Tipe Againsts Environment Condition In Probolinggo Districts***

*Ryan Fitrah Farazi, 131910101020; 2017; 82 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University*

*Wind energy is one who can be empowered and can be renewed. There are several natural phenomena associated with the wind is the wind repertoire. The wind repertoire is another name of Foehn winds that blow in the area of Probolinggo Regency, Gending Subdistrict. This wind has hot and dry, it is influence by the surrounding air pressure. At a time when the movement of the air mass rises to the mountain that has an altitude of at least 200 metres away, the air mass will experience a process of condensation is subjected to one side of the mountains, while on the other side of the mountains will form a rain shadow. In the rain shadow area, the wind will go down with a high speed, because the speed is high, resulting in a large increase of air temperature becomes hot (the temperature rise of 1 degree every 100 metres down) and dry because water vapour content has wasted hill before. The wind is often found in conjunction with rain orografis process. It is also supported by the contours of the Gending Subdistrict surrounded by Mount Argopuro, mount Geni and Lamong in the south and east. While in the north there is the hill soon.*

*New and renewable energy is the solution to increase the role of energy in support of national energy needs fulfillment supply. In everyday life we often find the energy that has not been termanfaatkan and wasted free aerial combat, such as wind energy, geothermal, solar thermal and others. Actually the energy can be converted into electrical energy. A wind turbine is a tool that can convert mechanical energy into electrical energy through wind round the rotor and dynamo. This technology is known as a renewable technology and environmentally friendly produce no exhaust emissions.*

*Multiblade savonius wind turbine is a wind turbine with vertical axis type (VAWT) that has lots of blades so lets catch the wind more and in every genre.in this research will be done analysis of the savonius multiblade wind turbine performance with variations of altitude that is at a height of 2 m and 10 with hopes of awarding the treatment of knowing the performance of turbines in the region the Regency of Probolinggo. This research was conducted in the village of Brumbung lor, Gending subdistrict, Probolinggo Regency.*

*From the results obtained as a result of that the higher turbine layout then the higher the wind speed, the higher the wind generated power then getting bigger and bigger turbine mechanical power. It can be seen on the results of the testing show that the largest wind power on hours of 4 amounted to 181.3 W at an elevation of 10 m in observations 1 and 4 hours of 168.5 W on observation 2. Then flow laminar occurs at 3-5 in the morning so pengamatan best done on the span of time. The efficiency obtained from the comparison between the mechanical power turbine with wind power. The observations obtained from the average efficiency of 22% at an altitude of 10 m and 41% at a height of 2 m on 1, then 6% at a height of 10 m and 34% at an altitude of 2 m in 2 observation.*

## PRAKATA

Puji syukur tak lupa selalu penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Turbin Angin Tipe Savonius Terhadap Kondisi Lingkungan Di Kabupaten Probolinggo”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya Hariri Efendi dan Sri Rukmi Hayati, terimakasih untuk seluruh dukungan doa, semangat maupun materil sehingga saya bisa menyelesaikan studi hingga S1.
2. Bapak Moch Edoward R., S.T.,M.T selaku Dosen pembimbing utama dan Bapak Hary Sutjahjono., S.T.,M.T selaku Dosen pembimbing anggota yang telah memberikan perhatian serta bimbingan hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Santoso Mulyadi.,S.T.,M.T selaku Dosen penguji utama dan Bapak Muh. Nurkoyim Kustanto., S.T., M.T selaku Dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran sebagai pertimbangan kesempurnaan penelitian ini.
4. Teman seperjuangan Teknik Mesin 2013 yang sudah berjuang bersama dari masa ospek sampai menempuh skripsi ditahun terakhir perkuliahan, serta kakak tingkat maupun adik tingkat yang memberikan dukungan, salam *solidarity forever*.
5. Sahabat terdekat: Rachman, Widit, Nanta dan Chaki yang selalu ada ketika susah maupun senang selama di perantauan dan selalu menegur ketika melakukan kesalahan demi kebaikan diri pribadi.
6. Saya ucapkan terima kasih yang tiada batasnya kepada orang tersayang saya Maiteta Riandini yang selalu menyemangati, mendorong, dan mendoakan saya hingga sejauh ini.
7. SMKN 2 Pamekasan sebagai tempat pembuatan dan perakitan alat.

7. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama perkuliahan.
8. Tretan Jongma (Jong Madura) di Jember yang mejadi keluarga di Jember dan untuk selamanya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 17 Januari 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

**Halaman**

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	2
1.3.1. Tujuan .....	2
1.3.2. Manfaat .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Vertikal Axis Wind Turbine .....	4
2.2 Turbin Angin Savonius .....	5
2.2.1 <i>Blade</i> .....	6
2.2.2 Stator.....	6

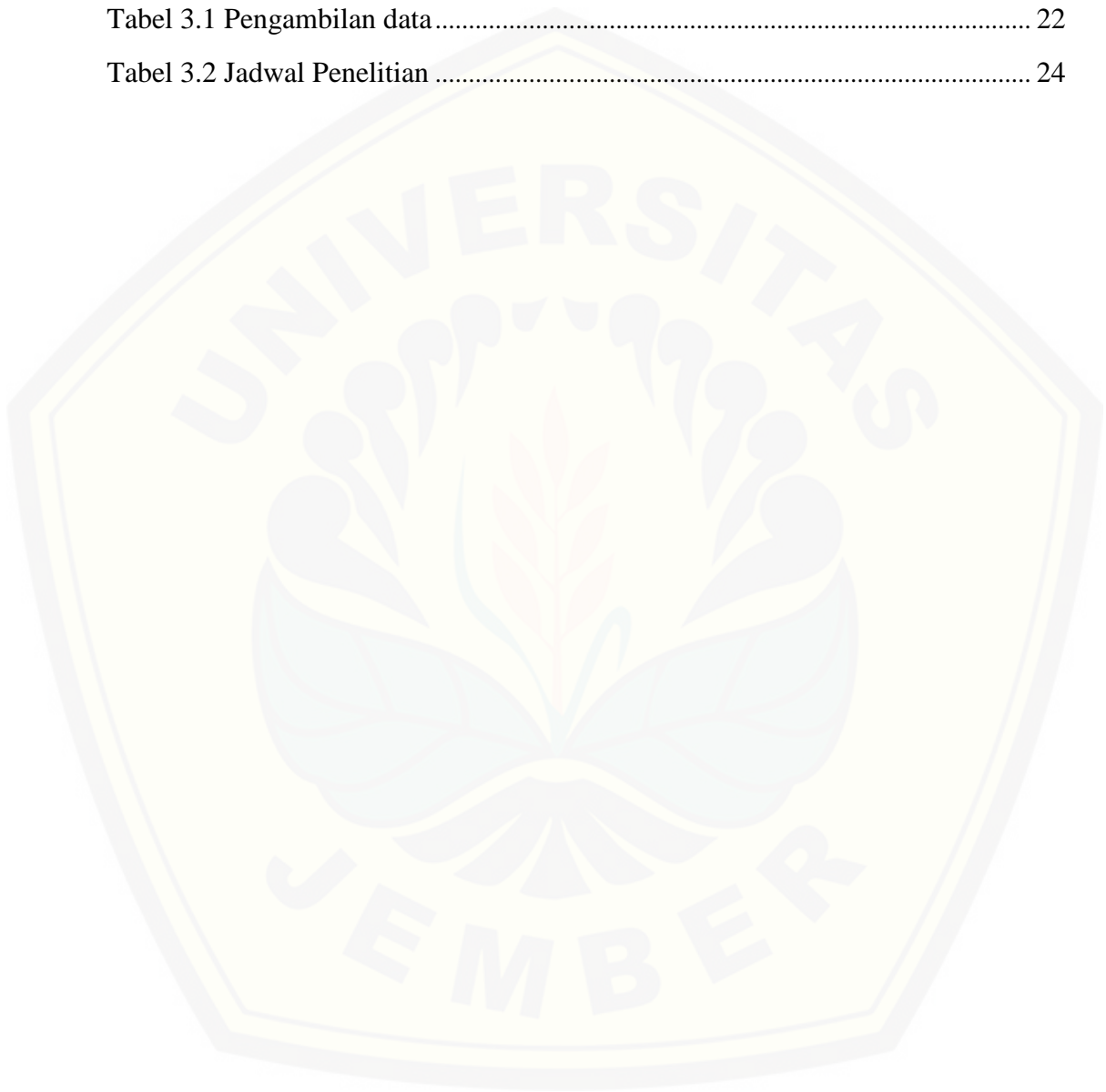
2.2.3 Generator.....	6
2.3 Fenomena Aliran .....	7
2.3.1 <i>Drag dan Lift Force</i> .....	7
2.3.2 Temperatur, Kelembapan, dan Kecepatan Angin.....	8
2.3.3 <i>free stream</i> .....	8
2.3.4 <i>Tip Speed Ratio</i> .....	9
2.4 Fluida Kerja .....	10
2.5 Torsi, Daya dan Kecepatan Turbin.....	11
2.5.1 Daya.....	11
2.5.2 Torsi.....	11
2.5.3 Efisiensi .....	12
2.5.4 Kecepatan .....	12
2.6 Daya dan Efisiensi Generator .....	13
2.6.1 BHP.....	13
2.7 Penelitian Terdahulu.....	14
2.8 Hipotesis.....	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan .....	15
3.2.1 Alat dan Instrumen yang digunakan penelitian. ....	15
3.2.2 Bahan Penelitian .....	16
3.3 Metode Penelitian.....	16
3.4 Variabel Penelitian .....	17
3.4.1 Variabel Bebas.....	17
3.4.2 Variabel terikat .....	17
3.5 Rancangan <i>Turbin Angin Savonius Multiblade</i> .....	17
3.6 Prosedur Penelitian.....	20
3.6.1 Persiapan dan Pemeriksaan Alat Pengujian.....	20
3.6.2 Tahapan Pengambilan Data .....	21
3.6.3 Tahap pengolahan dan analisis data .....	23
3.7 Jadwal Penelitian .....	24
3.8 Diagram Alir Pengujian.....	25

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1. Konstruksi Turbin.....	26
4.2. Pengukuran Kondisi Lingkungan .....	26
4.2.1 Pengukuran Temperatur dan Kelembapan Udara.....	27
4.2.2 Pengukuran Kecepatan Angin .....	29
4.3. Pengukuran Daya Angin, Daya Turbin, dan Efisiensi.....	33
4.3.1 Pengukuran Daya Angin.....	33
4.3.2 Daya Turbin .....	35
4.3.3 Efisiensi .....	37
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>40</b>
5.1. Kesimpulan.....	40
5.2. Saran .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>44</b>



**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1 Pengambilan data.....	22
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian .....	24



**DAFTAR GAMBAR**

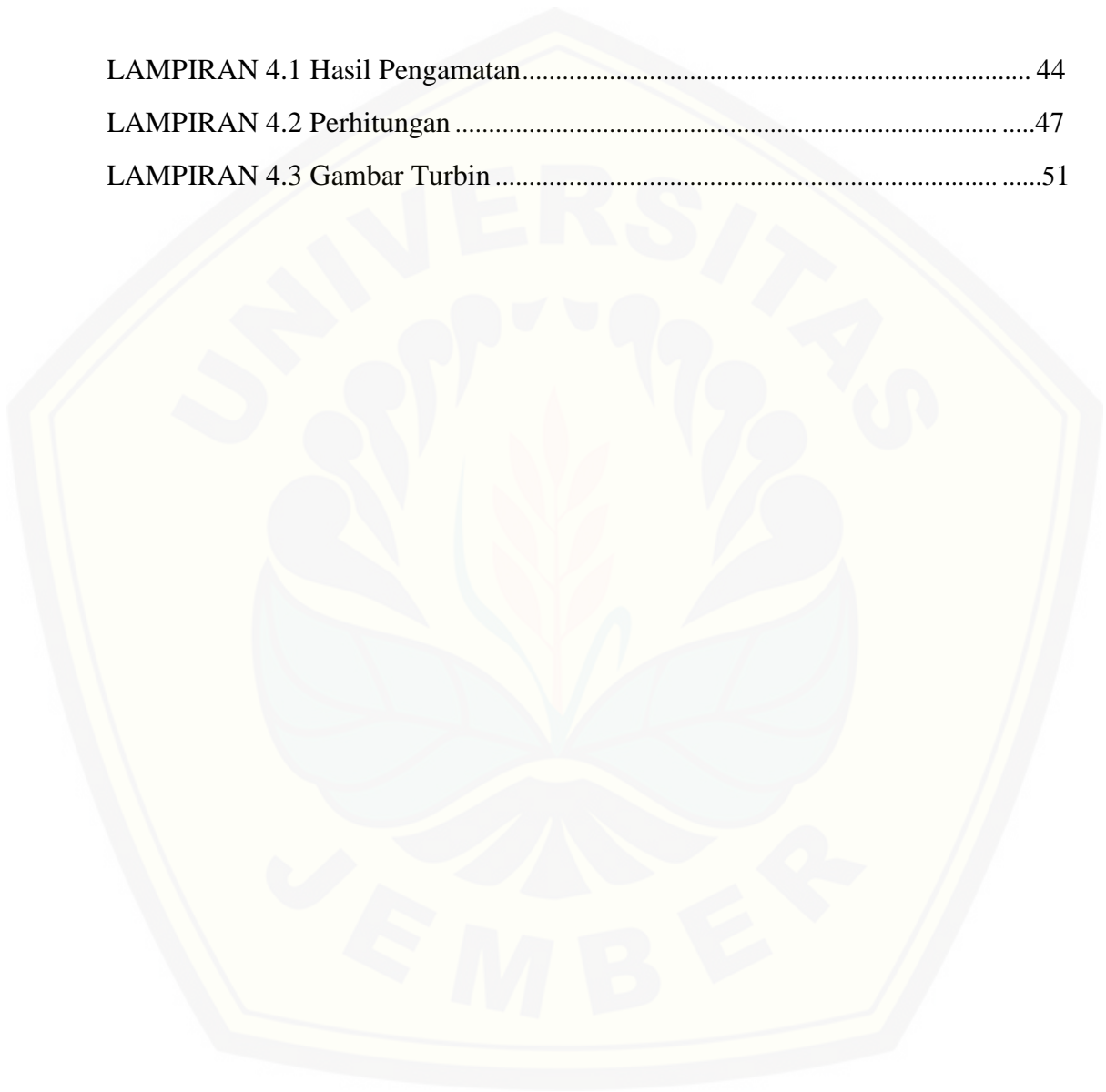
	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal .....	4
Gambar 2.2 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal .....	5
Gambar 2.3 Tipe Rotor <i>Savonius</i> .....	6
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dan ketinggian lokasi .....	15
Gambar 3.2 Alat penelitian .....	16
Gambar 3.3 Rancangan turbin angin <i>savonius multiblade</i> .....	18
Gambar 3.4 Konstruksi Bilah .....	19
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian .....	25
Gambar 4.1 Kerangka Turbin .....	26

**DAFTAR GRAFIK**

	<b>Halaman</b>
Grafik 4.1 Suhu dan Kelembapan, Pengamatan 1 ( Jam 06.00 - 17.59) .....	27
Grafik 4.2 Suhu dan Kelembapan, Pengamatan 1 (Jam 18.00 - 05.59) .....	28
Grafik 4.3 Suhu dan Kelembapan, Pengamatan 2 (Jam 18.00 - 05.59) .....	28
Grafik 4.4 Kecepatan Angin, Pengamatan 1 ( Jam 06.00 - 17.59) .....	30
Grafik 4.5 Kecepatan Angin, Pengamatan 1 ( Jam 18.00 - 05.59) .....	30
Grafik 4.6 Kecepatan Angin, Pengamatan 2 (Jam 18.00 - 05.59) .....	31
Grafik 4.7 Kecepatan Sudut, Pengamatan 1 ( Jam 06.00 - 17.59) .....	31
Grafik 4.8 Kecepatan Sudut, Pengamatan 1 (Jam 18.00 - 05.59) .....	32
Grafik 4.9 Kecepatan Sudut, Pengamatan 2 (Jam 18.00 - 05.59) .....	32
Grafik 4.10 Daya Angin, Pengamatan 1 ( Jam 06.00 - 17.59) .....	33
Grafik 4.11 Daya Angin, Pengamatan 1 (Jam 18.00 - 05.59) .....	34
Grafik 4.12 Daya Angin, Pengamatan 2 (Jam 18.00 - 05.59) .....	34
Grafik 4.13 Daya Turbin, Pengamatan 1 ( Jam 06.00 - 17.59) .....	35
Grafik 4.14 Daya Turbin, Pengamatan 1 (Jam 18.00 - 05.59) .....	36
Grafik 4.15 Daya Turbin, Pengamatan 2 (Jam 18.00 - 05.59) .....	36
Grafik 4.16 Efisiensi Turbin, Pengamatan 1 ( Jam 06.00 - 17.59) .....	37
Grafik 4.17 Efisiensi Turbin, Pengamatan 1 (Jam 18.00 - 05.59) .....	38
Grafik 4.18 Efisiensi Turbin, Pengamatan 2 (Jam 18.00 - 05.59) .....	38

**DAFTAR LAMPIRAN**

	<b>Halaman</b>
LAMPIRAN 4.1 Hasil Pengamatan.....	44
LAMPIRAN 4.2 Perhitungan .....	47
LAMPIRAN 4.3 Gambar Turbin .....	51



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Angin merupakan salah satu energi yang dapat diberdayakan dan dapat diperbaharui. Terdapat beberapa fenomena alam yang berkaitan dengan angin salah satunya adalah angin gending. Angin gending merupakan nama lain dari angin fohn yang berhembus di daerah Kecamatan Gending, Kabupaten Probolinggo. Angin ini memiliki sifat panas dan kering, hal tersebut dipengaruhi oleh tekanan udara disekitarnya. Pada saat pergerakan massa udara naik ke pergunungan yang memiliki ketinggian minimal 200 meter, massa udara tersebut akan mengalami proses kondensasi disalah satu sisi pergunungan, sedangkan pada sisi lain pergunungan akan membentuk bayangan hujan. Pada daerah bayangan hujan, angin akan turun dengan kecepatan yang tinggi, karena kecepatan yang tinggi tersebut, mengakibatkan naiknya suhu udara yang menjadi panas (naiknya suhu udara 1 derajat setiap turun 100 meter) dan kering karena kandungan uap air telah terbang sebelumnya. Angin ini sering ditemukan bersamaan dengan proses hujan orografis. Hal ini juga didukung oleh kontur wilayah Kecamatan Gending yang dikelilingi Gunung Argopuro, Gunung Geni dan Lamong di bagian selatan dan timur. Sedangkan di utara terdapat Bukit Bentar.

Angin merupakan udara yang bergerak sehingga angin memiliki kecepatan, oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang dapat mengukur kecepatan angin yaitu anemometer. Kecepatan angin penting untuk diketahui untuk mengkategorikan angin berdasarkan kecepatannya dalam ukuran skala. Dalam kondisi ini angin gending termasuk dalam angin kategori depresi tropis dengan kecepatan  $< 17$  m/s pada skala Saffir-Simpson, dan kategori 3 yaitu tipe angin dengan kecepatan rata-rata hembusan sedang  $>12$  dan  $<19$  pada skala Beaufort, serta potensi rendah (skala kecil) untuk daerah 0-30 m dpl. Soeripno MS (2011)

Untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan sebuah turbin angin dan turbin angin yang dianggap sesuai ialah turbin angin

*savonius multiblade*. Pemikiran ini muncul melalui pengamatan turbin ventilator dimana dapat berputar dengan kecepatan angin yang rendah. Bavin Logonathan, *et. al* (2016) mengambil kesimpulan bahwa hasil dari model yang di besarkan (dua kali ukuran semula) pada dimensi *blade*, maka hasilnya menunjukkan daya meningkat sebesar 80% dari model dasar pada tes terowongan angin. Oleh sebab itu digunakan model tersebut pada penelitian ini.

Dalam kesempatan penelitian ini akan dilakukan pemetaan potensi energi angin dengan menggunakan unjuk kerja dari turbin angin *savonius multiblade* pada titik yang telah ditentukan. Pengukuran kecepatan angin akan menggunakan anemometer digital tipe Benetech Gm816 dan turbin angin yang digunakan merupakan turbin angin *savonius multiblade* dengan 24 *blade* dan diameter *blade* 100 mm, tinggi 1000 mm dan diameter rotor 1200 mm.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, rumusan masalah yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi energi angin pada wilayah Desa Brumbung Lor, Kecamatan Gending, Kabupaten Probolinggo.
2. Bagaimana unjuk kerja turbin angin jenis *savonius multiblade* pada ketinggian 2 meter dan 10 meter dari permukaan tanah.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.3.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui unjuk kerja dari turbin angin jenis *savonius multiblade* di Kabupaten Probolinggo.
2. Mengetahui efisiensi mekanik turbin angin jenis *savonius multiblade* pada ketinggian 2 meter dengan ketinggian 10 meter.
3. Mengetahui pengaruh kondisi lingkungan pada kinerja turbin.

### 1.3.2. Manfaat

1. Dapat dijadikan informasi untuk pembuatan pembangkit listrik berbasis turbin angin jenis *savonius multiblade* di Kabupaten Probolinggo

2. Dapat menambah informasi mengenai turbin angin jenis *savonius multiblade*.
3. Dapat mengetahui pengaruh lingkungan wilayah terhadap unjuk kerja yang dihasilkan turbin angin jenis *savonius multiblade*.
4. Dapat mengetahui unjuk kerja turbin pada aliran free stream
5. Mengetahui potensi energi angin di Kabupaten Probolinggo secara spesifik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

3. Pengamatan dilakukan di Desa Brumbung Lor, Kecamatan Gending, Kabupaten Probolinggo.
4. Penelitian hanya dilaksanakan sampai pada tahap pengukuran daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin.
5. Pengamatan kondisi lingkungan hanya 50m di sekitar turbin.

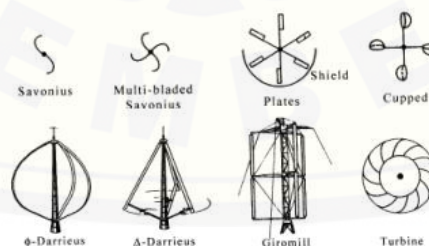
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Vertikal Axis Wind Turbine

*Vertical axis wind turbine* (atau VAWT) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

Dengan sumbu yang vertikal, generator bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag force* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan bearing wear yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin.



Gambar 2.1 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal (Yusuf Ismail N dan Chorul Saleh, 2015)



## 2.2 Turbin Angin *Savonius*

Turbin angin *savonius* merupakan salah satu jenis turbin angin vertikal (VAWT). Turbin ini pertama kalinya ditemukan oleh seorang ilmuwan berkebangsaan Finlandia bernama Sigurd J. *Savonius* pada tahun 1922 dan turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar.

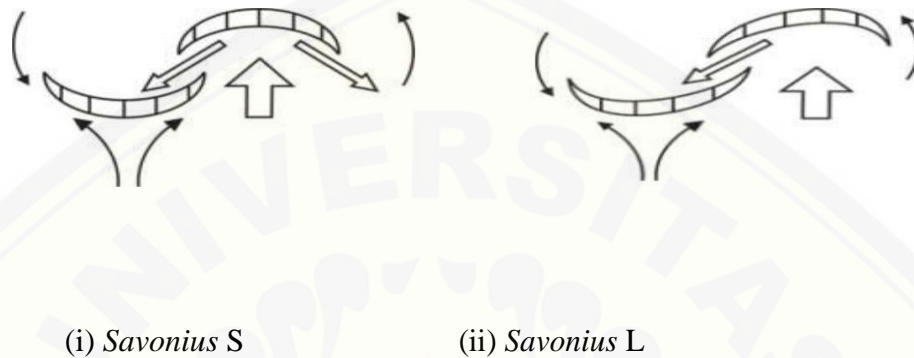
Namun pada saat ini mulai banyak perubahan atau variasi terhadap *blade* turbin ini dimana bentuk awalnya menyerupai huruf S apabila terlihat dari atas dan sekarang sudah terdapat beberapa tipe diantaranya tipe U, tipe S, dan tipe L



Gambar 2.2 Tipe Turbin *Savonius* (Sadaaki, *et al*, 2003)

Pada turbin angin *savonius* tipe U merupakan bentuk standart dari turbin angin *savonius* yang berpusat di tengah sehingga tidak ada aliran udara terhadap *blade* di sisi yang lain. Kemudian pada tipe S merupakan perubahan dari tipe U dimana terdapat celah pada titik tengah atau pada pusatnya sehingga memungkinkan angin yang terperangkap oleh *blade* untuk dialirkan ke *blade* lainnya, angin tersebut menjadi dorongan untuk *blade* yang lain. *Savonius* tipe L ini adalah desain yang paling efisien dari kincir angin *Savonius*. *Savonius* tipe L ini tidak hanya memiliki keunggulan dari udara yang dibelokkan menjadi dua kali tetapi juga sebagian vanes bertindak seperti sebuah airfoil ketika berada di tepi, membuat efek angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi.

Pola aliran pada *savonius* tipe L aliran memungkinkan untuk menangkap lebih banyak angin sehingga angin yang dialirkan terhadap *blade* di sisi yang berlawanan menjadi lebih besar daripada *savonius* tipe S.



Gambar 2.3 Tipe Rotor *Savonius* (Sadaaki, *et al*, 2003)

Turbin angin *savonius* merupakan turbin angin jenis *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) sehingga memiliki komponen berikut ini:

#### 2.2.1 *Blade*

Fungsi dari *blade* turbin adalah untuk menangkap gerakan angin dan merubahnya menjadi gerakan yang dapat memutar poros turbin.

#### 2.2.2 Stator

Stator adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator.

#### 2.2.3 Generator

Generator adalah suatu komponen yang dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari menggunakan teori medan elektromagnetik. Poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik

permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang berbentuk kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros mulai berputar maka terjadi perubahan *fluks* pada strator yang akhirnya karena terjadi perubahan *fluks* akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Generator mempunyai dua bagian utama yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak).

Jika kumparan di putar di dalam medan magnet (B), maka jumlah *fluks* magnetik dalam kumparan akan berubah, sehingga menurut Faraday akan menghasilkan GGL induksi, sesuai dengan persamaan:

$$\varepsilon = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \sin(\omega t) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :  $\varepsilon$  = GGL induksi (volt)

N = Jumlah lilitan

$\frac{d\phi}{dt}$  = Perubahan fluks tiap satuan waktu

$\omega$  =kecepatan *bladet* kumparan saat berputar (rad/s)

## 2.3 Fenomena Aliran

Dalam meneliti objek yang berinteraksi dengan fluida maka perlu diketahui fenomena aliran dari fluida tersebut terhadap objek (*blade*). Dalam turbin angin fenomena yang terjadi berupa fenomena yang mempengaruhi aliran angin terhadap *blade*.

### 2.3.1 Drag dan Lift Force

Pada dasarnya benda yang terdampak oleh aliran fluida pada kasus ini angin maka terdapat gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut. Gaya tersebut merupakan gaya hambat (*Drag Force*) dan gaya angkat (*Lift Force*). Dalam dinamika fluida, gaya hambat (yang kadang-kadang disebut hambatan fluida atau seretan) adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida ( cairan atau gas). Bentuk gaya hambat yang paling umum tersusun dari sejumlah gaya gesek, yang bertindak sejajar dengan permukaan benda, plus gaya tekanan, yang bertindak dalam arah tegak lurus dengan permukaan benda

Fluida yang mengalir melewati permukaan benda memberikan kekuatan di atasnya. Gaya angkat adalah komponen gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran fluida. Berlawanan dengan gaya drag, yang merupakan komponen gaya permukaan yang sejajar dengan arah aliran. Jika fluida berupa udara, gaya ini disebut gaya aerodinamis. Di dalam air, gaya ini disebut gaya hidrodinamik.

### 2.3.2 Temperatur, Kelembapan, dan Kecepatan Angin

Temperatur udara merupakan tingkat atau derajat panas dari molekul dalam atmosfer. Pengukuran temperatur menggunakan termometer dengan satuan yang digunakan ialah celsius, fahrenheit, dan reamur. Temperatur antara daerah yang satu dengan yang lain itu berbeda. Temperatur lingkungan dipengaruhi oleh sudut datang dan intensitas penyinaran oleh matahari, kontur wilayah, angin dan arus laut, dan awan

Kelembapan udara merupakan konsentrasi uap air yang terkandung dalam atmosfer. Konsentrasi dapat dinyatakan dalam absolut (mutlak) dan kelembapan relatif (nisbi). Kelembapan diukur dengan higrometer. uap air di udara berhubungan dengan perubahan suhu. Konsentrasi air di udara pada tingkat permukaan laut dapat mencapai 3% pada 30 °C (86 °F), dan tidak melebihi 0,5% pada 0 °C (32 °F).

Kecepatan angin adalah kecepatan udara yang bergerak secara horizontal pada ketinggian dua meter di atas tanah. Perbedaan tekanan udara antara asal dan tujuan angin merupakan faktor yang menentukan kecepatan angin. Kecepatan angin akan berbeda pada permukaan yang tertutup oleh vegetasi dengan ketinggian tertentu, Oleh karena itu, kecepatan angin dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Kecepatan angin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut anemometer .

### 2.3.3 *free stream*

Aliran udara bebas merupakan aliran angin yang mengalir tanpa mengalami suatu hambatan baik oleh medan atau bidang geografis maupun oleh faktor-faktor lingkungan seperti pohon, bangunan, tower, dll. Aliran bebas cenderung merupakan aliran laminar (searah) karena tidak adanya hambatan-

hambatan yang menyebabkan munculnya riak-riak aliran sehingga menyebabkan adanya turbulensi pada aliran.

### 2.3.3 Tip Speed Ratio

Gaya yang bekerja pada *blade* dapat berupa gaya angkat (*lift*) atau gaya dorong. Untuk menentukan gaya mana (gaya angkat atau gaya dorong) yang dominan tergantung pada jenis *blade* penghalang yang dipakai. TSR adalah perbandingan antara kecepatan ujung *blade* dengan kecepatan angin yang melewatinya. Bila  $TSR > 1$  artinya lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya angkat dan bila  $TSR < 1$  artinya lebih banyak bagian *blade* yang mengalami gaya dorong. Umumnya disain *blade* dengan dominasi gaya angkat memiliki efisiensi dan daya yang lebih tinggi.

Jika didefinisikan bahwa *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) adalah perbandingan antara kecepatan linier rotor dengan kecepatan angin sebelum *blade* atau ditulis secara matematik, yaitu :

$$\lambda = \frac{\text{Tip Speed of Blade}}{\text{WindSpeed}} \dots\dots\dots(2.2)$$

TSR dapat juga diperoleh dari persamaan:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :  $\lambda$  = Tip Speed Ratio

$$\omega = \text{Kecepatan Blade } \left(\frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right) = \frac{2.\pi.\text{Rpm}}{60}$$

R = Jari-jari Turbin (m)

v = Kecepatan angin ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

Dimana *Tip Speed of Blade* dapat diketahui dengan diketahuinya diameter turbin D.

$$\text{Tip Speed of blade} = \frac{\text{Rotational speed (rpm)}. \pi . D}{60} \dots\dots\dots(2.4)$$

## 2.4 Fluida Kerja

Angin merupakan aliran udara dalam jumlah yang besar diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah, dengan kata lain angin bergerak dari tempat bertemperatur rendah ke temperatur tinggi. Perbedaan temperatur ini disebabkan karena adanya perbedaan intensitas penyinaran matahari di setiap wilayah.

Angin memiliki energi kinetik karena angin memiliki massa dan angin juga bergerak sehingga angin memiliki kecepatan  $v$ , maka secara matematis energi yang dimiliki angin dapat kita ketahui dengan persamaan.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan demikian dapat diketahui dayanya:

$$P_w = \frac{1}{2} (\rho Av) (v^2) = \frac{1}{2} \rho Av^3 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :  $P_w$  = Daya angin (*watt*)

$\rho$  = densitas udara (1,184 kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = luas sapuan rotor (m<sup>2</sup>)

$V$  = kecepatan udara (m/s)

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal dimana dianggap energy angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat factor dan efisiensi dari mekanik turbin angin dan efisiensi dari generator sendiri. Sehingga daya yang dapat diekstrak menjadi energy angin dapat diketahui dari persamaan:

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V \dots \dots \dots (2.7)$$

Kinerja dari turbin angin disimbolkan oleh koefisien daya ( $C_p$ ). Koefisien ini menunjukkan energi yang dihasilkan oleh turbin angin sebagai bagian dari total energi angin yang melalui luasan area turbin angin tersebut. Karena ada Betz limit maka efisiensi rotor hanya sebesar 59% atau  $\frac{16}{27}$ , maka daya maksimal harus sebesar 59% saja.

$$P_T = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots \dots \dots (2.8)$$

## 2.5 Torsi, Daya dan Kecepatan Turbin

Dalam sistem turbin angin terdapat beberapa penghitungan matematis dan istilah yang perlu yang perlu diketahui diantaranya:

### 2.5.1 Daya

Daya disini adalah daya mekanik dari 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 (Michael, 2010).

### 2.5.2 Torsi

Torsi adalah hasil perhitungan Daya yang dibagi dengan kecepatan *blade* dari putaran turbin yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{P}{\omega} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana: T = Torsi (Nm)

P = Daya (Watt)

$$\omega = \text{Kecepatan Blade } \left(\frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right) = \frac{2\pi Rpm}{60}$$

### 2.5.3 Efisiensi

Efisiensi dari turbin angin jenis *savonius multiblade* ini dapat diketahui dari persamaan:

$$\eta = \frac{BHP}{P_{angin}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

### 2.5.4 Kecepatan

Terdapat berbagai macam istilah kecepatan yang berkaitan dengan turbin angin diantaranya:

- a. *Vcut-in* :kecepatan angin dimana turbin mulai bekerja untuk menghasilkan daya.
- b. *Vcut-out* :Kecepatan angin maksimum dimana kondisi ini sangat membahayakan kekuatan rotor.
- c. *Vrate* :Kecepatan angin yang mampu menghasilkan daya dengan efisiensi maksimum.
- d. *Vstart* :kecepatan angin minimum yang mampu menggerakkan rotor.
- e. *Vfurling* :Kecepatan bebas dimana turbin angin tidak menghasilkan daya.
- f. *Vmean*: kecepatan angin rata-rata disuatu daerah.



## 2.6 Daya dan Efisiensi Generator

Generator memiliki spesifikasi dan kemampuan itu sendiri, terlepas dari bagaimana turbin itu bekerja generator memiliki unjuk kerja tersendiri. Dalam penelitian ini unjuk kerja yang perlu diketahui meliputi daya elektrik dan efisiensi generator.

### 2.6.1 BHP

BHP dapat diketahui setelah mengetahui tegangan yang dihasilkan oleh generator sehingga dapat diperoleh persamaan:

$$P_{Generator} = V I \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :  $P_{Generator}$  = Daya Generator (watt)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Maka:

$$BHP = \frac{P_{Generator}}{\eta_{Generator}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :  $BHP$  = Brake Horse Power (Watt)

$P_{Generator}$  = Daya Generator (Watt)

$\eta_{Generator}$  = Efisiensi generator

bila dihitung dapat digunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_l}{P_T} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana  $P_l$  merupakan daya listrik generator dan  $P_T$  merupakan daya mekanis turbin.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini didasari penelitian yang dilakukan oleh Bavin Logonathan, *et.al* (2016) yang berjudul *Effect of Sizing of a Savonius Type Vertical Axis Micro Wind Turbine*. Penelitian tersebut meneliti tentang pengaruh penambahan dimensi dari blade dan rotor menjadi dua kali ukuran semula, model ini dilakukan penelitian pada skala mikro atau skala benda uji laboratorium. Oleh sebab itu penelitian ini untuk membuktikan model tersebut dalam skala 1:1 atau ukuran sebenarnya yang kemudian akan d komparasikan.

## 2.8 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah unjuk kerja dari turbin angin savonius multiblade. Bertambahnya intensitas angin yang mengenai bilah turbin akan menambah kecepatan pada bilah turbin, maka semakin besar kecepatannya akan semakin besar daya mekanik dari turbin angin jenis savonius multiblade.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan secara terencana dan tersusun pada bulan Juni 2018 di Kabupaten Probolinggo.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian dan ketinggian lokasi

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat dan Instrumen yang digunakan penelitian.

1. Turbin angin jenis *savonius multiblade*
2. Data Logger
3. Multimeter
4. Anemometer digital
5. Stopwatch
6. Pengaduk semen
7. Gergaji besi
8. Bor tangan
9. Kunci ring dan pas

### 3.2.2 Bahan Penelitian

1. Turbin angin jenis *savonius multiblade*
2. air
3. Semen
4. Kabel
5. Baut dan mur

Gambar (3.2) dibawah ini adalah gambar peralatan penelitian



a. Anemometer



b. Multimeter



c. Data Logger

Gambar 3.2 Alat penelitian

### 3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, dimana modul turbin angin dipasang di titik yang telah ditentukan. Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran kecepatan angin di lokasi turbin angin diletakkan. Sumber penggerak akan diperoleh dari angin dan ditangkap oleh *blade* untuk memutar poros. Dengan demikian dapat diperoleh data untuk menghitung besaran daya mekanis yang dihasilkan,. Selain itu, penelitian ini juga membutuhkan waktu pengukuran selama 12 jam pada satu titik.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variasi pengujian dilakukan untuk mengetahui besar daya listrik yang dihasilkan dari sistem Turbin Angin dalam sistem yang dimodelkan. Variabel pengujian dalam penelitian ini adalah:

#### 3.4.1 Variabel Bebas.

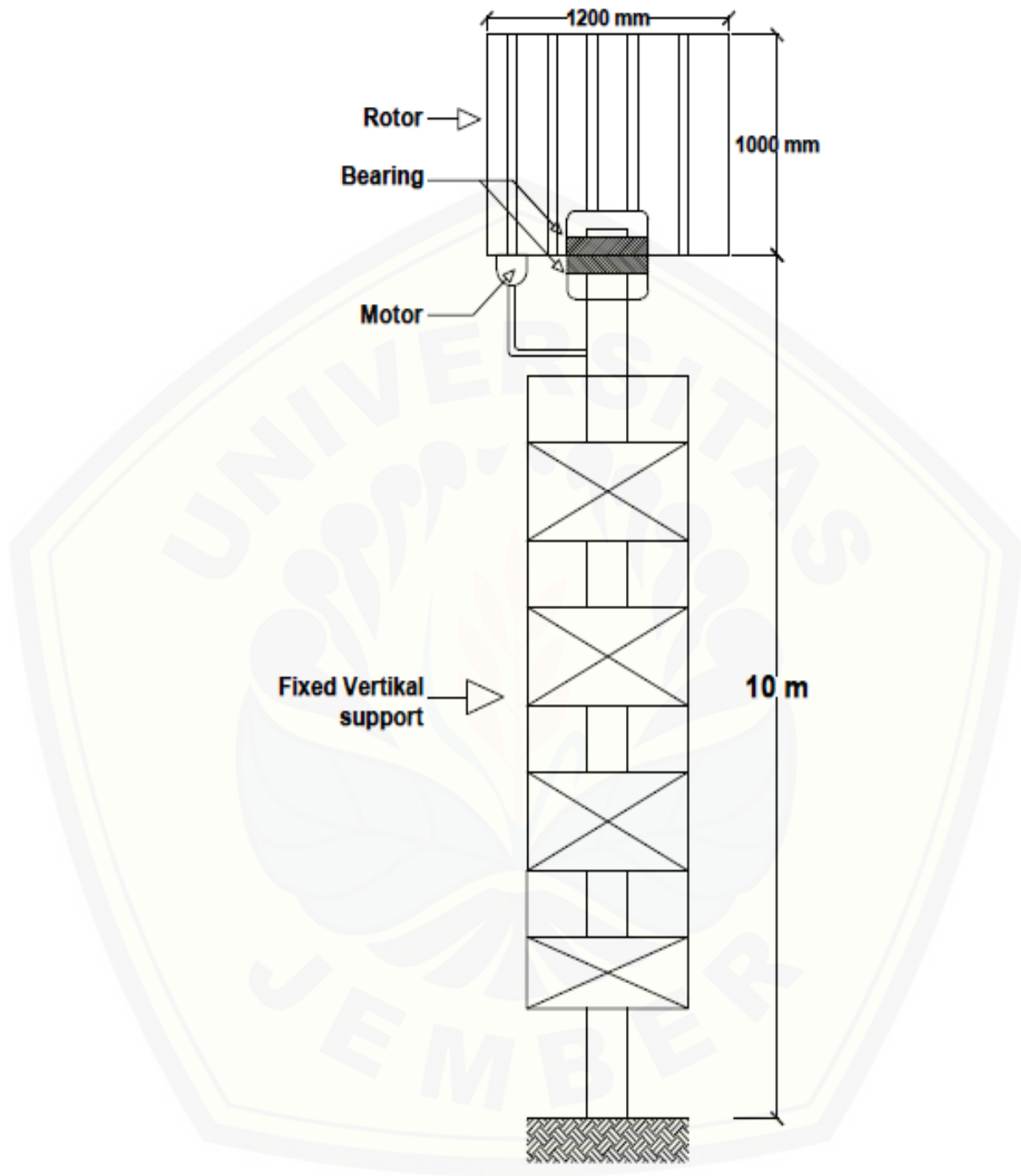
Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan oleh peneliti secara bebas. Variabel ini akan menjadikan patokan untuk mengetahui hasil dari penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah jenis turbin yang digunakan yaitu *savonius multiblade*.

#### 3.4.2 Variabel terikat

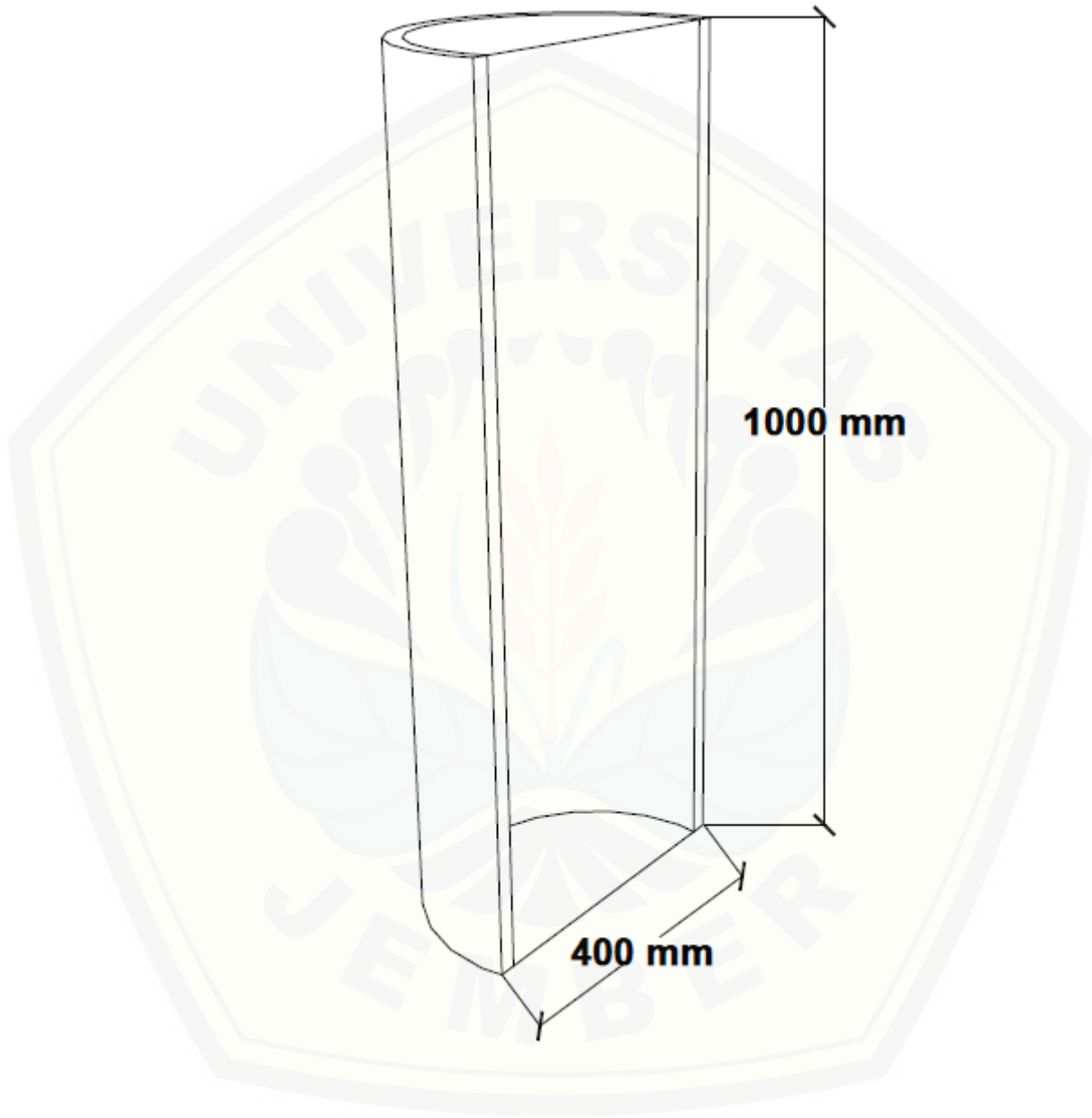
Variabel terikat merupakan variabel dimana besarnya akan mengikuti besarnya variabel bebas sehingga tidak dapat ditentukan oleh peneliti. Variabel terikat yang digunakan adalah daya mekanik dan efisiensi yang dihasilkan dan lama waktu pengujian.

### 3.5 Rancangan Turbin Angin *Savonius Multiblade*

Pada penelitian ini menggunakan turbin angin *savonius multiblade*. Dimana *blade* divariasikan pada dimensi *blade* dengan ukuran dasar dan diperbesar dua kali ukuran semula, jumlah *blade* tetap 24 *blade*. Hal ini untuk membuktikan penelitian dari Bavin logonathan.,*et.al.* (2016)



Gambar 3.3 Rancangan turbin angin *savonius multiblade*



Gambar 3.4 Konstruksi Bilah

Beberapa hal yang harus menjadi perhatian dalam penelitian ini antara lain:

- Memastikan pemasangan semua komponen dengan benar. Memasang modul turbin angin sesuai dengan tatakan yang telah dipersiapkan di lapangan.
- Memastikan modul turbin angin bekerja dengan sebagaimana mestinya, untuk memperoleh data yang baik dan benar.
- Memastikan kondisi lingkungan pengujian untuk sesuai dengan gambaran kondisi lingkungan Kabupaten Probolinggo pada umumnya.
- Pemasangan multimeter dan data logger pada titik yang akan diukur dipastikan keakuratannya, karena pemasangan yang kurang benar akan menyebabkan kesalahan dalam pengambilan data.
- Sebelum melakukan pengujian, pengecekan kinerja modul *Turbin Angin* perlu dilakukan untuk mengetahui masing-masing modul tersebut berfungsi dengan baik atau tidak.

### **3.6 Prosedur Penelitian**

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah kesiapan semua alat dan bahan yang akan digunakan. Setelah semuanya telah didapatkan, maka pengujian dilakukan mengikuti perencanaan berupa diagram alir pengujian yang sudah direncanakan sebelumnya. Diagram alir pengujian ini ditujukan untuk mendapatkan proses pengujian yang terstruktur dan aman serta mendapatkan hasil data yang akurat. Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### **3.6.1 Persiapan dan Pemeriksaan Alat Pengujian**

Persiapan alat pengujian ini meliputi persiapan alat dan bahan, dan merakit serta memodifikasi sesuai dengan kebutuhan. Setelah semuanya siap untuk melaksanakan pengujian, alat perlu adanya pemeriksaan meliputi kesiapan dan kelengkapan alat uji dan komponen agar mengetahui dapat bekerja dengan baik atau tidak pada sistem.



### 3.6.2 Tahapan Pengambilan Data

Tahap pengambilan data ini dilakukan dengan cara mengukur semua variabel baik variabel bebas maupun variabel terikat saat dilakukannya pengujian. Tahap-tahap yang perlu dilakukan saat pengambilan data adalah sebagai berikut .

- a. Merangkai semua komponen turbin angin dengan benar sesuai perencanaan, dan memasang alat ukur berupa multimeter dan data logger pada setiap titik yang telah ditentukan.
- b. Menjalankan alat turbin angin sekaligus mencatat data kecepatan angin dan unjuk kerja dari turbin angin *savonius multiblade*.
- c. Mengukur kecepatan angin selang 2 detik selama 24 jam
- d. Pengumpulan data.



### 3.6.3 Tahap pengolahan dan analisis data

Dalam tahap ini dilakukan perhitungan data dan analisis terhadap hasil penelitian yang dilakukan, meliputi:

#### 1. Besar daya aliran angin

$$P = \frac{161}{272} \rho A v^3$$

dimana :

- P = Daya dari angin (Watt)
- $\frac{16}{27}$  = Batas Betz's
- $\rho$  = Densitas udara (1,184 kg/m<sup>3</sup>)
- A = luas Sapuan Rotor (m<sup>2</sup>)
- v = kecepatan udara (m/s)

#### 2. Besar daya mekanik turbin

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

dimana:

- P = Daya Turbin (W)
- T = Torsi(Nm)
- rpm = rotasi per menit

#### 3. Efisiensi turbin

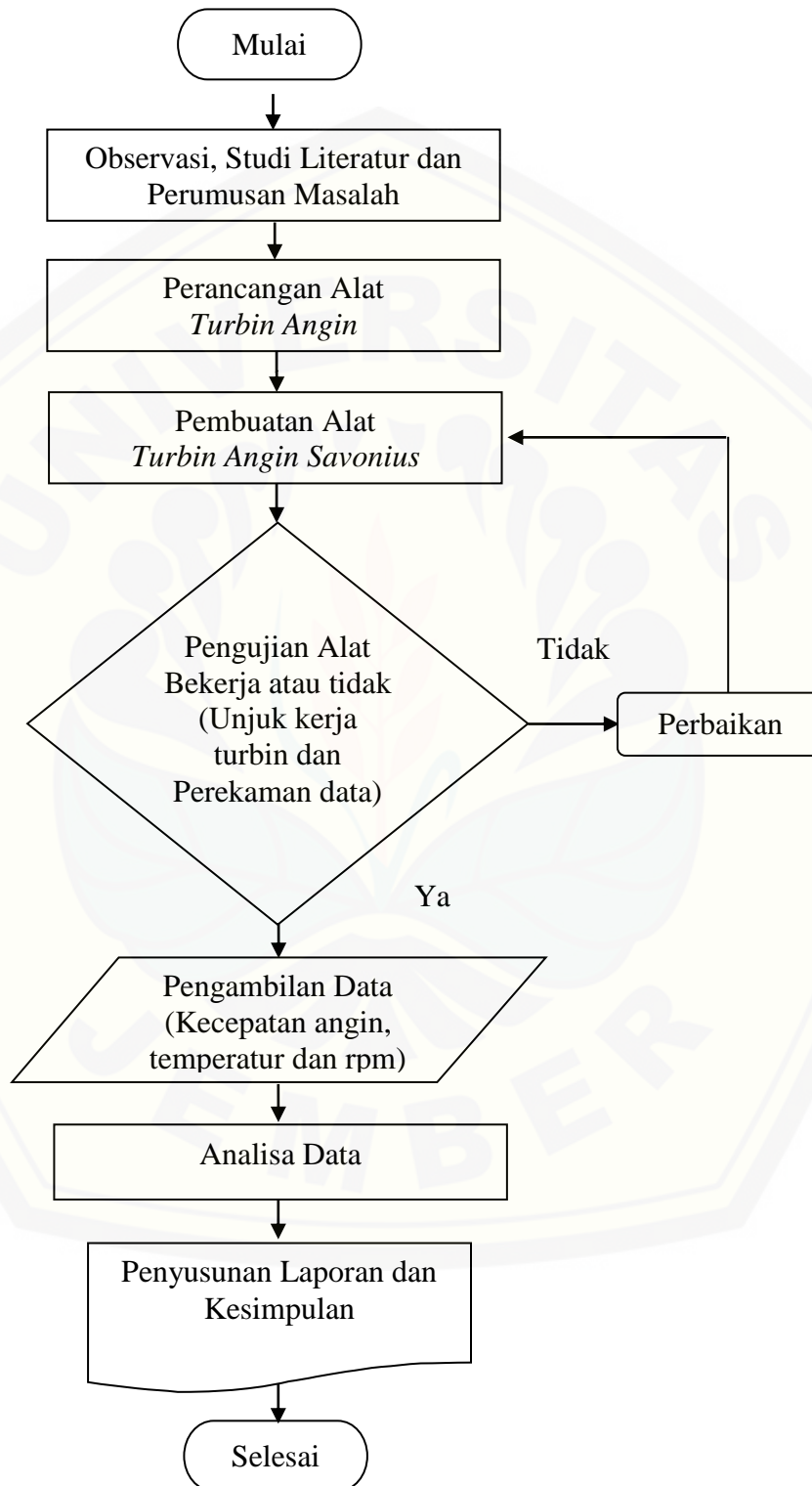
$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \times 100\%$$

### 3.7 Jadwal Penelitian

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

No	JenisKegiatan	Bulan						
		Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Mei	Juni
1	Observasi dan studi literatur	■						
2	Penyusunan proposal	■						
3	Seminar proposal		■					
4	Pembuatan alat				■	■		
5	Pelaksanaan penelitian						■	■
6	Pengolahan data dan analisis							■
7	Seminar hasil							■
8	Ujian penelitian							■

### 3.8 Diagram Alir Pengujian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Daya angin tertinggi di titik lokasi pengujian sebesar 181,3 W.
2. Waktu yang dianggap memiliki *free stream* pada jam 3-5 pada 10 m.
3. Daya mekanik tertinggi sebesar 3,8 W.
4. Dampak bobot turbin menyebabkan  $TSR < 1$  terutama pada turbin dengan ketinggian 10 m yang menyebabkan efisiensi menjadi rendah.
5. Kemampuan mengkonversikan daya dari energi angin ke mekanik mencapai hingga 100% .

#### 5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk perbaikan penelitian selanjutnya adalah:

1. Mendesain turbin dengan variasi lain dan lebih beragam sehingga menghasilkan perbandingan yang lebih akurat.
2. Menggunakan material rotor yang lebih ringan.
3. Pengujian dilakukan lebih dari satu titik sehingga dapat mencakup wilayah yang lebih luas.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup. 2013. *Zat-zat Pencemar Udara*. Jakarta
- Chan, Shin KR. 2001. Turbin angin terpadu sistem sudu rotor multi unit, no id 0 006 953 no paten P-951318.
- M.S Soeripno, 2011. *Potensi Pengembangan Energi Angin di Indonesia*. Jakarta : *Seminar Energi Baru dan Terbarukan Kadin Indonesia Dengan Para Pelaku Industri*. Diakses 22 September 2017.
- Kementerian ESDM. 2014. *Kondisi Kelistrikan Nasional Saat Ini*. Jakarta: *Ministry of energi and mineral resources of Republic of Indonesia*
- Daryanto, Y. (2007). *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta : Balai PPTAG-UG-LAGG.
- Roy Sukanta., K.Saha Ujjwal. 2014. Wind Tunnel Experiment of a Newly Developed Two Blade Savonius Wind Turbine. India: *Department of mechanical engineering Indian Institute of Guhawati*.
- Promdee chatchai., Photong Chonlatee. 2016. Effects of Wind Angles and Wind Speeds on Voltages Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels. Thailand: *2016 International Electrical Engineering Congress iEECON2016*.
- Bavin Logonathan., Israt Muntay., Harun Chowdury., Firoz Alam. 2016. Effect of Sizing of a Savonius Vertical Axis Micro Wind Turbine. Australia: *1 st International Conference on Energi and Power ICEP2016*.
- Bavin Logonathan., Israt Muntay., Harun Chowdury., Firoz Alam. 2016. Effect of Tuebulence on a Savonius Vertical Axis Micro Wind Turbine. Australia: *1 st International Conference on Energi and Power ICEP2016*.
- Promdee chatchai., Photong Chonlatee. 2016. Effects of Wind Angles and Wind Speeds on Voltages Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels. Thailand: *2016 International Electrical Engineering Congress iEECON2016*.

Nanang Rosidin. 2007. *Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol. Tugas Sarjana*. Bandung: ITB. Diakses pada 22 September 2017. Tersedia di [:http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-nanangrosi-32320&q=savonius](http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-nanangrosi-32320&q=savonius).

Mentari Laila Rachmawati. 2010. *Rancang Bangun Kincir Angin Model Savonius Termodifikasi Sebagai Sumber Energi Terbarukan Tugas Sarjana*. Surakarta: UNS. Di akses pada 22 September 2017.

www.powerchip.com. *Powerchip Technology Corporation*. Diakses pada tanggal 22 September 2017.

Muktakmar Michel. *Turbin Angin Savonius*. Diakses pada tanggal 22 September 2017. Tersedia di [:https://www.academia.edu/30117178/TURBIN\\_ANGIN\\_SAVONIUS](https://www.academia.edu/30117178/TURBIN_ANGIN_SAVONIUS)

Bayu Mahendra., Rudi Soenoko., Djoko Sutikno. 2014. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tipe L. Universitas Brawijaya.  
Fachrudin S Lutfi., Gunawan Nugroho., Ali Mustafa. 2013. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius Dengan Variasi Jumlah Stage dan Phase Shift Angle Untuk Memperoleh Daya Maksimum. *Jurnal Teknik POMITS* : Vol 1, no 1, 1-5.

Soelaiman, Fauzi, dkk. 2006. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol*. Bandung: ITB.

Wikipedia. *Tip-speed Ratio*. Diakses pada tanggal 22 September 2017. Tersedia di [https://en.wikipedia.org/wiki/Tip-speed\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Tip-speed_ratio)

Wikipedia. *Betz's Law*. Diakses pada tanggal 22 September 2017. Tersedia di [https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law)

Roisin dan Cushman, Benoit. 2007. *WIND ENERGY SYSTEMS ( Aeolian Energy Systems)*.



Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo. 1994. Vertical Axis-Differential Drag Windmill. Jurnal Teknik Mesin Volume 6, No 2, Oktober 2004: 65 – 70. Di akses pada 22 September 2017. Tersedia di:

<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/shop/16214/16206>.



LAMPIRAN

4.1 Lampiran Proses Pengamatan

4.1.1 Lampiran Proses Data Detik ke Menit

Waktu	Suhu	Hum.	10 m					2 m				
	( °C )	( % )	Va (m/s)	rpm	Pa (w)	Pt (w)	$\eta$	Va (m/s)	rpm	Pa (w)	Pt (w)	$\eta$
07.00.00	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.02	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.04	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.06	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.08	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.10	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.12	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.14	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.16	29	65	3,8	48	72,4	2,9	13	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.18	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.20	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.22	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.24	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.26	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.28	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.30	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.32	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,8	20	7,7	1,2	52
07.00.34	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.36	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.38	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.40	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.42	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.44	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.46	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.48	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.50	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.52	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.54	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.56	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.00.58	29	65	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
<i>Average</i>	29	65	3,9	48	80,9	2,9	12	1,8	20	8,3	1,2	49

## 4.1.2 Lampiran Proses Data Menit ke Jam

Waktu	Suhu	Hum.	10 m					2 m				
	(°C)	(%)	Va (m/s)	rpm	Pa (w)	Pt (w)	$\eta$	Va (m/s)	rpm	Pa (w)	Pt (w)	$\eta$
07.00	29	65	3,9	48	80,9	2,9	11	1,8	20	8,3	1,2	46
07.01	29	66	4	48	84,5	2,9	11	1,9	20	9,1	1,2	44
07.02	29	65	3,8	48	74,7	2,9	13	2,3	24	15,8	1,4	32
07.03	29	65	4,5	55	127,8	3,3	10	2,4	31	21,4	1,8	34
07.04	30	64	6,2	74	314,6	4,5	5	3,5	48	56,6	2,9	17
07.05	30	62	6,2	74	314,6	4,5	5	3,5	48	56,6	2,9	17
07.06	30	62	5,6	69	233,2	4,2	6	3,1	48	39,3	2,9	25
07.07	31	63	3,4	54	2,9	3,3	137	2,7	41	26,7	2,5	38
07.08	31	63	4	59	379,5	3,6	136	2,6	34	23,2	2,1	36
07.09	31	62	6,6	77	379,5	4,7	4	2,9	36	32,2	2,2	23
07.10	31	60	6,6	77	379,5	4,7	4	3,3	41	46,9	2,5	20
07.11	31	59	4,1	53	4,5	3,2	68	2	22	30,8	1,4	8
07.12	31	60	1,7	27	9,1	1,6	94	0,3	0	0	0	0
07.13	31	61	1,3	14	0,5	0,8	78	0,1	0	0	0	0
07.14	31	60	0,7	1	0,5	0,1	50	0	0	0	0	0
07.15	31	60	1,1	11	3,6	0,7	59	0	0	0	0	0
07.16	31	61	2,7	24	78,3	1,4	62	0,9	14	3,3	0,8	42
07.17	31	61	4,1	50	97,8	3,1	12	2,1	33	13,6	2	61
07.18	32	59	4,2	50	97,8	3,1	11	2,5	38	20,6	2,3	37
07.19	32	57	4,2	50	97,8	3,1	11	2,5	38	20,6	2,3	37
07.20	32	58	3,7	49	66,9	3	15	2,1	38	11,4	2,3	67
07.21	31	60	4,2	53	137	3,2	12	2,3	38	16,9	2,3	53
07.22	31	60	4,9	63	175,1	3,8	9	2,8	38	27,7	2,3	29
07.23	31	59	5,1	67	175,1	4,1	8	2,9	38	32,2	2,3	24
07.24	31	59	5,1	67	175,1	4,1	8	3	38	35,8	2,3	22
07.25	31	59	4,9	62	128,5	3,8	9	2,8	38	28,8	2,3	31
07.26	31	59	3,7	47	29	2,9	17	1,9	31	10,6	1,9	105
07.27	31	60	2,7	36	20,6	2,2	30	1,3	24	2,6	1,5	191
07.28	32	58	2,8	41	39,3	2,5	29	1,2	24	2,1	1,5	257
07.29	32	58	1,6	23	0	1,4	12	0,6	12	0,9	0,8	150
07.30	31	59	1,4	14	3,6	0,9	77	0,6	10	0,9	0,6	120
07.31	31	59	1,4	23	3,6	1,4	127	0,8	15	1	0,9	120
07.32	31	58	1,7	25	10,6	1,5	89	0,7	10	0,6	0,6	100
07.33	31	58	2,5	34	32,2	2	38	1,3	14	3,2	0,9	135
07.34	31	57	2,9	40	32,2	2,4	25	1,5	20	4,5	1,2	94
07.35	31	57	2,9	40	29	2,4	27	1,9	28	9,9	1,7	81
07.36	32	57	2,8	40	29	2,4	28	1,9	34	8,6	2,1	89
07.37	32	56	2,9	40	32,2	2,4	27	1,6	31	5,5	1,9	121
07.38	33	55	3,2	40	51,9	2,4	20	1,8	29	8,4	1,8	90
07.39	33	55	3,5	45	56,6	2,7	17	2	30	10,7	1,8	58
07.40	33	55	3,2	41	29	2,5	21	1,9	30	9,1	1,8	67
07.41	33	55	2,4	33	9,1	2,1	47	1,4	21	4,9	1,3	209
07.42	32	55	1,8	29	5,4	1,8	90	0,8	11	0,7	0,7	350
07.43	32	55	1,6	29	5,4	1,8	113	0,6	11	0,4	0,7	175
07.44	32	57	2	33	18,2	2	77	1	10	2,8	0,6	19
07.45	32	56	2,4	36	16,1	2,2	43	1,7	14	6,6	0,8	41
07.46	31	58	2,9	39	51,9	2,4	32	1,9	17	9,2	1	37
07.47	32	57	3,4	42	51,9	2,6	17	2	32	10,6	2	63
07.48	32	56	3,5	42	56,6	2,6	16	2,1	32	11,4	2	59
07.49	32	57	3,5	42	51,9	2,6	16	2,4	34	19,1	2,1	41
07.50	32	57	3,4	42	51,9	2,6	17	2,7	35	26	2,1	27
07.51	31	57	3,4	42	47,4	2,6	18	2,6	34	23,3	2,1	30
07.52	31	57	3,2	44	29	2,7	23	2,1	33	13	2	79
07.53	31	57	2,7	42	23,2	2,5	32	1,5	29	4,2	1,8	146
07.54	32	57	2,3	36	10,6	2,2	50	1,1	20	1,8	1,2	309
07.55	32	57	2	34	10,6	2,1	66	0,8	15	0,7	0,9	450
07.56	31	58	1,3	28	0,3	1,7	683	0,4	8	0,4	0,5	225
07.57	31	57	0,3	11	0	0,7	650	0	0	0	0	0
07.58	32	56	1,6	19	9,1	1,2	108	0,1	0	0	0	0
07.59	32	55	2	20	10,6	1,2	41	0,9	3	2,3	0,2	16
<i>Average</i>	31	59	3,2	42	77	2,6	59	1,7	25	13,7	1,5	82

## 4.1.3 Lampiran Rata-rata Pengamatan 1 (24 jam)

Waktu	Suhu (°C)	Hum. (%)	10 m					2 m				
			Va (m/s)	rpm	Pa (w)	Pt (w)	η	Va (m/s)	rpm	Pa (w)	Pt (w)	η
6	29	68	3,7	47	74,1	2,9	15	2	30	13,4	1,8	53
7	31	59	3,2	42	77,1	2,5	25	1,7	25	13,4	1,5	33
8	33	52	3	41	57	1,3	21	1,6	23	11	1,4	40
9	34	43	2,9	38	40,2	2,3	27	1,7	23	8,9	1,4	46
10	34	46	3,2	42	59,5	2,6	26	1,5	20	6,4	1,2	54
11	34	44	2,4	35	23	2,1	38	1,3	19	4,8	1,1	39
12	33	43	2,8	39	33,9	2,3	29	1,4	19	5,1	1,2	50
13	33	44	2,7	37	28,4	2,2	34	1,1	17	2,8	1,1	55
14	31	47	3	39	57,1	2,4	31	1,7	21	14,2	1,3	26
15	30	53	3,2	42	57,7	2,5	26	1,8	27	12,1	1,6	42
16	30	58	2,9	40	63,5	2,4	33	1,5	18	10	1,1	41
17	29	62	3	40	41	2,4	27	1,6	21	8	1,3	45
18	27	78	2,5	35	26,3	2,2	38	1,2	17	5,2	1,1	39
19	27	72	3,3	45	68,1	2,7	29	1,8	23	15,4	1,4	36
20	26	79	3	41	45,8	2,5	28	1,6	21	9,2	1,2	47
21	25	82	3,7	48	80,7	2,9	18	2,1	29	14,6	1,7	47
22	25	85	3,7	46	75,7	2,8	19	1,9	27	12,1	1,6	50
23	25	89	4,5	55	130,5	3,4	11	2,2	28	18,4	1,7	37
24	24	90	4,8	58	158,6	3,5	9	2,3	39	18,4	2,4	45
1	24	92	4,9	62	171	3,8	9	2,8	40	36,1	2,4	33
2	24	94	5	62	180,8	3,8	9	2,9	37	36	2,2	31
3	24	94	5,1	62	180,5	3,8	8	2,9	38	39,5	2,3	30
4	24	92	5	62	181,3	3,8	9	2,9	38	40,1	2,3	27
5	28	77	4,7	58	149,6	3,6	9	2,6	38	25,5	2,3	38
<b>Average</b>	<b>28</b>	<b>68</b>	<b>3,6</b>	<b>46</b>	<b>85,9</b>	<b>2,8</b>	<b>22</b>	<b>1,9</b>	<b>27</b>	<b>15,9</b>	<b>1,6</b>	<b>41</b>

## 4.1.3 Lampiran Rata-rata Pengamatan 2 (12 jam)

Waktu	Suhu (C)	Hum. (%)	10 m					2 m				
			Va (m/s)	Rpm	Pa (w)	Pt (w)	η	Va (m/s)	Rpm	Pa (w)	Pt (w)	η
18	28	64	3,0	40	41,5	2,4	9	1,6	21	8,0	1,3	66
19	27	69	3,0	40	40,9	2,4	10	1,6	22	7,9	1,3	72
20	27	73	3,2	44	65,6	2,7	10	1,8	23	14,6	1,4	32
21	26	76	3,3	44	65,7	2,7	9	1,8	24	13,8	1,5	27
22	25	81	3,7	47	78,4	2,9	6	2,1	29	13,7	1,7	20
23	25	83	3,7	46	78,7	2,8	5	2,0	27	12,5	1,6	38
24	25	84	3,7	47	81,5	2,9	6	2,1	29	14,2	1,7	19
1	26	84	3,6	46	73,6	2,8	6	2,0	28	12,8	1,7	30
2	25	87	4,5	55	134,5	3,3	3	2,1	29	17,9	1,8	36
3	25	89	4,8	58	158,3	3,5	3	2,2	32	17,8	2,0	28
4	24	92	4,9	60	168,5	3,7	3	2,8	38	36,0	2,3	10
5	28	77	4,6	55	135,7	3,3	3	2,3	30	19,6	1,9	31
<b>Average</b>	<b>26</b>	<b>80</b>	<b>3,8</b>	<b>48</b>	<b>93,6</b>	<b>3,0</b>	<b>6</b>	<b>2,0</b>	<b>28</b>	<b>15,7</b>	<b>1,7</b>	<b>34</b>

## 4.2 LAMPIRAN PERHITUNGAN

### 4.2.1 Daya Angin Jam 04.00.30

#### 1. Pengamatan 1 (10m)

Diketahui:

$$\frac{16}{27} = \text{Batas Betz's}$$

$$\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 3,768 \text{ m}^2$$

$$V = 5,6 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{16}{27} \rho A v^3$$

$$P = \frac{16}{27} (1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (3,768 \text{ m}^2) (5,6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$
$$= 274,2 \text{ Watt}$$

#### 2. Pengamatan 1 (2m)

Diketahui:

$$\frac{16}{27} = \text{Batas Betz's}$$

$$\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 3,768 \text{ m}^2$$

$$V = 3,6 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{16}{27} \rho A v^3$$

$$P = \frac{16}{27} (1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (3,768 \text{ m}^2) (3,6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$
$$= 20,7 \text{ Watt}$$

#### 3. Pengamatan 2 (10m)

Diketahui:

$$\frac{16}{27} = \text{Batas Betz's}$$

$$\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 3,768 \text{ m}^2$$

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

$$P = \frac{161}{272} \rho A v^3$$

$$P = \frac{161}{272} (1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (3,768 \text{ m}^2) (3,3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

$$= 56,1 \text{ Watt}$$

#### 4. Pengamatan 2 (2m)

Diketahui:

$$\frac{16}{27} = \text{Batas Betz's}$$

$$\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$A = 3,768 \text{ m}^2$$

$$V = 1,5 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{161}{272} \rho A v^3$$

$$P = \frac{161}{272} (1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) (3,768 \text{ m}^2) (1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

$$= 3,4 \text{ Watt}$$

#### 4.2.2 Daya Mekanik Turbin Jam 04.00.30

##### 1. Pengamatan 1 (10m)

Diketahui:

$$T = 0,588 \text{ Nm}$$

$$\square = 65 \text{ Rpm}$$

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

$$P = \frac{(0,588 \text{ Nm})(2\pi)(65 \text{ Rpm})}{60}$$

$$= 4 \text{ Watt}$$

##### 2. Pengamatan 1 (2m)

Diketahui:

$$T = 0,588 \text{ Nm}$$

$$\square = 45 \text{ Rpm}$$

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

$$P = \frac{(0,588 \text{ Nm})(2\pi)(45 \text{ Rpm})}{60}$$

$$= 2,7 \text{ Watt}$$

## 3. Pengamatan 2 (10m)

Diketahui:

$$T = 0,588 \text{ Nm}$$

$$\square = 41 \text{ Rpm}$$

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

$$P = \frac{(0,588 \text{ Nm})(2\pi)(41 \text{ Rpm})}{60}$$

$$= 2,5 \text{ Watt}$$

## 4. Pengamatan 1 (2m)

Diketahui:

$$T = 0,588 \text{ Nm}$$

$$\square = 21 \text{ Rpm}$$

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

$$P = \frac{(0,588 \text{ Nm})(2\pi)(21 \text{ Rpm})}{60}$$

$$= 1,3 \text{ Watt}$$

## 4.2.3 Efisiensi Jam 04.00.30

## 1. Pengamatan 1 (10m)

Diketahui:

$$P_t = 4 \text{ Watt}$$

$$P_a = 274,2 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{4 \text{ watt}}{274,2 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$= 1,4\%$$

## 2. Pengamatan 1 (2m)

Diketahui:

$$P_t = 2,7 \text{ Watt}$$

$$P_a = 20,7 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2,7 \text{ watt}}{20,7 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 13\% \end{aligned}$$

## 3. Pengamatan 2 (10m)

Diketahui:

$$P_t = 2,5 \text{ Watt}$$

$$P_a = 56,1 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2,7 \text{ watt}}{56,11 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 4,5\% \end{aligned}$$

## 4. Pengamatan 2 (2m)

Diketahui:

$$P_t = 1,3 \text{ Watt}$$

$$P_a = 3,4 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1,3 \text{ watt}}{3,4 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 38\% \end{aligned}$$



#### 4.3 LAMPIRAN GAMBAR BAGIAN TURBIN



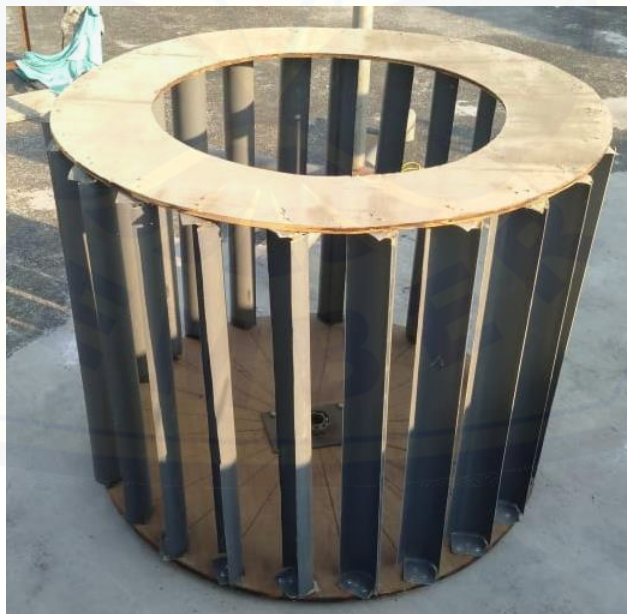
Gambar alas dari rotor



Gambar blade



Gambar Tampak Atas



Gambar rotor



Gambar Motor DC



Gambar Turbin Angin