



TUGAS AKHIR – TM 145502 (KE)

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN  
SUMBU *HORIZONTAL* 4 BLADE AIRFOIL CLARK-Y  
MODEL *TAPER LINEAR* DENGAN *ANGLE OF  
ATTACK* 20°, 40°, dan 60° MENGGUNAKAN  
MEKANISME VARIASI PEMBEBANAN**

M IZZUL FADHOK  
NRP 2114 030 070

Dosen Pembimbing  
DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST, MT, PhD  
NIP. 19751206 200501 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN  
SUMBU *HORIZONTAL* 4 *BLADE AIRFOIL*  
*CLARK-Y* DENGAN *ANGLE OF ATTACK* 20°,  
40°, dan 60° MENGGUNAKAN MEKANISME  
VARIASI PEMBEBANAN**

M IZZUL FADHOK  
NRP 2114 030 070

Dosen Pembimbing  
DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST, MT, PhD  
NIP. 19751206 200501 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017



**FINAL PROJECT - TM 145502**

**PERFORMANCE TEST OF 4 BLADE AIRFOIL  
CLARK-Y TAPER LINEAR MODEL HORIZONTAL  
AXIS WIND TURBINE WITH ANGLE OF  
ATTACK 20°, 40°, dan 60° USING MASS  
LOADING MECHANISM VARIATION**

**M IZZUL FADHOK  
NRP 2114 030 070**

**Counselor Lecturer  
DEDY ZULHIDAYAT NOOR, ST, MT, PhD  
NIP 19751206 200501 1 002**

**DIPLOMA III STUDY PROGRAM MECHANICAL ENGINEERING  
MECHANICAL INDUSTRY ENGINEERING DEPARTMENT  
VOCATION FACULTY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2017**

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN SUMBU  
HORIZONTAL 4 BLADE AIRFOIL CLARK-Y MODEL  
TAPER LINEAR DENGAN ANGLE OF ATTACK 20°, 40°,  
dan 60° MENGGUNAKAN MEKANISME VARIASI  
PEMBEBANAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin  
Bidang Studi Konversi Energi  
Program Studi D-III Teknik Mesin  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :  
**M Izzul Fadhok**  
**NRP. 2114030070**

Mengetahui / Menyetujui :  
(Dosen Pembimbing )



**SURABAYA, JULI 2017**

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN SUMBU  
HORIZONTAL 4 BLADE AIRFOIL CLARK-Y MODEL  
TAPER LINEAR DENGAN ANGLE OF ATTACK 20°, 40°,  
DAN 60° MENGGUNAKAN MEKANISME VARIASI  
PEMBEBANAN**

**Nama Mahasiswa** : M Izzul Fadhok  
**NRP** : 2114 030 070  
**Departemen** : Teknik Mesin Industri FV – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD

**Abstrak**

*Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan dan perkembangan ekonomi. Kebutuhan akan energi listrik juga semakin meningkat, sehingga masyarakat bergantung sumber energi yang berasal dari fosil. Karena fosil tidak akan selamanya tersedia, maka dibutuhkan inovasi baru untuk setidaknya mengatasi kebutuhan energi, salah satunya adalah turbin yang memanfaatkan energi angin.*

*Objek eksperimen ini adalah turbin angin, yaitu turbin angin sumbu horizontal dengan jumlah 4 blade airfoil clark-y model taper linear dengan variasi angle of attack 20°, 40°, dan 60°. Diuji unjuk kerjanya menggunakan variasi pembebanan dari anak timbangan 0 gram – 4000 gram dengan variasi kecepatan angin adalah 3,2 m/s, 4 m/s dan 7,2 m/s.*

*Dari hasil pengujian didapatkan daya dan efisiensi maksimum yaitu 1,209 Watt dan 26,873%.*

**Kata kunci** : *Energi angin, blade airfoil clark-y, taper linear, pulley, variasi pembebanan, kecepatan angin, daya, efisiensi.*

**PERFORMANCE TEST OF 4 BLADE AIRFOIL CLARK-Y  
TAPER LINEAR MODEL HORIZONTAL AXIS WIND  
TURBINE WITH ANGLE OF ATTACK 20°, 40°, AND 60°  
USING MASS LOADING MECHANISM VARIATION**

**Student Name** : M Izzul Fadhok  
**NRP** : 2114 030 070  
**Department** : Mech. Industry Engineering FV-ITS  
**Counselor Lecturer** : Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD

**Abstract**

*With the growth of the economical rate. The need for electricit also increasing too that cause the society to depend on the need of electricity from the fossil resources. Because fossil energy cannot last forever ,so the new innovation needed to overcome the necessity of energy, one of the solution to the problem is the wind powered turbine.*

*The object of this eksperiment is wind turbine, which use horizontal axis with 4 clarky blade airfoil model linear taper with the angle of attack variation 20<sup>0</sup>, 40<sup>0</sup>, 60<sup>0</sup>. The performance of the wind turbine tested by the loading variaton from the pair of scales from te weigt of 0 gram-100 4000 gram with the variation of wind velocity about 3,2 m/s ,4 m/s, and 7.2 m/s.*

*From the testing, the result data is the maximum power and efficiency is 1.209 Watt dan 26.873%.*

**Keywords** : *Wind energy, Clark-y ,taper linear, pulley, loading variation, wind velocity, power, efficiency.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS dengan tujuan agar mahasiswa dapat menerapkan teori yang telah didapatkan selama masa perkuliahan.

Adapun keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran serta bimbingannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku Kepala Program Studi dan Koordinator Tugas Akhir D3 Teknik Mesin FV-ITS.
4. Dosen Penguji yang memberikan saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Eddy Widiyono, MSc selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama kuliah di D3 Teknik Mesin FV-ITS.
6. Ayahanda Abd. Mannan dan Ibu Subaidah tercinta yang senantiasa menaburi langkah, nafas, semua mimpi dan angan dengan doa yang tulus, sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Saudara saudara di keluarga Salak 87 yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dan dukungannya kepada penulis.
8. M. Hermawan Listyoputra selaku rekan satu tim Tugas Akhir.
9. Sapto Wisasno dan Rizky Akbar dwi A yang bersedia membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Teman teman Dream Team 14 dan Keluarga Formas 16/17 karena telah menyediakan banyak waktu bersama-sama dengan penulis.
11. Teman – Teman Angkatan 2014 karena telah menjalani semua pembelajaran dan keikhlasan dalam berjuang di D3 Teknik Mesin FV-ITS.
12. Rekan rekan SC HMDM 15/16. Tahta, Galang, Angga, Vero, Nani, Ikal, dan Dendra atas pembelajaran dan wawasan berorganisasi selama kepengurusan di D3 Teknik Mesin FV-ITS.
13. Alumni D3MITS, Kakak angkatan 2010, 2011, 2012, dan 2013. Adik angkatan 2015 dan 2016 atas ilmu dan waktu yang dilalui bersama selama perkuliahan.
14. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin.

Surabaya, Juni 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I Pendahuluan</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II Dasar Teori</b> .....	<b>5</b>
2.1 Energi Angin .....	5
2.1.1 Energi - Energi yang Terjadi dalam Angin .....	5
2.1.2 Daya Angin .....	6
2.2 Turbin Angin .....	7
2.2.1 Jenis – Jenis Turbin Angin.....	8
2.2.1.1 <i>Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)</i> .....	8
2.2.1.2 <i>Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)</i> .....	13
2.3 Profil <i>Airfoil</i> .....	16
2.3.1 <i>Airfoil Clark-Y</i> .....	20
2.3.2 <i>Blade Planform – Soliditas</i> .....	21
2.3.3 Model-model Sudu – <i>Blade Planform</i> .....	22
2.3.4 Fenomena <i>Stall</i> .....	23
2.4 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 4 Blade Airfoil</i> <i>Clark-Y Model Taper Linear</i> .....	24
2.5 Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 3 Blade</i> <i>Airfoil Clark-Y Model Taper Linear</i> .....	25
2.5.1 <i>Tip Speed Ratio</i> .....	25

2.5.2 Torsi .....	25
2.5.3 Daya Turbin Angin.....	26
2.5.4 Koefisien Daya.....	26
2.5.5 Efisiensi Total Turbin.....	27
<b>BAB III Metodologi Penelitian.....</b>	<b>29</b>
3.1 Diagram Alir Percobaan ( <i>Flow Chart</i> ).....	29
3.2 Eksperimen.....	30
3.3 Tempat Penelitian.....	31
3.4 Instalasi Percobaan.....	31
3.5 Peralatan yang Digunakan.....	32
3.6 Metode Pengambilan Data .....	39
<b>BAB IV Analisa Hasil Eksperimen.....</b>	<b>41</b>
4.1 Data Hasil Penelitian.....	41
4.2 Perhitungan.....	41
4.2.1 Daya Ideal Angin .....	41
4.2.2 <i>Tip Speed Ratio</i> .....	42
4.2.3 Torsi .....	43
4.2.4 Daya Turbin Angin.....	43
4.2.5 Koefisien Daya.....	44
4.2.6 Efisiensi Total Turbin.....	44
4.3 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Unjuk Kerja .....	44
4.3.1 Unjuk Kerja Putaran Turbin Fungsi Beban.....	45
4.3.2 Unjuk Kerja Torsi Fungsi Beban .....	54
4.3.3 Unjuk Kerja Daya Fungsi Beban .....	64
4.3.4 Unjuk Kerja Efisiensi Fungsi Beban.....	79
<b>BAB V Kesimpulan dan Saran.....</b>	<b>95</b>
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran.....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>98</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Sederhana Turbin Angin .....	7
Gambar 2.2 Jenis <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> (VAWT).....	8
Gambar 2.3 <i>Savonius Turbine</i> .....	9
Gambar 2.4 <i>Darrieus Turbine</i> .....	10
Gambar 2.5 <i>Gorlov Turbine</i> atau <i>Helical Blade</i> .....	11
Gambar 2.6 <i>Crossflow Turbine</i> .....	12
Gambar 2.7 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal</i> .....	14
Gambar 2.8 Momentum Mempengaruhi Aliran Udara Pada <i>Airfoil</i> .....	17
Gambar 2.9 Distribusi Tekanan Pada <i>Airfoil</i> .....	19
Gambar 2.10 Gaya Pada <i>Airfoil</i> .....	20
Gambar 2.11 <i>Airfoil Clark Y</i> .....	21
Gambar 2.12 Jenis-Jenis Model Sudu .....	22
Gambar 2.13 Fenomena <i>Stall</i> pada <i>Airfoil</i> .....	23
Gambar 2.14 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 4 Blade Airfoil</i> <i>Clark-Y Model Taper Linear</i> .....	24
Gambar 2.15 Mekanisme Pembebanan Pada <i>Pulley</i> .....	
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	30
Gambar 3.2 Instalasi Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal Blade</i> <i>Airfoil Clark-Y</i> .....	31
Gambar 3.3 <i>Wind Tunnel</i> .....	32
Gambar 3.4 <i>Blower</i> .....	33
Gambar 3.5 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 4 Blade</i> .....	33
Gambar 3.6 Sudu ( <i>Blade</i> ).....	34
Gambar 3.7 Rotor.....	35
Gambar 3.8 Poros.....	35
Gambar 3.9 Rumah <i>Bearing (Pillow Block)</i> .....	36
Gambar 3.10 <i>Hot Wire Anemometer</i> .....	36
Gambar 3.11 <i>Tachometer</i> .....	37
Gambar 3.12 <i>Pulley</i> .....	38
Gambar 3.13 Anak Timbangan .....	38
Gambar 4.1 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban ( $\alpha = 20^\circ$ ).....	46

Gambar 4.2 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban ( $\alpha = 40^\circ$ ).....	50
Gambar 4.3 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban ( $\alpha = 60^\circ$ ).....	53
Gambar 4.4 Grafik Torsi Fungsi Beban ( $\alpha = 20^\circ$ ).....	56
Gambar 4.5 Grafik Torsi Fungsi Beban ( $\alpha = 40^\circ$ ).....	60
Gambar 4.6 Grafik Torsi Fungsi Beban ( $\alpha = 60^\circ$ ) .....	63
Gambar 4.7 Grafik Daya Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 20^\circ$ ) .....	68
Gambar 4.8 Grafik Daya Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 40^\circ$ ) .....	73
Gambar 4.9 Grafik Daya Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 60^\circ$ ) .....	78
Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Fungsi Beban ( $\alpha = 20^\circ$ ) .....	82
Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Fungsi Beban ( $\alpha = 40^\circ$ ) .....	88
Gambar 4.12 Grafik Efisiensi Fungsi Beban ( $\alpha = 60^\circ$ ) .....	93

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian .....	41
Tabel 4.2 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 20^\circ$ ) .....	45
Tabel 4.3 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 40^\circ$ ). .....	48
Tabel 4.4 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 60^\circ$ ) .....	51
Tabel 4.5 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 20^\circ$ ). .....	54
Tabel 4.6 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 40^\circ$ ). .....	57
Tabel 4.7 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 60^\circ$ ). .....	61
Tabel 4.8 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 3.2 m/s dengan variasi beban ( $\alpha = 20^\circ$ ). .....	64
Tabel 4.9 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 5.5 m/s dengan variasi beban ( $\alpha = 20^\circ$ ). .....	65
Tabel 4.10 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 7.2 m/s dengan variasi beban ( $\alpha = 20^\circ$ ). .....	66
Tabel 4.11 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 3.2 m/s dengan variasi beban ( $\alpha = 40^\circ$ ). .....	69
Tabel 4.12 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 5.5 m/s dengan variasi beban ( $\alpha = 40^\circ$ ). .....	70
Tabel 4.13 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 7.2 m/s dengan variasi beban ( $\alpha = 40^\circ$ ). .....	71
Tabel 4.14 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan	

oleh turbin angin pada kecepatan 3.2 <i>m/s</i> dengan variasi beban ( $\alpha = 60^\circ$ ).....	74
Tabel 4.15 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 5.5 <i>m/s</i> dengan variasi beban ( $\alpha = 60^\circ$ ). .....	75
Tabel 4.16 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 7.2 <i>m/s</i> dengan variasi beban ( $\alpha = 60^\circ$ ).....	76
Tabel 4.17 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 3,2 <i>m/s</i> ( $\alpha = 20^\circ$ )...	79
Tabel 4.18 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 5,5 <i>m/s</i> ( $\alpha = 20^\circ$ )...	80
Tabel 4.19 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 7,2 <i>m/s</i> ( $\alpha = 20^\circ$ )...	81
Tabel 4.20 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 3,2 <i>m/s</i> ( $\alpha = 40^\circ$ )...	84
Tabel 4.21 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 5,5 <i>m/s</i> ( $\alpha = 40^\circ$ )...	84
Tabel 4.22 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 7,2 <i>m/s</i> ( $\alpha = 40^\circ$ )...	86
Tabel 4.23 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 3,2 <i>m/s</i> ( $\alpha = 60^\circ$ )...	89
Tabel 4.24 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 5,5 <i>m/s</i> ( $\alpha = 60^\circ$ )...	90
Tabel 4.25 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 7,2 <i>m/s</i> ( $\alpha = 60^\circ$ )...	91

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah pertumbuhan penduduk di Indonesia. Pasokan listrik suatu daerah juga sangat mempengaruhi pertumbuhan di bidang perekonomian, teknologi, industri, dan informasi.[1] Salah satu sumber pemasok listrik, PLTA bersama pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) memang memegang peran penting terhadap ketersediaan listrik terutama di Jawa, Madura, dan Bali. Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang sangat melimpah, salah satunya adalah sumber energi angin. Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan salah satu Negara yang terletak di garis khatulistiwa merupakan faktor, bahwa Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah. Energi angin merupakan salah satu energi yang memenuhi kriteria murah dan ramah lingkungan. Energi ini merupakan energi terbarukan yang keberadaannya dapat secara cepat diproduksi lagi oleh alam. Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang layak dikembangkan sebagai pengganti energi fosil yang persediaannya semakin menipis karena mudah diperoleh, gratis, tidak memiliki limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar. Di berbagai negara, manfaat dari adanya energi angin ini sangat membantu di bidang energi pembangkit tenaga listrik.

Oleh karena itu kami mengangkat energi angin sebagai solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia.

Berdasarkan pertimbangan di atas kami mengadakan penelitian Tugas Akhir dengan judul : **“Pengujian Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear Dengan Angle Of Attack 20°, 40°, dan 60° Menggunakan Mekanisme Variasi Pembebanan*”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian judul diatas maka permasalahan yang dikaji adalah sebagaimana besar pengaruh kecepatan angin dan *angle of attack* terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y model taper linear* dengan metode pembebanan pada penyearah aliran angin sederhana.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui unjuk kerja yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y model taper linear dengan angle of attack 20°, 40°, dan 60°*.
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap putaran turbin, daya output dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin.
3. Untuk mengetahui pengaruh *angle of attack* terhadap putaran turbin, daya output, dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian Tugas Akhir ini adalah :



1. Mampu membuat instalasi turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y* model *taper linear* pada penyearah aliran sederhana.
2. Mampu menganalisis kinerja turbin angin turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y* model *taper linear* (variasi pembebanan dan variasi putaran).
3. Mampu mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan turbin.
4. Mampu menghitung daya maksimum yang dihasilkan pada beberapa kecepatan angin.
5. Mampu mengetahui pengaruh pembebanan terhadap daya yang dihasilkan turbin.

### **1.5 Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas maka diberikan batas-batas sebagai berikut :

1. Turbin angin yang digunakan adalah tipe sumbu *horizontal 4 blade* model *taper linear*.
2. Pengujian unjuk kerja turbin angin tipe sumbu *horizontal 4 blade* model *taper linear* dengan mekanisme pembebanan.
3. Kondisi temperatur udara disekitar dianggap ideal.
4. Laju aliran angin dibuat dalam 3 kecepatan yaitu, 3.2 m/s, 5.5 m/s dan 7.2 m/s.
5. Kecepatan udara dalam penyearah aliran angin dianggap *uniform* seperti keadaan kecepatan angin di alam bebas.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan tugas akhir disusun berdasarkan sistematika penulisan yang bersifat umum adalah sebagai berikut :

**BAB I PENDAHULUAN**

Pengantar bagi pembaca untuk secara singkat mengetahui latar belakang permasalahan, tujuan, pembatasan masalah dan metode penelitian serta sistematika penulisan.

**BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian, perhitungan dan pemecahan masalah yang berguna untuk analisa data yang telah diperoleh.

**BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan metodologi dan diagram alir dari pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian.

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang hasil analisa perhitungan dan penelitian data-data yang diperoleh dari pengujian berupa grafik dan beberapa pembahasan

**BAB V PENUTUP**

Bab ini menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan pada bab-bab sebelumnya, disertai kesimpulan dan saran untuk kedepannya.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Energi Angin**

Angin merupakan udara yang bergerak, disebabkan beberapa adanya perbedaan tekanan pada atmosfer bumi. Perbedaan tekanan ini dipengaruhi oleh sinar matahari, hal ini dikarenakan pada daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari [2].

Energi angin merupakan salah satu bentuk energi yang dapat diperbaharui. Angin merupakan gejala alam yang diakibatkan adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah khatulistiwa, udaranya menjadi panas, mengembang lalu menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin. Sebaliknya, daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis khatulistiwa menyusuri permukaan bumi dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

##### **2.1.1 Energi - Energi yang Terjadi dalam Angin**

Menurut ilmu fisika *Al-Bahadly, I.H. and Petersen, A.F.T* [3] menyebutkan bahwa energi kinetik dari sebuah benda dengan massa  $m$  dan kecepatan  $\bar{v}$  adalah  $E = \frac{1}{2} m \cdot \bar{v}^2$ , dengan ketentuan, kecepatan  $\bar{v}$  tidak mendekati kecepatan cahaya. Persamaan berlaku juga untuk angin, yang merupakan udara yang bergerak. Sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot \bar{v}^2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :       $E$  = energi kinetik      (Watt)  
                  $m$  = massa udara      (kg)

$$\bar{v} = \text{kecepatan angin} \quad (m/s)$$

Bilamana suatu “blok” udara, yang mempunyai penampang  $A$ , dan bergerak dengan kecepatan  $\bar{v}$ , maka jumlah massa, yang melewati suatu tepat adalah:

$$\dot{m} = \rho.A.\bar{v} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :  $\dot{m}$  = laju aliran massa udara  $(kg/s)$   
 $\rho$  = massa jenis zat  $(kg/m^3)$   
 $\bar{v}$  = kecepatan udara  $(m/s)$   
 $A$  = luas penampang turbin  $(m^2)$

### 2.1.2 Daya Angin

Dengan melihat persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 maka akan didapat persamaan energi angin per satuan waktu sebagai berikut :

$$W = \frac{E_k}{t}$$

$$W = \frac{1/2 m \cdot \bar{v}^2}{t}$$

$$W = 1/2 \cdot \dot{m} \cdot \bar{v}^2$$

Dengan persamaan diatas  $\dot{m}$  dari persamaan 2.2 disubstitusikan dan hasil persamaannya adalah pada persamaan 2.3:

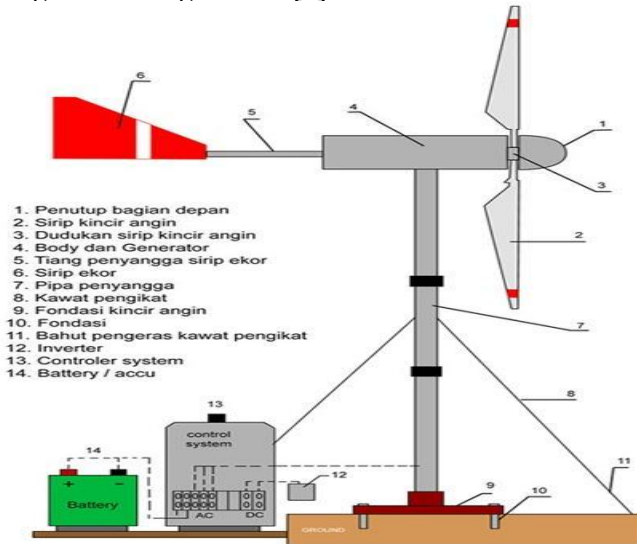
$$W = 1/2 \rho.A.\bar{v}^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :  $W$ = daya ideal angin  $(Watt)$   
 $\rho$  = massa jenis fluida  $(kg/m^3)$   
 $A$  = luas penampang turbin  $(m^2)$   
 $\bar{v}$  = kecepatan angin  $(m/s)$

## 2.2 Turbin Angin

Turbin angin merupakan elemen utama dari sebuah ladang angin (*wind farm*), dan digunakan untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan kemudian menjadi listrik. Dalam konteks produksi listrik, turbin angin ini juga dikenal sebagai generator angin. Sebuah turbin angin terdiri dari rotor, baling-baling yang melekat pada rotor, generator dan struktur menara. Ekstraksi potensi angin adalah sebuah upaya kuno dimulai dengan kapal-tenaga angin, pabrik gandum dan grinding stone. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.

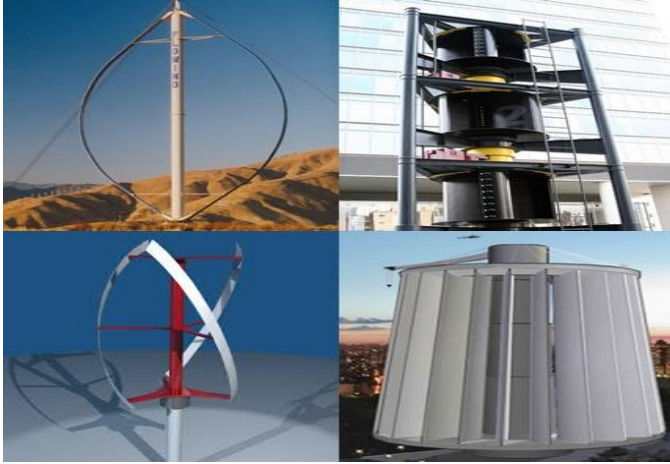
Turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarukan, contohnya minyak bumi, batubara dan sebagainya sebagai bahan dasar untuk membangkitkan energi listrik. [4]



Gambar 2.1 Sketsa Sederhana Turbin Angin [5]

## 2.2.1 Jenis – Jenis Turbin Angin

### 2.2.1.1 *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*



Gambar 2.2 Jenis *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

Sesuai namanya, *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* mempunyai sumbu vertikal dengan bilah-bilah sudu paralel dengan sumbunya. Turbin angin sumbu vertikal memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*. Ada beberapa kelebihan yang dimiliki oleh VAWT, antara lain : aman, mudah membangunnya, bisa dipasang tidak jauh dari tanah, dan lebih baik dalam menangani turbulensi angin. Generator dan *gearbox* bisa ditempatkan tidak jauh dari permukaan tanah. Hal ini meringankan beban tower dan memudahkan perawatan. Turbin sumbu vertikal yang lazim digunakan adalah Savonius dan Darrieus dan Gorlov.

#### a. *Savonius*

Savonius merupakan jenis turbin angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer. Turbin Savonius dapat berputar karena adanya gaya tarik

(*drag*). Efisiensi yang bisa dicapai turbin angin jenis ini sekitar 30%.



Gambar 2.3 *Savonius Turbine* [6]

b. *Darrieus*

Turbin angin *Darrieus* mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudut bilah diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin.



Gambar 2.4 *Darrieus Turbine* [6]

c. *Gorlov Turbine*

Turbin angin jenis Gorlov atau disebut juga *Helical Blade* adalah jenis turbin yang baru dikembangkan pada tahun 1995, mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh arus aliran menjadi energi mekanis/gerak putar, di temukan oleh Profesor Gorlov dari *Northeastern University* dan salah satunya telah di gunakan sebagai pembangkit listrik memanfaatkan air pasang surut (*tidal energy*) di pedesaan Amazon-Brasil, struktur pendukung dalam instalasi turbin jenis ini jauh lebih mudah. Tapi seiring berjalannya waktu turbin ini juga dimanfaatkan sebagai turbin angin.



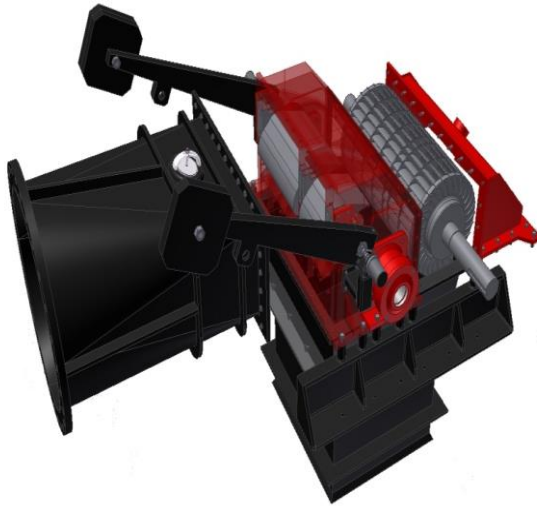


Gambar 2.5 *Gorlov Turbine* atau *Helical Blade*

[6]

*d. Crossflow*

*Crossflow* turbin sebuah turbin aliran silang, turbin Banki-Michell, atau turbin Ossberger adalah turbin air yang dikembangkan oleh Australia Anthony Michell, Hungaria Donat Banki dan Jerman Fritz Ossberger. Michell memperoleh paten untuk desain turbিনnya pada tahun 1903, dan perusahaan manufaktur Weymouth membuatnya selama bertahun-tahun. Paten pertama Ossberger yang diberikan pada tahun 1933 ("*Gratis Jet Turbine*" 1922, Imperial Paten No 361593 dan "*Crossflow Turbine*" 1933, *Imperial Patent* No 615445), dan ia diproduksi turbin ini sebagai produk *standard*. Yang sekarang ini dikembangkan untuk menjadi turbin angin.



Gambar 2.6 *Crossflow Turbine* [6]

Kelebihan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) :

- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar. Karena bilah-bilah *rotor* nya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme *yaw*.
- Sebuah VAWT bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- VAWT memiliki sudut *airfoil* (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.

- VAWT bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- VAWT yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),
- VAWT tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- VAWT memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada HAWT. Biasanya VAWT mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6mph).

Kekurangan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) :

- Kebanyakan VAWT memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi HAWT karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- VAWT tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- Kebanyakan VAWT mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- Sebuah VAWT yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat *rotor* dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.
- Memiliki kecepatan angin yang rendah, yang kedua adalah jenis turbin ini memiliki kecepatan angin yang rendah. Karena turbin angin poros vertikal memiliki rotor yang dekat dengan tanah.

### 2.2.1.2 *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT)



Gambar 2.7 Turbin Angin Sumbu *Horizontal* [6]

*Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) memiliki *rotor shaft* dan *generator* yang berada di puncak menara dan harus searah dengan arah angin. Turbin angin yang berukuran lebih kecil diarahkan dengan menggunakan sirip, sedangkan untuk turbin angin berkapasitas besar menggunakan sensor dan *motor servo* untuk menggerakkan turbin agar menghadap dan searah dengan arah angin. Energi angin yang ditangkap oleh bilah-bilah sudu menghasilkan putaran yang rendah pada *hub*-nya. Oleh karenanya, sebagian besar turbin angin menggunakan *gearbox* untuk mengubah putaran rendah yang dihasilkan bilah sudu menjadi lebih cepat dan sesuai untuk memutar *generator*. Bilah sudu yang digunakan biasanya terbuat dari bahan yang kuat untuk menghindari bilah sudu tersebut terdorong dan mengenai menara ketika berputar pada saat angin kencang bertiup.

Kelebihan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) :

- Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam

atmosfir bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

Kekurangan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) :

- Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- HAWT yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, *gearbox*, dan generator.
- HAWT yang tinggi bisa memengaruhi radar *airport*.
- Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan *landscape*.
- Berbagai varian *downwind* menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- HAWT membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.
- Membutuhkan sistem pengereman untuk mencegah turbin mengalami kerusakan pada turbin ketika ada angin kencang.

### **2.2.2 Prinsip Kerja Turbin Angin**

Prinsip kerja turbin angin cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin diteruskan untuk memutar rotor pada poros generator sehingga akan menghasilkan energi listrik, energi listrik yang dihasilkan biasanya akan disimpan ke baterai.

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan dengan dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan

menggerakkan turbin angin yang menyebabkan rotor akan berputar searah dengan aliran angin yang ditiupkan, kemudian rotor dihubungkan dengan generator, dari generator akan menghasilkan arus listrik. Jadi, proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik.

### 2.3 Profil Airfoil

Profil *airfoil* adalah elemen penting dalam konversi energi angin. Profil *airfoil* memberikan nilai koefisien *drag* yang kecil jika dibandingkan dengan koefisien *lift* yang diberikan. Terdapat beberapa variabel yang dinyatakan dalam menggambarkan bentuk *airfoil* diantaranya panjang profil *airfoil* (*chord*), ketebalan (*thickness*), dan kelengkungan (*chamber*).

Bentuk *airfoil* untuk turbin angin pada umumnya melengkung pada bagian atas dan lebih datar atau bahkan cekung pada bagian bawah, ujung tumpul pada bagian depan dan lancip pada bagian belakang. Bentuk *airfoil* yang demikian menyebabkan kecepatan udara yang melalui sisi atas akan lebih tinggi dari sisi bawah sehingga tekanan udara di bagian atas lebih kecil daripada kecepatan udara di bagian bawah. Penampang sudu dengan profil *airfoil* ini memungkinkan untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi. [7]

Desain Turbin Angin Sumbu *Horizontal* memanfaatkan gaya angkat yang mana rasio *L/D* harus dimaksimalkan dengan baik. Gaya *lift* dan *drag* bergantung pada koefisien *lift* ( $C_L$ ) dan koefisien *drag* ( $C_D$ ) [8]. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung  $C_L$  dan  $C_D$  dalam buku *Fox, Robert W and McDonald, Alan T. Introduction to Fluid Mechanics: Eighth Edition* [9] adalah sebagai berikut :

$$C_L = \frac{Fl}{\frac{1}{2}\rho Av^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_D = \frac{Fd}{\frac{1}{2}\rho Av^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

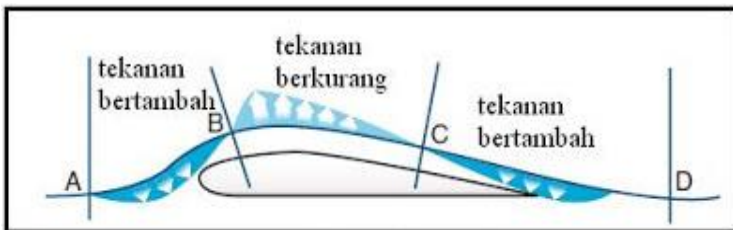
$F_L$  = gaya angkat ( $N$ )

$\rho$  = kerapatan udara ( $Kg/m^3$ )

$A$  = luasan permukaan ( $m^2$ )

$v$  = kecepatan angin ( $m/s$ )

Pada gambar dibawah ini terlihat ketika partikel udara bergerak dengan arah melengkung AB, gaya sentrifugal cenderung membuangnya ke arah panah antara A dan B, sehingga menyebabkan udara untuk mendesak lebih dari tekanan normal di *leading edge*.



Gambar 2.8 Momentum Mempengaruhi Aliran Udara Pada *Airfoil* [10]

Setelah partikel udara melewati titik B gaya sentrifugal cenderung untuk membuang partikel pada arah panah antara B dan C (menyebabkan berkurangnya tekanan pada *airfoil*). Tekanan udara dari permukaan bagian atas *airfoil* disebarkan sehingga tekanan lebih besar di *leading edge* daripada tekanan atmosfer sekitarnya, menyebabkan tahanan yang kuat pada gerakan ke depan, tapi tekanan udara lebih sedikit daripada tekanan atmosfer sekitarnya di sebagian besar permukaan atas (B ke C). Seperti terlihat pada penggunaan teori Bernoulli pada sebuah bejana venturi, pertambahan kecepatan udara pada bagian atas dari *airfoil* menyebabkan penurunan tekanan. Tekanan yang turun ini adalah satu faktor dari total daya angkat (*lift*) yang terjadi.

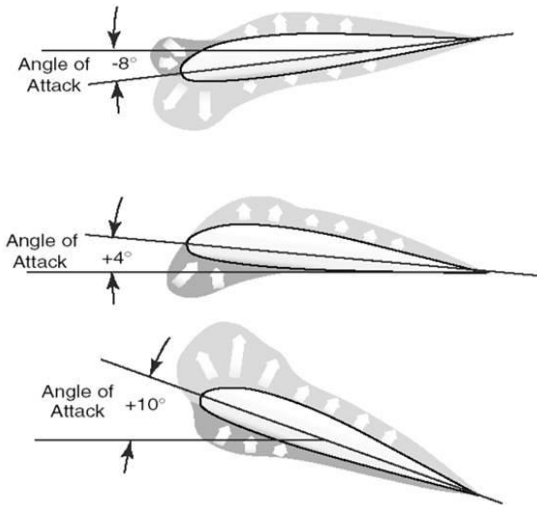
Arti dari sudut serang (*angle of attack*) sendiri adalah sudut sayap pesawat terhadap badan pesawat dan terhadap datangnya udara dari depan. Jadi sayap tidak terpasang sejajar dengan badan pesawat tetapi bagian depan posisinya lebih tinggi dari bagian belakang sayap. Sehingga pada saat bergerak posisi sayap yang miring ini akan memindahkan/menekan udara kebawah dan pesawat akan terangkat naik sebesar udara yang tertekan kebawah.

Pada sebuah titik di dekat *leading edge*, aliran udara pada hakekatnya sebenarnya berhenti (*stagnation point*) dan dengan bertahap kecepatannya akan bertambah. Di titik yang sama di *trailing edge*, kembali lagi aliran udara itu mencapai kecepatan yang sama dengan kecepatan aliran udara di permukaan atasnya. Sesuai dengan prinsip Bernoulli, ketika aliran udara makin pelan di bawah sayap, sebuah tekanan positif ke atas terjadi menekan sayap, dan jika kecepatan fluida berkurang, tekanan harus bertambah.

Pada dasarnya, hal ini hanyalah “memperkuat tekanan positif” karena kejadian ini menambah perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah dari *airfoil*, sehingga menambah total daya angkat dibandingkan jika tidak ada penambahan tekanan di bagian bawah permukaan. Dari percobaan yang dilakukan pada model di terowongan angin sebenarnya, diketahui bahwa pada waktu udara mengalir sepanjang permukaan dari sebuah sayap dengan *angle of attack* yang berbeda-beda, maka ditemukan bagian-bagian sepanjang permukaan di mana tekanannya kurang dari tekanan atmosfer dan juga tekanan yang lebih besar dari tekanan atmosfer.

Tekanan negatif pada permukaan atas sayap membuat gaya yang lebih besar dari pada tekanan positif yang mengenai permukaan bawah sayap. Gambar dibawah ini menunjukkan penyebaran tekanan sepanjang *airfoil* pada 3 *angle of attack* yang berbeda-beda. Pada umumnya, *angle of attack* yang besar pusat tekanannya akan pindah ke depan dan sebaliknya.



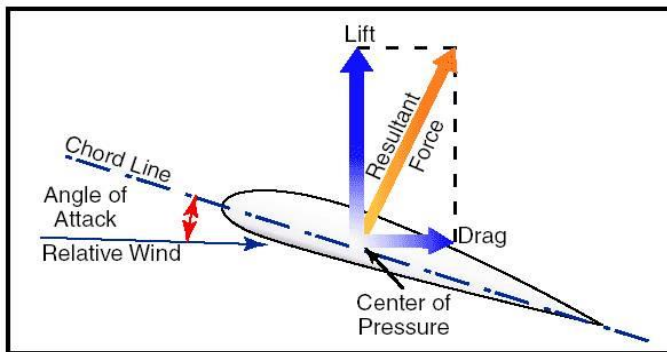


Gambar 2.9 Distribusi Tekanan Pada *Airfoil* [10]

Keseimbangan aerodinamis dan kemampuan kendali diatur oleh perbedaan dari pusat tekanan. Pusat tekanan ditentukan oleh perhitungan dan percobaan di terowongan angin dengan cara memberikan *angle of attack* yang berbeda-beda pada *airfoil* di sepanjang jangkauan kerja normal. Pada waktu *angle of attack* diubah, karakteristik penyebaran tekanan juga berubah. Gaya pada tekanan positif (+) dan negatif (-) dijumlahkan pada setiap nilai *angle of attack* dan didapat resultan hasilnya.

Dalam pengkajian secara praktis maupun teoritis, kurva gaya angkat (*lift*) dan gaya tarik (*drag*) akan dirupakan dalam suatu kurva yang dibentuk antara koefisien gaya yang bersangkutan, dalam hal ini gaya angkat (*lift*) maupun gaya tarik (*drag*) terhadap suatu sudut antara bidang angkat terhadap garis *chord* yang disebut sebagai sudut serang (*angle of attack*). Kurva ini akan menggambarkan bagaimana gaya angkat (*lift*) maupun gaya tarik (*drag*) berubah besarnya terhadap sudut serang (*angle*

*of attack*). Makin besar sudut serangnya (*angle of attack*) makin besar gaya angkat (*lift*) dan gaya tarik (*drag*) yang ditimbulkannya. Permasalahannya adalah bagaimana upaya kita untuk memperbesar gaya angkat (*lift*) tersebut. Gaya angkat (*lift*) ini nantinya akan kita pergunakan untuk mengangkat keseluruhan berat model yang sudah kita buat. Yang paling mudah kita lihat pertama kali adalah dengan memperluas bidang angkat yakni luas dari *airfoil* itu sendiri. Dengan *airfoil* yang diperluas maka kita akan bisa memperoleh gaya angkat (*lift*) yang lebih besar.



Gambar 2.10 Gaya Pada Airfoil [10]

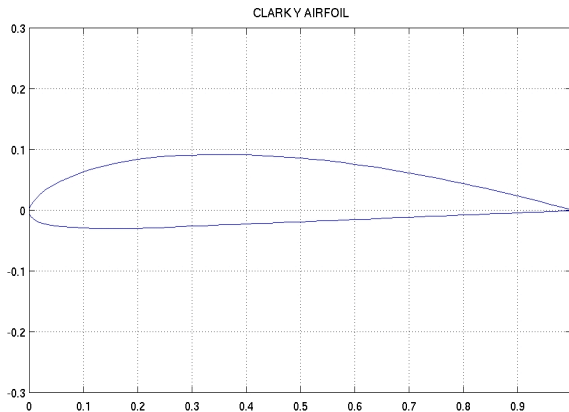
### 2.3.1 Airfoil Clark Y

*Clark-Y* adalah salah satu nama dari profil *airfoil* yang digunakan dalam desain pesawat tujuan umum, dan juga banyak dipelajari di bidang aerodinamika selama bertahun-tahun. *Airfoil* ini dirancang pada tahun 1922 oleh *Virginus E. Clark*. *Airfoil* ini mempunyai permukaan bagian atas dengan *upper chamber* maksimum sekitar 9 % dan terbentuk sekitar 30% *chord line* pada permukaan atas (*upper chamber*) dari *leading edge*.

*Airfoil* ini menarik karena mempunyai *chamber* yang tinggi dan mampu menghasilkan rasio gaya angkat (*lift*) dan gaya tarik (*drag*) yang bagus. Dan untuk bagian *horizontal*

bawah membantu dalam pembuatan konstruksi sayap yang akurat dan sesuai dengan rencana.

*Airfoil* ini banyak digunakan untuk perakitan model pesawat *remote control* pada bagian sayap, dikarenakan *airfoil* ini dapat mempermudah untuk menerbangkan pesawat *remote control* tersebut. *Airfoil* ini juga sering digunakan karena dapat mengurangi masalah *stall* pada saat terbang. [11]



Gambar 2.11 *Airfoil Clark-Y* [11]

### 2.3.2 *Blade Planform – Solidity Ratio*

*Blade Planform* adalah bentuk dari permukaan sudu (*blade*). *Solidity Ratio* adalah perbandingan dari luasan sudu (*blade*) dengan daerah sapuan sudu (*blade*).

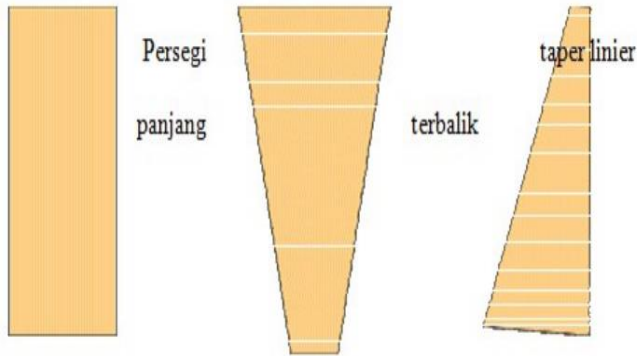
*Solidity Ratio* rendah (0,10) = kecepatan tinggi sedangkan momen puntir (tors) rendah.

*Solidity Ratio* tinggi (0,8) = kecepatan rendah sedangkan momen puntir (tors) tinggi.

*Solidity Ratio* berpengaruh terhadap daya output yang dihasilkan oleh turbin. Jumlah sudu (*blade*) yang sedikit memiliki *solidity ratio* yang rendah akan menghasilkan daya

output yang tinggi. Begitupun sebaliknya jumlah sudu (*blade*) banyak memiliki *solidity ratio* yang tinggi akan menghasilkan daya output turbin yang rendah.

### 2.3.3 Model-model Sudu – *Blade Planform*



Gambar 2.12 Jenis-Jenis Model Sudu [12]

Ada 3 macam model sudu secara umum yaitu persegi panjang (*rectangular*), tirus terbalik (*reverse taper linear*), dan tirus (*taper linear*).

Model sudu yang menghasilkan efisiensi paling besar adalah yang mendekati bentuk *streamline*, di dalam pengujian yang kita lakukan menggunakan bentuk tirus (*taper linear*) sebagai bentuk yang mendekati kondisi *streamline*.

Sifat-sifat sudu sangat mempengaruhi kecepatan putar sudu, apabila gaya angkat (*lift*) tegak lurus dengan arah gerakan sudu, kita berharap dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang besar. Apabila gaya tarik sejajar dengan arah gerakan sudu, kita berharap gaya yang dihasilkan kecil.

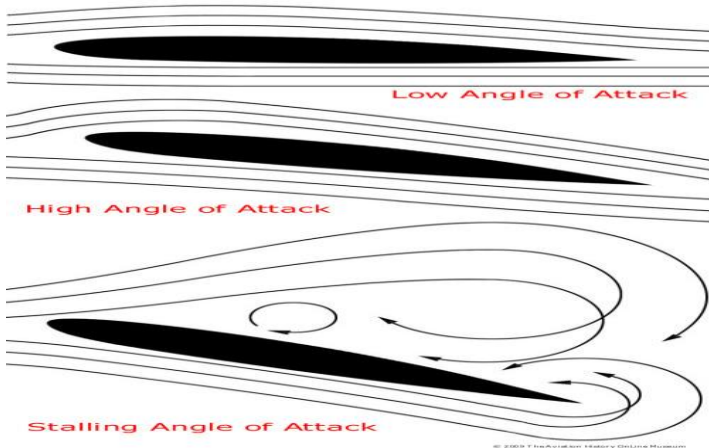
Dalam membuat sudu ada hal-hal yang harus diperhatikan diantaranya :

- a. Berbentuk kurva *Gradual – Gradual Curves*
- b. Sudut ekor yang tajam – *Sharp Trailing Edge*

- c. Sudut depan yang bundar – *Round Leading Edge*
- d. Perbandingan ketebalan dengan *Chord* – *Low Thickness to Chord Ratio*
- e. Permukaan yang halus – *Smooth Surface* [12]

### 2.3.4 Fenomena *Stall*

*Stall* adalah suatu fenomena ketika sudut serang (*angle of attack*) yang sangat besar atau kecepatan aliran yang terlalu besar sehingga udara tidak bisa mengalir secara *laminar*, aliran udara tidak bisa menyentuh bagian belakang sudu sehingga terjadi separasi aliran pada bagian belakang sudu. Situasi tersebut secara signifikan akan menurunkan gaya angkat (*lift*) dan meningkatkan gaya tahan (*drag*), sehingga putaran turbin akan menjadi semakin lambat. Apabila pengaturan sudut serang (*angle of attack*) pada *blade* yang berbentuk *airfoil clark-y* dengan rotor terlalu besar maka akan menurunkan gaya angkat (*lift*) pada *blade* turbin angin.



Gambar 2.13 Fenomena *Stall* Pada *Airfoil* [13]

Fenomena *stall* dapat dimanfaatkan sebagai pengereman pasif dan aktif karena rotor akan mengurangi

kecepatannya pada kecepatan angin yang tinggi. Hal ini menguntungkan karena menghindari resiko tidak adanya gaya angkat (*lift*).

## **2.4 Turbin Angin Sumbu *Horizontal 3 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear***

Turbin angin sumbu *horizontal 3 blade* model *taper linear* adalah turbin angin yang jumlah sudunya berjumlah 3 buah. Bahan yang digunakan untuk pembuatan sudu pada turbin angin ini adalah kayu jati yang telah dibentuk sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk *airfoil clark-y*. Dibuat dengan bentuk *airfoil clark-y* dimaksudkan agar lebih aerodinamis dan dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang besar dibandingkan dengan gaya tahannya (*drag*). Bentuk *airfoil clark-y* ini juga memungkinkan untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi.



Gambar 2.14 Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear*

## 2.5 Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 3 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear*

Unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 3 blade* model *taper linear* terdiri dar *tip speed ratio*, torsi, daya turbin angin, koefisien daya, dan efisiensi.

### 2.5.1 *Tip Speed Ratio*

*Tip Speed Ratio* adalah perbandingan dari kecepatan ujung sudu-sudu yang berputar dengan kecepatan dari aliran udara.

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{\bar{v}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- $\lambda$  = ratio kecepatan ujung
- $\omega$  = kecepatan angular (rad/s)
- $r$  = jari – jari turbin *horizontal* (m)
- $\bar{v}$  = kecepatan angin (m/s)

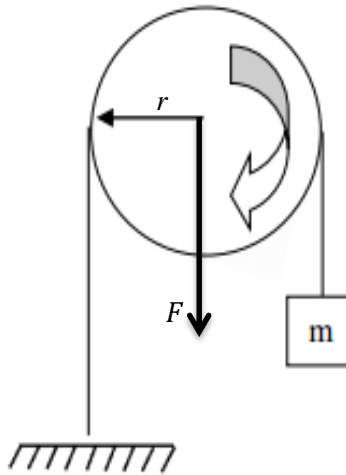
### 2.5.2 Torsi

Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan sistem pengereman dengan menggantungkan beban pada *pulley* yang diputar. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = F \times r \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- $\tau$  = torsi (N.m)
- $F$  = gaya pembebanan (N)
- $r$  = jari-jari *pulley* (m)



Gambar 2.15 Mekanisme Pembebanan Pada Pulley [14]

### 2.5.3 Daya Turbin Angin

Daya turbin angin merupakan output dari daya angin, daya turbin angin dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \tau \times \omega \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$P$  = daya (Watt)

$\tau$  = torsi (N.m)

$\omega$  = kecepatan angular (rad/s)

### 2.5.4 Koefisien Daya

Koefisien daya atau *Constant Power* ( $C_p$ ) adalah kerugian daya dan perbandingan antara daya turbin angin dengan daya ideal angin. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P}{W} \dots\dots\dots(2.9)$$



Dimana :

$C_p$  = koefisien daya

$P$  = daya turbin angin (Watt)

$W$  = daya ideal angin (Watt)

### 2.5.5 Efisiensi Total Turbin

Kinerja turbin merupakan perbandingan antara daya output dan input dari kincir angin, dapat di tulis dengan persamaan :

$$\eta = C_p \times 100 \% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

$\eta$  = efisiensi

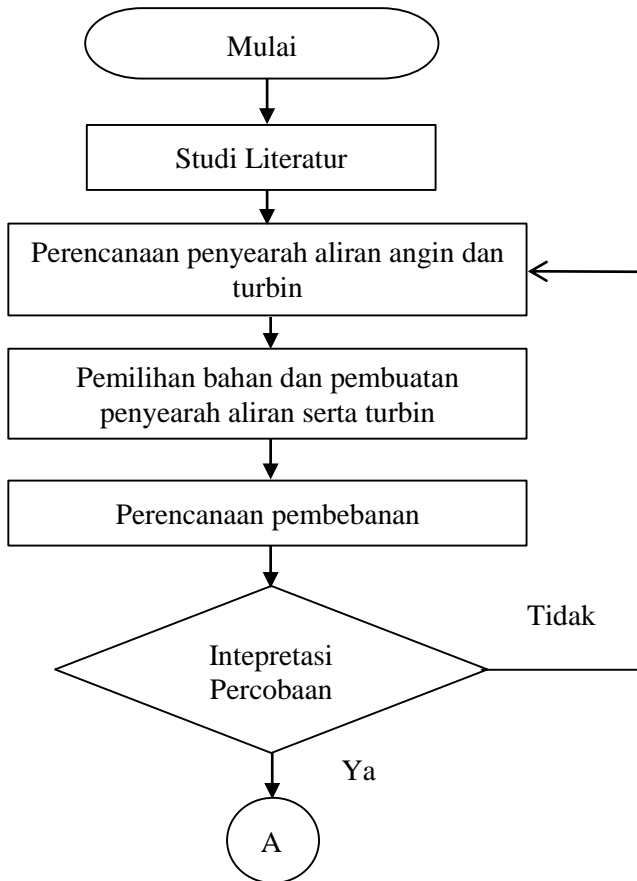
$C_p$  = koefisien daya

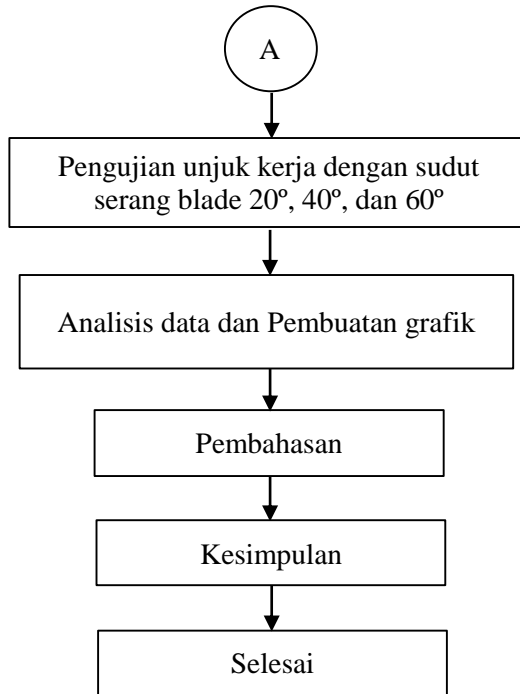
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Percobaan (*Flow Chart*)

Dalam membuat suatu perencanaan alat dan analisis diperlukan tahapan-tahapan seperti diagram alir dibawah ini:





Gambar 3.1 Diagram alir

### 3.2 Eksperimen

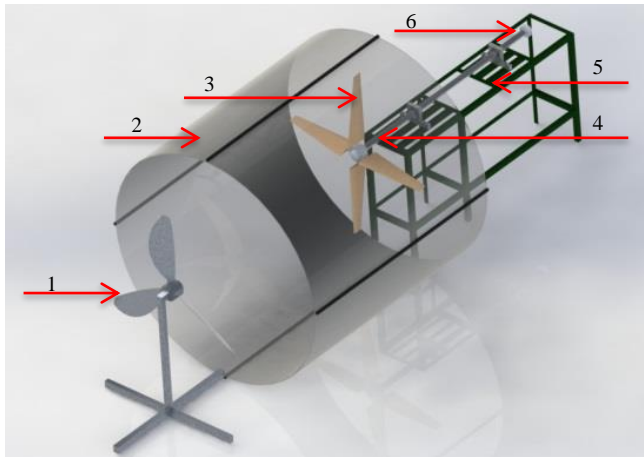
Eksperimen dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y* yang akan di uji dengan menggunakan *blower* yang ditiupkan kedalam terowongan angin (penyearah aliran angin), kemudian pada ujung yang berlawanan dengan terowongan angin (penyearah aliran angin) dipasang turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y* yang nantinya akan menghasilkan putaran yang disebabkan oleh angin dari tiupan *blower*. Kemudian dari hasil putaran tersebut poros turbin diberikan *pulley* sebagai tempat tali dan tali tersebut akan diberikan beban, dimana beban tersebut berfungsi untuk menghambat putaran dari turbin.

### 3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di *Workshop* Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

### 3.4 Instalasi Percobaan

Skema instalasi pengujian unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Instalasi Turbin Angin Sumbu  
*Horizontal Blade Airfoil Clark-Y*

Keterangan :

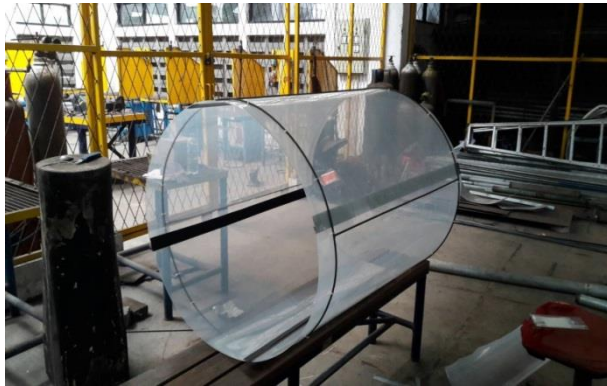
1. *Blower*
2. Penyearah Aliran Angin
3. *Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear*
4. Poros Turbin
5. *Chassis*
6. *Pulley*

### 3.5 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan untuk pengujian unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y model taper linear* sebagai berikut:

#### 1. Penyearah Aliran Angin

Penyearah aliran angin terbuat dari bahan mika dan besi, kemudian besi tersebut dijadikan *chassis* dengan diameter 790 mm dan panjang 800 mm serta panjang mika 1000 mm, di *assembly* dengan *chassis* penyearah aliran angin sehingga terbentuk seperti terowongan. Penyearah aliran angin ini berfungsi untuk menyearahkan aliran angin yang dihasilkan oleh *blower* agar tidak tersebar keluar terowongan sehingga akan didapatkan kecepatan angin yang maksimal.



Gambar 3.3 *Wind Tunnel*

#### 2. *Blower*

*Blower* yang digunakan yaitu *blower* pada umumnya, fungsi dari *blower* sebagai penghasil energi angin untuk memutar turbin angin sumbu *horizontal*. *Blower* ini dipasang diujung penyearah aliran angin dan mempunyai 3 variasi kecepatan (*low, medium, high*).



Gambar 3.4 *Blower*

3. Turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y model taper linear*

Turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y model taper linear* menggunakan *blade* yang terbuat dari bahan kayu jati dengan jumlah 4 *blade*. *Blade* ini memiliki bentuk profil *airfoil clark-y model taper linear*.



Gambar 3.5 Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade*

#### 4. Sudu (*Blade*)

Sudu (*Blade*) adalah bagian dari turbin angin dimana energi angin (kinetik) dari *blower* akan dirubah menjadi energi gerak (mekanik). Sudu (*blade*) yang digunakan terbuat dari kayu jati dengan model berbentuk *airfoil clark-y* model *taper linear* dengan panjang 30 cm.

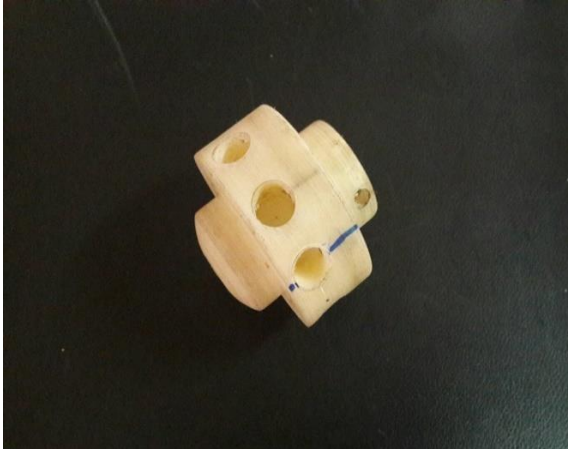


Gambar 3.6 Sudu (*Blade*)

#### 5. Rotor

Rotor adalah bagian dari turbin angin yang berfungsi untuk menerima energi angin (kinetik) dari *blower* dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros (*shaft*) penggerak. Bahan yang digunakan untuk pembuatan rotor adalah lilin *parafin*.





Gambar 3.7 Rotor

#### 6. Poros (*Shaft*)

Poros (*Shaft*) adalah bagian dari turbin angin yang berputar dan mempunyai fungsi untuk meneruskan daya dari rotor bersama-sama dengan putaran. Poros ini memiliki diameter 25,4 cm dengan panjang 100 cm. Poros (*Shaft*) ini terbuat dari bahan aluminium yang ringan sehingga mudah untuk berputar.



Gambar 3.8 Poros

### 7. Rumah Bearing (*Pillow Block*)

Fungsi dari rumah bearing (*pillow block*) adalah untuk memegang bearing antara bagian luar yang diam (stator) terhadap bagian dalam yang berputar (rotasi cincin bearing) agar tetap pada posisinya masing-masing. Rumah bearing (*pillow block*) ini mempunyai panjang 15 cm dan tinggi 8 cm.



Gambar 3.9 Rumah Bearing (*Pillow Block*)

### 8. Anemometer Digital

*Anemometer digital* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang dihasilkan oleh blower.



Gambar 3.10 *Hot Wire Anemometer*

## 9. Tachometer

*Tachometer* digunakan untuk mengetahui kecepatan putaran dari turbin angin sumbu *horizontal*. Cara penggunaan *tachometer* yaitu dengan menekan tombol di sebelah samping pada *tachometer* dan mengarahkan laser yang ada pada *tachometer* ke poros turbin yang telah diberikan perbedaan warna sehingga angka putaran poros akan muncul di *LCD tachometer*.



Gambar 3.11 *Tachometer*

## 10. Pulley

Pulley ini pada pengujian digunakan sebagai mekanisme pengereman, yang bersinggungan langsung dengan tali, *pulley* ini mempunyai diameter 35 mm dengan diameter *bore* 15 mm. Bahan dari *pulley* ini sama dengan bahan yang digunakan oleh rotor yaitu lilin *parafin*. *Pulley* biasanya digunakan sebagai pemindah daya.



Gambar 3.12 *Pulley*

#### 11. Pembebanan

Pembebanan yang digunakan untuk pengujian unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal* adalah beban dari anak timbangan.



Gambar 3.13 Anak Timbangan

### 3.6 Metode Pengambilan Data

Berikut ini hal-hal yang perlu dipersiapkan sebelum melakukan pengujian:

1. Membuat instalasi pengujian dengan menempatkan terowongan angin diantara *blower* dan turbin angin.
2. Mengecek semua peralatan yang akan digunakan dalam pengujian sehingga akan mendapatkan hasil yang optimal.

Prosedur pengujian :

1. Menyalakan *blower* untuk menghasilkan angin.
2. Pengambilan data kecepatan angin yang dihasilkan *blower* dengan menggunakan *anemometer digital*.
3. Mengatur sudut serang (*angle of attack*) pada *blade* turbin angin hingga mencapai sudut serang sebesar 20°, 40°, dan 60°.
4. Mengambil data kecepatan putaran turbin angin dengan menggunakan *tachometer*.
5. Menaruhkan beban yang disediakan untuk pembebanan pada wadah yang digantung pada tali.
6. Mengambil data kecepatan putaran turbin angin dengan menggunakan *tachometer* untuk putaran yang kedua.
7. Mengulangi prosedur (5 – 6) sampai putaran turbin angin berhenti.
8. Setelah putaran turbin berhenti, beban dikurangi hingga turbin angin dapat berputar kembali.
9. Pengurangan beban akan terus dilakukan sampai dengan turbin berputar tanpa beban.
10. Pengambilan data dilakukan setiap pembebanan diganti.
11. Lakukan langkah 1-10 berulang dengan variasi kecepatan *blower*.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 6 Mei 2017 di workshop Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS kampus Sukolilo Surabaya dengan tabel sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian

No	Keterangan	Nilai
1	Kecepatan Angin ( $\bar{v}$ )	3.2 m/s, 5.5 m/s, 7.2 m/s
2	Temperatur Ruang ( $T$ )	31 <sup>o</sup> C
3	Diameter Turbin Angin ( $D_T$ )	300 mm
4	Diameter Pulley ( $D_P$ )	34 mm
5	Jumlah Blade	4 blade
6	Angle Of Attack ( $\alpha$ )	20 <sup>o</sup> , 40 <sup>o</sup> , 60 <sup>o</sup>
7	Beban ( $m$ )	0-4000 gram

#### 4.2 Perhitungan

Untuk mempermudah pengujian dan pengambilan kesimpulan dilakukan perhitungan-perhitungan data hasil pengujian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisa adalah sebagai berikut :

1. Data massa jenis udara ( $\rho$ ) :  
Temperatur lingkungan 31<sup>o</sup>C, berdasarkan Tabel A-10 buku *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanicals 8 TH Edition* (dilampirkan) didapat massa jenis udara ( $\rho$ ) = 1.16 kg/m<sup>3</sup>

##### 4.2.1 Daya Ideal Angin

Energi yang dimiliki oleh angin dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$W = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times \bar{v}^3$$

Dimana :

$W$  = energi angin (*Watt*)  
 $\rho$  = kerapatan udara ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )  
 $A$  = area penangkapan angin ( $\text{m}^2$ )  
 $\bar{v}$  = kecepatan angin ( $\text{m}/\text{s}$ )

Contoh perhitungan untuk kecepatan 7.2 m/s dari persamaan 2.3 :

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} \times \rho \times A \times \bar{v}^3 \\
 W &= \frac{1}{2} \times 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.5 \text{ m}^2 \times 7.2^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3} \\
 W &= 108.242 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Tip Speed Ratio

*Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ ) adalah perbandingan antara kecepatan keliling turbin dengan kecepatan angin yang melewati blade, dapat di tulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{\bar{v}}$$

Dimana :

$\lambda$  = ratio kecepatan ujung  
 $\omega$  = kecepatan angular ( $\text{rad}/\text{s}$ )  
 $R$  = jari – jari turbin ( $\text{m}$ )  
 $\bar{v}$  = kecepatan angin ( $\text{m}/\text{s}$ )

Perhitungan untuk kecepatan angin 7.2 m/s untuk blade dengan *Angle Of Attack*  $20^\circ$  dengan beban 50 gram ,didapatkan putaran turbin 122 rpm dari persamaan 2.14 :

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{\omega \times R}{\bar{v}} \\
 \lambda &= \frac{\frac{2 \times \pi \times n}{60} \times R}{\bar{v}} \\
 \lambda &= \frac{\frac{2 \times 3.14 \times 122 \text{ rpm}}{60} \times 0.15 \text{ m}}{7.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}
 \end{aligned}$$



$$\lambda = 0.314$$

### 4.2.3 Torsi

Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan sistem pengereman dengan menggantungkan beban pada *pulley* yang diputar. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = F \times r$$

Dimana :

$$\tau = \text{torsi (N.m)}$$

$$F = \text{gaya pembebanan (N)}$$

$$r = \text{jari-jari pulley (m)}$$

Contoh perhitungan torsi pada kecepatan angin 7.2 m/s, dan pembebanan 0.05 kg dari persamaan 2.15 :

$$\tau = F \times r$$

$$\tau = m \times g \times r$$

$$\tau = 0.05 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.017 \text{ m}$$

$$\tau = 0.0083 \text{ N.m}$$

### 4.2.4 Daya Turbin Angin

Daya kincir merupakan output dari daya angin, daya turbin dapat di peroleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \tau \times \omega$$

Dimana :

$$P = \text{daya (Watt)}$$

$$\tau = \text{torsi (N.m)}$$

$$\omega = \text{kecepatan angular (rad/s)}$$

Contoh perhitungan untuk blade dengan *Angle Of Attack* 20° pada kecepatan 7.2 m/s, putaran 122 rpm dan pembebanan 0.05 kg dari persamaan 2.16 :

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 0.0083 \text{ N.m} \times \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

$$P = 0.0083 \text{ N.m} \times \frac{2 \times 3.14 \times 122 \text{ rpm}}{60}$$

$$P = 0.106 \text{ Watt}$$

#### 4.2.5 Koefisien Daya

Koefisien daya atau *Constant Power* ( $C_p$ ) adalah kerugian daya dan perbandingan antara daya turbin angin dengan daya ideal angin. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P}{W}$$

Dimana :

$C_p$  = koefisien daya

$P$  = daya turbin angin (*Watt*)

$W$  = daya ideal angin (*Watt*)

Contoh perhitungan  $C_p$  pada kecepatan  $7.2 \text{ m/s}$ , putaran  $122 \text{ rpm}$  dari persamaan 2.17 :

$$C_p = \frac{P}{W}$$

$$C_p = \frac{0.106}{108.242}$$

$$C_p = 0.00098$$

#### 4.2.6 Efisiensi Total Turbin

Kinerja turbin merupakan perbandingan antara daya output dan input dari turbin angin, dapat di tulis dengan persamaan :

$$\eta = C_p \times 100 \%$$

Dimana :

$\eta$  = efisiensi (%)

$P$  = daya output (*Watt*)

$W$  = daya input (*Watt*)

Sehingga dari persamaan 2.18 didapat :

$$\eta = C_p \times 100 \%$$

$$\eta = 0.00098 \times 100 \%$$

$$\eta = 0.098 \%$$

#### 4.3 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Unjuk Kerja

Data hasil pengujian dan perhitungan ini dengan menggunakan metode tabel dan grafik hal ini dilakukan untuk mempermudah hasil penelitian turbin angin sumbu *horizontal*. Hasil pengujian dan perhitungan unjuk kerja turbin angin sumbu

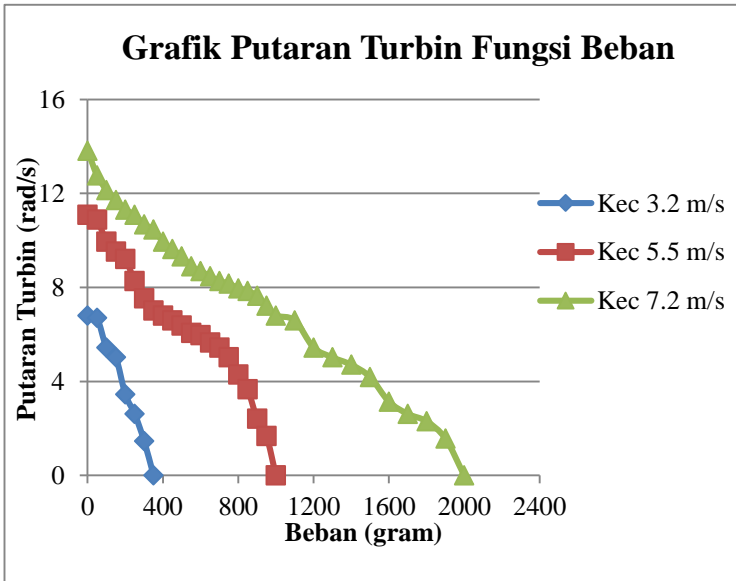
horizontal 4 blade airfoil clark-y model taper linear dengan angle of attack 20°, 40°, dan 60° meliputi unjuk kerja putaran turbin fungsi kecepatan angin, unjuk kerja torsi fungsi beban, unjuk kerja daya fungsi beban, unjuk kerja efisiensi fungsi beban.

### 4.3.1 Unjuk Kerja Putaran Turbin Fungsi Beban

Tabel 4.2 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 20^\circ$ )

$\alpha$ (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
20	0	6,803	11,095	13,816
	50	6,699	10,885	12,769
	100	5,443	9,943	12,141
	150	5,024	9,525	11,723
	200	3,454	9,211	11,304
	250	2,617	8,269	11,095
	300	1,465	7,536	10,676
	350	0	7,013	10,467
	400	-	6,803	9,943
	450	-	6,594	9,629
	500	-	6,385	9,315
	550	-	6,071	8,897
	600	-	5,966	8,687
	650	-	5,652	8,478
	700	-	5,443	8,269
	750	-	5,024	8,164
	800	-	4,291	7,955
850	-	3,663	7,850	

900	-	2,407	7,641
950	-	1,675	7,222
1000	-	0	6,803
1100	-	-	6,594
1200	-	-	5,443
1300	-	-	5,024
1400	-	-	4,710
1500	-	-	4,187
1600	-	-	3,140
1700	-	-	2,617
1800	-	-	2,303
1900	-	-	1,570
2000	-	-	0



Gambar 4.1 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban ( $\alpha = 20^\circ$ )

Dari grafik putaran turbin fungsi beban diatas, akan didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan maka semakin tinggi pula putaran turbin yang didapatkan oleh turbin angin.

Pada pengujian tanpa beban akan didapatkan putaran turbin maksimum pada kecepatan angin  $3.2 \text{ m/s}$  yaitu  $5.443 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $5.5 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $9.734 \text{ rad/s}$ , dan pada kecepatan angin  $7.2 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $12.246 \text{ rad/s}$

Pada pengujian beban  $350 \text{ gram}$  putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin  $3.2 \text{ m/s}$  yaitu  $0 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $5.5 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $7.013 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $7.2 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $10,467 \text{ rad/s}$ .

Pada pengujian beban  $1000 \text{ gram}$  putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin  $3.2 \text{ m/s}$  yaitu  $0 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $5.5 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $0 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $7.2 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $6,803 \text{ rad/s}$ .

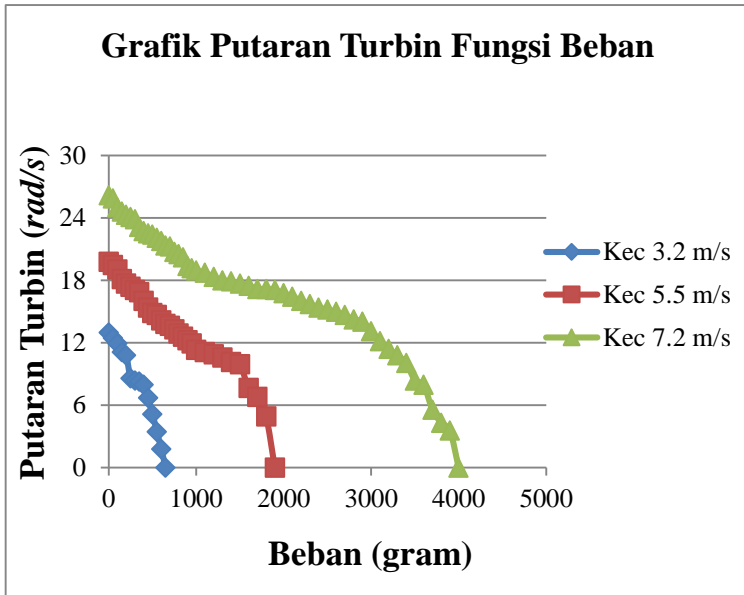
Pada pengujian beban  $2000 \text{ gram}$  putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin  $3.2 \text{ m/s}$  yaitu  $0 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $5.5 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $0 \text{ rad/s}$ , pada kecepatan angin  $7.2 \text{ m/s}$  putaran turbin yang dihasilkan yaitu  $0 \text{ rad/s}$ .

Dapat disimpulkan bahwa putaran turbin pada *angle of attack*  $20^\circ$  mampu menahan beban  $350 \text{ gram}$  pada kecepatan angin  $3.2 \text{ m/s}$ ,  $1000 \text{ gram}$  pada kecepatan angin  $5.5 \text{ m/s}$ ,  $2000 \text{ gram}$  pada kecepatan angin  $7.2 \text{ m/s}$  sampai putaran turbin benar-benar berhenti dan tidak mampu menghasilkan torsi.

Tabel 4.3 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 40^\circ$ ).

$\alpha$ ( $^\circ$ )	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
40	0	12,979	19,782	26,167
	50	12,455	19,468	25,853
	100	11,932	19,049	25,015
	150	11,095	18,107	24,597
	200	10,781	17,689	24,283
	250	8,583	17,375	24,073
	300	8,373	17,061	23,864
	350	8,269	16,851	23,131
	400	7,955	16,014	22,713
	450	6,699	15,386	22,503
	500	5,129	14,863	22,399
	550	3,454	14,653	22,085
	600	1,779	14,130	21,771
	650	0	13,816	21,352
	700	-	13,607	21,247
	750	-	13,293	20,724
	800	-	12,874	20,515
	850	-	12,560	20,201
	900	-	12,246	19,363
	950	-	11,932	19,154
1000	-	11,304	18,945	
1100	-	11,095	18,735	
1200	-	10,885	18,317	

1300	-	10,571	18,003
1400	-	10,153	17,898
1500	-	9,943	17,689
1600	-	7,641	17,479
1700	-	6,803	17,165
1800	-	4,919	17,165
1900	-	0	17,061
2000	-	-	16,747
2100	-	-	16,433
2200	-	-	16,014
2300	-	-	15,700
2400	-	-	15,386
2500	-	-	15,177
2600	-	-	14,967
2700	-	-	14,653
2800	-	-	14,235
2900	-	-	14,0253
3000	-	-	13,083
3100	-	-	12,141
3200	-	-	11,409
3300	-	-	10,781
3400	-	-	10,048
3500	-	-	8,373
3600	-	-	7,955
3700	-	-	5,547
3800	-	-	4,291
3900	-	-	3,559
4000	-	-	0



Gambar 4.2 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban ( $\alpha = 40^\circ$ )

Dari grafik putaran turbin fungsi beban diatas, akan didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan maka semakin tinggi pula putaran turbin yang didapatkan oleh turbin angin.

Pada pengujian tanpa beban akan didapatkan putaran turbin maksimum pada kecepatan angin 3.2 m/s yaitu 12,979 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 19,782 rad/s, dan pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 26,167rad/s.

Pada pengujian beban 650 gram putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 m/s yaitu 0 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 13,816 rad/s, pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 21,352 rad/s.

Pada pengujian beban 1900 gram putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 m/s yaitu 0 rad/s, pada



kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 0 rad/s, pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 17,061 rad/s.

Pada pengujian beban 4000 gram putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 m/s yaitu 0 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 0 rad/s, pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 0 rad/s.

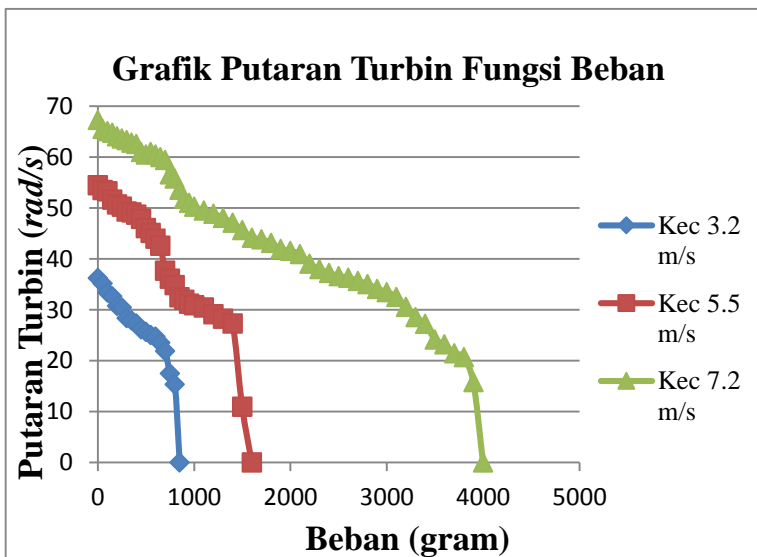
Dapat disimpulkan bahwa putaran turbin pada *angle of attack* 40° mampu menahan beban 360 gram pada kecepatan angin 3.2 m/s, 1900 gram pada kecepatan angin 5.5 m/s, 4000 gram pada kecepatan angin 7.2 m/s sampai putaran turbin benar-benar berhenti dan tidak mampu menghasilkan torsi.

Tabel 4.4 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 60^\circ$ )

$\alpha$ (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
60	0	36,215	54,427	67,301
	50	35,168	53,485	65,521
	100	33,389	53,275	65,103
	150	32,656	51,601	64,789
	200	30,772	50,659	64,056
	250	30,458	50,240	63,637
	300	28,365	49,298	63,323
	350	27,946	49,089	62,800
	400	27,318	48,670	62,591
	450	26,167	47,833	61,021
	500	25,643	46,053	60,497
	550	25,015	45,111	61,021
600	24,701	43,960	60,497	

650	23,550	42,599	59,974
700	21,875	37,680	59,451
750	17,479	36,110	56,625
800	15,386	34,854	55,787
850	0	32,447	53,589
900	-	31,923	51,810
950	-	31,191	50,973
1000	-	30,877	50,240
1100	-	30,458	49,507
1200	-	29,0973	48,879
1300	-	28,260	48,042
1400	-	27,318	47,100
1500	-	10,990	45,635
1600	-	0	44,169
1700	-	-	43,855
1800	-	-	43,123
1900	-	-	41,971
2000	-	-	41,553
2100	-	-	40,925
2200	-	-	39,041
2300	-	-	37,994
2400	-	-	37,261
2500	-	-	36,633
2600	-	-	36,319
2700	-	-	35,691
2800	-	-	35,063
2900	-	-	34,121
3000	-	-	33,493
3100	-	-	32,551
3200	-	-	30,563

3300	-	-	28,574
3400	-	-	27,213
3500	-	-	24,178
3600	-	-	23,236
3700	-	-	21,457
3800	-	-	20,724
3900	-	-	15,805
4000	-	-	0



Gambar 4.3 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban ( $\alpha = 60^\circ$ )

Dari grafik putaran turbin fungsi beban diatas, akan didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan maka semakin tinggi pula putaran turbin yang didapatkan oleh turbin angin.

Pada pengujian tanpa beban akan didapatkan putaran turbin maksimum pada kecepatan angin 3.2 m/s yaitu 36,215 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang

dihasilkan yaitu 54,427 *rad/s*, dan pada kecepatan angin 7.2 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 67,301*rad/s*.

Pada pengujian beban 850 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, pada kecepatan angin 5.5 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 32,447 *rad/s*, pada kecepatan angin 7.2 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 53,589 *rad/s*.

Pada pengujian beban 1600 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, pada kecepatan angin 5.5 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 0 *rad/s*, pada kecepatan angin 7.2 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 44,169 *rad/s*.

Pada pengujian beban 4000 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, pada kecepatan angin 5.5 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 0 *rad/s*, pada kecepatan angin 7.2 *m/s* putaran turbin yang dihasilkan yaitu 0 *rad/s*.

Dapat disimpulkan bahwa putaran turbin pada *angle of attack* 60° mampu menahan beban 850 *gram* pada kecepatan angin 3.2 *m/s*, 1600 *gram* pada kecepatan angin 5.5 *m/s*, 4000 *gram* pada kecepatan angin 7.2 *m/s* sampai putaran turbin benar-benar berhenti dan tidak mampu menghasilkan torsi.

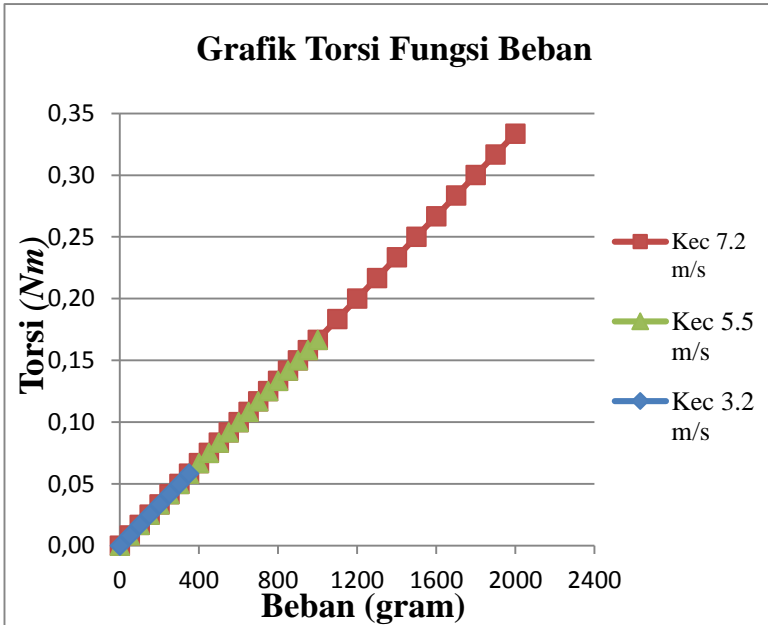
### 4.3.2 Unjuk Kerja Torsi Fungsi Beban

Data perhitungan torsi didapat dari perkalian putaran turbin dengan jari-jari *pulley* 0.017 *meter* seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4.5 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 20^\circ$ ).

$\alpha$ (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	
20	0	6,803	11,095	13,816	0
	50	6,699	10,885	12,769	0,008

100	5,443	9,943	12,141	0,016
150	5,024	9,525	11,723	0,025
200	3,454	9,211	11,304	0,033
250	2,617	8,269	11,095	0,041
300	1,465	7,536	10,676	0,050
350	0	7,013	10,467	0,058
400	-	6,803	9,943	0,066
450	-	6,594	9,629	0,075
500	-	6,385	9,315	0,083
550	-	6,071	8,897	0,091
600	-	5,966	8,687	0,100
650	-	5,652	8,478	0,108
700	-	5,443	8,269	0,116
750	-	5,024	8,164	0,125
800	-	4,291	7,955	0,133
850	-	3,663	7,850	0,141
900	-	2,407	7,641	0,150
950	-	1,675	7,222	0,158
1000	-	0	6,803	0,166
1100	-	-	6,594	0,183
1200	-	-	5,443	0,200
1300	-	-	5,024	0,216
1400	-	-	4,710	0,233
1500	-	-	4,187	0,250
1600	-	-	3,140	0,266
1700	-	-	2,617	0,283
1800	-	-	2,303	0,300
1900	-	-	1,570	0,316
2000	-	-	0	0,333



Gambar 4.4 Grafik Torsi Fungsi Beban ( $\alpha = 20^\circ$ )

Dari grafik torsi fungsi beban, torsi yang didapat pada setiap kecepatan angin akan selalu sama dikarenakan jari-jari *pulley* ( $r$ ) sama tanpa ada perubahan dimasing-masing kecepatan angin. Jika dilakukan perubahan jari-jari *pulley* pada setiap kecepatan angin tertentu maka nilai torsi yang akan dihasilkan oleh turbin juga akan ikut berubah. Sehingga torsi yang dihasilkan pada setiap kecepatan angin hasilnya akan berbeda-beda.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 3.2  $m/s$  pada beban 350  $gram$  yaitu sebesar 0,0584  $N.m$ , torsi maksimum pada kecepatan 3.2  $m/s$  diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,0584  $N.m$  turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 350  $gram$  kecepatan 3.2  $m/s$  turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 5.5 m/s pada beban 1000 gram yaitu sebesar 0,1668 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 5.5 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,1668 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 1000 gram kecepatan 5.5 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 7.2 m/s pada beban 2000 gram yaitu sebesar 0,3335 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 7.2 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,3335 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 2000 gram kecepatan 7.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi torsi yang dihasilkan oleh turbin ini maka semakin rendah putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan semakin besar beban yang diberikan akan semakin besar torsi yang akan tetapi ketika pada beban tertentu tidak mampu menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) turbin tidak dapat lagi berputar.

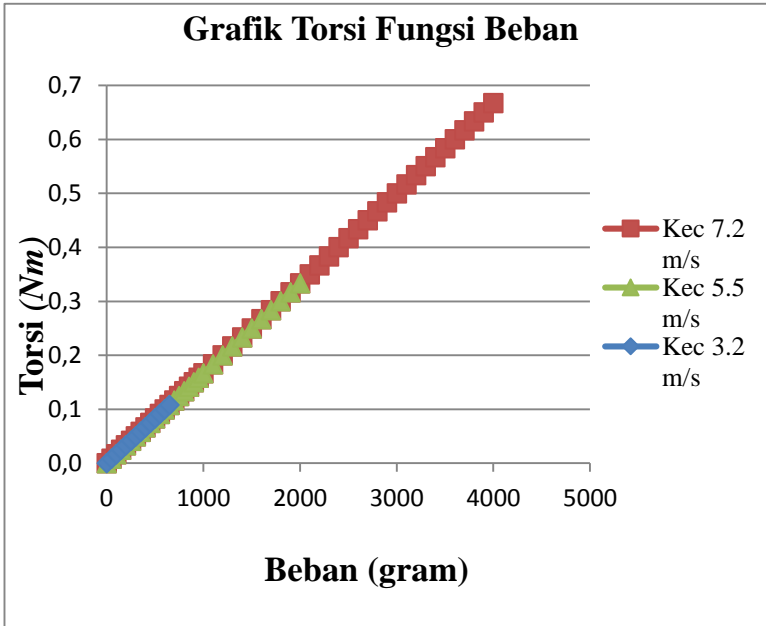
Tabel 4.6 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 40^\circ$ ).

$\alpha$ ( $^\circ$ )	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	
40	0	12,979	19,782	26,167	0
	50	12,455	19,468	25,853	0,008
	100	11,932	19,049	25,015	0,017
	150	11,095	18,107	24,597	0,025
	200	10,781	17,689	24,283	0,033

250	8,583	17,375	24,073	0,042
300	8,373	17,061	23,864	0,050
350	8,269	16,851	23,131	0,058
400	7,955	16,014	22,713	0,067
450	6,699	15,386	22,503	0,075
500	5,129	14,863	22,399	0,083
550	3,454	14,653	22,085	0,092
600	1,779	14,130	21,771	0,100
650	0	13,816	21,352	0,108
700	-	13,607	21,247	0,117
750	-	13,293	20,724	0,125
800	-	12,874	20,515	0,133
850	-	12,560	20,201	0,142
900	-	12,246	19,363	0,150
950	-	11,932	19,154	0,158
1000	-	11,304	18,945	0,167
1100	-	11,095	18,735	0,183
1200	-	10,885	18,317	0,200
1300	-	10,571	18,003	0,217
1400	-	10,153	17,898	0,233
1500	-	9,943	17,689	0,250
1600	-	7,641	17,479	0,267
1700	-	6,803	17,165	0,284
1800	-	4,919	17,165	0,300
1900	-	0	17,061	0,317
2000	-	-	16,747	0,334
2100	-	-	16,433	0,350
2200	-	-	16,014	0,367
2300	-	-	15,700	0,384
2400	-	-	15,386	0,400



2500	-	-	15,177	0,417
2600	-	-	14,967	0,434
2700	-	-	14,653	0,450
2800	-	-	14,235	0,467
2900	-	-	14,0253	0,484
3000	-	-	13,083	0,500
3100	-	-	12,141	0,517
3200	-	-	11,409	0,534
3300	-	-	10,781	0,550
3400	-	-	10,048	0,567
3500	-	-	8,373	0,584
3600	-	-	7,955	0,600
3700	-	-	5,547	0,617
3800	-	-	4,291	0,634
3900	-	-	3,559	0,650
4000	-	-	0	0,667



Gambar 4.5 Grafik Torsi Fungsi Beban ( $\alpha = 40^\circ$ )

Torsi maksimum pada kecepatan angin 3.2 m/s pada beban 650 gram yaitu sebesar 0,108 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 3.2 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,108 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 650 gram kecepatan 3.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 5.5 m/s pada beban 1900 gram yaitu sebesar 0,317 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 5.5 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,317 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ )

karena pada beban 1900 gram kecepatan 5.5 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 7.2 m/s pada beban 4000 gram yaitu sebesar 0,667 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 7.2 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,667 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 4000 gram kecepatan 7.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

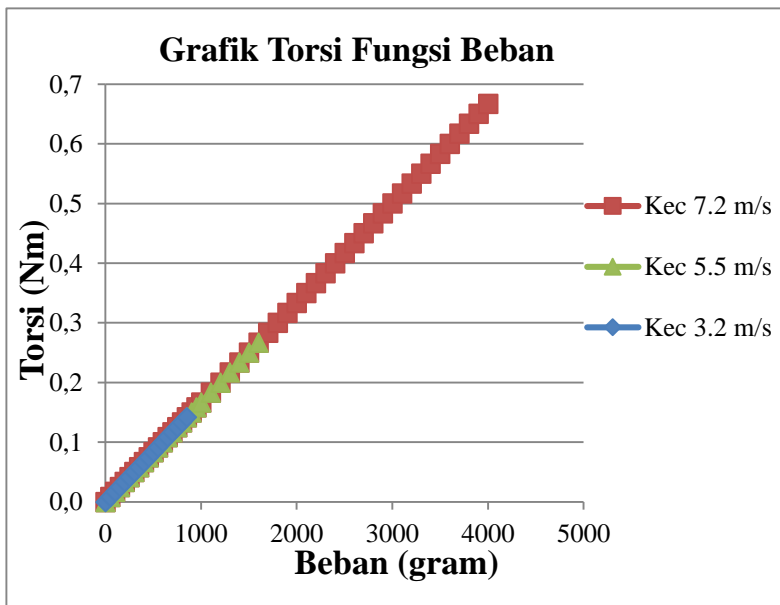
Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi torsi yang dihasilkan oleh turbin ini maka semakin rendah putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan semakin besar beban yang diberikan akan semakin besar torsinya.

Tabel 4.7 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 60^\circ$ ).

$\alpha$ ( $^\circ$ )	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	
60	0	36,215	54,427	67,301	0
	50	35,168	53,485	65,521	0,008
	100	33,389	53,275	65,103	0,017
	150	32,656	51,601	64,789	0,025
	200	30,772	50,659	64,056	0,033
	250	30,458	50,240	63,637	0,042
	300	28,365	49,298	63,323	0,050
	350	27,946	49,089	62,800	0,058
	400	27,318	48,670	62,591	0,067
	450	26,167	47,833	61,021	0,075
	500	25,643	46,053	60,497	0,083
	550	25,015	45,111	61,021	0,092
600	24,701	43,960	60,497	0,100	

650	23,550	42,599	59,974	0,108
700	21,875	37,680	59,451	0,117
750	17,479	36,110	56,625	0,125
800	15,386	34,854	55,787	0,133
850	0	32,447	53,589	0,142
900	-	31,923	51,810	0,150
950	-	31,191	50,973	0,158
1000	-	30,877	50,240	0,167
1100	-	30,458	49,507	0,183
1200	-	29,097	48,879	0,200
1300	-	28,260	48,042	0,217
1400	-	27,318	47,100	0,233
1500	-	10,990	45,635	0,250
1600	-	0	44,169	0,267
1700	-	-	43,855	0,284
1800	-	-	43,123	0,300
1900	-	-	41,971	0,317
2000	-	-	41,553	0,334
2100	-	-	40,925	0,350
2200	-	-	39,041	0,367
2300	-	-	37,994	0,384
2400	-	-	37,261	0,400
2500	-	-	36,633	0,417
2600	-	-	36,319	0,434
2700	-	-	35,691	0,450
2800	-	-	35,063	0,467
2900	-	-	34,121	0,484
3000	-	-	33,493	0,500
3100	-	-	32,551	0,517
3200	-	-	30,563	0,534

3300	-	-	28,574	0,550
3400	-	-	27,213	0,567
3500	-	-	24,178	0,584
3600	-	-	23,236	0,600
3700	-	-	21,457	0,617
3800	-	-	20,724	0,634
3900	-	-	15,805	0,650
4000	-	-	0	0,667



Gambar 4.6 Grafik Torsi Fungsi Beban ( $\alpha = 60^\circ$ )

Torsi maksimum pada kecepatan angin 3.2 *m/s* pada beban 850 *gram* yaitu sebesar 0,142 *N.m*, torsi maksimum pada kecepatan 3.2 *m/s* diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu

diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,142 *N.m* turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 850 *gram* kecepatan 3.2 *m/s* turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 5.5 *m/s* pada beban 1600 *gram* yaitu sebesar 0,267 *N.m*, torsi maksimum pada kecepatan 5.5 *m/s* diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,267 *N.m* turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 1600 *gram* kecepatan 5.5 *m/s* turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 7.2 *m/s* pada beban 4000 *gram* yaitu sebesar 0,667 *N.m*, torsi maksimum pada kecepatan 7.2 *m/s* diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0,667 *N.m* turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ( $\omega = 0 \text{ rad/s}$ ) karena pada beban 4000 *gram* kecepatan 7.2 *m/s* turbin tidak dapat lagi berputar.

Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi torsi yang dihasilkan oleh turbin ini maka semakin rendah putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan semakin besar beban yang diberikan akan semakin besar torsinya

#### **4.3.3 Unjuk Kerja Daya Fungsi Beban**

Data perhitungan daya output didapat dari perkalian torsi dengan putaran turbin seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4.8 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 3.2 *m/s* dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
20	3,2 m/s	0	6,803	0	0
		50	6,699	0,0083	0,056
		100	5,443	0,0167	0,091
		150	5,024	0,0250	0,126
		200	3,454	0,0334	0,115
		250	2,617	0,0417	0,109
		300	1,465	0,0500	0,073
		350	0	0,0584	0,000

Tabel 4.9 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 5.5 m/s dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
20	5.5 m/s	0	11,095	0	0
		50	10,885	0,0083	0,091
		100	9,943	0,0167	0,166
		150	9,525	0,0250	0,238
		200	9,211	0,0334	0,307
		250	8,269	0,0417	0,345
		300	7,536	0,0500	0,377
		350	7,013	0,0584	0,409
		400	6,803	0,0667	0,453837
		450	6,594	0,0750	0,494857
		500	6,385	0,0834	0,532385
		550	6,071	0,0917	0,556823

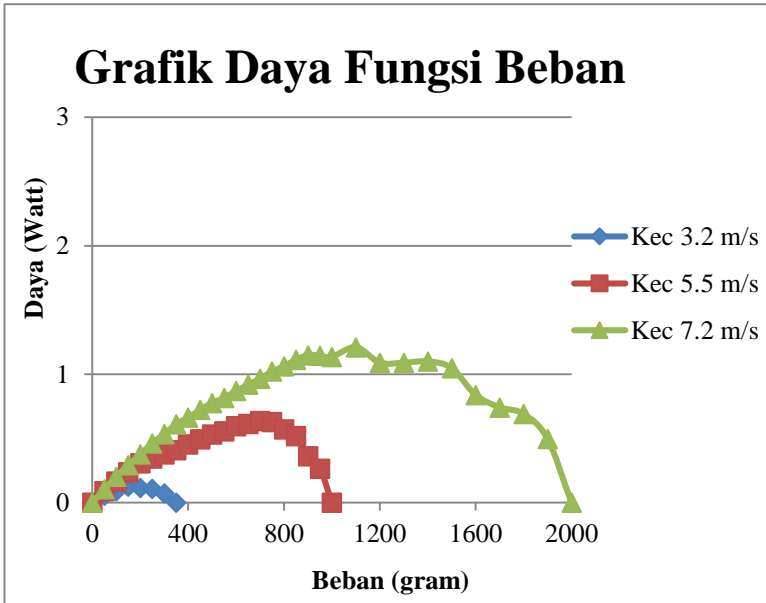
		600	5,966	0,1001	0,59697
		650	5,652	0,1084	0,61268
		700	5,443	0,1167	0,635371
		750	5,024	0,1251	0,628389
		800	4,291	0,1334	0,572533
		850	3,663	0,1418	0,519294
		900	2,407	0,1501	0,361324
		950	1,675	0,1584	0,26532
		1000	0	0,1668	0

Tabel 4.10 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 7.2 m/s dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
20	7,2 m/s	0	13,816	0	0
		50	12,769	0,0083	0,106
		100	12,141	0,0167	0,202
		150	11,723	0,0250	0,293
		200	11,304	0,0334	0,377
		250	11,095	0,0417	0,463
		300	10,676	0,0500	0,534
		350	10,467	0,0584	0,611
		400	9,943	0,0667	0,6633
		450	9,629	0,0750	0,722648
		500	9,315	0,0834	0,776759
		550	8,897	0,0917	0,816033
		600	8,687	0,1001	0,869272
		650	8,478	0,1084	0,919019
		700	8,269	0,1167	0,965276



	750	8,164	0,1251	1,021133
	800	7,955	0,1334	1,06128
	850	7,850	0,1418	1,112773
	900	7,641	0,1501	1,146811
	950	7,222	0,1584	1,144192
	1000	6,803	0,1668	1,134592
	1100	6,594	0,1834	1,20965
	1200	5,443	0,2001	1,089208
	1300	5,024	0,2168	1,089208
	1400	4,710	0,2335	1,099
	1500	4,187	0,2502	1,047
	1600	3,140	0,2668	0,837
	1700	2,617	0,2835	0,741
	1800	2,303	0,3002	0,691
	1900	1,570	0,3169	0,497
	2000	0	0,3335	0



Gambar 4.7 Grafik Daya Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 20^\circ$ )

Dari grafik daya fungsi beban, didapat bahwasanya semakin besar torsi ( $\tau$ ) dan kecepatan keliling ( $\omega$ ) yang dihasilkan oleh turbin angin maka daya yang dihasilkan oleh turbin angin akan semakin besar, hal ini dapat di tinjau dari persamaan daya  $P = \tau \times \omega$ . Dimana  $\tau$  = torsi ( $N.m$ ),  $\omega$  = putaran turbin ( $rad/s$ ).

Pada pengujian kecepatan 3.2 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0,126 Watt dengan beban 150 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,0250 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 5,024rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 350 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0,635Watt dengan beban 700 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,1167 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 5,443 rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada

beban 0 dan 1000 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Pada pengujian kecepatan 7.2 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 1,209 Watt dengan beban 1100 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,1834N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 6,594 rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 2000 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 1,209 Watt pada kecepatan 7.2 m/s dengan beban 1100 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,1167 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 5,443 rad/s.

Tabel 4.11 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 3.2 m/s dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
40	3,2 m/s	0	12,979	0	0
		50	12,455	0,008	0,104
		100	11,932	0,017	0,199
		150	11,095	0,025	0,278
		200	10,781	0,033	0,360
		250	8,583	0,042	0,358
		300	8,373	0,050	0,419
		350	8,269	0,058	0,483
		400	7,955	0,067	0,531
		450	6,699	0,075	0,503
		500	5,129	0,083	0,428
		550	3,454	0,092	0,317
		600	1,779	0,100	0,178
		650	0,000	0,108	0,000

Tabel 4.12 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 5.5 m/s dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
40	5,5 m/s	0	19,782	0	0
		50	19,468	0,008	0,162
		100	19,049	0,017	0,318
		150	18,107	0,025	0,453
		200	17,689	0,033	0,590
		250	17,375	0,042	0,724
		300	17,061	0,050	0,854
		350	16,851	0,058	0,984
		400	16,014	0,067	1,068
		450	15,386	0,075	1,155
		500	14,863	0,083	1,239
		550	14,653	0,092	1,344
		600	14,130	0,100	1,414
		650	13,816	0,108	1,498
		700	13,607	0,117	1,588
		750	13,293	0,125	1,663
		800	12,874	0,133	1,718
		850	12,560	0,142	1,780
		900	12,246	0,150	1,838
		950	11,932	0,158	1,890
1000	11,304	0,167	1,885		
1100	11,095	0,183	2,035		
1200	10,885	0,200	2,178		

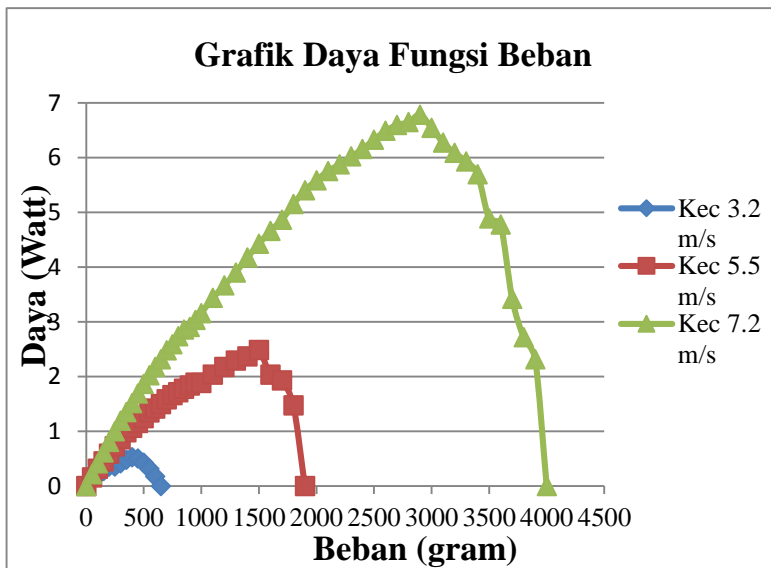
		1300	10,571	0,217	2,292
		1400	10,153	0,233	2,370
		1500	9,943	0,250	2,487
		1600	7,641	0,267	2,039
		1700	6,803	0,284	1,929
		1800	4,919	0,300	1,477
		1900	0	0,317	0

Tabel 4.13 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 7.2 m/s dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
40	7,2 m/s	0	26,167	0	0
		50	25,853	0,008	0,216
		100	25,015	0,017	0,417
		150	24,597	0,025	0,615
		200	24,283	0,033	0,810
		250	24,073	0,042	1,00
		300	23,864	0,050	1,194
		350	23,131	0,058	1,350
		400	22,713	0,067	1,515
		450	22,503	0,075	1,689
		500	22,399	0,083	1,868
		550	22,085	0,092	2,026
		600	21,771	0,100	2,178
		650	21,352	0,108	2,315
		700	21,247	0,117	2,480

750	20,724	0,125	2,592
800	20,515	0,133	2,736
850	20,201	0,142	2,864
900	19,363	0,150	2,906
950	19,154	0,158	3,035
1000	18,945	0,167	3,159
1100	18,735	0,183	3,437
1200	18,317	0,2001	3,666
1300	18,003	0,217	3,903
1400	17,898	0,233	4,179
1500	17,689	0,250	4,425
1600	17,479	0,267	4,664
1700	17,165	0,284	4,867
1800	17,165	0,300	5,153
1900	17,061	0,317	5,406
2000	16,747	0,334	5,586
2100	16,433	0,350	5,755
2200	16,014	0,367	5,875
2300	15,700	0,384	6,022
2400	15,386	0,400	6,158
2500	15,177	0,417	6,328
2600	14,967	0,434	6,490
2700	14,653	0,450	6,598
2800	14,235	0,467	6,646
2900	14,0253	0,484	6,783
3000	13,083	0,500	6,546
3100	12,141	0,517	6,277
3200	11,409	0,534	6,088
3300	10,781	0,550	5,933
3400	10,048	0,567	5,697

	3500	8,373	0,584	4,887
	3600	7,955	0,600	4,776
	3700	5,547	0,617	3,42
	3800	4,291	0,634	2,720
	3900	3,559	0,650	2,315
	4000	0	0,667	0



Gambar 4.8 Grafik Daya Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 40^\circ$ )

Pada pengujian kecepatan 3.2 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0,531 Watt dengan beban 400 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,067 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 7,955 rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 650 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0,635 Watt dengan beban 1500

gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,250 *N.m* dan putaran turbin ( $\omega$ ) 9,943 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 1900 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

Pada pengujian kecepatan 7.2 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 6,783 *Watt* dengan beban 2900 *gram* dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,484 *N.m* dan putaran turbin ( $\omega$ ) 14,025 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 4000 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

Dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 6,783 *Watt* pada kecepatan 7.2 *m/s* dengan beban 2900 *gram* dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,484 *N.m* dan putaran turbin ( $\omega$ ) 14,025 *rad/s*.

Tabel 4.14 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 3.2 *m/s* dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin ( <i>m/s</i> )	Beban ( <i>gram</i> )	Putaran Turbin ( <i>rad/s</i> )	Torsi ( <i>Nm</i> )	Daya Output ( <i>Watt</i> )
60	3,2 <i>m/s</i>	0	36,215	0	0
		50	35,168	0,0083	0,293
		100	33,389	0,0167	0,557
		150	32,656	0,0250	0,817
		200	30,772	0,0334	1,026
		250	30,458	0,0417	1,270
		300	28,365	0,0500	1,419
		350	27,946	0,0584	1,631
		400	27,318	0,0667	1,822
		450	26,167	0,0750	1,964
		500	25,643	0,0834	2,138
		550	25,015	0,0917	2,294



		600	24,701	0,1001	2,472
		650	23,550	0,1084	2,553
		700	21,875	0,1167	2,554
		750	17,479	0,1251	2,186
		800	15,386	0,1334	2,053
		850	0	0,1418	0

Tabel 4.15 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan  $5.5 \text{ m/s}$  dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
60	5,5 m/s	0	54,427	0	0
		50	53,485	0,008	0,446
		100	53,275	0,017	0,888
		150	51,601	0,025	1,291
		200	50,659	0,033	1,690
		250	50,240	0,042	2,095
		300	49,298	0,050	2,466
		350	49,089	0,058	2,865
		400	48,670	0,067	3,247
		450	47,833	0,075	3,590
		500	46,053	0,083	3,840
		550	45,111	0,092	4,138
		600	43,960	0,100	4,399
		650	42,599	0,108	4,618
		700	37,680	0,117	4,399
		750	36,110	0,125	4,517
800	34,854	0,133	4,650		

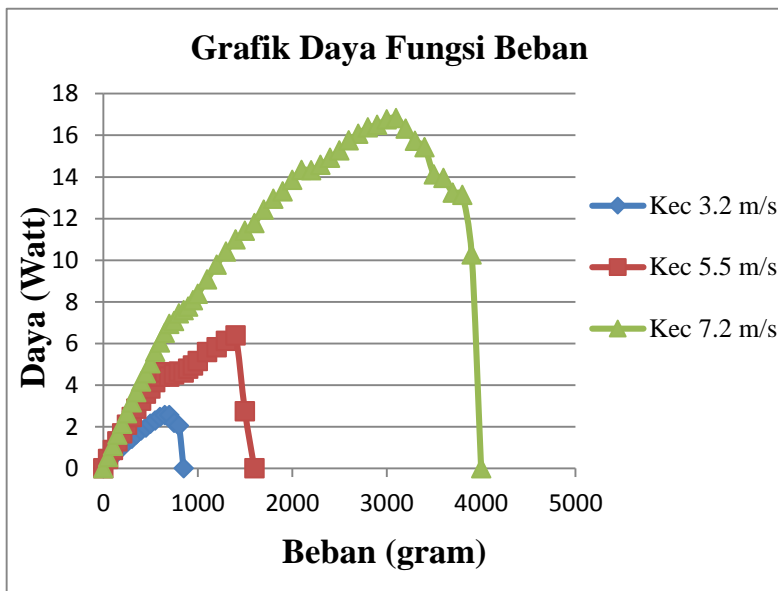
		850	32,447	0,142	4,599
		900	31,923	0,150	4,791
		950	31,191	0,158	4,942
		1000	30,877	0,167	5,149
		1100	30,458	0,183	5,587
		1200	29,097	0,200	5,823
		1300	28,260	0,217	6,127
		1400	27,318	0,233	6,378
		1500	10,990	0,250	2,749
		1600	0	0,267	0

Tabel 4.16 Data Perhitungan daya output yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 7.2 m/s dengan variasi beban.

$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)
60	7,2 m/s	0	67,301	0	0
		50	65,521	0,008	0,546
		100	65,103	0,017	1,086
		150	64,789	0,025	1,621
		200	64,056	0,033	2,137
		250	63,637	0,042	2,653
		300	63,323	0,050	3,168
		350	62,800	0,058	3,666
		400	62,591	0,067	4,175
		450	61,021	0,075	4,579
		500	60,497	0,083	5,045
		550	61,021	0,092	5,597
		600	60,497	0,100	6,053

650	59,974	0,108	6,501
700	59,451	0,117	6,940
750	56,625	0,125	7,082
800	55,787	0,133	7,443
850	53,589	0,142	7,597
900	51,810	0,150	7,776
950	50,973	0,158	8,076
1000	50,240	0,167	8,379
1100	49,507	0,183	9,082
1200	48,879	0,200	9,782
1300	48,042	0,217	10,416
1400	47,100	0,233	10,997
1500	45,635	0,250	11,416
1600	44,169	0,267	11,786
1700	43,855	0,284	12,433
1800	43,123	0,300	12,945
1900	41,971	0,317	13,299
2000	41,553	0,334	13,859
2100	40,925	0,350	14,333
2200	39,041	0,367	14,324
2300	37,994	0,384	14,573
2400	37,261	0,400	14,914
2500	36,633	0,417	15,273
2600	36,319	0,434	15,748
2700	35,691	0,450	16,071
2800	35,063	0,467	16,373
2900	34,121	0,484	16,502
3000	33,493	0,500	16,757
3100	32,551	0,517	16,829
3200	30,563	0,534	16,310

	3300	28,574	0,550	15,725
	3400	27,213	0,567	15,430
	3500	24,178	0,584	14,113
	3600	23,236	0,600	13,950
	3700	21,457	0,617	13,240
	3800	20,724	0,634	13,133
	3900	15,805	0,650	10,279
	4000	0	0,667	0



Gambar 4.9 Grafik Daya Fungsi Pembebanan ( $\alpha = 60^\circ$ )

Pada pengujian kecepatan 3.2 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 2,554 Watt dengan beban 700 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,1167 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 21,875 rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 850 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 6,378 Watt dengan beban 1400 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,233 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 27,318 rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 1600 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Pada pengujian kecepatan 7.2 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 16,829 Watt dengan beban 3100 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,517 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 32,551 rad/s. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 4000 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s.

Dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 16,829 Watt pada kecepatan 7.2 m/s dengan beban 3100 gram dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,517 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 32,551 rad/s.

#### 4.3.4 Unjuk Kerja Efisiensi Fungsi Beban

Data perhitungan efisiensi didapat dari perkalian  $C_p$  yakni  $\frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}}$  dengan 100 % seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4.17 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 3,2 m/s ( $\alpha = 20^\circ$ ).

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
3,2 m/s	0	6,803	0	0	9,503	0
	50	6,699	0,008	0,056	9,503	0,588
	100	5,443	0,016	0,091	9,503	0,955
	150	5,024	0,025	0,126	9,503	1,323
	200	3,454	0,033	0,115	9,503	1,212
	250	2,617	0,041	0,109	9,503	1,148

	300	1,465	0,050	0,073	9,503	0,771
	350	0	0,058	0,000	9,503	0

Tabel 4.18 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 5,5 m/s ( $\alpha = 20^\circ$ )..

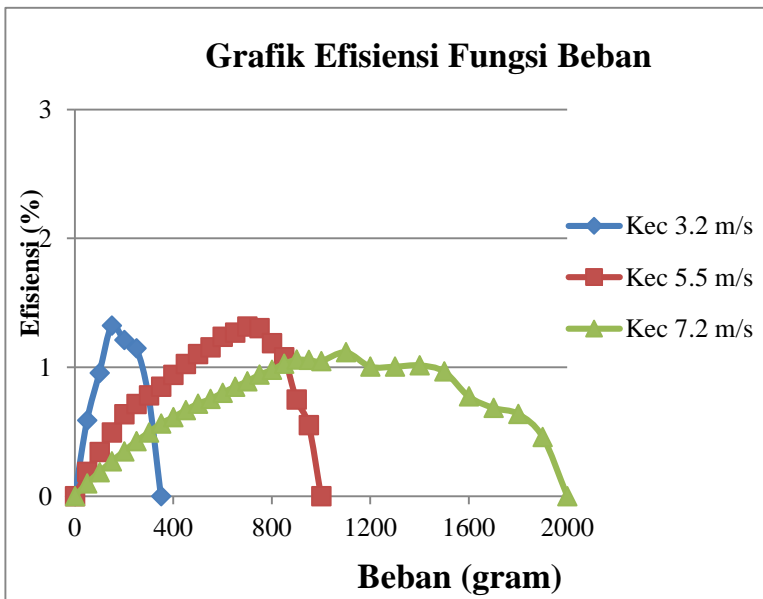
Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
5,5 m/s	0	11,095	0,000	0	48,249	0
	50	10,885	0,008	0,091	48,249	0,188
	100	9,943	0,017	0,166	48,249	0,344
	150	9,525	0,025	0,238	48,249	0,494
	200	9,211	0,033	0,307	48,249	0,637
	250	8,269	0,042	0,345	48,249	0,715
	300	7,536	0,050	0,377	48,249	0,781
	350	7,013	0,058	0,409	48,249	0,848
	400	6,803	0,067	0,453	48,249	0,940
	450	6,594	0,075	0,494	48,249	1,025
	500	6,385	0,083	0,532	48,249	1,103
	550	6,071	0,092	0,556	48,249	1,154
	600	5,966	0,100	0,597	48,249	1,237
	650	5,652	0,108	0,612	48,249	1,269
	700	5,443	0,117	0,635	48,249	1,316
	750	5,024	0,125	0,628	48,249	1,302
	800	4,291	0,133	0,572	48,249	1,186
	850	3,663	0,142	0,519	48,249	1,076
900	2,407	0,150	0,361	48,249	0,748	
950	1,675	0,158	0,265	48,249	0,549	

	1000	0	0,167	0	48,249	0
--	------	---	-------	---	--------	---

Tabel 4.19 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 7,2 m/s ( $\alpha = 20^\circ$ )..

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
7,2 m/s	0	13,816	0	0	108,242	0
	50	12,769	0,008	0,106	108,242	0,098
	100	12,141	0,017	0,202	108,242	0,187
	150	11,723	0,025	0,293	108,242	0,271
	200	11,304	0,033	0,377	108,242	0,348
	250	11,095	0,042	0,463	108,242	0,427
	300	10,676	0,050	0,534	108,242	0,493
	350	10,467	0,058	0,611	108,242	0,564
	400	9,943	0,067	0,663	108,242	0,612
	450	9,629	0,075	0,723	108,242	0,667
	500	9,315	0,083	0,777	108,242	0,717
	550	8,897	0,092	0,816	108,242	0,753
	600	8,687	0,100	0,869	108,242	0,803
	650	8,478	0,108	0,919	108,242	0,849
	700	8,269	0,117	0,965	108,242	0,891
	750	8,164	0,125	1,021	108,242	0,943
	800	7,955	0,133	1,061	108,242	0,980
	850	7,850	0,142	1,113	108,242	1,028
	900	7,641	0,150	1,147	108,242	1,059
	950	7,222	0,158	1,144	108,242	1,057
1000	6,803	0,167	1,135	108,242	1,048	
1100	6,594	0,183	1,210	108,242	1,117	

1200	5,443	0,200	1,089	108,242	1,006
1300	5,024	0,217	1,089	108,242	1,006
1400	4,710	0,233	1,100	108,242	1,015
1500	4,187	0,250	1,047	108,242	0,967
1600	3,140	0,267	0,838	108,242	0,774
1700	2,617	0,284	0,742	108,242	0,685
1800	2,303	0,300	0,691	108,242	0,638
1900	1,570	0,317	0,497	108,242	0,460
2000	0	0,334	0	108,242	0



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Fungsi Beban ( $\alpha = 20^\circ$ ).

Dari grafik efisiensi fungsi beban, didapatkan efisiensi sesuai dengan persamaan  $\eta = \frac{P}{w} \times 100\%$ , artinya semakin tinggi daya turbin (daya output) yang dihasilkan oleh turbin sedangkan



daya angin (daya input) sama di setiap kecepatan angin sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin akan semakin tinggi.

Pada pengujian kecepatan  $3.2 \text{ m/s}$  dengan beban  $150 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $0,126 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $9.503 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,0250 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $5,024 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $1,323 \%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $350 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Pada pengujian kecepatan  $5.5 \text{ m/s}$  dengan beban  $700 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $0,6354 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $48.249 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,117 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $4.815 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $1,3169 \%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $1000 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Pada pengujian kecepatan  $7.2 \text{ m/s}$  dengan beban  $1100 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $1,210 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $108.242 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,183 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $6,594 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $1,1175\%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $2000 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin blade dengan *Angle Of Attack*  $20^\circ$  sebesar  $1,323 \%$  pada kecepatan angin  $3,2 \text{ m/s}$  dengan daya output ( $P$ ) sebesar  $0,126 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $9.503 \text{ Watt}$ .

Tabel 4.20 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 3,2 m/s dengan ( $\alpha = 40^\circ$ ).

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
3,2 m/s	0	12,979	0	0	9,503	0
	50	12,455	0,008	0,104	9,503	1,093
	100	11,932	0,016	0,199	9,503	2,094
	150	11,095	0,025	0,278	9,503	2,921
	200	10,781	0,033	0,360	9,503	3,784
	250	8,583	0,041	0,358	9,503	3,766
	300	8,373	0,050	0,419	9,503	4,408
	350	8,269	0,058	0,483	9,503	5,078
	400	7,955	0,066	0,531	9,503	5,584
	450	6,699	0,075	0,503	9,503	5,290
	500	5,129	0,083	0,428	9,503	4,500
	550	3,454	0,091	0,317	9,503	3,333
	600	1,779	0,100	0,178	9,503	1,873
	650	0	0,108	0	9,503	0

Tabel 4.21 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 5,5 m/s ( $\alpha = 40^\circ$ )..

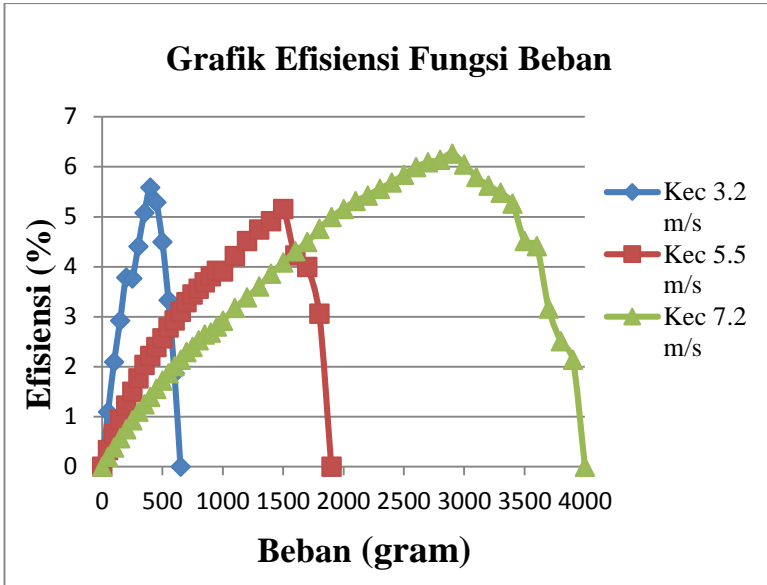
Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
5,5	0	19,782	0	0	48,249	0

m/s	50	19,468	0,008	0,162	48,249	0,336
	100	19,049	0,016	0,318	48,249	0,658
	150	18,107	0,025	0,453	48,249	0,939
	200	17,689	0,033	0,590	48,249	1,223
	250	17,375	0,041	0,724	48,249	1,501
	300	17,061	0,050	0,854	48,249	1,769
	350	16,851	0,058	0,984	48,249	2,039
	400	16,014	0,066	1,068	48,249	2,214
	450	15,386	0,075	1,155	48,249	2,393
	500	14,863	0,083	1,239	48,249	2,569
	550	14,653	0,091	1,344	48,249	2,786
	600	14,130	0,100	1,414	48,249	2,930
	650	13,816	0,108	1,498	48,249	3,104
	700	13,607	0,116	1,588	48,249	3,292
	750	13,293	0,125	1,663	48,249	3,446
	800	12,874	0,133	1,718	48,249	3,560
	850	12,560	0,141	1,780	48,249	3,690
	900	12,246	0,150	1,838	48,249	3,810
	950	11,932	0,158	1,890	48,249	3,918
	1000	11,304	0,166	1,885	48,249	3,907
1100	11,095	0,183	2,035	48,249	4,218	
1200	10,885	0,200	2,178	48,249	4,515	
1300	10,571	0,216	2,292	48,249	4,750	
1400	10,153	0,233	2,370	48,249	4,913	
1500	9,943	0,250	2,487	48,249	5,155	
1600	7,641	0,266	2,039	48,249	4,226	
1700	6,803	0,283	1,929	48,249	3,998	
1800	4,919	0,300	1,477	48,249	3,061	
1900	0	0,316	0	48,249	0	

Tabel 4.22 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 7,2 m/s ( $\alpha = 40^\circ$ ).

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
7,2 m/s	0	26,167	0	0	108,24	0
	50	25,853	0,0083	0,216	108,24	0,199
	100	25,015	0,0167	0,417	108,24	0,385
	150	24,597	0,0250	0,615	108,24	0,568
	200	24,283	0,0334	0,810	108,24	0,748
	250	24,073	0,0417	1,004	108,24	0,927
	300	23,864	0,0500	1,194	108,24	1,103
	350	23,131	0,0584	1,350	108,24	1,247
	400	22,713	0,0667	1,515	108,24	1,400
	450	22,503	0,0750	1,689	108,24	1,560
	500	22,399	0,0834	1,868	108,24	1,725
	550	22,085	0,0917	2,026	108,24	1,871
	600	21,771	0,1001	2,178	108,24	2,013
	650	21,352	0,1084	2,315	108,24	2,138
	700	21,247	0,1167	2,480	108,24	2,292
	750	20,724	0,1251	2,592	108,24	2,395
	800	20,515	0,1334	2,737	108,24	2,529
	850	20,201	0,1418	2,864	108,24	2,645
	900	19,363	0,1501	2,906	108,24	2,685
	950	19,154	0,1584	3,035	108,24	2,804
1000	18,945	0,1668	3,159	108,24	2,919	
1100	18,735	0,1834	3,437	108,24	3,175	
1200	18,317	0,2001	3,666	108,24	3,386	

1300	18,003	0,2168	3,903	108,24	3,606
1400	17,898	0,2335	4,179	108,24	3,861
1500	17,689	0,2502	4,425	108,24	4,088
1600	17,479	0,2668	4,664	108,24	4,309
1700	17,165	0,2835	4,867	108,24	4,496
1800	17,165	0,3002	5,153	108,24	4,760
1900	17,061	0,3169	5,406	108,24	4,994
2000	16,747	0,333	5,586	108,24	5,160
2100	16,433	0,350	5,755	108,24	5,316
2200	16,014	0,366	5,875	108,24	5,428
2300	15,700	0,383	6,022	108,24	5,563
2400	15,386	0,400	6,158	108,24	5,689
2500	15,177	0,416	6,328	108,24	5,845
2600	14,967	0,433	6,490	108,24	5,995
2700	14,653	0,450	6,598	108,24	6,095
2800	14,235	0,466	6,646	108,24	6,140
2900	14,025	0,483	6,783	108,24	6,266
3000	13,083	0,500	6,546	108,24	6,047
3100	12,141	0,516	6,277	108,24	5,798
3200	11,409	0,533	6,088	108,24	5,6248
3300	10,781	0,550	5,933	108,24	5,4812
3400	10,048	0,567	5,697	108,24	5,2635
3500	8,373	0,583	4,887	108,24	4,5153
3600	7,955	0,600	4,776	108,24	4,412
3700	5,547	0,617	3,423	108,24	3,162
3800	4,291	0,633	2,720	108,24	2,512
3900	3,559	0,650	2,315	108,24	2,138
4000	0	0,667	0	108,22	0



Gambar 4.11 Grafik Efisiensi Fungsi beban ( $\alpha = 40^\circ$ )

Pada pengujian kecepatan 3.2 m/s dengan beban 400 gram daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0,531 Watt dan daya input ( $W$ ) 9.503 Watt, dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,0667 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 7,955 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 5,584 %. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 600 gram karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan 0 Watt.

Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s dengan beban 1500 gram daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 2,487 Watt dan daya input ( $W$ ) 48.249 Watt, dikarenakan torsi ( $\tau$ ) 0,2502 N.m dan putaran turbin ( $\omega$ ) 9,943 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 5,155 %. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 1900 gram karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan 0 Watt.

Pada pengujian kecepatan  $7.2 \text{ m/s}$  dengan beban  $2900 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $6,783 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $108.242 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,483 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $14,025 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $6,266 \%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $4000 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin blade dengan *Angle Of Attack*  $40^\circ$  sebesar  $6,266 \%$  pada kecepatan angin  $7,2 \text{ m/s}$  dengan daya output ( $P$ ) sebesar  $6,783 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $108.242 \text{ Watt}$ .

Tabel 4.23 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan  $3,2 \text{ m/s}$  ( $\alpha = 60^\circ$ ).

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
3,2 m/s	0	36,215	0	0	9,503	0
	50	35,168	0,008	0,293	9,503	3,086
	100	33,389	0,017	0,557	9,503	5,860
	150	32,656	0,025	0,817	9,503	8,597
	200	30,772	0,033	1,026	9,503	10,801
	250	30,458	0,042	1,270	9,503	13,363
	300	28,365	0,050	1,419	9,503	14,934
	350	27,946	0,058	1,631	9,503	17,166
	400	27,318	0,067	1,822	9,503	19,177
	450	26,167	0,075	1,964	9,503	20,665
	500	25,643	0,083	2,138	9,503	22,502
	550	25,015	0,092	2,294	9,503	24,146

	600	24,701	0,100	2,472	9,503	26,010
	650	23,550	0,108	2,553	9,503	26,864
	700	21,875	0,117	2,554	9,503	26,873
	750	17,479	0,125	2,186	9,503	23,007
	800	15,386	0,133	2,053	9,503	21,602
	850	0	0,142	0	9,503	0

Tabel 4.24 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 5,5 m/s ( $\alpha = 60^\circ$ )..

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
5,5 m/s	0	54,427	0	0	48,249	0
	50	53,485	0,0083	0,446	48,249	0,924
	100	53,275	0,0167	0,888	48,249	1,841
	150	51,601	0,0250	1,291	48,249	2,675
	200	50,659	0,0334	1,690	48,249	3,502
	250	50,240	0,0417	2,095	48,249	4,341
	300	49,298	0,0500	2,466	48,249	5,112
	350	49,089	0,0584	2,865	48,249	5,939
	400	48,670	0,0667	3,247	48,249	6,729
	450	47,833	0,0750	3,590	48,249	7,440
	500	46,053	0,0834	3,840	48,249	7,959
	550	45,111	0,0917	4,138	48,249	8,576
	600	43,960	0,1001	4,399	48,249	9,117
	650	42,599	0,1084	4,618	48,249	9,571
	700	37,680	0,1167	4,399	48,249	9,117
750	36,110	0,1251	4,517	48,249	9,361	



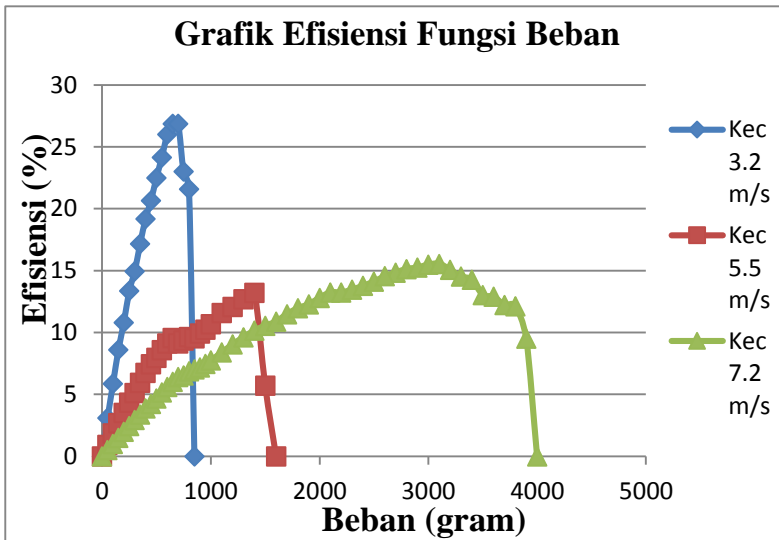
800	34,854	0,1334	4,650	48,249	9,638
850	32,447	0,1418	4,599	48,249	9,533
900	31,923	0,1501	4,791	48,249	9,931
950	31,191	0,1584	4,942	48,249	10,242
1000	30,877	0,1668	5,149	48,249	10,672
1100	30,458	0,1834	5,587	48,249	11,580
1200	29,097	0,2001	5,823	48,249	12,069
1300	28,260	0,2168	6,127	48,249	12,698
1400	27,318	0,2335	6,378	48,249	13,219
1500	11	0,2502	2,749	48,249	5,698
1600	0	0,2668	0	48,249	0

Tabel 4.25 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan pada kecepatan 7,2 m/s ( $\alpha = 60^\circ$ )..

Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)	Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	$\eta$ (%)
7,2 m/s	0	67,301	0	0	108,242	0
	50	65,521	0,0083	0,546	108,242	0,505
	100	65,103	0,0167	1,086	108,242	1,003
	150	64,789	0,0250	1,621	108,242	1,497
	200	64,056	0,0334	2,137	108,242	1,974
	250	63,637	0,0417	2,653	108,242	2,451
	300	63,323	0,0500	3,168	108,242	2,927
	350	62,800	0,0584	3,666	108,242	3,386
	400	62,591	0,0667	4,175	108,242	3,857
	450	61,021	0,0750	4,579	108,242	4,231
	500	60,497	0,0834	5,045	108,242	4,660

550	61,021	0,0917	5,597	108,242	5,171
600	60,497	0,1001	6,053	108,242	5,593
650	59,974	0,1084	6,501	108,242	6,006
700	59,451	0,1167	6,940	108,242	6,412
750	56,625	0,1251	7,082	108,242	6,543
800	55,787	0,1334	7,443	108,242	6,876
850	53,589	0,1418	7,597	108,242	7,018
900	51,810	0,1501	7,776	108,242	7,184
950	50,973	0,1584	8,076	108,242	7,461
1000	50,240	0,1668	8,379	108,242	7,741
1100	49,507	0,1834	9,082	108,242	8,390
1200	48,879	0,2001	9,782	108,242	9,037
1300	48,042	0,2168	10,416	108,242	9,622
1400	47,100	0,2335	10,997	108,242	10,159
1500	45,635	0,2502	11,416	108,242	10,547
1600	44,169	0,2668	11,786	108,242	10,888
1700	43,855	0,2835	12,433	108,242	11,487
1800	43,123	0,3002	12,945	108,242	11,959
1900	41,971	0,3169	13,299	108,242	12,287
2000	41,553	0,3335	13,859	108,242	12,804
2100	40,925	0,3502	14,333	108,242	13,241
2200	39,041	0,3668	14,324	108,242	13,233
2300	37,994	0,3835	14,573	108,242	13,464
2400	37,261	0,4002	14,914	108,242	13,778
2500	36,633	0,4169	15,273	108,242	14,110
2600	36,319	0,4336	15,748	108,242	14,549
2700	35,691	0,4502	16,071	108,242	14,847
2800	35,063	0,4669	16,373	108,242	15,126
2900	34,121	0,4836	16,502	108,242	15,246
3000	33,493	0,5003	16,757	108,242	15,481

3100	32,551	0,5169	16,829	108,242	15,547
3200	30,563	0,5336	16,310	108,242	15,068
3300	28,574	0,5503	15,725	108,242	14,528
3400	27,213	0,5670	15,430	108,242	14,256
3500	24,178	0,5837	14,113	108,242	13,038
3600	23,236	0,6003	13,950	108,242	12,888
3700	21,456	0,6170	13,240	108,242	12,232
3800	20,724	0,6337	13,133	108,242	12,133
3900	15,805	0,6504	10,279	108,242	9,497
4000	0	0,6670	0	108,242	0



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Fungsi Beban ( $\alpha = 60^\circ$ ).

Pada pengujian kecepatan  $3.2 \text{ m/s}$  dengan beban  $700 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $2,554 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $9.503 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,117 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $21,875 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $26,873 \%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $850 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Pada pengujian kecepatan  $5.5 \text{ m/s}$  dengan beban  $1400 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $6,378 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $48.249 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,2335 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $27,318 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $13,219 \%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $1600 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Pada pengujian kecepatan  $7.2 \text{ m/s}$  dengan beban  $3100 \text{ gram}$  daya output ( $P$ ) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar  $16,829 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $108.242 \text{ Watt}$ , dikarenakan torsi ( $\tau$ )  $0,5169 \text{ N.m}$  dan putaran turbin ( $\omega$ )  $32,551 \text{ rad/s}$  sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah  $15,547 \%$ . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban  $0$  dan  $4000 \text{ gram}$  karena daya output ( $P$ ) yang dihasilkan  $0 \text{ Watt}$ .

Dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin blade dengan *Angle Of Attack*  $60^\circ$  sebesar  $26,873 \%$  pada kecepatan angin  $3,2 \text{ m/s}$  dengan daya output ( $P$ ) sebesar  $2,554 \text{ Watt}$  dan daya input ( $W$ )  $9.503 \text{ Watt}$ .

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan akhirnya dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait dengan pengujian unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y* model *taper linear* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut ini :

1. Turbin angin sumbu *horizontal 4 blade airfoil clark-y* model *taper linear* dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan angin 3.2 m/s, 5.5 m/s dan 7.2 m/s dengan *Angle of attack* 20°, 40°, dan 60°.
2. Kecepatan angin berbanding lurus dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin, dengan pengujian 3 variasi kecepatan angin (*low, medium, high*) 3.2 m/s; 5.5 m/s; dan 7.2 m/s. Artinya semakin tinggi kecepatan angin maka semakin tinggi putaran yang dihasilkan oleh turbin.
3. Torsi berbanding lurus dengan putaran turbin, torsi dipengaruhi oleh pembebanan semakin berat pembebanan yang diterima oleh turbin maka besar torsi yang dihasilkan oleh turbin sedangkan pada putaran yang dihasilkan semakin melambat. Hal ini dipengaruhi oleh pembebanan pada *pulley* yang terpasang di poros turbin.
4. Semakin besar *angle of attack* pada sudu (*blade*) maka putaran turbin yang dihasilkan juga akan semakin tinggi, artinya semakin besar pula torsi yang dihasilkan oleh turbin.
5. Efisiensi yang dihasilkan turbin angin bergantung pada daya input dan output. Efisiensi terbesar yang dihasilkan oleh turbin pada percobaan ini cenderung pada saat kecepatan angin yang rendah, karena akan menghasilkan daya input yang kecil.
6. Turbin akan mengalami *stall* pada *angle of attack* 70° yang mana akan membuat turbin tidak mampu lagi

menghasilkan gaya angkat (*lift*) sehingga turbin tidak akan berputar.

7. Setelah melakukan pengujian unjuk kerja, berdasarkan tabel perhitungan, daya terbesar yang dihasilkan oleh turbin dengan *Angle of attack*  $20^\circ$  adalah saat kecepatan angin 7.2 m/s dengan 1,209 Watt. Untuk turbin dengan *Angle of attack*  $40^\circ$  adalah saat kecepatan angin 7.2 m/s dengan 6,783 Watt. Sedangkan untuk turbin dengan *Angle of attack*  $60^\circ$  adalah saat kecepatan angin 7.2 m/s dengan 16,829 Watt.
8. Berdasarkan tabel perhitungan, efisiensi terbesar yang dihasilkan turbin dengan *Angle of attack*  $20^\circ$  adalah saat kecepatan angin 3,2 m/s dengan 1,323 %. Untuk turbin dengan *Angle of attack*  $40^\circ$  adalah saat kecepatan angin 7.2 m/s dengan 6,266 %. Sedangkan turbin dengan *Angle of attack*  $60^\circ$  adalah saat kecepatan angin 3,2 m/s dengan 26,873 %.

## 5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu di berikan saran-saran sebagai berikut ini :

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terkait ukuran dan jumlah sudu (*blade*) turbin angin sumbu *horizontal* dengan *blade airfoil clark-y* model *taper linear*.
2. Perlu dilakukan pengujian unjuk kerja dari modifikasi lain yang berbeda pada turbin angin sumbu *horizontal* dengan *blade airfoil clark-y*.
3. Diperlukan pengujian lebih lanjut terkait dengan *angle of attack* pada sudu (*blade*) *airfoil clark-y* turbin angin sumbu *horizontal*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. <http://digilib.its.ac.id>public>ITSUndergraduated>
2. Farel,Fritz 2013. Uji eksperimental dan analisi pengaruh kecepatan dan jumlah sudu terhadap daya dan putaran turbin angin vertikal axis savonius dengan menggunakan sudu pengarah.Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
3. Al-Bahadly, I.H. and Petersen, A.F.T. 2011. *A Ducted Horizontal Wind Turbine for Efficient Generation*. Dr. Ibrahim Al-Bahadly (Ed.), ISBN: 978-953-307-221-0
4. <http://www.alpensteel.com/article/116-103-energi-angin--wind-turbine--wind-mill/5731-pengetahuan-dasar-mengenai-turbin-angin>
5. <http://panduwitamasitorus.blogspot.co.id/>
6. [https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin\\_angin](https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_angin)
7. <http://digilib.itb.ac.id>
8. Titanio, Gilang dan Safitra, Ghani Arrad. 2015. *Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horisontal Menggunakan Airfoil N-10*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Pembangkitan Energi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
9. Fox, Robert W and McDonald, Alan T. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics*: Eighth Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.
10. [michael-suseno.blogspot.com/2011/09/airfoil.html](http://michael-suseno.blogspot.com/2011/09/airfoil.html)

11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Clark\\_Y](https://en.wikipedia.org/wiki/Clark_Y)
12. Markus, Nanda Aninda, Triharyanto, Y. Teguh, dan Prasetya, Octavianus Ricky. 2007. *Kincir Angin Sumbu Horizontal Bersudu Banyak*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
13. <https://aeroengineering16.blogspot.co.id/2016/03/stall-dan-spin-pada-pesawat-terbang.html?m=1>
14. Ikhsan, Ikhwanul dan Hipi, M. Akbar. 2011. *Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hassanudin Makassar



## LAMPIRAN

Tabel Appendix A.10 dalam buku Introduction to Fluid Mechanics (Fox, Robert W. and McDonald, Alan T)

*Table A.10*

Properties of Air at Atmospheric Pressure (SI Units)

Temperature, $T(^{\circ}\text{C})$	Density, $\rho (\text{kg/m}^3)$	Dynamic Viscosity, $\mu (\text{N}\cdot\text{s/m}^2)$	Kinematic Viscosity, $\nu (\text{m}^2/\text{s})$
0	1.29	1.72E-05	1.33E-05
5	1.27	1.74E-05	1.37E-05
10	1.25	1.76E-05	1.41E-05
15	1.23	1.79E-05	1.45E-05
20	1.21	1.81E-05	1.50E-05
25	1.19	1.84E-05	1.54E-05
30	1.17	1.86E-05	1.59E-05
35	1.15	1.88E-05	1.64E-05
40	1.13	1.91E-05	1.69E-05
45	1.11	1.93E-05	1.74E-05
50	1.09	1.95E-05	1.79E-05
55	1.08	1.98E-05	1.83E-05
60	1.06	2.00E-05	1.89E-05
65	1.04	2.02E-05	1.94E-05
70	1.03	2.04E-05	1.98E-05
75	1.01	2.06E-05	2.04E-05
80	1.00	2.09E-05	2.09E-05
85	0.987	2.11E-05	2.14E-05
90	0.973	2.13E-05	2.19E-05
95	0.960	2.15E-05	2.24E-05
100	0.947	2.17E-05	2.29E-05

Tabel Appendix G.1 dalam buku Introduction to Fluid Mechanics  
(Fox, Robert W. and McDonald, Alan T)

Table G.1

SI Units and Prefixes<sup>a</sup>

SI Units	Quantity	Unit	SI Symbol	Formula
SI base units:	Length	meter	m	—
	Mass	kilogram	kg	—
	Time	second	s	—
	Temperature	kelvin	K	—
SI supplementary unit:	Plane angle	radian	rad	—
SI derived units:	Energy	joule	J	N · m
	Force	newton	N	kg · m/s <sup>2</sup>
	Power	watt	W	J/s
	Pressure	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
	Work	joule	J	N · m

SI prefixes	Multiplication Factor	Prefix	SI Symbol
	1 000 000 000 000 = 10 <sup>12</sup>	tera	T
	1 000 000 000 = 10 <sup>9</sup>	giga	G
	1 000 000 = 10 <sup>6</sup>	mega	M
	1 000 = 10 <sup>3</sup>	kilo	k
	0.01 = 10 <sup>-2</sup>	centi <sup>b</sup>	c
	0.001 = 10 <sup>-3</sup>	milli	m
	0.000 001 = 10 <sup>-6</sup>	micro	μ
	0.000 000 001 = 10 <sup>-9</sup>	nano	n
	0.000 000 000 001 = 10 <sup>-12</sup>	pico	p

<sup>a</sup>Source: ASTM Standard for Metric Practice E 380-97, 1997.

<sup>b</sup>To be avoided where possible.

Tabel spesifikasi *Tachometer* yang digunakan :

Time base	Quartz crystal 4,9152MHz
Display	Reversible 5 digit 0,6" (16 mm) LCD display
Laser light source	Less than 1 mW; Class 2 red laser dioda (645 nm approx)
Detecting distance	2 to 79" (50 to 2000 mm) depending on ambient light and rpm
Memory	Last reading and MIN/MAX readings
Operating condition	32° F 'till 122° F; RH 80 % max
Power supply	4 x 1,5 Volt AA batteries
Power consumption	24 mA DC approx. (>100 hours continous use)
Weight	300 gram (include battery)
Size	(210 x 80 x 50) mm
Accessories	(4) 1,5 Volt batteries, relative tape 24" (600 mm), (10 surface speed) and (20 rpm rotating attachment and carrying case)
Patent notice	U.S Petent 7,111,981

Data Hasil Penelitian :

No	Keterangan	Nilai
1	Kecepatan Angin ( $\bar{v}$ )	3.2 m/s, 5.5 m/s, 7.2 m/s
2	Temperatur Ruangan ( $T$ )	31 <sup>0</sup> C
3	Diameter Turbin Angin ( $D_T$ )	300 mm
5	Diameter Pulley ( $D_P$ )	34 mm
6	Jumlah Blade	3 blade
7	Angle Of Attack ( $\alpha$ )	20°, 40°, 60°
8	Beban ( $m$ )	0-3600 gram

## LAMPIRAN DATA

### Data Pendukung :

1. Luas penampang turbin =  $0.5 \text{ m}^2$
2. Massa jenis udara ( $\rho$ ) @T =  $31^\circ\text{C}$  =  $1.166 \text{ kg/m}^3$
3. Percepatan gravitasi =  $9.81 \text{ m/s}^2$

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal* 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear dengan Angle Of Attack  $20^\circ$  pada kecepatan angin 3,2 m/s.**

Angle Of Attack ( $^\circ$ )	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran (rpm)	Putaran (rad/s)	Torsi (Nm)	TSR	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
20	3,2 m/s	0	65	6,803	0	3,047	0	9,503	0
		50	64	6,699	0,008	3,000	0,056	9,503	0,588
		100	52	5,443	0,017	2,438	0,091	9,503	0,955
		150	48	5,024	0,025	2,250	0,126	9,503	1,323
		200	33	3,454	0,033	1,547	0,115	9,503	1,212
		250	25	2,617	0,042	1,172	0,109	9,503	1,148

	300	14	1,465	0,050	0,656	0,073	9,503	0,771
	350	0	0	0,058	0,000	0	9,503	0

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 20° pada kecepatan angin 5,5 m/s.**

Angle Of Attack (°)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran (rpm)	Putaran (rad/s)	Torsi (Nm)	TSR	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
20	5,5 m/s	0	106	11,095	0	2,891	0	48,249	0
		50	104	10,885	0,0083	2,836	0,091	48,249	0,188
		100	95	9,943	0,0167	2,591	0,166	48,249	0,344
		150	91	9,525	0,0250	2,482	0,238	48,249	0,494
		200	88	9,211	0,0334	2,400	0,307	48,249	0,637
		250	79	8,269	0,0417	2,155	0,345	48,249	0,715
		300	72	7,536	0,0500	1,964	0,377	48,249	0,781
		350	67	7,013	0,0584	1,827	0,409	48,249	0,848
		400	65	6,803	0,0667	1,773	0,454	48,249	0,941



450	63	6,594	0,0750	1,718	0,495	48,249	1,026
500	61	6,385	0,0834	1,664	0,532	48,249	1,103
550	58	6,071	0,0917	1,582	0,557	48,249	1,154
600	57	5,966	0,1001	1,555	0,597	48,249	1,237
650	54	5,652	0,1084	1,473	0,613	48,249	1,270
700	52	5,443	0,1167	1,418	0,635	48,249	1,317
750	48	5,024	0,1251	1,309	0,628	48,249	1,302
800	41	4,291	0,1334	1,118	0,573	48,249	1,187
850	35	3,663	0,1418	0,955	0,519	48,249	1,076
900	23	2,407	0,1501	0,627	0,361	48,249	0,749
950	16	1,675	0,1584	0,436	0,265	48,249	0,550
1000	0	0	0,1668	0,000	0,000	48,249	0

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 20° pada kecepatan angin 7,2 m/s.**

Angle Of Attack (°)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran (rpm)	Putaran (rad/s)	Torsi (Nm)	TSR	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
20	7,2 m/s	0	132	13,816	0	2,750	0	108,242	0
		50	122	12,769	0,0083	2,542	0,106	108,242	0,098
		100	116	12,141	0,0167	2,417	0,202	108,242	0,187
		150	112	11,723	0,0250	2,333	0,293	108,242	0,271
		200	108	11,304	0,0334	2,250	0,377	108,242	0,348
		250	106	11,095	0,0417	2,208	0,463	108,242	0,427
		300	102	10,676	0,0500	2,125	0,534	108,242	0,493
		350	100	10,467	0,0584	2,083	0,611	108,242	0,564
		400	95	9,943	0,0667	1,979	0,663	108,242	0,613
		450	92	9,629	0,0750	1,917	0,723	108,242	0,668
		500	89	9,315	0,0834	1,854	0,777	108,242	0,718
		550	85	8,897	0,0917	1,771	0,816	108,242	0,754



600	83	8,687	0,1001	1,729	0,869	108,242	0,803
650	81	8,478	0,1084	1,688	0,919	108,242	0,849
700	79	8,269	0,1167	1,646	0,965	108,242	0,892
750	78	8,164	0,1251	1,625	1,021	108,242	0,943
800	76	7,955	0,1334	1,583	1,061	108,242	0,980
850	75	7,850	0,1418	1,563	1,113	108,242	1,028
900	73	7,641	0,1501	1,521	1,147	108,242	1,059
950	69	7,222	0,1584	1,438	1,144	108,242	1,057
1000	65	6,803	0,1668	1,354	1,135	108,242	1,048
1100	63	6,594	0,1834	1,313	1,210	108,242	1,118
1200	52	5,443	0,2001	1,083	1,089	108,242	1,006
1300	48	5,024	0,2168	1,000	1,089	108,242	1,006
1400	45	4,710	0,2335	0,938	1,100	108,242	1,016
1500	40	4,187	0,2502	0,833	1,047	108,242	0,968
1600	30	3,140	0,2668	0,625	0,838	108,242	0,774
1700	25	2,617	0,2835	0,521	0,742	108,242	0,685
1800	22	2,303	0,3002	0,458	0,691	108,242	0,639
1900	15	1,570	0,3169	0,313	0,497	108,242	0,460



		2000	0	0	0,3335	0,000	0	108,242	0
--	--	------	---	---	--------	-------	---	---------	---

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal* 4 Blade Airfoil Clark-Y Model *Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 40° pada kecepatan angin 3,2 m/s.**

Angle Of Attack (°)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran (rpm)	Putaran (rad/s)	Torsi (Nm)	TSR	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
40	3,2 m/s	0	124	12,979	0	5,813	0	9,503	0
		50	119	12,455	0,008	5,578	0,104	9,503	1,093
		100	114	11,932	0,017	5,344	0,199	9,503	2,094
		150	106	11,095	0,025	4,969	0,278	9,503	2,921
		200	103	10,781	0,033	4,828	0,360	9,503	3,784
		250	82	8,583	0,042	3,844	0,358	9,503	3,766
		300	80	8,373	0,050	3,750	0,419	9,503	4,408
		350	79	8,269	0,058	3,703	0,483	9,503	5,079
		400	76	7,955	0,067	3,563	0,531	9,503	5,584
		450	64	6,699	0,075	3,000	0,503	9,503	5,290

	500	49	5,129	0,083	2,297	0,428	9,503	4,500
	550	33	3,454	0,092	1,547	0,317	9,503	3,334
	600	17	1,779	0,100	0,797	0,178	9,503	1,874
	650	0	0	0,108	0,000	0	9,503	0

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal* 4 Blade Airfoil Clark-Y Model *Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 40° pada kecepatan angin 5,5 m/s.**

Angle Of Attack (°)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran (rpm)	Putaran (rad/s)	Torsi (Nm)	TSR	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
40	5,5 m/s	0	189	19,782	0	5,1545	0	48,249	0
		50	186	19,468	0,008	5,0727	1,551	48,249	0,336
		100	182	19,049	0,017	4,9636	3,035	48,249	0,658
		150	173	18,107	0,025	4,7182	4,328	48,249	0,939
		200	169	17,689	0,033	4,6091	5,637	48,249	1,223
		250	166	17,375	0,042	4,5273	6,921	48,249	1,501
		300	163	17,061	0,050	4,4455	8,155	48,249	1,769

		350	161	16,851	0,058	4,3909	9,397	48,249	2,039
		400	153	16,014	0,067	4,1727	10,206	48,249	2,214
		450	147	15,386	0,075	4,0091	11,032	48,249	2,393
		500	142	14,863	0,083	3,8727	11,841	48,249	2,569
		550	140	14,653	0,092	3,8182	12,841	48,249	2,786
		600	135	14,130	0,100	3,6818	13,508	48,249	2,930
		650	132	13,816	0,108	3,6000	14,309	48,249	3,104
		700	130	13,607	0,117	3,5455	15,176	48,249	3,292
		750	127	13,293	0,125	3,4636	15,885	48,249	3,446
		800	123	12,874	0,133	3,3545	16,410	48,249	3,560
		850	120	12,560	0,142	3,2727	17,011	48,249	3,690
		900	117	12,246	0,150	3,1909	17,561	48,249	3,810
		950	114	11,932	0,158	3,1091	18,061	48,249	3,918
		1000	108	11,304	0,167	2,9455	18,011	48,249	3,907
		1100	106	11,095	0,183	2,8909	19,445	48,249	4,218
		1200	104	10,885	0,200	2,8364	20,813	48,249	4,515
		1300	101	10,571	0,217	2,7545	21,897	48,249	4,750
		1400	97	10,153	0,233	2,6455	22,647	48,249	4,913

		1500	95	9,943	0,250	2,5909	23,765	48,249	5,155
		1600	73	7,641	0,267	1,9909	19,479	48,249	4,226
		1700	65	6,803	0,284	1,7727	18,428	48,249	3,998
		1800	47	4,919	0,300	1,2818	14,109	48,249	3,061
		1900	0	0	0,317	0,0000	0,000	48,249	0

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 40° pada kecepatan angin 7,2 m/s.**

<b>Angle Of Attack (°)</b>	<b>Kecepatan Angin (m/s)</b>	<b>Beban (gram)</b>	<b>Putaran (rpm)</b>	<b>Putaran (rad/s)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>TSR</b>	<b>Daya Output (Watt)</b>	<b>Daya Input (Watt)</b>	<b>Efisiensi (%)</b>
40	7,2 m/s	0	250	26,167	0	0,545	0	108,242	0
		50	247	25,853	0,0083	0,539	0,216	108,242	0,199
		100	245	25,015	0,0167	0,521	0,417	108,242	0,385
		150	239	24,597	0,0250	0,512	0,615	108,242	0,568
		200	235	24,283	0,0334	0,506	0,810	108,242	0,748
		250	232	24,073	0,0417	0,502	1,004	108,242	0,927
		300	230	23,864	0,0500	0,497	1,194	108,242	1,103

350	228	23,131	0,0584	0,482	1,350	108,242	1,247
400	221	22,713	0,0667	0,473	1,515	108,242	1,400
450	217	22,503	0,0750	0,469	1,689	108,242	1,560
500	215	22,399	0,0834	0,467	1,868	108,242	1,725
550	214	22,085	0,0917	0,460	2,026	108,242	1,871
600	211	21,771	0,1001	0,454	2,178	108,242	2,013
650	208	21,352	0,1084	0,445	2,315	108,242	2,138
700	204	21,247	0,1167	0,443	2,480	108,242	2,292
750	203	20,724	0,1251	0,432	2,592	108,242	2,395
800	198	20,515	0,1334	0,427	2,737	108,242	2,529
850	196	20,201	0,1418	0,421	2,864	108,242	2,645
900	193	19,363	0,1501	0,403	2,906	108,242	2,685
950	185	19,154	0,1584	0,399	3,035	108,242	2,804
1000	183	18,945	0,1668	0,395	3,159	108,242	2,919
1100	181	18,735	0,1834	0,390	3,437	108,242	3,175
1200	179	18,317	0,2001	0,382	3,666	108,242	3,386
1300	175	18,003	0,2168	0,375	3,903	108,242	3,606
1400	172	17,898	0,2335	0,373	4,179	108,242	3,861

1500	171	17,689	0,2502	0,369	4,425	108,242	4,088
1600	169	17,479	0,2668	0,364	4,664	108,242	4,309
1700	167	17,165	0,2835	0,358	4,867	108,242	4,496
1800	164	17,165	0,3002	0,358	5,153	108,242	4,760
1900	163	17,061	0,3169	0,355	5,406	108,242	4,994
2000	160	16,747	0,3335	0,349	5,586	108,242	5,160
2100	157	16,433	0,350	0,342	5,755	108,242	5,317
2200	153	16,014	0,367	0,334	5,875	108,242	5,428
2300	150	15,700	0,384	0,327	6,022	108,242	5,564
2400	147	15,386	0,400	0,321	6,158	108,242	5,689
2500	145	15,177	0,417	0,316	6,328	108,242	5,846
2600	143	14,967	0,434	0,312	6,490	108,242	5,996
2700	140	14,653	0,450	0,305	6,598	108,242	6,096
2800	136	14,235	0,467	0,297	6,647	108,242	6,141
2900	134	14,0253	0,484	0,292	6,783	108,242	6,267
3000	125	13,083	0,500	0,273	6,546	108,242	6,047
3100	116	12,141	0,517	0,253	6,277	108,242	5,799
3200	109	11,409	0,534	0,238	6,088	108,242	5,625

	3300	103	10,781	0,550	0,225	5,933	108,242	5,481
	3400	96	10,048	0,567	0,209	5,697	108,242	5,264
	3500	80	8,373	0,584	0,174	4,887	108,242	4,515
	3600	76	7,955	0,600	0,166	4,776	108,242	4,412
	3700	53	5,547	0,617	0,116	3,423	108,242	3,162
	3800	41	4,291	0,634	0,089	2,720	108,242	2,512
	3900	34	3,559	0,650	0,0741	2,315	108,242	2,138
	4000	0	0	0,667	0	0	108,242	0

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal* 4 Blade Airfoil Clark-Y Model *Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 60° pada kecepatan angin 3,2 m/s.**

Angle Of Attack (°)	Kecepatan Angin (m/s)	Beban (gram)	Putaran (rpm)	Putaran (rad/s)	Torsi (Nm)	TSR	Daya Output (Watt)	Daya Input (Watt)	Efisiensi (%)
60	3,2 m/s	0	346	36,215	0	1,698	0	9,503	0
		50	336	35,168	0,008	1,649	0,293	9,503	3,086
		100	319	33,389	0,017	1,565	0,557	9,503	5,860
		150	312	32,656	0,025	1,531	0,817	9,503	8,597

	200	294	30,772	0,033	1,442	1,026	9,503	10,801
	250	291	30,458	0,042	1,428	1,270	9,503	13,363
	300	271	28,365	0,050	1,330	1,419	9,503	14,934
	350	267	27,946	0,058	1,310	1,631	9,503	17,166
	400	261	27,318	0,067	1,281	1,822	9,503	19,177
	450	250	26,167	0,075	1,227	1,964	9,503	20,665
	500	245	25,643	0,083	1,202	2,138	9,503	22,502
	550	239	25,015	0,092	1,173	2,294	9,503	24,146
	600	236	24,701	0,100	1,158	2,472	9,503	26,010
	650	225	23,550	0,108	1,104	2,553	9,503	26,864
	700	209	21,875	0,117	1,025	2,554	9,503	26,873
	750	167	17,479	0,125	0,819	2,186	9,503	23,007
	800	147	15,386	0,133	0,721	2,053	9,503	21,602
	850	0	0	0,142	0	0	9,503	0



**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 60° pada kecepatan angin 5,5 m/s.**

<b>Angle Of Attack (°)</b>	<b>Kecepatan Angin (m/s)</b>	<b>Beban (gram)</b>	<b>Putaran (rpm)</b>	<b>Putaran (rad/s)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>TSR</b>	<b>Daya Output (Watt)</b>	<b>Daya Input (Watt)</b>	<b>Efisiensi (%)</b>
60	5,5 m/s	0	520	54,427	0	1,484	0	48,249	0
		50	511	53,485	0,008	1,459	0,446	48,249	0,924
		100	509	53,275	0,017	1,453	0,888	48,249	1,841
		150	493	51,601	0,025	1,407	1,291	48,249	2,675
		200	484	50,659	0,033	1,382	1,690	48,249	3,502
		250	480	50,240	0,042	1,370	2,095	48,249	4,341
		300	471	49,298	0,050	1,344	2,466	48,249	5,112
		350	469	49,089	0,058	1,339	2,865	48,249	5,939
		400	465	48,670	0,067	1,327	3,247	48,249	6,729
		450	457	47,833	0,075	1,305	3,590	48,249	7,440

500	440	46,053	0,083	1,256	3,840	48,249	7,959
550	431	45,111	0,092	1,230	4,138	48,249	8,576
600	420	43,960	0,100	1,199	4,399	48,249	9,117
650	407	42,599	0,108	1,162	4,618	48,249	9,571
700	360	37,680	0,117	1,028	4,399	48,249	9,117
750	345	36,110	0,125	0,985	4,517	48,249	9,361
800	333	34,854	0,133	0,951	4,650	48,249	9,638
850	310	32,447	0,142	0,885	4,599	48,249	9,533
900	305	31,923	0,150	0,871	4,791	48,249	9,931
950	298	31,191	0,158	0,851	4,942	48,249	10,242
1000	295	30,877	0,167	0,842	5,149	48,249	10,672
1100	291	30,458	0,183	0,831	5,587	48,249	11,580
1200	278	29,097	0,200	0,794	5,823	48,249	12,069
1300	270	28,260	0,217	0,771	6,127	48,249	12,698
1400	261	27,318	0,233	0,745	6,378	48,249	13,219
1500	105	10,990	0,250	0,300	2,749	48,249	5,698
1600	0	0	0,267	0,000	0,000	48,249	0,000

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 60° pada kecepatan angin 7,2 m/s.**

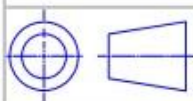
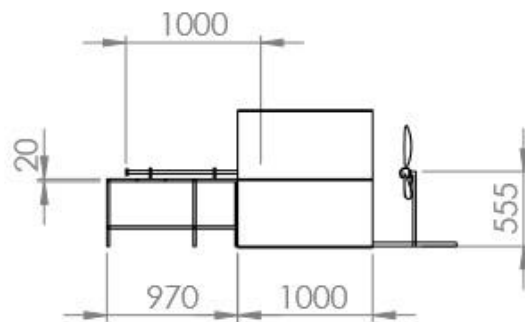
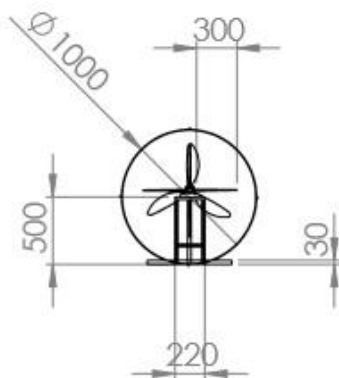
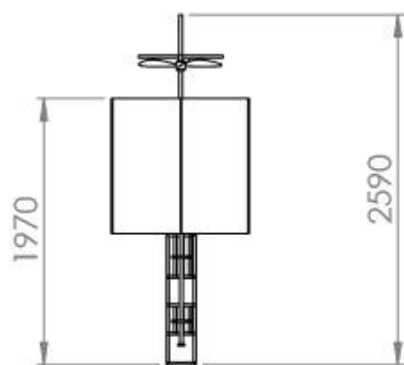
<b>Angle Of Attack (°)</b>	<b>Kecepatan Angin (m/s)</b>	<b>Beban (gram)</b>	<b>Putaran (rpm)</b>	<b>Putaran (rad/s)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>TSR</b>	<b>Daya Output (Watt)</b>	<b>Daya Input (Watt)</b>	<b>Efisiensi (%)</b>
60	7,2 m/s	0	643	67,301	0	13,396	0	108,242	0
		50	626	65,521	0,0083	13,042	0,546	108,242	0,505
		100	622	65,103	0,0167	12,958	1,086	108,242	1,003
		150	619	64,789	0,0250	12,896	1,621	108,242	1,497
		200	612	64,056	0,0334	12,750	2,137	108,242	1,974
		250	608	63,637	0,0417	12,667	2,653	108,242	2,451
		300	605	63,323	0,0500	12,604	3,168	108,242	2,927
		350	600	62,800	0,0584	12,500	3,666	108,242	3,386
		400	598	62,591	0,0667	12,458	4,175	108,242	3,857
		450	583	61,021	0,0750	12,146	4,579	108,242	4,231
		500	578	60,497	0,0834	12,042	5,045	108,242	4,660

550	583	61,021	0,0917	12,146	5,597	108,242	5,171
600	578	60,497	0,1001	12,042	6,053	108,242	5,593
650	573	59,974	0,1084	11,938	6,501	108,242	6,006
700	568	59,451	0,1167	11,833	6,940	108,242	6,412
750	541	56,625	0,1251	11,271	7,082	108,242	6,543
800	533	55,787	0,1334	11,104	7,443	108,242	6,876
850	512	53,589	0,1418	10,667	7,597	108,242	7,018
900	495	51,810	0,1501	10,313	7,776	108,242	7,184
950	487	50,973	0,1584	10,146	8,076	108,242	7,461
1000	480	50,240	0,1668	10,000	8,379	108,242	7,741
1100	473	49,507	0,1834	9,854	9,082	108,242	8,390
1200	467	48,879	0,2001	9,729	9,782	108,242	9,037
1300	459	48,042	0,2168	9,563	10,416	108,242	9,622
1400	450	47,100	0,2335	9,375	10,997	108,242	10,159
1500	436	45,635	0,2502	9,083	11,416	108,242	10,547
1600	422	44,169	0,2668	8,792	11,786	108,242	10,888
1700	419	43,855	0,2835	8,729	12,433	108,242	11,487
1800	412	43,123	0,3002	8,583	12,945	108,242	11,959

1900	401	41,971	0,3169	8,354	13,299	108,242	12,287
2000	397	41,553	0,3335	8,271	13,859	108,242	12,804
2100	391	40,925	0,350	8,146	14,333	108,242	13,241
2200	373	39,041	0,367	7,771	14,324	108,242	13,233
2300	363	37,994	0,384	7,563	14,573	108,242	13,464
2400	356	37,261	0,400	7,417	14,914	108,242	13,778
2500	350	36,633	0,417	7,292	15,273	108,242	14,110
2600	347	36,319	0,434	7,229	15,748	108,242	14,549
2700	341	35,691	0,450	7,104	16,071	108,242	14,847
2800	335	35,063	0,467	6,979	16,373	108,242	15,126
2900	326	34,121	0,484	6,792	16,502	108,242	15,246
3000	320	33,493	0,500	6,667	16,757	108,242	15,481
3100	311	32,551	0,517	6,479	16,829	108,242	15,547
3200	292	30,563	0,534	6,083	16,310	108,242	15,068
3300	273	28,574	0,550	5,688	15,725	108,242	14,528
3400	260	27,213	0,567	5,417	15,430	108,242	14,256
3500	231	24,178	0,584	4,813	14,113	108,242	13,038
3600	222	23,236	0,600	4,625	13,950	108,242	12,888

	3700	205	21,457	0,617	4,271	13,240	108,242	12,232
	3800	198	20,724	0,634	4,125	13,133	108,242	12,133
	3900	151	15,805	0,650	3,146	10,279	108,242	9,497
	4000	0	0	0,667	0,000	0	108,242	0

## LAMPIRAN DESAIN ALAT



SKALA : 1 : 20

UKURAN : mm

TANGGAL : 04-04-2017

DIGAMBAR : M. IZZUL F.

NRP : 2114030070

DILIHAT : DEDY Z. NOOR ST. MT. PhD

KETERANGAN :

DEPT. TEKNIK MESIN INDUSTRI

Turbin Angin Sumbu Horizontal 4 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear

No 1

A4

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kesebelas dari sebelas bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 5 Oktober 1995 di Sampang-Madura, Jawa Timur. Pendidikan formal yang sudah ditempuh meliputi SDN Gunung sekar 6 Sampang, SMPN 1 Sampang, dan SMAN 1 Sampang dengan bidang studi Ilmu Pengetahuan Alam. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS pada tahun 2014 dan mengambil bidang studi Konversi Energi. Selama masa pendidikan baik di perkuliahan penulis aktif di beberapa kegiatan organisasi, kepanitiaan dan mengikuti pelatihan-pelatihan tingkat departemen maupun institut. Pelatihan yang diikuti penulis yaitu, LKMM (Latihan Kepemimpinan Manajemen Mahasiswa) dan PKTI (Pelatihan Karya Tulis Ilmiah) pada tahun 2014, menjadi ketua pelaksana acara PKTI HMDM dan D3MITS Championship pada tahun 2015. Penulis menjadi anggota Steering Commite Kaderisasi HMDM 15/16 pada tahun 2015, menjabat sebagai staff Badan Semi Otonom Minat Bakat HMDM 15/16, dan juga menjadi anggota FKHM IV ITS. Di tahun terakhir masa kuliahnya, penulis diamanahkan menjadi Ketua Forum Mahasiswa Sampang (Formas) ITS-PENS-PPNS masa



bakti 2016/2017. Disamping aktif mengikuti kegiatan keorganisasian, penulis juga menjadi Asisten Lab Metallurgy D3 Teknik Mesin FV-ITS. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Kalimantan Timur-Bontang. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi:

- e-mail : [m.izzulfadhok@gmail.com](mailto:m.izzulfadhok@gmail.com)
- No Telp :081337742327