



TUGAS AKHIR – TM 145502 (KE)

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN
SUMBU *HORIZONTAL* 3 BLADE AIRFOIL CLARK-Y
MODEL *TAPER LINEAR* DENGAN *ANGLE OF
ATTACK* 20°, 40°, dan 60° MENGGUNAKAN
MEKANISME VARIASI PEMBEBANAN**

MUHAMAD HERMAWAN LISTYOPUTRA
NRP 2114 030 076

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

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



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN
SUMBU *HORIZONTAL* 3 *BLADE AIRFOIL*
CLARK-Y DENGAN *ANGLE OF ATTACK* 20°,
40°, dan 60° MENGGUNAKAN MEKANISME
VARIASI PEMBEBANAN**

MUHAMAD HERMAWAN LISTYOPUTRA
NRP 2114 030 076

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

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



FINAL PROJECT - TM 145502

**PERFORMANCE TEST OF 3 BLADE AIRFOIL
CLARK-Y TAPER LINEAR MODEL HORIZONTAL
AXIS WIND TURBINE WITH ANGLE OF
ATTACK 20°, 40°, dan 60° USING MASS
LOADING MECHANISM VARIATION**

**MUHAMAD HERMAWAN LISTYOPUTRA
NRP 2114 030 076**

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

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

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN
SUMBU *HORIZONTAL 3 BLADE AIRFOIL CLARK-Y*
MODEL *TAPER LINEAR* DENGAN *ANGLE OF
ATTACK 20°, 40°, DAN 60°* MENGGUNAKAN
MEKANISME VARIASI PEMBEBANAN**

Nama Mahasiswa : Muhamad Hermawan Listyoputra
NRP : 2114 030 076
Jurusan : Teknik Mesin Industri FV – ITS
Dosen Pembimbing : Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD

Abstrak

Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat. Untuk mengatasi pemenuhan kebutuhan listrik ini diperlukan sebuah sumber energi baru yang mampu memenuhi kebutuhan listrik nasional yang semakin besar. Angin sebagai sumber energi yang tersedia di alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik.

Objek eksperimen ini adalah turbin angin sumbu horizontal 3 blade airfoil clark-y model taper linear dengan angle of attack 20°, 40°, dan 60°. Diuji unjuk kerjanya yang meliputi daya dan efisiensi menggunakan variasi pembebanan 0 gram – 3600 gram dengan variasi kecepatan angin adalah 3,2 m/s, 4 m/s dan 7,2 m/s.

Hasil pengujian dengan menggunakan jumlah blade 3 dan variasi angle of attack 20°, 40°, dan 60° akan didapatkan daya dan efisiensi maksimum sebesar $P = 1.060$ Watt dan $\eta = 11.159\%$ pada $v = 3.2$ m/s dengan $\alpha = 60^\circ$.

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

**PERFORMANCE TEST OF 3 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 : Muhamad Hermawan Listyoputra
NRP : 2114 030 076
Departmen : Mech. Industry Engineering FV-ITS
Counselor Lecturer : Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD

Abstract

Annually electricity consumption in Indonesia continues to increase. To solve this problem, it will be required a new energy source that is able to fulfill electricity needs which are getting bigger. Wind as a source of energy which are available in nature can be utilized as one of electrical energy source.

The object of this experiment is 3 blade airfoil clark-y taper linear model horizontal axis wind turbine with angle of attack 20°, 40°, and 60°. The performance be tested which are consist of torque, power, and efficiency using mass loading variation 0 grams - 3600 grams with variations in wind speed is 3.2 m/s, 5.5 m/s and 7.2 m/s.

The test results using a number of 3 blade with variation angle of attack 20°, 40°, and 60° will be obtained maximum power and efficiency in amount of $P = 1.060$ Watt and $\eta = 11.159\%$ in $v = 3.2$ m/s with $\alpha = 60^\circ$.

Keyword : *Blade airfoil clark-y, taper linear, variation of mass loading, wind speed, power, efficiency.*

**PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN
SUMBU *HORIZONTAL 3 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
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

Muhamad Hermawan Listyoputra
NRP. 2114030076



Mengetahui / Menyetujui :
(Dosen Pembimbing)


Dedy Zulhidayat Noor ST, MT, PhD
NIP. 19751206 200501 1 002

SURABAYA, JULI 2017

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 Departemen Teknik Mesin Industri 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 Teknik Mesin Industri FV-ITS.
6. Bapak dan Ibu tercinta yang telah memberikan semangat, dorongan dan doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. M. Izzul Fadhok selaku rekan satu tim Tugas Akhir.

8. Rizky Akbar Dwi Apresco selaku rekan asistensi Tugas Akhir yang selalu menemani dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Mas Sapto Wisasno yang bersedia membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Teman – Teman Angkatan 2014 karena telah menjalani semua perjuangan dan pembelajaran di Teknik Mesin Industri FV-ITS.
11. Semua pihak yang tidak dapat kami 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.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II Dasar Teori	5
2.1 Energi Angin	5
2.1.1 Energi - Energi yang Terjadi dalam Angin	6
2.1.2 Daya Angin	6
2.2 Turbin Angin	7
2.2.1 Jenis – Jenis Turbin Angin.....	9
2.2.1.1 <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> (VAWT)	9
2.2.1.2 <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i> (HAWT).....	15
2.3 Profil <i>Airfoil</i>	17
2.3.1 <i>Airfoil Clark-Y</i>	22
2.3.2 <i>Blade Planform</i> – Soliditas	23
2.3.3 Model-model Sudu – <i>Blade Planform</i>	23
2.3.4 Fenomena <i>Stall</i>	25
2.4 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 3 Blade Airfoil</i> <i>Clark-Y Model Taper Linear</i>	26
2.5 Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 3 Blade</i> <i>Airfoil Clark-Y Model Taper Linear</i>	27
2.5.1 <i>Tip Speed Ratio</i>	27
2.5.2 Torsi	27

2.5.3 Daya Turbin Angin.....	28
2.5.4 Koefisien Daya.....	28
2.5.5 Efisiensi Total Turbin.....	29
BAB III Metodologi Penelitian.....	30
3.1 Diagram Alir Percobaan (<i>Flow Chart</i>).....	30
3.2 Eksperimen.....	32
3.3 Tempat Penelitian.....	33
3.4 Instalasi Percobaan.....	33
3.5 Peralatan yang Digunakan.....	34
3.6 Metode Pengambilan Data.....	41
BAB IV Analisa Hasil Eksperimen.....	43
4.1 Data Hasil Penelitian.....	43
4.2 Perhitungan.....	43
4.2.1 Daya Ideal Angin.....	43
4.2.2 <i>Tip Speed Ratio</i>	44
4.2.3 Torsi.....	45
4.2.4 Daya Turbin Angin.....	45
4.2.5 Koefisien Daya.....	46
4.2.6 Efisiensi Total Turbin.....	47
4.3 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Unjuk Kerja.....	47
4.3.1 Unjuk Kerja Putaran Turbin Fungsi Beban.....	47
4.3.2 Unjuk Kerja Torsi Fungsi Beban.....	50
4.3.3 Unjuk Kerja Daya Fungsi Beban.....	54
4.3.4 Unjuk Kerja Efisiensi Fungsi Beban.....	56
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Sederhana Turbin Angin	8
Gambar 2.2 Jenis <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> (VAWT).....	9
Gambar 2.3 <i>Savonius Turbine</i>	10
Gambar 2.4 <i>Darrieus Turbine</i>	11
Gambar 2.5 <i>Gorlov Turbine</i> atau <i>Helical Blade</i>	12
Gambar 2.6 <i>Crossflow Turbine</i>	13
Gambar 2.7 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal</i>	15
Gambar 2.8 Momentum Mempengaruhi Aliran Udara Pada <i>Airfoil</i>	18
Gambar 2.9 Distribusi Tekanan Pada <i>Airfoil</i>	20
Gambar 2.10 Gaya Pada <i>Airfoil</i>	22
Gambar 2.11 <i>Airfoil Clark Y</i>	23
Gambar 2.12 Jenis-Jenis Model Sudu	24
Gambar 2.13 Fenomena <i>Stall</i> pada <i>Airfoil</i>	25
Gambar 2.14 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 3 Blade Airfoil</i> <i>Clark-Y Model Taper Linear</i>	26
Gambar 2.15 Mekanisme Pembebanan Pada <i>Pulley</i>	27
Gambar 3.1 Diagram Alir	31
Gambar 3.2 Instalasi Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal Blade</i> <i>Airfoil Clark-Y</i>	33
Gambar 3.3 <i>Wind Tunnel</i>	34
Gambar 3.4 <i>Blower</i>	35
Gambar 3.5 Turbin Angin Sumbu <i>Horizontal 3 Blade Airfoil</i> <i>Clark-Y Model Taper Linear</i>	36
Gambar 3.6 Sudu (<i>Blade</i>).....	36
Gambar 3.7 Rotor.....	37
Gambar 3.8 Poros.....	38
Gambar 3.9 Rumah <i>Bearing (Pillow Block)</i>	38
Gambar 3.10 <i>Hot Wire Anemometer</i>	39
Gambar 3.11 <i>Tachometer</i>	40
Gambar 3.12 <i>Pulley</i>	40
Gambar 3.13 Anak Timbangan	41

Gambar 4.1 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 20°	49
Gambar 4.2 Grafik Torsi Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 20°..	52
Gambar 4.3 Grafik Daya Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 20°..	55
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 20° ..	58
Gambar 4.5 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 40°	61
Gambar 4.6 Grafik Torsi Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 40°..	64
Gambar 4.7 Grafik Daya Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 40°..	67
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 40°..	70
Gambar 4.9 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 60°	73
Gambar 4.10 Grafik Torsi Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 60°..	76
Gambar 4.11 Grafik Daya Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 60°..	79
Gambar 4.12 Grafik Efisiensi Fungsi Beban <i>Angle Of Attack</i> 60°	82

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian	43
Tabel 4.2 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 20°	48
Tabel 4.3 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 20°	51
Tabel 4.4 Data Perhitungan Daya Output Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 20°	54
Tabel 4.5 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 20°	57
Tabel 4.6 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 40°	60
Tabel 4.7 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 40°	63
Tabel 4.8 Data Perhitungan Daya Outout Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 40°	66
Tabel 4.9 Data Perhitungan Efisiensi Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 40°	69
Tabel 4.10 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 60°	72
Tabel 4.11 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 60°	75
Tabel 4.12 Data Perhitungan Daya Outout Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 60°	78
Tabel 4.13 Data Perhitungan Efisiensi Fungsi Pembebanan dengan <i>Angle Of Attack</i> 60°	81

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada zaman sekarang kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat. Krisis listrik ini sudah sejak lama menjadi persoalan dan telah dipredikasi oleh banyak ahli energi di Indonesia sejak sepuluh tahun yang lalu. Kebutuhan energi dapat meningkat secara bertahap, baik ditinjau dari kapasitasnya, kualitasnya maupun ditinjau dari tuntutan distribusinya. Konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Konsumsi listrik di Indonesia yang begitu besar akan menjadi masalah bila dalam penyediaannya tidak sejalan dengan kebutuhan. Kebutuhan pasokan energi listrik yang terus-menerus dan berkualitas menjadi tuntutan yang harus dipenuhi oleh negara. Untuk mengatasi pemenuhan kebutuhan listrik ini, maka diperlukan sebuah sumber energi baru yang mampu memenuhi kebutuhan listrik nasional yang semakin besar. Angin sebagai sumber energi yang tersedia di alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik. Angin merupakan sumber energi yang tidak ada habisnya sehingga pemanfaatan sistem perubahan energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan. Hal ini dirasa sangat perlu untuk mengetahui lebih dalam mengenai angin dan pembangkit listrik tenaga angin ini. Selain itu juga perlu diketahui proses pembangkitan listrik tenaga angin ini sehingga dapat dianalisa kelebihan dan kekurangannya dibandingkan dengan sistem pembangkit listrik lain. Di berbagai negara, manfaat dari adanya energi angin ini sangat membantu di bidang energi pembangkit tenaga listrik. Meskipun pada awalnya pembangkit listrik dengan tenaga angin ini menghabiskan banyak biaya operasional, semakin canggihnya perkembangan teknologi terkini membuat penggunaan energi angin untuk pembangkit tenaga listrik menjadi lebih semakin efisien sehingga menurunkan biaya operasional yang dibutuhkan. [1]

Oleh karena itu saya 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 3 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 pembebanan terhadap unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y model taper linear* dengan *angle of attack* 20°, 40°, dan 60° pada penyearah aliran angin sederhana.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut :

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

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Mampu membuat instalasi turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear* pada penyearah aliran sederhana.
2. Mampu menganalisis unjuk kerja turbin angin turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear* dengan *angle of attack* 20°, 40°, dan 60°.
3. Mampu mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin.
4. Mampu mengetahui pengaruh pembebanan terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin.
5. Mampu mengetahui pengaruh *angle of attack* terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin.

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 3 blade* model *taper linear* dengan *angle of attack* 20°, 40°, dan 60°.
2. Pengujian unjuk kerja turbin angin tipe sumbu *horizontal 3 blade* model *taper linear* dengan *angle of attack* 20°, 40°, dan 60° menggunakan mekanisme variasi 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

Merupakan energi yang sangat fleksibel dibandingkan dengan energi lain. Lain halnya dengan energi air, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah dataran tinggi maupun di daerah landai, bahkan dapat diterapkan di laut. Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil-kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari Matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ kilowatt jam energi ke Bumi setiap jam. Dengan kata lain, Bumi menerima $1,74 \times 1.017$ watt daya. Sekitar 1-2 % dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka Bumi.

Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar beberapa diantaranya adalah energi angin. Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan energi antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa yang panas, yaitu pada busur 0° , udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin misalnya daerah kutub. Sebaliknya di 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. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energi yang dapat diperbarui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya dapat menghasilkan listrik. [2]

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} = kecepatan angin (m/s)

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

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

Dimana : \dot{m} = laju aliran massa udara (kg/s)
 ρ = massa jenis zat (kg/m³)
 \bar{v} = kecepatan udara (m/s)
 A = luas penampang turbin (m²)

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:

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

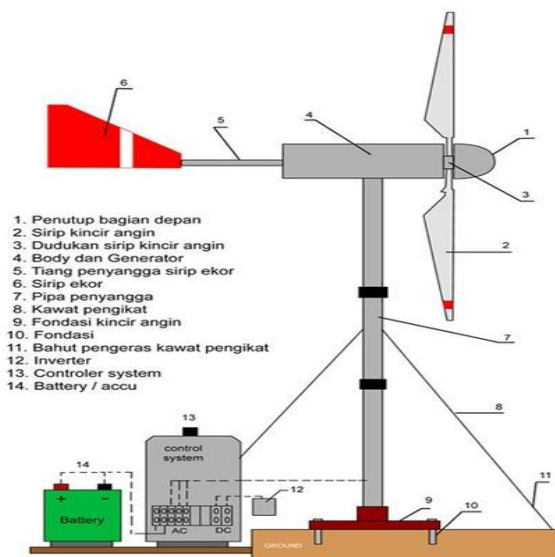
Dimana : W = daya ideal angin (Watt)
 ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
 A = luas penampang turbin (m^2)
 \bar{v} = kecepatan angin (m/s)

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.

Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional, contohnya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan sebagainya.

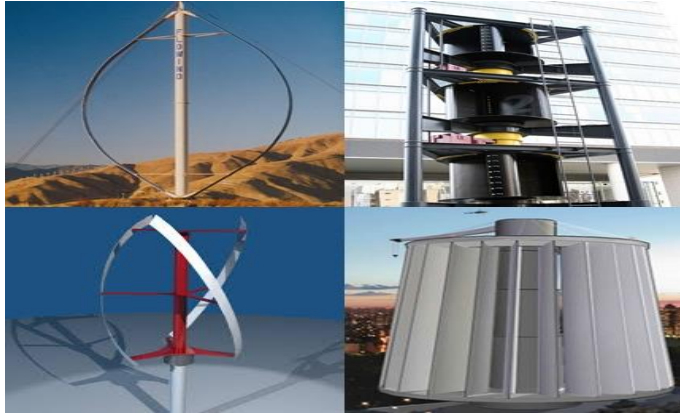
Turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui, contohnya minyak bumi, batubara dan sebagainya sebagai bahan dasar untuk membangkitkan energi listrik. [4]



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)* [6]

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*

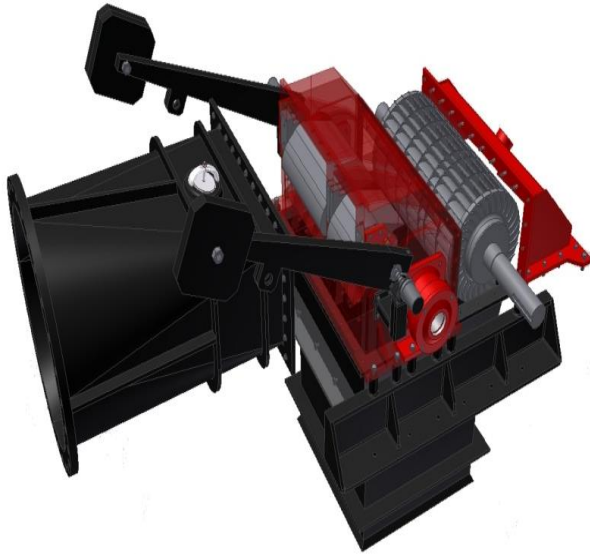
Turbin angin jenis Gorlov atau disebut juga *Helical Blade* adalah jenis turbin yang baru dikembangkan pada tahun 1995, mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh arus aliran menjadi energi mekanis/gerak putar, di temukan oleh Profesor Gorlov dari *Northeastern University* dan salah satunya telah di 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 Paten 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.
- VAWT memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada HAWT. Biasanya VAWT mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 mph).

- 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.

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 atmosfer 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 yangampil.
- 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 tekanan 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 :

$$C_L = \frac{F_l}{\frac{1}{2}\rho A v^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_D = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho A v^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- F_L = gaya angkat (N)
- ρ = 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]

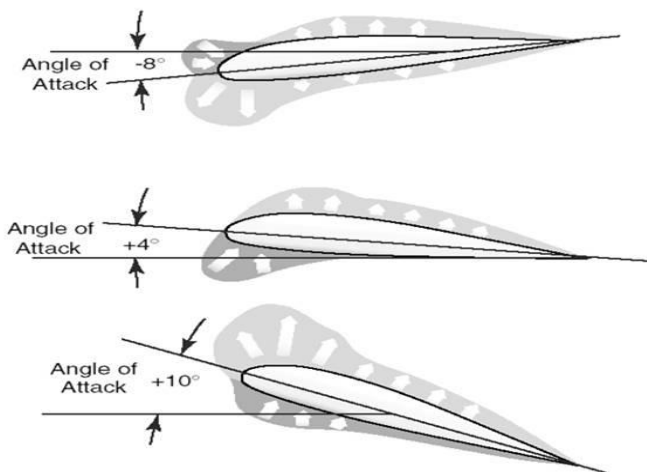
Setelah partikel udara melewati titik B gaya sentrifugal cenderung untuk membuang partikel pada arah panah antara B dan C (menyebabkan berkurangnya tekanan pada *airfoil*). Tekanan udara dari permukaan bagian atas *airfoil* disebarkan sehingga tekanan lebih besar di *leading edge* daripada tekanan atmosfer 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, penambahan 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.

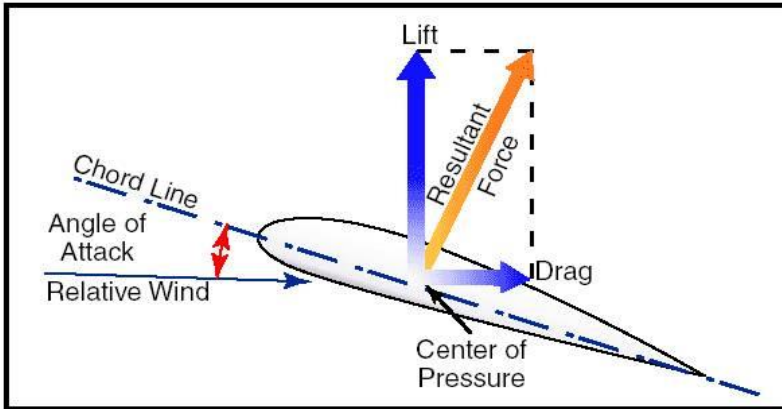
Tekanan negatif pada permukaan atas sayap membuat gaya yang lebih besar dari pada tekanan positif yang mengenai permukaan bawah sayap. Gambar dibawah ini menunjukkan penyebaran tekanan sepanjang *airfoil* pada 3 *angle of attack* yang berbeda-beda. Pada umumnya, *angle of attack* yang besar pusat tekanannya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



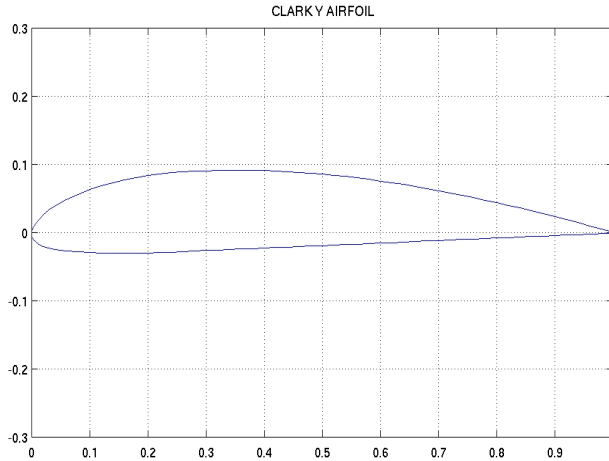
Gambar 2.10 Gaya Pada Airfoil [10]

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 *Virginius 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

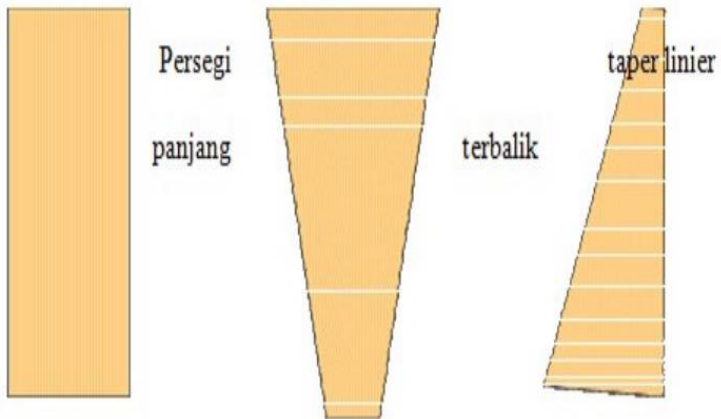
Blade Planform adalah bentuk dari permukaan sudu (*blade*). *Solidity Ratio* adalah perbandingan dari luasan sudu (*blade*) dengan daerah sapuan sudu (*blade*).

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

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

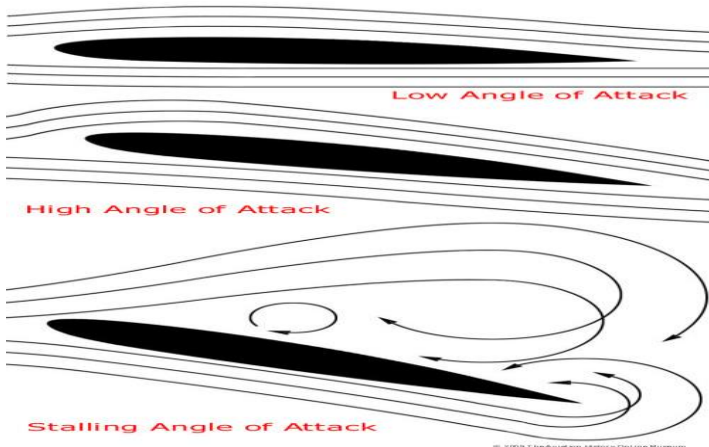
Dalam membuat sudu ada hal-hal yang harus diperhatikan diantaranya :

- 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 3 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 dari *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 :

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

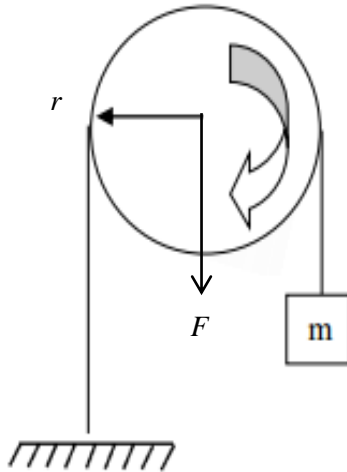
2.5.2 Torsi

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 :

- τ = 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)

τ = torsi (N.m)

ω = 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 :

η = efisiensi

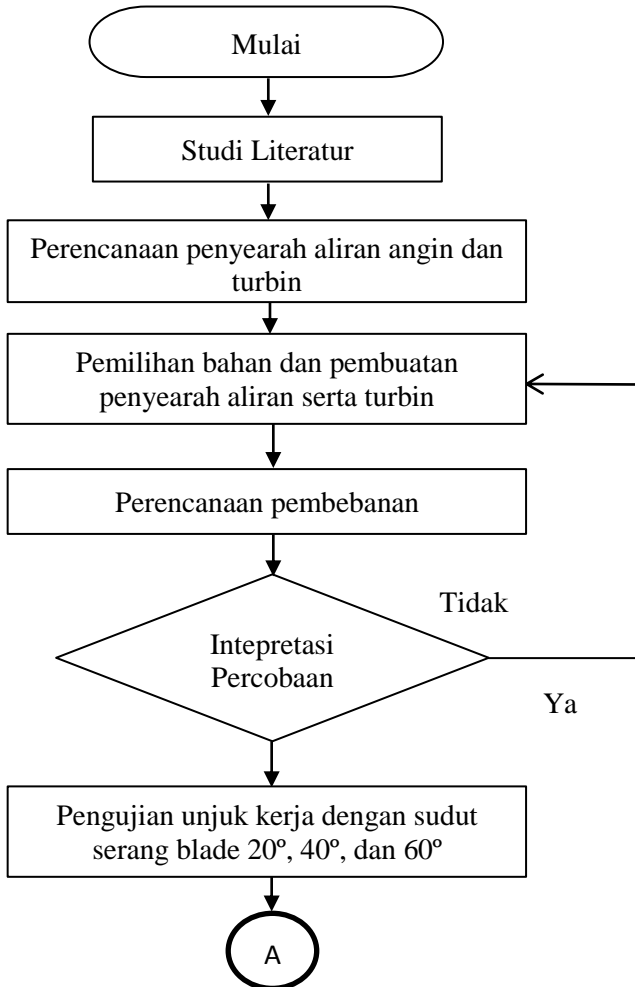
C_p = koefisien daya

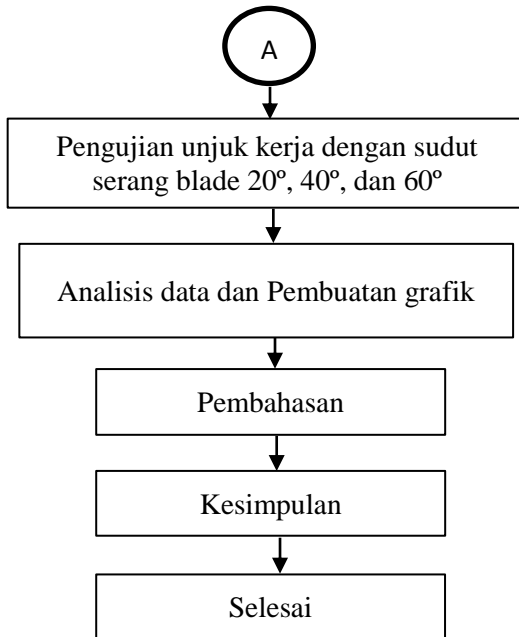
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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

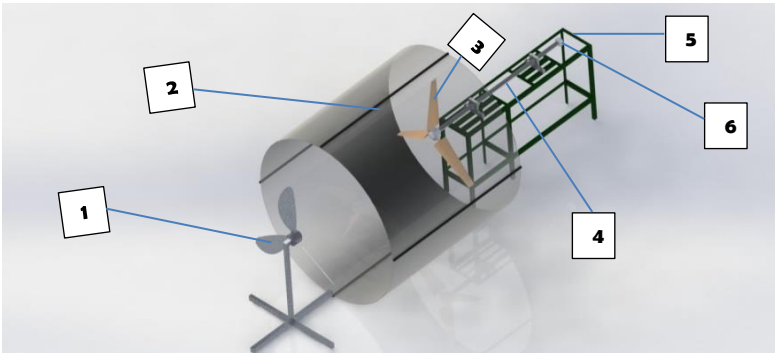
Eksperimen dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* yang akan di uji dengan menggunakan *blower* yang ditiupkan kedalam terowongan angin (penyearah aliran angin), kemudian pada ujung yang berlawanan dengan terowongan angin (penyearah aliran angin) dipasang turbin angin sumbu *horizontal 3 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* 3
Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear

Keterangan :

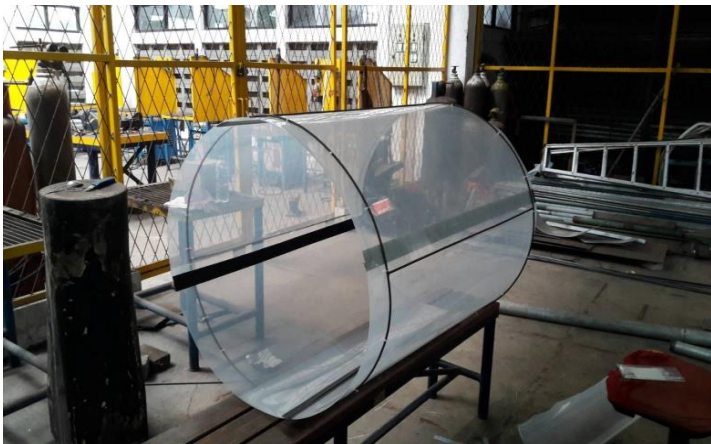
1. *Blower*
2. Penyearah Aliran Angin
3. *Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear*
4. Poros Turbin
5. *Chassis*
6. *Pulley*

3.5 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan untuk pengujian unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 3 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* 3 blade airfoil clark-y model *taper linear*

Turbin angin sumbu *horizontal* 3 blade airfoil clark-y model *taper linear* menggunakan *blade* yang terbuat dari bahan kayu jati dengan jumlah 3 *blade*. *Blade* ini memiliki bentuk profil *airfoil clark-y* model *taper linear*.



Gambar 3.5 Turbin Angin Sumbu *Horizontal* dengan Jumlah 3 *Blade*

4. Sudu (*Blade*)

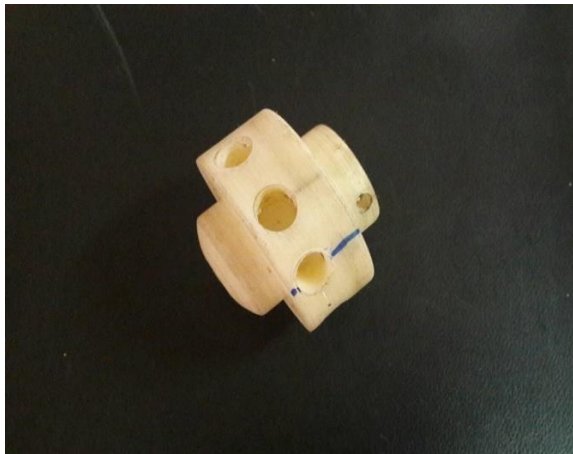
Sudu (*Blade*) adalah bagian dari turbin angin dimana energi angin (kinetik) dari *blower* akan dirubah menjadi energi gerak (mekanik). Sudu (*blade*) yang digunakan terbuat dari kayu jati dengan model berbentuk *airfoil clark-y* model *taper linear* dengan panjang 30 cm.



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 (nylon)* karena memiliki sifat yang kuat, ringan, dan elastis.



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*.

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 ⁰ C
3	Diameter Turbin Angin (D_T)	300 mm
4	Diameter Pulley (D_P)	34 mm
5	Jumlah Blade	3 blade
6	Angle Of Attack (α)	20°, 40°, 60°
7	Beban (m)	0-3600 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 (ρ) :

Temperatur lingkungan 31°C, berdasarkan Tabel A-10 buku *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanicals 8 TH Edition* (dilampirkan) didapat massa jenis udara (ρ) = 1.16 kg/m³

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*)

ρ = kerapatan udara (Kg/m^3)

A = area penangkapan angin (m^2)

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

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

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

$$W = \frac{1}{2} \times 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.5 \text{ m}^2 \times 7.2^3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3}$$

$$W = 108.242 \text{ Watt}$$

4.2.2 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (λ) 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 :

λ = ratio kecepatan ujung

ω = kecepatan angular (rad/s)

R = jari – jari turbin (m)

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

Perhitungan untuk kecepatan angin 7.2 m/s dan putaran turbin 430 rpm dari persamaan 2.14 :

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

$$\lambda = \frac{\frac{2 \times \pi \times n}{60} \times R}{\bar{v}}$$

$$\lambda = \frac{\frac{2 \times 3.14 \times 421 \text{ rpm}}{60} \times 0.15 \text{ m}}{7.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$\lambda = 0.692$$

4.2.3 Torsi

Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan sistem pengereman dengan menggantung 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 pada kecepatan 7.2 m/s, putaran 421 rpm dan pembebanan 0.05 kg dari persamaan 2.16 :

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

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

$$P = 0.0083 \text{ N.m} \times \frac{2 \times 3.14 \times 421 \text{ rpm}}{60}$$

$$P = 0.367 \text{ Watt}$$

4.2.5 Koefisien Daya

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

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

Dimana :

$$Cp = \text{koefisien daya}$$

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

$$W = \text{daya ideal angin (Watt)}$$

Contoh perhitungan Cp pada kecepatan 7.2 m/s, putaran 421 rpm dari persamaan 2.17 :

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

$$Cp = \frac{0.367}{108.242}$$

$$Cp = 0.00339$$

4.2.6 Efisiensi Total Turbin

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

$$\eta = Cp \times 100 \%$$

Dimana :

η = efisiensi (%)

P = daya output (Watt)

W = daya input (Watt)

Sehingga dari persamaan 2.18 didapat :

$$\eta = Cp \times 100 \%$$

$$\eta = 0.00339 \times 100 \%$$

$$\eta = 0.339 \%$$

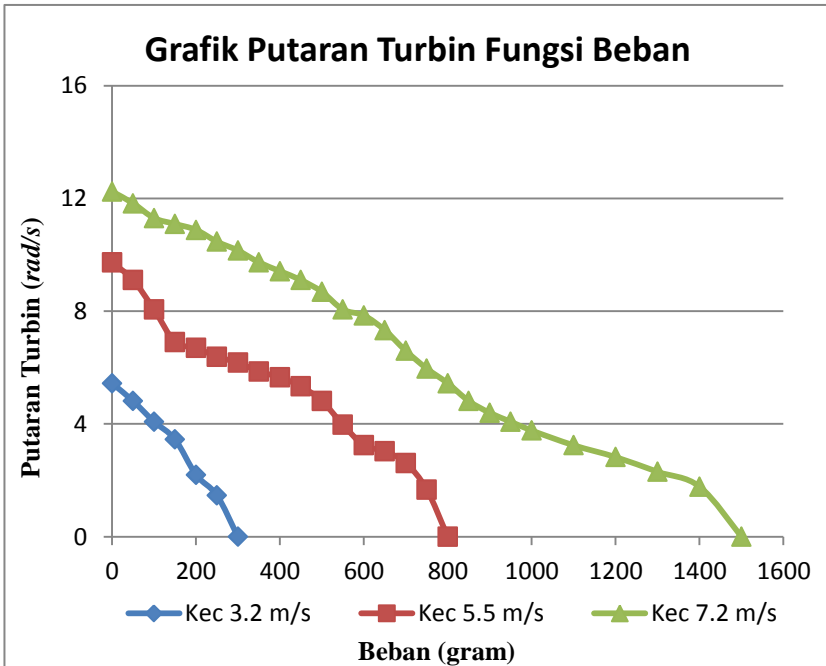
4.3 Data Hasil Pengukuran dan Perhitungan Unjuk Kerja

Data hasil pengujian dan perhitungan ini dengan menggunakan metode tabel dan grafik, hal ini dilakukan untuk mempermudah hasil penelitian turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y model taper linear*. Hasil pengujian dan perhitungan unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 3 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 dengan *Angle Of Attack* 20°.

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
20	0	52	93	117	5.443	9.734	12.246
	50	46	87	113	4.815	9.106	11.827
	100	39	77	108	4.082	8.059	11.304
	150	33	66	106	3.454	6.908	11.095
	200	21	64	104	2.198	6.699	10.885
	250	14	61	100	1.465	6.385	10.467
	300	0	59	97	0	6.175	10.153
	350	0	56	93	0	5.861	9.734
	400	0	54	90	0	5.652	9.420
	450	0	51	87	0	5.338	9.106
	500	0	46	83	0	4.815	8.687
	550	0	38	77	0	3.977	8.059
	600	0	31	75	0	3.245	7.850
	650	0	29	70	0	3.035	7.327
	700	0	25	63	0	2.617	6.594
	750	0	16	57	0	1.675	5.966
	800	0	0	52	0	0	5.443
	850	0	0	46	0	0	4.815
	900	0	0	42	0	0	4.396
	950	0	0	39	0	0	4.082
1000	0	0	36	0	0	3.768	
1100	0	0	31	0	0	3.245	
1200	0	0	27	0	0	2.826	
1300	0	0	22	0	0	2.303	
1400	0	0	17	0	0	1.779	
1500	0	0	0	0	0	0	



Gambar 4.1 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban *Angle Of Attack* 20°

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 5.443 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 9.734 rad/s, dan pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 12.246 rad/s.

Pada pengujian beban 300 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

Pada pengujian beban 800 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 5.5 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

Pada pengujian beban 1500 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 7.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

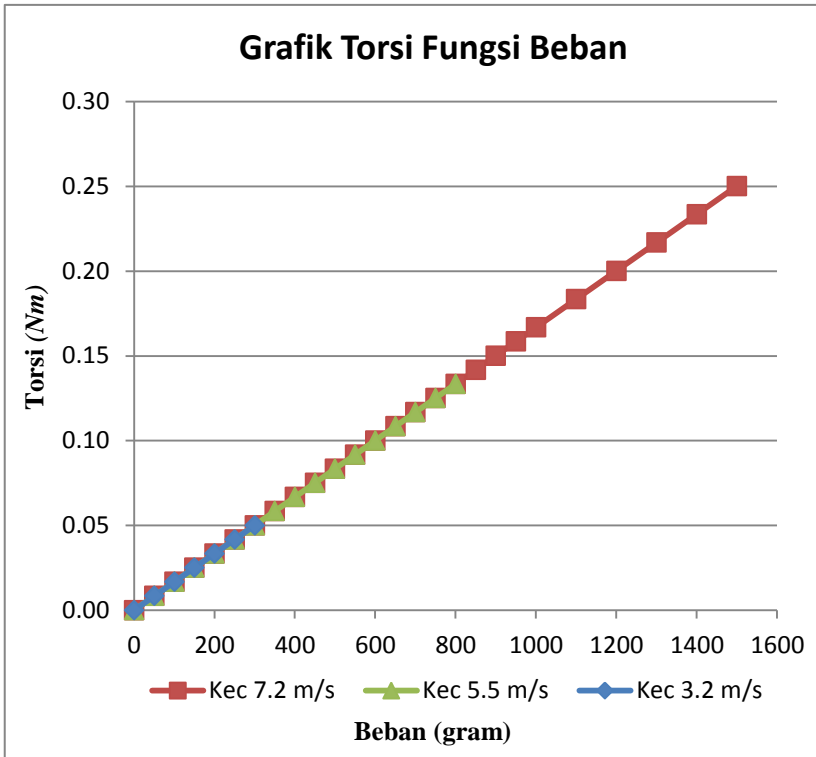
Dapat disimpulkan bahwa putaran turbin pada *angle of attack* 20° mampu menahan beban hingga 1500 *gram* pada kecepatan angin 7.2 *m/s* sampai putaran turbin benar-benar berhenti dan tidak mampu menghasilkan torsi.

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 4.3 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 20°.

Angle Of Attack (°)	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	5.443	9.734	12.246	0
	50	4.815	9.106	11.827	0.0083
	100	4.082	8.059	11.304	0.0167
	150	3.454	6.908	11.095	0.0250
	200	2.198	6.699	10.885	0.0334
	250	1.465	6.385	10.467	0.0417
	300	0	6.175	10.153	0.0500
	350	0	5.861	9.734	0.0584
	400	0	5.652	9.420	0.0667
	450	0	5.338	9.106	0.0750
	500	0	4.815	8.687	0.0834
	550	0	3.977	8.059	0.0917
	600	0	3.245	7.850	0.1001
	650	0	3.035	7.327	0.1084
	700	0	2.617	6.594	0.1167
	750	0	1.675	5.966	0.1251
	800	0	0	5.443	0.1334
	850	0	0	4.815	0.1418
	900	0	0	4.396	0.1501
	950	0	0	4.082	0.1584
	1000	0	0	3.768	0.1668
1100	0	0	3.245	0.1834	
1200	0	0	2.826	0.2001	
1300	0	0	2.303	0.2168	
1400	0	0	1.779	0.2335	
1500	0	0	0	0.2502	



Gambar 4.2 Grafik Torsi Fungsi Beban *Angle Of Attack* 20°

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 juga bergantung pada lengan dan beban dengan arti lengan pada semua pengujian sama tetapi pada beban semakin besar beban yang diberikan maka torsi yang dihasilkan juga semakin besar. Torsi maksimum pada kecepatan angin 3.2 m/s pada beban 300 gram yaitu sebesar 0.0500 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 0.0500 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 300 gram kecepatan 3.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 5.5 m/s pada beban 800 gram yaitu sebesar 0.1334 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 0.1334 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 800 gram kecepatan 5.5 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 7.2 m/s pada beban 1500 gram yaitu sebesar 0.2502 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 0.2502 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 1500 gram kecepatan 7.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

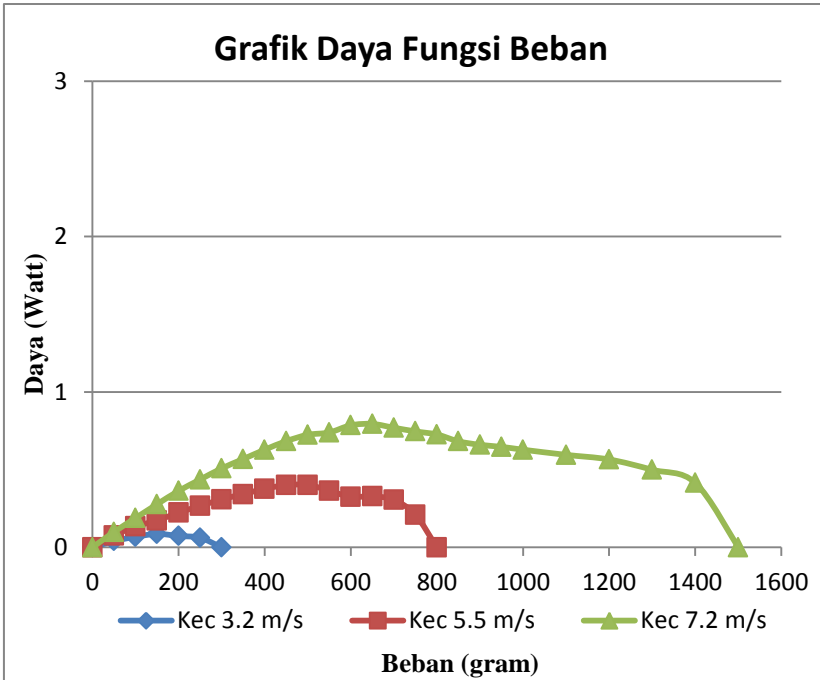
Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi torsi yang dihasilkan oleh turbin ini maka semakin rendah putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan semakin besar beban yang diberikan akan semakin besar torsinya akan tetapi ketika pada beban tertentu tidak mampu menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{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

4.3.3 Unjuk Kerja Daya Fungsi Beban

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

Tabel 4.4 Data Perhitungan Daya Output Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 20°.

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)			Torsi	Daya Output (Watt)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
20	0	52	93	117	5.443	9.734	12.246	0	0	0	0
	50	46	87	113	4.815	9.106	11.827	0.0083	0.040	0.076	0.099
	100	39	77	108	4.082	8.059	11.304	0.0167	0.068	0.134	0.189
	150	33	66	106	3.454	6.908	11.095	0.0250	0.086	0.173	0.278
	200	21	64	104	2.198	6.699	10.885	0.0334	0.073	0.223	0.363
	250	14	61	100	1.465	6.385	10.467	0.0417	0.061	0.266	0.436
	300	0	59	97	0	6.175	10.153	0.0500	0	0.309	0.508
	350	0	56	93	0	5.861	9.734	0.0584	0	0.342	0.568
	400	0	54	90	0	5.652	9.420	0.0667	0	0.377	0.628
	450	0	51	87	0	5.338	9.106	0.0750	0	0.401	0.683
	500	0	46	83	0	4.815	8.687	0.0834	0	0.401	0.724
	550	0	38	77	0	3.977	8.059	0.0917	0	0.365	0.739
	600	0	31	75	0	3.245	7.850	0.1001	0	0.325	0.785
	650	0	29	70	0	3.035	7.327	0.1084	0	0.329	0.794
	700	0	25	63	0	2.617	6.594	0.1167	0	0.305	0.770
	750	0	16	57	0	1.675	5.966	0.1251	0	0.209	0.746
	800	0	0	52	0	0	5.443	0.1334	0	0	0.726
	850	0	0	46	0	0	4.815	0.1418	0	0	0.683
	900	0	0	42	0	0	4.396	0.1501	0	0	0.660
	950	0	0	39	0	0	4.082	0.1584	0	0	0.647
1000	0	0	36	0	0	3.768	0.1668	0	0	0.628	
1100	0	0	31	0	0	3.245	0.1834	0	0	0.595	
1200	0	0	27	0	0	2.826	0.2001	0	0	0.566	
1300	0	0	22	0	0	2.303	0.2168	0	0	0.499	
1400	0	0	17	0	0	1.779	0.2335	0	0	0.415	
1500	0	0	0	0	0	0	0.2502	0	0	0	



Gambar 4.3 Grafik Daya Fungsi Pembebanan *Angle Of Attack* 20°

Dari grafik daya fungsi beban, didapat bahwasanya semakin besar torsi (τ) dan kecepatan keliling (ω) 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 τ = torsi ($N.m$), ω = putaran turbin (rad/s).

Pada pengujian kecepatan 3.2 m/s, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.086 Watt dengan beban 150 gram dikarenakan torsi (τ) 0.0250 $N.m$ dan putaran turbin (ω) 3.454 rad/s . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 300 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s .

Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s , daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.401 Watt dengan beban 500 gram dikarenakan torsi (τ) 0.0834 N.m dan putaran turbin (ω) 4.815 rad/s . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 800 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s .

Pada pengujian kecepatan 7.2 m/s , daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.794 Watt dengan beban 650 gram dikarenakan torsi (τ) 0.1084 N.m dan putaran turbin (ω) 7.327 rad/s . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 1500 gram karena putaran turbin yang dihasilkan 0 rad/s .

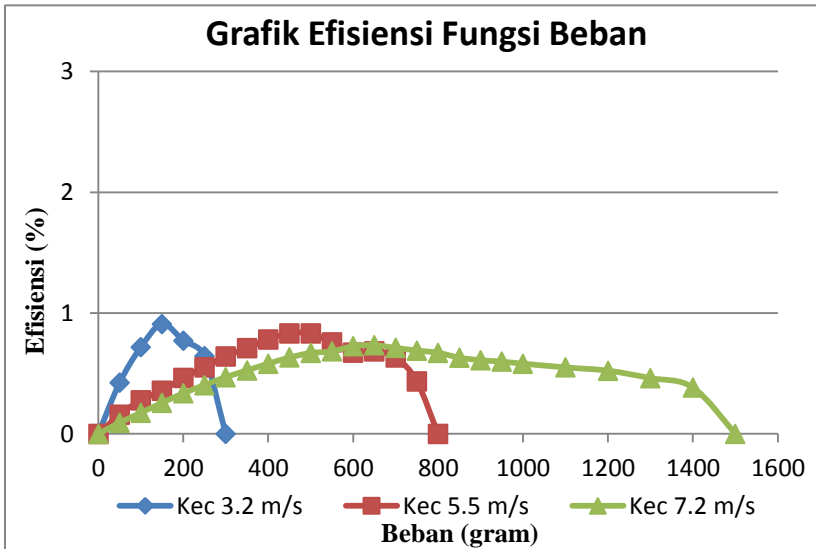
Dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.794 Watt pada kecepatan 7.2 m/s dengan beban 650 gram dikarenakan torsi (τ) 0.1084 N.m dan putaran turbin (ω) 7.327 rad/s .

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 4.5 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 20°.

Daya Ouput (Watt)			Daya Input (Watt)			Efisiensi (%)		
Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0
0.040	0.076	0.099	9.503	48.249	108.242	0.422	0.157	0.091
0.068	0.134	0.189	9.503	48.249	108.242	0.716	0.279	0.174
0.086	0.173	0.278	9.503	48.249	108.242	0.909	0.358	0.256
0.073	0.223	0.363	9.503	48.249	108.242	0.771	0.463	0.335
0.061	0.266	0.436	9.503	48.249	108.242	0.643	0.552	0.403
0	0.309	0.508	9.503	48.249	108.242	0	0.640	0.469
0	0.342	0.568	9.503	48.249	108.242	0	0.709	0.525
0	0.377	0.628	9.503	48.249	108.242	0	0.781	0.581
0	0.401	0.683	9.503	48.249	108.242	0	0.830	0.631
0	0.401	0.724	9.503	48.249	108.242	0	0.832	0.669
0	0.365	0.739	9.503	48.249	108.242	0	0.756	0.683
0	0.325	0.785	9.503	48.249	108.242	0	0.673	0.726
0	0.329	0.794	9.503	48.249	108.242	0	0.682	0.734
0	0.305	0.770	9.503	48.249	108.242	0	0.633	0.711
0	0.209	0.746	9.503	48.249	108.242	0	0.434	0.689
0	0	0.726	9.503	48.249	108.242	0	0	0.671
0	0	0.683	9.503	48.249	108.242	0	0	0.631
0	0	0.660	9.503	48.249	108.242	0	0	0.610
0	0	0.647	9.503	48.249	108.242	0	0	0.597
0	0	0.628	9.503	48.249	108.242	0	0	0.581
0	0	0.595	9.503	48.249	108.242	0	0	0.550
0	0	0.566	9.503	48.249	108.242	0	0	0.522
0	0	0.499	9.503	48.249	108.242	0	0	0.461
0	0	0.415	9.503	48.249	108.242	0	0	0.384
0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0



Gambar 4.4 Grafik Efisiensi Fungsi Beban *Angle Of Attack* 20°

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 m/s dengan beban 150 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.086 Watt dan daya input (W) 9.503 Watt, dikarenakan torsi (τ) 0.0250 N.m dan putaran turbin (ω) 3.454 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 0.909 %. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 300 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt.

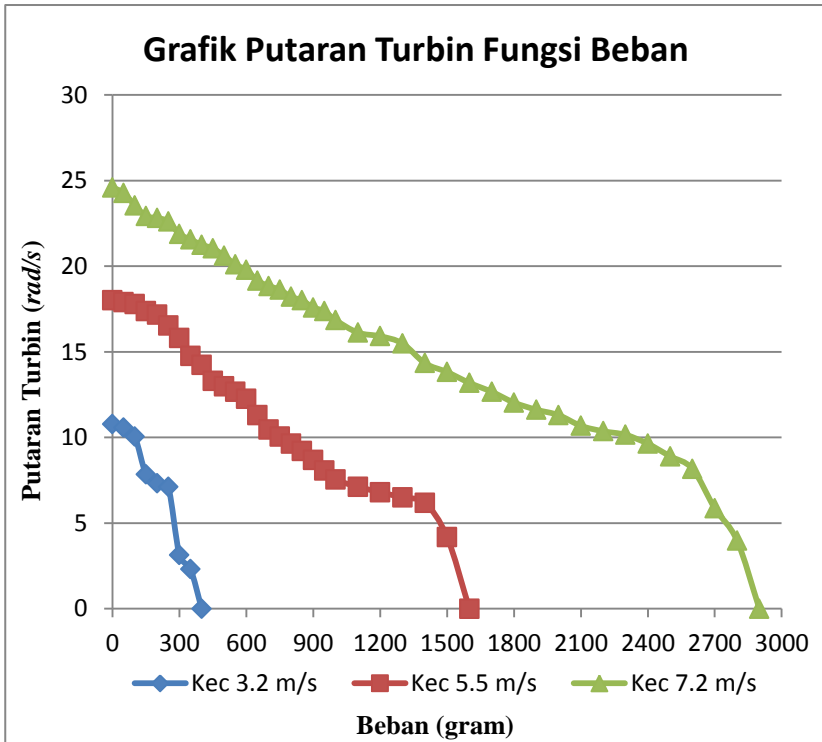
Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s dengan beban 500 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.401 Watt dan daya input (W) 48.249 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.0834 N.m dan putaran turbin (ω) 4.815 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 0.832% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 800 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Pada pengujian kecepatan 7.2 m/s dengan beban 650 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.794 Watt dan daya input (W) 108.242 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.1084 N.m dan putaran turbin (ω) 6.280 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 0.734% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 1500 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 0.734% pada kecepatan angin 7.2 m/s dengan daya output (P) sebesar 0.794 Watt dan daya input (W) 108.242 Watt .

Tabel 4.6 Data Perhitungan Putaran Turbin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 40°.

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
40	0	103	172	235	10.781	18.003	24.597
	50	101	171	232	10.571	17.898	24.283
	100	96	170	225	10.048	17.793	23.550
	150	75	166	219	7.850	17.375	22.922
	200	70	164	218	7.327	17.165	22.817
	250	68	158	216	7.117	16.537	22.608
	300	30	151	209	3.140	15.805	21.875
	350	22	141	206	2.303	14.758	21.561
	400	0	136	203	0	14.235	21.247
	450	0	127	201	0	13.293	21.038
	500	0	124	197	0	12.979	20.619
	550	0	121	192	0	12.665	20.096
	600	0	117	189	0	12.246	19.782
	650	0	108	183	0	11.304	19.154
	700	0	100	180	0	10.467	18.840
	750	0	96	178	0	10.048	18.631
	800	0	92	174	0	9.629	18.212
	850	0	88	172	0	9.211	18.003
	900	0	83	168	0	8.687	17.584
	950	0	77	166	0	8.059	17.375
	1000	0	72	161	0	7.536	16.851
	1100	0	68	154	0	7.117	16.119
	1200	0	65	152	0	6.803	15.909
	1300	0	62	148	0	6.489	15.491
	1400	0	59	137	0	6.175	14.339
	1500	0	40	132	0	4.187	13.816
	1600	0	0	126	0	0	13.188
	1700	0	0	121	0	0	12.665
1800	0	0	115	0	0	12.037	
1900	0	0	111	0	0	11.618	
2000	0	0	108	0	0	11.304	
2100	0	0	102	0	0	10.676	
2200	0	0	99	0	0	10.362	
2300	0	0	97	0	0	10.153	
2400	0	0	92	0	0	9.629	
2500	0	0	85	0	0	8.897	
2600	0	0	78	0	0	8.164	
2700	0	0	56	0	0	5.861	
2800	0	0	38	0	0	3.977	
2900	0	0	0	0	0	0	



Gambar 4.5 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban *Angle Of Attack* 40°

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 10.781 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 18.003 rad/s, dan pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 24.597 rad/s.

Pada pengujian beban 400 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

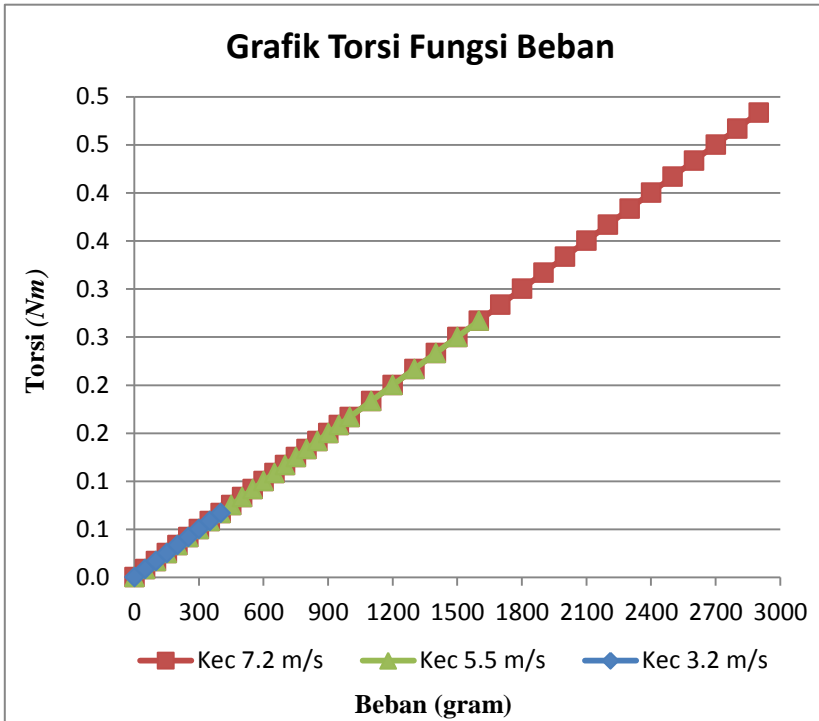
Pada pengujian beban 1600 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 5.5 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

Pada pengujian beban 2900 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 7.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

Dapat disimpulkan bahwa putaran turbin pada *angle of attack* 40° mampu menahan beban hingga 2900 *gram* pada kecepatan angin 7.2 *m/s* sampai putaran turbin benar-benar berhenti dan tidak mampu menghasilkan torsi.

Tabel 4.7 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 40°.

Angle Of Attack (°)	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	10.781	18.003	24.597	0
	50	10.571	17.898	24.283	0.0083
	100	10.048	17.793	23.550	0.0167
	150	7.850	17.375	22.922	0.0250
	200	7.327	17.165	22.817	0.0334
	250	7.117	16.537	22.608	0.0417
	300	3.140	15.805	21.875	0.0500
	350	2.303	14.758	21.561	0.0584
	400	0	14.235	21.247	0.0667
	450	0	13.293	21.038	0.0750
	500	0	12.979	20.619	0.0834
	550	0	12.665	20.096	0.0917
	600	0	12.246	19.782	0.1001
	650	0	11.304	19.154	0.1084
	700	0	10.467	18.840	0.1167
	750	0	10.048	18.631	0.1251
	800	0	9.629	18.212	0.1334
	850	0	9.211	18.003	0.1418
	900	0	8.687	17.584	0.1501
	950	0	8.059	17.375	0.1584
	1000	0	7.536	16.851	0.1668
	1100	0	7.117	16.119	0.1834
	1200	0	6.803	15.909	0.2001
	1300	0	6.489	15.491	0.2168
	1400	0	6.175	14.339	0.2335
	1500	0	4.187	13.816	0.2502
	1600	0	0	13.188	0.2668
	1700	0	0	12.665	0.2835
	1800	0	0	12.037	0.3002
1900	0	0	11.618	0.3169	
2000	0	0	11.304	0.3335	
2100	0	0	10.676	0.3502	
2200	0	0	10.362	0.3669	
2300	0	0	10.153	0.3836	
2400	0	0	9.629	0.4002	
2500	0	0	8.897	0.4169	
2600	0	0	8.164	0.4336	
2700	0	0	5.861	0.4503	
2800	0	0	3.977	0.4670	
2900	0	0	0	0.4836	



Gambar 4.6 Grafik Torsi Fungsi Beban *Angle Of Attack* 40°

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 juga bergantung pada lengan dan beban dengan arti lengan pada semua pengujian sama tetapi pada beban semakin besar beban yang diberikan maka torsi yang dihasilkan juga semakin besar. Torsi maksimum pada kecepatan angin 3.2 m/s pada beban 400 gram yaitu sebesar 0.0667 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 0.0667 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 400 gram kecepatan 3.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

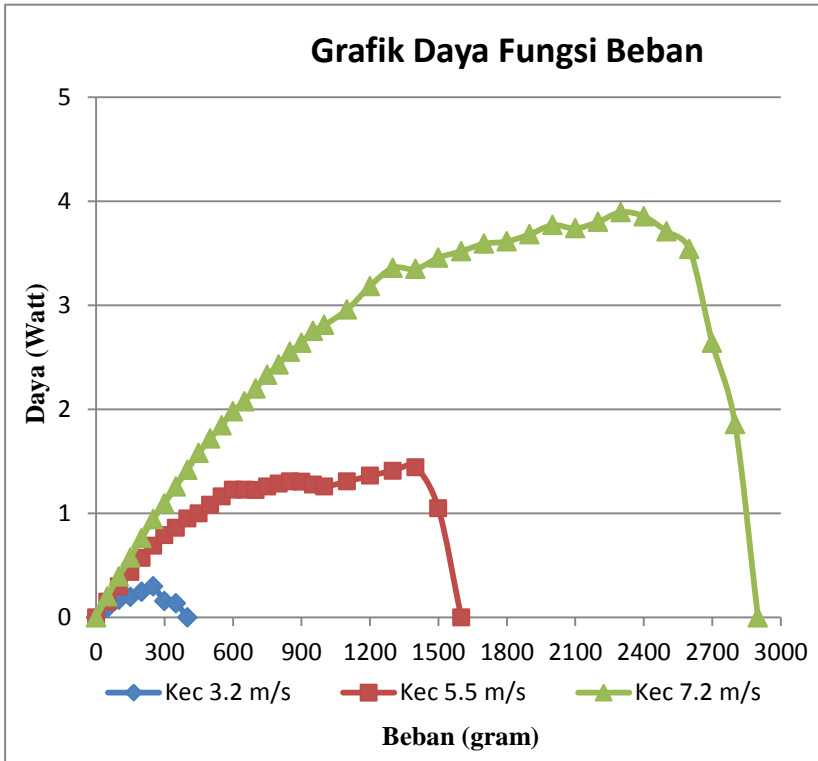
Torsi maksimum pada kecepatan angin 5.5 m/s pada beban 1600 gram yaitu sebesar 0.2668 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 5.5 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0.2668 N.m turbin itu sudah tidak 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 2900 gram yaitu sebesar 0.4002 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 0.4002 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 2900 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 akan tetapi ketika pada beban tertentu tidak mampu menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) turbin tidak dapat lagi berputar.

Tabel 4.8 Data Perhitungan Daya Output Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 40°.

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)	Daya Ouput (Watt)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
40	0	103	172	235	10.781	18.003	24.597	0	0	0	0
	50	101	171	232	10.571	17.898	24.283	0.0083	0.088	0.149	0.202
	100	96	170	225	10.048	17.793	23.550	0.0167	0.168	0.297	0.393
	150	75	166	219	7.850	17.375	22.922	0.0250	0.196	0.435	0.573
	200	70	164	218	7.327	17.165	22.817	0.0334	0.244	0.573	0.761
	250	68	158	216	7.117	16.537	22.608	0.0417	0.297	0.689	0.943
	300	30	151	209	3.140	15.805	21.875	0.0500	0.157	0.791	1.094
	350	22	141	206	2.303	14.758	21.561	0.0584	0.134	0.861	1.259
	400	0	136	203	0	14.235	21.247	0.0667	0	0.950	1.417
	450	0	127	201	0	13.293	21.038	0.0750	0	0.998	1.579
	500	0	124	197	0	12.979	20.619	0.0834	0	1.082	1.719
	550	0	121	192	0	12.665	20.096	0.0917	0	1.162	1.843
	600	0	117	189	0	12.246	19.782	0.1001	0	1.225	1.979
	650	0	108	183	0	11.304	19.154	0.1084	0	1.225	2.076
	700	0	100	180	0	10.467	18.840	0.1167	0	1.222	2.199
	750	0	96	178	0	10.048	18.631	0.1251	0	1.257	2.330
	800	0	92	174	0	9.629	18.212	0.1334	0	1.285	2.430
	850	0	88	172	0	9.211	18.003	0.1418	0	1.306	2.552
	900	0	83	168	0	8.687	17.584	0.1501	0	1.304	2.639
	950	0	77	166	0	8.059	17.375	0.1584	0	1.277	2.753
	1000	0	72	161	0	7.536	16.851	0.1668	0	1.257	2.810
	1100	0	68	154	0	7.117	16.119	0.1834	0	1.306	2.957
	1200	0	65	152	0	6.803	15.909	0.2001	0	1.362	3.184
	1300	0	62	148	0	6.489	15.491	0.2168	0	1.407	3.358
	1400	0	59	137	0	6.175	14.339	0.2335	0	1.442	3.348
	1500	0	40	132	0	4.187	13.816	0.2502	0	1.047	3.456
	1600	0	0	126	0	0	13.188	0.2668	0	0	3.519
	1700	0	0	121	0	0	12.665	0.2835	0	0	3.591
	1800	0	0	115	0	0	12.037	0.3002	0	0	3.613
1900	0	0	111	0	0	11.618	0.3169	0	0	3.681	
2000	0	0	108	0	0	11.304	0.3335	0	0	3.770	
2100	0	0	102	0	0	10.676	0.3502	0	0	3.739	
2200	0	0	99	0	0	10.362	0.3669	0	0	3.802	
2300	0	0	97	0	0	10.153	0.3836	0	0	3.894	
2400	0	0	92	0	0	9.629	0.4002	0	0	3.854	
2500	0	0	85	0	0	8.897	0.4169	0	0	3.709	
2600	0	0	78	0	0	8.164	0.4336	0	0	3.540	
2700	0	0	56	0	0	5.861	0.4503	0	0	2.639	
2800	0	0	38	0	0	3.977	0.4670	0	0	1.857	
2900	0	0	0	0	0	0	0.4836	0	0	0	



Gambar 4.7 Grafik Daya Fungsi Pembebanan *Angle Of Attack* 40°

Dari grafik daya fungsi beban, didapat bahwasanya semakin besar torsi (τ) dan kecepatan keliling (ω) 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 τ = torsi ($N.m$), ω = putaran turbin (rad/s).

Pada pengujian kecepatan 3.2 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.297 *Watt* dengan beban 250 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.0417 *N.m* dan putaran turbin (ω) 7.117 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 400 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

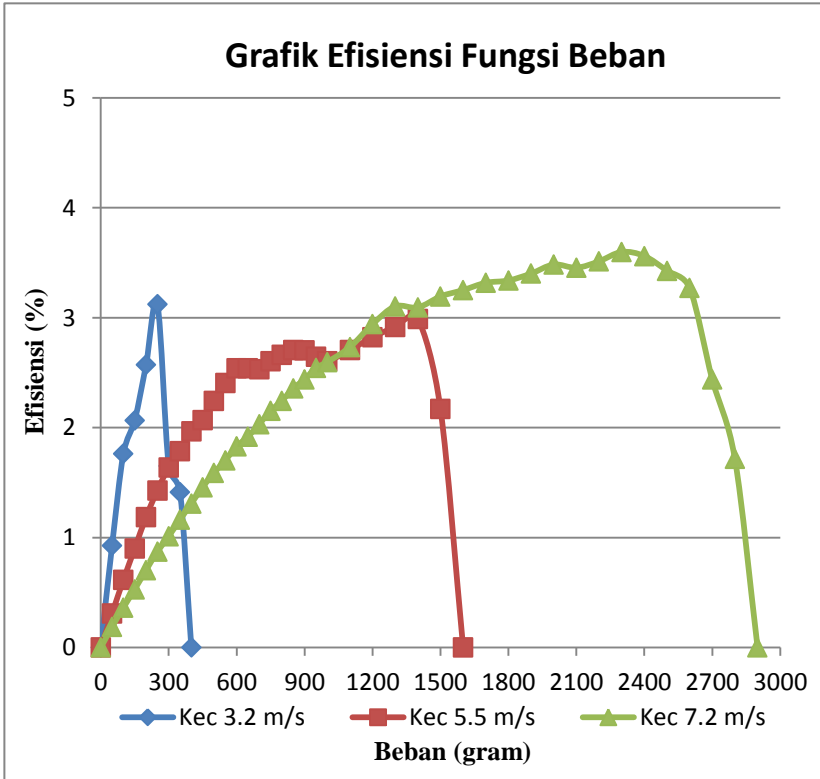
Pada pengujian kecepatan 5.5 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 1.442 *Watt* dengan beban 1400 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.2335 *N.m* dan putaran turbin (ω) 6.175 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 1600 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

Pada pengujian kecepatan 7.2 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 3.894 *Watt* dengan beban 2300 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.3836 *N.m* dan putaran turbin (ω) 10.153 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 2900 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

Dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 3.894 *Watt* pada kecepatan 7.2 *m/s* dengan beban 2300 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.3836 *N.m* dan putaran turbin (ω) 10.153 *rad/s*.

Tabel 4.9 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 40°.

Daya Ouput (Watt)			Daya Input (Watt)			Efisiensi (%)		
Kecepatan Angin 3.2 m/s	Kecepatan Angin 5.5 m/s	Kecepatan Angin 7.2 m/s	Kecepatan Angin 3.2 m/s	Kecepatan Angin 5.5 m/s	Kecepatan Angin 7.2 m/s	Kecepatan Angin 3.2 m/s	Kecepatan Angin 5.5 m/s	Kecepatan Angin 7.2 m/s
0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0
0.088	0.149	0.202	9.503	48.249	108.242	0.928	0.309	0.187
0.168	0.297	0.393	9.503	48.249	108.242	1.763	0.615	0.363
0.196	0.435	0.573	9.503	48.249	108.242	2.066	0.901	0.530
0.244	0.573	0.761	9.503	48.249	108.242	2.572	1.187	0.703
0.297	0.689	0.943	9.503	48.249	108.242	3.123	1.429	0.871
0.157	0.791	1.094	9.503	48.249	108.242	1.653	1.639	1.011
0.134	0.861	1.259	9.503	48.249	108.242	1.414	1.785	1.163
0	0.950	1.417	9.503	48.249	108.242	0	1.968	1.309
0	0.998	1.579	9.503	48.249	108.242	0	2.068	1.459
0	1.082	1.719	9.503	48.249	108.242	0	2.243	1.588
0	1.162	1.843	9.503	48.249	108.242	0	2.408	1.703
0	1.225	1.979	9.503	48.249	108.242	0	2.540	1.829
0	1.225	2.076	9.503	48.249	108.242	0	2.540	1.918
0	1.222	2.199	9.503	48.249	108.242	0	2.532	2.032
0	1.257	2.330	9.503	48.249	108.242	0	2.605	2.153
0	1.285	2.430	9.503	48.249	108.242	0	2.663	2.245
0	1.306	2.552	9.503	48.249	108.242	0	2.706	2.358
0	1.304	2.639	9.503	48.249	108.242	0	2.702	2.438
0	1.277	2.753	9.503	48.249	108.242	0	2.646	2.543
0	1.257	2.810	9.503	48.249	108.242	0	2.605	2.596
0	1.306	2.957	9.503	48.249	108.242	0	2.706	2.732
0	1.362	3.184	9.503	48.249	108.242	0	2.822	2.941
0	1.407	3.358	9.503	48.249	108.242	0	2.916	3.103
0	1.442	3.348	9.503	48.249	108.242	0	2.988	3.093
0	1.047	3.456	9.503	48.249	108.242	0	2.171	3.193
0	0	3.519	9.503	48.249	108.242	0	0	3.251
0	0	3.591	9.503	48.249	108.242	0	0	3.317
0	0	3.613	9.503	48.249	108.242	0	0	3.338
0	0	3.681	9.503	48.249	108.242	0	0	3.401
0	0	3.770	9.503	48.249	108.242	0	0	3.483
0	0	3.739	9.503	48.249	108.242	0	0	3.454
0	0	3.802	9.503	48.249	108.242	0	0	3.512
0	0	3.894	9.503	48.249	108.242	0	0	3.598
0	0	3.854	9.503	48.249	108.242	0	0	3.561
0	0	3.709	9.503	48.249	108.242	0	0	3.427
0	0	3.540	9.503	48.249	108.242	0	0	3.270
0	0	2.639	9.503	48.249	108.242	0	0	2.438
0	0	1.857	9.503	48.249	108.242	0	0	1.716
0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0



Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Fungsi Beban *Angle Of Attack* 40°

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 m/s dengan beban 250 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 0.297 Watt dan daya input (W) 9.503 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.0417 N.m dan putaran turbin (ω) 7.717 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 3.123% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 400 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

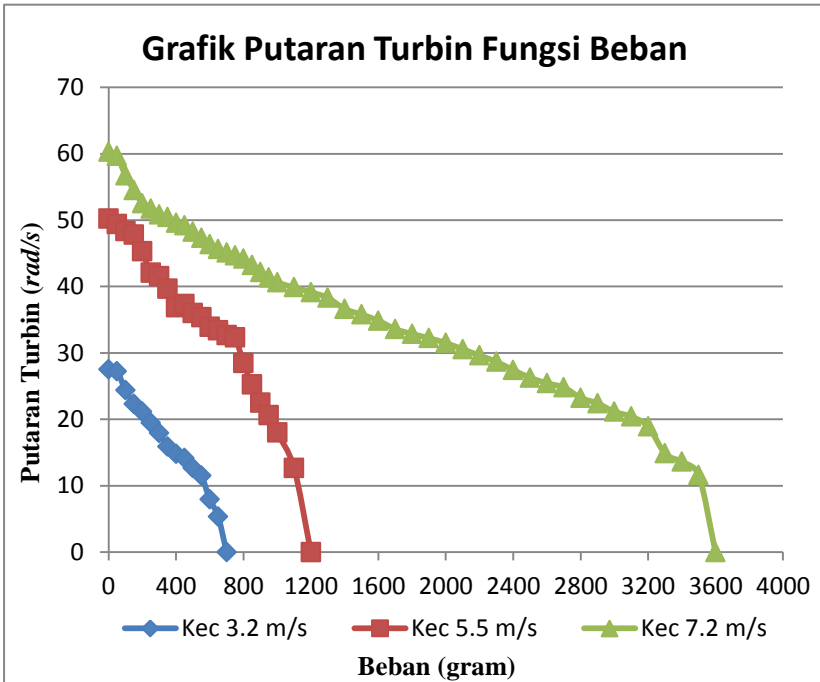
Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s dengan beban 1400 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 1.442 Watt dan daya input (W) 48.249 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.2335 N.m dan putaran turbin (ω) 6.175 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 2.988% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 1600 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Pada pengujian kecepatan 7.2 m/s dengan beban 2300 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 3.894 Watt dan daya input (W) 108.242 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.3836 N.m dan putaran turbin (ω) 10.153 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 3.598% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 2900 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 3.598% pada kecepatan angin 7.2 m/s dengan daya output (P) sebesar 3.894 Watt dan daya input (W) 108.242 Watt .

Tabel 4.10 Data Perhitungan Putaran Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 60°.

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
60	0	263	480	576	27.527	50.240	60.288
	50	260	472	570	27.213	49.403	59.660
	100	233	462	542	24.387	48.356	56.729
	150	213	457	521	22.294	47.833	54.531
	200	202	433	502	21.143	45.321	52.543
	250	186	402	494	19.468	42.076	51.705
	300	171	397	486	17.898	41.553	50.868
	350	152	379	482	15.909	39.669	50.449
	400	141	352	474	14.758	36.843	49.612
	450	135	357	470	14.130	37.366	49.193
	500	121	344	461	12.665	36.005	48.251
	550	110	338	452	11.513	35.377	47.309
	600	76	324	443	7.955	33.912	46.367
	650	51	319	436	5.338	33.389	45.635
	700	0	312	431	0	32.656	45.111
	750	0	309	427	0	32.342	44.693
	800	0	272	422	0	28.469	44.169
	850	0	241	413	0	25.225	43.227
	900	0	215	403	0	22.503	42.181
	950	0	197	395	0	20.619	41.343
	1000	0	172	388	0	18.003	40.611
	1100	0	121	381	0	12.665	39.878
	1200	0	0	374	0	0	39.145
	1300	0	0	366	0	0	38.308
	1400	0	0	350	0	0	36.633
	1500	0	0	342	0	0	35.796
	1600	0	0	333	0	0	34.854
	1700	0	0	321	0	0	33.598
	1800	0	0	314	0	0	32.865
	1900	0	0	308	0	0	32.237
	2000	0	0	301	0	0	31.505
	2100	0	0	292	0	0	30.563
	2200	0	0	283	0	0	29.621
	2300	0	0	274	0	0	28.679
	2400	0	0	262	0	0	27.423
	2500	0	0	251	0	0	26.271
2600	0	0	243	0	0	25.434	
2700	0	0	237	0	0	24.806	
2800	0	0	222	0	0	23.236	
2900	0	0	214	0	0	22.399	
3000	0	0	202	0	0	21.143	
3100	0	0	195	0	0	20.410	
3200	0	0	181	0	0	18.945	
3300	0	0	142	0	0	14.863	
3400	0	0	130	0	0	13.607	
3500	0	0	111	0	0	11.618	
3600	0	0	0	0	0	0	



Gambar 4.9 Grafik Putaran Turbin Fungsi Beban *Angle Of Attack* 60°

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 27.527 rad/s, pada kecepatan angin 5.5 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 50.240 rad/s, dan pada kecepatan angin 7.2 m/s putaran turbin yang dihasilkan yaitu 60.288 rad/s.

Pada pengujian dengan beban 700 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 3.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

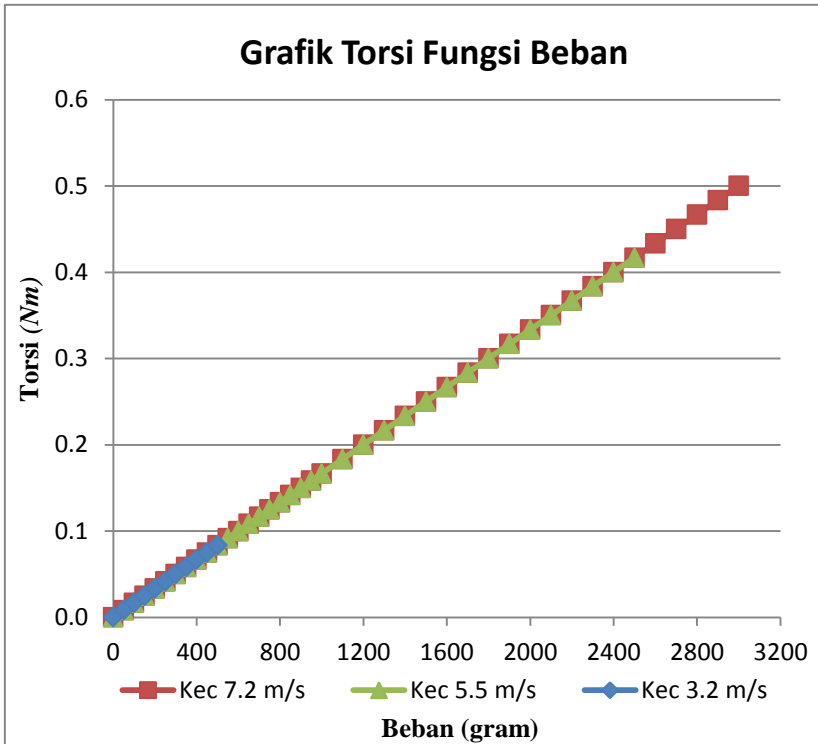
Pada pengujian dengan beban 1200 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 5.5 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

Pada pengujian dengan beban 3600 *gram* putaran turbin yang dihasilkan pada kecepatan angin 7.2 *m/s* yaitu 0 *rad/s*, karena turbin tidak mampu lagi untuk berputar atau tidak mampu menghasilkan torsi.

Dapat disimpulkan bahwa putaran turbin pada *angle of attack* 60° mampu menahan beban hingga 3600 *gram* pada kecepatan angin 7.2 *m/s* sampai putaran turbin benar-benar berhenti dan tidak mampu menghasilkan torsi.

Tabel 4.11 Data Perhitungan Torsi Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 60°.

Angle Of Attack (°)	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	27.527	50.240	60.288	0
	50	27.213	49.403	59.660	0.0083
	100	24.387	48.356	56.729	0.0167
	150	22.294	47.833	54.531	0.0250
	200	21.143	45.321	52.543	0.0334
	250	19.468	42.076	51.705	0.0417
	300	17.898	41.553	50.868	0.0500
	350	15.909	39.669	50.449	0.0584
	400	14.758	36.843	49.612	0.0667
	450	14.130	37.366	49.193	0.0750
	500	12.665	36.005	48.251	0.0834
	550	11.513	35.377	47.309	0.0917
	600	7.955	33.912	46.367	0.1001
	650	5.338	33.389	45.635	0.1084
	700	0	32.656	45.111	0.1167
	750	0	32.342	44.693	0.1251
	800	0	28.469	44.169	0.1334
	850	0	25.225	43.227	0.1418
	900	0	22.503	42.181	0.1501
	950	0	20.619	41.343	0.1584
	1000	0	18.003	40.611	0.1668
	1100	0	12.665	39.878	0.1834
	1200	0	0	39.145	0.2001
	1300	0	0	38.308	0.2168
	1400	0	0	36.633	0.2335
	1500	0	0	35.796	0.2502
	1600	0	0	34.854	0.2668
	1700	0	0	33.598	0.2835
	1800	0	0	32.865	0.3002
	1900	0	0	32.237	0.3169
	2000	0	0	31.505	0.3335
	2100	0	0	30.563	0.3502
	2200	0	0	29.621	0.3669
	2300	0	0	28.679	0.3836
	2400	0	0	27.423	0.4002
	2500	0	0	26.271	0.4169
2600	0	0	25.434	0.4336	
2700	0	0	24.806	0.4503	
2800	0	0	23.236	0.4670	
2900	0	0	22.399	0.4836	
3000	0	0	21.143	0.5003	
3100	0	0	20.410	0.5170	
3200	0	0	18.945	0.5337	
3300	0	0	14.863	0.5503	
3400	0	0	13.607	0.5670	
3500	0	0	11.618	0.5837	
3600	0	0	0	0.6004	



Gambar 4.10 Grafik Torsi Fungsi Beban *Angle Of Attack* 60°

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 juga bergantung pada lengan dan beban dengan arti lengan pada semua pengujian sama tetapi pada beban semakin besar beban yang diberikan maka torsi yang dihasilkan juga semakin besar. Torsi maksimum pada kecepatan angin 3.2 m/s pada beban 700 gram yaitu sebesar 0.1167 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 0.1167 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 700 gram kecepatan 3.2 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

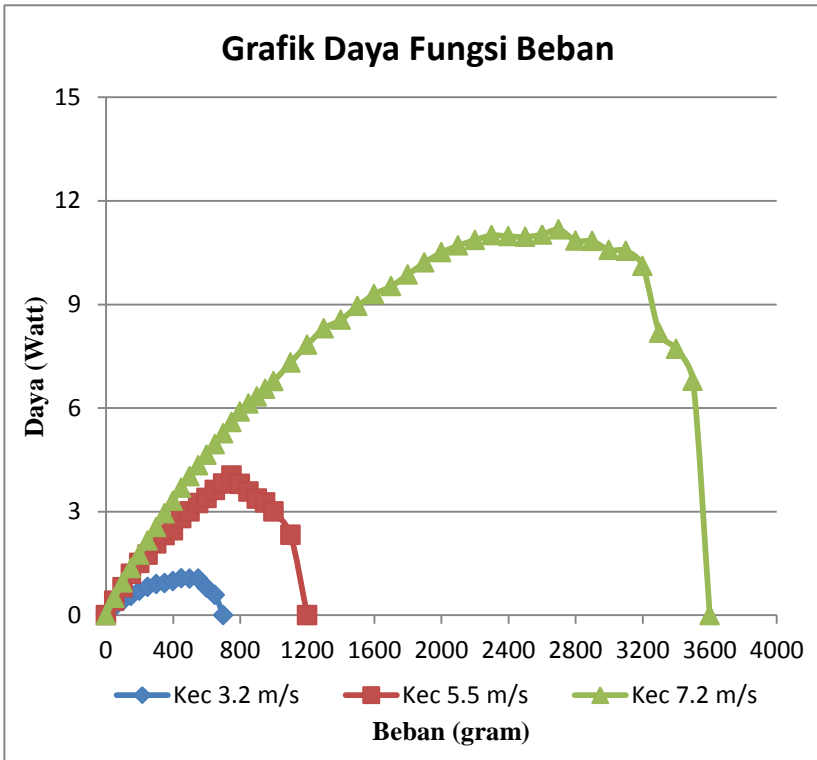
Torsi maksimum pada kecepatan angin 5.5 m/s pada beban 1200 gram yaitu sebesar 0.2001 N.m, torsi maksimum pada kecepatan 5.5 m/s diambil berdasarkan putaran turbin yang dihasilkan oleh turbin dan beban maksimum yang mampu diterima oleh turbin, artinya pada saat torsi 0.2001 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 1200 gram kecepatan 5.5 m/s turbin tidak dapat lagi berputar.

Torsi maksimum pada kecepatan angin 7.2 m/s pada beban 3600 gram yaitu sebesar 0.6004 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 0.6004 N.m turbin itu sudah tidak dapat menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) karena pada beban 3600 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 akan tetapi ketika pada beban tertentu tidak mampu menghasilkan putaran turbin ($\omega = 0 \text{ rad/s}$) turbin tidak dapat lagi berputar.

Tabel 4.12 Data Perhitungan Daya Output Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 60°.

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)	Daya Output (Watt)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
60	0	27.527	50.240	60.288	0	0	0	0
	50	27.213	49.403	59.660	0.0083	0.227	0.412	0.497
	100	24.387	48.356	56.729	0.0167	0.407	0.806	0.946
	150	22.294	47.833	54.531	0.0250	0.558	1.197	1.364
	200	21.143	45.321	52.543	0.0334	0.705	1.512	1.753
	250	19.468	42.076	51.705	0.0417	0.812	1.754	2.156
	300	17.898	41.553	50.868	0.0500	0.895	2.079	2.545
	350	15.909	39.669	50.449	0.0584	0.929	2.315	2.945
	400	14.758	36.843	49.612	0.0667	0.984	2.458	3.310
	450	14.130	37.366	49.193	0.0750	1.060	2.804	3.692
	500	12.665	36.005	48.251	0.0834	1.056	3.002	4.023
	550	11.513	35.377	47.309	0.0917	1.056	3.245	4.339
	600	7.955	33.912	46.367	0.1001	0.796	3.393	4.640
	650	5.338	33.389	45.635	0.1084	0.579	3.619	4.947
	700	0	32.656	45.111	0.1167	0	3.812	5.266
	750	0	32.342	44.693	0.1251	0	4.045	5.590
	800	0	28.469	44.169	0.1334	0	3.798	5.893
	850	0	25.225	43.227	0.1418	0	3.576	6.128
	900	0	22.503	42.181	0.1501	0	3.378	6.331
	950	0	20.619	41.343	0.1584	0	3.267	6.550
	1000	0	18.003	40.611	0.1668	0	3.002	6.773
	1100	0	12.665	39.878	0.1834	0	2.323	7.315
	1200	0	0	39.145	0.2001	0	0	7.834
	1300	0	0	38.308	0.2168	0	0	8.305
	1400	0	0	36.633	0.2335	0	0	8.553
	1500	0	0	35.796	0.2502	0	0	8.955
	1600	0	0	34.854	0.2668	0	0	9.300
	1700	0	0	33.598	0.2835	0	0	9.525
	1800	0	0	32.865	0.3002	0	0	9.866
	1900	0	0	32.237	0.3169	0	0	10.215
	2000	0	0	31.505	0.3335	0	0	10.508
	2100	0	0	30.563	0.3502	0	0	10.704
	2200	0	0	29.621	0.3669	0	0	10.868
	2300	0	0	28.679	0.3836	0	0	11.000
	2400	0	0	27.423	0.4002	0	0	10.976
	2500	0	0	26.271	0.4169	0	0	10.953
2600	0	0	25.434	0.4336	0	0	11.028	
2700	0	0	24.806	0.4503	0	0	11.170	
2800	0	0	23.236	0.4670	0	0	10.850	
2900	0	0	22.399	0.4836	0	0	10.833	
3000	0	0	21.143	0.5003	0	0	10.578	
3100	0	0	20.410	0.5170	0	0	10.552	
3200	0	0	18.945	0.5337	0	0	10.110	
3300	0	0	14.863	0.5503	0	0	8.180	
3400	0	0	13.607	0.5670	0	0	7.715	
3500	0	0	11.618	0.5837	0	0	6.781	
3600	0	0	0	0.6004	0	0	0	



Gambar 4.11 Grafik Daya Fungsi Pembebanan *Angle Of Attack* 60°

Dari grafik daya fungsi beban, didapat bahwasanya semakin besar torsi (τ) dan kecepatan keliling (ω) 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 τ = torsi ($N.m$), ω = putaran turbin (rad/s).

Pada pengujian kecepatan 3.2 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 1.060 *Watt* dengan beban 450 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.0750 *N.m* dan putaran turbin (ω) 14.130 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 700 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

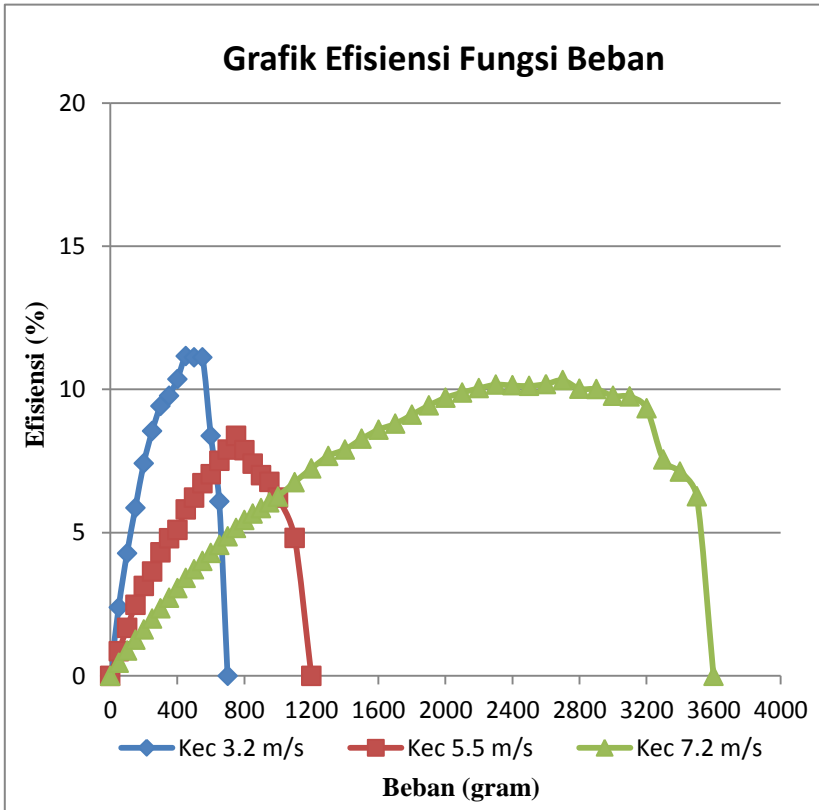
Pada pengujian kecepatan 5.5 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 4.045 *Watt* dengan beban 750 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.1251 *N.m* dan putaran turbin (ω) 32.342 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 1200 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

Pada pengujian kecepatan 7.2 *m/s*, daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 11.170 *Watt* dengan beban 2700 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.4503 *N.m* dan putaran turbin (ω) 24.806 *rad/s*. Dan turbin angin tidak akan menghasilkan daya pada beban 0 dan 3600 *gram* karena putaran turbin yang dihasilkan 0 *rad/s*.

Dapat disimpulkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 11.170 *Watt* pada kecepatan 7.2 *m/s* dengan beban 2700 *gram* dikarenakan torsi (τ) 0.4503 *N.m* dan putaran turbin (ω) 24.806 *rad/s*.

Tabel 4.13 Data Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Fungsi Pembebanan dengan *Angle Of Attack* 60°.

Daya Output (Watt)			Daya Input (Watt)			Efisiensi (%)		
Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0
0.227	0.412	0.497	9.503	48.249	108.242	2.388	0.854	0.460
0.407	0.806	0.946	9.503	48.249	108.242	4.280	1.671	0.874
0.558	1.197	1.364	9.503	48.249	108.242	5.869	2.480	1.260
0.705	1.512	1.753	9.503	48.249	108.242	7.421	3.133	1.619
0.812	1.754	2.156	9.503	48.249	108.242	8.541	3.636	1.992
0.895	2.079	2.545	9.503	48.249	108.242	9.423	4.309	2.351
0.929	2.315	2.945	9.503	48.249	108.242	9.772	4.799	2.720
0.984	2.458	3.310	9.503	48.249	108.242	10.360	5.094	3.058
1.060	2.804	3.692	9.503	48.249	108.242	11.159	5.812	3.411
1.056	3.002	4.023	9.503	48.249	108.242	11.113	6.223	3.717
1.056	3.245	4.339	9.503	48.249	108.242	11.113	6.725	4.009
0.796	3.393	4.640	9.503	48.249	108.242	8.376	7.033	4.286
0.579	3.619	4.947	9.503	48.249	108.242	6.089	7.501	4.570
0	3.812	5.266	9.503	48.249	108.242	0	7.901	4.865
0	4.045	5.590	9.503	48.249	108.242	0	8.384	5.164
0	3.798	5.893	9.503	48.249	108.242	0	7.872	5.444
0	3.576	6.128	9.503	48.249	108.242	0	7.411	5.661
0	3.378	6.331	9.503	48.249	108.242	0	7.000	5.849
0	3.267	6.550	9.503	48.249	108.242	0	6.771	6.051
0	3.002	6.773	9.503	48.249	108.242	0	6.223	6.257
0	2.323	7.315	9.503	48.249	108.242	0	4.815	6.758
0	0	7.834	9.503	48.249	108.242	0	0	7.237
0	0	8.305	9.503	48.249	108.242	0	0	7.673
0	0	8.553	9.503	48.249	108.242	0	0	7.902
0	0	8.955	9.503	48.249	108.242	0	0	8.273
0	0	9.300	9.503	48.249	108.242	0	0	8.592
0	0	9.525	9.503	48.249	108.242	0	0	8.800
0	0	9.866	9.503	48.249	108.242	0	0	9.115
0	0	10.215	9.503	48.249	108.242	0	0	9.437
0	0	10.508	9.503	48.249	108.242	0	0	9.708
0	0	10.704	9.503	48.249	108.242	0	0	9.889
0	0	10.868	9.503	48.249	108.242	0	0	10.040
0	0	11.000	9.503	48.249	108.242	0	0	10.163
0	0	10.976	9.503	48.249	108.242	0	0	10.140
0	0	10.953	9.503	48.249	108.242	0	0	10.119
0	0	11.028	9.503	48.249	108.242	0	0	10.189
0	0	11.170	9.503	48.249	108.242	0	0	10.319
0	0	10.850	9.503	48.249	108.242	0	0	10.024
0	0	10.833	9.503	48.249	108.242	0	0	10.008
0	0	10.578	9.503	48.249	108.242	0	0	9.772
0	0	10.552	9.503	48.249	108.242	0	0	9.748
0	0	10.110	9.503	48.249	108.242	0	0	9.340
0	0	8.180	9.503	48.249	108.242	0	0	7.557
0	0	7.715	9.503	48.249	108.242	0	0	7.128
0	0	6.781	9.503	48.249	108.242	0	0	6.265
0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0



Gambar 4.12 Grafik Efisiensi Fungsi Beban *Angle Of Attack* 60°

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 m/s dengan beban 450 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 1.060 Watt dan daya input (W) 9.503 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.0750 N.m dan putaran turbin (ω) 14.130 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 11.159% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 700 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Pada pengujian kecepatan 5.5 m/s dengan beban 750 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar $4/045 \text{ Watt}$ dan daya input (W) 48.249 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.1251 N.m dan putaran turbin (ω) 32.342 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 8.384% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 1200 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Pada pengujian kecepatan 7.2 m/s dengan beban 2700 gram daya output (P) maksimum yang dihasilkan turbin angin sebesar 11.170 Watt dan daya input (W) 108.242 Watt , dikarenakan torsi (τ) 0.4503 N.m dan putaran turbin (ω) 24.806 rad/s sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin berdasarkan persamaan diatas adalah 10.319% . Dan turbin angin tidak akan menghasilkan efisiensi pada beban 0 dan 3600 gram karena daya output (P) yang dihasilkan 0 Watt .

Dapat disimpulkan bahwa efisiensi maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin sebesar 11.159% pada kecepatan angin 3.2 m/s dengan daya output (P) sebesar 1.060 Watt dan daya input (W) 9.503 Watt .

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan akhirnya dapat ditarik beberapa kesimpulan terkait dengan pengujian unjuk kerja turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut ini :

1. Turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear* dapat beroperasi dengan baik dan menghasilkan putaran yang cukup tinggi 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 pembebanan, semakin berat pembebanan yang diterima oleh turbin maka besar torsi yang dihasilkan oleh turbin juga akan semakin besar, sedangkan pada putaran yang dihasilkan semakin melambat. Hal ini dipengaruhi oleh pembebanan pada *pulley* yang terpasang di poros turbin.
4. Semakin besar pembebanan yang diterima oleh turbin maka daya yang dihasilkan juga akan semakin tinggi dan pada pembebanan tertentu akan didapatkan daya yang maksimum.
5. 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. Dikarenakan makin besarnya *angle of attack* maka turbin juga akan semakin berat pembebanannya.

6. Efisiensi yang dihasilkan turbin angin tergantung pada daya output dan daya input. Daya output yang dihasilkan bergantung pada kecepatan angin dan putaran turbin, apabila kecepatan angin dan putaran turbin makin tinggi maka daya output yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Namun efisiensi tidak selalu dihasilkan pada kecepatan angin dan putaran turbin yang tinggi, karena daya input yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Sehingga efisiensi yang dihasilkan akan lebih kecil daripada turbin angin pada kecepatan angin dan putaran turbin yang rendah.
7. 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.
8. Setelah melakukan pengujian unjuk kerja berdasarkan tabel perhitungan, daya maksimal yang dihasilkan oleh turbin pada kecepatan 3.2 m/s dengan *angle of attack* 20° adalah 0.086 Watt dengan efisiensi 0.909 %, pada 3.2 m/s dengan *angle of attack* 40° adalah 0.297 Watt dengan efisiensi 3.123 %, pada kecepatan 3.2 m/s dengan *angle of attack* 60° adalah 1.060 Watt dengan efisiensi 11.519 %. Pada kecepatan 5.5 m/s dengan *angle of attack* 20° adalah 0.401 Watt dengan efisiensi 0.832 %, pada kecepatan 5.5 m/s dengan *angle of attack* 40° adalah 1.442 Watt dengan efisiensi 2.988 %, pada kecepatan 5.5 m/s dengan *angle of attack* 60° adalah 4.045 Watt dengan efisiensi 8.384 %. Pada kecepatan 7.2 m/s dengan *angle of attack* 20° adalah 0.794 Watt dengan efisiensi 0.734 %, pada kecepatan 7.2 m/s dengan *angle of attack* 40° adalah 3.894 Watt dengan efisiensi 3.598 %, pada kecepatan 7.2 m/s dengan *angle of attack* 60° adalah 11.170 Watt dengan efisiensi 10.319 %.

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 bentuk, ukuran dan jumlah sudu (*blade*) turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear*.
2. Diperlukan penelitian jangka panjang untuk mengetahui efek dari pembebanan terhadap turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear*.
3. Perlu dilakukan pengujian unjuk kerja dari modifikasi lain yang berbeda pada turbin angin sumbu *horizontal 3 blade airfoil clark-y* model *taper linear*.
4. Diperlukan pengujian lebih lanjut terkait dengan *angle of attack* pada sudu (*blade*) *airfoil clark-y* turbin angin sumbu *horizontal* model *taper linear*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://benergi.com/manfaat-energi-angin-sebagai-energi-alternatif>
2. <http://backupkuliah.blogspot.com/2013/06/energi-angin.html>
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
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
11. 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 (°C)	Density, ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N·s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /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^a

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 ²
	Power	watt	W	J/s
	Pressure	pascal	Pa	N/m ²
	Work	joule	J	N · m
SI prefixes	Multiplication Factor	Prefix	SI Symbol	
	1 000 000 000 000 = 10 ¹²	tera	T	
	1 000 000 000 = 10 ⁹	giga	G	
	1 000 000 = 10 ⁶	mega	M	
	1 000 = 10 ³	kilo	k	
	0.01 = 10 ⁻²	centi ^b	c	
	0.001 = 10 ⁻³	milli	m	
	0.000 001 = 10 ⁻⁶	micro	μ	
	0.000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	n	
	0.000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	pico	p	

^aSource: ASTM Standard for Metric Practice E 380-97, 1997.

^bTo 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 Ruang (T)	31 ⁰ 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 (α)	20°, 40°, 60°
8	Beban (m)	0-3600 gram



LAMPIRAN DATA

Data Pendukung :

1. Luas penampang turbin = 0.5 m^2
2. Massa jenis udara (ρ) @T = 31°C = 1.166 kg/m^3
3. Percepatan gravitasi = 9.81 m/s^2

Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal 3 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear* dengan *Angle Of Attack* 20°

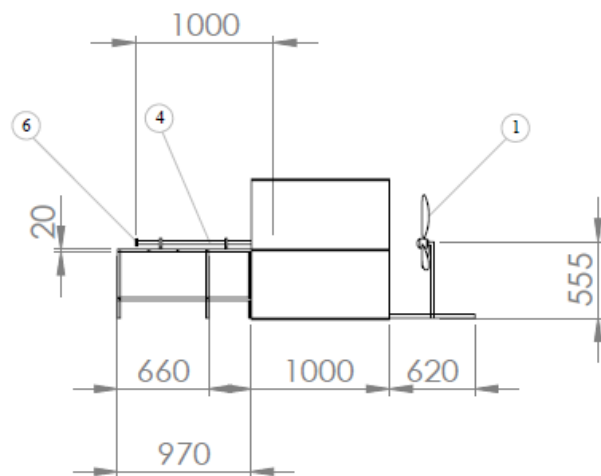
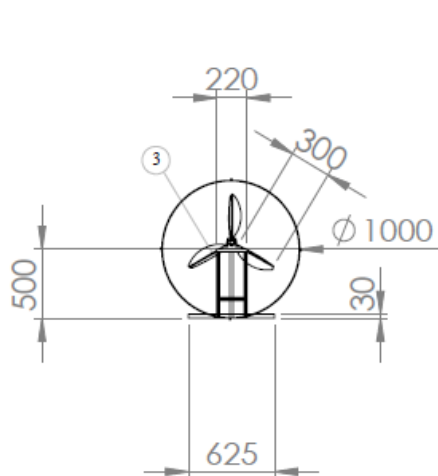
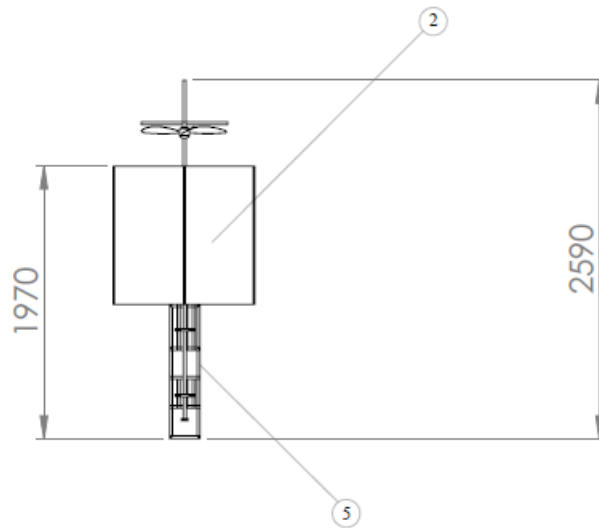
Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)	Daya Ouput (Watt)			Daya Input (Watt)			Efisiensi (%)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
20	0	52	93	117	5.443	9.734	12.246	0	0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0
	50	46	87	113	4.815	9.106	11.827	0.0083	0.040	0.076	0.099	9.503	48.249	108.242	0.422	0.157	0.091
	100	39	77	108	4.082	8.059	11.304	0.0167	0.068	0.134	0.189	9.503	48.249	108.242	0.716	0.279	0.174
	150	33	66	106	3.454	6.908	11.095	0.0250	0.086	0.173	0.278	9.503	48.249	108.242	0.909	0.358	0.256
	200	21	64	104	2.198	6.699	10.885	0.0334	0.073	0.223	0.363	9.503	48.249	108.242	0.771	0.463	0.335
	250	14	61	100	1.465	6.385	10.467	0.0417	0.061	0.266	0.436	9.503	48.249	108.242	0.643	0.552	0.403
	300	0	59	97	0	6.175	10.153	0.0500	0	0.309	0.508	9.503	48.249	108.242	0	0.640	0.469
	350	0	56	93	0	5.861	9.734	0.0584	0	0.342	0.568	9.503	48.249	108.242	0	0.709	0.525
	400	0	54	90	0	5.652	9.420	0.0667	0	0.377	0.628	9.503	48.249	108.242	0	0.781	0.581
	450	0	51	87	0	5.338	9.106	0.0750	0	0.401	0.683	9.503	48.249	108.242	0	0.830	0.631
	500	0	46	83	0	4.815	8.687	0.0834	0	0.401	0.724	9.503	48.249	108.242	0	0.832	0.669
	550	0	38	77	0	3.977	8.059	0.0917	0	0.365	0.739	9.503	48.249	108.242	0	0.756	0.683
	600	0	31	75	0	3.245	7.850	0.1001	0	0.325	0.785	9.503	48.249	108.242	0	0.673	0.726
	650	0	29	70	0	3.035	7.327	0.1084	0	0.329	0.794	9.503	48.249	108.242	0	0.682	0.734
	700	0	25	63	0	2.617	6.594	0.1167	0	0.305	0.770	9.503	48.249	108.242	0	0.633	0.711
	750	0	16	57	0	1.675	5.966	0.1251	0	0.209	0.746	9.503	48.249	108.242	0	0.434	0.689
	800	0	0	52	0	0	5.443	0.1334	0	0	0.726	9.503	48.249	108.242	0	0	0.671
	850	0	0	46	0	0	4.815	0.1418	0	0	0.683	9.503	48.249	108.242	0	0	0.631
	900	0	0	42	0	0	4.396	0.1501	0	0	0.660	9.503	48.249	108.242	0	0	0.610
	950	0	0	39	0	0	4.082	0.1584	0	0	0.647	9.503	48.249	108.242	0	0	0.597
1000	0	0	36	0	0	3.768	0.1668	0	0	0.628	9.503	48.249	108.242	0	0	0.581	
1100	0	0	31	0	0	3.245	0.1834	0	0	0.595	9.503	48.249	108.242	0	0	0.550	
1200	0	0	27	0	0	2.826	0.2001	0	0	0.566	9.503	48.249	108.242	0	0	0.522	
1300	0	0	22	0	0	2.303	0.2168	0	0	0.499	9.503	48.249	108.242	0	0	0.461	
1400	0	0	17	0	0	1.779	0.2335	0	0	0.415	9.503	48.249	108.242	0	0	0.384	
1500	0	0	0	0	0	0	0.2502	0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0	

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal* 3 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper
Linear dengan Angle Of Attack 40°**

Angle of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rpm)			Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)	Daya Ouput (Watt)			Daya Input (Watt)			Efisiensi (%)		
		Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan		Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	Kecepatan	
		Angin	Angin	Angin	Angin	Angin	Angin		Angin	Angin	Angin	Angin	Angin	Angin	Angin	Angin	
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
40	0	103	172	235	10.781	18.003	24.597	0	0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0
	50	101	171	232	10.571	17.898	24.283	0.0083	0.088	0.149	0.202	9.503	48.249	108.242	0.928	0.309	0.187
	100	96	170	225	10.048	17.793	23.550	0.0167	0.168	0.297	0.393	9.503	48.249	108.242	1.763	0.615	0.363
	150	75	166	219	7.850	17.375	22.922	0.0250	0.196	0.435	0.573	9.503	48.249	108.242	2.066	0.901	0.530
	200	70	164	218	7.327	17.165	22.817	0.0334	0.244	0.573	0.761	9.503	48.249	108.242	2.572	1.187	0.703
	250	68	158	216	7.117	16.537	22.608	0.0417	0.297	0.689	0.943	9.503	48.249	108.242	3.123	1.429	0.871
	300	30	151	209	3.140	15.805	21.875	0.0500	0.157	0.791	1.094	9.503	48.249	108.242	1.653	1.639	1.011
	350	22	141	206	2.303	14.758	21.561	0.0584	0.134	0.861	1.259	9.503	48.249	108.242	1.414	1.785	1.163
	400	0	136	203	0	14.235	21.247	0.0667	0	0.950	1.417	9.503	48.249	108.242	0	1.968	1.309
	450	0	127	201	0	13.293	21.038	0.0750	0	0.998	1.579	9.503	48.249	108.242	0	2.068	1.459
	500	0	124	197	0	12.979	20.619	0.0834	0	1.082	1.719	9.503	48.249	108.242	0	2.243	1.588
	550	0	121	192	0	12.665	20.096	0.0917	0	1.162	1.843	9.503	48.249	108.242	0	2.408	1.703
	600	0	117	189	0	12.246	19.782	0.1001	0	1.225	1.979	9.503	48.249	108.242	0	2.540	1.829
	650	0	108	183	0	11.304	19.154	0.1084	0	1.225	2.076	9.503	48.249	108.242	0	2.540	1.918
	700	0	100	180	0	10.467	18.840	0.1167	0	1.222	2.199	9.503	48.249	108.242	0	2.532	2.032
	750	0	96	178	0	10.048	18.631	0.1251	0	1.257	2.330	9.503	48.249	108.242	0	2.605	2.153
	800	0	92	174	0	9.629	18.212	0.1334	0	1.285	2.430	9.503	48.249	108.242	0	2.663	2.245
	850	0	88	172	0	9.211	18.003	0.1418	0	1.306	2.552	9.503	48.249	108.242	0	2.706	2.358
	900	0	83	168	0	8.687	17.584	0.1501	0	1.304	2.639	9.503	48.249	108.242	0	2.702	2.438
	950	0	77	166	0	8.059	17.375	0.1584	0	1.277	2.753	9.503	48.249	108.242	0	2.646	2.543
	1000	0	72	161	0	7.536	16.851	0.1668	0	1.257	2.810	9.503	48.249	108.242	0	2.605	2.596
	1100	0	68	154	0	7.117	16.119	0.1834	0	1.306	2.957	9.503	48.249	108.242	0	2.706	2.732
	1200	0	65	152	0	6.803	15.909	0.2001	0	1.362	3.184	9.503	48.249	108.242	0	2.822	2.941
	1300	0	62	148	0	6.489	15.491	0.2168	0	1.407	3.358	9.503	48.249	108.242	0	2.916	3.103
	1400	0	59	137	0	6.175	14.339	0.2335	0	1.442	3.348	9.503	48.249	108.242	0	2.988	3.093
	1500	0	40	132	0	4.187	13.816	0.2502	0	1.047	3.456	9.503	48.249	108.242	0	2.171	3.193
	1600	0	0	126	0	0	13.188	0.2668	0	0	3.519	9.503	48.249	108.242	0	0	3.251
	1700	0	0	121	0	0	12.665	0.2835	0	0	3.591	9.503	48.249	108.242	0	0	3.317
	1800	0	0	115	0	0	12.037	0.3002	0	0	3.613	9.503	48.249	108.242	0	0	3.338
	1900	0	0	111	0	0	11.618	0.3169	0	0	3.681	9.503	48.249	108.242	0	0	3.401
2000	0	0	108	0	0	11.304	0.3335	0	0	3.770	9.503	48.249	108.242	0	0	3.483	
2100	0	0	102	0	0	10.676	0.3502	0	0	3.739	9.503	48.249	108.242	0	0	3.454	
2200	0	0	99	0	0	10.362	0.3669	0	0	3.802	9.503	48.249	108.242	0	0	3.512	
2300	0	0	97	0	0	10.153	0.3836	0	0	3.894	9.503	48.249	108.242	0	0	3.598	
2400	0	0	92	0	0	9.629	0.4002	0	0	3.854	9.503	48.249	108.242	0	0	3.561	
2500	0	0	85	0	0	8.897	0.4169	0	0	3.709	9.503	48.249	108.242	0	0	3.427	
2600	0	0	78	0	0	8.164	0.4336	0	0	3.540	9.503	48.249	108.242	0	0	3.270	
2700	0	0	56	0	0	5.861	0.4503	0	0	2.639	9.503	48.249	108.242	0	0	2.438	
2800	0	0	38	0	0	3.977	0.4670	0	0	1.857	9.503	48.249	108.242	0	0	1.716	
2900	0	0	0	0	0	0	0.4836	0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0	

**Tabel Perhitungan Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu *Horizontal* 3 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper
Linear dengan Angle Of Attack 60°**

Angle Of Attack (°)	Beban (gram)	Putaran Turbin (rad/s)			Torsi (Nm)	Daya Ouput (Watt)			Daya Input (Watt)			Efisiensi (%)		
		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin		Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s		3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s	3.2 m/s	5.5 m/s	7.2 m/s
60	0	27.527	50.240	60.288	0	0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0
	50	27.213	49.403	59.660	0.0083	0.227	0.412	0.497	9.503	48.249	108.242	2.388	0.854	0.460
	100	24.387	48.356	56.729	0.0167	0.407	0.806	0.946	9.503	48.249	108.242	4.280	1.671	0.874
	150	22.294	47.833	54.531	0.0250	0.558	1.197	1.364	9.503	48.249	108.242	5.869	2.480	1.260
	200	21.143	45.321	52.543	0.0334	0.705	1.512	1.753	9.503	48.249	108.242	7.421	3.133	1.619
	250	19.468	42.076	51.705	0.0417	0.812	1.754	2.156	9.503	48.249	108.242	8.541	3.636	1.992
	300	17.898	41.553	50.868	0.0500	0.895	2.079	2.545	9.503	48.249	108.242	9.423	4.309	2.351
	350	15.909	39.669	50.449	0.0584	0.929	2.315	2.945	9.503	48.249	108.242	9.772	4.799	2.720
	400	14.758	36.843	49.612	0.0667	0.984	2.458	3.310	9.503	48.249	108.242	10.360	5.094	3.058
	450	14.130	37.366	49.193	0.0750	1.060	2.804	3.692	9.503	48.249	108.242	11.159	5.812	3.411
	500	12.665	36.005	48.251	0.0834	1.056	3.002	4.023	9.503	48.249	108.242	11.113	6.223	3.717
	550	11.513	35.377	47.309	0.0917	1.056	3.245	4.339	9.503	48.249	108.242	11.113	6.725	4.009
	600	7.955	33.912	46.367	0.1001	0.796	3.393	4.640	9.503	48.249	108.242	8.376	7.033	4.286
	650	5.338	33.389	45.635	0.1084	0.579	3.619	4.947	9.503	48.249	108.242	6.089	7.501	4.570
	700	0	32.656	45.111	0.1167	0	3.812	5.266	9.503	48.249	108.242	0	7.901	4.865
	750	0	32.342	44.693	0.1251	0	4.045	5.590	9.503	48.249	108.242	0	8.384	5.164
	800	0	28.469	44.169	0.1334	0	3.798	5.893	9.503	48.249	108.242	0	7.872	5.444
	850	0	25.225	43.227	0.1418	0	3.576	6.128	9.503	48.249	108.242	0	7.411	5.661
	900	0	22.503	42.181	0.1501	0	3.378	6.331	9.503	48.249	108.242	0	7.000	5.849
	950	0	20.619	41.343	0.1584	0	3.267	6.550	9.503	48.249	108.242	0	6.771	6.051
	1000	0	18.003	40.611	0.1668	0	3.002	6.773	9.503	48.249	108.242	0	6.223	6.257
	1100	0	12.665	39.878	0.1834	0	2.323	7.315	9.503	48.249	108.242	0	4.815	6.758
	1200	0	0	39.145	0.2001	0	0	7.834	9.503	48.249	108.242	0	0	7.237
	1300	0	0	38.308	0.2168	0	0	8.305	9.503	48.249	108.242	0	0	7.673
	1400	0	0	36.633	0.2335	0	0	8.553	9.503	48.249	108.242	0	0	7.902
	1500	0	0	35.796	0.2502	0	0	8.955	9.503	48.249	108.242	0	0	8.273
	1600	0	0	34.854	0.2668	0	0	9.300	9.503	48.249	108.242	0	0	8.592
	1700	0	0	33.598	0.2835	0	0	9.525	9.503	48.249	108.242	0	0	8.800
	1800	0	0	32.865	0.3002	0	0	9.866	9.503	48.249	108.242	0	0	9.115
	1900	0	0	32.237	0.3169	0	0	10.215	9.503	48.249	108.242	0	0	9.437
	2000	0	0	31.505	0.3335	0	0	10.508	9.503	48.249	108.242	0	0	9.708
	2100	0	0	30.563	0.3502	0	0	10.704	9.503	48.249	108.242	0	0	9.889
	2200	0	0	29.621	0.3669	0	0	10.868	9.503	48.249	108.242	0	0	10.040
	2300	0	0	28.679	0.3836	0	0	11.000	9.503	48.249	108.242	0	0	10.163
	2400	0	0	27.423	0.4002	0	0	10.976	9.503	48.249	108.242	0	0	10.140
	2500	0	0	26.271	0.4169	0	0	10.953	9.503	48.249	108.242	0	0	10.119
2600	0	0	25.434	0.4336	0	0	11.028	9.503	48.249	108.242	0	0	10.189	
2700	0	0	24.806	0.4503	0	0	11.170	9.503	48.249	108.242	0	0	10.319	
2800	0	0	23.236	0.4670	0	0	10.850	9.503	48.249	108.242	0	0	10.024	
2900	0	0	22.399	0.4836	0	0	10.833	9.503	48.249	108.242	0	0	10.008	
3000	0	0	21.143	0.5003	0	0	10.578	9.503	48.249	108.242	0	0	9.772	
3100	0	0	20.410	0.5170	0	0	10.552	9.503	48.249	108.242	0	0	9.748	
3200	0	0	18.945	0.5337	0	0	10.110	9.503	48.249	108.242	0	0	9.340	
3300	0	0	14.863	0.5503	0	0	8.180	9.503	48.249	108.242	0	0	7.557	
3400	0	0	13.607	0.5670	0	0	7.715	9.503	48.249	108.242	0	0	7.128	
3500	0	0	11.618	0.5837	0	0	6.781	9.503	48.249	108.242	0	0	6.265	
3600	0	0	0	0.6004	0	0	0	9.503	48.249	108.242	0	0	0	



6	1	<i>Pulley</i>	<i>Lilin Parafin</i>	
5	1	<i>Chassis</i>	Besi	
4	1	Poros Turbin	Aluminium	
3	3	<i>Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear</i>	Kayu Jati	
2	1	Penyearah Aliran Angin	Mika	
1	1	Blower	Aluminium	
NO	JUMLAH	NAMA BAGIAN	BAHAN	
	SKALA : 1 : 20	DIGAMBAR : M. HERMAWAN L.	KETERANGAN :	
	UKURAN : mm	NRP : 2114030076		
	TANGGAL : 04-04-2017	DILIHAT : DEDY Z. NOOR ST. MT. PhD		
DEPT. TEKNIK MESIN INDUSTRI	Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Blade Airfoil Clark-Y Model Taper Linear		No 1	A4

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 29 Maret 1995 di Mojokerto, Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN 1 Sooko Mojokerto, SMPN 1 Sooko Mojokerto, dan SMAN 1 Sooko Mojokerto 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 dan mengikuti pelatihan-pelatihan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, seperti Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar (PJTD), Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI), dan Latihan Kepemimpinan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar (LKMM Pra-TD). Penulis juga pernah menjadi staf di Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Industri FV-ITS. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. IPMOMI Paiton-Probolinggo, Jawa Timur.