

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT
DENGAN 12 PELAT PENGARAH
BERSUDUT 15°, 30°, DAN 45°**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin**



Oleh :

ANDRI SUHENDRA

NIM : 105214003

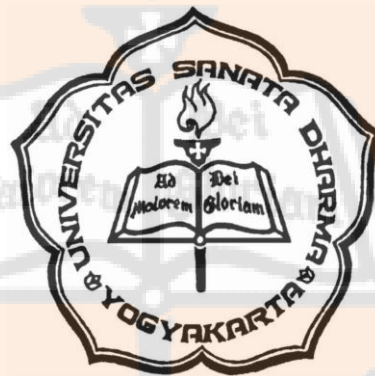
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2015

**TWO-BLADES TWO-LEVELS SAVONIUS WINDMILL WITH
12 STEERING PLATES, AND ANGLES
15°, 30°, 45°**

FINAL PROJECT

**Presented as partial fulfilment of the requirement
to obtain the *Sarjana Teknik* degree
in Mechanical Engineering**



by

ANDRI SUHENDRA

Student Number : 105214003

**MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPARTEMEN OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
SANATA DHARMA UNIVERSITY
YOGYAKARTA**

2015

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT
DENGAN 12 PELAT PENGARAH
BERSUDUT 15° , 30° , DAN 45°**



Disusun Oleh:

ANDRI SUHENDRA
NIM : 105214003

Telah Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rines'.

Ir. Rines, M.T.

Tanggal : ²²Februari 2015

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT
DENGAN 12 PELAT PENGARAH
BERSUDUT 15°, 30°, DAN 45°**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

**NAMA : ANDRI SUHENDRA
N.I.M : 105214003**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal Januari 2015

Susunan Dewan Penguji

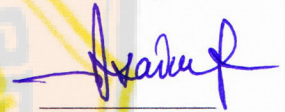
Nama Lengkap

Ketua : Dr. Asan Damanik

Sekretaris : Doddy Purwadianto, S.T, M.T.

Anggota : Ir. Rines, M.T.

Tanda tangan



Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, 22 Februari 2015
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sanata Dharma
Yogyakarta

Dekan




Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam Tugas Akhir dengan judul :


KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT DENGAN 12 PELAT PENGARAH BERSUDUT 15°, 30°, DAN 45°

Yang dibuat untuk melengkapi persyaratan yang wajib ditempuh untuk menjadi Sarjana Teknik pada Program Strata-1, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan di Universitas Sanata Dharma maupun di Perguruan Tinggi manapun. Kecuali bagian informasinya dicantumkan dalam daftar pustaka.

Dibuat di : Yogyakarta

Pada tanggal : 22 Februari 2105

Penulis



Andri Suhendra

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma :

Nama : ANDRI SUHENDRA

Nomor Mahasiswa : 105214003

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah yang berjudul :

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT
DENGAN 12 PELAT PENGARAH BERSUDUT
15° 30° DAN 45°**

Dengan demikian saya memberikan kepada perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikanya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya maupun memberikan royalti kepada saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Yogyakarta

Pada tanggal 29 Februari 2015

Yang menyatakan



(Andri Suhendra)

INTISARI

Dengan meningkatnya kebutuhan energi, maka kegiatan di bidang energi makin lama makin meningkat. Peningkatan kegiatan di bidang konservasi energi ini di satu pihak menuntut ditingkatkannya jumlah tenaga ahli dalam bidang konservasi energi dan energi terbarukan. Berbagai upaya pencarian sumber energi baru telah dilakukan oleh para peneliti di berbagai negara untuk mendapatkan energi alternatif. Salah satu energi alternatif tersebut adalah energi angin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui koefisien daya puncak dari pada model-model kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ dan tanpa pelat pengarah kemudian menentukan model-model kincir angin Savonius yang memiliki koefisien daya puncak tertinggi. Dari model tersebut akan dicari koefisien daya maksimal yang paling baik.

Model kincir angin yang diteliti adalah kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat, berdiameter 65 cm dan tinggi 85 cm dengan pelat pengarah berjumlah 12 buah dengan lebar 12,5 cm dan tinggi 90 cm. Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin maksimum yang dihasilkan terowongan angin yang ada di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Dari hasil penelitian kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ dan tanpa pelat pengarah dapat dicari unjuk kerja kincir angin terbaik. Berdasarkan data yang diperoleh koefisien daya (C_p) dengan *Tip Speed Ratio* (TSR) dari Beberapa jenis kincir diketahui bahwa koefisien daya, C_p kincir angin Savonius tertinggi sebesar 27,20% , pada hasil penelitian bahwa kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 45° dengan koefisien daya memiliki koefisien daya kurang lebih sebesar 27,20 %.

ABSTRACT

In order to increase the energy needs, therefore the activity in the field of energy which is increasing gradually. The enhancement of the activity in a field of energy conversion on the other hand demand to be enhanced the number of experts in a field of energy conservation and renewable energy. There were some activities which have been done by researchers to find the new energy resources, especially in obtaining the alternative energy in every country. The one of alternative energy is the wind energy. This study is conducted to learn the peak power coefficient from some models Savonius' windmill in two angles two levels with an additional 12 steering plates which have 15°, 30°, 45° and without steering plate which determine the highest peak power coefficient in the models. Savonius has the highest peak power coefficient. Besides, the model is conducted to find the best maximum power.

The model of windmill which is examined in this research are two blade Savonius windmill in two levels, the diameter of 65 cm and height of 85 cm with a steering plate amounted to 12 pieces with a width of 12.5 cm and a height of 90 cm. The wind speed which is used in this research is the maximum result that generated wind tunnel in Energy Conversion Laboratory of Mechanical Engineering Sanata Dharma University in Yogyakarta.

Moreover, from the research the Savonius windmill two blades two levels in an additional with 12 plates steering angle 15°, 30°, and 45 ° can be found without a steering plate for the best performance. Based on the data which is obtained is the power coefficient (C_p) with Tip Speed Ratio (TSR) of some types turbines in the power coefficient, C_p Savonius windmill in the high level is 27.20%, the results of research that two blade Savonius windmill, two levels with an additional 12 plates steering have the angle of 45 ° with the power coefficient of approximately 27.20%.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tugas Akhir ini merupakan sebagai salah satu syarat yang wajib untuk setiap mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Tugas Akhir ini dilaksanakan dalam rangka memenuhi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Berkat bimbingan, dukungan dan nasihat dari berbagai pihak, akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini dengan segenap kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ir. PK. Purwadi, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Ir. Rines, M.T. selaku Pembimbing Tugas Akhir.
4. Doddy Purwadianto, M.T. selaku Kepala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
5. Suherman dan Endang. selaku orang tua yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, biaya, serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi sedikit imbalan kecil untuk jasa besar kalian selama ini.
6. Chelsea Afrillini yang selalu memberikan dorongan serta doa sehingga penulis terus gigih dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Semua sahabat saya dan Teknik Mesin USD yang sudah memotivasi dalam menulis skripsi ini dengan semangat alunan musik band metal.
8. Teman-teman angkatan 2010, 2012 Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma atas bantuan dan kebersamaan kita selama ini.

9. Semua pihak lain yang telah membantu dan mendukung penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Segala kritik dan saran yang membangun akan sangat penulis harapkan demi penyempurnaan di kemudian hari. Akhir kata seperti yang penulis harapkan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 22 Februari 2015



Penulis

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
A	Luas penampang (m^2)
C_p	Koefisien daya (%)
d	Diameter kincir (m)
E_k	Energi kinetik (joule)
F	Gaya pengimbang (N)
m	Massa (kg)
\dot{m}	Massa udara yang mengalir per satuan waktu (kg/s)
N	Kecepatan putar kincir (rpm)
P_{in}	Daya angin (watt)
P_{out}	Daya kincir (watt)
L	Panjang lengan torsi (m)
R	Jari-jari
T	Torsi (N.m)
tsr	<i>tip speed ratio</i>
V	Kecepatan angin(m/s)
ρ	Massa jenis udara (kg/m^3)
ω	Kecepatan sudu (rda/s)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
DAFTAR DEWAN PENGUJI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PUBLIKASI	vi
INTISARI	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR SIMBOL.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan masalah	2
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Energi Angin	4
2.2 Kincir Angin.....	4
2.2.1 Kincir Angin Poros Horizontal	5
2.2.2 Kincir Angin Poros Vertikal	6
2.3 Kincir Angin Savonius Tambahan 12 Pelat Pengarah 15° 30° Dan 45°..	7
2.3.1 Prinsip Kerja Kincir Angin	7
2.4 Perhitungan Pada Kincir	8
2.4.1 Daya Angin	8

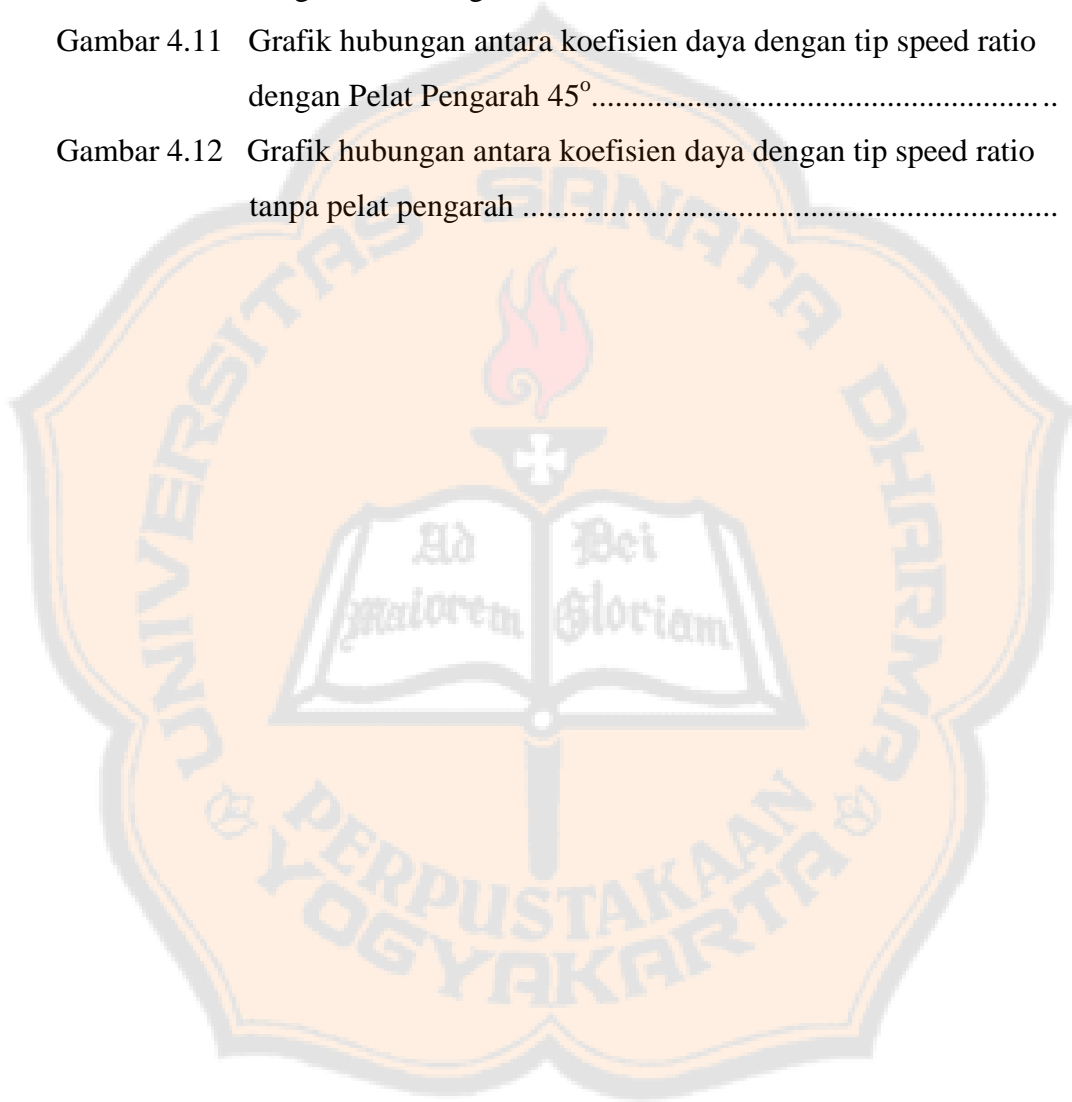
PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

2.4.2	Torsi Kincir Angin	9
2.4.3	Daya Kincir Angin	9
2.4.4	<i>Tip Speed Ratio</i>	11
2.4.5	Koefisien Daya	11
BAB III METODE PENELITIAN		13
3.1	Objek Penelitian	13
3.2	Metode Penelitian	13
3.2.1	Pengumpulan Data	14
3.2.2	Analisis Data	14
3.3	Proses Pembuatan Kincir, Pengambilan Data, Dan Penelitian	15
3.4	Variabel Penelitian Dan Pengambilan Data	21
3.5	Langkah Pengolahan Data	22
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		24
4.1	Hasil Data Percobaan	24
4.2	Pengolahan Data Dan Perhitungan	30
4.2.1	Perhitungan Daya Angin	31
4.2.2	Perhitungan Daya Kincir	31
4.2.3	Perhitungan Tip Speed Ratio	32
4.2.4	Perhitungan Koefisien Daya Kincir	33
4.3	Grafik Hasil Perhitungan	38
4.4	Pembahasan	44
BAB V PENUTUP		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		48
LAMPIRAN		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kincir Angin Poros Horisontal	5
Gambar 2.2	Kincir Jenis-Jenis Kincir Sumbu Vertikal	6
Gambar 2.3	Angkat (<i>lift force</i>) dan Gaya Dorong (<i>Drag force</i>)	8
Gambar 2.4	Diagram C_p vs tsr	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Langkah Kerja Penelitian	14
Gambar 3.2	Konstruksi kincir Angin yang di buat dalam Penelitian	15
Gambar 3.3	Skema Kincir Keseluruhan	16
Gambar 3.4	Pelat Penyangah	16
Gambar 3.5	Batang Penyangah Kincir	17
Gambar 3.6	Sistem Pembebanan	18
Gambar 3.7	Papan Penyangah Pelat Pengarah	28
Gambar 3.8	Trowongan Angin atau Wind Trunel	19
Gambar 3.9	Blower	19
Gambar 3.10	Tachometer	20
Gambar 3.11	Anemometer	20
Gambar 3.12	Neraca Pegas	21
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi pelat pengarah 15°	38
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi pelat pengarah 30°	39
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi pelat pengarah 45°	39
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara putaran Poros dengan torsi tanpa pelat pengarah	40
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir dengan pelat pengarah 15°	40
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir dengan pelat pengarah 30°	41
Gambar 4.7	Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir dengan pelat pengarah 45°	41
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir tanpa pelat pengarah	42

Gambar 4.9	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio dengan Pelat Pengarah 15°	42
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio dengan Pelat Pengarah 30°	43
Gambar 4.11	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio dengan Pelat Pengarah 45°	43
Gambar 4.12	Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio tanpa pelat pengarah	44



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data percobaan kincir dengan 12 pelat pengarah dengan Sudut 15°	24
Tabel 4.2	Data percobaan kincir dengan 12 pelat pengarah dengan Sudut 30°	26
Tabel 4.3	Data percobaan kincir dengan 12 pelat pengarah dengan Sudut 45°	27
Tabel 4.4	Data percobaan kincir dengan tanpa pelat pengarah	29
Tabel 4.5	Data hasil perhitungan kincir angin dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 15°	34
Tabel 4.6	Data hasil perhitungan kincir angin dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 30°	35
Tabel 4.7	Data hasil perhitungan kincir angin dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 45°	36
Tabel 4.8	Data hasil perhitungan kincir angin tanpa pelat pengarah	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya kebutuhan energi, maka kegiatan di bidang energi makin lama makin meningkat. Peningkatan kegiatan di bidang konservasi energi ini di satu pihak menuntut ditingkatkannya jumlah tenaga ahli dalam bidang konservasi energi dan energi terbarukan.

Berbagai upaya pencarian sumber energi baru telah dilakukan oleh para peneliti di berbagai negara untuk mendapatkan energi alternatif. Salah satu energi alternatif tersebut adalah energi angin. Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi yang cukup tinggi dalam penggunaan energi angin. Angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan kincir angin. Kincir angin akan mengubah energi kinetik yang dimiliki angin menjadi energi mekanik yang kemudian dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini, kincir angin yang di pilih adalah jenis kincir angin Savonius yang vertikal. Dengan menggunakan kincir angin Savonius, yang dilengkapi daya generator listrik energi angin dapat di ubah menjadi energi listrik. Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk tujuan untuk mendapatkan karakteristik sebuah model kincir savonius yang dilengkapi dengan pelat-pelat pengarah.

1.2 Rumusan Masalah

Untuk membuat penelitian ini terorganisasi dengan baik, masalah yang dapat di rumuskan dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besarkah unjuk kerja terbaik dari model-model angin Savonius dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° dibandingkan dengan model tanpa pelat pengarah.
2. Model kincir manakah diantara model-model yang diteliti memiliki unjuk kerja terbaik.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui koefisien daya puncak pada model-model kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah.
2. Menentukan model-model kincir angin Savonius yang memiliki koefisien daya puncak tertinggi.

1.4 Manfaat

Manfaat yang bisa didapatkan, dari penelitian ini antara lain:

1. Menjadi sumber informasi mengenai unjuk kerja kincir angin Savonius.
2. Memberi solusi lain dalam pemanfaatan energi angin yang ada di Indonesia.
3. Memberi pengembangan teknologi terhadap energi alternatif terutama pada energi tenaga angin.

1.5 Batasan Masalah

Kincir angin memiliki banyak jenis dan ukuran. Agar penelitian ini terorganisasi dengan baik dan tidak melenceng jauh, peneliti memberi batasan pada penelitian ini. Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

1. Kincir angin yang diteliti adalah kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat, berdiameter 65 cm dan tinggi 85 cm.
2. Pelat pengarah berjumlah 12 buah dengan lebar 12,5 cm dan tinggi 90 cm.
3. Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin maksimum yang di hasilkan terowongan angin.
4. Penelitian dilakukan pada sebuah terowongan angin yang ada di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.



BAB II

DASAR TEORI

Ada tiga hal yang akan didiskusikan pada bab ini. Pertama, mengulas teori-teori tentang energi angin. Kedua, meninjau teori-teori mengenai kincir angin. Ketiga, menyajikan rumus-rumus perhitungan yang berhubungan dengan energi dan kincir angin.

2.1 Energi Angin

Energi angin didapatkan dari alam dan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan seperti pompa piston, penggilingan, dan lain-lain. Itu berarti banyak kegiatan manusia yang sangat bergantung pada kekuatan energi angin.

Energi mekanik selanjutnya berguna untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Kedua proses pengubahan ini disebut konversi energi angin sedangkan sistem atau alat yang melakukannya disebut SKEA (Sistem Konversi Energi Angin). Selanjutnya, untuk menghasilkan listrik disebut SKEA listrik atau lebih dikenal sebagai turbin angin dan untuk mekanik disebut SKEA mekanik atau kincir angin.

Sekarang ini, energi angin lebih umum dimanfaatkan dalam bentuk energi listrik. Pemanfaatan energi angin secara langsung di bidang pertanian, peternakan, dan untuk memutar peralatan seperti alat penggilingan sudah mulai jarang dilakukan.

2.2 Kincir Angin

Kincir angin adalah sebuah alat yang didesain sehingga mampu memanfaatkan energi angin kemudian mengubah kekuatan angin tersebut menjadi energi mekanik. Kincir angin banyak ditemukan di Belanda dan Denmark yang pada waktu itu banyak digunakan untuk

irigasi, menyimpan hasil panen, dan penggilingan gandum.

Berdasarkan posisi poros, kincir angin dapat dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu kincir angin poros horizontal dan kincir angin poros vertikal. Dalam penelitian ini, pengertian kincir angin poros horizontal dan vertikal disajikan sebagai dasar teori dalam penelitian ini.

2.2.1 Kincir Angin Poros Horizontal

Kincir Angin Poros Horizontal atau *Horizontal Axis Wind Turbin* (HAWT) adalah kincir angin yang banyak digunakan saat ini. Kincir angin poros horizontal adalah kincir angin yang memiliki poros rotasi yang horizontal, atau dengan kata lain sejajar dengan arah tiupan angin. Jenis poros horizontal/datar ini bisa berupa turbin angin maupun kincir angin dengan sudu yang terbuat dengan profil pelat lengkung, layar, atau pun propeller. Kincir ini terdiri dari sebuah menara dan kincir yang berada pada puncak menara tersebut. Poros kincir dapat berputar 360° terhadap sumbu vertikal untuk menyesuaikan arah angin. Gambar kincir angin sumbu horizontal diberikan di bawah ini.

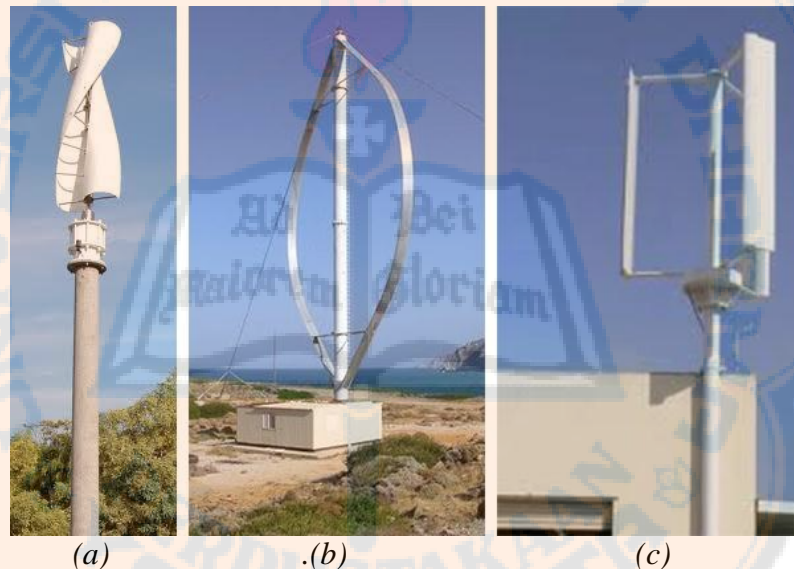


Gambar 2.1 Kincir Angin Poros Horizontal
(Sumber: www.indoenergi.com/2012/07/jenis-jenis-turbin-angin.html, 28 Mei 2014)

2.2.2 Kincir Angin Poros Vertikal

Kincir angin jenis kedua yaitu kincir angin poros vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbin (VAWT)* pada dasarnya cara kerja komponen-komponen turbin angin bersumbu vertikal dan horisontal adalah sama, letak perbedaan utamanya adalah pada turbin angin bersumbu vertikal, rotor berputar pada sumbu vertikal.

Terdapat tiga jenis desain kincir angin bersumbu vertikal. Dibawah ini diberikan gambar ketiga jenis desain kincir angin bersumbu vertikal.



(a) .(b) (c)

Gambar 2.2 Jenis-Jenis Kincir Sumbu Vertikal
(a) kincir Savonius, (b) kincir Darrieus (c) Giromill

(Sumber: www.whypgen-bppt.com/whypgen-technology/item/758-jenis-jenis-teknologi-energi-angin.html, 28 Mei 2014)

Gambar 2(a) adalah kincir angin poros tegak tipe Savonius yang kebanyakan menggunakan sudu tipe pelat lengkung.

Gambar 2(b) adalah kincir angin Darrieus yang merupakan salah satu tipe turbin angin poros tegak yang menggunakan sudu profil propeller. Dalam aplikasinya turbin angin darrius pada umumnya memerlukan kecepatan angin awal yang lebih tinggi untuk *start up*. Dengan

kondisi demikian, seringkali tipe turbin angin darrieus memerlukan penggerak mula (*prime mover*) untuk *start up*, dan penggerak mula akan berhenti setelah dicapai batas minimum untuk menggerakkan turbin secara mandiri.

Desain kincir angin bersumbu vertikal yang ditanyakan pada Gambar 2(c) adalah kincir angin girromill yang mempunyai konstruksi dan karakteristik yang mirip dengan tipe Darrius, bedanya hanya pada posisi rotor dimana untuk turbin angin giromill, sudu sama-sama menggunakan profil propeller dan dipasang tegak sejajar dengan poros. Sedangkan pada tipe Darrieus, sudu *propeller* dipasangkan melengkung.

2.3 Kincir Angin Savonius dengan Tambahan 12 Pelat Pengarah 15°, 30° dan 45°

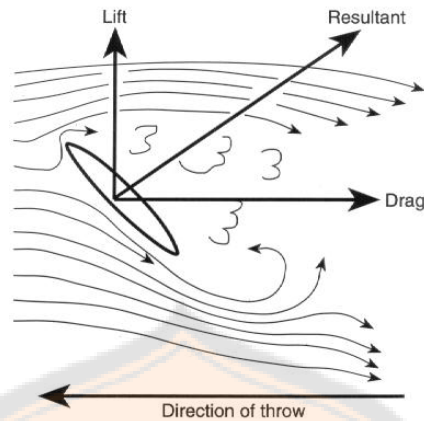
Penelitian ini hanya akan meneliti mengenai kincir angin vertikal berdesain Savonius dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15°, 30°, dan 45°. Kincir angin jenis ini merupakan jenis kincir angin poros vertikal yang pada umumnya mempunyai 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu, ataupun banyak sudu. Kincir jenis ini memiliki torsi yang besar pada putaran rendah. Kincir angin ini mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan kincir angin Savonius dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15°, 30°, dan 45° adalah:

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Tidak berubah posisinya jika arah angin berubah.
- c. Memiliki torsi yang besar pada putaran rendah

2.3.1 Prinsip Kerja Kincir Angin

Prinsip kerja Kincir Angin adalah mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*) dan gaya angkat (*lift force*).

Gaya dorong (*drag force*) adalah gaya yang sejajar dengan arah gerakan arah angin untuk kincir angin Savonius. Gaya angkat (*lift force*) adalah gaya yang tegak lurus terhadap gerakan arah angin untuk kincir angin horisontal.



Gambar 2.3 Gaya Angkat (lift force) dan Gaya Dorong (Drag force)

(www.getsttpin.com/2014/03/jenis-jenis-turbin-angin.htm)

2.4 Perhitungan Pada Kincir

2.4.1 .Daya Angin

Energi yang terdapat pada angin adalah energi kinetik, sehingga secara umum disampaikan pada Persamaan (1):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

dengan E_k adalah energi kinetik (J), m adalah massa udara (kg), dan v adalah kecepatan angin (m/s).

Daya merupakan energi per satuan waktu, maka dari persamaan di atas dapat dituliskan:

$$P_{in} = \frac{1}{2}\dot{m}v^2 \quad (2)$$

dengan P_{in} adalah daya yang dihasilkan angin J/s atau watt, \dot{m} adalah massa udara yang mengalir per satuan waktu, (kg/detik), v adalah kecepatan angin (m/detik).

Massa udara yang mengalir persatuan waktu adalah:

$$\dot{m} = \rho Av \quad (3)$$

dengan ρ adalah massa jenis udara ($1,18 \text{ kg/m}^3$) pada suhu sekitar 28°C , A adalah luas penampang yang membentuk sebuah lingkaran (m^2).

Dengan menggunakan Persamaan (3), maka daya angin (P_{in}) dapat

dirumuskan menjadi : $P_{in} = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2$

disederhanakan menjadi : $P_{in} = \frac{1}{2} \rho Av^3$ (4)

2.4.2 Torsi Kincir Angin

Torsi adalah gaya yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu kincir, dimana gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar .
Persamaannya:

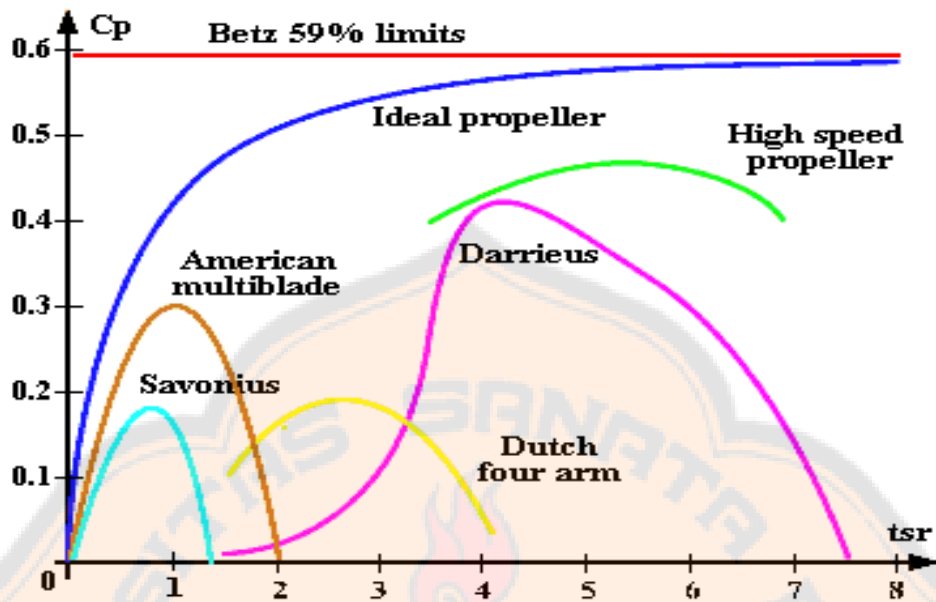
$$T = F.l \quad (5)$$

Dengan T adalah torsi dinamis yang dihasilkan dari putaran poros (Nm), F adalah gaya pada poros akibat dari puntiran (N), dan l adalah jarak lengan torsi ke poros (m).

2.4.3 Daya Kincir Angin

Daya kincir angin adalah daya yang dihasilkan oleh poros kincir akibat daya angin yang melintasi sudu-sudu kincir. Pada tahun 1919 seorang fisikawan Jerman, Albert Betz, menyimpulkan bahwa tidak akan pernah ada turbin angin yang dapat mengkonversi energi kinetik angin ke dalam bentuk energi yang menggerakkan rotor (kinetik) lebih dari $16/27$ (59,3%). Dan hingga hari ini hal tersebut dikenal dengan Betz Limit atau Hukum Betz. Batasan ini tidak ada hubungannya dengan ketidak efisienan pada generator, tapi lebih kepada bentuk turbin angin itu sendiri.

Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik dari beberapa tipe kincir.



Gambar 2.4 Diagram C_p vs tsr

(Sumber: Johnson, 2006, hal. 18)

Umumnya perhitungan daya gerak melingkar dapat dituliskan dengan Persamaan :

$$P = T \cdot \omega \tag{6}$$

dengan T adalah torsi dinamis (Nm), ω adalah kecepatan sudut (rad/s).

Kecepatan sudut (ω) didapat dari :

$$\begin{aligned} \omega &= n \cdot rpm = \frac{\text{putaran}}{\text{menit}} \\ &= n \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ detik}} \\ &= \frac{n\pi}{30 \text{ detik}} \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Dengan demikian daya yang dihasilkan oleh kincir dinyatakan dengan persamaan :

$$P_{out} = T\omega$$

$$P_{out} = T \frac{n\pi}{30} \text{ watt} \quad (7)$$

dengan P_{out} adalah daya yang dihasilkan kincir angin (watt), n adalah putaran poros (rpm).

2.4.4 Tip Speed Ratio (tsr)

Tip Speed Ratio (tsr) adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu kincir angin yang berputar dengan kecepatan angin.

Rumus kecepatan diujung sudu (V_t) adalah:

$$(V_t) = \omega r$$

dengan V_t adalah kecepatan ujung sudu, ω adalah kecepatan sudut (rad/detik), dan r adalah jari-jari kincir (m).

Sehingga tsr nya dapat dirumuskan dengan:

$$tsr = \frac{\pi.r.n}{30.v} \quad (8)$$

dengan r adalah jari-jari kincir angin (m), n adalah kecepatan putaran kincir dengan satuan (rpm), v adalah kecepatan angin (m/s).

2.4.5 Koefisien Daya (C_p)

Koefisien daya (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh kincir (P_{out}) dengan daya yang disediakan oleh angin (P_{in}), sehingga dapat dirumuskan:

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \quad (9)$$

dengan C_p adalah koefisien daya (%), P_{out} adalah daya yang dihasilkan oleh kincir (watt), P_{in} adalah daya yang dihasilkan oleh angin (watt).



BAB III

METODE PENELITIAN

Setelah mendiskusikan tinjauan teori, pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam melakukan penelitian ini. Ada dua hal utama yang akan didiskusikan pada bagian ini. Dua hal utama tersebut adalah objek penelitian dan metode penelitian.

3.1 Objek Penelitian

Penelitian ini membahas mengenai unjuk kerja kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah. Data penelitian ini diambil dari hasil proses pembuatan kincir dan pengujian kincir angin di laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Mencari unjuk kerja kincir angin Savonius dengan tambahan 12 pelat pengarah 15° , 30° dan 45° dianalisa dengan cara pengujian menggunakan terowongan angin. Setelah, didapatkan hasil unjuk kerja kincir angin setelah hasil pengujian dan pengolahan data kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan pelat 12 pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah.

3.2 Metode Penelitian

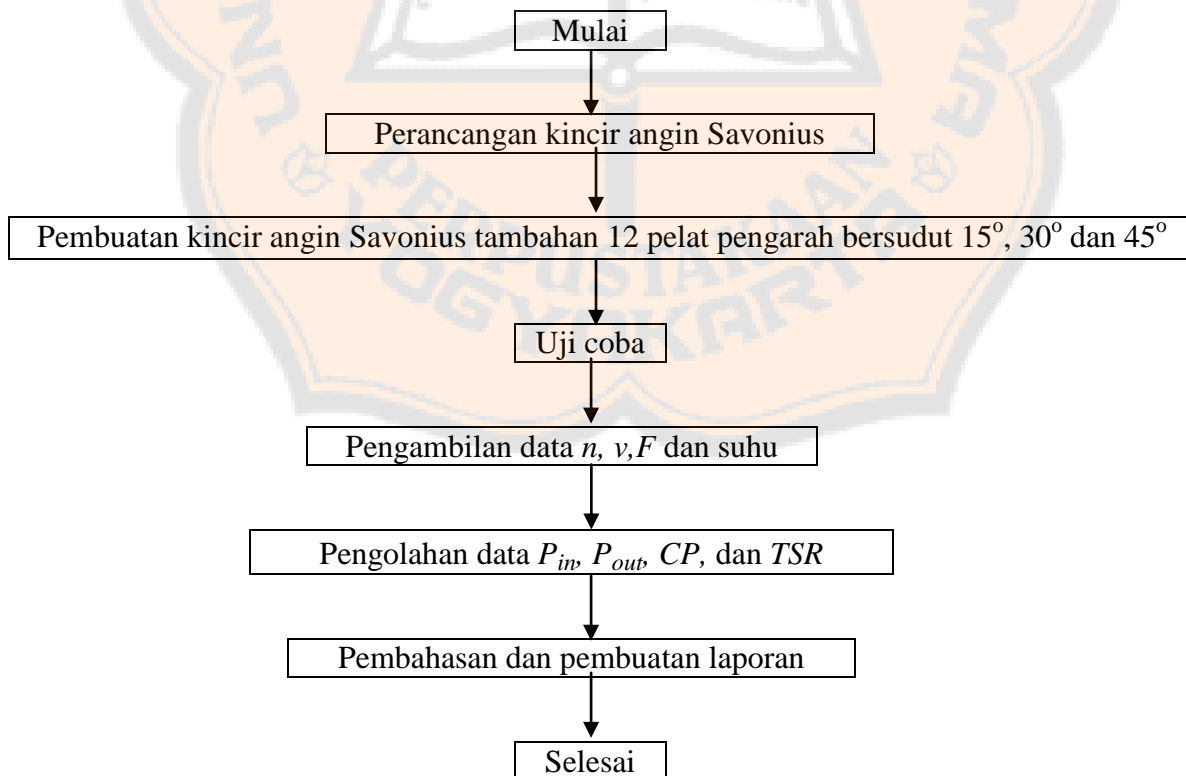
Bagian ini akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengumpulan data dan analisis data. Pengumpulan data mendiskusikan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian ini digunakan adalah metode sampli.

3.2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode *sampling*. Sampelnya didapatkan dari hasil penelitian kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah. Penelitian ini tidak menggunakan metode populasi karena tidak meneliti semua tipe kincir vertikal yang ada. Penelitian ini mencari unjuk kerja kincir angin Savonius dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah dan mengetahui koefisien daya tertinggi. Hasil penelitian didapatkan dari hasil proses pembuatan kincir dan pengujian dilaboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

3.2.2 Analisis Data

Langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam diagram alir penelitian seperti yang dirumuskan di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Langkah Kerja Penelitian

3.3 Proses Pembuatan Kincir, Pengambilan Data, dan Penelitian

Proses pembuatan kincir, pengambilan data, dan penelitian dimulai pada semester genap Tahun Ajaran 2013/2014 di laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Model kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 3.2

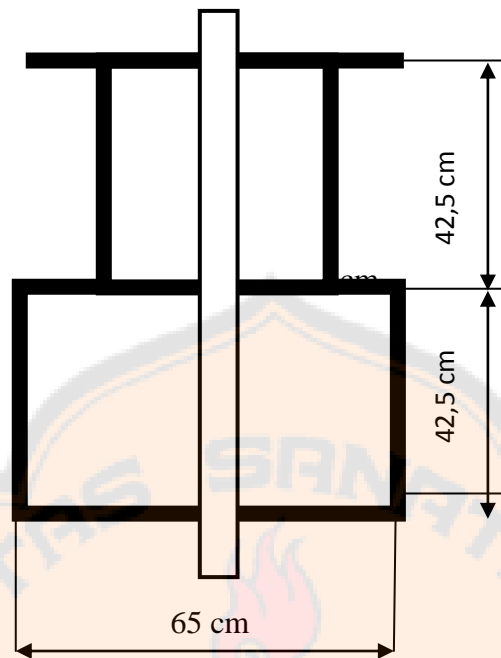


Gambar 3.2 Kontruksi Kincir Angin yang di buat dalam Penelitian

Kincir angin Savonius pada konstruksi diatas memiliki beberapa bagian penting, yaitu :

1. Sudu

Sudu kincir untuk kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° terbuat dari pelat seng dengan tebal 2 mm yang digunakan untuk menangkap angin yang melintasi kincir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema Kincir Keseluruhan.

2. Pelat Pengarah

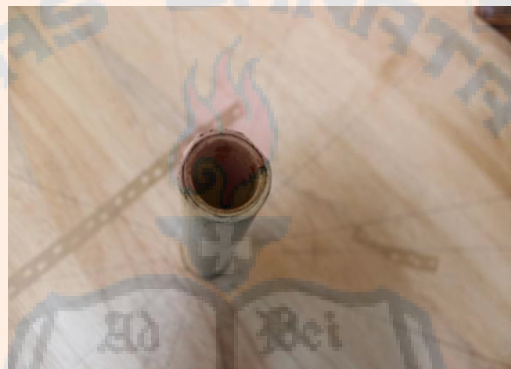
Pelat pengarah berfungsi sebagai penangkap dan mengarahkan angin menuju sudu utama. Pelat ini terbuat dari triplek dengan panjang 90 cm, lebar 12,5 cm dan tebal 0,4 cm dan pada sisi samping di lapiasi aluminium. Pada sisi bagian atas dan bawah dipasangkan aluminium L sebagai penyanggah agar dapat di pasang pada papan penyanggah pelat, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Pelat Pengarah

3. Batang Penyanggah Kincir Angin atau Poros

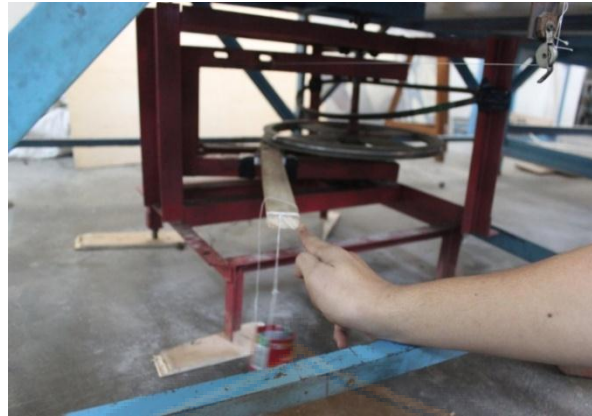
Penyangga kincir atau poros terbuat dari paralon $\frac{3}{4}$ " yang di satuakan dengan palaron $\frac{1}{2}$ " agar kuat dan tidak mudah patah. Bagian ini berfungsi untuk mentransmisikan putaran kincir menuju alat pembebanan. Proses pembuatan dengan cara paralon $\frac{3}{4}$ " di potong satu bagian secara horizontal lalu paralon $\frac{1}{2}$ " yang di masukan kedalamnya, dengan panjang paralon 120 cm. seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Batang Penyangga Kincir

4. Sistem Pembebanan atau Rem dan Kopleng

Sistem pembebanan yang dipakai adalah sistem pengereman secara mekanis. Sistem ini menggunakan batang kayu plepet sepanjang 50 cm dan di pasang engsel pintu ukuran 4 cm dan di kencangkan dengan baut dan mur agar tidak terlepas dan di beri karet untuk pengereman, di sisi satunya lagi di gantung wadah untuk pembebanan menggunakan pasir. Sistem ini menggunakan prinsip jungkat jungkit pesawat sederhana jika wadah pembebanan di isikan pasir maka ujung karet pengereman akan terangkat mengurangi putaran kincir angin karena bergesekan dengan piringan pengereman, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Sistem Pembebanan

5. Papan Penyangga Pelat Pengarah

Papan penyangga pelat pengarah terbuat dari papan triplek dengan tebal 0,7 cm dengan berdiameter sebesar 90 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Papan Penyangga Pelat Pengarah

Dalam pengambilan data digunakan beberapa peralatan penunjang, diantaranya:

6. Terowongan Angin

Terowongan angin atau *wind tunnel* alat yang berbentuk lorong berukuran $1,2\text{m} \times 1,2\text{m} \times 2,4\text{m}$ yang berfungsi sebagai tempat dimana angin bergerak dengan kecepatan tertentu sekaligus merupakan tempat pengujian kincir angin, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8 Di dalam lorong udara tekanannya dibuat lebih rendah dari tekanan lingkungan sekitar, tujuannya agar udara bergerak dengan kecepatan tertentu. Kecepatan angin dapat diatur dengan cara mengatur jarak antara *wind tunnel* dan blower sesuai keinginan.



Gambar 3.8 Terowongan Angin Atau Wind Tunnel

7. Blower

Blower adalah mesin atau alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu juga sebagai pengisapan atau pemvakuman udara atau gas tertentu. Blower digerakkan oleh motor listrik berdaya 5,5 kW, sebagai transmisinya menggunakan sabuk dan puli, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Blower

8. Tachometer

Jenis tachometer yang digunakan adalah *digital light tachometer*, prinsip kerjanya berdasarkan pantulan yang diterima sensor dari reflektor, reflektor ini berupa aluminium foil dipasang pada piringan pengereman, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Tachometer

9. Anemometer

Anemometer diletakkan didepan terowongan angin. Alat ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu sensor elektrik yang diletakkan di depan terowongan angin dan modul digital yang menerjemahkan data dari sensor yang kemudian ditampilkan pada layar digital, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Anemometer

10. Neraca Pegas

Neraca pegas digunakan untuk mengukur gaya pengimbang torsi kincir angin saat kincir berputar. Neraca pegas dihubungkan pada lengan ayun dengan panjang lengan yang telah ditentukan, alat ditunjukkan pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Neraca Pegas

3.4 Variabel Penelitian dan Pengambilan Data

Variabel penelitian yang digunakan adalah :

- a. Variasi pembebanan yaitu dari posisi kincir berputar maksimal atau tanpa pembebanan sampai kincir berputar minimum akibat pengereman.
- b. Variasi kemiringan pelat pengarah yaitu 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah.

Variabel yang diambil adalah :

- Kecepatan Angin, (v)
- Gaya Pengimbang, (F)
- Putaran Kincir, (n)

Pengambilan data kecepatan angin, beban, suhu dan kecepatan putar kincir dilakukan secara bersama-sama. Hal pertama yang dilakukan adalah memasang kincir angin pada terowongan angin lalu mengencangkan pelat pengarah dan papan penyanggah pelat agar tidak bergerak karena hanya sudu dalam saja yang bergerak. Selanjutnya untuk pengambilan data memerlukan proses sebagai berikut :

1. Memasang neraca pegas serta pengaitnya pada tempat yang sudah ditentukan.
2. Memasang tali pengait pada neraca pegas yang dihubungkan dengan sistem pembebanan.

3. Memasang anemometer pada bagian depan terowongan angin.
4. Menyiapkan tachometer.
5. Blower siap untuk dihidupkan.
6. Diamkan beberapa saat untuk mendapat kecepatan angin yang konstan pengambilan data dapat di mulai.
7. Awal pengambilan data yaitu tanpa beban yaitu hanya mengambil rpm, kecepatan angin dan suhu.
8. Lalu pengambilan data selanjutnya dengan menambah pasir dalam wadah pembebanan, lalu menarik tali pada neraca pegas agar lengan pembebanan dalam posisi tengah tidak miring ke kiri maupun kanan dan kencangkan tali kembali, ambil gaya pada neraca pegas, kecepatan angin dan suhu pada anemometer dan putaran kincir dengan nanometer pada piringan pengereman.
9. Ulangi langkah 4 sampai 8 untuk variasi kemiringan sudut pelat 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah.
10. Satu variasi kemiringan sudut di ambil sebanyak 3 kali data percobaan, maka total data percobaan menjadi 9 data percobaan.

3.5 Langkah Pengolahan Data

Dari data yang telah didapat, maka data tersebut dapat diolah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Dari data kecepatan angin (v) dan dengan mengetahui luasan frontal kincir (A), maka daya angin (P_{in}) dapat dicari dengan Persamaan 5.
2. Data beban pegas (F) dapat digunakan untuk mencari torsi (T) dengan Persamaan 9.
3. Data putaran poros (n) dan torsi (T) dapat digunakan untuk mencari daya yang dihasilkan kincir (P_{out}) dengan Persamaan

4. Dengan membandingkan kecepatan keliling diujung sudu dan kecepatan angin, maka *tip speed ratio* dapat dicari dengan Persamaan 10.
5. Dari data daya kincir (P_{out}) dan daya angin (P_{in}) maka koefisien daya dapat diketahui dengan Persamaan 11.



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Data hasil percobaan ditampilkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 untuk variasi tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah dengan panjang lengan 20 cm di ubah menjadi 0,2 m. Data percobaan pada tabel ke 4.4 untuk kincir angin tanpa pelat pengarah.

Tabel 4.1 Data percobaan kincir dengan 12 pelat pengarah dengan Sudut 15°

Percobaan 1			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	236,5	6,2	0
2	183,5	6,4	3,73
3	164,4	6,3	4,32
4	148,9	7,3	5,1
5	141,6	6,9	5,4
6	115,4	6,4	6,28
7	89,34	6,9	7,16
8	83,96	6,9	7,65
9	76,39	6,9	8,53
10	28,68	6,4	9,03

Percobaan 2			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F(N)
1	275,6	6,2	0,00
2	242,5	6,2	2,75
3	237,6	6,3	2,94
4	224,1	6,1	3,34
5	191,7	6,1	3,92
6	171,2	6,1	4,51
7	153,1	6,4	4,91
8	142,2	6,3	5,3
9	98,58	6,3	7,26
10	22,76	6,2	7,75

Percobaan 3			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	289,3	6,4	0
2	248,4	6,6	3,04
3	240,1	6,5	3,53
4	240,2	6,2	3,73
5	182,6	6,3	4,41
6	140,9	6,5	5,79
7	135,5	6,2	6,18
8	117,9	6,3	6,38
9	99,39	6,5	7,16
10	55,59	6,4	7,65
11	46,47	6,5	7,85
12	21,59	6,5	8,34

Tabel 4.2 .Data percobaan kincir dengan 12 pelat pengarah dengan Sudut 30°

Percobaan 1			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	283,5	6,2	0
2	279,4	6,2	2,16
3	258,2	6,2	2,94
4	246,6	6,1	3,43
5	239,5	6,2	3,92
6	204,6	6,8	5,3
7	167,3	6,5	5,49
8	153,8	6,4	5,89
9	137,6	6,7	6,28
10	97,1	6,3	6,57
11	73,64	6,5	8,24
12	67,98	7,4	8,73
13	29,08	6,2	9,61

Percobaan 2			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	305,3	6,5	0
2	274,5	6,2	2,75
3	250,1	6,1	3,34
4	222,9	6,1	3,83
5	213,4	6,4	4,51
6	160,7	6,3	5,2
7	135,4	6,2	5,89
8	126,8	6,5	6,28
9	115,7	6,3	6,67
10	93,14	6,4	7,95
11	84,51	6,4	8,14
12	58,14	6,3	9,22
13	26,15	6,3	9,42

Percobaan 3			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	322,3	6,1	0
2	258,2	6,3	2,94
3	249,8	6,2	3,34
4	240,3	6,1	3,83
5	206,1	6,3	4,41
6	154,1	6,2	5,2
7	134,6	6,5	5,89
8	121,8	6,5	6,97
9	99,41	6,6	7,85
10	63,47	6,4	8,34
11	42,37	6,6	9,32
12	37,71	6,5	9,61
13	28,31	6,5	9,81

Tabel 4.3. Data percobaan kincir dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 45°

Percobaan 1			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	321,1	6,7	0
2	307,5	6,6	2,94
3	295,7	6,5	3,43
4	207,4	6,1	4,41
5	207,4	6,1	4,41
6	177,7	6,2	5,1
7	159,2	6,5	5,89
8	150,5	6,6	6,38
9	111,5	6,5	6,87
10	97,84	6,8	7,55
11	77,26	6,5	8,24
12	27,09	6,5	10,01

Percobaan 2			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	354,5	6,2	0
2	297,4	6,6	2,94
3	290,3	6,4	3,43
4	215,6	6,5	3,83
5	202,5	6,3	4,61
6	194,2	6,5	5,59
7	179,1	6,8	6,77
8	135,4	6,8	7,16
9	107,1	6,9	8,04
10	75,99	6,4	8,53
11	24,52	6,4	9,32

Percobaan 3			
No	Putaran poros n (rpm)	Kecepatan angin v (m/s)	Beban F (N)
1	342,6	6,1	0
2	277,6	6,2	3,04
3	262,6	6,3	3,34
4	248,1	6,4	4,22
5	211,1	6,3	5,1
6	187,9	6,3	5,59
7	154,9	6,6	6,28
8	90,32	6,3	6,87
9	73,12	6,4	7,36
10	56,41	6,4	7,95
11	41,71	6,4	8,83
12	27,81	6,4	9,81

Tabel 4.4 Data percobaan kincir angin tanpa pelat pengarah

Percobaan 1			
No	n (rpm)	v (m/s)	F (N)
1	378	7,3	0
2	341,6	7,4	1,77
3	317	7,2	2,35
4	303,3	7,6	2,55
5	283,5	7,6	3,04
6	252,2	7,4	3,63
7	224,4	7,4	4,32
8	211,1	7,7	4,91
9	164,3	7,4	5,40
10	126,1	7,5	5,59
11	89,16	7,4	5,89
12	45,31	7,5	6,28
13	18,75	7,5	6,57

Percobaan 2			
No	n (rpm)	v (m/s)	F (N)
1	364,3	7,5	0
2	337	7,6	1,96
3	279	7,6	3,34
4	252,6	7,7	3,92
5	227,8	7,3	4,41
6	179,8	7,6	4,91
7	132,6	7,4	5,59
8	112,4	7,4	5,89
9	90,11	7,5	6,08
10	38,75	7,4	6,38
11	15,21	7,5	6,67

Percobaan 3			
No	n (rpm)	v (m/s)	F (N)
1	406,1	7,4	0
2	337,2	7,3	1,96
3	311	7,4	2,35
4	271,1	7,5	2,94
5	259	7,5	3,63
6	211	7,4	4,41
7	181,1	7,6	4,71
8	157,7	7,5	5,20
9	137,2	7,5	5,49
10	119,2	7,5	5,98
11	49,85	7,6	6,28
12	20,15	7,5	6,48

Data dari hasil percobaan dengan kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° terhadap arah angin dengan Jarak lengan poros 20 cm dan diameter kincir inti 65 cm dan diameter penyangah pelat 90 cm. Dalam setiap variasi, percobaan dilakukan sebanyak tiga kali setiap satu variasi posisi pelat pengarah.

Posisi pertama pelat pengarah di arahkan sudut 15° . Kedua, posisi pelat pengarah di arahkan sudut 30° . Ketiga, posisi pelat pengarah di arahkan sudut 45° . Keempat, pelat pengarah di lepas dan hanya kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat saja yang di uji dengan pengereman secara mekanis.

4.2 Pengolahan Data Dan Perhitungan

Contoh perhitungan untuk kincir angin kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan pelat pengarah 15° , 30° dan 45° pada Tabel 4.1 pada baris ke dua dengan 12 pelat pengarah bersudut 15° . Perhitungan yang dilakukan

untuk mengetahui besarnya daya angin (P_{in}), daya kincir (P_{out}), Tip Speed Ratio (TSR) dan koefisien daya kincir (C_p).

4.2.1 Perhitungan Daya Angin (P_{in})

Besar daya yang tersedia pada angin pada kincir angin dengan luasan frontal $A = d.l$ dan kecepatan angin 6,4 m/s, maka daya angin dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4 :

$$\begin{aligned} P_{in} &= 0,6 \cdot A \cdot v^3 \\ &= 0,6 \cdot 0,5525 \text{ m}^2 \cdot (6,6 \text{ m/s})^3 \\ &= 95,30 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jadi daya yang tersedia pada angin adalah 95,30 watt

4.2.2 Perhitungan Daya Kincir (P_{out})

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh kincir, dapat menggunakan persamaan 6, namun untuk mendapatkan daya kincir sebelumnya harus mengetahui kecepatan sudut dan torsi kincir, maka untuk itu perlu dicari terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 5 dan 6 :

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi}{60} n \\ &= \frac{2\pi}{60} 248,4 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$= 26,00 \text{ rad/sec}$$

maka kecepatan sudut yang didapatkan adalah 26,00 rad/sec

Untuk mencari besar torsi yang terjadi pada kincir, maka dapat menggunakan persamaan 5. Sehingga torsi yang didapat adalah :

$$\begin{aligned} T &= F l \\ &= 3,04 \text{ N} \cdot 0,2 \text{ m} \\ &= 0,61 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Sehingga torsi yang didapatkan adalah 0,61 Nm

Dengan kecepatan sudut 26,00 rad/sec dan torsi 0,61 Nm, maka daya yang dihasilkan oleh kincir adalah :

$$\begin{aligned} P_{out} &= T \omega \\ &= 0,61 \text{ Nm} \cdot 26,00 \text{ rad/sec} \\ &= 15,81 \text{ watt} \end{aligned}$$

Sehingga daya yang dihasilkan oleh kincir adalah 15,81 watt.

4.2.3 Perhitungan Tip Speed Ratio (TSR)

Dengan mengetahui kecepatan putar kincir 248,4 rpm dan kecepatan angin 6,6 m/s dan jari-jari kincir angin 0,325m, maka *TSR* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 8 :

$$\begin{aligned} TSR &= \frac{2\pi r n}{60 v} \\ &= \frac{6,28 \cdot 0,325 \cdot 248,4}{60 \cdot 6,6} \\ &= 1,28 \end{aligned}$$

Sehingga *TSR* yang didapatkan adalah 1,28

4.2.4 Perhitungan Koefisien Daya Kincir (C_p)

Dengan mengetahui daya yang dihasilkan oleh angin 95,30 watt dan daya yang dihasilkan oleh kincir 15,81 watt, maka koefisien daya kincir dapat dicari dengan menggunakan persamaan 10 :

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{15,81 \text{ watt}}{95,30 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 16,59 \% \end{aligned}$$

Maka C_p yang dihasilkan adalah 16,59 %



Tabel 4.5 Data hasil perhitungan kincir angin dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 15°

No	n (rpm)	v (m/s)	F (N)	Torsi (T)	A (m ²)	ω (rad/sec)	P_{in} (watt)	P_{out} (watt)	TSR	C_p (%)
1	289,3	6,4	0,00	0,00	0,5525	30,28	86,90	0,00	1,54	0,00
2	248,4	6,6	3,04	0,61	0,5525	26,00	95,30	15,81	1,28	16,59
3	240,1	6,5	3,53	0,71	0,5525	25,13	91,04	17,75	1,26	19,50
4	240,2	6,2	3,73	0,75	0,5525	25,14	79,01	18,74	1,32	23,72
5	182,6	6,3	4,41	0,88	0,5525	19,11	82,89	16,87	0,99	20,36
6	140,9	6,5	5,79	1,16	0,5525	14,75	91,04	17,07	0,74	18,75
7	135,5	6,2	6,18	1,24	0,5525	14,18	79,01	17,53	0,74	22,19
8	117,9	6,3	6,38	1,28	0,5525	12,34	82,89	15,74	0,64	18,99
9	99,39	6,5	7,16	1,43	0,5525	10,40	91,04	14,90	0,52	16,37
10	55,59	6,4	7,65	1,53	0,5525	5,82	86,90	8,90	0,30	10,25
11	46,47	6,5	7,85	1,57	0,5525	4,86	91,04	7,63	0,24	8,39
12	21,59	6,5	8,34	1,67	0,5525	2,26	91,04	3,77	0,11	4,14

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan perhitungan kincir angin dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 30°

No	n (rpm)	v (m/s)	F (Kg)	Torsi (T)	A (m ²)	ω (rad/sec)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	TSR	Cp (%)
1	322,3	6,1	0,00	0,00	0,5525	33,73	75,24	0,00	1,80	0,00
2	258,2	6,3	2,94	0,59	0,5525	27,02	82,89	15,91	1,39	19,19
3	249,8	6,2	3,34	0,67	0,5525	26,15	79,01	17,44	1,37	22,08
4	240,3	6,1	3,83	0,77	0,5525	25,15	75,24	19,25	1,34	25,58
5	206,1	6,3	4,41	0,88	0,5525	21,57	82,89	19,05	1,11	22,98
6	154,1	6,2	5,20	1,04	0,5525	16,13	79,01	16,77	0,85	21,23
7	134,6	6,5	5,89	1,18	0,5525	14,09	91,04	16,58	0,70	18,22
8	121,8	6,5	6,97	1,39	0,5525	12,75	91,04	17,76	0,64	19,51
9	99,41	6,6	7,85	1,57	0,5525	10,40	95,30	16,33	0,51	17,14
10	63,47	6,4	8,34	1,67	0,5525	6,64	86,90	11,08	0,34	12,75
11	42,37	6,6	9,32	1,86	0,5525	4,43	95,30	8,27	0,22	8,67
12	37,71	6,5	9,61	1,92	0,5525	3,95	91,04	7,59	0,20	8,34
13	28,31	6,5	9,81	1,96	0,5525	2,96	91,04	5,81	0,15	6,39

Tabel 4.7 Data hasil perhitungan perhitungan kincir angin dengan 12 pelat pengarah dengan sudut 45°

No	n (rpm)	v (m/s)	F (N)	Torsi (T)	A (m ²)	ω (rad/sec)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	TSR	Cp (%)
1	342,6	6,1	0,00	0,00	0,5525	35,86	75,24	0,00	1,91	0,00
2	277,6	6,2	3,04	0,61	0,5525	29,06	79,01	17,67	1,52	22,37
3	262,6	6,3	3,34	0,67	0,5525	27,49	82,89	18,34	1,42	22,12
4	248,1	6,4	4,22	0,84	0,5525	25,97	86,90	21,91	1,32	25,21
5	211,1	6,3	5,10	1,02	0,5525	22,10	82,89	22,54	1,14	27,20
6	187,9	6,3	5,59	1,12	0,5525	19,67	82,89	21,99	1,01	26,53
7	154,9	6,6	6,28	1,26	0,5525	16,21	95,30	20,36	0,80	21,36
8	90,32	6,3	6,87	1,37	0,5525	9,45	82,89	12,98	0,49	15,66
9	73,12	6,4	7,36	1,47	0,5525	7,65	86,90	11,26	0,39	12,96
10	56,41	6,4	7,95	1,59	0,5525	5,90	86,90	9,38	0,30	10,80
11	41,71	6,4	8,83	1,77	0,5525	4,37	86,90	7,71	0,22	8,87
12	27,81	6,4	9,81	1,96	0,5525	2,91	86,90	5,71	0,15	6,57

Tabel 4.8 Data hasil perhitungan perhitungan kincir angin dengan tanpa pelat pengarah

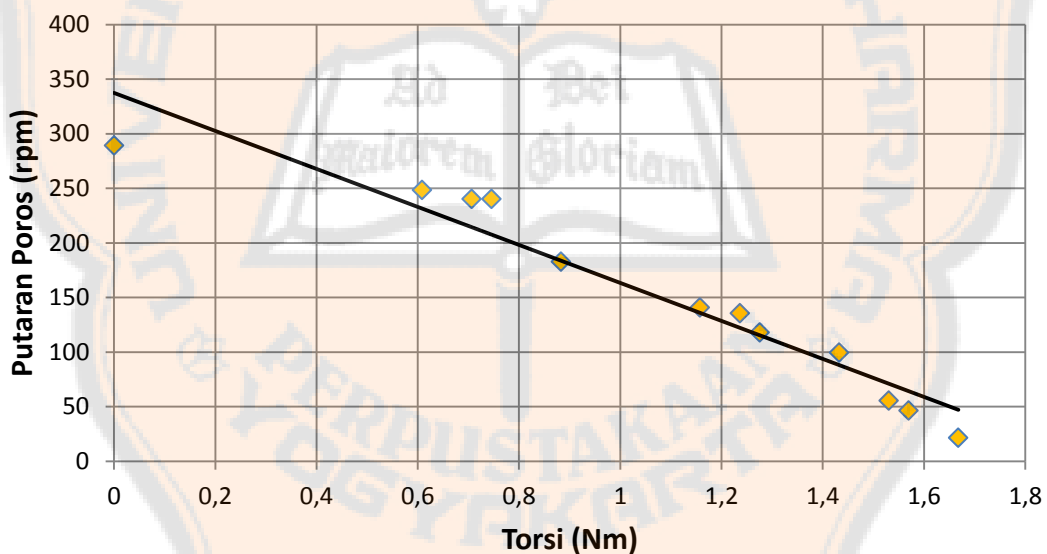
No	n (rpm)	v (m/s)	F (N)	Torsi (T)	A (m ²)	ω (rad/sec)	P _{in} (watt)	P _{out} (watt)	TSR	Cp (%)
1	364,3	7,5	0,00	0,00	0,5525	38,13	139,85	0,00	1,65	0,00
2	337	7,6	1,96	0,50	0,5525	35,27	145,52	17,64	1,50	12,12
3	279	7,6	3,34	1,00	0,5525	29,20	145,52	29,20	1,24	20,07
4	252,6	7,7	3,92	1,18	0,5525	26,44	151,34	31,20	1,11	20,61
5	227,8	7,3	4,41	1,32	0,5525	23,84	128,96	31,47	1,06	24,41
6	179,8	7,6	4,91	1,47	0,5525	18,82	145,52	27,66	0,80	19,01
7	132,6	7,4	5,59	1,68	0,5525	13,88	134,33	23,32	0,61	17,36
8	112,4	7,4	5,89	1,77	0,5525	11,76	134,33	20,82	0,52	15,50
9	90,11	7,5	6,08	1,82	0,5525	9,43	139,85	17,17	0,41	12,27
10	38,75	7,4	6,38	1,91	0,5525	4,06	134,33	7,75	0,18	5,77
11	15,21	7,5	6,67	2,00	0,5525	1,59	139,85	3,18	0,07	2,28

4.3 Grafik Hasil Perhitungan

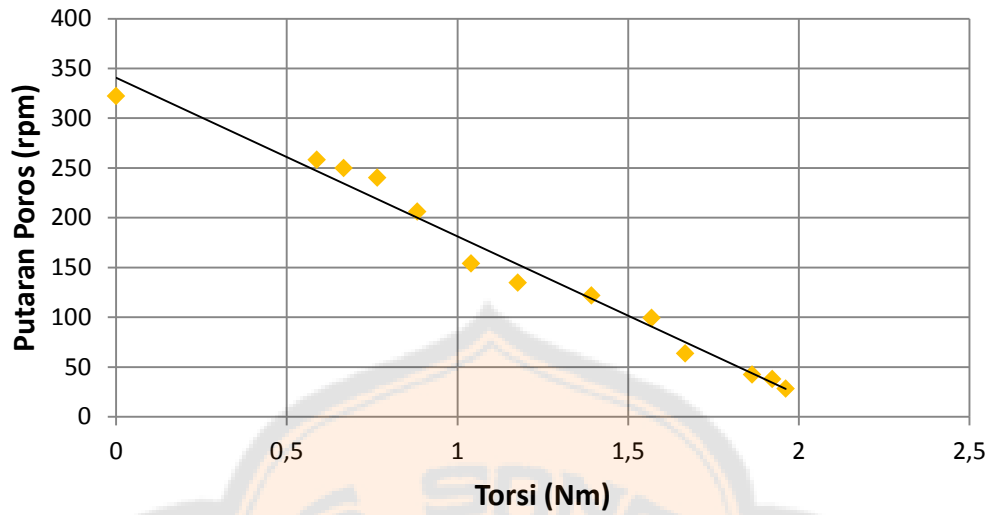
Dari data yang telah diperoleh, kemudian diolah kembali ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan antara torsi (N.m) dengan kecepatan putar kincir (rpm), daya yang dihasilkan kincir (P_{out}) dengan kecepatan putar kincir (rpm) dan koefisien daya kincir (CP) dengan Tip Speed Ratio (TSR). Grafik yang disajikan untuk setiap variasi percobaan dapat dilihat pada grafik berikut ini

a. Grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir.

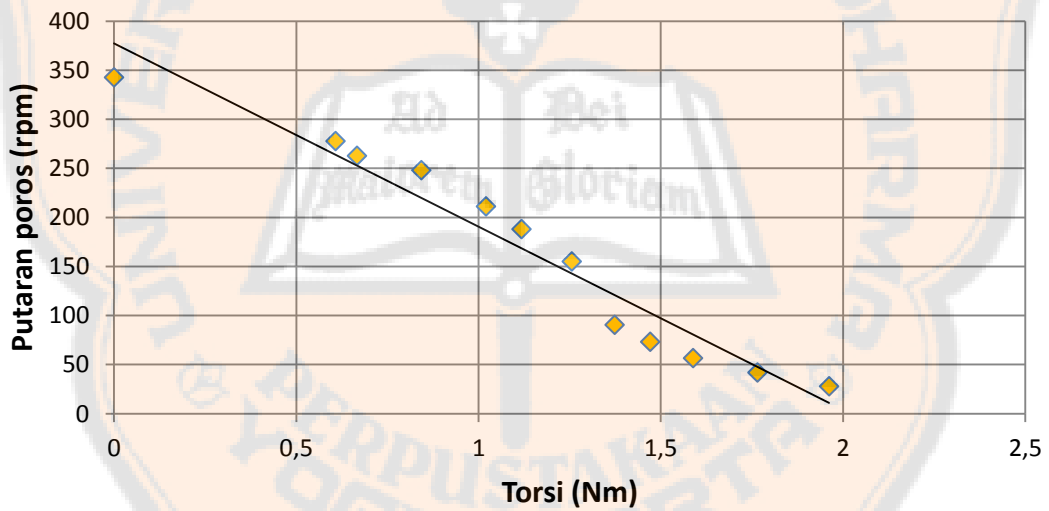
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 maka dapat dibuat grafik hubungan antara torsi dengan kecepatan putar kincir yang disajikan pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4



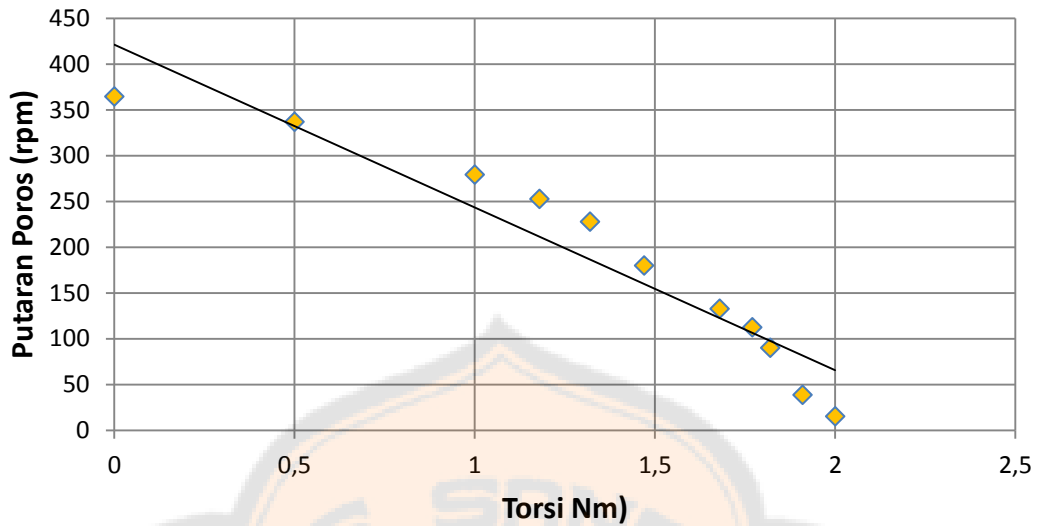
Gambar 4.1. Grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi pelat pengarah 15°



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi pelat pengarah 30°



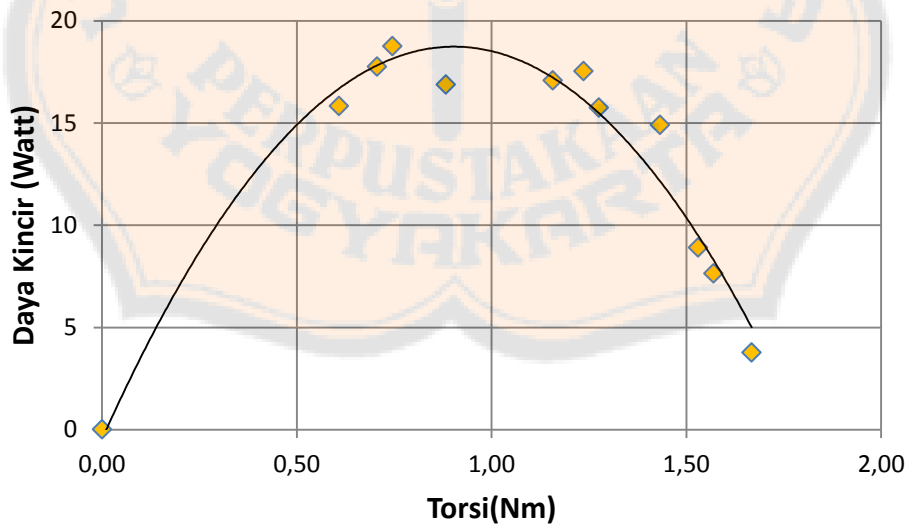
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi pelat pengarah 45°



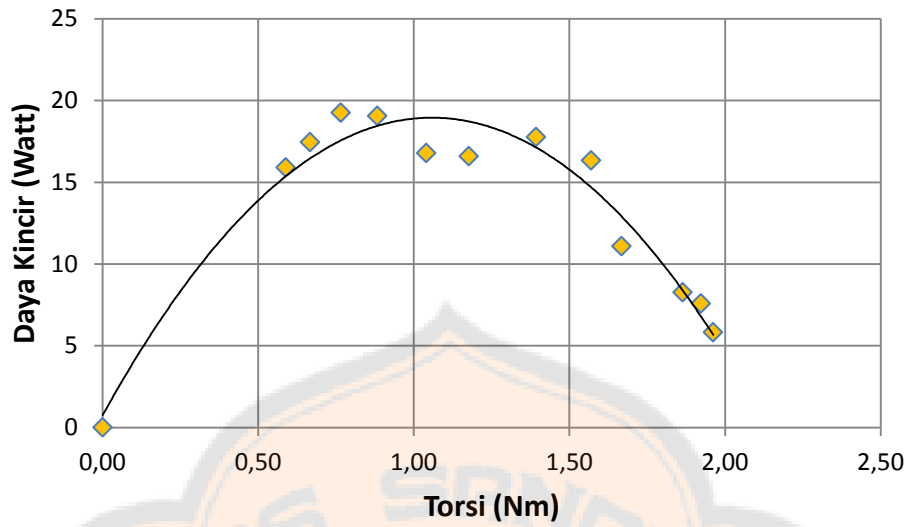
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara putaran Poros dengan torsi tanpa pelat pengarah.

b. Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan torsi.

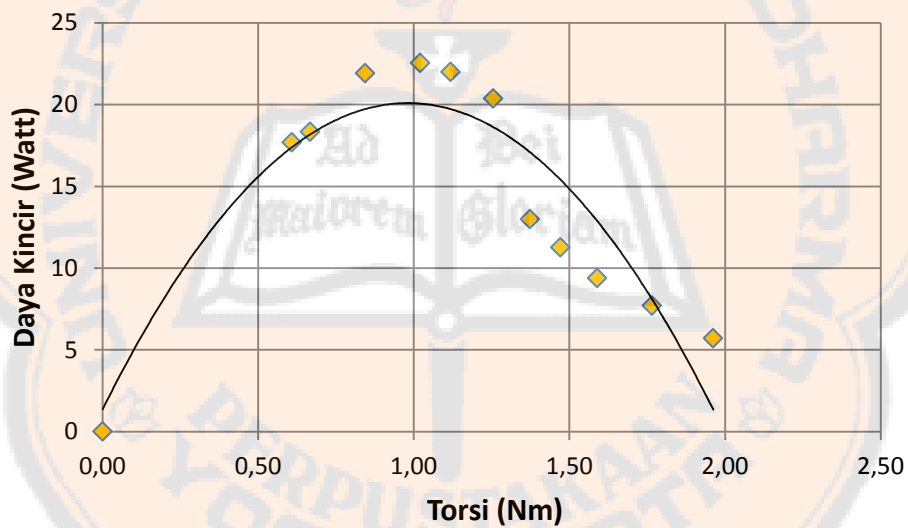
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 maka dapat dibuat grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan torsi yang dapat dilihat dalam Gambar 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8



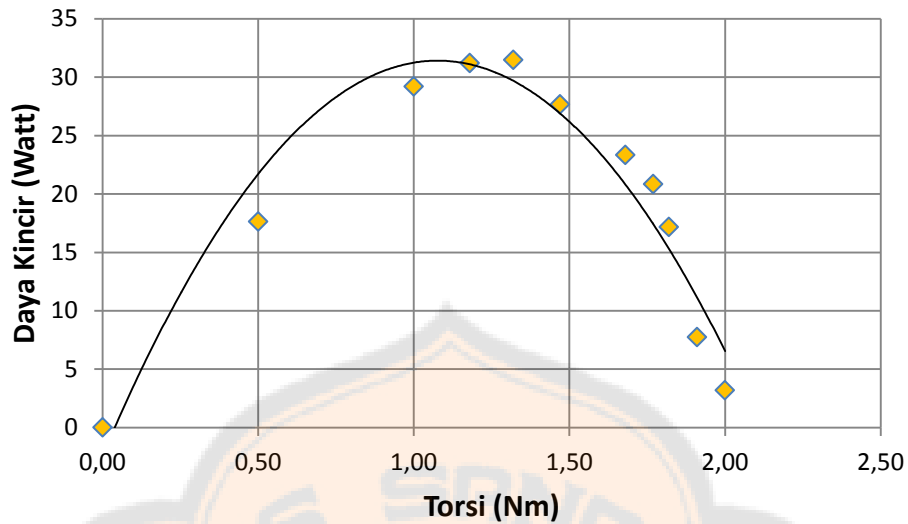
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir dengan pelat pengarah 15°



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir dengan pelat pengarah 30°



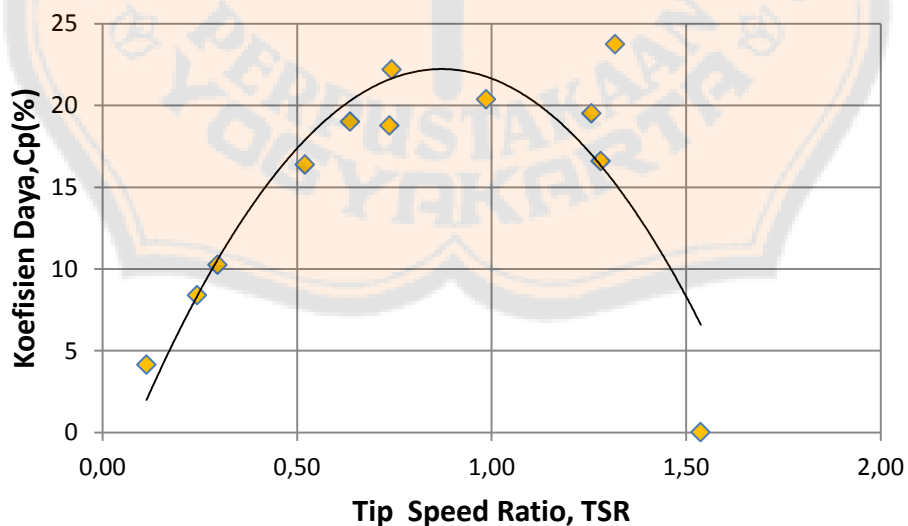
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir dengan pelat pengarah 45°



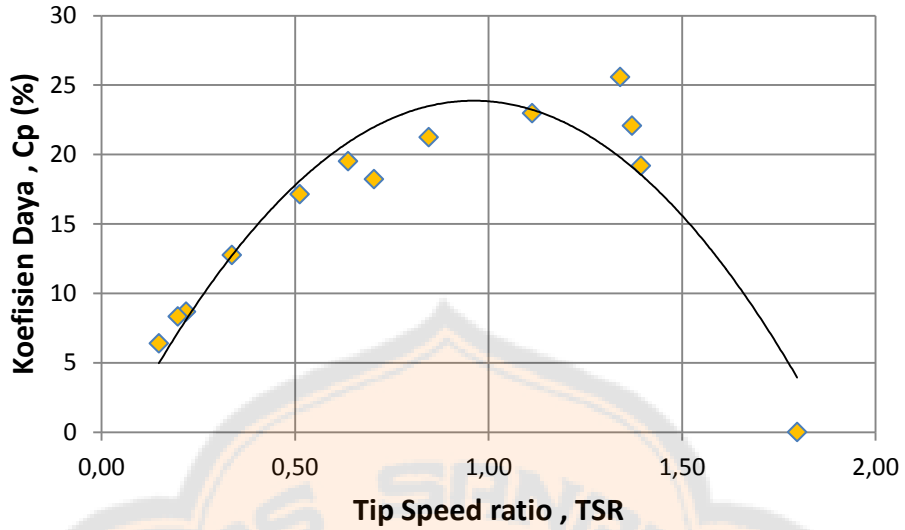
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan daya kincir tanpa pelat pengarah.

c. Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio.

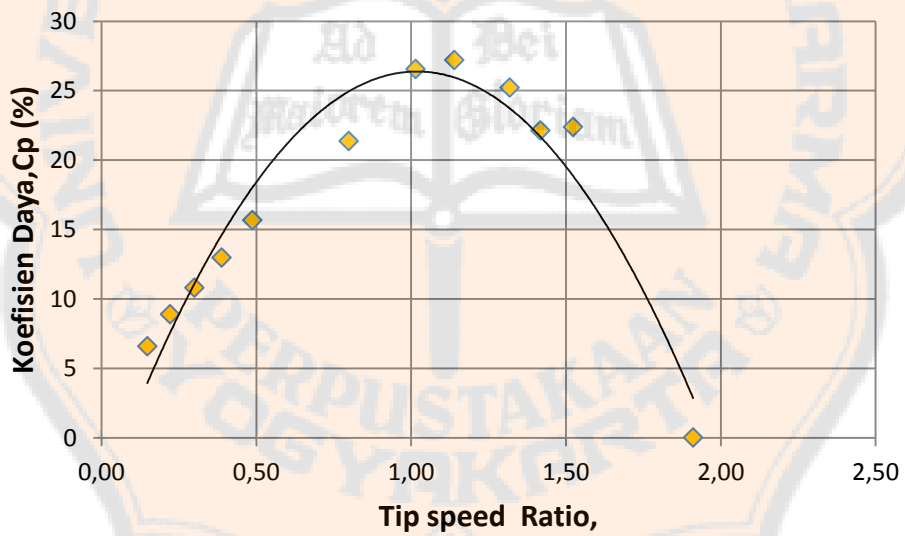
Dari data yang telah didapatkan pada Tabel 4.5, 4.6, 4.7, dan 4.8 maka dapat dibuat grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio yang dapat dilihat pada Gambar 4.9, 4.10, 4.11 dan 4.12.



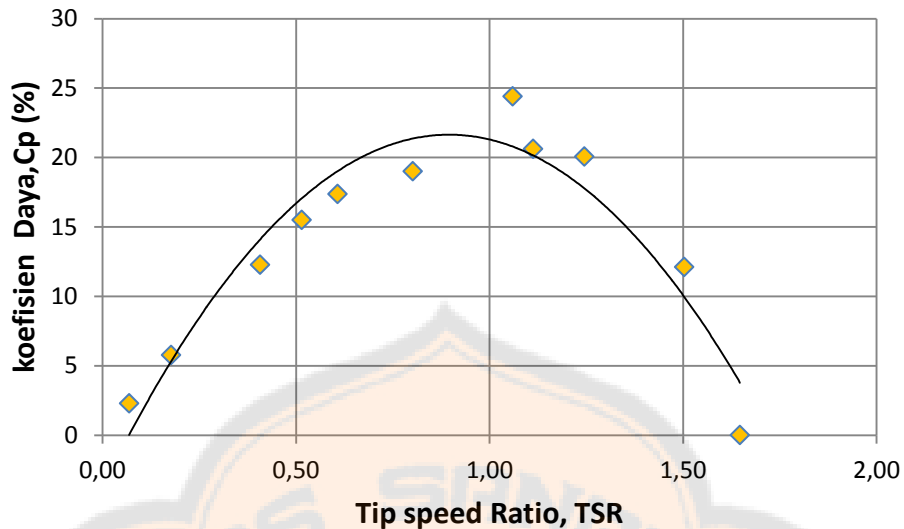
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio dengan Pelat Pengarah 15°



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio dengan pelat pengarah 30°



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio dengan pelat pengarah 45°



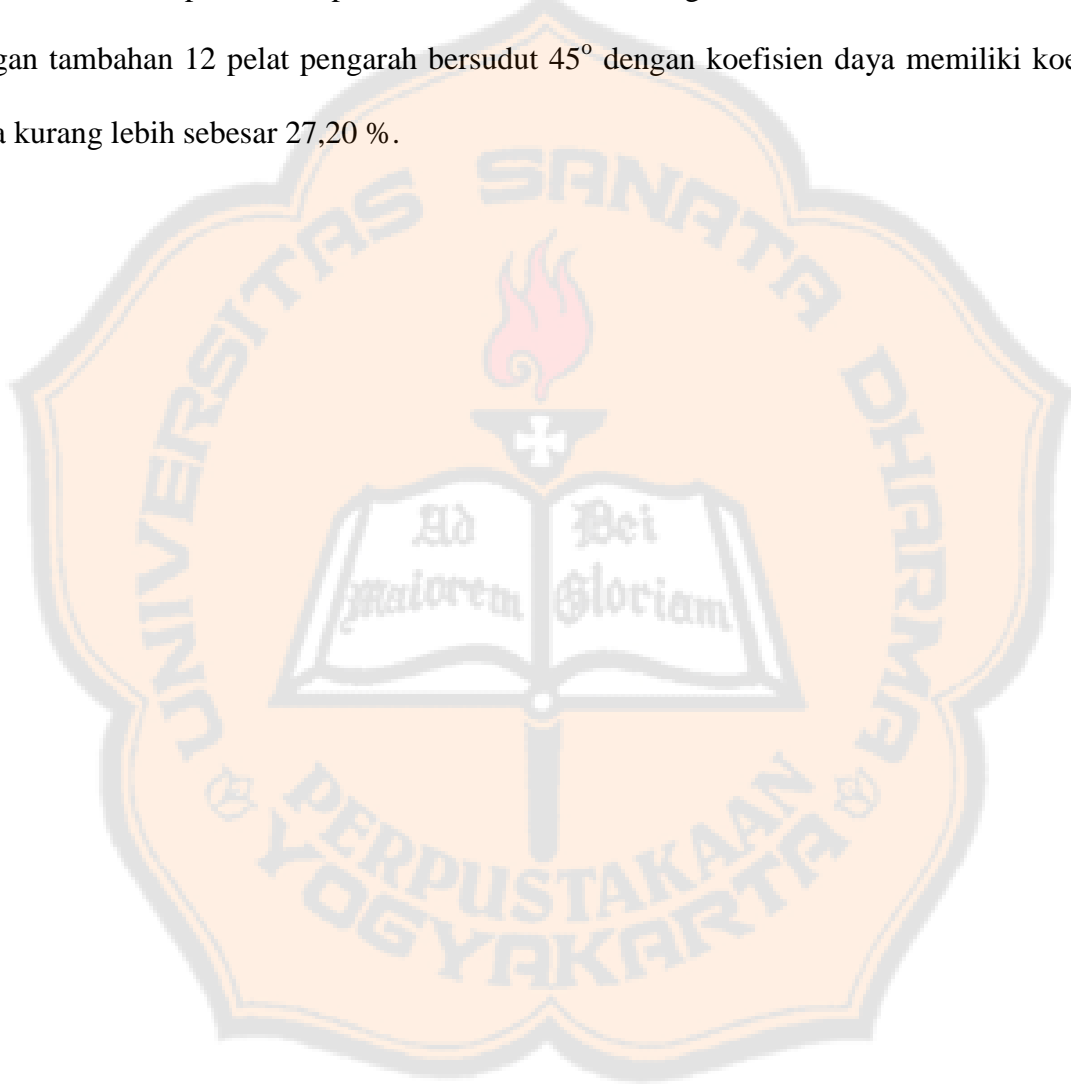
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio tanpa pelat pengarah

4.4 Pembahasan

Dari hasil penelitian kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah 15° , 30° , 45° dan tanpa pelat pengarah, dapat dicari unjuk kerja kincir angin yang terbaik. Pada data hubungan antara putaran poros (rpm) dan torsi (Nm) dapat dilihat bahwa pelat pengarah 45° menghasilkan torsi yang paling besar diantara variasi sudut yang lainnya. Hal tersebut dapat dilihat pada putaran poros 27,09 rpm dan gaya 10,01 N yang menghasilkan torsi sebesar 2,00 Nm. Pada data hubungan antara daya kincir (watt) dan torsi (Nm), dapat dilihat bahwa data tanpa pelat pengarah menunjukkan putaran poros (rpm) lebih tinggi. Hal tersebut diakibatkan oleh kecepatan angin (m/s) untuk memutar kincir angin yang juga lebih besar karena tidak ada yang menghambat laju angin akibat adanya pelat pengarah. Dari data dapat dilihat pelat pengarah 45° memiliki torsi sebesar 1,35 Nm dan daya kincir sebesar 25,38 watt memiliki data tertinggi dari variasi kincir yang lainnya. Hasil data hubungan antara koefisien daya, C_p (%) dengan *tip speed ratio*, (TSR) yang paling tinggi

diperoleh pelat pengarah bersudut 45° , dengan koefisien daya kurang lebih sebesar 27.20% pada *tip speed ratio* sebesar 1,14 menjadi data tertinggi antara hubungan data yang lainnya.

Berdasarkan data yang diperoleh koefisien daya (C_p) dengan *Tip Speed Ratio* (TSR) dari Beberapa jenis kincir diketahui bahwa koefisien daya, C_p kincir angin Savonius tertinggi sebesar 27,20% , pada hasil penelitian bahwa kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 45° dengan koefisien daya memiliki koefisien daya kurang lebih sebesar 27,20 %.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengujian model kincir angin savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , dan 45° dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat model kincir angin savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan 12 pelat pengarah bersudut 15° , 30° , dan 45° dan tanpa pelat pengarah berdiameter 65 cm dan tinggi 85 cm.
2. Kincir angin dengan pelat pengarah bersudut 15° menghasilkan koefisien daya sebesar 23,72% pada *tip speed ratio* 1,32 kincir angin dengan pelat pengarah bersudut 30° menghasilkan koefisien daya sebesar 25,58 % pada *tip speed ratio* 1,34 kincir angin dengan pelat pengarah bersudut 45° menghasilkan koefisien daya sebesar 27,20% pada *tip speed ratio* 1,14 kincir angin tanpa pelat pengarah menghasilkan koefisien daya sebesar 24,41 pada *tip speed ratio* 1,06.
3. Kincir angin dengan pelat pengarah 45° menghasilkan koefisien daya dan *tip speed ratio* paling tinggi dibandingkan variasi pelat pengarah 15° , 30° dan tanpa pelat pengarah yaitu dengan koefisien daya maksimal 27,20% pada *tip speed ratio* 1,14.

5.2 SARAN

Setelah melakukan penelitian ini, peneliti memiliki beberapa saran untuk penelitian selanjutnya. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai kincir angin vertikal untuk meningkatkan unjuk kerja kincir. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, konstruksi untuk pelat harus kuat dan tidak berpindah posisi setelah dipindah posisi yang ditentukan. Papan penyangga pelat pengarah harus dibuat kokoh agar tidak berpindah posisi dan tidak ikut berputar saat angin melewati pelat penyangga, hanya sudu inti yang berputar. Saat memperkokoh papan penyangga pelat, lingkaran papan penyangga dalam jangan sampai bersentuhan dengan poros agar tidak terjadi gesekan dan mendapatkan rugi gesekan. Lebih baik menggunakan generator untuk pengereman dengan lampu pembebanan agar mendapatkan data dengan ketelitian yang lebih baik. Pengambilan data untuk satu variasi lebih baik lebih dari tiga data percobaan, agar mendapat keakuratan data yang signifikan untuk satu variasi.

DAFTAR PUSTAKA

Alat Uji Product, Solution, Services”. Alat uji: Apa itu Tachometer dan Macam-macam Kegunaannya. 20 Febuari, 2012 (<http://www.alatuji.com/index.php/article/detail/58/tachometer#.U8HzaEDebtw>).

13 Juli 2013.

Ali, Ulfa. “Blower”. Scribd: Pengertian Blower. Desember 20, 2012. (<http://www.scribd.com/doc/117513264/Pengertian-Blower-Adalah-Mesin-Atau-Alat-Yang-Digunakan-Untuk-Menaikkan-Atau-Memperbesar-Tekanan-Udara-Atau-Gas-Yang-Akan-Dialirkan-Dalam-Suatu-Ruang>) 13 Juli 2014

“Anemometer nieee”. Joytalita’s Blog. 23 Mei, 2010. (<http://joytalita.wordpress.com/2010/05/23/anemometer-nieee/>). 13 Juli 2014

Arifudin, Momon, 2010, *Model Kincir Angin Poros Vertikal Dengan Empat Sudu Datar Empat Ruang yang Dapat Membentangkan Mengatup Secara Otomatis*, Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta,

Betz Limit (Hukum Betz) pada Energi Angin(<http://donyaenergi.blogspot.com/2013/02/betz-limit-hukum-betz-pada-energi-angin.html>)

Yesaya, Yudha, 2013, *Unjuk Kerja Kincir Angin Poros Horizontal Berbahan PVC Dengan Variasi Kemiringan Sudu*, Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta,

DAFTAR PUSTAKA

Alat Uji Product, Solution, Services”. Alat uji: Apa itu Tachometer dan Macam-macam Kegunaannya. 20 Februari, 2012 (<http://www.alatuji.com/index.php/article/detail/58/tachometer#.U8HzaEdebtw>).
13 Juli 2013.

Ali, Ulfa. “Blower”. Scribd: Pengertian Blower. Desember 20, 2012. (<http://www.scribd.com/doc/117513264/Pengertian-Blower-Adalah-Mesin-Atau-Alat-Yang-Digunakan-Untuk-Menaikkan-Atau-Memperbesar-Tekanan-Udara-Atau-Gas-Yang-Akan-Dialirkan-Dalam-Suatu-Ruang>) 13 Juli 2014

“Anemometer nieee”. Joytalita’s Blog. 23 Mei, 2010. (<http://joytalita.wordpress.com/2010/05/23/anemometer-nieee/>). 13 Juli 2014

Arifudin, Momon, 2010, *Model*

Kincir Angin Poros Vertikal Dengan Empat Sudu Datar Empat Ruang yang Dapat Membentangkan Mengatup Secara Otomatis, Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta,

Betz Limit (Hukum Betz) pada Energi Angin (<http://donyaenergi.blogspot.com/2013/02/betz-limit-hukum-betz-pada-energi-angin.html>)

Yesaya, Yudha, 2013, *Unjuk Kerja Kincir Angin Poros Horizontal Berbahan PVC Dengan Variasi I Kemiringan Sudu*, Tugas Akhir, Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta,