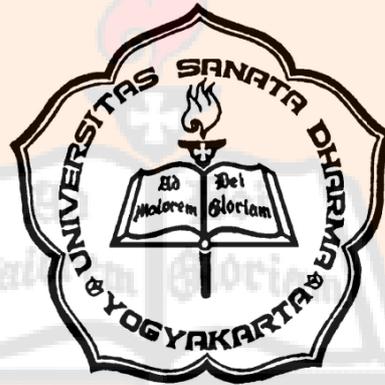


PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER TIGA SUDU DATAR DARI
BAHAN TRIPLEK DENGAN VARIASI LAPISAN ALUMINIUM DAN
ANYAMAN BAMBU**

TUGAS AKHIR

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



Oleh :

ARNOLDUS PALIPUNG

NIM : 115214062

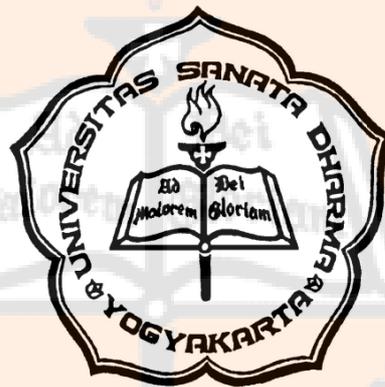
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA**

2015

**THE PERFORMANCE OF THE THREE FLAT BLADES PROPELLER
WINDMILL FROM PLYWOOD MATERIAL WITH ALLUMINIUM AND
WOVEN BAMBOO LAYER VARIATIONS**

FINAL PROJECT

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



by :

ARNOLDUS PALIPUNG

Student Number : 115214062

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

2015

TUGAS AKHIR

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER TIGA SUDU DATAR DARI
BAHAN TRIPLEK DENGAN VARIASI LAPISAN ALUMINIUM DAN
ANYAMAN BAMBU**

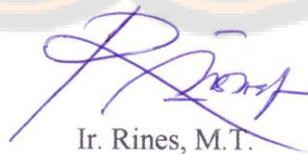
Disusun Oleh :

ARNOLDUS PALIPUNG

115214062

Telah Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Rines, M.T.

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER TIGA SUDU DATAR DARI
BAHAN TRIPLEK DENGAN VARIASI LAPISAN ALUMINIUM DAN
ANYAMAN BAMBU**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ARNOLDUS PALIPUNG

NIM : 115214062

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 17 Juni 2015

Susunan Dewan Penguji

Nama Lengkap

Tanda Tangan

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

Sekretaris : Budy Setyahandana, S.T., M.T.

Anggota : Ir.Rines, M.T.

Yogyakarta, 17 Juni 2015

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

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:

UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER TIGA SUDU DATAR DARI BAHAN TRIPLEK DENGAN VARIASI LAPISAN ALUMINIUM DAN ANYAMAN BAMBU

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 Perguruan Tinggi manapun. Kecuali bagian informasinya dicantumkan dalam daftar pustaka.

Dibuat di : Yogyakarta

Pada tanggal : 17 Juni 2015

Yogyakarta, 17 Juni 2015

Penulis



Arnoldus Palipung

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

Yang bertandatangan di bawah ini, saya mahasiswa Universitas Sanata Dharma:

Nama : ARNOLDUS PALIPUNG

Nomor Mahasiswa : 115214062

Dengan pengembangan ilmu pengetahuan, saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma karya ilmiah dengan judul:

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER TIGA SUDU DATAR DARI
BAHAN TRIPLEK DENGAN VARIASI LAPISAN ALUMINIUM DAN
ANYAMAN BAMBU**

Dengan demikian saya memberikan kepada Perpustakaan Universitas Sanata Dharma hak untuk menyimpan, mengalihkan dalam bentuk media lain, mengelolanya dalam pangkalan data, mendistribusikan secara terbatas, dan mempublikasikannya diinternetatau 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, 17 Juni 2015

Yang menyatakan



Arnoldus Palipung

INTISARI

Krisis bahan bakar yang dialami Negara Indonesia berdampak banyak pada aktivitas masyarakat, tingginya ketergantungan masyarakat akan bahan bakar minyak membuat persediaannya semakin menipis. Salah satu energi terbarukan yang melimpah ketersediaannya dan dapat dikembangkan di Indonesia adalah energi angin. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat kincir angin propeler dengan tiga sudu datar dari bahan triplek, mengetahui unjuk kerja dari setiap kincir, dan mengetahui variasi kincir yang menghasilkan koefisien daya (C_p) terbesar.

Model kincir angin yang diteliti adalah kincir angin propeler poros horizontal dengan 3 sudu datar lebar 9,5 cm dengan sudut patahan 10° dan terbuat dari bahan triplek dengan empat variasi lapisan sudu yaitu: tanpa lapisan, lapisan plat aluminium di bagian depan sudu, lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu, lapisan anyaman bambu di bagian depan dan lapisan plat aluminium di bagian belakang sudu. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah terowongan angin (*wind tunnel*) di laboratorium konversi energi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Data yang diambil saat penelitian adalah kecepatan putar poros kincir, kecepatan, gaya pengimbang torsi.

Hasil penelitian kincir angin propeler poros horizontal dengan variasi lapisan sudu menunjukkan bahwa kincir angin dengan variasi tanpa lapisan menghasilkan koefisien daya maksimal (C_{pmax}) sebesar 7,7 % pada *tip speed ratio* (tsr) 2,60. Kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan sudu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 7,3 % pada *tip speed ratio* 2,15. Kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 12,80 % pada *tip speed ratio* 2,95. Kincir angin dengan variasi lapisan anyaman bambu di bagian depan dan lapisan plat aluminium di bagian belakang sudu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 8,0 % pada *tip speed ratio* 2,43. Dari keempat variasi kincir yang telah diteliti, kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu menghasilkan koefisien daya maksimal paling tinggi sebesar 12,80 % pada *tip speed ratio* 2,95.

Kata Kunci : Kincir Angin Propeler, *Tip speed ratio*, Koefisien Daya

ABSTRAK

Fuel crisis experienced by the State of Indonesia have much impact on the activity of the community, the high dependence of the community will make the oil fuel supply dwindling. One of the abundant renewable energy availability and can be developed in Indonesia is wind energy. This research aims to design and create windmill propellers with three blades flat from plywood material, know the performance of each mill, and knowing the variation windmill that generates power coefficient (C_p), the largest.

Model windmill studied is a horizontal axis windmill propellers with 3 flat blade width of 9.5 cm at an angle of 10° and a fault made of plywood with four variations of blade coating that is: without coating, coating aluminum plate on the front of the blade, coating plate aluminum in the front and rear of the blade, layers of woven bamboo on the front and a layer of aluminum plate on the back of the blade. The study was conducted by using a wind tunnel (wind tunnel) in energy conversion laboratory Sanata Dharma University in Yogyakarta. The data taken when the study is the rotational speed mill, speed, torque countervailing force.

Results of research windmill propeller shaft horizontally with various layers indicate that windmill blade with variation without coating produces a maximum power coefficient (C_{pmax}) by 7.7% on a tip speed ratio (tsr) 2.60. Windmill with various layers of aluminum plate on the front of the blade produces a maximum power coefficient of 7.3% on a tip speed ratio of 2.15. Windmill with various layers of aluminum plate on the front and back of the blade produces a maximum power coefficient of 12.80% on a tip speed ratio of 2.95. Windmill with various layers of woven bamboo on the front and a layer of aluminum plate on the rear of the blade produces a maximum power coefficient) of 8.0% on a tip speed ratio of 2.43. Of the four wheel variety which has been examined, windmills with various layers of aluminum plate on the front and back of the blade produces a maximum power coefficient maximum of 12.80% on a tip speed ratio of 2.95.

Keywords : Windmill Propeller, *tip speed ratio*, coefficient of Power

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang mengambil judul “Unjuk Kerja Kincir Angin Propeler Tiga Sudu Datar Dari Bahan Triplek Dengan Variasi Lapisan Aluminium dan Anyaman Bambu”.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi sebahagian syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 di program studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
2. Ir. PK. Purwadi, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Ir. Rines, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing TA.
4. Kedua Orang Tua penulis, Bapak Martinus Lantang dan Ibu Yustiana Minggu (Alm) yang telah memberi dukungan baik material maupun spiritual.
5. Ardianus Palipung selaku saudara kandung penulis yang selalu memberi penulis dukungan.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

6. Fransiscus Bayu Wiharno dan Tomas Prasetya Widi selaku rekan kelompok Tugas Akhir.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
8. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
9. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia pendidikan.

Yogyakarta, 17 Juni 2015

Penulis



Arnoldus Palipung

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR DEWAN PENGUJI.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PUBLIKASI	vi
INTISARI.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Konsep Dasar Angin	5
2.2 Kincir Angin.....	6
2.2.1 Kincir Angin Poros Horizontal.....	6
2.2.2 Kincir Angin Poros Vertikal.....	7

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

2.3 Faktor Kekasaran Permukaan.....	9
2.4 Rumus Perhitungan	10
2.4.1 Daya Angin.....	10
2.4.2 Torsi Kincir	11
2.4.3 Daya Kincir	11
2.4.4 <i>Tip Speed ratio</i>	12
2.4.5 Koefisien Daya	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Peralatan Pengujian	14
3.2 Prosedur Penelitian.....	15
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Variabel yang Diukur	23
3.5 Parameter yang Dihitung.....	23
3.6 Pengujian dan Pengambilan Data.....	24
3.7 Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Penelitian.....	25
BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Data Percobaan.....	26
4.2 Perhitungan.....	28
4.2.1 Perhitungan Daya Angin	29
4.2.2 Perhitungan Daya Kincir	29
4.2.3 Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i>	30
4.2.4 Perhitungan Koefisien Daya Kincir.....	30
4.3 Data Hasil Perhitungan.....	31
4.4 Grafik Hasil Perhitungan dan Pembahasan	34
4.5 Grafik dari Hasil Perhitungan 3 Variasi Lapisan Sudu.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	48

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Skema terjadinya angin
- Gambar 2.2 Jenis-jenis kincir angin poros horizontal
- Gambar 2.3 Jenis-jenis kincir angin poros vertikal
- Gambar 2.4 Kincir angin darrieus
- Gambar 3.1 Terowongan angin
- Gambar 3.2 Tachometer
- Gambar 3.3 Anemometer
- Gambar 3.4 Mekanisme Pengereman
- Gambar 3.5 Neraca pegas
- Gambar 3.6 Desain kincir angin dengan diameter total 80 cm
- Gambar 3.7 Desain sudu kincir
- Gambar 3.8 Sudut patahan sebanyak 10°
- Gambar 3.9 Variasi-variasi lapisan sudu kincir
- Gambar 3.10 Alat-alat pengujian kincir angin
- Gambar 3.11 Diagram C_p vs tsr untuk berbagai jenis kincir angin
- Gambar 4.1 Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi tanpa lapisan sudu
- Gambar 4.2 Hubungan antara daya output dengan beban torsi pada variasi tanpa lapisan sudu
- Gambar 4.3 Hubungan antara koefisien daya (C_p) dengan *tip speed ratio* pada variasi tanpa lapisan sudu
- Gambar 4.4 Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi lapisan aluminium pada bagian depan sudu
- Gambar 4.5 Hubungan antara daya output dan torsi untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan sudu

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

- Gambar 4.6 Hubungan antara C_p dan t_{sr} untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan sudu
- Gambar 4.7 Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi lapisan aluminium pada bagian depan dan belakang sudu
- Gambar 4.8 Hubungan antara daya output dan torsi untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan dan belakang sudu
- Gambar 4.9 Hubungan antara C_p dan t_{sr} untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan dan belakang sudu
- Gambar 4.10 Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada lapisan anyaman bambu pada bagian depan dan lapisan plat aluminium pada bagian belakang sudu
- Gambar 4.11 Hubungan antara daya output dan torsi untuk variasi lapisan anyaman bambu pada bagian depan dan lapisan plat aluminium pada bagian belakang sudu
- Gambar 4.12 Hubungan antara C_p dan t_{sr} untuk variasi lapisan anyaman bambu dan lapisan plat aluminium pada bagian belakang sudu
- Gambar 4.13 Hubungan Koefisien daya dan *Tip speed ratio* untuk 4 variasi lapisan sudu

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil pengambilan data dengan variasi tanpa lapisan serta sudut patahan 10°

Tabel 4.2. Hasil pengambilan data kincir dengan variasi lapisan plat aluminium dibagian depan dan tanpa lapisan dibagian belakang sudu dengan sudut patahan 10°

Tabel 4.3 Hasil pengambilan data dengan variasi lapisan anyaman bambu dibagian depan dan lapisan plat aluminium dibagian belakang sudu sudut patahan 10°

Tabel 4.4 Hasil pengambilan data dengan variasi lapisan plat aluminium dibagian depan dan belakang sudu dengan sudut patahan 10°

Tabel 4.5 Data pendukung perhitungan

Tabel 4.6 Hasil perhitungan kincir angin variasi tanpa lapisan dengan sudut patahan 10°

Tabel 4.7 Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium dibagian depan sudu dengan sudut patahan 10°

Tabel 4.8 Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium dibagian depan dan belakang sudu dengan sudut patahan 10°

Tabel 4.9 Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi lapisan anyaman bambu dibagian depan dan lapisan plat aluminium dibagian belakang sudu dengan sudut patahan 10°

DAFTAR SIMBOL

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis bahan bakar merupakan permasalahan klasik yang dialami Negara Indonesia yang tentunya berdampak banyak pada aktivitas masyarakat sehari-hari, di antaranya adalah antrian bahan bakar minyak di SPBU yang cukup banyak terjadi di lingkungan sekitar. Keadaan ini diperparah dengan kemampuan pemerintah yang tidak seimbang dengan permintaan masyarakat akan BBM yang semakin meningkat.

Energi yang umumnya digunakan masyarakat saat ini ialah berasal dari minyak bumi, namun eksploitasi yang berlebihan terhadap sumber daya alam ini menyebabkan persediaannya semakin menipis. Kemampuan berfikir manusia yang dikaruniakan Tuhan menghasilkan teknologi-teknologi baru. Kemajuan teknologi juga telah sampai pada penggunaan energi alternatif sebagai pengganti BBM yang semakin menipis persediaannya. Energi alternatif merupakan solusi dalam memecahkan masalah yang sedang dihadapi Negara Indonesia, energi alternatif ini juga dapat menyelamatkan alam dari kerusakan yang dilakukan manusia akibat eksploitasi berlebihan dan polusi yang dihasilkan manusia dalam menggunakan BBM.

Salah satu energi alternatif yang dapat dipilih ialah angin, angin merupakan energi yang sangat melimpah di Indonesia terutama di daerah-daerah pesisir dan pegunungan. Energi angin tidak akan habis dalam pemanfaatannya. Namun,

pemanfaatan energi angin di Indonesia hingga saat ini belum maksimal, diantaranya pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik, yang juga menjadi permasalahan pemerintah dalam mengatasi krisis listrik yang dialami Indonesia saat ini. Energi listrik tidak dihasilkan langsung dari alam namun dapat dihasilkan dari angin dengan bantuan sebuah alat, alat yang menunjang yang dimaksud adalah kincir angin, energi angin yang memutar sudu-sudu kincir angin akan menggerakkan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik. (Y.Daryanto, 2007).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Merancang dan membuat kincir angin propeler dengan tiga sudu datar yang terbuat dari bahan triplek dengan empat variasi lapisan sudu yaitu: tanpa lapisan, lapisan plat aluminium di bagian depan sudu, lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu, lapisan anyaman bambu di bagian depan dengan lapis plat aluminium di bagian belakang sudu.
- b. Mengetahui unjuk kerja dari setiap variasi kincir angin yang diteliti.
- c. Mengetahui kincir yang menghasilkan koefisien daya (C_p) terbesar di antara variasi-variasi kincir yang teliti.

1.3 Batasan Masalah

Pembuatan kincir angin dengan memperhatikan batasan – batasan sebagai berikut :

- a. Model kincir yang digunakan ialah kincir angin jenis propeler sumbu horizontal dengan tiga sudu datar, sudut patahan 10° , lebar 9,5 cm, diameter 80 cm dan berbahan baku triplek.
- b. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah terowongan angin (*wind tunnel*) berukuran 120 cm di laboratorium konversi energi Universitas Sanata Dharma dan menggunakan anemometer, tachometer dan neraca pegas sebagai alat ukur.
- c. Variasi yang diambil adalah lapisan permukaan sudu, yang pertama triplek tanpa lapisan apapun, triplek dengan lapisan aluminium di bagian depan saja, triplek dengan lapisan aluminium bagian depan dan belakang, dan triplek dengan lapisan anyaman bambu di bagian depan dan lapis aluminium di bagian belakang.
- d. Data yang diambil pada saat penelitian adalah : kecepatan angin, kecepatan putaran poros kincir, dan gaya pengimbang torsi.

1.4 Rumusan Masalah

Penelitian tentang pengaruh variasi lapisan sudu kincir angin belum banyak dilakukan. Karakteristik setiap jenis kincir angin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : desain dan kekasaran permukaan sudu dari kincir angin itu sendiri, maka dari itu desain kincir angin yang baik harus terus dikembangkan untuk

meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi angin sebagai salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan.

Kincir angin jenis propeler memiliki karakteristik tersendiri, dengan desain yang terus dikembangkan, nilai Koefisien daya (C_p) dan *tip speed ratio* (tsr) akan berbeda – beda setiap desainnya. Dalam penelitian ini akan diketahui unjuk kerja kincir angin jenis propeler yang mencakup besar koefisien daya (C_p) maksimal dan *tip speed ratio* (tsr) optimal.

Unjuk kerja dari sebuah kincir angin dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah lapisan permukaan sudu. Pengaruh lapisan permukaan sudu terhadap unjuk kerja kincir angin jenis propeler dapat diketahui dalam penelitian ini.

1.5 Manfaat Penelitian :

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Mengembangkan pengetahuan mengenai energi terbarukan khususnya energi angin dan pemanfaatannya.
- b. Memperluas dan menambah pengetahuan tentang pembuatan kincir angin dengan bahan triplek.
- c. Memacu pengembangan energi angin dengan bahan yang murah dan sederhana.

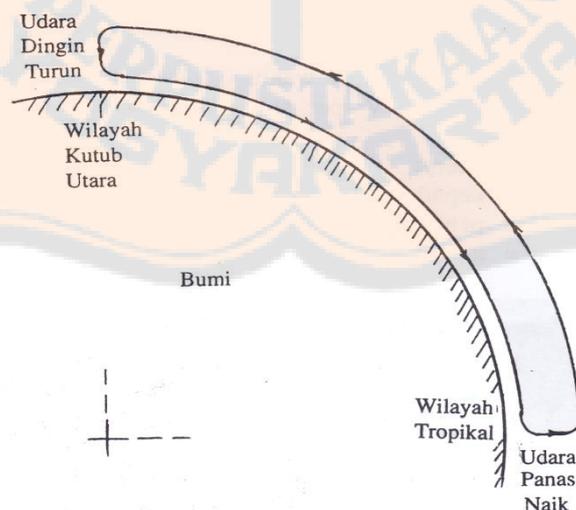
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Konsep Dasar Energi Angin

Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan manusia, sebagai contoh sejak ratusan tahun yang lalu manusia telah memanfaatkan tenaga angin untuk menggerakkan perahu layar.

Angin terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Sebagai contoh di daerah khatulistiwa yang bersuhu panas, udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik ke bagian atas bumi dan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih dingin misalnya kutub, Namun sebaliknya di kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bagian bawah bumi, dengan demikian terjadi suatu perputaran udara yang disebut angin. (GET STT-PLN, 2014). Siklus tersebut tergambar pada Gambar 2.1 .



Gambar 2.1 Skema terjadinya angin

(Sumber : www.getsttpln.com, diakses 27 februari 2015)

2.2 Kincir Angin

Kincir angin digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, kincir angin awalnya dibangun untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi dan lain-lain.

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Kincir angin mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. (Manwell, J.F dan Rogers, A.L., 2009)

Berdasarkan posisi porosnya, kincir angin dibedakan menjadi dua, yaitu : Kincir angin poros horizontal (TASH) dan kincir angin poros vertikal (TASV).

2.2.1 Kincir angin poros horizontal (TASH)

Kincir jenis ini memiliki poros utama sejajar dengan tanah dan arah poros utama mengikuti arah angin. Kincir jenis ini terdiri dari sebuah menara dan kincir berada di puncak menara. Poros kincir dapat berputar 360° terhadap sumbu vertikal untuk menyesuaikan arah angin.

Kelebihan kincir angin sumbu horizontal diantaranya adalah :

- a. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin.
- b. Menghasilkan kinerja dan produksi energi lebih baik dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal.

Kincir angin sumbu horizontal juga memiliki kekurangan, yaitu :

- a. Sulit untuk dipindahkan dikarenakan tingginya yang bisa mencapai 90 meter, sehingga memerlukan biaya yang besar dalam pelaksanaannya.
- b. Memerlukan menara tinggi untuk menangkap kecepatan angin yang cukup besar dan konsisten serta menghindari turbulensi.
- c. Memerlukan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir kearah angin.

Jenis-jenis kincir angin sumbu horizontal diterangkan pada Gambar 2.2 .

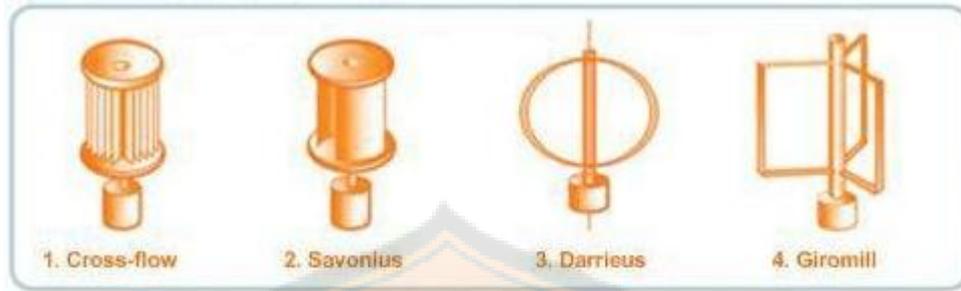


Gambar 2.2 Jenis-jenis kincir angin poros horizontal
(Sumber : Fendi Sutrisna, 2011)

2.2.2 Kincir Angin Poros Vertikal

Komponen-komponen turbin angin vertikal dan horizontal bekerja dengan cara yang sama. Perbedaan utamanya adalah pada turbin angin vertikal rotornya berputar pada sumbu vertikal.

Jenis-jenis kincir angin sumbu vertikal digambarkan pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 :



Gambar 2.3 Jenis-jenis kincir angin poros vertikal
(Sumber : Fendi Sutrisna, 2011)

Kelebihan kincir angin sumbu vertikal adalah :

- a. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- b. Tidak membutuhkan mekanisme yaw, karena sudunya berposisi vertikal.
- c. Tidak harus dirubah posisinya jika arah angin berubah.

Kincir angin sumbu vertikal juga memiliki kekurangan, diantaranya :

- a. Kebanyakan Kincir angin sumbu vertikal, hanya menghasilkan 50 % dari efisiensi kincir angin sumbu horizontal.
- b. Tidak bisa hidup sendiri, terkadang kicir angin memerlukan motor kecil untuk menghidupkannya.



Gambar 2.4 Kincir Angin Darrieus

(Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine, diakses 27 februari 2015)

2.3 Faktor Kekasaran Permukaan

Angin tidak mengalir secara *smooth* di permukaan sudu kincir angin. Selama bergerak angin mengalami beberapa hambatan yang disebut gesekan. Gesekan adalah gaya yang menahan gerakan salah satu material terhadap material lainnya. Namun, gesekan ini bervariasi, bergantung pada kekasaran permukaan. Semakin kasar atau semakin tak beraturan suatu permukaan, maka semakin besar gesekan yang terjadi.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari kekasaran permukaan sudu kincir terhadap unjuk kerja kincir angin. Kekasaran permukaan ini diperoleh dengan cara melapisi permukaan sudu dengan plat aluminium dan anyaman bambu.

2.4 Rumus-Rumus Perhitungan

Rumus-rumus yang digunakan dalam melakukan perhitungan dan analisa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

2.4.1 Daya Angin

Energi yang terdapat pada angin merupakan energi kinetik, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E_k = 0,5 m v^2 \quad (1)$$

dengan :

E_k = energi kinetik (joule).

m = massa udara (kg).

v = kecepatan angin (m/s).

Daya adalah energi per satuan waktu, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_{in} = 0,5 \dot{m} v^2 \quad (2)$$

dengan :

P_{in} = daya angin (watt).

\dot{m} = massa udara yang mengalir dalam waktu tertentu (kg/s).

yang dalam hal ini :

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

dengan :

ρ = massa jenis udara (kg/m³).

A = luas penampang yang membentuk sebuah lingkaran (m^2).

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

$$P_{in} = 0,5(\rho Av)v^2$$

yang dapat di sederhanakan menjadi:

$$P_{in} = 0,5\rho Av^3 \quad (4)$$

2.4.2 Torsi Kincir Angin

Torsi adalah momen putar yang bekerja pada poros yang dihasilkan oleh gaya dorong pada sumbu kincir, dimana gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros yang berputar, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = Fr \quad (5)$$

dengan :

T = Torsi dinamis yang dihasilkan dari putaran poros (Nm).

F = Gaya pada poros akibat puntiran (N).

r = Jarak lengan torsi ke poros (m).

2.4.3 Daya Kincir Angin

Perhitungan daya pada gerak melingkar dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{out} = T\omega \quad (6)$$

dengan :

T = Torsi dinamis (Nm).

ω = Kecepatan sudut didapatkan dari

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

Dengan demikian daya kincir dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

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

dengan :

P_{out} = Daya yang dihasilkan kincir angin (watt).

n = Putaran poros (rpm).

2.4.4 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (tsr) adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu kincir angin dengan kecepatan angin.

Kecepatan diujung sudu (v_t) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$v_t = \omega r \quad (8)$$

dengan :

v_t = Kecepatan ujung sudu.

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

r = Jari-jari kincir (m).

Dengan demikian *tip speed ratio* dapat dirumuskan dengan:

$$tsr = \frac{\omega \cdot r}{v} \quad (9)$$

dengan :

r = Jari – jari kincir (m).

ω = Kecepatan sudut (rad/s).

v = Kecepatan angin (m/s).

2.4.5 Koefisiensi 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 sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \quad (10)$$

dengan :

C_p = koefisien daya (%).

P_{out} = daya yang dihasilkan oleh kincir (watt).

P_{in} = daya yang disediakan oleh angin (watt)

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini diperlukan tiga metode, yaitu:

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Penelitian kepustakaan dilakukan dengan membaca literatur –literatur yang berhubungan dengan penulisan tugas akhir ini serta dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya.

2. Pembuatan Alat

Pembuatan alat uji kincir angin tipe propeler dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Universitas Sanata Dharma. Kincir yang sudah jadi dipasang pada *wind tunnel* yang dilengkapi dengan blower dengan motor listrik sebagai sumber tenaga untuk menghasilkan tenaga angin untuk memutar kincir.

3. Pengamatan Secara Langsung (Observasi)

Metode observasi ini dilakukan dengan mengamati secara langsung terhadap objek yang diteliti yaitu kincir angin jenis propeler pada *wind tunnel*.

3.1 Peralatan Pengujian

Diperlukan peralatan pendukung untuk mendukung kinerja dari kincir angin tipe propeler ini. Beberapa peralatan pendukung tersebut yaitu :

1. Blower (kipas angin besar), berfungsi sebagai sumber angin untuk memutar kincir yang dipasang tepat di belakang *wind tunnel*.

2. Motor Listrik, berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan blower.
3. *Wind tunnel*, berfungsi sebagai terowongan yang dilewati angin, terowongan ini terbuat dari triplek.
4. V-belt, berfungsi sebagai penerus daya yang dihasilkan motor listrik untuk diteruskan ke fan.
5. Anemometer digital, berfungsi untuk mengukur kecepatan angin dan suhu lingkungan penelitian.
6. Tachometer, berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran poros dalam satuan rpm.
7. Timbangan, untuk mengukur berat pembebanan.
8. Tali, berfungsi untuk menggantungkan pembebanan.

3.2 Prosedur Penelitian.

1. Pembuatan alat

Langkah-langkah dalam pembuatan kincir angin untuk penelitian ini adalah :

a. Menyiapkan bahan-bahan pembuatan kincir angin.

Bahan untuk sudu-sudu kincir dan pangkal sudu-sudu kincir. Sudu-sudu kincir angin di buat dari bahan papan tripleks (plywood) dengan ketebalan 8mm. Begitu juga dengan pangkal sudu yang merupakan satu kesatuan dengan sudu kincir.

Sebagai variasi untuk penelitian unjuk kerja kincir digunakan 4 variasi lapisan, yang pertama tanpa lapisan, kedua dilapisi plat aluminium dengan tebal 0,3mm di bagian depan sudu, ketiga dilapisi plat aluminium dengan tebal 3mm dibagian

depan dan belakang sudu, dan keempat dilapisi anyaman bambu dibagian depan dan plat aluminium dibagian belakang sudu, untuk merekatkan bahan-bahan tadi digunakan lem fox sebagai perekatnya.

Untuk merekatkan digunakan kawat untuk mengikat kedua segmen sudu, lalu celah antara kedua segmen sudu ditaburkan bahan serbuk kayu halus, yang kemudian ditetaskan dengan lem G, tunggu hingga kering dan kedua segmen triplek merekat dengan kuat.

b. Menyiapkan alat-alat yang diperlukan dalam pembuatan kincir angin.

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu :

Alat yang digunakan saat pembuatan kincir, meliputi :

1. Mesin Bor
2. Mata Bor 10mm
3. Gergaji
4. Mesin gerinda
5. Palu
6. Gunting Kawat
7. Alat tekuk plat
8. Mal atau cetakan sudu dengan sudut 10°

Alat-alat tambahan dan alat yang digunakan dalam pengukuran, yaitu :

1. Terowongan angin yang dilengkapi blower, sebagai sumber tenaga angin ditunjukkan pada Gambar 3.1 .



Gambar 3.1 Terowongan Angin

2. Tachometer berfungsi untuk mengukur putaran kincir pada saat pengambilan data yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tachometer

3. Anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan angin yang dihasilkan blower seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Anemometer

4. Mekanisme pengereman untuk mengukur gaya tangensial ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mekanisme Pengereman

5. Neraca pegas untuk mengukur besar pembebanan yang diberikan saat pengereman dalam melakukan pengambilan data torsi dan daya kincir, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



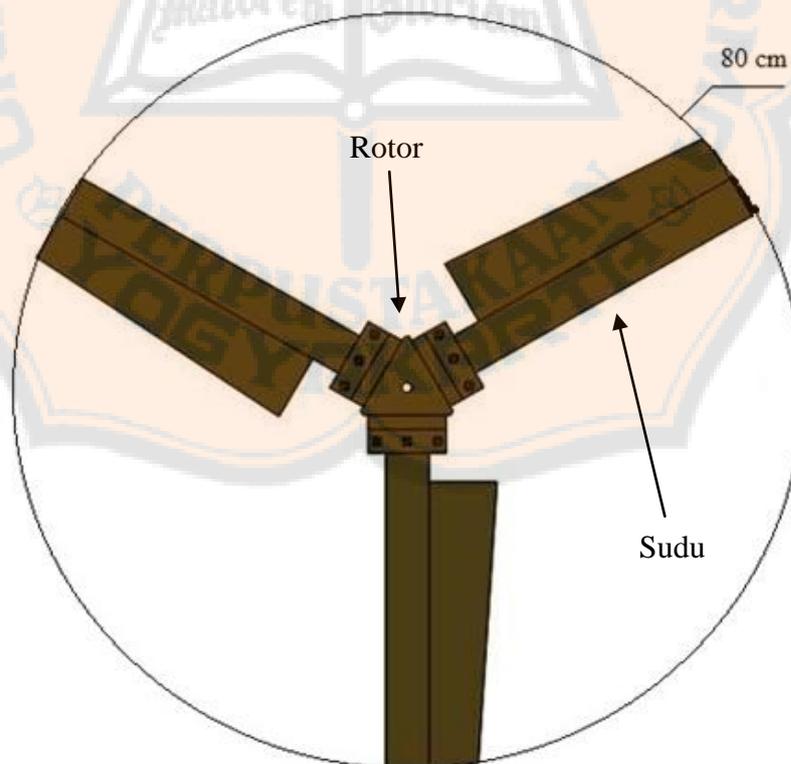
Gambar 3.5 Neraca Pegas

c. Pembuatan Kincir

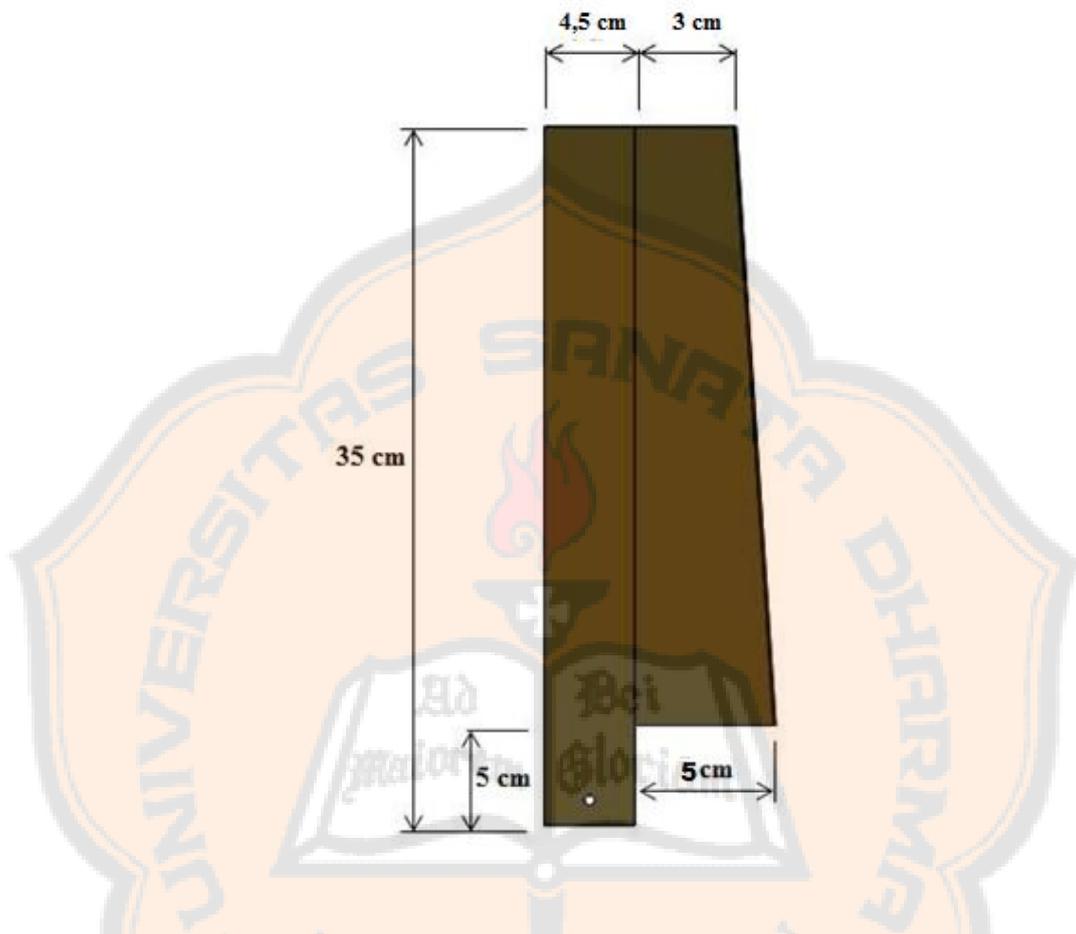
Berikut ini adalah proses pembuatan kincir angin :

1. Menyiapkan papan triplek sebagai bahan dasar pembuatan kincir.
2. Membuat pola pada papan triplek sesuai ukuran yang diinginkan.
3. Memotong pola sesuai dengan pola yang dibuat sebelumnya dengan menggunakan gergaji.
4. Pola yang sudah dipotong yaitu kedua segmen sudu di beri lubang dengan diameter 10 mm pada tepi bagian dalam sudu sebagai tempat untuk mengikat kedua segmen sudu dengan kawat.

5. Setelah diikat dengan kawat sudu kincir di letakkan pada mal atau cetakan agar sudu membentuk sudut 10° , lalu sudu diikat pada mal sehingga hasilnya lebih presisi.
6. Setelah diikat dengan kawat celah antara dua segmen sudu ditaburi serbuk kayu lalu diratakan.
7. Setelah diratakan serbuk kayu tadi ditetaskan lem G dan tunggu hingga mengering.
8. Sudu dengan variasi pertama pun jadi, yaitu sudu kincir angin triplek tanpa lapisan. Desain sudu kincir digambarkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7. Sedangkan Gambar 3.8. Menggambarkan sudut patahan sudu kincir sebanyak 10° .

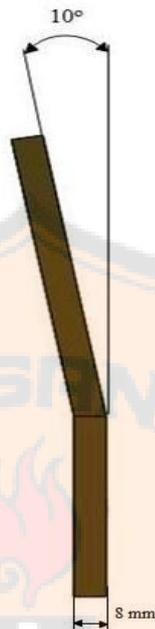


Gambar 3.6 Desain kincir angin dengan diameter total 80 cm



Gambar 3.7 Desain sudu kincir

9. Langkah selanjutnya membuat variasi lapisan sudu kincir lainnya, mengikuti langkah pembuatan kincir sebelumnya namun yang membedakan di bagian akhir proses pembuatan, sudu kincir di beri lem untuk merekatkan kincir dengan bahan lapisan yaitu plat aluminium dibagian depan sudu untuk variasi kedua, dilapisi aluminium dibagian depan dan belakang untuk variasi ketiga dan dilapisi anyaman bambu seperti yang ditunjukkan Gambar 3.9.
10. Proses *finishing* yaitu menghaluskan sudu kincir yang sudah jadi.



Gambar 3.8 Sudut patahan sebanyak 10°



Gambar 3.9. Variasi-variasi lapisan sudu kincir

3.3 Variabel Penelitian

Beberapa variabel penelitian yang harus ditentukan sebelum melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Variasi kecepatan angin dalam penelitian ini adalah: 8 - 9 m/s.
2. Variasi lapisan permukaan sudu kincir yaitu : tanpa lapisan, lapis plat aluminium hanya pada bagian depan sudu, lapis plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu, dan lapis anyaman bambu pada bagian depan sudu dan lapis plat aluminium di bagian belakang sudu.

3.4 Variabel Yang Diukur

Variabel yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- a. Kecepatan angin (v).
- b. Gaya pengimbang (F).
- c. Putaran poros kincir (n).

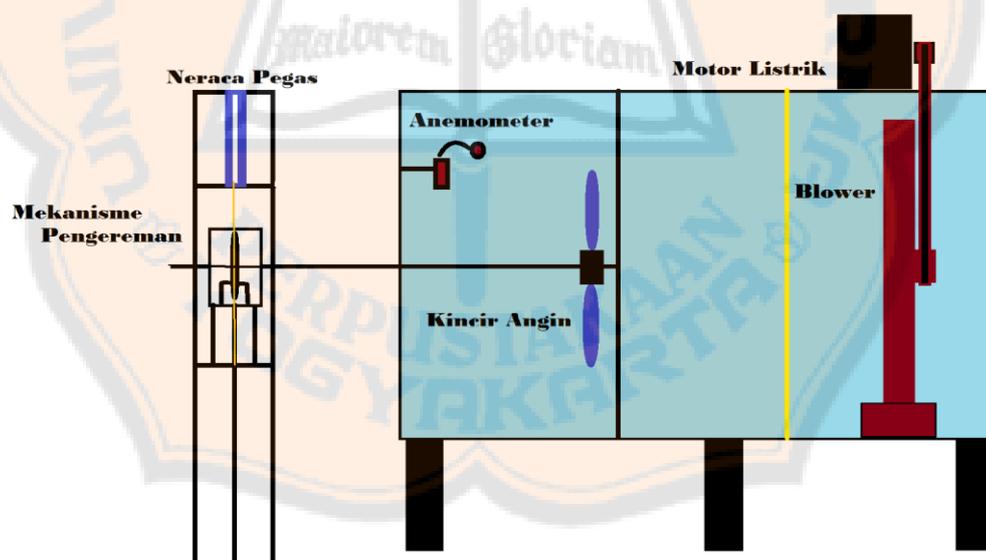
3.5 Parameter Yang Dihitung.

Untuk mendapatkan karakteristik yang didapat dalam penelitian menggunakan parameter sebagai berikut :

- a. Daya kincir (P_{out})
- b. Daya angin (P_{in})
- c. Koefisien daya (C_p)
- d. Tip Speed Ratio (tsr)

3.6 Pengujian dan Pengambilan Data

Proses pengujian dan pengambilan data kincir angin tipe propeler dilakukan sebanyak empat kali karena jumlah variasi lapisan sudu ada empat variasi lapisan, yaitu tanpa lapisan, dilapisi plat aluminium di bagian depan, dilapisi plat aluminium dibagian depan dan belakang, dilapisi anyaman bambu dibagian depan dan plat aluminium dibagian belakang sudu. Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan sebuah *wind tunnel*. Skema susunan alat-alat pengujian dan pengambilan data dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Alat-alat Pengujian Kincir Angin.

Blower berfungsi untuk menarik udara masuk ke dalam *wind tunnel*. Proses pengambilan data sudah bisa dilakukan saat putaran kincir sudah stabil. Parameter

yang divariasikan adalah beban yang di berikan pada mekanisme pengereman. Gaya tangensial akibat aksi pengereman diatur besarnya dengan menggunakan neraca pegas, dengan demikian beban torsi yang diberikan pada poros kincir dapat dihitung besarnya.

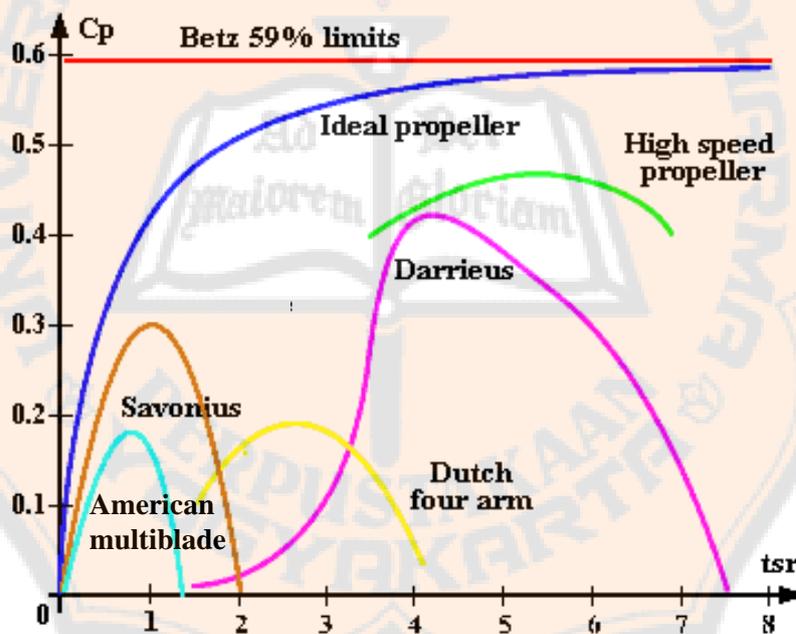
Parameter-parameter yang diukur dalam setiap pengujian adalah putaran poros kincir, kecepatan angin, dan temperatur udara. Putaran poros kincir diukur dengan menggunakan takometer (*tachometer*) sedangkan kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer yang dipasang sekitar 1 m di depan rotor kincir. Pada neraca pegas dipasang tali yang dihubungkan dengan sistem pembebanan. Dalam satu siklus pengujian selalu diawali dari tanpa beban atau tanpa pengereman, selanjutnya diberi beban secara bertahap atau sedikit demi sedikit hingga kincir berhenti berputar. Untuk satu model variasi lapisan kincir dilakukan tiga kali siklus pengujian.

3.7 Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Penelitian.

Pengolahan data dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh dengan menggunakan program *Microsoft Excel*. Data yang dicari adalah :

1. Dari data kecepatan angin dan luasan kincir angin didapatkan daya angin dengan menggunakan Persamaan (2).
2. Data dari beban pegas dapat digunakan untuk mencari beban torsi dengan menggunakan Persamaan (5).
3. Data putaran poros dan torsi dapat digunakan untuk mencari daya yang dihasilkan kincir angin dengan menggunakan persamaan (7).

4. Perbandingan antara kecepatan ujung sudu kincir angin dengan kecepatan angin maka dapat diperoleh t_{sr} dengan menggunakan Persamaan (9)
5. Dengan membandingkan antara daya yang dihasilkan oleh kincir (P_{out}) dengan daya yang disediakan oleh angin (P_{in}) maka koefisien daya dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (10).
6. Diagram hubungan antara beban torsi dan rpm
7. Diagram hubungan antara beban torsi dan P_{out} .
8. Diagram hubungan antara C_p dan T_{sr} seperti digambarkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.11. Diagram C_p vs t_{sr} untuk berbagai jenis kincir angin (Sumber: Johnson, 2006, hal. 18)

BAB IV

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Percobaan

Hasil pengujian kincir angin yang meliputi : putaran poros kincir (rpm), kecepatan angin (m/s), dan gaya pengimbang (N) dengan variasi lapisan sudu yaitu : tanpa lapisan, lapis plat aluminium dibagian depan, lapis plat aluminium dibagian depan dan belakang, dan lapis anyaman bambu di bagian depan dan lapis plat aluminium di bagian belakang sudu.

Tabel 4.1. Hasil pengambilan data dengan variasi tanpa lapisan dengan sudut patahan 10°.

No	Siklus	Kecepatan Putar Kincir (rpm)	Gaya Penyeimbang (N)	Kecepatan angin (m/s)
1	I	822	0,00	8,52
2		720	0,39	
3		711	0,59	
4		679	0,78	
5		622	0,98	
6		589	1,08	
7		468	1,27	
8		454	1,37	
1	II	803	0,00	8,48
2		713	0,39	
3		706	0,59	
4		666	0,78	
5		606	0,98	
6		567	1,08	
7		495	1,27	
8		423	1,37	
1	III	806	0,00	8,41
2		726	0,39	
3		703	0,59	
4		649	0,78	
5		630	0,98	
6		559	1,08	
7		487	1,27	
8		410	1,37	

Tabel 4.2. Hasil pengambilan data kincir dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan dan tanpa lapisan dibagian belakang sudu dengan sudut patahan 10°.

No	Siklus	Kecepatan Putar Kincir (rpm)	Gaya Penyeimbang (N)	Kecepatan angin (m/s)
1	I	783	0,00	8,64
2		718	0,39	
3		640	0,69	
4		593	0,88	
5		546	1,08	
6		514	1,18	
7		502	1,37	
1	II	787	0,00	8,63
2		706	0,39	
3		635	0,69	
4		603	0,88	
5		552	1,08	
6		521	1,18	
7		475	1,37	
1	III	794	0,00	8,67
2		709	0,39	
3		631	0,69	
4		591	0,88	
5		555	1,08	
6		522	1,18	
7		468	1,37	

Tabel 4.3. Hasil pengambilan data dengan variasi lapisan anyaman bambu dibagian depan dan lapisan plat aluminium dibagian belakang sudu dengan sudut patahan 10°.

No	Siklus	Kecepatan Putar Kincir (rpm)	Gaya Penyeimbang (N)	Kecepatan angin (m/s)
1	I	768	0,00	8,6
2		744	0,29	
3		707	0,49	
4		680	0,78	
5		631	0,98	
6		582	1,18	
7		538	1,37	
8		488	1,47	
1	II	799	0,00	8,68
2		729	0,29	
3		709	0,49	
4		659	0,78	
5		620	0,98	
6		586	1,18	
7		536	1,37	
8		477	1,47	
1	III	795	0,00	8,58
2		738	0,29	
3		721	0,49	
4		655	0,78	
5		619	0,98	
6		575	1,18	
7		560	1,37	
8		488	1,47	

Tabel 4.4. Hasil pengambilan data dengan variasi lapisan plat aluminium dibagian depan dan belakang sudu dengan sudut patahan 10° .

No	Siklus	Kecepatan Putar Kincir (rpm)	Gaya Penyeimbang (N)	Kecepatan angin (m/s)
1	I	966	0,00	8,66
2		947	0,29	
3		908	0,49	
4		854	0,88	
5		779	1,08	
6		710	1,37	
7		685	1,57	
8		661	1,76	
9		589	1,96	
10		476	2,16	
1	II	979	0,00	8,60
2		955	0,29	
3		910	0,49	
4		825	0,88	
5		767	1,08	
6		712	1,37	
7		693	1,57	
8		667	1,76	
9		570	1,96	
10		458	2,16	
1	III	970	0,00	8,66
2		938	0,29	
3		899	0,49	
4		841	0,88	
5		778	1,08	
6		725	1,37	
7		679	1,57	
8		666	1,76	
9		568	1,96	
10		486	2,16	

4.2 Perhitungan

Langkah-langkah perhitungan dapat di lihat pada contoh sampel yang di ambil dari percobaan kincir tanpa lapisan pada siklus percobaan langkah kedua, dengan data pendukung yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Diameter kincir	80 cm
Panjang lengan torsi	20 cm
Swept area	0,503 m ²
Suhu udara	28°C
Densitas udara	1,18 kg/m ³

Tabel 4.5 Data pendukung perhitungan

4.2.1 Perhitungan Daya Angin

Daya yang dihasilkan pada kincir angin dengan $A = 0,503 \text{ m}^2$ dan kecepatan angin 8,59 m/s, dapat dicari dengan menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\
 &= 0,5 \cdot 1,18 \cdot 0,503 (8,52)^3 \\
 &= 182,25 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Daya Kincir

Daya yang dihasilkan oleh kincir angin dapat dicari dengan menggunakan persamaan (7), namun sebelumnya harus diketahui terlebih dahulu kecepatan sudut dan torsi, sehingga perlu dicari terlebih dahulu menggunakan persamaan (5) dan (6), maka kecepatan sudut dan torsi kincir adalah :

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{n\pi}{30} \text{ rad/s} \\
 &= \frac{720\pi}{30} \text{ rad/s} \\
 &= 75,36 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= Fr \\
 &= 0,39 \cdot 0,2 \text{ m} \\
 &= 0,078 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= T\omega \\
 &= 0,078 \text{ Nm} \cdot 75,36 \text{ rad/s} \\
 &= 5,87 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Tip Speed Ratio

Untuk mengetahui besarnya perbandingan kecepatan di ujung kincir dengan kecepatan angin atau *Tip speed ratio* dapat di cari dengan menggunakan persamaan (9) :

$$\begin{aligned}
 tsr &= \frac{\pi r n}{30 v} \\
 &= \frac{\omega \cdot r}{v \text{ m/s}} \\
 &= \frac{75,36 \cdot 0,4}{8,52} \\
 &= 3,509
 \end{aligned}$$

4.2.4 Koefisien Daya Kincir

Koefisien daya kincir dapat dicari dengan menggunakan persamaan (10) :

$$\begin{aligned}
 C_p &= \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \\
 &= \frac{5,87}{183,25} 100\% \\
 &= 0,03 \%
 \end{aligned}$$

4.3 Data Hasil Perhitungan

Parameter yang diperoleh dari penelitian diolah dengan menggunakan program *Microsoft Excell*, hasil perhitungan masing-masing variasi lapisan sudu kincir dapat dilihat melalui grafik-grafik yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Hingga Tabel 4.9.

Tabel 4.6. Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi tanpa lapisan dengan sudut patahan 10°

Siklus	Kec. Angin, v (m/s)	Gaya Pengimbang (gram)	Gaya Pengimbang (N)	Putaran kincir, n (rpm)	Torsi, T (Nm)	kec. Sudut, ω (rad/s)	Daya Angin P_{in} (watt)	Daya Output P_{out} (watt)	TSR	C_p (%)
I	8,52	0	0,00	822	0,000	86,1	183	0,0	4,04	0,00
		40	0,39	720	0,078	75,4	183	5,9	3,54	3,22
		60	0,59	711	0,118	74,5	183	8,8	3,50	4,78
		80	0,78	679	0,157	71,1	183	11,1	3,34	6,08
		100	0,98	622	0,196	65,1	183	12,8	3,06	6,96
		110	1,08	589	0,216	61,7	183	13,0	2,90	7,25
		130	1,27	468	0,255	49,0	183	12,5	2,30	6,81
		140	1,37	454	0,274	47,5	183	13,0	2,23	7,12
II	8,48	0	0,00	803	0,000	84,1	181	0,0	3,97	0,00
		40	0,39	713	0,078	74,7	181	5,9	3,52	3,24
		60	0,59	706	0,118	73,9	181	8,7	3,49	4,81
		80	0,78	666	0,157	69,7	181	10,9	3,29	6,05
		100	0,98	606	0,196	63,5	181	12,4	2,99	6,88
		110	1,08	567	0,216	59,4	181	12,8	2,80	7,08
		130	1,27	495	0,255	51,8	181	13,0	2,45	7,31
		140	1,37	423	0,274	44,3	181	12,2	2,09	6,72
III	8,41	0	0,00	806	0,000	84,4	176	0,0	4,01	0,00
		40	0,39	726	0,078	76,0	176	6,0	3,62	3,38
		60	0,59	703	0,118	73,6	176	8,7	3,50	4,91
		80	0,78	649	0,157	68,0	176	10,7	3,23	6,04
		100	0,98	630	0,196	66,0	176	12,9	3,14	7,33
		110	1,08	559	0,216	58,5	176	12,6	2,78	7,16
		130	1,27	487	0,255	51,0	176	13,0	2,43	7,37
		140	1,37	410	0,274	42,9	176	11,8	2,04	6,68

Tabel 4.7. Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan sudu dengan sudut patahan 10°

Siklus	Kec. Angin, v (m/s)	Gaya Pengimbang (gram)	Gaya Pengimbang (N)	Putaran kincir, n (rpm)	Torsi, T (Nm)	kec. Sudut, ω (rad/s)	Daya Angin P_{in} (watt)	Daya Output P_{out} (watt)	LPR	C_p (%)
I	8,64	0	0,00	783	0,000	82,0	191	0,0	3,80	0,00
		40	0,39	718	0,078	75,2	191	5,9	3,48	3,08
		70	0,69	640	0,137	67,0	191	9,2	3,10	4,81
		90	0,88	593	0,176	62,1	191	11,0	2,87	5,73
		110	1,08	546	0,216	57,2	191	12,3	2,65	6,45
		120	1,18	514	0,235	53,8	191	12,7	2,49	6,62
		140	1,37	502	0,274	52,6	191	14,4	2,43	7,55
II	8,63	0	0,00	787	0,000	82,4	191	0,0	3,82	0,00
		40	0,39	706	0,078	73,9	191	5,8	3,43	3,04
		70	0,69	635	0,137	66,5	191	9,1	3,08	4,79
		90	0,88	603	0,176	63,1	191	11,1	2,93	5,85
		110	1,08	552	0,216	57,8	191	12,5	2,68	6,54
		120	1,18	521	0,235	54,6	191	12,8	2,53	6,74
		140	1,37	475	0,274	49,7	191	13,6	2,31	7,16
III	8,67	0	0,00	794	0,000	83,1	193	0,0	3,84	0,00
		40	0,39	709	0,078	74,2	193	5,8	3,43	3,01
		70	0,69	631	0,137	66,1	193	9,1	3,05	4,69
		90	0,88	591	0,176	61,9	193	10,9	2,86	5,65
		110	1,08	555	0,216	58,1	193	12,5	2,68	6,49
		120	1,18	522	0,235	54,7	193	12,9	2,52	6,66
		140	1,37	468	0,274	49,0	193	13,4	2,26	6,96

Tabel 4.8. Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu dengan sudut patahan 10°

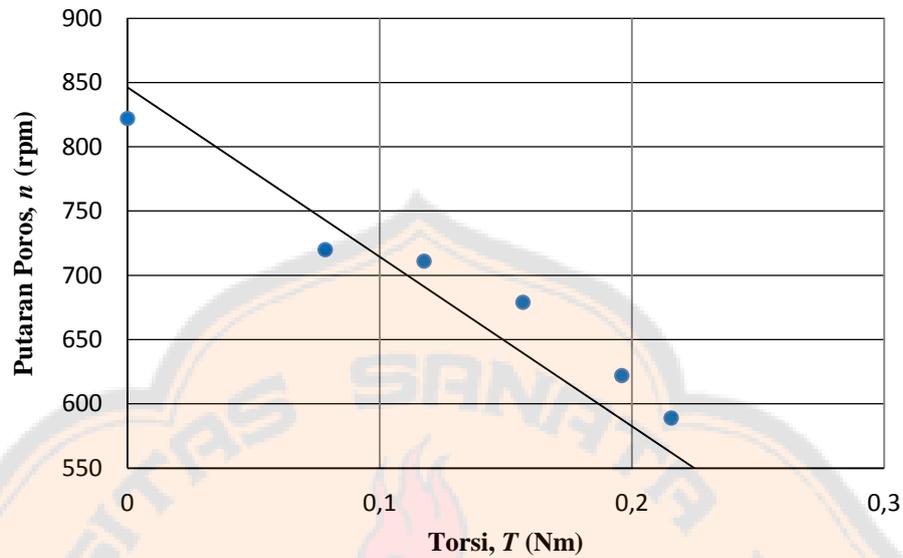
Siklus	Kec. Angin, v (m/s)	Gaya Pengimbang (gram)	Gaya Pengimbang (N)	Putaran kincir, n (rpm)	Torsi, T (Nm)	kec. Sudut, ω (rad/s)	Daya Angin P_{in} (watt)	Daya Output P_{out} (watt)	TSR	C_p (%)
I	8,64	0	0,00	966	0,000	101,2	189	0,0	4,71	0,0
		30	0,29	947	0,059	99,2	189	5,8	4,61	3,1
		50	0,49	908	0,098	95,1	189	9,3	4,42	4,9
		90	0,88	854	0,176	89,4	189	15,8	4,16	8,4
		110	1,08	779	0,216	81,6	189	17,6	3,79	9,3
		140	1,37	710	0,274	74,4	189	20,4	3,46	10,8
		160	1,57	685	0,314	71,7	189	22,5	3,34	11,9
		180	1,76	661	0,353	69,2	189	24,4	3,22	13,0
		200	1,96	589	0,392	61,7	189	24,2	2,87	12,8
		220	2,16	476	0,431	49,8	189	21,5	2,32	11,4
II	8,63	0	0,00	979	0,000	102,5	194	0,0	4,72	0,0
		30	0,29	955	0,059	100,0	194	5,9	4,61	3,0
		50	0,49	910	0,098	95,3	194	9,3	4,39	4,8
		90	0,88	825	0,176	86,4	194	15,2	3,98	7,9
		110	1,08	767	0,216	80,3	194	17,3	3,70	8,9
		140	1,37	712	0,274	74,6	194	20,5	3,44	10,6
		160	1,57	693	0,314	72,6	194	22,8	3,34	11,7
		180	1,76	667	0,353	69,8	194	24,6	3,22	12,7
		200	1,96	570	0,392	59,7	194	23,4	2,75	12,1
		220	2,16	458	0,431	48,0	194	20,7	2,21	10,7
III	8,67	0	0,00	970	0,000	101,6	187	0,0	4,74	0,0
		30	0,29	938	0,059	98,2	187	5,8	4,58	3,1
		50	0,49	899	0,098	94,1	187	9,2	4,39	4,9
		90	0,88	841	0,176	88,1	187	15,5	4,11	8,3
		110	1,08	778	0,216	81,5	187	17,6	3,80	9,4
		140	1,37	725	0,274	75,9	187	20,8	3,54	11,1
		160	1,57	679	0,314	71,1	187	22,3	3,31	11,9
		180	1,76	666	0,353	69,7	187	24,6	3,25	13,1
		200	1,96	568	0,392	59,5	187	23,3	2,77	12,5
		220	2,16	486	0,431	50,9	187	21,9	2,37	11,7

Tabel 4.9. Hasil perhitungan kincir angin dengan variasi lapisan anyaman bambu di bagian depan dan lapisan plat aluminium belakang sudu dengan sudut patahan 10°

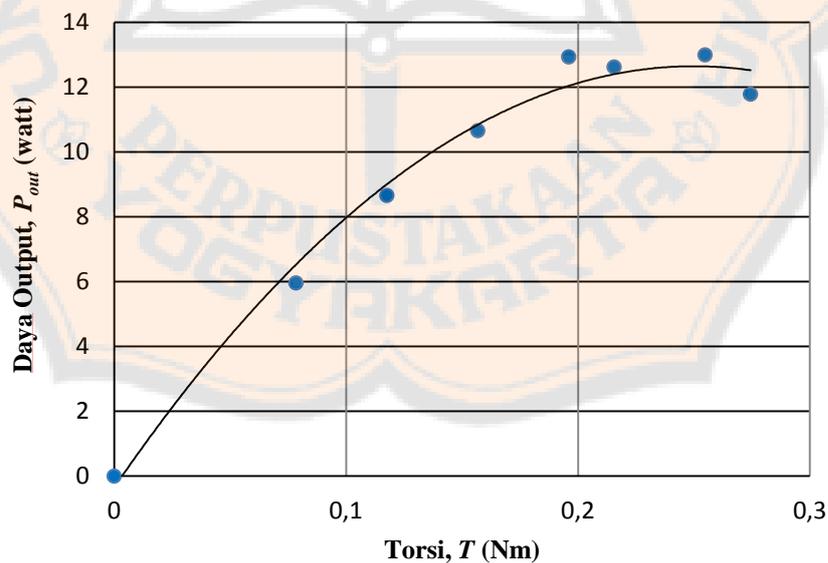
Sirkus	Kec. Angin, v (m/s)	Gaya Pengimbang (gram)	Gaya Pengimbang (N)	Putaran kincir, n (rpm)	Torsi, T (Nm)	kec. Sudut, ω (rad/s)	Daya Angin P_{in} (watt)	Daya Output P_{out} (watt)	TSR	C_p (%)
I	8,66	0	0,00	768	0,000	80,4	193	0,0	3,71	0,0
		30	0,29	744	0,059	77,9	193	4,6	3,60	2,4
		50	0,49	707	0,098	74,0	193	7,3	3,42	3,8
		80	0,78	680	0,157	71,2	193	11,2	3,29	5,8
		100	0,98	631	0,196	66,1	193	13,0	3,05	6,7
		120	1,18	582	0,235	60,9	193	14,3	2,82	7,4
		140	1,37	538	0,274	56,3	193	15,4	2,60	8,0
II	8,60	0	0,00	799	0,000	83,7	189	0,0	3,89	0,0
		30	0,29	729	0,059	76,3	189	4,5	3,55	2,4
		50	0,49	709	0,098	74,2	189	7,3	3,45	3,9
		80	0,78	659	0,157	69,0	189	10,8	3,21	5,7
		100	0,98	620	0,196	64,9	189	12,7	3,02	6,7
		120	1,18	586	0,235	61,4	189	14,4	2,85	7,7
		140	1,37	536	0,274	56,1	189	15,4	2,61	8,2
III	8,66	0	0,00	795	0,000	83,3	193	0,0	3,85	0,0
		30	0,29	738	0,059	77,3	193	4,5	3,57	2,4
		50	0,49	721	0,098	75,5	193	7,4	3,49	3,8
		80	0,78	655	0,157	68,6	193	10,8	3,17	5,6
		100	0,98	619	0,196	64,8	193	12,7	2,99	6,6
		120	1,18	575	0,235	60,2	193	14,2	2,78	7,4
		140	1,37	560	0,274	58,6	193	16,1	2,71	8,4
		150	1,47	488	0,294	51,1	193	15,0	2,36	7,8

4.4 Grafik Hasil Perhitungan dan Pembahasan

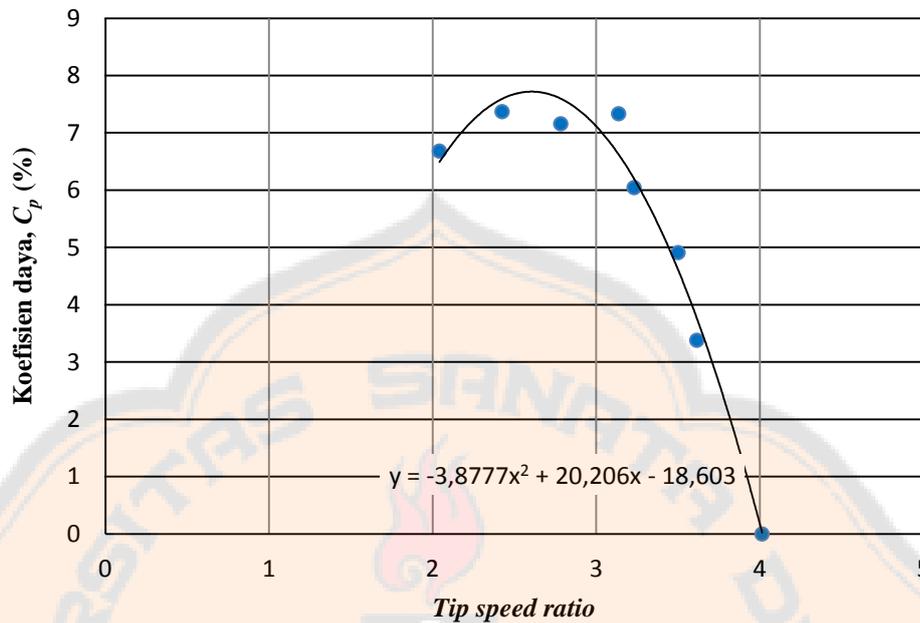
Data-data yang telah di peroleh diolah kembali dalam bentuk grafik untuk mengetahui hubungan antara torsi (N.m) dengan kecepatan putar kincir (rpm), daya yang dihasilkan kincir (P_{out}) kecepatan putar kincir (rpm) dan koefisien daya kincir (C_p) dengan *tip speed ratio* (tsr). Grafik yang disajikan untuk setiap variasi lapisan sudu kincir angin dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 4.1. Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi tanpa lapisan sudu



Gambar 4.2. Hubungan antara daya output dengan beban torsi pada variasi tanpa lapisan sudu



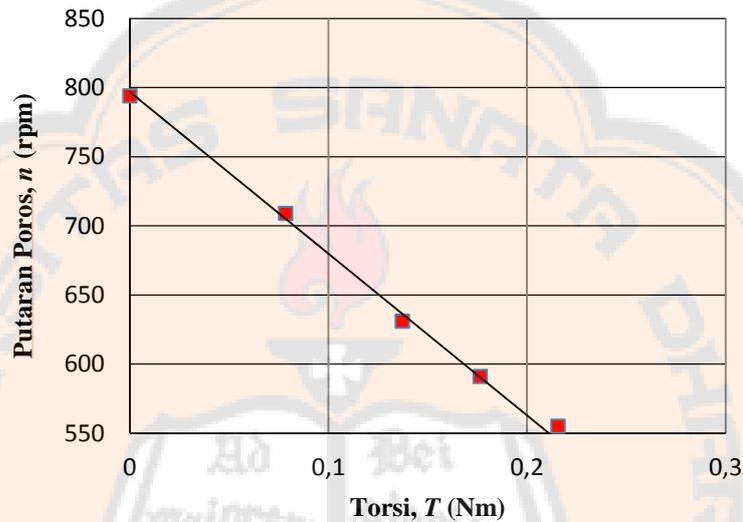
Gambar 4.3. Hubungan antara koefisien daya (C_p) dengan *tip speed ratio* pada variasi tanpa lapisan sudu

Pada Gambar 4.1. Semakin besar kecepatan putar kincir angin maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Dalam pengambilan data menggunakan kecepatan angin sebesar 8,52 m/s, torsi maksimal yang dihasilkan 0,27 Nm dan kecepatan putar kincir maksimal sebesar 822 rpm.

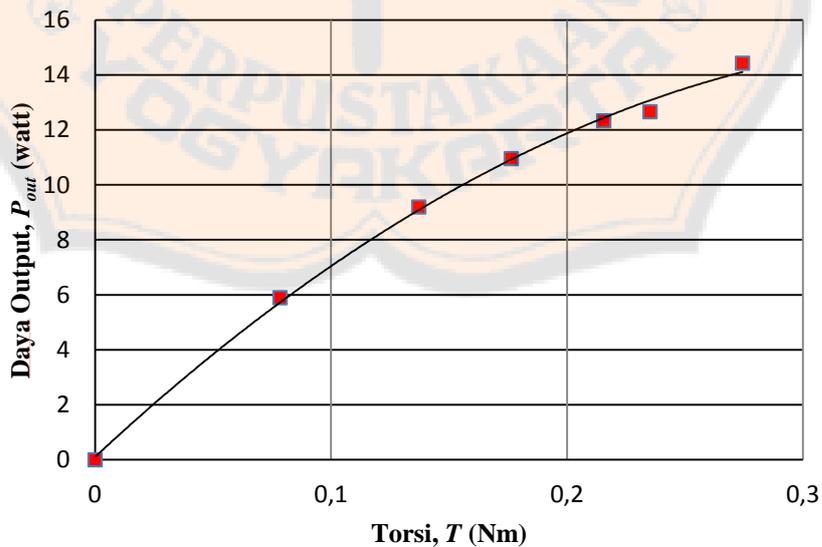
Pada Gambar 4.2. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan putar kincir maka semakin besar juga daya yang dihasilkan sampai kondisi maksimal kemudian daya mengecil. Pada kecepatan angin 8,41 m/s, daya maksimal dicapai pada torsi 0,25 Nm yaitu sebesar 13,0 watt.

Pada Gambar 4.3. Dapat dilihat bahwa semakin besar *tsr* maka semakin besar C_p yang dihasilkan, sampai kondisi maksimal kemudian C_p mengecil. Pada grafik diatas dengan melakukan pendekatan diperoleh persamaan $C_p = -3,8777tsr^2 + 20,206tsr - 18,603$

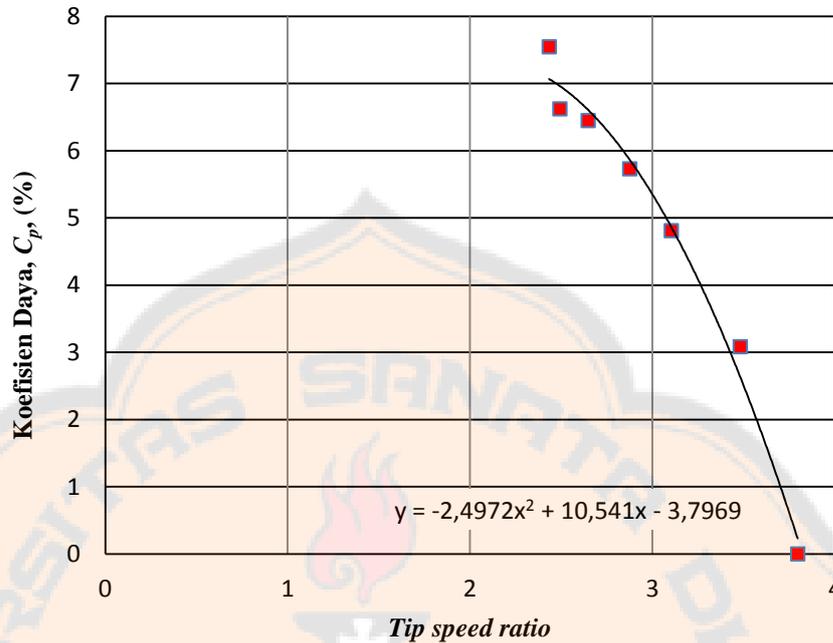
lalu persamaan tersebut dideferensialkan sehingga didapat $\frac{dy}{dx} = 2(-3,8777 \text{ tsr}) + 20,20$. Dari perhitungan tersebut didapat nilai C_p maksimal sebesar 7,7 % pada tsr 2,60.



Gambar 4.4. Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi lapisan aluminium pada bagian depan sudu



Gambar 4.5. Hubungan antara daya output dan torsi untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan sudu



Gambar 4.6. Hubungan antara C_p dan t_{sr} untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan sudu

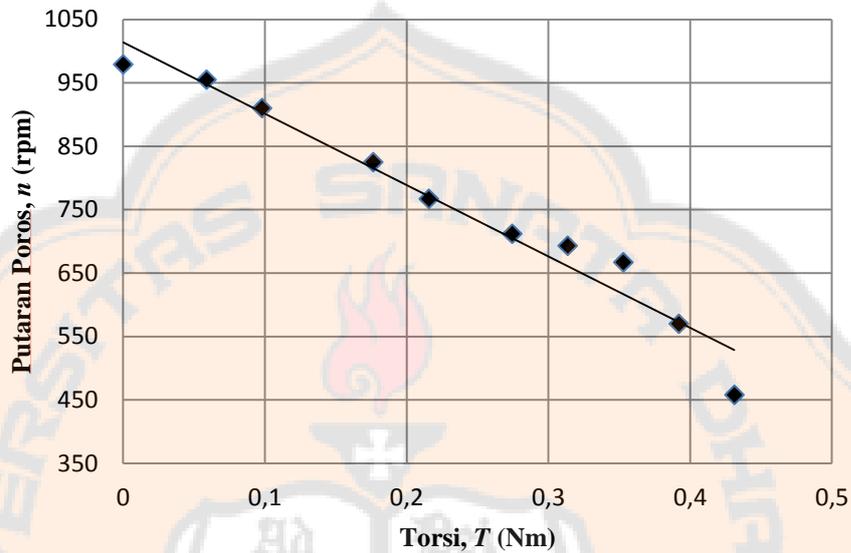
Pada Gambar 4.4. Semakin besar kecepatan putar kincir angin maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Dalam pengambilan data menggunakan kecepatan angin sebesar 8,63 m/s, torsi maksimal yang dihasilkan 0,27 Nm dan kecepatan putar kincir maksimal sebesar 794 rpm.

Pada Gambar 4.5. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan putar kincir maka semakin besar juga daya yang dihasilkan sampai kondisi maksimal kemudian daya mengecil. Pada kecepatan angin 8,64 m/s, daya maksimal dicapai pada torsi 0,27 Nm yaitu sebesar 14,4 watt.

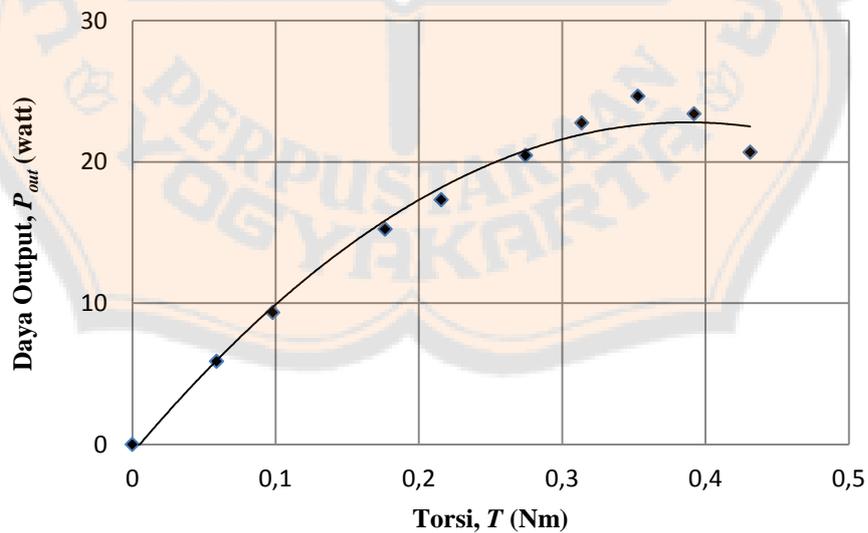
Pada Gambar 4.6. Dapat dilihat bahwa semakin besar t_{sr} maka semakin besar C_p yang dihasilkan, sampai kondisi maksimal kemudian C_p mengecil. Pada grafik diatas dengan melakukan pendekatan diperoleh persamaan $C_p = -2,4972t_{sr}^2 + 10,541t_{sr} - 3,7969$ lalu persamaan tersebut dideferensialkan sehingga didapat

$\frac{dy}{dx} = 2(-2,497tsr)+10,541$. Dari perhitungan tersebut didapat nilai C_p maksimal

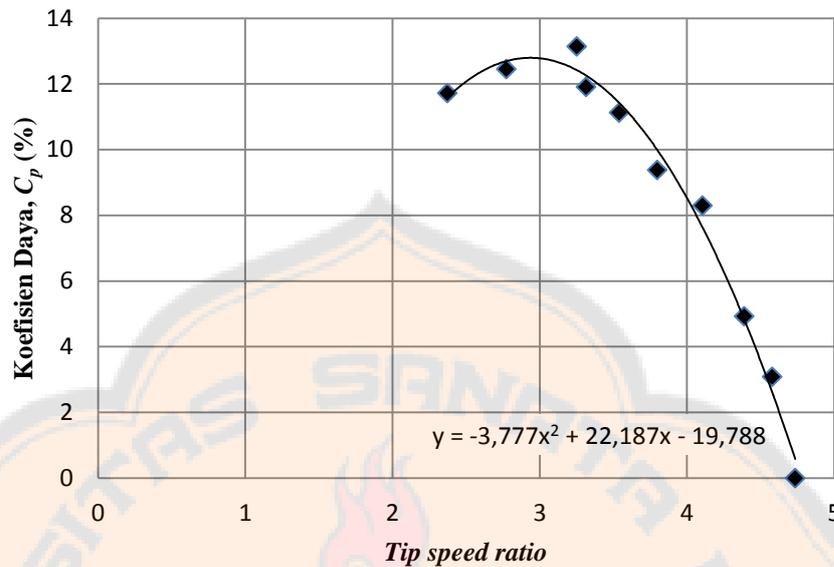
sebesar 7,3 % pada tsr 2,15.



Gambar 4.7. Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi lapisan aluminium pada bagian depan dan belakang sudu



Gambar 4.8. Hubungan antara daya output dan torsi untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan dan belakang sudu



Gambar 4.9. Hubungan antara C_p dan tsr untuk variasi lapisan aluminium pada bagian depan dan belakang sudu

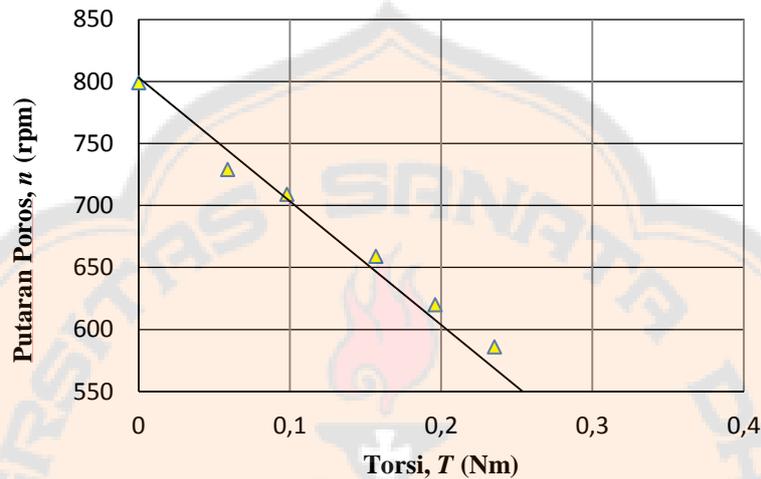
Pada Gambar 4.7. Semakin besar kecepatan putar kincir angin maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Dalam pengambilan data menggunakan kecepatan angin sebesar 8,68 m/s, torsi maksimal yang dihasilkan 0,43 Nm dan kecepatan putar kincir maksimal sebesar 979 rpm.

Pada Gambar 4.8. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan putar kincir maka semakin besar juga daya yang dihasilkan sampai kondisi maksimal kemudian daya mengecil. Pada kecepatan angin 8,68 m/s, daya maksimal dicapai pada torsi 0,35 Nm yaitu sebesar 24,6 watt.

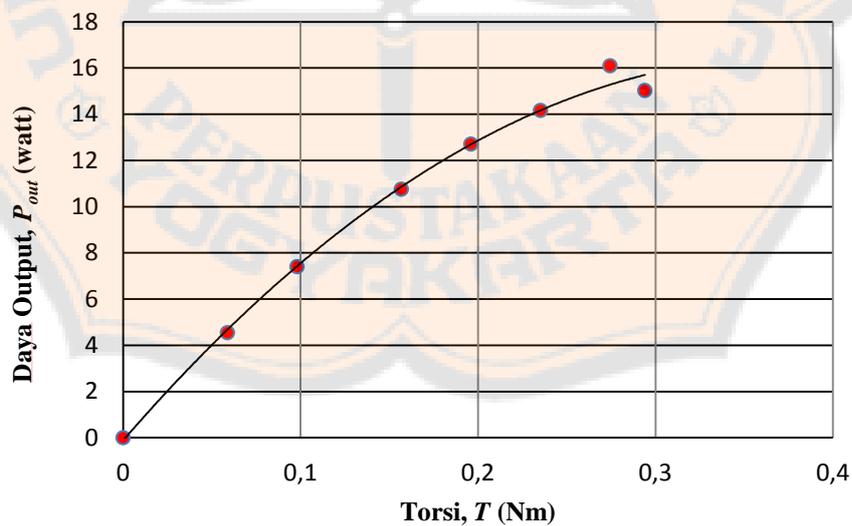
Pada Gambar 4.9. Dapat dilihat bahwa semakin besar tsr maka semakin besar C_p yang dihasilkan, sampai kondisi maksimal kemudian C_p mengecil. Pada grafik diatas dengan melakukan pendekatan diperoleh persamaan $C_p = -3,777tsr^2 + 22,187tsr - 19,788$. Lalu persamaan tersebut dideferensialkan sehingga didapat

$\frac{dy}{dx} = 2(-3,777tsr)+22,187$. Dari perhitungan tersebut didapat nilai C_p maksimal

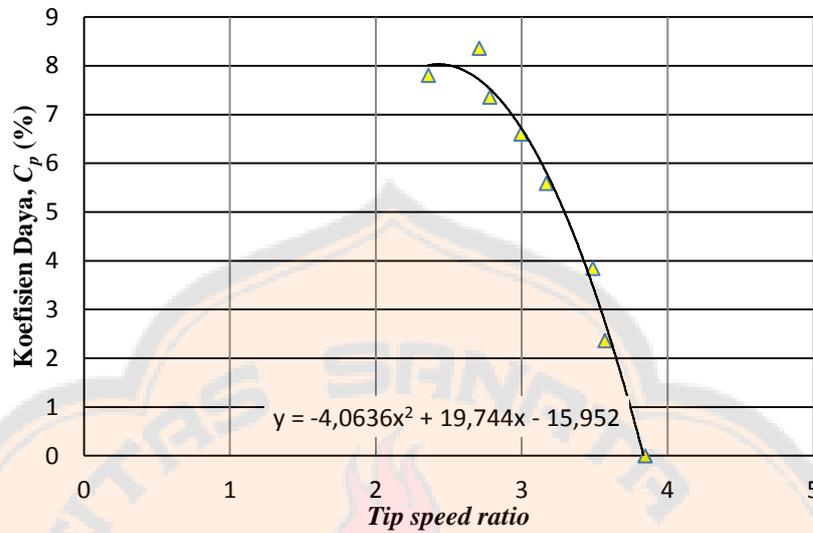
sebesar 12,80 % pada tsr 2,95.



Gambar 4.10. Hubungan putaran poros dengan beban torsi pada variasi lapisan anyaman bambu pada bagian depan dan lapisan plat aluminium pada belakang bagian sudu



Gambar 4.11. Hubungan antara daya output dan torsi untuk variasi lapisan anyaman bambu pada bagian depan dan lapisan plat aluminium pada belakang bagian sudu



Gambar 4.12. Hubungan antara C_p dan tsr untuk variasi lapisan anyaman bambu pada bagian depan dan lapisan plat aluminium pada bagian belakang sudu

Pada Gambar 4.10. Semakin besar kecepatan putar kincir angin maka semakin kecil torsi yang dihasilkan. Dalam pengambilan data menggunakan kecepatan angin sebesar 8,66 m/s, torsi maksimal yang dihasilkan 0,29 Nm dan kecepatan putar kincir maksimal sebesar 799 rpm.

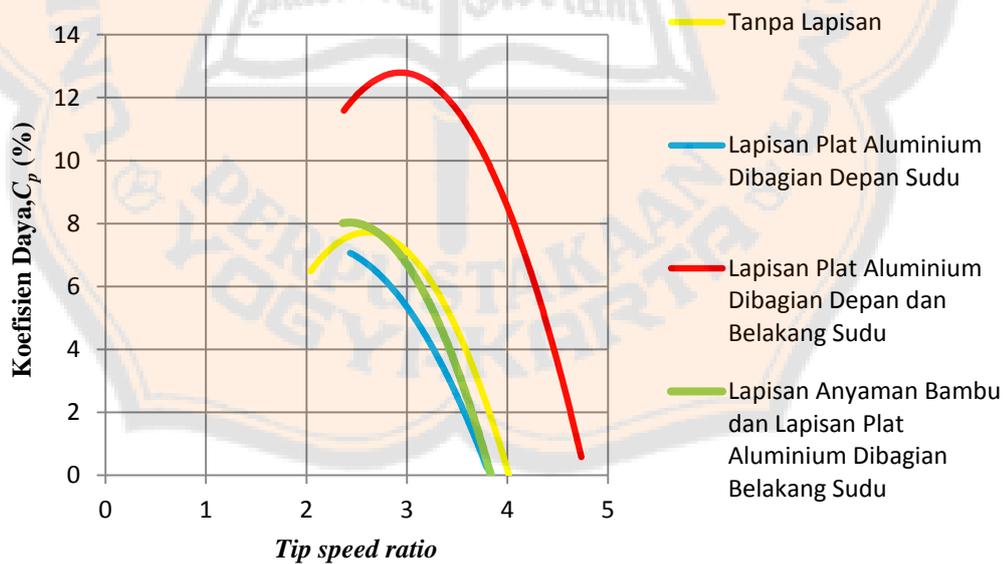
Pada Gambar 4.11. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan putar kincir maka semakin besar juga daya yang dihasilkan sampai kondisi maksimal kemudian daya mengecil. Pada kecepatan angin 8,66 m/s, daya maksimal dicapai pada torsi 0,27 Nm yaitu sebesar 16,1 watt.

Pada Gambar 4.12, dapat dilihat bahwa semakin besar tsr maka semakin besar C_p yang dihasilkan, sampai kondisi maksimal kemudian C_p mengecil. Pada grafik diatas dengan melakukan pendekatan diperoleh persamaan $C_p = -4,0636tsr^2 + 19,744tsr - 15,952$ lalu persamaan tersebut dideferensialkan sehingga didapat

$\frac{dy}{dx} = 2(-4,0636tsr)+ 19,744$. Dari perhitungan tersebut didapat nilai C_p maksimal sebesar 8,0 % pada tsr 2,43.

4.5 Grafik Dari Hasil Perhitungan Tiga Variasi Lapisan Sudu

Gambar 4.13, memperlihatkan bahwa koefisien daya maksimal diperoleh pada variasi lapisan aluminium di bagian depan dan belakang sudu, yaitu 12,80 % pada *tip speed ratio* 2,95 dengan kecepatan angin 8,58 m/s. Variasi lapisan plat aluminium dibagian depan dan belakang sudu merupakan variasi yang terbaik dibandingkan dengan variasi lapisan sudu lainnya.



Gambar 4.13. Hubungan Koefisien daya dan *Tip speed ratio* untuk 4 variasi lapisan sudu

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian kincir angin poros horizontal tiga sudu datar, lebar 9,5 cm dengan sudut patahan 10° yang terbuat dari bahan triplek dengan ketebalan 8 mm dengan empat variasi lapisan sudu dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat kincir angin propeler dengan tiga sudu datar yang terbuat dari bahan triplek dengan empat variasi lapisan sudu, yaitu : tanpa lapisan, lapisan plat aluminium di bagian depan sudu, lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu, lapisan anyaman bambu di bagian depan dan lapisan plat aluminium di bagian belakang sudu.
2. Model kincir angin dengan variasi tanpa lapisan menghasilkan koefisien daya maksimal (C_{pmax}) sebesar 7,7 % pada *tip speed ratio* (tsr) 2,60. Kincir angin dengan variasi lapisan plat aluminium di bagian depan sudu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 7,3 % pada *tip speed ratio* 2,15. Kincir angin dengan lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu menghasilkan koefisien daya maksimal) sebesar 12,80 % pada *tip speed ratio* 2,95. Kincir angin dengan variasi lapisan anyaman bambu di bagian depan dan lapisan plat aluminium di bagian belakang sudu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 8,0 % pada *tip speed ratio* 2,43.

3. Dari keempat variasi kincir yang telah diteliti, model kincir angin dengan lapisan plat aluminium di bagian depan dan belakang sudu menghasilkan koefisien daya maksimal paling tinggi sebesar 12,80 % pada *tip speed ratio* 2,95.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini ada beberapa hal yang dapat menjadi saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Kondisikan *wind tunnel* agar menghasilkan kecepatan angin yang lebih stabil.
2. Lebih teliti dalam pembuatan kincir angin agar memperoleh bentuk yang lebih baik dan presisi sesuai dengan desain kincir yang sudah dibuat.
3. Perbanyak variasi lapisan sudu agar mengetahui unjuk kerja variasi lapisan sudu lainnya.
4. Kreasikan bentuk sudu kincir agar memperoleh data yang lebih bervariasi.
5. Kalibrasi alat ukur sebelum digunakan agar data yang diperoleh lebih akurat.
6. Agar putaran kincir lebih *balance*, usahakan sudu-sudu kincir memiliki berat yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, Y. 2007 : “*Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit listrik tenaga Bayu*”, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2005. Pengelolaan Energi Nasional.
- GET STT-PLN. 2014, Skema Terjadinya Angin, www.getsttpln.com., Diakses pada 27 Februari 2015.
- Johnson, Gary.L. 2006. “*Wind Energy System*”. Wind Energi.
- Manwell, J.F dan Rogers, A.L. (2009). *Wind Energy Explained : Theory, Design and Application*, Johnwilley and Sons, Ltd.
- Sutrisna, Fendi. 2011. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin, www.indone5ia.wordpress.com., Diakses pada 28 Februari 2015.

LAMPIRAN



Proses pembuatan kincir angin



Proses pembuatan kincir angin



Proses pengujian kincir angin



Proses pengujian kincir angin