

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT DENGAN
SEMBILAN PLAT PENGARAH**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Mesin



Oleh:

ANICETUS AGUSTINUS DAITO

NIM : 105214042

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

2014

**TWO-BLADE TWO-LEVEL SAVONIUS WINDMILL WITH
NINE STEERING PLATES**

AN UNDERGRADUATE THESIS

Presented as Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of *Sarjana Teknik*
in Mechanical Engineering



By

ANICETUS AGUSTINUS DAITO

Student Number: 105214042

MECHANICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

SANATA DHARMA UNIVERSITY

YOGYAKARTA

2014

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT DENGAN
SEMBILAN PLAT PENGARAH**

Disusun Oleh:

ANICETUS AGUSTINUS DAITO
NIM : 105214042

Telah Disetujui Oleh:



Ir. Rines, M.T.
Dosen Pembimbing

Yogyakarta, 11 Agustus 2014

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT DENGAN
SEMBILAN PLAT PENGARAH**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

NAMA : ANICETUS AGUSTINUS DAITO
N.I.M : 105214042

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada 24 Juli 2014

Susunan Dewan Penguji

Nama Lengkap

Tanda tangan

Ketua : A. Prasetyadi, S.Si., M.Si.



Sekretaris : Wibowo Kusbandono, S.T., M.T.



Anggota : Ir. Rines, M.T.



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

Yogyakarta, 12 Agustus 2014

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 SEMBILAN PLAT PENGARAH

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 Juli 2014

Penulis,



Anicetus Agustinus Daito

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

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

Nama : ANICETUS AGUSTINUS DAITO

Nomor Mahasiswa : 105214042

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

**KINCIR ANGIN SAVONIUS DUA SUDU DUA TINGKAT DENGAN
SEMBILAN PLAT PENGARAH**

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, 22 Juli 2014

Yang menyatakan



Anicetus Agustinus Daito

INTISARI

Indonesia termasuk negara kepulauan yang memiliki potensi angin yang cukup melimpah. Potensi angin tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi angin yang dikonversikan ke dalam energi listrik dengan bantuan alat yang kita sebut dengan kincir angin. Salah satu jenis kincir angin yang akan dibuat dan diteliti dalam tugas akhir ini adalah kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan sembilan plat pengarah. Kincir angin ini mempunyai kelebihan yaitu memiliki torsi yang besar dan dapat menangkap angin dari segala arah kecuali atas dan bawah. Penelitian ini bertujuan menyelidiki unjuk kerja dari model-model kincir angin Savonius dengan sembilan plat pengarah dengan tiga variasi sudut, yaitu 15° , 30° dan 45° dan model tanpa pengarah. Model kincir manakah di antara model yang diteliti memiliki unjuk koefisien daya tertinggi.

Kincir angin yang diuji memiliki diameter 65 cm dan tinggi 85 cm. Plat pengarah berjumlah sembilan, lebar 12,5 cm dan tinggi 90 cm. Pengujian dilakukan di dalam terowongan angin yang ada di Laboratorium Konversi Energi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Data yang diambil dalam pengujian kincir angin adalah kecepatan angin, kecepatan putar kincir, beban pengereman dan suhu.

Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa setelah melakukan perhitungan daya *output*, koefisien daya, dan *tip speed ratio* (*TSR*), koefisien daya puncak yang dihasilkan oleh kincir angin Savonius sebesar 27.16 % pada *TSR* 1,08 untuk variasi 15° , koefisien daya sebesar 30,96 % pada *TSR* 0,95 untuk variasi 30° , koefisien daya sebesar 30,48 % pada *TSR* 1,58 untuk variasi 45° dan koefisien daya sebesar 24,48% pada *TSR* 1,06 untuk variasi tanpa plat pengarah. Disimpulkan dari hasil perhitungan data bahwa variasi kincir angin dengan model unjuk koefisien daya tertinggi ditunjukkan oleh plat pengarah bersudut 30° .

Kata Kunci : Kincir Angin Savonius, koefisien daya, *Tip Speed Ratio*.

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago country with abundant wind potential. Wind potential can be utilized as a source of wind energy which is converted into electrical energy with the help of a tool called the windmill. One type of windmill that will be created and studied in this thesis is two-blade two-level Savonius windmill with nine steering plates. This windmill has the advantage that has great torque that can capture wind from any direction except from the top and the bottom. This research aims to explore the performance of the models of Savonius windmill with nine steering plates with three variations of angles, which are 15° , 30° and 45° and without steering model. This research also finds out which one of wheel models studied models has the coefficient of the highest power.

The tested windmill has a diameter of 65 cm and height 85 cm. There are nine steering plates with 12.5 cm wide and 90 cm high. The tests are conducted in the wind tunnel in Energy Conversion Laboratory of Sanata Dharma University, Yogyakarta. Data taken in testing windmills are wind speed, wheel rotational speed, braking load and temperature.

Based on the research results, it is found that after doing the calculation of power output, power coefficient and tip speed ratio (TSR), the coefficient of the peak power generated by windmills Savonius is 27.16% at 1.08 TSR for the 15° variation, the power coefficient of 0.95% at 30.96 TSR for the 30° variation, the power coefficient of 30.48% at 1.58 TSR for the 45° variation, and power coefficient by 24.48% at 1.06 TSR to the without steering plate variation. It can be inferred from the data that the calculation result of the windmill variation with the coefficient of the highest power model is shown by steering plate with angle of 30° .

Keywords: Savonius Windmill, Power coefficient, Tip Speed Ratio.

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

Berkat bimbingan serta bantuan pikiran atau saran 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., sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Ir. PK. Purwandi, M.T., sebagai Kepala Program Studi Teknik Mesin Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Ir. Rines, M.T., sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Dr. Drs. Vet. Asan Damanik, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Orang tua dan seluruh saudara-saudari tercinta yang banyak membantu dalam hal moral maupun materi serta doa restunya.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

6. Staf pengajar, yang senantiasa membimbing saya sampai menyelesaikan kuliah.
7. Maria Cynthia Rani, yang sudah membantu dan mendukung saya sampai lulus.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuannya.

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pihak membaca laporan ini demi penyempurnaan dikemudian hari. Akhir kata seperti yang penulis harapkan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 22 Juli 2014

Penulis

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 |
| ABSTRACT | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xviii |
| BAB I : PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan Masalah..... | 2 |
| C. Tujuan..... | 2 |
| D. Manfaat..... | 2 |
| E. Batasan Masalah..... | 3 |

BAB II : TINJAUAN TEORI

| | | |
|----|--|----|
| A. | Energi Angin..... | 4 |
| B. | Kincir Angin..... | 5 |
| | 1. Kincir Angin Poros Horisontal..... | 5 |
| | 2. Kincir Angin Poros Vertikal..... | 6 |
| | 3. Kincir Angin Savonius dengan Tambahan 9 Plat Pengarah 15°, 30° dan 45..... | 8 |
| | 4. Prinsip Kerja Kincir Angin | 9 |
| C. | Perhitungan Pada Kincir | 10 |
| | 1. Energi Angin (P_{in}) | 10 |
| | 2. Daya Yang Dihasilkan Angin (P_{out}) | 11 |
| | 3. Kecepatan Sudut Kincir | 11 |
| | 4. Torsi Kincir | 12 |
| | 5. Tip Speed Ratio | 12 |
| | 6. Koefisien Daya (efisiensi) Kincir..... | 13 |

BAB III : METODE PENELITIAN

| | | |
|----|----------------------------|----|
| A. | Objek Penelitian..... | 15 |
| B. | Pendekatan Penelitian..... | 15 |
| | 1. Pengumpulan Data..... | 16 |
| | 2. Analisis Data..... | 17 |

| | |
|--|----|
| a. Proses Pembuatan Kincir, Pengambilan Data dan Penelitian..... | 18 |
| i. Sudu..... | 19 |
| ii. Plat Pengarah..... | 20 |
| iii. Batang Penyanggah Kincir Angin atau Poros..... | 20 |
| iv. Sistem Pembebanan atau Rem..... | 21 |
| v. Papan Penyanggah Plat Pengarah..... | 22 |
| vi. Sudut Penepatan Plat Pengarah 15°, 30° dan 45°..... | 23 |
| vii. Terowongan Angin..... | 23 |
| viii. Blower..... | 24 |
| ix. Tachometer..... | 25 |
| x. Anemometer..... | 25 |
| xi. Neraca Pegas..... | 26 |
| b. Variabel Penelian dan Pengambilan Data..... | 27 |
| c. Langkah Pengolahan Data..... | 28 |

BAB IV : PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| A. Data Hasil Percobaan | 30 |
| B. Pengolahan Data Dan Perhitungan | 35 |
| 1. Perhitungan Daya Angin (P_{in}) | 35 |
| 2. Perhitungan Daya Kincir (P_{out}) | 36 |
| 3. Perhitungan Tip Speed Ratio..... | 37 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

| | |
|--|----|
| 4. Perhitungan Koefisien Daya Kincir (CP) | 37 |
| 5. Grafik Hasil Perhitungan | 47 |
| a. Grafik Hubungan antara Torsi dengan Kecepatan Putar Kincir..... | 47 |
| b. Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Torsi..... | 49 |
| c. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio..... | 52 |
| 6. Pembahasan..... | 54 |
| BAB V : PENUTUP | |
| A. Kesimpulan | 56 |
| B. Saran | 56 |
| DAFTAR PUSTAKA | 58 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-----------|--|----|
| Gambar 1 | Kincir Angin Poros Horisontal | 6 |
| Gambar 2 | Kincir Angin Poros Vertikal | 7 |
| Gambar 3 | Gaya Angkat dan Gaya Dorong..... | 9 |
| Gambar 4 | Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya (CP) Dengan Tip Speed Ratio (TSR) Dari Beberapa jenis Kincir..... | 13 |
| Gambar 5 | Diagram Alir Langkah-langkah Penelitian..... | 17 |
| Gambar 6 | Konstruksi Kincir Angin..... | 18 |
| Gambar 7 | Sudu Kincir..... | 19 |
| Gambar 8 | Plat Pengarah..... | 20 |
| Gambar 9 | Batang Penyangga Kincir atau Poros..... | 21 |
| Gambar 10 | Sistem Pembebanan..... | 22 |
| Gambar 11 | Papan Penyanggah Plat Pengarah..... | 22 |
| Gambar 12 | Sudut Penempatan Plat Pengarah 15°, 30° dan 45°..... | 23 |
| Gambar 13 | Terowongan Angin atau Wind Tunnel..... | 24 |
| Gambar 14 | Blower..... | 24 |
| Gambar 15 | Tachometer..... | 25 |
| Gambar 16 | Reflektor..... | 25 |
| Gambar 17 | Anemometer..... | 26 |
| Gambar 18 | Neraca Pegas..... | 26 |
| Gambar 19 | Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Plat | |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

| | | |
|-----------|---|----|
| | Pengarah 15°..... | 47 |
| Gambar 20 | Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Plat Pengarah 30°..... | 48 |
| Gambar 21 | Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Plat Pengarah 45°..... | 48 |
| Gambar 22 | Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Tanpa Plat Pengarah..... | 49 |
| Gambar 23 | Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir Plat Pengarah 15°..... | 50 |
| Gambar 24 | Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir Plat Pengarah 30°..... | 50 |
| Gambar 25 | Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir Plat Pengarah 45°..... | 51 |
| Gambar 26 | Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir tanpa Plat Pengarah..... | 51 |
| Gambar 27 | Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio dengan Plat Pengarah 15°..... | 52 |
| Gambar 28 | Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio dengan Plat Pengarah 30°..... | 53 |
| Gambar 29 | Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio dengan Plat Pengarah 45°..... | 53 |

Gambar 30 Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio
dengan tanpa Plat Pengarah 54



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Data Percobaan Kincir dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 15° | 30 |
| Tabel 2. Data Percobaan Kincir dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 30° | 31 |
| Tabel 3. Data Percobaan Kincir dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 45° | 32 |
| Tabel 4. Data Percobaan Kincir Tanpa Plat Pengarah | 33 |
| Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Percobaan Kincir dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 15° | 39 |
| Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Percobaan Kincir dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 30° | 41 |
| Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Percobaan Kincir dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 45° | 43 |
| Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Percobaan Kincir dengan 9 Plat Tanpa Pengarah..... | 45 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dengan meningkatnya kegiatan pembangunan ekonomi, maka kegiatan di bidang energi pun makin lama makin meluas dan meninggi. Peningkatan kegiatan di bidang energi ini di satu pihak menuntut ditingkatkannya jumlah tenaga ahli guna memenuhi kebutuhan berbagai sektor energi.

Upaya-upaya pencarian sumber energi alternatif membuat para peneliti di berbagai negara untuk mencari energi alternatif sekarang dengan istilah energi terbarukan. Salah satu energi alternatif adalah energi angin. Indonesia yang merupakan negara kepulauan memiliki potensi yang cukup tinggi dalam penggunaan energi angin. Pemanfaatan angin dapat dilakukan dengan pemanfaatan energi angin 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 digunakan jenis kincir angin Savonius yang berbentuk vertikal. Jenis kincir angin Savonius ini dapat menghasilkan listrik dengan putaran rendah dan torsi yang besar dengan menggunakan generator sinkron atau magnet permanen yang dihubungkan ke penyearah dioda, konverter, dan inverter yang disusun menjadi rangkaian untuk menghasilkan listrik yang bertujuan agar energi

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

angin dapat menjadi energi alternatif yang menguntungkan. Oleh sebab itu maka dilakukan penelitian untuk pengembangan energi angin.

B. Rumusan Masalah

Penelitian diadakan dan dirancang untuk mengetahui seberapa besar unjuk kerja dari model-model kincir angin Savonius dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° dibandingkan dengan model tanpa pengarah, dan untuk mendapatkan sebuah model kincir terbaik diantara model-model yang diteliti.

C. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui koefisien daya puncak dari model-model kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah.
2. Menentukan model salah satu kincir angin Savonius yang memiliki koefisien daya puncak tertinggi.

D. Manfaat

Penelitian ini memiliki tiga buah manfaat yang bisa didapatkan, 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.

E. 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, diameter 65 cm dan tinggi 85 cm.
2. Plat pengarah berjumlah sembilan 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

TINJAUAN TEORI

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

A. Energi Angin

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik maupun energi mekanik melalui proses konversi konversi ke energi mekanik dan selanjutnya ke energi listrik (www.p3tkebt.esdm.go.id, 28 Mei 2014). Energi angin didapatkan dari alam dan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Dinyatakan juga bahwa energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik untuk memutar peralatan seperti pompa piston, penggilingan, dan lain-lain (www.p3tkebt.esdm.go.id, 28 Mei 2014). Itu berarti banyak kegiatan manusia yang sangat bergantung pada kekuatan energi angin.

Pada artikel yang sama juga ditulis bahwa pengolahan energi mekanik selanjutnya adalah memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Kedua proses perubahan 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 (www.p3tkebt.esdm.go.id, 28 Mei 2014).

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 pompa piston dan alat penggilingan sudah mulai jarang dilakukan.

B. Kincir Angin

Kincir angin adalah sebuah alat yang didesain sedemikian rupa sehingga mampu memanfaatkan kekuatan angin kemudian mengubah kekuatan angin tersebut menjadi energi mekanik (www.anneahira.com, 28 Mei 2014). 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 horisontal dan vertikal disajikan sebagai tinjauan teori dalam penelitian ini.

1. Kincir Angin Poros Horisontal

Kincir Angin Poros Horisontal 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 (www.whypgen-bppt.com, 28 Mei 2014). 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 1. Kincir Angin Poros Horizontal
(Sumber: www.indoenergi.com/2012/07/jenis-jenis-turbin-angin.html, 28 Mei 2014)

2. Kincir Angin Poros Vertikal

Kincir angin jenis kedua yaitu kincir angin poros vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbin (VAWT)*. Disebutkan dalam artikel *WHyPGen* bahwa pada dasarnya cara

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

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 (www.whypgen-bppt.com, 28 Mei 2014).

Disebutkan dalam artikel dalam *WHyPGen*, terdapat tiga jenis desain kincir angin bersumbu vertikal. Dibawah ini diberikan gambar ketiga jenis desain kincir angin bersumbu vertikal.



Gambar 2. Dari Kiri ke Kanan: Savonius, Darrieus dan Giromill
(Sumber: www.whypgen-bppt.com/whypgen-technology/item/758-jenis-jenis-teknologi-energi-angin.html, 28 Mei 2014)

Yang pertama adalah kincir angin poros tegak tipe Savonius yang kebanyakan menggunakan sudu tipe pelat lengkung (www.whypgen-bppt.com, 28 Mei 2014).

Yang kedua adalah kincir angin Darrieus yang merupakan salah satu tipe turbin angin poros tegak yang menggunakan sudu profil propeller. Dalam aplikasinya turbin angin darrieus 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 (www.whypgen-bppt.com, 28 Mei 2014).

Desain kincir angin bersumbu vertikal yang ketiga 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 darrius, sudu *propeller* dipasangkan melengkung. (www.whypgen-bppt.com, 28 Mei 2014).

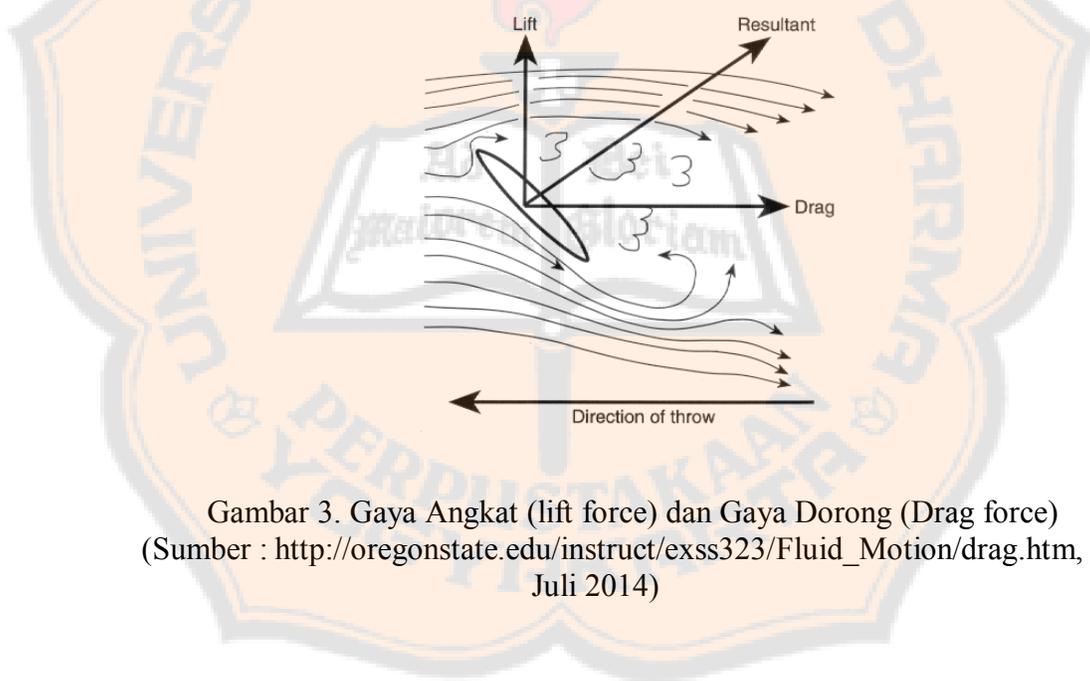
3. Kincir Angin Savonius dengan Sembilan Plat Pengarah 15°, 30° dan 45°

Penelitian ini hanya akan meneliti mengenai kincir angin vertikal berdesain Savonius dengan sembilan plat 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 sembilan plat pengarah bersudut 15°, 30°, dan 45° adalah:

- a. Memiliki torsi yang besar.
- b. Dapat menerima angin dari segala arah kecuali atas dan bawah.
- c. Kincir dapat ditempatkan atau diletakkan di atas bangunan.

4. Prinsip Kerja Kincir Angin

Prinsip kerja Kincir Angin adalah mengkonversi 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 3. Gaya Angkat (*lift force*) dan Gaya Dorong (*Drag force*)
(Sumber : http://oregonstate.edu/instruct/exss323/Fluid_Motion/drag.htm, 13 Juli 2014)

C. Perhitungan Pada Kincir

1. Energi Angin (P_{in})

Energi angin adalah energi yang dimiliki oleh angin karena kecepatannya, sehingga merupakan suatu bentuk energi kinetik. Energi kinetik tersebut dapat disusun dalam, persamaan 1.

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots(1)$$

Dengan E_K adalah energi kinetik dengan satuan Joule, m adalah massa dengan satuan kg, dan v adalah kecepatan angin dengan satuan m/s.

Dari persamaan 1, dapat ditentukan bahwa daya merupakan energi persatuan waktu sehingga persamaan tersebut menjadi persamaan 2:

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

Dengan P_{in} adalah daya yang tersedia pada angin dengan satuan watt, \dot{m} adalah massa udara yang mengalir persatuan waktu dengan satuan kg/s, dan v adalah kecepatan angin dengan satuan m/s.

Densitas udara (ρ) yang mengalir per satuan waktu dituliskan dalam persamaan 3.

$$\dot{m} = \rho A v \dots\dots\dots(3)$$

Dengan, untuk ρ adalah densitas udara dengan satuan kg/m^3 , A adalah luasan angin yang ditangkap kincir dengan satuan m^2 , dan v adalah kecepatan angin dengan satuan m/s.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Persamaan 2 disubstitusikan ke persamaan 3, maka dapat diperoleh daya yang tersedia pada angin dituliskan dalam persamaan 4 :

$$P_{in} = \frac{1}{2} (\rho A v) v^2 \dots\dots\dots(4)$$

Yang dapat disederhanakan menjadi persamaan 5 :

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(5)$$

Densitas udara dalam penggunaannya dapat disederhanakan dengan mengansumsikan $(\rho) = 1,2 \text{ kg/m}^3$, maka diperoleh daya angin, persamaan 6 :

$$P_{in} = 0,6 A v^3 \dots\dots\dots(6)$$

2. Daya yang Dihasilkan Kincir (P_{out})

Daya yang dihasilkan kincir (P_{out}) adalah daya yang dihasilkan kincir akibat adanya angin yang melintasi sudu kincir. Sehingga daya kincir yang dihasilkan oleh gerakan melingkar kincir dapat dituliskan dalam persamaan 7:

$$P_{out} = T \omega \dots\dots\dots(7)$$

Dengan, untuk P_{out} adalah daya yang dihasilkan dengan satuan watt, T adalah torsi dengan satuan Nm, ω adalah kecepatan sudu dengan satuan rad/s.

3. Kecepatan Sudu Kincir

Kecepatan sudut dapat dikatakan juga sebagai perubahan sudut persatuan waktu dalam gerak melingkar, untuk mengkonversikanya perlu diingat bahwa $1 \text{ rpm} = 2\pi/60 \text{ rad/sec}$. Kecepatan sudut dapat dituliskan dengan menggunakan rumus dalam persamaan 8 :

$$\omega = \frac{2\pi}{60} n \dots\dots\dots(8)$$

Dengan n adalah kecepatan putaran kincir dengan satuan rpm.

4. Torsi Kincir

Gaya yang bekerja pada poros dihasilkan oleh gaya dorong pada sudu kincir yang dikurangi dengan gaya hambat (gaya yang berlawanan arah). Gaya dorong ini memiliki jarak terhadap sumbu poros kincir yang berputar. Torsi (T) merupakan hasil kali dari gaya (F) dengan panjang lengan torsi (l). Perhitungan torsi dapat dituliskan dengan menggunakan rumus dalam persamaan 9 :

$$T = F l \dots\dots\dots(9)$$

Dengan, untuk T adalah torsi akibat putaran poros dengan satuan Nm, F adalah gaya pembebanan dengan satuan N, l adalah panjang lengan torsi dengan satuan m.

5. Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio adalah hubungan kecepatan angin dengan kecepatan ujung sudu.

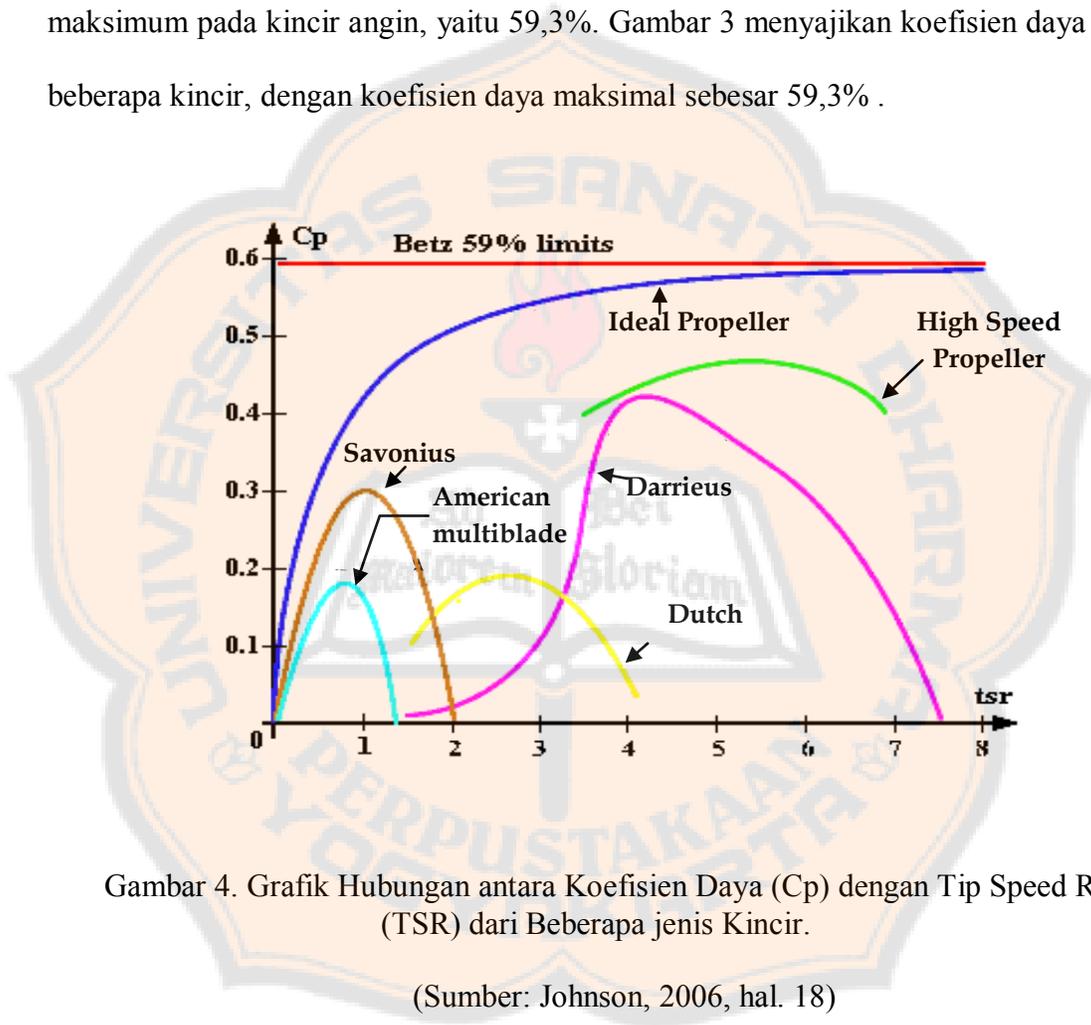
TSR dapat dituliskan dalam persamaan 10 :

$$TSR = \frac{2\pi nr}{60 v} \dots\dots\dots(10)$$

Dengan r adalah jari-jari kincir dengan satuan m, n adalah kecepatan putar kincir dengan satuan rpm, v adalah kecepatan angin dengan satuan m/s.

6. Koefisien Daya (Efisiensi) Kincir

Seorang ilmuwan Jerman yang bernama Albert Bezt telah menemukan efisiensi maksimum pada kincir angin, yaitu 59,3%. Gambar 3 menyajikan koefisien daya dari beberapa kincir, dengan koefisien daya maksimal sebesar 59,3% .



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya (C_p) dengan Tip Speed Ratio (TSR) dari Beberapa jenis Kincir.

(Sumber: Johnson, 2006, hal. 18)

Koefisien daya (*Power Coefficient/Cp*) menunjukkan hubungan antara daya yang dihasilkan oleh kincir (P_{out}) dengan daya yang tersedia angin (P_{in}). Koefisien daya dituliskan dalam persamaan 11.

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(11)$$

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Dengan P_{out} adalah Daya yang dihasilkan kincir dengan satuan watt, P_{in} adalah daya yang tersedia angin dengan satuan watt.



BAB III

METODE PENELITIAN

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

A. Objek Penelitian

Penelitian ini membahas mengenai unjuk kerja kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat 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.

B. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan teori konversi energi tenaga angin. Teori konversi tenaga angin sangat berguna dalam mencari unjuk kerja kincir angin Savonius dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah dan mengetahui koefisien daya yang tertinggi.

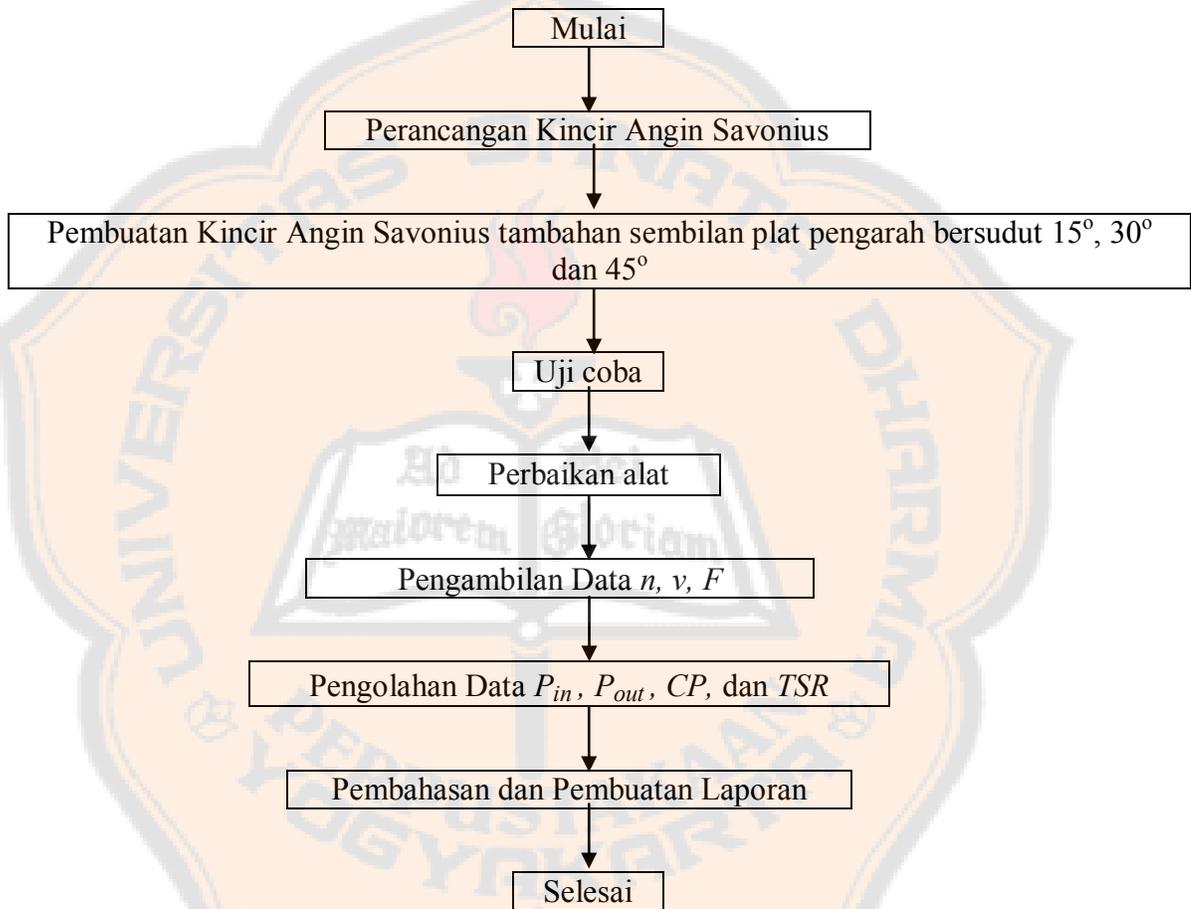
1. Pengumpulan Data

Penelitian ini mencari unjuk kerja kincir angin Savonius dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah dan mengetahui koefisien daya tertinggi. Hasil penelitian didapatkan dari hasil proses pembuatan kincir dan pengujian di laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.



2. Analisis Data

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



Gambar 5. Diagram Alir Langkah Kerja Penelitian

a. 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 sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° beserta bagian-bagiannya dapat dilihat pada Gambar 6.



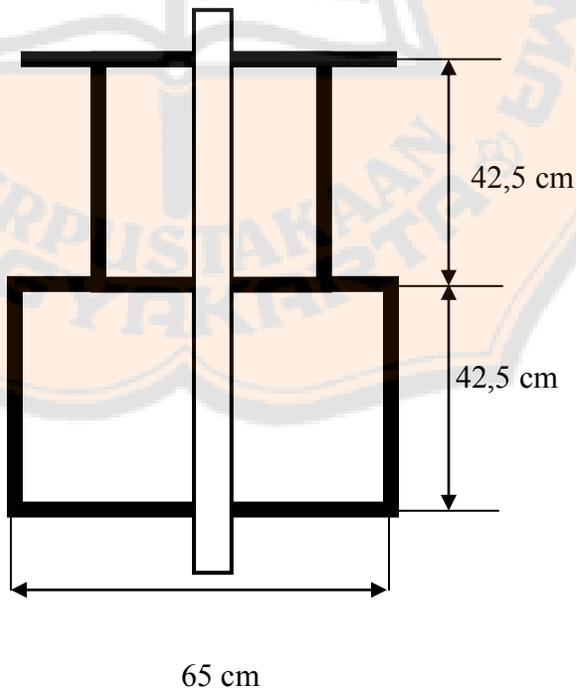
Gambar 6. Kontruksi Kincir Angin

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

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

i. Sudu Kincir

Sudu adalah merupakan bagian dari turbin angin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak (*WHyPGen*, whyppen-bppt.com, 14 Juli 2014). Sudu kincir untuk kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat tambahan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° terbuat dari plat seng dengan tebal 2 mm yang digunakan untuk menangkap angin yang melintasi kincir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sudu Kincir

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

ii. Plat Pengarah

Berfungsi sebagai penangkap dan mengarahkan angin menuju sudu utama. Terbuat dari triplek dengan panjang 90 cm, lebar 12,5 cm dan tebal 0,4 cm dan pada sisi samping di lapi aluminium. Pada sisi bagian atas dan bawah dipasangkan aluminium L sebagai penyanggah agar dapat di pasang pada papan penyanggah plat, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Plat Pengarah

iii. Batang Penyanggah Kincir Angin atau Poros

Poros rotor berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator, dapat secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi gearbox (WHyPGen, whyngen-bppt.com, 13 Juli 2014). Penyangga kincir atau poros terbuat dari plaron $\frac{3}{4}$ " atau 19,1 mm yang disatukan dengan paralon 1" atau 25,4 mm agar kuat menahan getaran dari kincir angin dan tidak mudah patah. Bagian ini berfungsi untuk mentransmisikan putaran kincir menuju alat pembebanan. proses pembuatan dengan cara plaron 1" atau 25,4 mm di potong satu bagian secara horizontal lalu plaron $\frac{3}{4}$ "

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

atau 19,1 mm dimasukkan kedalamnya, dengan panjang plaron 1200 mm. seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Batang Penyanggah Kincir atau Poros

iv. Sistem Pembebanan atau Rem

Rem berfungsi untuk menghentikan putaran poros rotor yang bertujuan untuk keamanan atau pada saat dilakukan perbaikan (WHyPGen, whypgen-bppt.com, 13 Juli 2014). 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 digantung wadah untuk pembebanan menggunakan pasir. Sistem ini menggunakan prinsip jungkat jungkit pesawat sederhana. Jika wadah pembebanan diisikan pasir maka ujung karet pengereman akan terangkat mengurangi putaran kincir angin karena bergesekan dengan piringan pengereman, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Sistem Pembebanan

v. Papan Penyanggah Plat Pengarah

Papan penyanggah plat pengarah terbuat dari papan triplek dengan tebal 0,7 cm dengan berdiameter sebesar 90 cm dan papan penyanggah tersebut digambarkan garis pembagi dengan cara 360° dibagi 9 menghasilkan sudut sebesar 40° dan jika digambarkan menghasilkan sembilan buah garis, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Papan Penyanggah Plat Pengarah

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

vi. Sudut Penempatan Plat Pengarah 15°, 30° dan 45°

Sudut ini bertujuan untuk penempatan plat pengarah yang akan dipasang pada papan penyanggah plat pengarah, warna biru sebesar 15°, warna kuning sebesar 30° dan warna merah sebesar 45°, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Sudut Penempatan Plat Pengarah 15°, 30° dan 45°

Dalam pengambilan data digunakan beberapa peralatan penunjang, di antaranya:

vii. Terowongan Angin

Terowongan angin atau *wind tunnel* adalah peralatan yang digunakan untuk pengujian aerodinamik terhadap semua model (Harahap, www.ilmuterbang.com, 13 Juli 2014) sebuah lorong berukuran 1,2m × 1,2m × 2,4m yang berfungsi sebagai tempat dimana angin bergerak dengan kecepatan tertentu sekaligus merupakan tempat pengujian kincir angin, seperti ditunjukkan pada Gambar 13. 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 13. Terowongan Angin atau Wind Tunnel

viii. 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 (Ali, www.scribd.com, 13 Juli 2014). Blower digerakkan oleh motor listrik berdaya 5,5 kW, sebagai transmisiya menggunakan sabuk dan puli, seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. *Blower*

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

ix. Tachometer

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin (www.alatuji.com, 13 Juli 2014). 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 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Tachometer



Gambar 16. Reflektor

x. Anemometer

Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin, dan merupakan salah satu instrumen yang digunakan dalam sebuah stasiun cuaca (joytalita.wordpress.com, 13 Juli 2014). Anemometer diletakkan di depan terowongan angin. Alat ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu sensor elektrik yang diletakkan di depan terowongan angin dan modul digital yang

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

menerjemahkan data dari sensor yang kemudian ditampilkan pada layar digital, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Anemometer

xi. Neraca Pegas

Neraca pegas adalah timbangan sederhana yang menggunakan pegas sebagai alat untuk menentukan massa benda yang diukurnya, neraca pegas mengukur ketegangan pegas yang sebenarnya adalah tekanannya (orangtuasiswa.wordpress.com, 13 Juli 2014). 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 18.



Gambar 18. Neraca Pegas

b. Variabel Penelitian dan Pengambilan Data

Variabel penelitian yang digunakan adalah :

- i. Variasi pembebanan yaitu dari posisi kincir berputar maksimal atau tanpa pembebanan sampai kincir angin berputar dibawah 30 rpm akibat pengereman.
- ii. Variasi kemiringan plat pengarah yaitu 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah.
variabel yang diambil adalah kecepatan angin (m/s), gaya pengimbang (N), putaran kincir (n).

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

- i. Memasang neraca pegas serta pengaitnya pada tempat yang sudah ditentukan.
- ii. Memasang tali pengait pada neraca pegas yang dihubungkan dengan sistem pembebanan.
- iii. Memasang anemometer pada bagian depan terowongan angin.
- iv. Menyiapkan tachometer.
- v. Blower siap untuk dihidupkan.
- vi. Diamkan beberapa saat untuk mendapat kecepatan angin yang konstan pengambilan data dapat di mulai.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

- vii. Awal pengambilan data yaitu tanpa beban yaitu hanya mengambil rpm, kecepatan angin dan suhu.
- viii. 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.
- ix. Ulangi langkah 4 sampai 8 untuk variasi kemiringan dari sudut plat 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah.
- x. Satu variasi kemiringan sudut di ambil sebanyak 3 kali data percobaan, maka total data percobaan menjadi 12 data percobaan.

c. Langkah Pengolahan Data

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

- i. Dari data kecepatan angin (v) dan dengan mengetahui luasan frontal kincir (A), maka daya angin (P_{in}) dapat dicari dengan persamaan 6.
- ii. Data beban pegas (F) dapat digunakan untuk mencari torsi (T) dengan persamaan 9.
- iii. Data kecepatan sudu (ω) dan torsi (T) dapat digunakan untuk mencari daya yang dihasilkan kincir (P_{out}) dengan persamaan 7.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

- iv. Dengan membandingkan kecepatan keliling diujung sudu dan kecepatan angin, maka *tip speed ratio* dapat dicari dengan persamaan 10.
- v. 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

A. Data Hasil Percobaan

Data hasil percobaan ditampilkan pada tabel ke 1 ,2 dan 3 untuk variasi sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah dengan panjang lengan 30cm di ubah menjadi 0,3 m. Data percobaan pada tabel ke 4 untuk kincir angin tanpa plat pengarah.

Tabel 1. Data Percobaan Kincir dengan Sembilan Plat Pengarah dengan Sudut 15°

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 1 | 321,4 | 6,4 | 0 | 0 |
| 2 | 257,3 | 6,3 | 1,96 | 1 |
| 3 | 247,2 | 6,3 | 2,35 | 2 |
| 4 | 212,1 | 6,4 | 2,94 | 3 |
| 5 | 197,3 | 6,4 | 3,34 | 4 |
| 6 | 181,5 | 6,5 | 3,83 | 5 |
| 7 | 132,1 | 6,3 | 4,91 | 6 |
| 8 | 118,2 | 6,5 | 5,59 | 7 |
| 9 | 66,85 | 6,4 | 6,38 | 8 |
| 10 | 44,84 | 6,5 | 7,06 | 9 |
| 11 | 22,09 | 6,4 | 7,65 | 10 |
| 1 | 316,8 | 6,3 | 0 | 0 |
| 2 | 250,4 | 6,5 | 1,96 | 1 |
| 3 | 235,7 | 6 | 2,35 | 2 |
| 4 | 192,1 | 6,1 | 2,94 | 3 |
| 5 | 181,2 | 6,7 | 3,43 | 4 |
| 6 | 130,2 | 6,3 | 4,42 | 5 |
| 7 | 128,5 | 6,4 | 5,30 | 6 |
| 8 | 90,08 | 6,3 | 5,98 | 7 |
| 9 | 53,76 | 6,5 | 6,57 | 8 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 1. Data Percobaan Kincir dengan Sembilan Plat Pengarah dengan Sudut 15°
(Lanjutan)

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 1 | 302,5 | 6,5 | 0 | 0 |
| 2 | 264,7 | 6,4 | 1,96 | 1 |
| 3 | 227,2 | 6,1 | 2,55 | 2 |
| 4 | 191,3 | 6 | 3,24 | 3 |
| 5 | 162,8 | 6,3 | 3,63 | 4 |
| 6 | 128,1 | 6,5 | 4,42 | 5 |
| 7 | 106,7 | 6,4 | 5,49 | 6 |
| 8 | 71,06 | 6,3 | 5,98 | 7 |
| 9 | 63,21 | 6,4 | 6,38 | 8 |
| 10 | 26,51 | 6,4 | 7,26 | 9 |

Tabel 2. Data Percobaan Kincir dengan Sembilan Plat Pengarah dengan Sudut 30°

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 1 | 375,6 | 6,2 | 0 | 0 |
| 2 | 293,9 | 6,3 | 1,96 | 1 |
| 3 | 261,9 | 6,1 | 2,55 | 2 |
| 4 | 218,7 | 6,5 | 3,24 | 3 |
| 5 | 180,6 | 6,2 | 4,22 | 4 |
| 6 | 163,7 | 6,2 | 4,71 | 5 |
| 7 | 134,5 | 6,4 | 5,30 | 6 |
| 8 | 109 | 6,5 | 5,89 | 7 |
| 9 | 93,04 | 6,5 | 6,38 | 8 |
| 10 | 42,08 | 6,5 | 6,87 | 9 |
| 11 | 29,05 | 6,6 | 7,36 | 10 |
| 1 | 365,5 | 6 | 0 | 0 |
| 2 | 299,3 | 6 | 1,96 | 1 |
| 3 | 274,2 | 6,3 | 2,65 | 2 |
| 4 | 260 | 6,2 | 2,94 | 3 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 2. Data Percobaan Kincir dengan Sembilan Plat Pengarah dengan Sudut 30°
(Lanjutan)

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 5 | 249,3 | 6,5 | 3,53 | 4 |
| 6 | 201,4 | 6,5 | 4,02 | 5 |
| 7 | 135,1 | 6,4 | 5,20 | 6 |
| 8 | 121,3 | 6,3 | 5,69 | 7 |
| 9 | 113,6 | 6,5 | 6,28 | 8 |
| 10 | 46,72 | 6,3 | 6,97 | 9 |
| 11 | 28,17 | 6,3 | 7,26 | 10 |
| 1 | 362,6 | 6,3 | 0 | 0 |
| 2 | 295,4 | 6,3 | 1,96 | 1 |
| 3 | 266,3 | 6,4 | 2,45 | 2 |
| 4 | 231,6 | 6,3 | 3,04 | 3 |
| 5 | 191,5 | 6,2 | 3,83 | 4 |
| 6 | 172,6 | 6,2 | 4,51 | 5 |
| 7 | 127,1 | 6,3 | 5,40 | 6 |
| 8 | 107 | 6,3 | 5,98 | 7 |
| 9 | 71,61 | 6,2 | 6,57 | 8 |
| 10 | 35,21 | 6,1 | 7,16 | 9 |
| 11 | 27,45 | 6,2 | 7,46 | 10 |

Tabel 3. Data Percobaan Kincir dengan Sembilan Plat Pengarah dengan Sudut 45°

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 1 | 364,7 | 6,3 | 0 | 0 |
| 2 | 309,6 | 6,5 | 1,96 | 1 |
| 3 | 288,6 | 6,4 | 2,45 | 2 |
| 4 | 261,5 | 6,5 | 2,94 | 3 |
| 5 | 226,1 | 6,5 | 3,73 | 4 |
| 6 | 167,1 | 6,3 | 4,61 | 5 |
| 7 | 126,8 | 6,2 | 5,40 | 6 |
| 8 | 95,48 | 6,2 | 5,89 | 7 |

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 9 | 56,38 | 6,6 | 6,38 | 8 |
| 10 | 21,06 | 6,4 | 6,87 | 9 |
| 1 | 352,5 | 6,2 | 0 | 0 |
| 2 | 297 | 6,3 | 1,96 | 1 |
| 3 | 289,6 | 6,2 | 2,65 | 2 |
| 4 | 237,5 | 6,7 | 3,63 | 3 |
| 5 | 186,4 | 6,6 | 4,22 | 4 |
| 6 | 168 | 6,5 | 4,81 | 5 |
| 7 | 154,8 | 6,5 | 5,10 | 6 |
| 8 | 76,25 | 6,4 | 6,18 | 7 |
| 9 | 45,11 | 6,3 | 6,48 | 8 |
| 10 | 20,76 | 6,3 | 6,97 | 9 |
| 1 | 366,5 | 6,2 | 0 | 0 |
| 2 | 302,6 | 6,3 | 1,96 | 1 |
| 3 | 287,4 | 6,3 | 2,55 | 2 |
| 4 | 256,1 | 6,5 | 3,34 | 3 |
| 5 | 194,3 | 6,4 | 4,12 | 4 |
| 6 | 169,7 | 6,5 | 4,81 | 5 |
| 7 | 112 | 6,3 | 5,49 | 6 |
| 8 | 88,04 | 6,2 | 5,98 | 7 |
| 9 | 51,21 | 6,3 | 6,38 | 8 |
| 10 | 34,65 | 6,3 | 6,57 | 9 |
| 11 | 20,51 | 6,2 | 7,06 | 10 |

Tabel 4. Data Percobaan Kincir Angin Tanpa Plat Pengrah

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|------------------|
| 1 | 378 | 7,3 | 0 | 0 |
| 2 | 341,6 | 7,4 | 1,77 | 1 |
| 3 | 317 | 7,2 | 2,35 | 2 |
| 4 | 303,3 | 7,6 | 2,55 | 3 |
| 5 | 283,5 | 7,6 | 3,04 | 4 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban |
|----|---------|---------|-------|---------------------|
| 6 | 252,2 | 7,4 | 3,63 | 5 |
| 7 | 224,4 | 7,4 | 4,32 | 6 |
| 8 | 211,1 | 7,7 | 4,91 | 7 |
| 9 | 164,3 | 7,4 | 5,40 | 8 |
| 10 | 126,1 | 7,5 | 5,59 | 9 |
| 11 | 89,16 | 7,4 | 5,89 | 10 |
| 12 | 45,31 | 7,5 | 6,28 | 11 |
| 13 | 18,75 | 7,5 | 6,57 | 12 |
| 1 | 364,3 | 7,5 | 0 | 0 |
| 2 | 337 | 7,6 | 1,96 | 1 |
| 3 | 279 | 7,6 | 3,34 | 2 |
| 4 | 252,6 | 7,7 | 3,92 | 3 |
| 5 | 227,8 | 7,3 | 4,41 | 4 |
| 6 | 179,8 | 7,6 | 4,91 | 5 |
| 7 | 132,6 | 7,4 | 5,59 | 6 |
| 8 | 112,4 | 7,4 | 5,89 | 7 |
| 9 | 90,11 | 7,5 | 6,08 | 8 |
| 10 | 38,75 | 7,4 | 6,38 | 9 |
| 11 | 15,21 | 7,5 | 6,67 | 10 |
| 1 | 406,1 | 7,4 | 0 | 0 |
| 2 | 337,2 | 7,3 | 1,96 | 1 |
| 3 | 311 | 7,4 | 2,35 | 2 |
| 4 | 271,1 | 7,5 | 2,94 | 3 |
| 5 | 259 | 7,5 | 3,63 | 4 |
| 6 | 211 | 7,4 | 4,41 | 5 |
| 7 | 181,1 | 7,6 | 4,71 | 6 |
| 8 | 157,7 | 7,5 | 5,20 | 7 |
| 9 | 137,2 | 7,5 | 5,49 | 8 |
| 10 | 119,2 | 7,5 | 5,98 | 9 |
| 11 | 49,85 | 7,6 | 6,28 | 10 |
| 12 | 20,15 | 7,5 | 6,48 | 11 |

Tabel-tabel di atas merupakan data dari hasil percobaan kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° dan 45° , terhadap arah angin dengan jarak lengan poros 30 cm dan diameter kincir inti 65 cm dan diameter penyangah plat 90 cm. Dalam setiap variasi, percobaan dilakukan sebanyak tiga kali setiap satu variasi posisi plat pengarah.

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

B. Pengolahan Data Dan Perhitungan

Contoh perhitungan untuk kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan tambahan plat pengarah 15° , 30° dan 45° dapat dilihat pada Tabel 1 pada baris ke dua dengan sembilan plat 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).

1. Perhitungan Daya Angin (P_{in})

Besar daya yang tersedia pada angin pada kincir angin dengan luasan frontal $A = d.l$ dan kecepatan angin 6,3 m/s, maka daya angin dapat dicari dengan menggunakan persamaan 6 :

$$P_{in} = 0,6 \cdot A \cdot v^3$$

$$= 0,6 \cdot 0,5525 \text{ m}^2 \cdot (6,3\text{m/s})^3$$

$$= 82,89 \text{ watt}$$

Jadi daya yang tersedia pada angin adalah 82,89 watt

2. Perhitungan Daya Kincir (P_{out})

Untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh kincir, dapat menggunakan persamaan 7. Namun, untuk mendapatkan daya kincir sebelumnya harus mengetahui kecepatan sudut dan torsi kincir, maka untuk itu perlu dicari terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 8 dan 9:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi}{60} n \\ &= \frac{2\pi}{60} 257,3 \text{ rpm} \\ &= 26,93 \text{ rad/sec}\end{aligned}$$

Maka kecepatan sudut yang didapatkan adalah 26,93 rad/sec

Untuk mencari besar torsi yang terjadi pada kincir, maka dapat menggunakan persamaan 9. Sehingga torsi yang didapat adalah :

$$\begin{aligned}T &= F l \\ &= 1,96 \text{ N} \cdot 0,3 \text{ m} \\ &= 0,59 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Sehingga torsi yang didapatkan adalah 0,59 Nm

Dengan kecepatan sudut 26,93 rad/sec dan torsi 0,59 Nm, maka daya yang dihasilkan oleh kincir adalah :

$$\begin{aligned}P_{out} &= T \omega \\&= 0,59 \text{ Nm} \cdot 26,93 \text{ rad/sec} \\&= 15,85 \text{ watt}\end{aligned}$$

Sehingga daya yang dihasilkan oleh kincir adalah 15,85 watt.

3. Perhitungan *tip speed ratio* (TSR)

Dengan mengetahui kecepatan putar kincir 257,3 rpm dan kecepatan angin 6,3 m/s dan jari-jari kincir angin 0,325 m, maka TSR dapat dicari dengan menggunakan persamaan 10 :

$$\begin{aligned}TSR &= \frac{2\pi r n}{60 v} \\&= \frac{3,14 \cdot 0,325 \cdot 257,3}{30 \cdot 6,3} \\&= 1,39\end{aligned}$$

Sehingga TSR yang didapatkan adalah 1,39

4. Perhitungan Koefisien Daya Kincir (C_p)

Dengan mengetahui daya yang dihasilkan oleh angin 82,89 watt dan daya yang dihasilkan oleh kincir 15,62 watt, maka koefisien daya kincir angin dapat dicari dengan menggunakan persamaan 11 :

$$\begin{aligned} Cp &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{15,85 \text{ watt}}{82,89 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 19,12 \% \end{aligned}$$

Maka Cp yang dihasilkan adalah 19,12 %



PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Kincir Angin dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 15°

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | penambahan Beban | Torsi (T) | A (m ³) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | Cp (%) |
|----|---------|---------|-------|------------------|-----------|---------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------|--------|
| 1 | 321,4 | 6,4 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 33,64 | 86,90 | 0 | 1,71 | 0 |
| 2 | 257,3 | 6,3 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 26,93 | 82,89 | 15,85 | 1,39 | 19,12 |
| 3 | 247,2 | 6,3 | 2,35 | 2 | 0,71 | 0,5525 | 25,87 | 82,89 | 18,27 | 1,33 | 22,04 |
| 4 | 212,1 | 6,4 | 2,94 | 3 | 0,88 | 0,5525 | 22,20 | 86,90 | 19,60 | 1,13 | 22,55 |
| 5 | 197,3 | 6,4 | 3,34 | 4 | 1,00 | 0,5525 | 20,65 | 86,90 | 20,66 | 1,05 | 23,78 |
| 6 | 181,5 | 6,5 | 3,83 | 5 | 1,15 | 0,5525 | 19,00 | 91,04 | 21,80 | 0,95 | 23,95 |
| 7 | 132,1 | 6,3 | 4,91 | 6 | 1,47 | 0,5525 | 13,83 | 82,89 | 20,35 | 0,71 | 24,55 |
| 8 | 118,2 | 6,5 | 5,59 | 7 | 1,68 | 0,5525 | 12,37 | 91,04 | 20,75 | 0,62 | 22,80 |
| 9 | 66,85 | 6,4 | 6,38 | 8 | 1,91 | 0,5525 | 4,69 | 86,90 | 8,98 | 0,36 | 10,33 |
| 10 | 44,84 | 6,5 | 7,06 | 9 | 2,12 | 0,5525 | 4,69 | 91,04 | 9,94 | 0,23 | 10,92 |
| 11 | 22,09 | 6,4 | 7,65 | 10 | 2,30 | 0,5525 | 2,31 | 86,90 | 5,31 | 0,12 | 6,11 |
| 1 | 316,8 | 6,3 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 33,16 | 82,89 | 0 | 1,71 | 0 |
| 2 | 250,4 | 6,5 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 26,21 | 91,04 | 15,43 | 1,31 | 16,94 |
| 3 | 235,7 | 6 | 2,35 | 2 | 0,71 | 0,5525 | 24,67 | 71,60 | 17,42 | 1,34 | 24,33 |
| 4 | 192,1 | 6,1 | 2,94 | 3 | 0,88 | 0,5525 | 20,11 | 75,24 | 17,75 | 1,07 | 23,59 |
| 5 | 181,2 | 6,7 | 3,43 | 4 | 1,03 | 0,5525 | 18,97 | 99,70 | 19,54 | 0,92 | 19,60 |
| 6 | 130,2 | 6,3 | 4,42 | 5 | 1,32 | 0,5525 | 13,63 | 82,89 | 18,05 | 0,70 | 21,78 |
| 7 | 128,5 | 6,4 | 5,30 | 6 | 1,59 | 0,5525 | 13,45 | 86,90 | 21,37 | 0,68 | 24,59 |
| 8 | 90,08 | 6,3 | 5,98 | 7 | 1,80 | 0,5525 | 9,43 | 82,89 | 16,93 | 0,49 | 20,42 |
| 9 | 53,76 | 6,5 | 6,57 | 8 | 1,97 | 0,5525 | 5,63 | 91,04 | 11,10 | 0,28 | 12,19 |
| 10 | 28,57 | 6,5 | 6,87 | 9 | 2,06 | 0,5525 | 2,99 | 91,04 | 6,16 | 0,15 | 6,77 |
| 1 | 302,5 | 6,3 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 31,66 | 82,89 | 0 | 1,63 | 0 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Kincir Angin dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 15° (Lanjutan)

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | penambahan beban | Torsi (T) | A (m ³) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|---------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 2 | 264,7 | 6,5 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 27,71 | 91,04 | 16,31 | 1,39 | 17,91 |
| 3 | 227,2 | 6 | 2,55 | 2 | 0,77 | 0,5525 | 23,78 | 71,60 | 18,20 | 1,29 | 25,42 |
| 4 | 191,3 | 6,1 | 3,24 | 3 | 0,97 | 0,5525 | 20,02 | 75,24 | 19,44 | 1,07 | 25,84 |
| 5 | 162,8 | 6,7 | 3,63 | 4 | 1,09 | 0,5525 | 17,04 | 99,70 | 18,55 | 0,83 | 18,61 |
| 6 | 128,1 | 6,3 | 4,42 | 5 | 1,32 | 0,5525 | 13,41 | 82,89 | 17,76 | 0,69 | 21,42 |
| 7 | 106,7 | 6,4 | 5,49 | 6 | 1,65 | 0,5525 | 11,17 | 86,90 | 18,41 | 0,57 | 21,18 |
| 8 | 71,06 | 6,3 | 5,98 | 7 | 1,80 | 0,5525 | 7,44 | 82,89 | 13,35 | 0,38 | 16,11 |
| 9 | 63,21 | 6,5 | 6,38 | 8 | 1,91 | 0,5525 | 6,62 | 91,04 | 12,66 | 0,33 | 13,90 |
| 10 | 26,51 | 6,5 | 7,26 | 9 | 2,18 | 0,5525 | 2,77 | 91,04 | 6,04 | 0,14 | 6,64 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Perhitungan Kincir Angin dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 30°

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban | Torsi (T) | A (m ²) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|---------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 1 | 375,6 | 6,2 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 39,31 | 79,01 | 0 | 2,06 | 0 |
| 2 | 293,9 | 6,3 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 30,76 | 82,89 | 18,11 | 1,59 | 21,84 |
| 3 | 261,9 | 6,1 | 2,55 | 2 | 0,77 | 0,5525 | 27,41 | 75,24 | 20,98 | 1,46 | 27,88 |
| 4 | 218,7 | 6,5 | 3,24 | 3 | 0,97 | 0,5525 | 22,89 | 91,04 | 22,23 | 1,14 | 24,42 |
| 5 | 180,6 | 6,2 | 4,22 | 4 | 1,27 | 0,5525 | 18,90 | 79,01 | 23,92 | 0,99 | 30,28 |
| 6 | 163,7 | 6,2 | 4,71 | 5 | 1,41 | 0,5525 | 17,13 | 79,01 | 24,20 | 0,90 | 30,64 |
| 7 | 134,5 | 6,4 | 5,30 | 6 | 1,59 | 0,5525 | 14,08 | 86,90 | 22,37 | 0,71 | 25,74 |
| 8 | 109 | 6,5 | 5,89 | 7 | 1,77 | 0,5525 | 11,41 | 91,04 | 20,15 | 0,57 | 22,13 |
| 9 | 93,04 | 6,5 | 6,38 | 8 | 1,91 | 0,5525 | 9,74 | 91,04 | 18,63 | 0,49 | 20,46 |
| 10 | 42,08 | 6,5 | 6,87 | 9 | 2,06 | 0,5525 | 4,40 | 91,04 | 9,07 | 0,22 | 9,97 |
| 11 | 29,05 | 6,6 | 7,36 | 10 | 2,21 | 0,5525 | 3,04 | 95,30 | 6,71 | 0,15 | 7,04 |
| 1 | 365,5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 38,26 | 71,60 | 0 | 2,07 | 0 |
| 2 | 299,3 | 6 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 31,33 | 71,60 | 18,44 | 1,70 | 25,75 |
| 3 | 274,2 | 6,3 | 2,65 | 2 | 0,79 | 0,5525 | 28,70 | 82,89 | 22,80 | 1,48 | 27,51 |
| 4 | 260 | 6,2 | 2,94 | 3 | 0,88 | 0,5525 | 27,21 | 79,01 | 24,03 | 1,43 | 30,41 |
| 5 | 249,3 | 6,5 | 3,53 | 4 | 1,06 | 0,5525 | 26,09 | 91,04 | 27,65 | 1,30 | 30,37 |
| 6 | 201,4 | 6,5 | 4,02 | 5 | 1,21 | 0,5525 | 21,08 | 91,04 | 25,44 | 1,05 | 27,94 |
| 7 | 135,1 | 6,4 | 5,20 | 6 | 1,56 | 0,5525 | 14,14 | 86,90 | 22,06 | 0,72 | 25,38 |
| 8 | 121,3 | 6,3 | 5,69 | 7 | 1,71 | 0,5525 | 12,70 | 82,89 | 21,67 | 0,65 | 26,14 |
| 9 | 113,6 | 6,5 | 6,28 | 8 | 1,88 | 0,5525 | 11,89 | 91,04 | 22,40 | 0,59 | 24,60 |
| 10 | 46,72 | 6,3 | 6,97 | 9 | 2,09 | 0,5525 | 4,89 | 82,89 | 10,22 | 0,25 | 12,33 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan Perhitungan Kincir Angin dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 30° (Lanjutan)

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban | Torsi (T) | A (m ²) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|---------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 11 | 28,17 | 6,3 | 7,26 | 10 | 2,18 | 0,5525 | 2,95 | 82,89 | 6,42 | 0,15 | 7,75 |
| 1 | 362,6 | 6,3 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 37,95 | 82,89 | 0 | 1,96 | 0 |
| 2 | 295,4 | 6,3 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 30,92 | 82,89 | 18,20 | 1,60 | 21,96 |
| 3 | 266,3 | 6,4 | 2,45 | 2 | 0,74 | 0,5525 | 27,87 | 86,90 | 20,51 | 1,42 | 23,60 |
| 4 | 231,6 | 6,3 | 3,04 | 3 | 0,91 | 0,5525 | 24,24 | 82,89 | 22,12 | 1,25 | 26,68 |
| 5 | 191,5 | 6,2 | 3,83 | 4 | 1,15 | 0,5525 | 20,04 | 79,01 | 23,01 | 1,05 | 29,12 |
| 6 | 172,6 | 6,2 | 4,51 | 5 | 1,35 | 0,5525 | 18,07 | 79,01 | 24,46 | 0,95 | 30,96 |
| 7 | 127,1 | 6,3 | 5,40 | 6 | 1,62 | 0,5525 | 13,30 | 82,89 | 21,53 | 0,69 | 25,98 |
| 8 | 107 | 6,3 | 5,98 | 7 | 1,80 | 0,5525 | 11,20 | 82,89 | 20,11 | 0,58 | 24,26 |
| 9 | 71,61 | 6,2 | 6,57 | 8 | 1,97 | 0,5525 | 7,50 | 79,01 | 14,78 | 0,39 | 18,71 |
| 10 | 35,21 | 6,1 | 7,16 | 9 | 2,15 | 0,5525 | 3,69 | 75,24 | 7,92 | 0,20 | 10,52 |
| 11 | 27,45 | 6,2 | 7,46 | 10 | 2,24 | 0,5525 | 2,87 | 79,01 | 6,43 | 0,15 | 8,13 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Perhitungan Kincir Angin dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 45°

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban | Torsi (T) | A (m ²) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|---------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 1 | 364,7 | 6,3 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 38,17 | 82,89 | 0 | 1,96 | 0 |
| 2 | 309,6 | 6,5 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 32,40 | 91,04 | 19,07 | 1,62 | 20,95 |
| 3 | 288,6 | 6,4 | 2,45 | 2 | 0,74 | 0,5525 | 30,21 | 86,90 | 22,23 | 1,53 | 25,58 |
| 4 | 261,5 | 6,5 | 2,94 | 3 | 0,88 | 0,5525 | 27,37 | 91,04 | 24,17 | 1,36 | 26,54 |
| 5 | 226,1 | 6,5 | 3,73 | 4 | 1,12 | 0,5525 | 23,67 | 91,04 | 26,47 | 1,18 | 29,07 |
| 6 | 167,1 | 6,3 | 4,61 | 5 | 1,38 | 0,5525 | 17,49 | 82,89 | 24,19 | 0,90 | 29,19 |
| 7 | 126,8 | 6,2 | 5,40 | 6 | 1,62 | 0,5525 | 13,27 | 79,01 | 21,48 | 0,69 | 27,19 |
| 8 | 95,48 | 6,2 | 5,89 | 7 | 1,77 | 0,5525 | 9,99 | 79,01 | 17,65 | 0,52 | 22,34 |
| 9 | 56,38 | 6,6 | 6,38 | 8 | 1,91 | 0,5525 | 5,90 | 95,30 | 11,29 | 0,29 | 11,84 |
| 10 | 21,06 | 6,4 | 6,87 | 9 | 2,06 | 0,5525 | 2,20 | 86,90 | 4,54 | 0,11 | 5,23 |
| 1 | 352,5 | 6,2 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 36,90 | 79,01 | 0 | 1,93 | 0 |
| 2 | 297 | 6,3 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 31,09 | 82,89 | 18,30 | 1,60 | 22,07 |
| 3 | 289,6 | 6,2 | 2,65 | 2 | 0,79 | 0,5525 | 30,31 | 79,01 | 24,08 | 1,58 | 30,48 |
| 4 | 237,5 | 6,7 | 3,63 | 3 | 1,09 | 0,5525 | 24,86 | 99,70 | 27,06 | 1,20 | 27,14 |
| 5 | 186,4 | 6,6 | 4,22 | 4 | 1,27 | 0,5525 | 19,51 | 95,30 | 24,69 | 0,96 | 25,90 |
| 6 | 168 | 6,5 | 4,81 | 5 | 1,44 | 0,5525 | 17,58 | 91,04 | 25,36 | 0,88 | 27,85 |
| 7 | 154,8 | 6,5 | 5,10 | 6 | 1,53 | 0,5525 | 16,20 | 91,04 | 24,79 | 0,81 | 27,24 |
| 8 | 76,25 | 6,4 | 6,18 | 7 | 1,85 | 0,5525 | 7,98 | 86,90 | 14,80 | 0,40 | 17,03 |
| 9 | 45,11 | 6,3 | 6,48 | 8 | 1,94 | 0,5525 | 4,72 | 82,89 | 9,17 | 0,24 | 11,06 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Data 7. Data Hasil Perhitungan Perhitungan Kincir Angin dengan 9 Plat Pengarah dengan Sudut 45° (Lanjutan)

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | penambahan beban | Torsi (T) | A (m ³) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|---------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 10 | 20,76 | 6,3 | 6,97 | 9 | 2,09 | 0,5525 | 2,17 | 82,89 | 4,54 | 0,11 | 5,48 |
| 1 | 366,5 | 6,2 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 38,36 | 79,01 | 0 | 2,00 | 0 |
| 2 | 302,6 | 6,3 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 31,67 | 82,89 | 18,64 | 1,63 | 22,49 |
| 3 | 287,4 | 6,3 | 2,55 | 2 | 0,77 | 0,5525 | 30,08 | 82,89 | 23,02 | 1,55 | 27,77 |
| 4 | 256,1 | 6,5 | 3,34 | 3 | 1,00 | 0,5525 | 26,81 | 91,04 | 26,82 | 1,34 | 29,46 |
| 5 | 194,3 | 6,4 | 4,12 | 4 | 1,24 | 0,5525 | 20,34 | 86,90 | 25,14 | 1,03 | 28,93 |
| 6 | 169,7 | 6,5 | 4,81 | 5 | 1,44 | 0,5525 | 17,76 | 91,04 | 25,61 | 0,89 | 28,14 |
| 7 | 112 | 6,3 | 5,49 | 6 | 1,65 | 0,5525 | 11,72 | 82,89 | 19,32 | 0,60 | 23,31 |
| 8 | 88,04 | 6,2 | 5,98 | 7 | 1,80 | 0,5525 | 9,21 | 79,01 | 16,54 | 0,48 | 20,94 |
| 9 | 51,21 | 6,3 | 6,38 | 8 | 1,91 | 0,5525 | 5,36 | 82,89 | 10,25 | 0,28 | 12,37 |
| 10 | 34,65 | 6,3 | 6,57 | 9 | 1,97 | 0,5525 | 3,63 | 82,89 | 7,15 | 0,19 | 8,63 |
| 11 | 20,51 | 6,2 | 7,06 | 10 | 2,12 | 0,5525 | 2,15 | 79,01 | 4,55 | 0,11 | 5,76 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Perhitungan Kincir Angin dengan Tanpa Plat Pengarah

| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan Beban | Torsi (T) | A (m ²) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|---------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 1 | 378 | 7,3 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 39,56 | 128,96 | 0 | 1,76 | 0 |
| 2 | 341,6 | 7,4 | 2 | 1 | 0,53 | 0,5525 | 35,75 | 134,33 | 18,94 | 1,57 | 14,10 |
| 3 | 317 | 7,2 | 2 | 2 | 0,71 | 0,5525 | 33,18 | 123,73 | 23,43 | 1,50 | 18,94 |
| 4 | 303,3 | 7,6 | 3 | 3 | 0,77 | 0,5525 | 31,75 | 145,52 | 24,29 | 1,36 | 16,70 |
| 5 | 283,5 | 7,6 | 3 | 4 | 0,91 | 0,5525 | 29,67 | 145,52 | 27,07 | 1,27 | 18,60 |
| 6 | 252,2 | 7,4 | 4 | 5 | 1,09 | 0,5525 | 26,40 | 134,33 | 28,74 | 1,16 | 21,39 |
| 7 | 224,4 | 7,4 | 4 | 6 | 1,29 | 0,5525 | 23,49 | 134,33 | 30,41 | 1,03 | 22,64 |
| 8 | 211,1 | 7,7 | 5 | 7 | 1,47 | 0,5525 | 22,10 | 151,34 | 32,51 | 0,93 | 21,48 |
| 9 | 164,3 | 7,4 | 5 | 8 | 1,62 | 0,5525 | 17,20 | 134,33 | 27,83 | 0,76 | 20,72 |
| 10 | 126,1 | 7,5 | 6 | 9 | 1,68 | 0,5525 | 13,20 | 139,85 | 22,14 | 0,57 | 15,83 |
| 11 | 89,16 | 7,4 | 6 | 10 | 1,77 | 0,5525 | 9,33 | 134,33 | 16,48 | 0,41 | 12,27 |
| 12 | 45,31 | 7,5 | 6 | 11 | 1,88 | 0,5525 | 4,74 | 139,85 | 8,93 | 0,21 | 6,39 |
| 13 | 18,75 | 7,5 | 7 | 12 | 1,97 | 0,5525 | 1,96 | 139,85 | 3,87 | 0,09 | 2,77 |
| 1 | 364,3 | 7,5 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 38,13 | 139,85 | 0 | 1,65 | 0 |
| 2 | 337 | 7,6 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 35,27 | 145,52 | 20,76 | 1,51 | 14,27 |
| 3 | 279 | 7,6 | 3,34 | 2 | 1,00 | 0,5525 | 29,20 | 145,52 | 29,22 | 1,25 | 20,08 |
| 4 | 252,6 | 7,7 | 3,92 | 3 | 1,18 | 0,5525 | 26,44 | 151,34 | 31,12 | 1,12 | 20,57 |
| 5 | 227,8 | 7,3 | 4,41 | 4 | 1,32 | 0,5525 | 23,84 | 128,96 | 31,57 | 1,06 | 24,48 |
| 6 | 179,8 | 7,6 | 4,91 | 5 | 1,47 | 0,5525 | 18,82 | 145,52 | 27,69 | 0,80 | 19,03 |
| 7 | 132,6 | 7,4 | 5,59 | 6 | 1,68 | 0,5525 | 13,88 | 134,33 | 23,28 | 0,61 | 17,33 |

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

Data 8. Data Hasil Perhitungan Perhitungan Kincir Angin dengan Tanpa Plat Pengarah (Lanjutan)

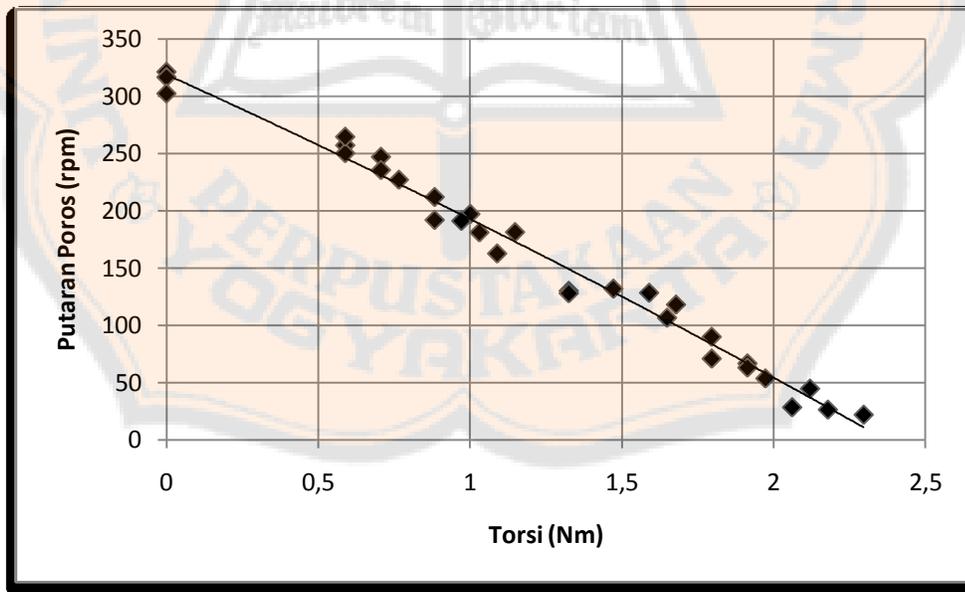
| No | n (rpm) | v (m/s) | F (N) | Penambahan | Torsi (T) | A (m ²) | ω (rad/sec) | P _{in} (watt) | P _{out} (watt) | TSR | CP (%) |
|----|------------|------------|----------|------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------|-----------|
| 8 | 112,4 | 7,4 | 5,89 | 7 | 1,77 | 0,5525 | 11,76 | 134,33 | 20,77 | 0,52 | 15,46 |
| 9 | 90,11 | 7,5 | 6,08 | 8 | 1,82 | 0,5525 | 9,43 | 139,85 | 17,21 | 0,41 | 12,31 |
| 10 | 38,75 | 7,4 | 6,38 | 9 | 1,91 | 0,5525 | 4,06 | 134,33 | 7,76 | 0,18 | 5,78 |
| 11 | 15,21 | 7,5 | 6,67 | 10 | 2,00 | 0,5525 | 1,59 | 139,85 | 3,19 | 0,07 | 2,28 |
| 1 | 406,1 | 7,4 | 0 | 0 | 0 | 0,5525 | 42,51 | 134,33 | 0 | 1,87 | 0 |
| 2 | 337,2 | 7,3 | 1,96 | 1 | 0,59 | 0,5525 | 35,29 | 128,96 | 20,77 | 1,57 | 16,11 |
| 3 | 311 | 7,4 | 2,35 | 2 | 0,71 | 0,5525 | 32,55 | 134,33 | 22,99 | 1,43 | 17,11 |
| 4 | 271,1 | 7,5 | 2,94 | 3 | 0,88 | 0,5525 | 28,38 | 139,85 | 25,05 | 1,23 | 17,91 |
| 5 | 259 | 7,5 | 3,63 | 4 | 1,09 | 0,5525 | 27,11 | 139,85 | 29,51 | 1,17 | 21,10 |
| 6 | 211 | 7,4 | 4,41 | 5 | 1,32 | 0,5525 | 22,08 | 134,33 | 29,24 | 0,97 | 21,77 |
| 7 | 181,1 | 7,6 | 4,71 | 6 | 1,41 | 0,5525 | 18,96 | 145,52 | 26,77 | 0,81 | 18,40 |
| 8 | 157,7 | 7,5 | 5,20 | 7 | 1,56 | 0,5525 | 16,51 | 139,85 | 25,74 | 0,72 | 18,41 |
| 9 | 137,2 | 7,5 | 5,49 | 8 | 1,65 | 0,5525 | 14,36 | 139,85 | 23,67 | 0,62 | 16,92 |
| 10 | 119,2 | 7,5 | 5,98 | 9 | 1,80 | 0,5525 | 12,48 | 139,85 | 22,40 | 0,54 | 16,02 |
| 11 | 49,85 | 7,6 | 6,28 | 10 | 1,88 | 0,5525 | 5,22 | 145,52 | 9,83 | 0,22 | 6,75 |
| 12 | 20,15 | 7,5 | 6,48 | 11 | 1,94 | 0,5525 | 2,11 | 139,85 | 4,10 | 0,09 | 2,93 |

5. 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 (C_p) dengan Tip Speed Ratio (TSR). Grafik yang disajikan untuk setiap variasi percobaan dapat dilihat pada grafik berikut ini

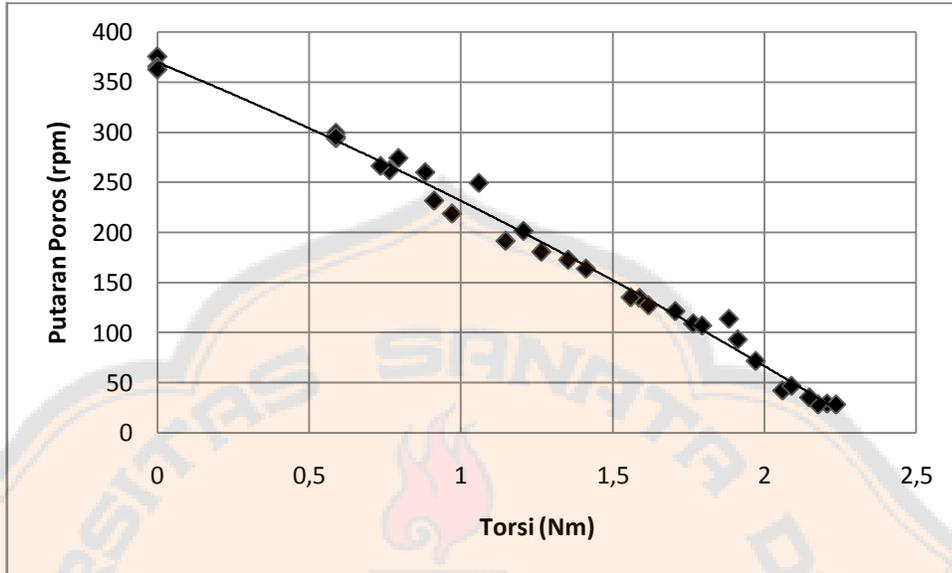
a. Grafik Hubungan antara Torsi dengan Kecepatan Putar Kincir.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 5, 6, 7 dan 8. maka dapat dibuat grafik hubungan antara putaran poros dengan torsi yang disajikan pada Gambar 19, 20, 21 dan 22.

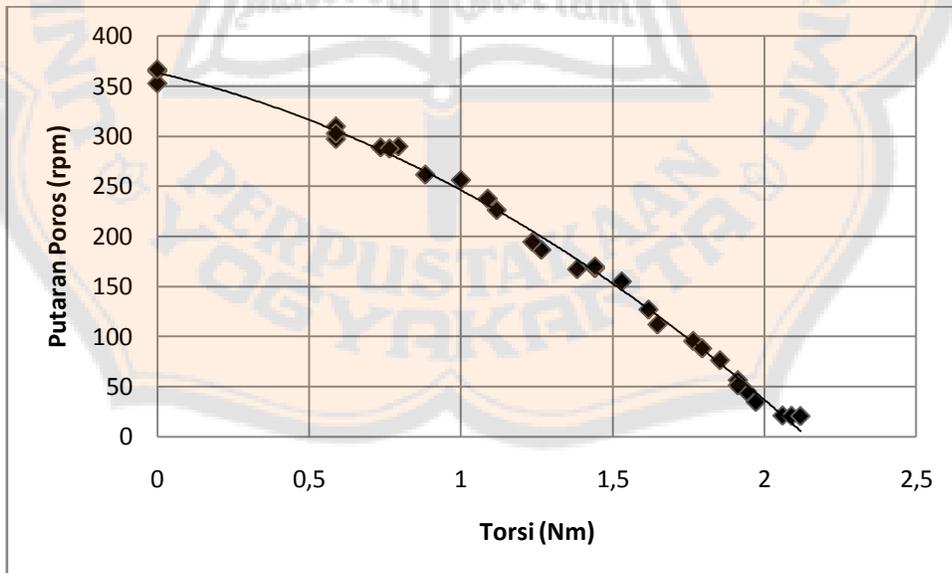


Gambar 19. Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Plat Pengarah 15°

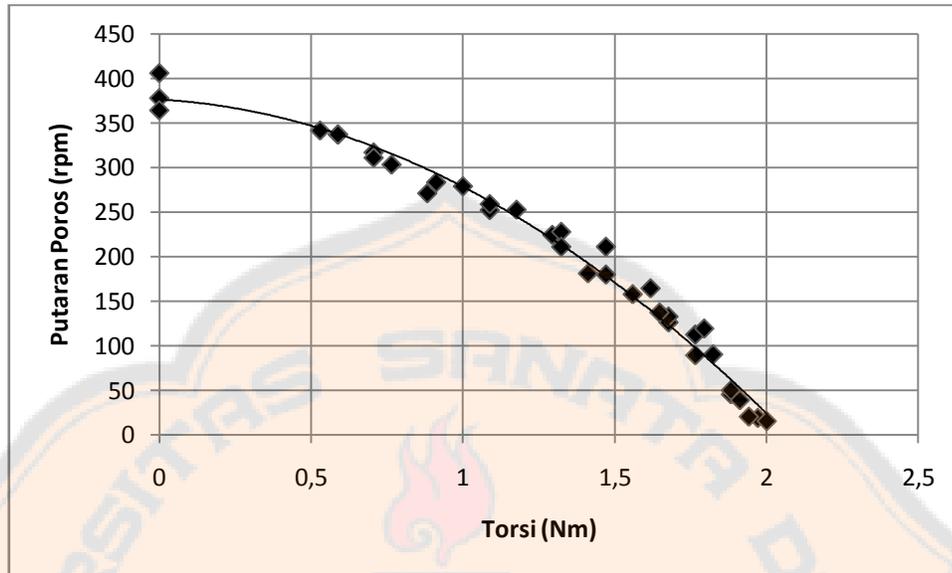
PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI



Gambar 20. Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Plat Pengarah 30°



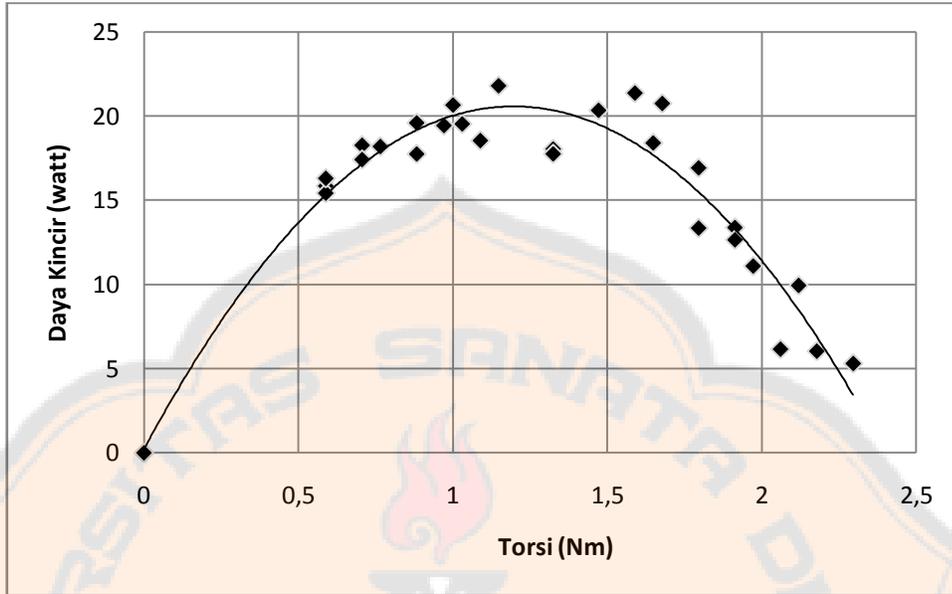
Gambar 21. Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Plat Pengarah 45°



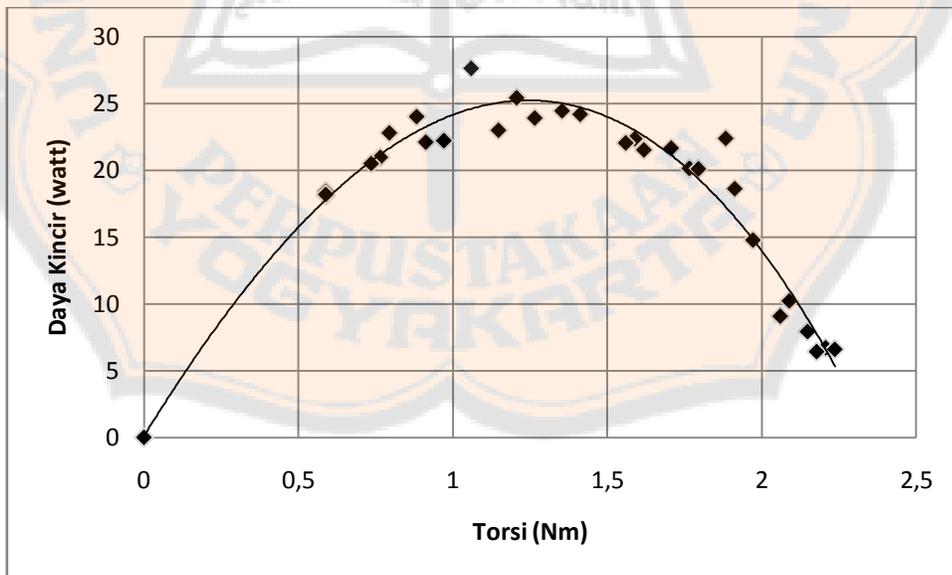
Gambar 22. Grafik Hubungan antara Putaran Poros dengan Torsi Tanpa Plat Pengarah.

b. Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Torsi.

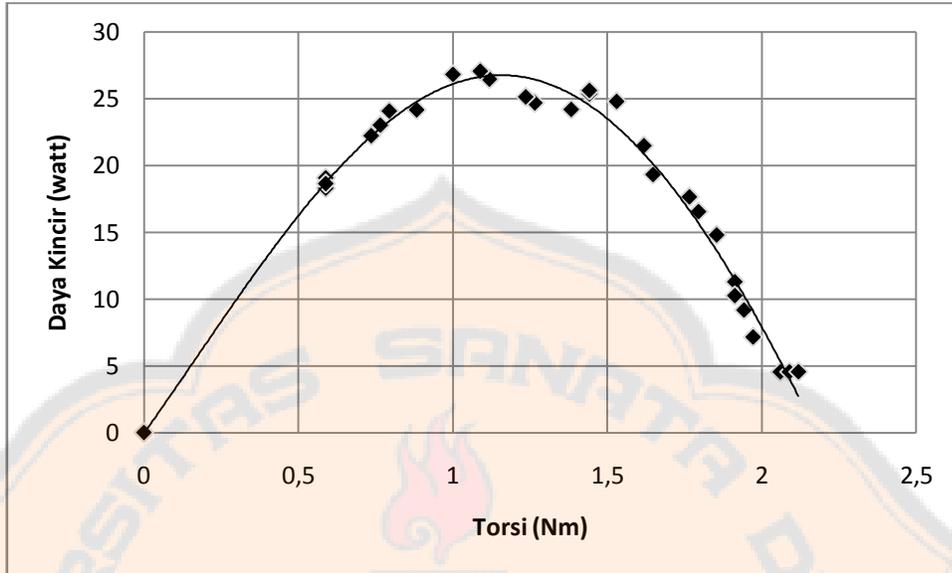
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tabel 5, 6, 7 dan 8 maka dapat dibuat grafik hubungan antara daya yang dihasilkan kincir dengan torsi yang dapat dilihat dalam Gambar 23, 24, 25 dan 26.



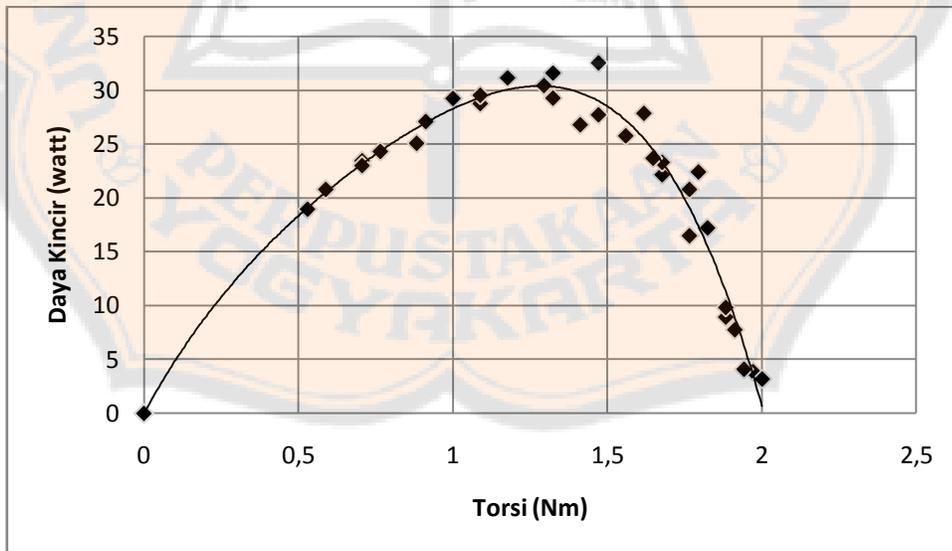
Gambar 23. Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir Plat Pengarah 15°



Gambar 24. Grafik hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya kincir Plat Pengarah 30°



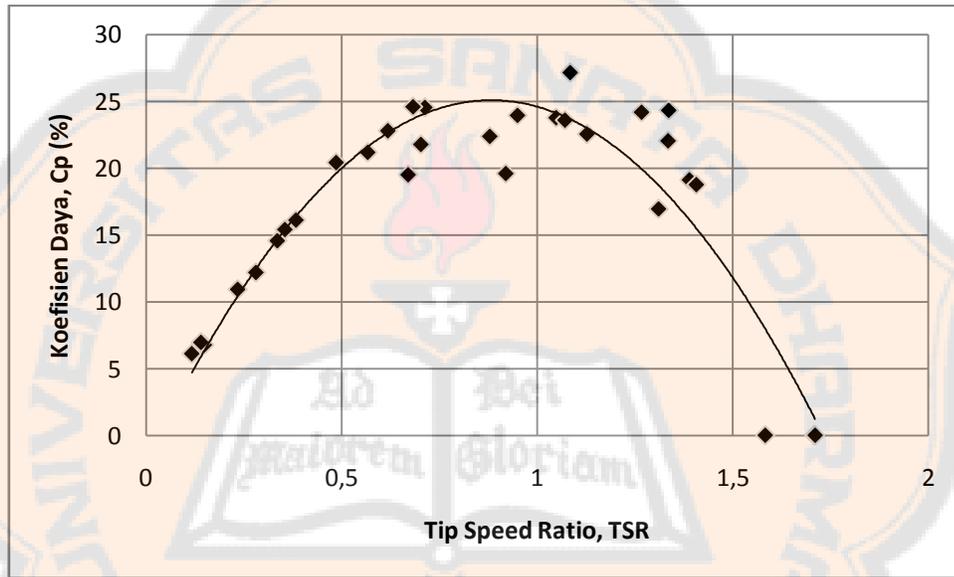
Gambar 25. Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir Plat Pengarah 45°



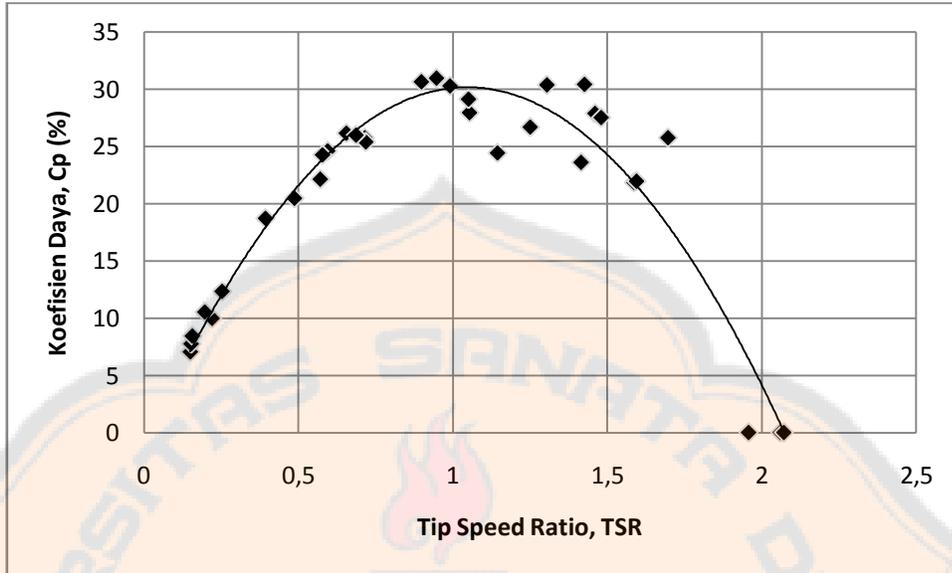
Gambar 26. Grafik Hubungan antara Daya yang Dihasilkan Kincir dengan Daya Kincir Tanpa Plat Pengarah.

c. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio.

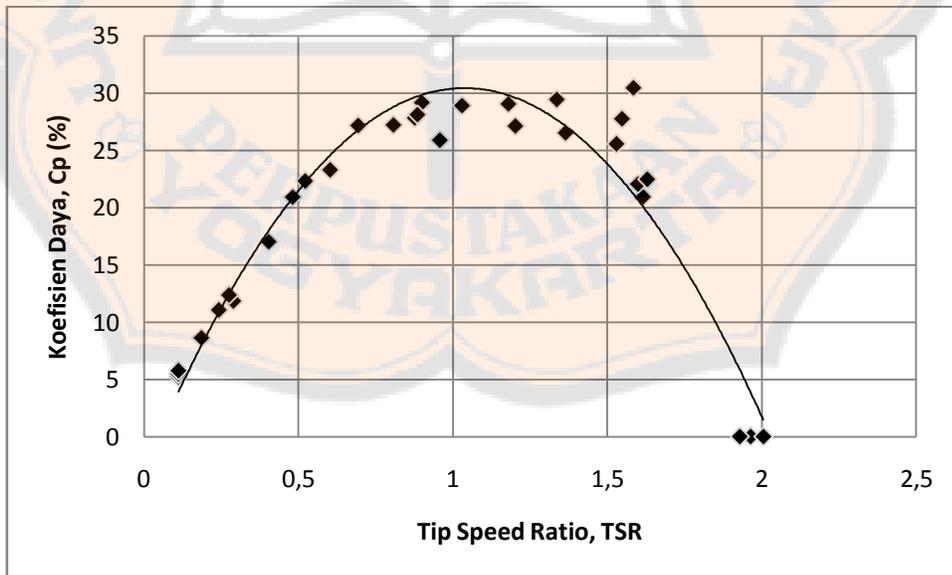
Dari data yang telah didapatkan pada Tabel 5, 6, 7, dan 8 maka dapat dibuat grafik hubungan antara koefisien daya dengan tip speed ratio yang dapat dilihat pada Gambar 27, 28, 29 dan 30.



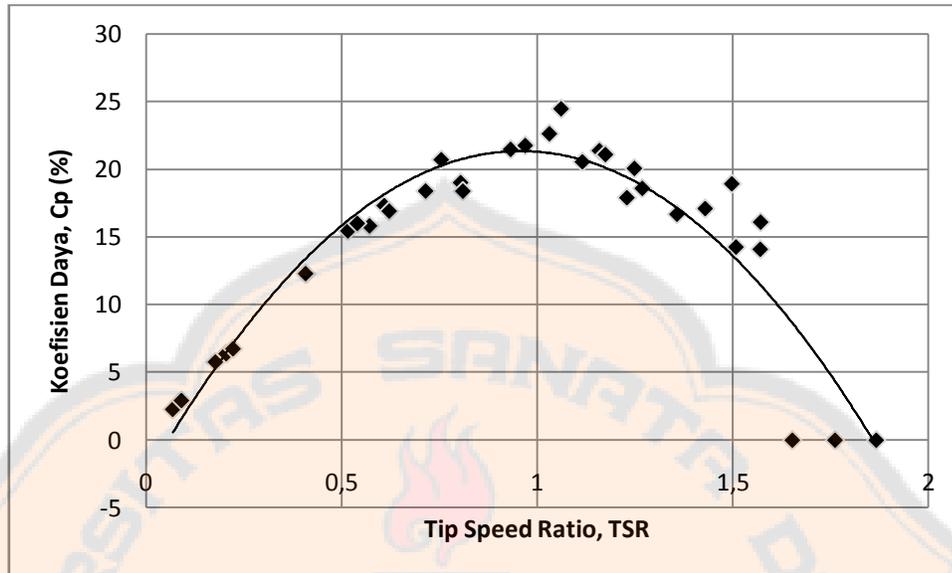
Gambar 27. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio dengan Plat Pengarah 15°



Gambar 28. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio dengan Plat Pengarah 30°



Gambar 29. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio dengan Plat Pengarah 45°



Gambar 30. Grafik Hubungan antara Koefisien Daya dengan Tip Speed Ratio Tanpa Plat Pengarah

6. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah, pada grafik hubungan antara putaran poros (rpm) dan torsi (Nm) terbaik untuk setiap variasi model kincir angin, ditemukan bahwa untuk variasi 15° adalah sebesar 22,09 rpm dan torsi sebesar 2,30 Nm, variasi 30° sebesar 27,45 rpm dan torsi 2,24 Nm, variasi 45° sebesar 20,51 rpm dan torsi 2,12 Nm dan variasi tanpa plat pengarah sebesar 15,21 rpm dan torsi 2,00 Nm. Selanjutnya pada grafik hubungan antara daya kincir (watt) dan torsi (Nm) terbaik dari setiap model variasi kincir angin, didapatkan hasil bahwa daya kincir variasi 15° adalah sebesar 21,80 watt dan torsi 1,15 Nm, variasi 30° daya kincir sebesar 27,65 watt dan torsi 1,06 Nm, variasi 45° daya kincir

sebesar 27,06 watt dan torsi 1,09 Nm dan variasi tanpa plat pengarah memiliki daya kincir sebesar 31,57 watt dan torsi 1,32 Nm. Dari hasil grafik hubungan antara koefisien daya, C_p (%) dengan *tip speed ratio* (TSR) terbaik dari setiap variasi model kincir angin dapat disimpulkan bahwa variasi 15° memiliki C_p sebesar 27,16 % dan TSR sebesar 1,08, variasi 30° memiliki C_p sebesar 30,96 % dan TSR sebesar 0,95, variasi 45° C_p sebesar 30,58 % dan TSR sebesar 1,58 dan variasi tanpa plat pengarah C_p sebesar 24,28 % dan TSR sebesar 1,06.

Berdasarkan data yang diperoleh dan grafik hubungan antara koefisien daya (C_p) dengan *tip speed ratio* (TSR) dari beberapa jenis kincir dapat diketahui koefisien daya tertinggi. Koefisien daya kincir angin Savonius tertinggi menurut Albert Bezt adalah sebesar 31 %. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat dengan sembilan plat pengarah yang bersudut 30° memiliki koefisien daya tertinggi dari model variasi kincir angin lainnya sebesar 30,96 %.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian dan perhitungan model kincir Savonius dua sudu dua tingkat sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Telah berhasil dibuat kincir angin Savonius dua sudu dua tingkat sembilan plat pengarah bersudut 15° , 30° , 45° dan tanpa plat pengarah.
2. Koefisien daya terbaik dari setiap variasi model kincir angin dapat disimpulkan bahwa variasi 15° memiliki C_p sebesar 27,16 % dan TSR sebesar 1,08, variasi 30° memiliki C_p sebesar 30,96 % dan TSR sebesar 0,95, variasi 45° C_p sebesar 30,58 % dan TSR sebesar 1,58 dan variasi tanpa plat pengarah C_p sebesar 24,28 % dan TSR sebesar 1,06.
3. Koefisien tertinggi dari model variasi kincir angin jatuh pada sudut 30° sebesar 30,96 %.

B. Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dikembangkan lebih lanjut jumlah tambahan plat dan sudut yang tepat untuk meningkatkan unjuk kerja kincir angin jenis Savonius.
2. Papan penyanggah plat pengarah harus diam atau tidak bergerak agar angin dapat melewati sudu inti dengan baik.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

3. Plat pengarah harus kuat dan tidak bergeser saat angin berhembus agar tidak mengubah posisi sudut plat pengarah.
4. Gunakan pembebanan yang lebih baik seperti lampu pembebanan agar hasil lebih baik dari pada dengan pembebanan secara mekanis.
5. Lebih baik mengambil data lebih banyak untuk satu variasi agar mendapatkan hasil yang lebih baik.
6. Periksa kembali komponen kincir angin dan komponen pendukung kincir angin sebelum pengambilan data apakah ada yang harus diperbaiki. Hal ini untuk meminimalisir kerugian yang dapat mempengaruhi unjuk kerja kincir angin.

DAFTAR PUSTAKA

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

Hanni, Harahapan. "Aerodinamika-Wind Tunnel". Ilmu Penerbangan.com: Wind Tunnel. September 1, 2009. (<http://www.ilmuterbang.com/artikel-mainmenu-29/teknologi-penerbangan-mainmenu-50/237-aerodinamika-wind-tunnel>). 13 Juli 2014.

Hetyandhoko, Desna. "Optimasi Desain Blade pada Turbin Angin Poros Horisontal untuk Memenuhi Kebutuhan Daya Penerangan pada Squid Fishing Vessels". (<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-19454-4209106014-Presentation.pdf>). 13 Juli 2014.

Johnson, Gary L. *Wind Energy Systems: Electronic Edition*. Manhattan: KS, 2001. Rainbow Power Company.ltd. (<http://www.rpc.com.au/information/faq/wind-power/wind-energy-systems.htm>). 28 Mei 2014.

Kadir, Abdul. *Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, dan Potensi Ekonomi*. Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia, 1982.

Rifandi, Mochammad. "Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kincir Angin Sumbu Vertikal". Acamedia.edu. 2014. (http://www.academia.edu/4284377/Sistem_Pembangkit_Listrik_Tenaga_Angin_Menggunakan_Kincir_Angin_Sumbu_Vertikal). 13 Juli 2014). 13 Juni 2014

<http://joytalita.wordpress.com/2010/05/23/anemometer-nieeee/>. 13 Juli 2014.

<http://orangtuasiswa.wordpress.com/2013/09/19/pengertian-dan-fungsi-neraca-pegas/>. 13 Juli 2014

http://sihana.staff.ugm.ac.id/s2/rets/retnotes/ret02n_wind.pdf. 13 Juli 2014.

<http://whyppgen-bppt.com/whyppgen-technology/item/757-bagian-bagian-turbin-angin.html>. 13 Juli 2014

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

<http://whyppen-bppt.com/whyppen-technology/item/758-jenis-jenis-teknologi-energi-angin.html>. 28 Mei 2014.

<http://www.alatuji.com/index.php/article/detail/58/tachometer#.U8HzaEdebtw>. 13 Juli 2013.

<http://www.anneahira.com/penemu-kincir-angin.htm>. 28 Mei 2014.

http://www.p3tkebt.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=371&Itemid=477&lang=en. 28 Mei 2014.

