

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER DUA SUDU
BERBAHAN DASAR TRIPLEK DENGAN TIGA VARIASI
PERMUKAAN SUDU**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1
Program Studi Teknik Mesin



Diajukan oleh :

JACOBUS DEIS BAGUS PRABOWO

115214011

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

2015

**PERFORMANCE OF TWO BLADES PLYWOOD
PROPELLER WINDMILL WITH THERE VARIATIONS OF
BLADE SURFACE**

FINAL PROJECT

Presented as a meaning
To Obtain *Sarjana Teknik* Degree
In Mechanical Engineering Study Progam



Submitted by :

JACOBUS DEIS BAGUS PRABOWO

115214011

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

2015

UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER DUA SUDU BERBAHAN
DASAR TRIPLEK DENGAN TIGA VARIASI PERMUKAAN SUDU

Disusun Oleh
JACOBUS DEIS BAGUS PRABOWO
NIM : 115214011

Telah Disetujui Oleh
Dosen Pembimbing



Ir. Rines, M. T.

**UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER DUA SUDU BERBAHAN
DASAR TRIPLEK DENGAN TIGA VARIASI PERMUKAAN SUDU**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

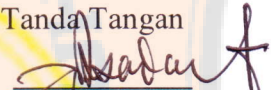
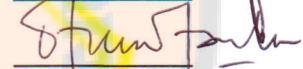
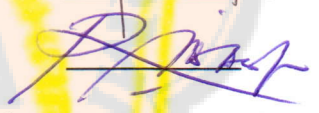
NAMA : JACOBUS DEIS BAGUS PRABOWO

NIM : 115214011

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 17 Juni 2015

Susunan Dewan Penguji

Nama Lengkap		Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Drs. Vet. Asan Damanik, M.Si	
Sekretaris	: Doddy Purwadianto, ST, MT	
Anggota	: Ir. Rines, MT	

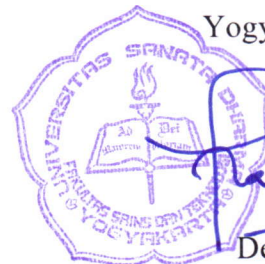
Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, **30 Juni 2015**

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta




Dekan

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

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini penulis menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir dengan judul :

UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER DUA SUDU BERBAHAN DASAR TRIPLEK DENGAN TIGA VARIASI PERMUKAAN SUDU

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 Perguruan tinggi manapun. Kecuali bagian informasi yang dicantumkan dalam daftar pustaka.

Dibuat di : Yogyakarta

Pada tanggal : 23 Juni 2015

Penulis



Jacobus Deis Bagus Prabowo

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : JACOBUS DEIS BAGUS PRABOWO

Nomor Mahasiswa : 115214011

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

UNJUK KERJA KINCIR ANGIN PROPELER DUA SUDU BERBAHAN DASAR TRIPLEK DENGAN TIGA VARIASI PERMUKAAN SUDU

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 23 Juni 2015

Yang menyatakan



Jacobus Deis Bagus Prabowo

INTISARI

Pola konsumsi energi yang senantiasa meningkat dari waktu ke waktu menyebabkan kelangkaan energi. Dengan demikian sebagian negara berpacu untuk menemukan energi alternatif dari sumber terbarukan. Salah satu diantaranya adalah energi angin. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji unjuk kerja model kincir angin propeler untuk mengetahui torsi, daya kincir, koefisien daya, dan *tip speed ratio* yang dihasilkan.

Kincir angin yang diteliti ini menggunakan diameter 80 cm dan berbahan dasar triplek dengan lapisan aluminium pada permukaan belakang sudu kincir angin dibuat dalam tiga variasi permukaan depan sudu, yakni tanpa lapisan, lapis seng lengkung dan lapis anyaman bambu. Untuk mendapatkan torsi, daya kincir, koefisien daya, dan *tip speed ratio* pada kincir, poros kincir dihubungkan ke mekanisme pengereman yang berfungsi sebagai alat untuk memvariasikan beban kincir. Besarnya beban pada kincir dapat dilihat dari neraca pegas. Putaran pada kincir angin diukur menggunakan takometer dan kecepatan angin diukur menggunakan anemometer. Kecepatan udara yang dihasilkan oleh blower berkisar antara 8 s/d 9 m/s.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa koefisien daya yang dihasilkan oleh kincir angin lapis seng sekitar 0,084 pada *tip speed ratio* 2,89. Torsi yang dihasilkan model ini sebesar 0,28 N.m pada putaran sekitar 480 rpm dan kecepatan angin 8,50 m/s. Koefisien daya yang dihasilkan kincir angin tanpa lapisan sekitar 0,048 pada *tip speed ratio* 2,17. Torsi yang dihasilkan model ini sebesar 0,22 N.m pada putaran sekitar 479 rpm dan kecepatan angin 9,23 m/s. Koefisien daya yang dihasilkan kincir angin lapis anyaman bambu sekitar 0,062 pada *tip speed ratio* 2,19. Torsi yang dihasilkan model ini sebesar 0,25 N.m pada putaran sekitar 452 rpm dan kecepatan angin 8,60 m/s. Dengan demikian kincir angin lapis seng menghasilkan koefisien daya lebih besar dibanding kedua variasi tanpa lapisan dan lapis anyaman bambu.

Kata kunci: koefisien daya, *tip speed ratio*, sudu berbahan triplek

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir. Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai persyaratan untuk dapat menyelesaikan jenjang pendidikan S-1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma.

Dalam laporan tugas akhir ini akan membahas mengenai perancangan, perbandingan efisiensi dan pembuatan kincir angin propeler. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Ibu Paulina Heruningsih Prima Rosa, S.Si., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Petrus Kanisius Purwadi, M.T, selaku kepala program studi Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma
3. Bapak Ir. Rines, M.T, selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir
4. Bapak Budi Setyahandana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik
5. Bapak Heribertus Heru Iskandar dan Ibu Benedecta Rusiana Tri yang telah mendukung dan memberi doa restu selama pembuatan laporan tugas akhir
6. Seluruh karyawan dan staf Universitas Sanata Dharma yang telah memberikan pengalaman dan ilmu untuk kelancaran pembuatan laporan tugas akhir.

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

7. Saudari Catharina Ratih Wikaningtyas dan teman-teman Teknik Mesin seangkatan, yang telah memberi dukungan dan masukan dalam pembuatan laporan tugas akhir.
8. Serta pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam pembuatan laporan tugas akhir.

Penulis menyadari akan keterbatasan dalam ilmu pengetahuan dan pengalaman. Sehingga saran, kritik, serta masukan yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 17 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Halaman Judul.....	iii
Halaman Pengesahan	iv
Halaman Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	v
Lembar Pernyataan Peseetujuan Publikasi Karya Ilmiah	vi
Intisari	vii
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel	xv
Bab 1Pendahuluan.....	1
1.1.Latar Belakang masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5.Manfaat Penelitian.....	3
Bab 2 Dasar Teori	4
2.1 Angin	4
2.2 Turbin Angin Sumbu Horisontal	4
2.2.1 Kelebihan Kincir Angin Sumbu Horisontal	6
2.2.2 Kekurangan Kincir Angin Sumbu Horisontal	6
2.3 Kincir Angin Sumbu Vertikal	6
2.3.1 Jenis Kincir Angin Sumbu Vertikal	6
2.3.2 Kelebihan Kincir Angin Sumbu Vertikal.....	8
2.3.3 Kekurangan Kincir Angin Sumbu Vertikal.....	9
2.4 Kincir Angin Propeler.....	9
2.5 Hubungan Antara Koefisien Daya dan <i>Tip Speed Ratio</i>	10

PLAGIAT MERUPAKAN TINDAKAN TIDAK TERPUJI

2.6 Rumus Perhitungan	11
2.6.1 Rumus Energi Kinetik.....	11
2.6.2 Rumus Daya Angin	12
2.6.3 Rumus Koefisien Daya	12
2.6.4 Rumus <i>Tip Speed Ratio</i>	13
2.6.5 Rumus Torsi.....	13
2.6.6 Rumus Daya yang Dihasilkan Kincir (P_{out})	13
Bab 3 Metode Penelitian	15
3.1 Diagram Penelitian.....	15
3.2 Desain Kincir Angin	16
3.3 Alat dan Bahan.....	16
3.4 Alat Pendukung.....	18
3.5 Variabel Penelitian	22
3.6 Variabel yang Diukur.....	22
3.7 Parameter yang Dihitung.....	22
3.8 Langkah Penelitian.....	23
Bab 4 Analisis Data dan Pembahasan	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	25
4.2 Pengolahan Data dan Perhitungan	28
4.2.1 Perhitungan Daya Angin	28
4.2.2 Perhitungan Torsi.....	28
4.2.3 Perhitungan Daya Kincir (P_{out})	29
4.2.4 Perhitungan <i>Tip Speed Ratio</i> (<i>tsr</i>)	29
4.2.5 Perhitungan Koefisien Daya (C_p).....	30
4.3 Hasil Perhitungan	30
4.4 Grafik Hasil Perhitungan.....	33
4.5 Grafik Perbandingan Dari Tiga Variasi Perlakuan.....	40

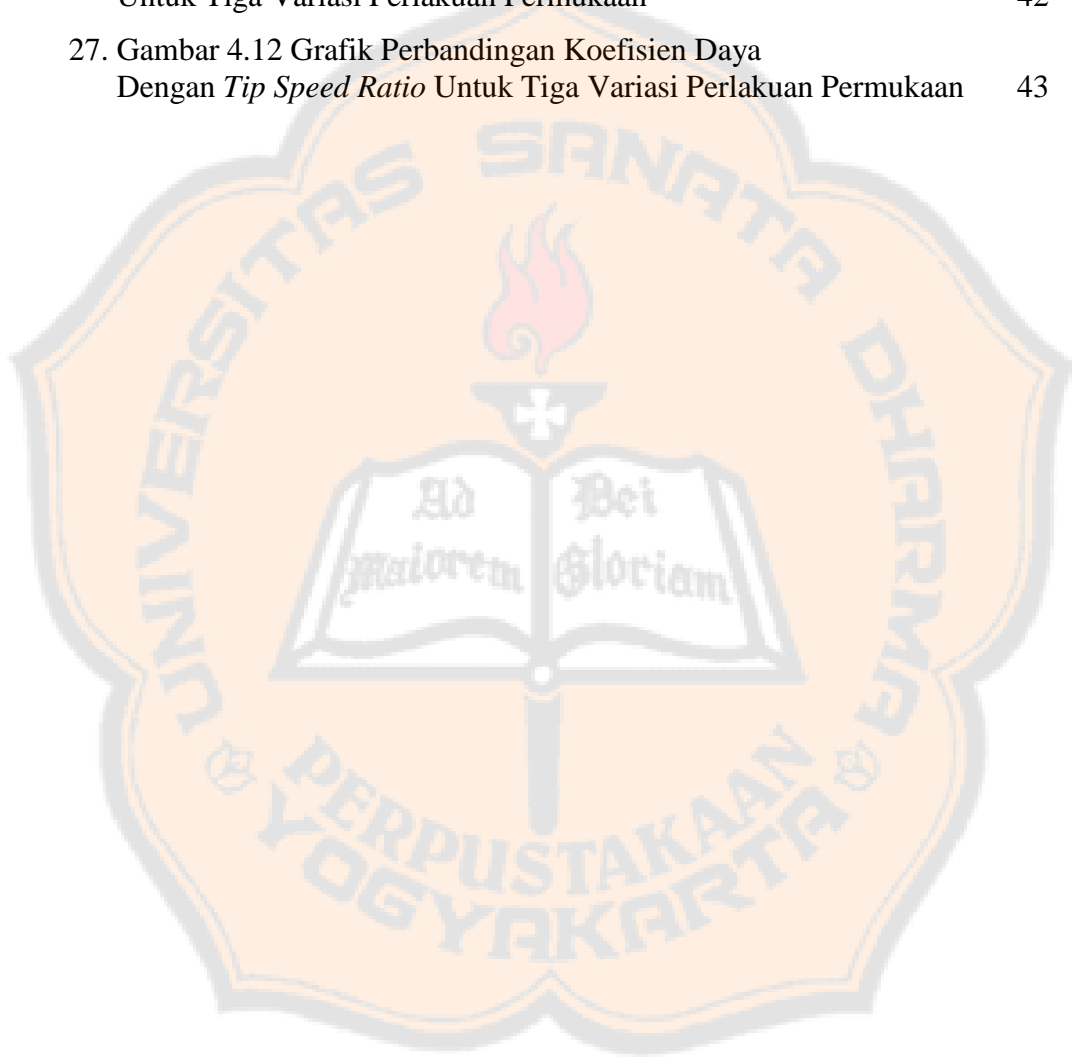
Bab 5 Penutup	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	45
Daftar Pustaka	46



DAFTAR GAMBAR

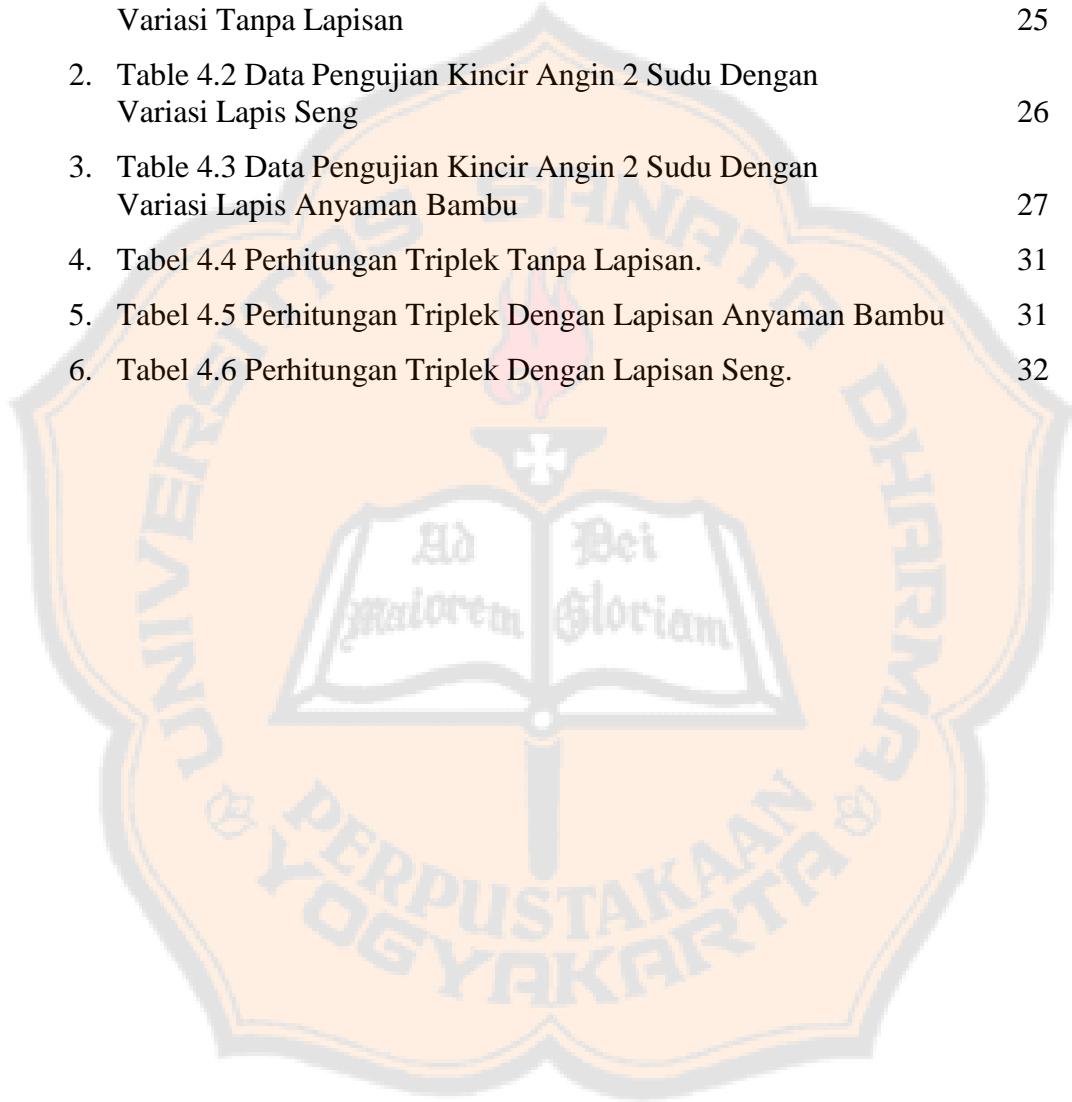
	hal
1. Gambar 2.1 Kincir Horisontal	5
2. Gambar 2.2 Turbin Darrieus	7
3. Gambar 2.3 Turbin Savonius	8
4. Gambar 2.4 Kincir Angin Propeler.	10
5. Gambar 2.5 Grafik Betz Limit	11
6. Gambar 3.1 Diagram Aliran Metode Penelitian Kincir Angin	15
7. Gambar 3.2 Desain Kincir Angin	16
8. Gambar 3.3 Dudukan Sudu	17
9. Gambar 3.4 Sudu Kincir Angin	17
10. Gambar 3.5 Fan Blower	18
11. Gambar 3.6 Trowongan Angin	19
12. Gambar 3.7 Anemometer	19
13. Gambar 3.8 Takometer	20
14. Gambar 3.9 Neraca Pegas	21
15. Gambar 3.10 Sistem Pengereman	21
16. Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Daya Kincir Untuk Kincir Angin Tanpa Lapisan	33
17. Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Daya Kincir Untuk Kincir Angin Lapis Seng	34
18. Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Daya Kincir Untuk Kincir Angin Lapis Anyaman Bambu	35
19. Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Putaran Untuk Kincir Angin Tanpa Lapisan	35
20. Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Putaran Untuk Kincir Angin Lapis Seng	36
21. Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Putaran Untuk Kincir Angin Lapis Anyaman Bambu	37
22. Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara CP dan TSR Untuk Kincir Angin Tanpa Lapisan	37
23. Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara CP dan TSR Untuk Kincir Angin Lapis Seng	39

24. Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara CP dan TSR Untuk Kincir Angin Lapis Anyaman Bambu	40
25. Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Torsi Dengan Daya Untuk Tiga Variasi Perlakuan Permukaan	41
26. Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Torsi Dengan Putaran Untuk Tiga Variasi Perlakuan Permukaan	42
27. Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Koefisien Daya Dengan $Tip\ Speed\ Ratio$ Untuk Tiga Variasi Perlakuan Permukaan	43



DAFTAR TABEL

	hal
1. Table 4.1 Data Pengujian Kincir Angin 2 Sudu Dengan Variasi Tanpa Lapisan	25
2. Table 4.2 Data Pengujian Kincir Angin 2 Sudu Dengan Variasi Lapis Seng	26
3. Table 4.3 Data Pengujian Kincir Angin 2 Sudu Dengan Variasi Lapis Anyaman Bambu	27
4. Tabel 4.4 Perhitungan Triplek Tanpa Lapisan.	31
5. Tabel 4.5 Perhitungan Triplek Dengan Lapisan Anyaman Bambu	31
6. Tabel 4.6 Perhitungan Triplek Dengan Lapisan Seng.	32



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan paling berkembang sekarang. Berdasarkan data dari WWEA (*World Wind Energy Association*) sampai dengan tahun 2007 perkiraan energi listrik dihasilkan oleh turbin angin mencapai 93.85 GigaWatt(GW). Kincir angin mampu menghasilkan lebih dari 1% dari total kelistrikan secara global. Amerika Serikat, Spanyol dan China merupakan negara - negara terdepan dalam pemanfaatan energi angin baik secara teknologi maupun ilmu pengetahuan.

Saat ini pemanfaatan akan potensi energi angin tersebut belum optimal. Indonesia yang memiliki potensi angin melimpah di kawasan pesisir. Sistem konversi energi angin yang terpasang dipesisir Indonesia memiliki kapasitas daya kurang dari 800 kiloWatt (kW). Di seluruh Indonesia, baru terdapat lima unit kincir angin pembangkit listrik berkapasitas masing-masing 80 kilowatt yang sudah dibangun.

Tahun 2007, tujuh unit dengan kapasitas sama menyusul dibangun di empat lokasi, maka pembangkit listrik tenaga angin (PLTA) ditargetkan mencapai 250 MegaWatt (MW) pada tahun 2025. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Sumber daya energi di Indonesia dan dunia semakin menipis. Energi menjadi semakin langka dan semakin mahal karena pertumbuhan konsumsi energi

rata-rata 7% setahun. Sedangkan, pertumbuhan kebutuhan energi ini tidak diimbangi dengan pasokan energi yang cukup. Sehingga perlu ditingkatkan upaya pemanfaatan EBT (Energi Baru Terbarukan) atau energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang mudah dan dapat digunakan adalah angin.

Kincir angin adalah salah satu alat yang mampu merubah energi angin untuk dirubah menjadi energi mekanik. Kincir angin memiliki prinsip dasar kerja dari yakni mengubah energi angin menjadi energi mekanik pada kincir. Lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator yang akan menghasilkan listrik.

Penulis menggunakan kincir angin propeler dua sudu dengan poros horizontal. Kincir angin model horizontal mudah untuk dibuat dan memiliki efisiensi yang tinggi. Koefisiensi daya kincir angin dapat dilihat dari perbandingan antara daya out put kincir dengan daya angin (P_{out} / P_{in}).

1.2. Perumusan Masalah

Kebutuhan energi di dunia semakin meningkat tetapi tidak diimbangi dengan pasokan energi yang cukup. Indonesia memiliki potensi energi angin cukup besar, tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal. Dengan demikian kincir angin diperlukan untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik melalui generator, sehingga energi angin dapat dikembangkan menjadi salah satu energi alternatif terbarukan.

1.3. Tujuan dari penelitian ini :

Tujuan dari penelitian ini adalah

- a) Membuat model kincir angin propeler dua sudu berbahan dasar triplek dengan

tiga variasi permukaan sudu.

- b) Mengetahui torsi optimal dan daya kincir maksimal pada masing-masing variasi kincir angin.
- c) Membandingkan koefisien daya dengan *tip speed ratio* dari ketiga variasi kincir angin.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis hanya memfokuskan kajian dan analisa sebagai berikut:

- a. Kincir angin yang digunakan adalah kincir angin dengan poros horizontal tipe propeler dua sudu dengan bahan dasar triplek dengan tiga variasi permukaan sudu.
- b. Variasi untuk kincir angin yang digunakan yakni, tanpa lapisan, lapis seng, lapis anyaman bambu.
- c. Kincir angin propeler yang digunakan memiliki diameter 80 cm.
- d. Penulis akan membahas perhitungan kecepatan angin, kecepatan kincir, dan torsi poros kincir.

1.5. Manfaat dari penelitian ini :

Manfaat penelitian kincir angin ini adalah

- a. Sebagai salah satu energi terbarukan dan dapat dikembangkan untuk ilmu pengetahuan.
- b. Masyarakat dapat menggunakan kincir angin untuk memenuhi kebutuhan akan energi.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Pemanasan oleh matahari, maka udara memuai.

Tekanan udara yang telah memuai massa jenisnya menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun. Udara disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ketanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.

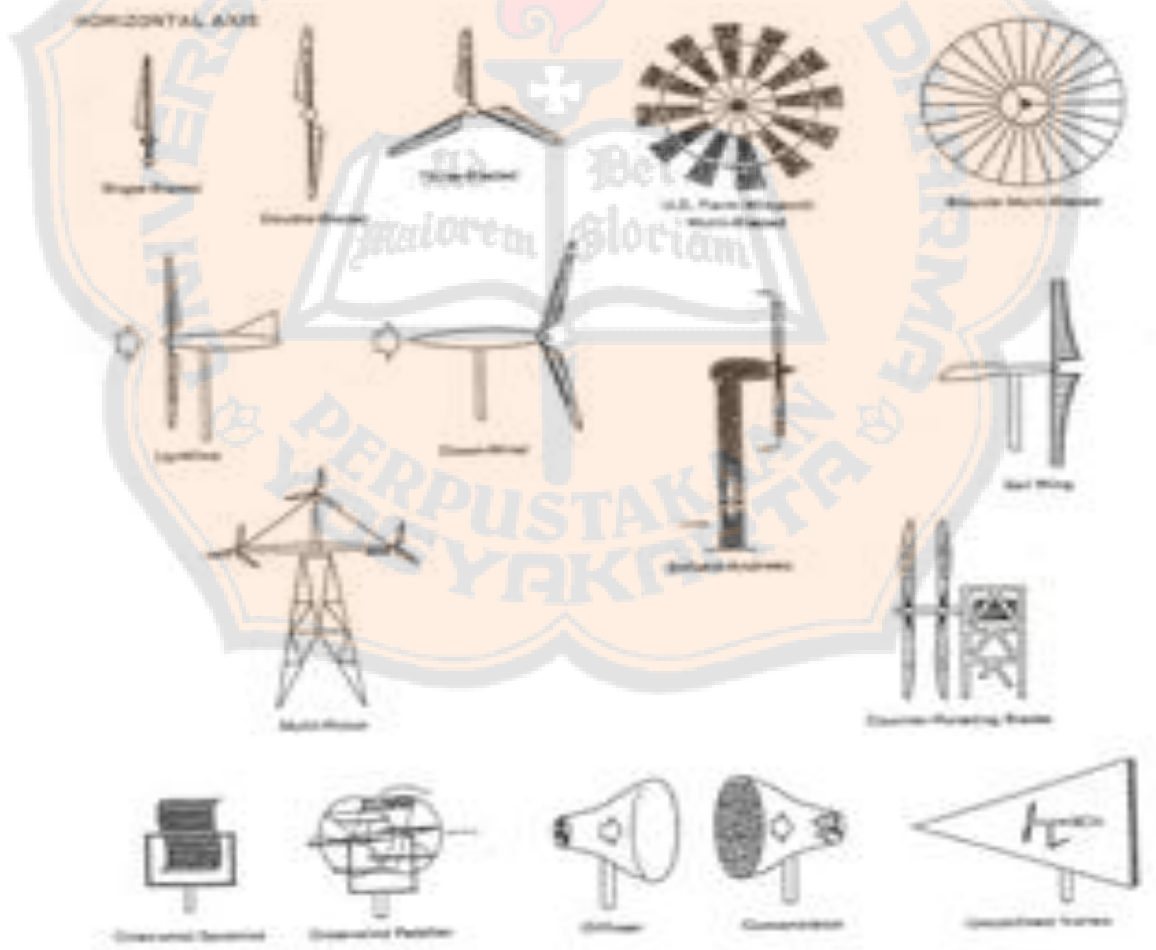
Pada tahun 2005, kapasitas energi generator tenaga angin adalah 58.982 MW, hasil tersebut kurang dari 1% pengguna listrik dunia. Kebanyakan tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Tenaga angin banyak jumlahnya, tidak habis-habis, tersebar luas, gratis dan bersih.

2.2 Kincir Angin Sumbu Horizontal

Kincir angin sumbu horizontal merupakan kincir angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. kincir angin sumbu horizontal memiliki

poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin.

Rotor kincir angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling – baling angin sederhana sedangkan kincir angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor kincir mengarah pada angin. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor kincir angin sumbu horizontal mengalami gaya lift dan gaya drag, namun gaya lift jauh lebih besar dari gaya drag.



Gambar 2.1 Kincir angin horizontal (Sumber: Daryanto (2007))

2.2.1. Kelebihan Kincir Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Kelebihan dari kincir angin horizontal yakni sebagai berikut ini:

- a. Sudu HAWT berada disamping pusat grafitasi turbin, sehingga membantu stabilitas turbin.
- b. Menara yang tinggi memungkinkan penempatan turbin pada landasan yang tidak datar atau dilokasi – lokasi garis pantai.
- c. HAWT dapat dibuat dengan kemampuan *pitch control* untuk sudu – sudunya, sehingga dapat menghindari kerusakan bila terserang badai.

2.2.2. Kekurangan Kincir Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Kincir angin horizontal memiliki kekurangan yaitu :

- a. HAWT sulit dioperasikan dekat dengan permukaan tanah yang merupakan tempat beradaya angin – angin turbelen, karena *yaw control* dan *blende control* nya memerlukan aliran – aliran angin yang lebih laminar.
- b. HAWT yang tinggi sulit untuk dipasang karena memerlukan crane yang sangat tinggi dan mahal dan operator – operator yang ahli.
- c. Menara – menara yang tinggi dan sudu-sudu yang pnjan (mencapai hingga 60 m) sulit untuk diangkut ditempat pendirian turbin. Biaya transportasi sekitar 20% dari biaya peralatan.

2.3 Kincir Angin Sumbu Vertikal

2.3.1. Kincir angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua jenis yakni Savonius dan Darrieus. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat sebagai berikut :

a. Kincir Darrieus

Kincir angin Darrieus ini termasuk dalam turbin angin berporos vertikal. Kincir angin ini mula – mula diperkenalkan di Perancis sekitar tahun 1920. Kincir angin darrieus ini memiliki ciri bersudu tegak. Kincir angin ini berputar kedalam dan keluar dari arah angin. Bentuk dari turbin Darrieus ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.

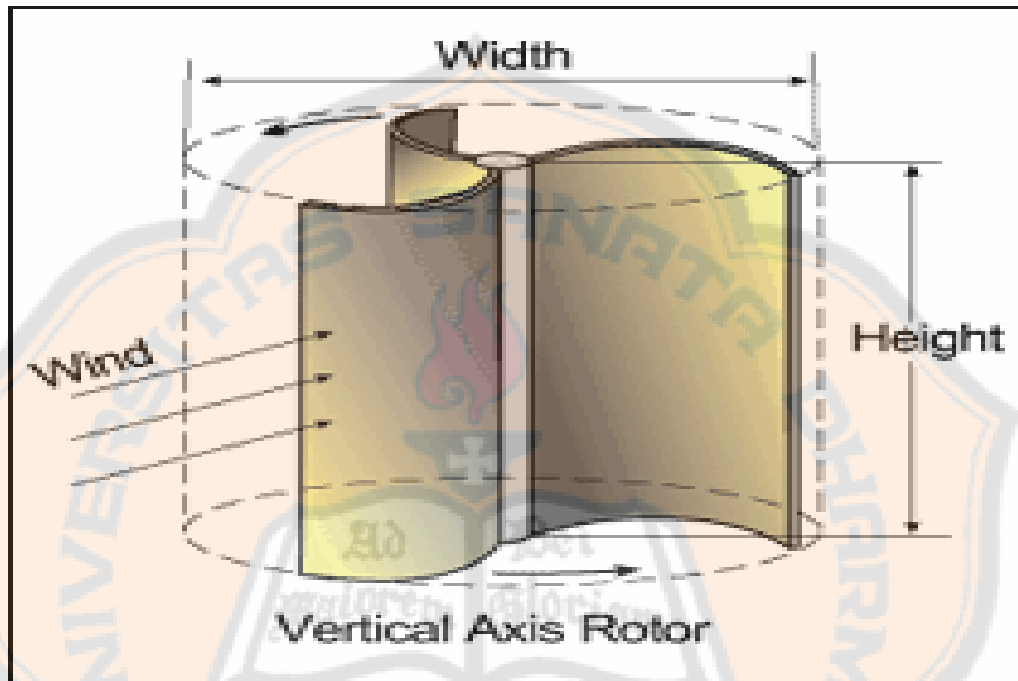


Gambar 2.2 Turbin Darrieus
(Sumber: Daryanto (2007))

b. Kincir angin Savonius

Kincir angin Savonius diciptakan pertama kali di negara Finlandia dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Kincir angin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu

horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. Contoh Kincir angin Savonius ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kincir angin Savonius.

(Sumber: http://revirexi.blogspot.com/2014_01_01_archive.html)

2.3.2. Kelebihan Kincir Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Kelebihan kincir angin sumbu vertikal yakni sebagai berikut ini:

- a. Kincir3 angin sumbur vertikal berukuran kecil dapat lebih mudah diangkut dan dipasang.
- b. Kincir angin ini perawatannya lebih mudah.
- c. Tidak perlu menara free standing, sehingga lebih murah dan lebih kuat bila berada dalam daerah angin kencang yang dekat dengan permukaan tanah.

2.3.3. Kekurangan kincir angin sumbu vertical (VAWT)

Selain kelebihan kincir angin sumbu vertikal, juga memiliki kekurangan yaitu:

- a. Tinggi swept area VAWT lebih terbatas dibandingkan dengan HAWT.
- b. Memerlukan tanah yang lebih datar, tidak bisa ditempat terlalu curam.
- c. Kebanyakan VAWT menghasilkan energi dengan efisiensi sekitar 50% dari efisiensi yang dapat dihasilkan HAWT karena VAWT menerima tambahan drag selama sudu - sudunya berputar didalam udara yang bergerak.

2.4 Kincir Angin Propeler

Kincir angin propeler ini merupakan jenis kincir angin sumbu horizontal. Kincir angin propeler merupakan kincir angin yang memiliki jumlah sudu yang lebih sedikit dari jenis yang lain. Kincir angin propeler memiliki penampang airfoil, dimana perputaran kincir angin ini disebabkan adanya gaya aerodinamika yang bekerja pada suatu kincir angin.

Jenis kincir propeller ini memiliki keunggulan yakni :

- a. Konstruksi kincir lebih sederhana
- b. Karakteristik aerodinamis angin tidak terganggu karena arah angin langsung menuju rotor.
- c. Untuk variable pitch start lebih ringan

Kincir angin model propeler ini mudah untuk dibuat dan memiliki efisiensi yang tinggi. Kincir angin propeler ini termasuk jenis kincir angin bersumbu horisantal. Bentuk kincir angin propeler dapat dilihat pada Gambar 2.4



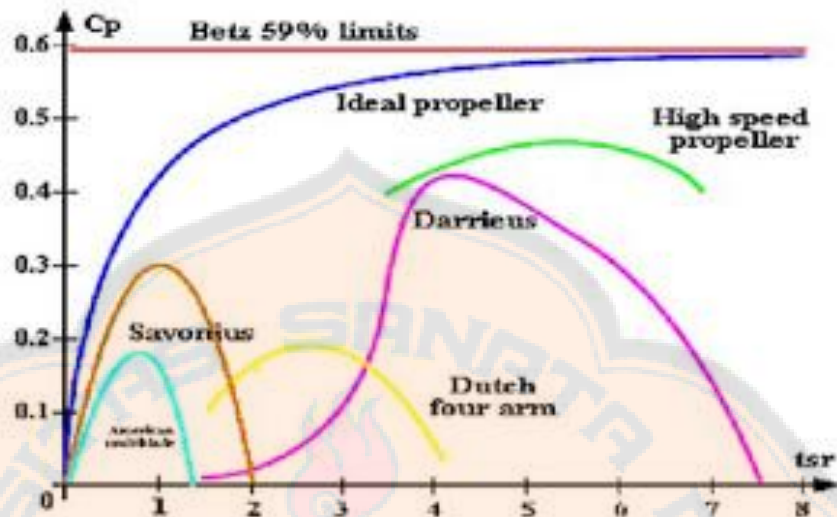
Gambar 2.4 Kincir angin propeller
(sumber : backupkuliah.blogspot.com)

2.5 Hubungan Antara Koefisien Daya Dengan *Tip Speed Ratio*

Tip speed ratio mempengaruhi besarnya koefisien daya. Hubungan ini digambarkan sebagai berikut :

1. Koefisien daya bergantung pada ujung sudu
2. Ditandai dengan kurva koefisien daya berbanding dengan perbandingan kurva *tip speed ratio*

Berikut ini grafik koefisien daya dengan *tip speed ratio* dari berbagai jenis kincir yang dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik koefisien daya dengan *tip speed ratio* dari berbagai jenis kincir

Sumber : <http://gunturcuplezt.blogspot.com/2012/09/prinsip-prinsip-konversi-energi-angin.html>

2.6 Rumus Perhitungan

Berikut ini rumus yang digunakan dalam melakukan perhitungan kincir angin propeler dua sudu yang diteliti :

2.6.1 Rumus Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki suatu benda karena geraknya. Energi kinetik dipengaruhi oleh massa benda dan kecepatannya. Dapat ditulis dalam rumus sebagai berikut

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1)$$

dengan E_k adalah energi kinetik, m adalah massa, dan v adalah kecepatan angin

Pada dasarnya daya adalah energi persatuan waktu, sehingga daya dapat ditulis secara matematik

$$P = \frac{E_k}{t} \quad (2)$$

dengan P adalah daya, dan t adalah waktu

Mengingat massa per satuan waktu dapat ditulis sebagai berikut

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

dengan \dot{m} adalah massa persatuan waktu, ρ adalah massa jenis, dan A adalah Luas penampang sudu

2.6.2 Rumus Daya Angin

Daya angin adalah daya yang dihasilkan oleh angin tiap luasan sudu. Dengan demikian daya angin dapat diperoleh menggunakan Persamaan (1) dan (3), sehingga daya angin dapat ditulis dalam rumus:

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot (A \cdot v \cdot \rho) \cdot v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \end{aligned} \quad (4)$$

dengan P_{in} adalah daya yang disediakan oleh angin, A adalah Luas penampang sudu, ρ adalah massa jenis, dan v adalah kecepatan angin.

2.6.3 Koefisien Daya

Koefisien daya adalah perbandingan dari daya yang dihasilkan oleh kincir angin (P_{out}) dengan daya yang disediakan oleh angin. Koefisien daya dapat diperhitungkan menggunakan rumus :

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (5)$$

dengan C_p adalah koefisien daya, P_{in} adalah daya yang disediakan oleh angin, dan P_{out} adalah daya yang dihasilkan oleh kincir angin.

2.6.4 Rumus *Tips Speed Ratio*

Tips speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan linier lingkaran terluar kincir dengan kecepatan angin. Dapat dituliskan dalam rumus, :

$$tsr = \frac{\omega \cdot r}{v} \quad (6)$$

dengan ω adalah putaran poros kincir angin, r adalah jari jari kincir angin, dan v adalah kecepatan angin.

2.6.5 Rumus Torsi

Torsi dapat diperhitungkan dalam rumus :

$$T = F \cdot l \quad (7)$$

dengan T adalah Torsi, F adalah gaya pembebanan, dan l : panjang lengan torsi ke poros.

2.6.6 Rumus Daya yang dihasilkan kincir angin (P_{out})

Daya yang dihasilkan kincir (P_{out}), yakni daya yang dihasilkan kincir angin berdasarkan adanya angin yang melintas pada sudu kincir angin, sehingga daya yang dihasilkan dapat di hitung dengan rumus :

$$P_{out} = T \cdot \omega \quad (8)$$

dengan P_{out} adalah daya yang dihasilkan kincir, T adalah torsi, dan ω adalah putaran poros kincir angin.

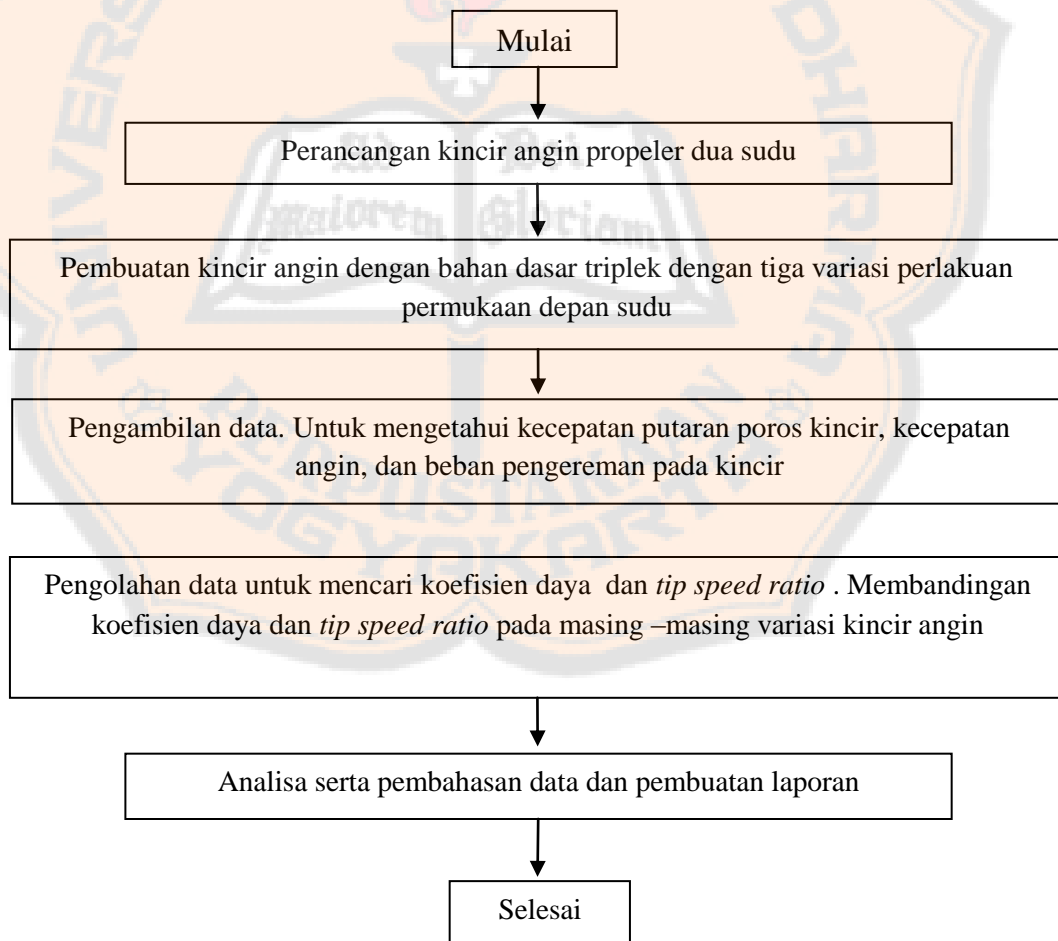


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian

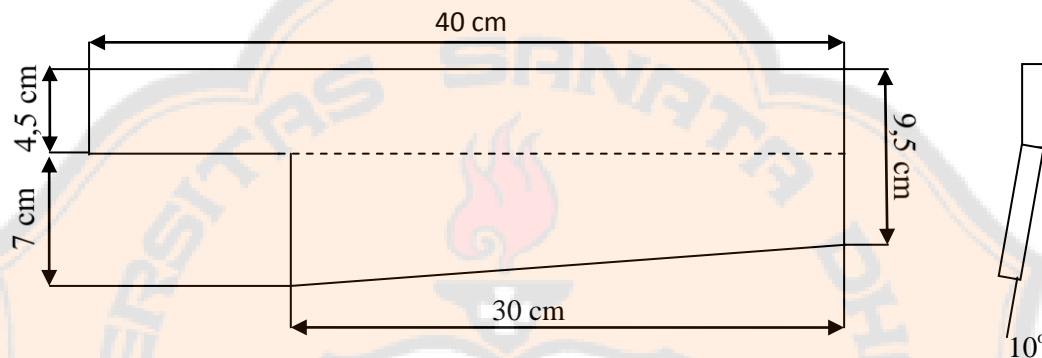
Langkah kerja dalam penelitian ini meliputi perencanaan kincir hingga analisis data. Disajikan dalam bentuk gambar diagram aliran yang dapat diperhatikan dari Gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Diagram aliran metode penelitian kincir angin

3.2. Desain kincir angin

Desain kincir yang dibuat seperti pada Gambar 3.2. dari gambar tersebut dapat kita ketahui bahwa kincir angin yang dibuat berukuran 80 cm dengan sudut patahan 10° .



Gambar 3.2 Desain kincir

3.3. Alat dan Bahan

Model kincir angin propeler dua sudu dengan tiga variasi perlakuan permukaan, yakni tanpa lapisan, lapisan seng dan lapisan anyaman bambu. Kincir ini dibuat dengan diameter 80 cm. Berikut alat dan bahan yang digunakan:

1. Dudukan sudu

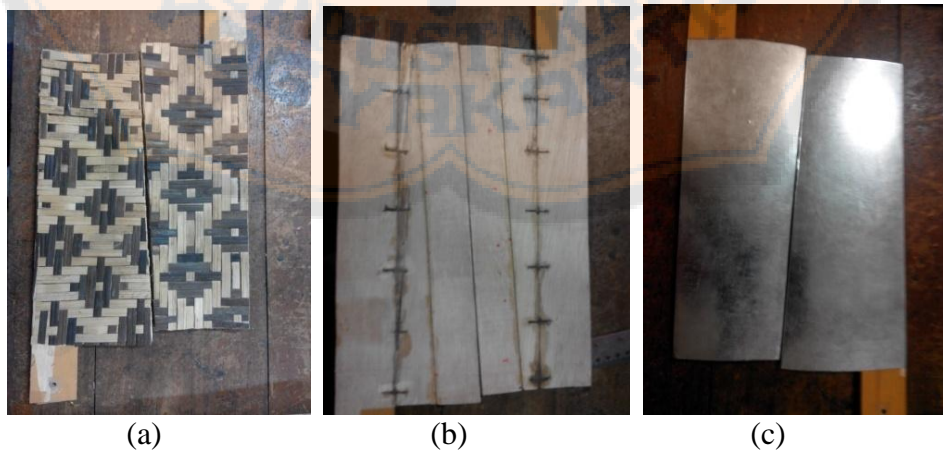
Dudukan sudu yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 merupakan bagian komponen yang berfungsi untuk pemasangan sudu dan juga untuk mengatur kemiringan sudu. Dudukan sudu ini memiliki dua buah lubang untuk pemasangan sudu dan dua buah klem untuk menjepit sudu yang dipasang pada dudukan sudu, untuk mengatur sudu kemiringan cukup membuka mur dan klem.



Gambar 3.3 Dudukan sudu

2. Sudu kincir angin

Sudu kincir yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 merupakan daerah sapuan angin yang menerima energi angin sehingga dapat membuat dudukan sudu atau turbin berputar. variasi yang saya gunakan adalah variasi kehalusan permukaan, antara lain : variasi menggunakan anyaman bambu, variasi lapis seng dan variasi triplek polos, dimana masing – masing sudu memiliki bentuk dan ukuran yang sama,



Gambar 3.4. Sudu kincir angin. a) Lapis anyaman bambu, b) tanpa lapisan dan c) lapis seng

3.4. Alat Pendukung

Peralatan pendukung merupakan hal penting dalam suatu penelitian. Karena dapat membantu dalam menentukan hasil dari penelitian. Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian kincir angin propeler ini sebagai berikut :

a. Fan blower

Fan blower yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 berfungsi untuk menghisap udara yang akan disalurkan ke *wind tunnel*. *Fan blower* dengan daya penggerak motor 5,5 kw.



Gambar 3.5 Fan blower

b. Terowongan Angin

Terowongan angin (*wind tunnel*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 adalah sebuah lorong angin dengan tinggi 1,2 meter, lebar 1,2 meter, dan panjang 2,4 meter. Terowongan angin ini berfungsi sebagai tempat angin bergerak dengan kecepatan tertentu dan juga sebagai tempat pengujian kincir angin. Terowongan angin ini dapat diatur kecepatan anginnya dengan cara mengatur jarak antara *wind tunnel* dengan *blower* sesuai keinginan, dengan cara menarik

blower menggunakan troli.



Gambar 3.6 Terowongan angin

c. Anemometer

Anemometer yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 berfungsi untuk mengukur kecepatan angin. dan juga digunakan untuk mengukur suhu angin di sekitar lingkungan.



Gambar 3.7 Anemometer

d. Takometer

Takometer (*tachometer*) yang ditunjukkan oleh Gambar 3.8 adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran poros kincir yang dinyatakan dalam satuan *rpm* (*revolutions per minute*). Jenis takometer yang digunakan adalah digital light takometer. Cara kerjanya cukup sederhana meliputi 3 bagian, yaitu : Sensor, pengolah data dan penampil.



Gambar 3.8 Takometer

e. Neraca pegas

Neraca pegas yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 digunakan untuk mengetahui beban pengereman pada kincir pada saat kincir angin berputar. Neraca pegas ini diletakan pada bagian sistem pengereman dan dihubungkan dengan kopling dengan jarak yang telah disesuaikan.



Gambar 3.9 Neraca pegas

f. Sistem pengereman

Sistem pengereman yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 berfungsi sebagai beban pada perputaran kincir, yang dimana kincir diberi beban berupa karet untuk mengetahui besar-nya torsi dan kecepatan putaran kincir angin.



Gambar 3.10 Sistem pengereman

g. Penopang kincir

Penopang kincir berfungsi sebagai penopang sudu, agar kincir dapat berputar. Poros kincir ini juga sebagai penghubung antara kincir dengan sistem

pengereman, yang dihubungkan dengan poros penyambung.

3.5 Variabel Penelitian :

Variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Variasi perlakuan permukaan sudu yaitu dengan menggunakan lapisan anyaman bambu, lapis seng dan tanpa lapisan.
2. Variasi pembebanan kincir yaitu dari posisi kincir berputar maksimal sampai kincir dalam posisi diam (terhenti).
3. Variasi kemiringan sudu kincir angin propeler yaitu 10° .

3.6 Variabel yang Diukur :

Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah :

1. Kecepatan angin, (m/s)
2. Gaya pengimbang, (N)
3. Putaran kincir, (rpm)

3.7 Parameter yang Dihitung

Parameter yang dihitung untuk mendapatkan karakteristik kincir angin adalah:

- 1) Daya angin (P_{in}).
- 2) Daya kincir (P_{out}).
- 3) Gaya pengimbang torsi (T).

4) Koefisien daya (C_p).

5) *Tip speed ratio* (tsr)

3.8 Langkah Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan sebelum pengambilan data penelitian adalah pasang kincir angin di dalam terowongan angin pasang komponen poros penghubung kincir angin dengan mekanisme pengereman yang berada di bagian depan terowongan angin. Proses pengambilan data daya dan torsi dinamis kincir angin dilakukan secara bersamaan di saat pengambilan data daya dan torsi dinamis kincir, ada beberapa hal yang perlu dilakukan yaitu:

- 1) Menghubungkan poros kincir dengan mekanisme pengereman.
- 2) Memasang anemometer pada terowongan didepan kincir angin untuk mengukur kecepatan angin di saluran terowongan angin.
- 3) Memasang neraca pegas pada tempat yang telah di tentukan.
- 4) Memasang tali yang menghubungkan antara neraca pegas dengan lengan pada mekanisme pengereman.
- 5) Menghidupkan *fan bolwer* untuk menghembuskan angin kedalam terowongan angin
- 6) Percobaan pertama variasi triplek polos, kedua dengan lapisan seng dipermukaan sudu, dan ketiga lapisan anyaman bambu dipermukaan sudu.
- 7) Untuk mengatur kecepatan angin dalam terowongan angin dengan

cara memundurkan jarak *fan blower* terhadap terowongan angin agar dapat menentukan variasi kecepatan angin (dalam percobaan ini kecepatan angin disamakan atau dibuat sama).

- 8) Variasi beban pada mekanisme pengereman untuk mendapatkan variasi beban di gunakan 1 karet, 2 karet, 3 karet, 4 karet, dan seterusnya.
- 9) Bila kecepatan angin dan variasi beban telah sesuai dengan yang diinginkan maka, pengukuran dapat dilakukan dengan membaca massa pengimbang yang terukur dalam neraca pegas.
- 10) Mengukur kecepatan kincir angin, suhu dan putaran poros dengan menggunakan takometer dengan bersamaan.
- 11) Mengamati selama waktu yang telah ditentukan.
- 12) Mengulangi langkah 6 hingga 11 untuk variasi sudu sudu yang berikutnya

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil penelitian

Berikut ini data pengujian kincir angin dua sudu jenis propeler. Dengan tiga variasi perlakuan permukaan . Data yang diperoleh dapat dilihat dari Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Data pengujian kincir angin dua sudu triplek tanpa lapisan

Data percobaan	Kec. angin	Gaya pengimbang	Putaran kincir
	v (m/s)	F (gram)	n (rpm)
1	9,3	0	857
	9,2	60	753,2
	9,1	110	688
	9,2	150	607,6
	9,2	180	563,4
	9,2	200	502,5
2	9,3	0	802,6
	9,2	60	778,2
	9,1	100	685,6
	9,2	140	639,1
	9,2	170	552,3
	9,2	210	472,8
3	9,3	0	803,5
	9,2	60	737,4
	9,2	110	688,6
	9,3	130	659,7
	9,4	160	621,6
	9,3	210	461,3

Tabel 4.2 Data pengujian kincir angin dua sudu dengan variasi lapis seng

Data percobaan	Kec. angin	Gaya pengimbang	Putaran kincir
	v (m/s)	F (gram)	n (rpm)
1	8,5	0	912,5
	8,7	50	869,5
	9	80	844
	8,6	100	793,2
	8,6	130	754,8
	8,8	170	709,4
	8,4	200	665,2
	8,4	220	626,8
	8,6	230	510,6
	8,8	270	458,9
2	8,6	0	915,4
	8,6	40	881,4
	8,5	70	828,3
	8,6	115	787
	8,7	140	751,2
	8,6	180	706,3
	8,5	200	668,9
	8,5	225	616,7
	8,5	240	545,4
	8,6	260	486,4
3	8,5	0	915,6
	8,6	50	878,6
	8,6	70	847
	8,6	100	820,8
	8,6	130	777,7
	8,5	145	759,6
	8,6	170	705,1
	8,6	230	610,7
	8,7	250	587,8
	8,6	260	493,7

Tabel 4.3 Data pengujian kincir angin dua sudu dengan variasi lapis anyaman bambu

Data percobaan	Kec. angin	Gaya pengimbang	Putaran kincir
	v (m/s)	F (gram)	n (rpm)
1	8,6	0	836,6
	8,5	40	795,7
	8,6	80	730,3
	8,9	120	684,2
	8,7	150	604,8
	8,7	180	520,5
	8,6	210	487,9
	8,6	230	450,5
2	8,8	0	860,7
	8,7	40	801,6
	8,5	70	757,7
	8,6	120	685,1
	8,8	150	617,3
	8,9	180	526,7
	8,7	210	486,7
	8,6	230	453,7
3	9	0	853,6
	8,6	40	800,9
	8,6	80	736,8
	8,6	130	668,4
	8,5	160	605,6
	8,4	180	525,7
	8,5	210	482,7
	8,6	230	450,3

4.2 Pengolahan data dan perhitungan

Dalam pengolahan data digunakan beberapa asumsi untuk mempermudah pengolahan dan perhitungan data sebagai berikut :

- a. Percepatan gravitasi bumi = $9,81 \text{ m/s}^2$
- b. Massa jenis udara $1,18 \text{ kg/m}^3$

4.2.1 Perhitungan Daya Angin

Sebagai contoh perhitungan diambil dari Tabel 4.1 pada pengujian pertama dan pembebanan kedua diperoleh kecepatan angin $9,2 \text{ m/s}$, massa jenis udara (ρ) = $1,18 \text{ kg/m}^3$, dan luas penampang (A) = $0,50 \text{ m}^2$, maka dapat dihitung daya angin sebesar :

$$\begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ &= \frac{1}{2} \cdot (1,18) \cdot (0,50) \cdot (9,2)^3 \\ &= 230,91 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jadi daya angin yang dihasilkan sebesar 230,91 watt

4.2.2 Perhitungan Torsi

Sebagai contoh perhitungan diambil dari pengujian yang dilakukan besar torsi dapat kita hitung. Diambil dari Tabel 4.1 pada pengujian pertama, dan pembebanan ke dua. Dari data diperoleh besaran gaya (F) = 0,5886 Newton dan jarak lengan torsi keporos sebesar 0,11 m, maka torsi dapat dihitung :

$$\begin{aligned} T &= F \cdot l \\ &= (0,5886) \cdot (0,11) \end{aligned}$$

$$= 0,065 \text{ Nm}$$

Jadi torsi yang dihasilkan sebesar 0,065 N.m

4.2.3 Perhitungan Daya Kincir (P_{out})

Sebagai contoh perhitungan diambil dari Tabel 4.1 pada pengujian pertama dan pembebanan kedua diperoleh kecepatan angin 9,20 m/s, putaran poros (n) sebesar 756,27 rpm, dan torsi yang telah diperhitungkan pada Sub Bab 4.2.2 sebesar = 0,0647 N.m. maka besarnya daya kincir dapat dihitung :

$$\begin{aligned} P_{out} &= T \cdot \omega \\ &= 0,065 \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \\ &= 0,065 \cdot \frac{\pi \cdot (756,27)}{30} \\ &= 5,13 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jadi daya kincir yang diperoleh sebesar 5,13 watt

4.2.4 Perhitungan *Tip Speed Ratio* (tsr)

Sebagai contoh perhitungan diambil dari Tabel 4.1 pada pengujian pertama dan pembebanan kedua diperoleh putaran poros kincir angin sebesar = 79,19 rad/s, jari jari kincir angin sebesar (r) = 0,4 m, dan kecepatan angin sebesar 9,20 m/ s, maka tip speed ratio dapat dihitung

$$\begin{aligned} tsr &= \frac{\omega \cdot r}{v} \\ &= \frac{(79,19) \cdot (0,4)}{9,20} \end{aligned}$$

$$= 3,44$$

Jadi *tip speed ratio* yang diperoleh sebesar 3,44

4.2.5 Perhitungan Koefisien Daya (C_p)

Sebagai contoh perhitungan diambil dari perhitungan diatas yakni, daya angin pada Sub Bab 4.2.1 sebesar 230,91 watt dan daya yang dihasilkan kincir angin pada Sub Bab 4.2.3 sebesar 5,13 watt. Dengan demikian koefisien daya dapat dihitung :

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \\ &= \frac{5,127}{230,91} \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

Jadi koefisien daya yang diperoleh sebesar 0,022 atau 2,2 %

4.2 HASIL PERHITUNGAN

Dari pengujian kincir angin yang dilakukan dengan tiga variasi perlakuan permukaan depan sudu yang berbeda yakni, variasi triplek tanpa lapisan (polos), variasi triplek lapis seng, dan variasi triplek lapis anyaman bambu. Dengan demikian dapat diperhitungkan hasil pengujian kincir angin propeler dua sudu seperti pada Sub Bab 4.2.

Data – data perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.4 sampai Tabel 4.6.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan untuk model kincir angin dengan sudu tanpa lapisan

No	Kec. angin rata - rata	Gaya pengimbang rata - rata	Putaran kincir	Gaya pengimbang rerata	Beban torsi	Kecepatan sudut	Daya angin	Daya output kincir	Tip speed ratio	Koefisien daya
	$V(m/s)$	$F (gram)$	$n (rpm)$	N	N.m	rad/s	$P_{in}(watt)$	$P_{out} (watt)$	tsr	C_p
1	9,30	0	821	0	0	85,98	239	0	3,70	0
2	9,20	60	756	0,59	0,06	79,20	231	5,13	3,44	0,022
3	9,13	107	687	1,05	0,12	71,98	226	8,29	3,15	0,037
4	9,23	140	635	1,37	0,15	66,55	233	10,05	2,88	0,043
5	9,27	170	579	1,67	0,18	60,64	236	11,12	2,62	0,047
6	9,23	207	479	2,03	0,22	50,15	233	11,18	2,17	0,048

Tabel 4.5 Hasil perhitungan untuk model kincir angin dengan sudu lapisan anyaman bambu

NO	Kec. angin rata - rata	Gaya pengimbang rata - rata	Putaran kincir	Gaya pengimbang rerata	Beban torsi	Kecepatan sudut	Daya angin	Daya output kincir	Tip speed ratio	Koefisien daya
	$V(m/s)$	$F (gram)$	$n (rpm)$	N	N.m	rad/s	$P_{in}(Watt)$	$P_{out}(watt)$	tsr	C_p
1	8,80	0	850	0	0	89,04	202	0	4,05	0
2	8,60	40	799	0,39	0,04	83,71	189	3,61	3,89	0,019
3	8,57	77	742	0,75	0,08	77,66	186	6,42	3,63	0,034
4	8,70	123	679	1,21	0,13	71,13	195	9,47	3,27	0,048
5	8,67	153	609	1,50	0,17	63,80	193	10,56	2,94	0,055
6	8,67	180	524	1,77	0,19	54,90	193	10,66	2,53	0,055
7	8,60	210	486	2,06	0,23	50,87	189	11,53	2,37	0,061
8	8,60	230	452	2,26	0,25	47,28	189	11,73	2,20	0,062

Tabel 4.6 Hasil perhitungan untuk model kincir angin dengan sudu lapisan seng

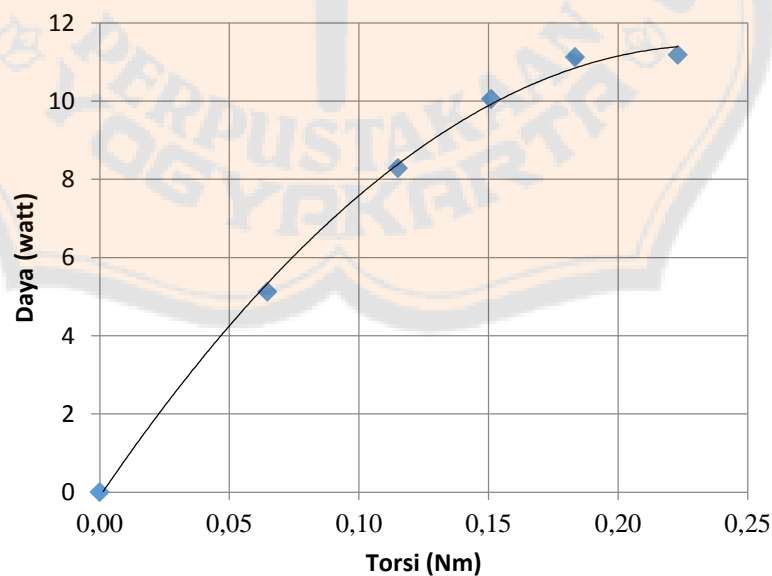
NO	Kec. Angin rata – rata	Gaya pengimbang rata – rata	Putaran kincir	Gaya pengimbang rerata	Beban torsi	Kecepatan sudut	Daya angin	Daya output kincir	<i>Tip speed ratio</i>	Koefisien daya
	$V(m/s)$	F (gram)	n (rpm)	N	N.m	rad/s	P_{in} (Watt)	P_{out} (watt)	tsr	C_p
1	8,53	0	915	0	0	95,77	184	0	4,49	0
2	8,63	47	877	0,46	0,05	91,79	191	4,62	4,25	0,024
3	8,70	73	840	0,72	0,08	87,94	195	6,96	4,04	0,036
4	8,60	105	800	1,03	0,11	83,81	189	9,50	3,90	0,050
5	8,63	133	761	1,31	0,14	79,72	191	11,47	3,69	0,060
6	8,63	165	725	1,62	0,18	75,93	191	13,52	3,52	0,071
7	8,50	190	680	1,86	0,21	71,18	182	14,59	3,35	0,080
8	8,50	225	618	2,21	0,24	64,72	182	15,71	3,05	0,086
9	8,60	240	548	2,35	0,26	57,38	189	14,86	2,67	0,079
10	8,67	263	480	2,58	0,28	50,23	193	14,27	2,32	0,074

4.3 GRAFIK HASIL PERHITUNGAN

Dari pengolahan data yang dilakukan pada Sub Bab 4.2 dan 4.3 maka dapat diperoleh grafik. Grafik hubungan tersebut antara lain grafik antara koefisien daya dan *tip speed ratio*, grafik hubungan torsi dan rpm, dan grafik hubungan antara daya dengan torsi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 sampai Tabel 4.6 :

4.3.1 Grafik Hubungan Antara Daya dan Torsi Untuk Kincir Angin Polos

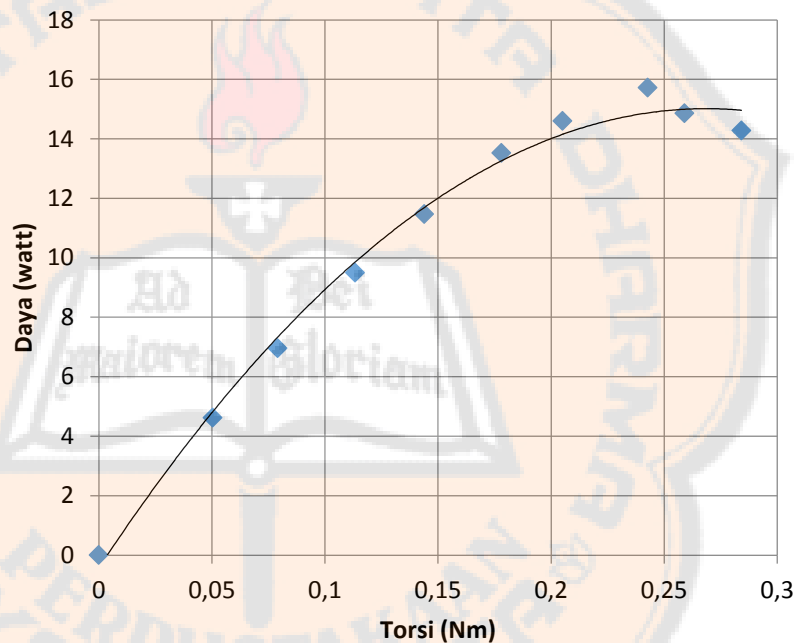
Dari data yang diperoleh dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan torsi dan daya kincir (P_{out}). Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa daya kincir (P_{out}) yang dihasilkan kincir angin tanpa lapisan (polos) sekitar 11,18 watt pada torsi sekitar 0,22 N.m.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara torsi dan daya kincir untuk kincir angin polos

4.3.2 Grafik Hubungan Antara Daya Dan Torsi Untuk Kincir Angin Lapis Seng

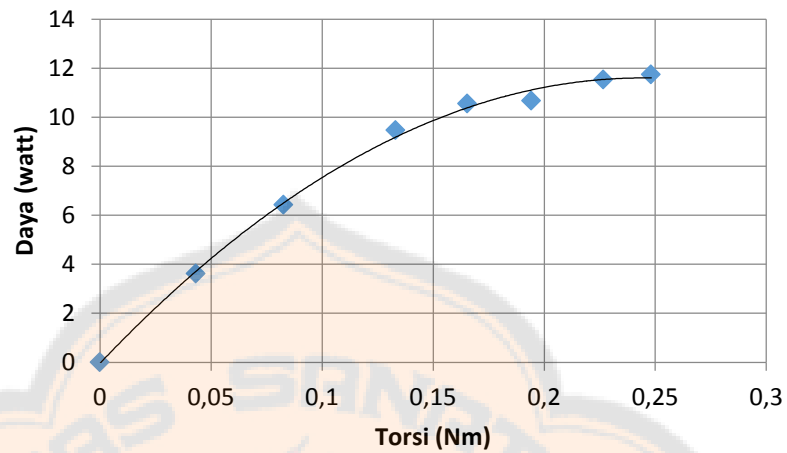
Data dari perhitungan sebelumnya dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan torsi dan daya kincir (P_{out}). Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa kincir angin yang dilapis dengan seng, menghasilkan daya kincir (P_{out}) sekitar 15,71 watt pada torsi sekitar 0,24 N.m.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara torsi dan daya untuk kincir angin lapis seng

4.3.3 Grafik Hubungan Antara Daya dan Torsi untuk Kincir Angin Lapis Anyaman Bambu

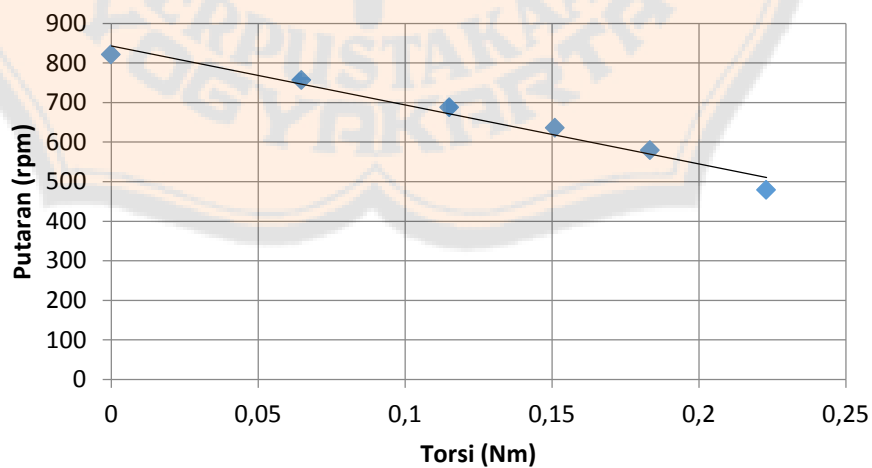
Dari data yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya dapat dibuat grafik hubungan torsi dan daya kincir (P_{out}) untuk variasi perlakuan permukaan yang berlapis anyaman bambu. Dari Gambar 4.3 diatas dapat diketahui bahwa untuk kincir angin lapis anyaman bambu daya kincir (P_{out}) yang dihasilkan sekitar 11,73 watt pada torsi sekitar 0,25 N.m.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara daya dan torsi untuk kincir angin lapis anyaman bambu

4.3.4 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Putaran untuk Kincir Angin Tanpa Lapisan

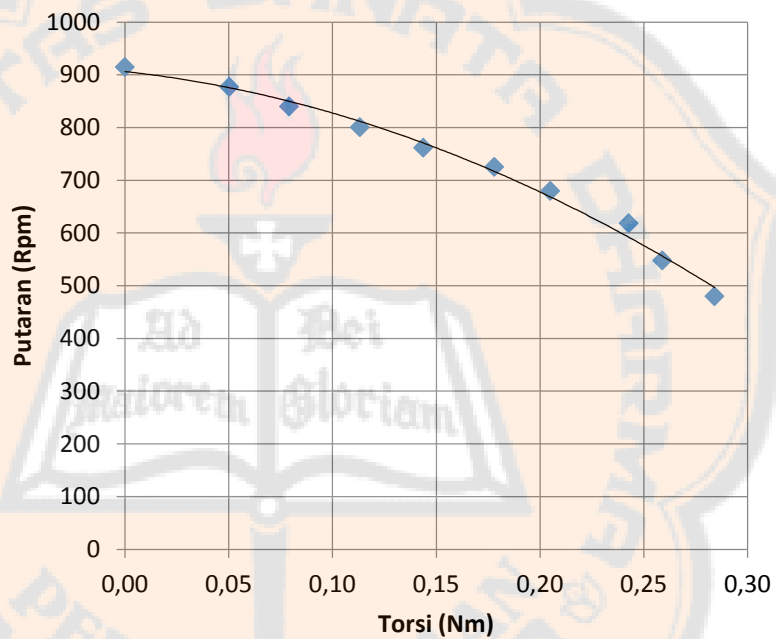
Dari data yang diperoleh pada perhitungan dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan torsi dan putaran (*rpm*). Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa kincir angin tanpa lapisan dapat menghasilkan torsi sekitar 0,22 N.m dan terjadi pada putaran 479 *rpm*.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara Torsi dan Putaran untuk kincir angin polos

4.3.5 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Putaran untuk Kincir Angin Lapis Seng

Dari data yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya dapat dibuat grafik hubungan torsi dan putaran (*rpm*). Dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa kincir angin lapis seng dapat menghasilkan torsi sebesar 0,28 N.m pada putaran 480 *rpm*



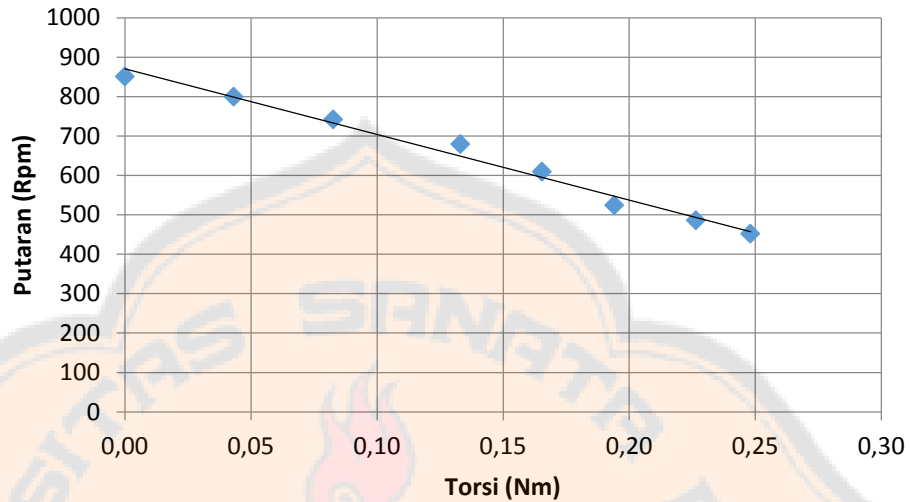
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara torsi dan putaran untuk kincir angin lapis seng

4.3.6 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Putaran untuk Kincir Angin Lapis Anyaman Bambu

Dari data yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya kita dapat membuat grafik hubungan torsi dan putaran (*rpm*) untuk variasi perlakuan permukaan yang berlapis anyaman bambu.

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa untuk kincir angin propeler dua sudu dengan lapisan anyaman bambu dapat menghasilkan torsi sebesar

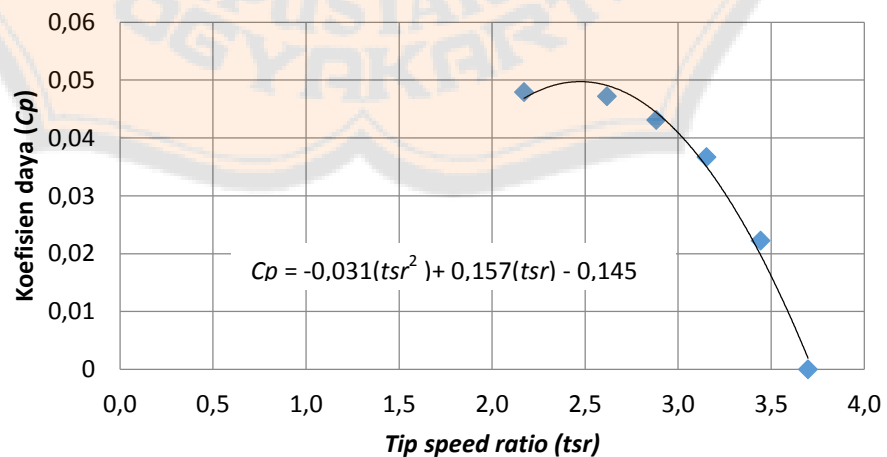
0,24 N.m pada putaran 452 rpm.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara torsi dan putaran untuk kincir angin lapis anyaman bambu

4.3.7 Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya dan Tip Speed Ratio untuk Kincir Angin Tanpa Lapisan

Dari data yang diperoleh pada perhitungan dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan koefisien daya dan tip speed ratio untuk kincir angin tanpa lapisan atau polos.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara koefisien daya dan tip speed ratio untuk kincir angin polos

Menggunakan rumus pendekatan yang diperoleh dari grafik diatas, dapat diketahui nilai koefisien daya maksimal dan tsr optimal

$$C_p = -0,031 (tsr^2) + 0,157(tsr) - 0,145$$

Dari rumus pendekatan diatas dapat diturunkan menjadi

$$0 = 2 * \{-0,031(tsr) + 0,157\}$$

$$0,062 (tsr) = 0,157$$

$$tsr = 2,53$$

Dengan demikian *tip speed ratio* optimal yaitu 2,53

Koefisien daya maksimal dapat dicari menggunakan rumus diatas

$$C_p = -0,031 (tsr)^2 + 0,157 (tsr) - 0,145$$

$$C_p = -0,031 (2,53)^2 + 0,157(2,53) - 0,145$$

$$C_p = 0,054$$

Dengan demikian untuk kincir angin tanpa lapisan menghasikan koefisien daya sebesar 0,054 yang dihitung menggunakan rumus pendekatan.

4.3.8 Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya dan *Tip Speed Ratio* Kincir Angin Lapis Seng

Dari data yang diperoleh pada perhitungan dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan koefisien daya dan *tip speed ratio* untuk kincir angin propeler dua sudu berlapis seng.

Pada Gambar 4.8 dapat diperoleh rumus pendekatan. Menggunakan rumus pendekatan yang diperoleh dapat diketahui nilai koefisien daya maksimal dan tsr optimal

$$C_p = -0,033 (tsr^2) + 0,191(tsr) - 0,192$$

Dari rumus pendekatan diatas dapat diturunkan menjadi

$$0 = 2 * \{-0,033(tsr) + 0,191\}$$

$$0,066 (tsr) = 0,191$$

$$tsr = 2,89$$

Dengan demikian *tip speed ratio* optimal yaitu 2,89

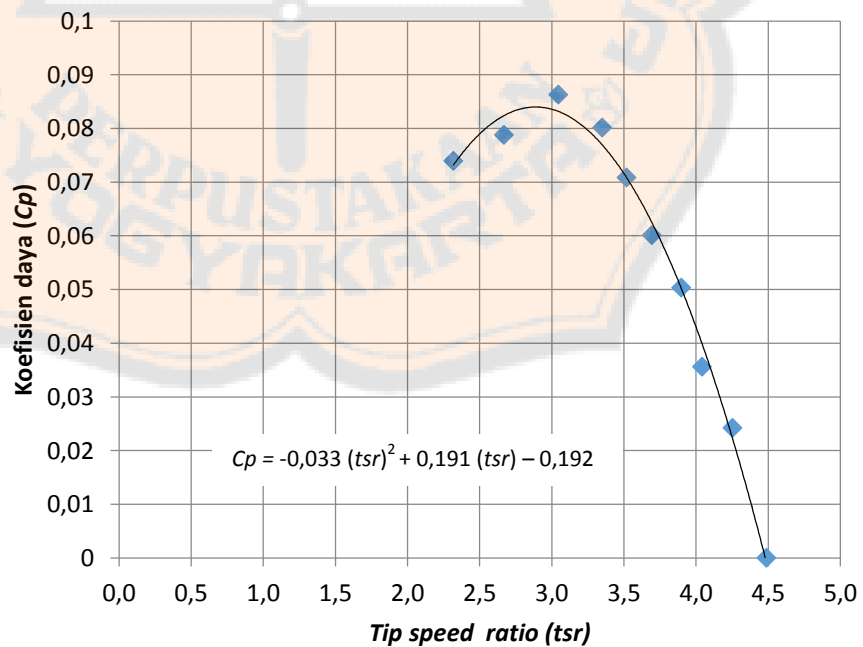
Koefisien daya maksimal dapat dicari menggunakan rumus diatas

$$Cp = -0,033 (tsr)^2 + 0,191 (tsr) - 0,192$$

$$Cp = -0,033 (2,89)^2 + 0,191(2,89) - 0,192$$

$$Cp = 0,084$$

Dengan demikian untuk kincir angin lapis seng menghasikan koefisien daya sebesar 0,084 yang dihitung menggunakan rumus pendekatan.



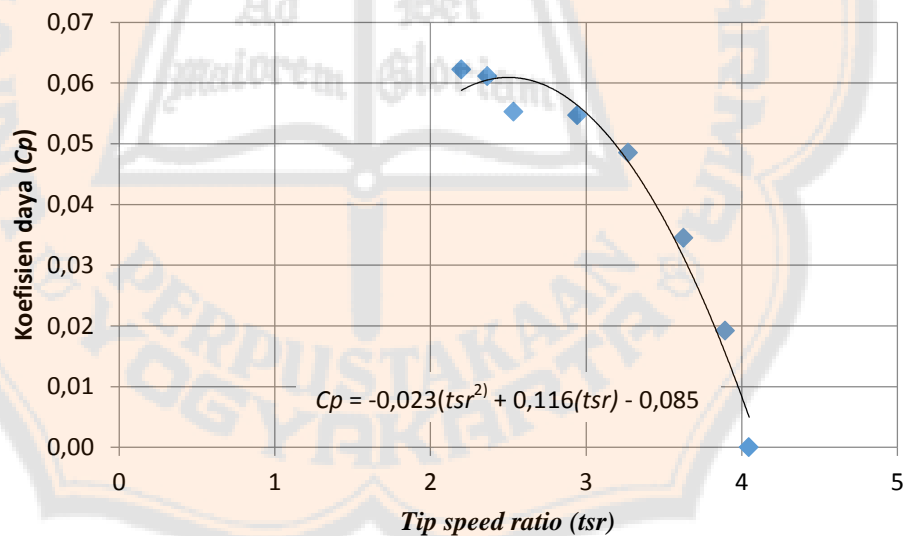
A

Gambar 4.8 Grafik hubungan antara koefisien daya dan *tip speed ratio* untuk kincir angin lapis seng

4.4.9 Grafik Hubungan Antara Koefisien Daya dan Tip Speed Ratio Untuk Kincir Angin Lapis Anyaman Bambu

Dari data yang diperoleh pada perhitungan sebelumnya dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan koefisien daya dan tip speed ratio.

Dari rumus pendekatan yang diperoleh pada Gambar 4.9, dapat diketahui bahwa kincir angin lapis anyaman bambu dapat menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 0,061 pada tip speed ratio optimal sebesar 2,52



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara koefisien daya dan tip speed ratio untuk kincir angin lapis anyaman bambu

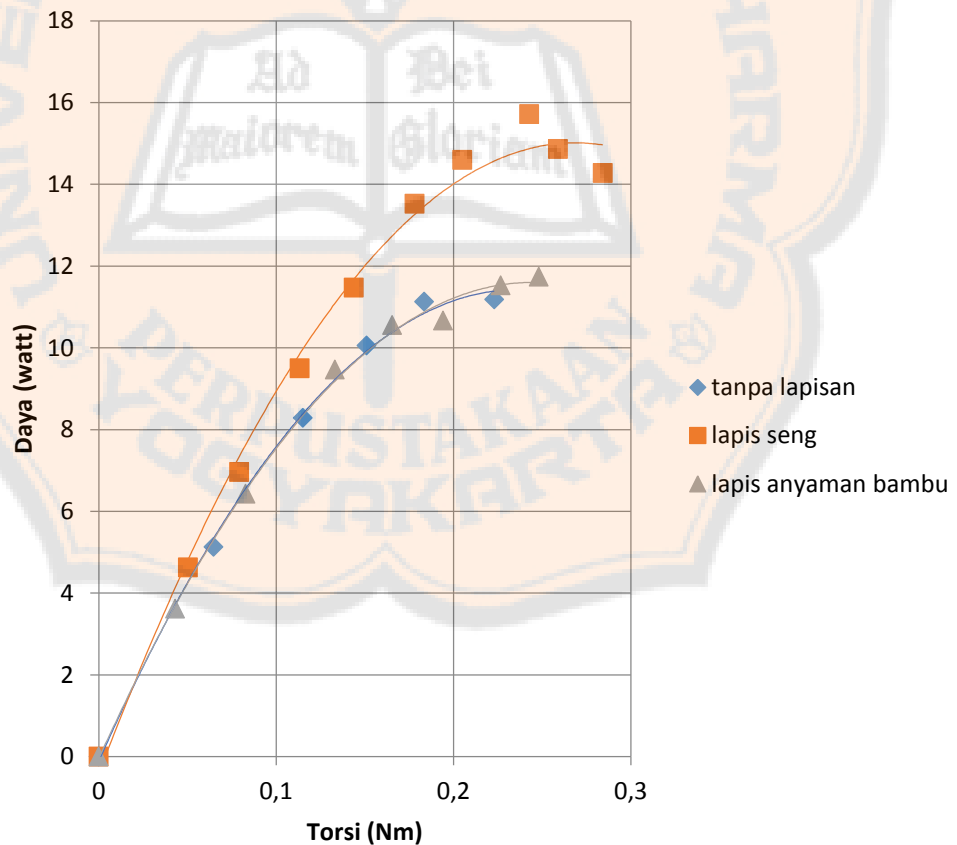
4.5 Grafik Perbandingan Dari Tiga Variasi Perlakuan Permukaan

Berikut ini adalah grafik - grafik perbandingan tiga variasi perlakuan permukaan yakni, grafik torsi dengan daya, grafik torsi dengan putaran, dan grafik koefisien daya dengan tip speed ratio.

4.5.1 Grafik Perbandingan Daya Dengan Torsi

Dari data yang diperoleh kita dapat membandingkan tiga variasi yang diteliti. Perbandingan daya dengan torsi dapat dilihat pada Gambar 4.10. Dari Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa kincir angin lapis seng memiliki daya output lebih besar dari kedua variasi yang lain.

Hal ini disebabkan karena kincir angin lapis seng memiliki permukaan yang lebih halus, sehingga membuat hambatannya lebih kecil. Sedangkan variasi polos dan lapis anyaman bambu memperoleh hasil penelitian yang tidak jauh berbeda

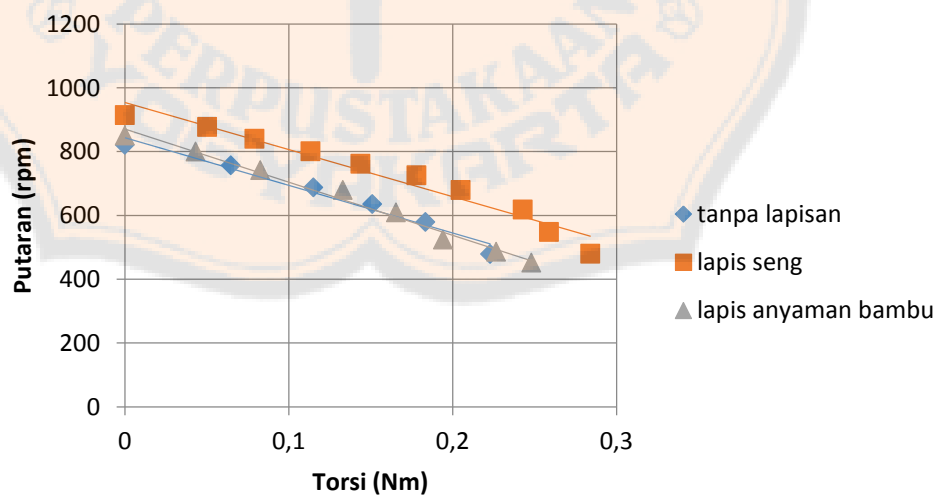


Gambar 4.10 Grafik perbandingan torsi dan daya untuk tiga variasi permukaan Sudu. dengan variasi ◆ tanpa lapisan, ■ lapis seng, dan ▲ lapis anyaman bambu.

4.5.2 Grafik Perbandingan Putaran Dengan Torsi

Dari data yang diperoleh kita dapat membandingkan tiga variasi yang diteliti. Perbandingan putaran dengan torsi dapat dilihat pada Gambar 4.11. Dari Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa kincir angin lapis anyaman bambu dan kincir angin tanpa lapisan menghasilkan torsi yang hampir sama, sedangkan kincir angin lapis seng menghasilkan torsi yang lebih besar dari kedua variasi.

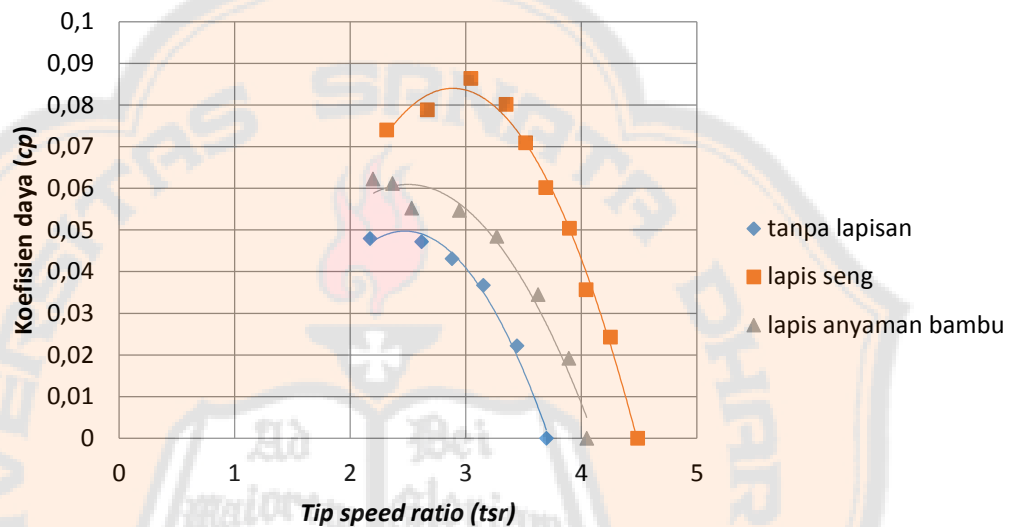
Kincir angin lapis seng menghasilkan torsi sebesar 0,28 Nm pada putaran sekitar 480 rpm, sedangkan kincir angin lapis anyaman bambu menghasilkan torsi sebesar 0,25 N.m pada putaran sekitar 452 rpm, dan untuk kincir angin tanpa lapisan menghasilkan torsi sebesar 0,22 N.m pada putaran sekitar 479 rpm. Hal ini disebabkan karena kincir angin lapis seng memiliki permukaan yang lebih halus, sehingga hambatannya lebih kecil.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan putaran dan torsi untuk tiga variasi permukaan sudu. dengan variasi ◆ tanpa lapisan, ■ lapis seng, dan ▲ lapis anyaman bambu.

4.5.3 Grafik Perbandingan Koefisien Daya Dengan *Tip Speed Ratio*

Dari data yang diperoleh kita dapat membandingkan tiga variasi yang diteliti. Perbandingan koefisien daya dengan *tip speed ratio* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan koefisien daya dan *tip speed ratio* untuk tiga variasi permukaan sudu. dengan variasi \blacklozenge tanpa lapisan, \blacksquare lapis seng, dan \blacktriangle lapisan anyaman bambu.

Dari ketiga variasi penelitian kincir angin, lapisan seng memperoleh hasil yang paling tinggi dengan koefisien daya maksimal sebesar 0,084 pada *tip speed ratio* optimal sebesar 2,89, sedangkan untuk lapisan anyaman bambu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 0,061 pada *tip speed ratio* optimal sebesar 2,52, dan untuk kincir angin tanpa lapisan memperoleh hasil yang paling kecil diantara kedua lapisan, yakni koefisien daya maksimal sebesar 0,054 pada *tip speed ratio* optimal sebesar 2,53.

Hal ini disebabkan karena kincir angin lapis seng memiliki permukaan yang lebih halus, sehingga hambatannya lebih kecil

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian kincir angin propeler dua sudu dalam bentuk model, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat kincir angin propeler dua sudu dari bahan dasar triplek berlapis seng lengkung dengan tiga variasi perlakuan permukaan, yakni tanpa lapisan, dengan lapisan seng, dan dengan lapisan anyaman bambu.
2. Pada kincir angin propeler tanpa lapisan dapat menghasilkan daya maksimal (P_{out}) sekitar 11,18 watt dan torsi maksimal sebesar 0,22 N.m, pada kecepatan angin 9,23 m/s. Kincir angin propeler dengan lapisan seng dapat menghasilkan daya maksimal (P_{out}) sekitar 15,71 watt dan torsi maksimal sebesar 0,28 N.m, pada kecepatan angin 8,5 m/s. Pada kincir angin propeler dengan lapisan anyaman bambu dapat menghasilkan daya maksimal (P_{out}) sebesar 11,73 watt dan torsi maksimal sebesar 0,25 N.m, pada kecepatan angin 8,61 m/s.
3. Dari ketiga variasi penelitian kincir angin, lapisan seng memperoleh hasil yang paling tinggi dengan koefisien daya maksimal sebesar 0,084 pada *tip speed ratio* optimal sebesar 2,89, sedangkan untuk lapisan anyaman bambu menghasilkan koefisien daya maksimal sebesar 0,061 pada *tip speed ratio* optimal sebesar 2,52, dan untuk kincir angin tanpa lapisan memperoleh hasil yang paling kecil

diantara kedua lapisan, yakni koefisien daya maksimal sebesar 0,054 pada *tip speed ratio* optimal sebesar 2,53.

5.2.Saran

Setelah melakukan penelitian dengan beberapa variasi yang dilakukan maka didapatkan kelebihan dan kekurangan masing – masing kincir angin. Sehingga saran-saran berikut ini menjadi sebuah referensi untuk meneliti kincir angin propeler.

1. Pembuatan kincir angin sebaiknya menggunakan permukaan yang lebih halus sehingga hambatan semakin kecil. Permukaan yang halus membuat koefisien daya kincir angin menjadi lebih bagus.
2. Sebaiknya pengambilan data lebih banyak, sehingga mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
3. Untuk meningkatkan kinerja kincir angin perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dengan memvariasikan jumlah sudu

DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto, Y. 2007. Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Yogyakarta: Balai PPTAAG
- Hoesin, H. 2013. Energi Angin, Kincir Angin, dan Prospeknya. <https://lizenhs.wordpress.com/2013/12/05/energi-angin-kincir-angin-dan-prospeknya/>. Diakses : tanggal 29 Maret 2015.
- Mulyani. 2008. Kajian Potensi Angin Indonesia. *Central Library Institute Technology Bandung*.
- Pasaribu, S. 2014. Unjuk Kerja Kincir Angin Propeler Tiga Sudu Dari Bahan Triplek dan Anyaman Bambu Berdiameter 80 *Centimeter*, Tugas Akhir, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Diakses tanggal 3 April 2015
- Rines. 2012. Bahan Ajar Rekayasa Energi Angin. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.