



**PENGARUH OVERLAP SUDU DAN PENAMBAHAN FIN PADA
ROTOR SAVONIUS TIPE-L**

SKRIPSI

Oleh

**Tri Handoyo
NIM 071910101077**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 (S-1)
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**PENGARUH *OVERLAP* SUDU DAN PENAMBAHAN *FIN*
PADA ROTOR *SAVONIUS* TIPE-L**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Tri Handoyo
NIM 071910101077

PROGRAM STUDI STRATA 1 (S-1)
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012



PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh *Overlap* Sudu Dan Penambahan *Fin* Pada Rotor *Savonius* Tipe-L”** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Allah S.W.T.
2. Rasulullah Muhammad SAW, Suri Tauladan Umat Manusia;
3. Bapak Samiyo dan Ibuku Sumarni yang selalu memberikan dukungan baik doa maupun usaha dari beliau sampai terselesaikannya skripsi ini.
4. Saudaraku Mas Nur sekeluarga, Mbak kus beserta keluarga yang tak lupa memberikan motivasi kepada saya.
5. Seluruh anggota keluarga yang telah memberikan dukungan dan do'a.
6. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu terutama Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T., dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini, juga kepada Bapak Andi Sanata S.T., M.T. dan Bapak Ir. Digdo Listyadi M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang banyak memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh Guru-guruku dari SD, SLTP, SMA dan Guru mengaji yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmu.
8. Seluruh warga teknik mesin angkatan '05, '06, '08, yang saya hormati dan tak lupa angkatan 07 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang banyak

memberikan warna dalam perjalanan 4,5 tahun ini, terima kasih teman.

”Solidarity Forever”.

9. Seluruh warga rent house manggis XI Angger, Topek, Ekik, Ofa, Gavi, Bambang, Ari, Edi, Discovery, Reza, dan ex. Rent house Mz Ari, Mz Erick. Thank for all.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



MOTTO

*“Barangsiapa menginginkan dunia, maka harus dengan ilmu.
Barangsiapa menginginkan akhirat, maka harus dengan ilmu.*

Dan barangsiapa menginginkan keduanya, maka harus dengan ilmu”.
(Imam Syafi’i)

*“Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah. Yang mengajar
manusia dengan perantara kalam. Dia mengajarkan kepada manusia
apa yang tidak diketahuinya”.*

(Terjemahan Surat Al-Alaq (96) ayat 3-4).

*Keberhasilan tidak di ukur dari berapa besar hasil yang dicapai, tapi
dari seberapa besar usaha untuk mencapai hasil tersebut*
(Tri Handoyo)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Tri Handoyo**

NIM : **071910101077**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: **“Pengaruh *Overlap* Sudu Dan Penambahan *Fin* Pada Rotor *Savonius* Tipe-L”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Januari 2012

Yang menyatakan,

Tri Handoyo
NIM. 071910101077

SKRIPSI

**PENGARUH *OVERLAP* SUDU DAN PENAMBAHAN *FIN*
PADA ROTOR *SAVONIUS* TIPE-L**

Oleh :

**Tri Handoyo
NIM 071910101077**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Pengaruh Overlap Sudu Dan Penambahan Fin Pada Rotor Savonius Tipe-L**” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Senin

Tanggal : 30 Januari 2012

Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 19680617 199501 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Andi Sanata, S.T., M.T.
NIP 19750502 200112 1 001

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc
NIP 19691122 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi., MT.
NIP 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Pengaruh *Overlap* Sudu Dan Penambahan *Fin* Pada Rotor *Savonius Tipe-L*; Tri Handoyo, 071910101077; 2012: 62 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Semakin menipisnya sumber energi fosil merupakan persoalan penting saat ini terutama sebagai sumber bahan bakar pembangkit tenaga listrik dan dampak yang ditimbulkannya pada lingkungan dan perubahan iklim dunia.

Meninjau masalah diatas, maka diperlukan suatu sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil khususnya sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik untuk keperluan rumah tangga. Energi listrik dapat dibangkitkan dari beberapa sumber energi alternatif pembangkit alternatif yang tersedia di alam, salah satunya energi angin. Kondisi alam yang sangat berpotensi menghasilkan tiupan angin yang fluktuatif dari tahun ke tahun, sangat mungkin untuk digunakan turbin angin pembangkit listrik skala kecil.

Rotor Savonius tipe-L merupakan jenis rotor untuk turbin angin poros vertikal yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer. Rotor Savonius dapat berputar karena adanya gaya hambat (drag).

Dalam penelitian ini rotor Savonius tipe-L diberi perlakuan berupa overlap sudu 0 mm, 35 mm dan 70 mm dan penambahan pengarah angin (fin) yang akan diuji dengan menggunakan cara eksperimen dengan mengambil data pada kecepatan 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s; 4,5 m/s;. Pengujian yang dilakukan meliputi gaya dan rpm.

Dari hasil pengujian didapatkan torsi maksimum yaitu sebesar 0,19 Nm pada overlap 0 mm, sedangkan kecepatan angular maksimum sebesar 14,33 rpm pada overlap 70 mm (tanpa fin). Untuk torsi dan kecepatan angular maksimum, rotor menggunakan fin berturut-turut adalah 0,22 Nm overlap 0 mm dan 16,43 rpm pada

overlap 70 mm. Daya aktual maksimum yang dapat dihasilkan rotor jenis savonius tipe-L sebesar 1,86 watt (tanpa fin) dan 3,45 watt (penambahan fin).

Efisiensi maksimal rotor savonius tipe-L yaitu pada overlap 70 mm sebesar 170,39 % dengan variasi penambahan *fin*, sedangkan efisiensi terendah savonius tipe-L pada overlap 0 mm sebesar 1,83 % tanpa penambahan *fin*.

SUMMARY

Influence Of Blade Overlapping And Fin Addition Of L-Type Savonius Rotor;
Tri Handoyo, 071910101077; 2012: 62 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The depletion of fossil energy sources is an important issue at this time primarily as a fuel source power generation and its impacts on the environment and global climate change.

Reviewing the above problems, we need a source of alternative energy to reduce dependence on fossil energy sources, especially as fuel power generation for domestic use. Electrical energy can be generated from several alternative energy sources alternative power available in nature, one of which wind energy. Natural conditions that are potentially generate winds which fluctuate from year to year, it is possible to use wind turbines generating electricity on a small scale.

Savonius rotor type L is a type of rotor for vertical axis wind turbine and the simplest version of the anemometer. Savonius rotor can rotate due to the drag.

In this study rotor savonius type-L were subjected to a blade overlap 0 mm, 35 mm and 70 mm and the addition of steering winds (fin) that will be tested using experimental means to retrieve data at a speed of 2 m / s, 2.5 m / s , 3 m / s, 3.5 m / s, 4 m / s; 4.5 m / s;. Tests performed include the force and rpm.

From the test results obtained, a maximum torque of 0.19 Nm at overlap 0 mm, while the maximum angular speed of 14.33 rpm in an overlap of 70 mm (without fin). For maximum torque and angular speed, the rotor using a fin in a row is 0.22 Nm overlap 0 mm and 16.43 rpm at 70 mm overlap. The actual maximum power that can be generated savonius rotor-type L of 1.86 watts (without fin) and 3.45 watts (addition of fin).

Maximum efficiency L-type savonius rotor is the overlap of 70 mm by 170,39 % with the addition of fin variations, while the lowest efficiency of type-L savonius at overlap 0 mm of 1,83 % without the addition of fins.

PRAKATA

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji dan syukur ke hadirat ALLAH SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Pengaruh Overlap Sudu Dan Penambahan Fin Pada Rotor Savonius Tipe-L*. Shalawat serta salam semoga tercurah pada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan skripsi ini mengalami berbagai kendala karena keterbatasan dan kemampuan penulis. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan rasa tulus dan ikhlas penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Sumarji, S.T., M.T., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember;
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T., selaku DPU, dan Bapak Aris Zainul muttaqin, S.T., M.T., selaku DPA yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
4. Bapak Andi Sanata, S.T, M.T, selaku dosen penguji I dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen penguji II
5. Bapak M. Nurkoyim K., ST., MT., yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
6. Ayahanda, Ibunda dan Kakak-kakak tercinta terima kasih atas semua doa, semangat, motivasi dan kasih sayang kalian semua sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;

7. Teman-teman seperjuanganku *Seven Engine* '07, terima kasih atas motivasi dan do'a yang kalian berikan serta seluruh Angkatan '06 dan '08;
8. Mbak Halimah, selaku staf administrasi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, terima kasih atas bantuannya dalam kelancaran pembuatan skripsi;
9. Staf Fakultas Teknik Universitas Jember;
10. Seluruh asisten laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 30 Januari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan penelitian	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sejarah angin	4
2.2 Jenis-Jenis Turbin Angin	5
2.2.1 Turbin Angin Sumbu Horisontal.....	5
2.2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	6

a. Rotor Darrius	7
a. Rotor Savonius	7
2.3 Aerodinamika gaya drag pada turbin angin sumbu vertikal .	9
2.4 Daya turbin angin	11
2.5 Efisiensi Betz	11
2.6 Desain rotor	12
2.7 Fin (pengarah angin).....	13
2.8 Proni break	14
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Metode Penelitian	15
3.2 Variabel Peneitian	15
3.2.1 Variabel Bebas	15
3.2.2 Variabel Terikat.....	15
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.4 Alat dan Bahan	16
3.5 Prosedur Penelitian	16
3.6 Sumber data.....	17
3.7 Cara kerja dan teknik pengambilan data	18
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Hasil Pengujian	20
4.1.a) Tabel 4.1 Data hasil pengujian gaya dan putaran tanpa fin	20
4.1.b) Analisa grafik gaya dan putaran rotor tanpa fin.....	21
4.1.c) Analisa grafik gaya dan putaran rotor menggunakan fin	22
4.2 Pembahasan daya aktual tanpa <i>fin</i>.....	24

4.3 Efisiensi daya turbin	26
BAB 5. PENUTUP	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Rotor Horizontal.....	6
Gambar 2.2. Rotor Darrieus	7
Gambar 2.3. Rotor Savonius.....	8
Gambar 2.4. Berbagai tipe Rotor Savonius	8
Gambar 2.5. Rotor Savonius S dan Savonius L.....	9
Gambar 2.6. Profil kecepatan untuk rotor tipe <i>drag</i>	10
Gambar 2.7. Faktor daya sebagai fungsi TSR berbagai jenis turbin.....	12
Gambar 2.8. Pengarah angin / <i>fin</i>	14
Gambar 2.9. Prony break	14
Gambar 3.1. Desasin sudu Savonius tipe-L	17
Gambar 3.2. Rotor Savonius dengan terowongan angin	18
Gambar 3.3. Diagram alir penelitian	19
Gambar 4.1. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap torsi (tanpa fin)	21
Gambar 4.2. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap putaran (tanpa fin).....	21
Gambar 4.3. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap torsi (dengan fin).....	22
Gambar 4.4. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap putaran (dengan fin)	23
Gambar 4.5. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya (tanpa fin).....	24
Gambar 4.6. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya (dengan fin).....	25
Gambar 4.7. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap efisiensi (tanpa fin)....	26
Gambar 4.8. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap efisiensi(dengan fin) ..	26

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil pengujian gaya dan putaran tanpa fin	20
Tabel 4.2. Hasil pengujian gaya dan putaran dengan	20

DAFTAR LAMPIRAN

A. Tabel data hasil pengujian	31
B. Perhitungan daya aktual turbin tanpa fin.....	35
C. Perhitungan gaya teoritis turbin tanpa fin	45
D. Tabel hasil perhitungan gaya teoritis	55
E. Perhitungan efisiensi daya turbin	55
F. Gambar rotor savonius L dengan terowongan udara	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim dan penggunaan besar-besaran bahan bakar fosil dalam proses produksi yang terlihat saat ini menuntut banyak pihak untuk berpikir ulang dalam menggunakan bahan bakar fosil, khususnya minyak dan gas yang berkontribusi pada pemanasan global. Sumber energi terbarukan yang saat ini digunakan secara komersial di Indonesia adalah tenaga air dan panas bumi. Tetapi dalam pengembangannya terdapat beberapa kendala, diantaranya adalah untuk tenaga air, ketersediaan lahan serta jaminan pasokan air, sementara untuk tenaga panas bumi, yaitu teknologi dan biaya eksplorasi. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa digunakan dalam skala kecil adalah energi angin. Angin di Indonesia memiliki kecepatan yang bervariasi, umumnya dikategorikan sebagai angin berkecepatan rendah. Penelitian sistem konversi energi angin kecepatan rendah belum banyak dilakukan di Indonesia, padahal ada beberapa lokasi yang mempunyai kecepatan angin rendah secara kontinyu yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Di samping itu, angin merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*), sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan.

Energi angin merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai sumber energinya. Karena sifatnya yang ramah lingkungan sumber energi angin mulai dikembangkan untuk mengantisipasi terjadinya krisis energi. Dalam rangka pengembangan teknologi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA), telah dilakukan banyak penelitian untuk menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara optimal. Untuk itu diperlukan sebuah desain turbin angin poros vertikal. Karena angin yang bertiup di Indonesia hanya memiliki kecepatan rata-rata 3-5 m/s, maka diperlukan overlapping sudu dan pengarah angin agar putaran rotor bertambah. Selain itu dibutuhkan komponen pendukung untuk menunjang kinerja turbin angin poros vertikal.

Dalam penelitian ini, fokus penelitian tentang rotor Savonius tipe-L. Hal ini dikarenakan rotor Savonius mempunyai banyak keuntungan. Keuntungan dari rotor Savonius adalah tidak memerlukan orientasi pada arah mata angin, otomatis berputar sendiri (*self starting*), menghasilkan daya yang relatif tinggi dan desain pembuatan yang mudah. Untuk itu perlu dilakukan pemodelan untuk optimasi dari sistem yang mengacu pada overlap sudu, dan penambahan *fin* pada rotor Savonius tipe-L dengan 2 sudu. Dari hasil penelitian yang dilakukan diharapkan mampu meningkatkan kinerja rotor Savonius tipe-L, dan dapat dijadikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya selain itu juga diharapkan mampu menghasilkan suatu sistem yang ramah lingkungan untuk turbin angin skala kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Analisis peningkatan daya rotor Savonius tipe-L dilakukan dengan pembuatan pemodelan rotor Savonius tipe-L. Untuk itu terdapat beberapa perumusan masalah yaitu berapa besar perubahan overlap sudu dan pengaruh penambahan pengarah angin terhadap daya rotor Savonius tipe-L.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan dan agar dalam penulisan skripsi ini lebih terarah, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembuatan model yang digunakan jenis rotor Savonius tipe-L.
2. Analisa dilakukan dengan jalan pembuatan model, pengaruh overlap sudu dan penambahan pengarah angin.
3. Overlap sudu sebesar 0 mm, 35 mm, 70 mm.
4. Sumber angin berasal dari kipas angin dengan cerobong angin dengan kecepatan angin 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s.
5. Pengarah angin dibuat pada cerobong angin.
6. Tidak membahas sistem gearbox, dan konversi energi ke listrik.

7. Tidak membahas rancang bangun dan simulasi software yang berkaitan dengan aliran fluida.
8. Penelitian ini tidak memakai analisa dimensional dan keserupaan.

1.4 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan daya rotor Savonius tipe-L dengan variasi perubahan overlap sudu dan pengaruh penambahan pengarah angin.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Untuk memperoleh karakteristik posisi overlap sudu dan pengaruh pengarah angin pada rotor Savonius tipe-L sehingga diperoleh peningkatan kinerja rotor.
2. Sebagai bahan untuk penelitian mahasiswa yang mendalami konsentrasi konversi energi lebih lanjut.
3. Diharapkan dapat diaplikasikan untuk pembuatan turbin angin skala kecil.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah angin

Potensi tenaga angin di Indonesia sangat besar, bisa dipahami bahwa Indonesia mempunyai geografis yang unik yaitu banyak gunung, dataran terbuka yang luas dan pantai yang panjang. Pada kondisi geografis seperti itu mempunyai potensi energy angin yang besar (Daryanto, 2007). Walaupun secara keseluruhan rata - rata kecepatan angin di Indonesia hanya 3 m/s (Indartono, 2005). Untuk itu turbin angin sumbu vertikal yang cocok digunakan untuk kondisi ini. Pada kondisi kecepatan angin yang rendah, jenis rotor untuk turbin angin yang cocok adalah jenis Savonius tipe-L. Rotor Savonius tipe-L adalah jenis rotor untuk turbin angin poros vertikal dengan dua blade yang saling berhadapan dengan tiap sudunya yang membentuk huruf L. Tipe rotor Savonius mampu beroperasi pada daerah berkecepatan angin rendah kurang dari 4 m/s dan dapat menghasilkan torsi yang besar (Daryanto, 2007).

Kemampuan rotor Savonius beroperasi pada kecepatan angin rendah dengan menghasilkan torsi besar sangat cocok untuk dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak. Sistem pompa, aerasi tambak, atau peralatan pengolahan hasil pertanian. Turbin jenis Savonius mempunyai kelebihan yang lain yaitu tidak mengalami masalah pada waktu start awal atau dapat berputar tanpa diberi energi awal dari luar pada saat start. Karakteristik ini tidak dimiliki oleh turbin angin poros vertikal yang lain yaitu tipe Darrius. Rotor Darrius dengan kemampuan menghasilkan torsi yang lebih besar dibandingkan Savonius sering tidak bisa start mandiri, sehingga harus dibantu dengan energi luar (Ackermann, 2005).

Terdapat beberapa modifikasi *blade* Savonius untuk mendapatkan unjuk kerja yang lebih baik, yaitu dengan menguji beberapa modifikasi *blade* Savonius tipe U, tipe L, *blade windside* kecil dan *windside* besar. Dari pengujian, didapat bentuk *blade* Savonius tipe L dengan unjuk kerja yang maksimum dibanding tipe lain (Soelaiman, dkk, 2007). Untuk menambah daya yang dihasilkan diperlukan pengarah angin (*fin*)

guna menambah kecepatan putar agar energi yang dikonversikan lebih maksimum (Altan, 2008).

Daya angin tersedia adalah potensi angin disuatu wilayah tertentu yang dikoreksi dengan menggunakan faktor pola energi, seperti yang didefinisikan dibawah ini:

$$k_E = \frac{\text{daya angin tersedia}}{\text{daya kecepatan rata-rata}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Sehingga potensi angin disuatu wilayah adalah:

$$\frac{P_\infty}{A} = K_E \frac{1}{2} \rho \overline{U^3} \left(\frac{W}{m^2} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

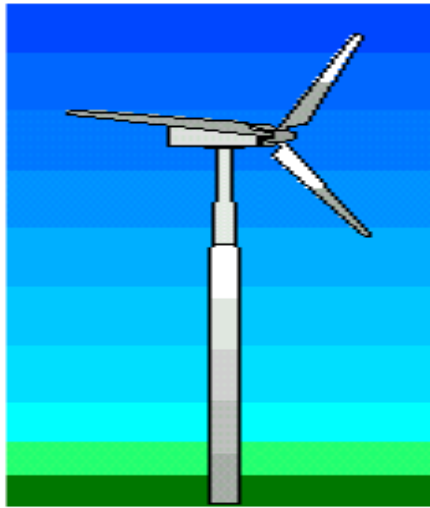
Dengan:

- P = daya angin yang tersedia (W)
- A = luas permukaan yang diekspose (m²)
- K_E = faktor pola energi
- = kerapatan massa udara (kg/m³)
- U = kecepatan angin rata – rata (m/det)

2.2 Jenis-jenis turbin angin

2.2.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal merupakan jenis turbin angin yang paling banyak digunakan. Turbin ini terdiri dari sebuah menara yang di puncaknya terdapat sebuah baling-baling yang berfungsi sebagai rotor dan menghadap atau membelakangi arah angin. Turbin angin jenis ini yang banyak dibuat sekarang mempunyai dua atau tiga bilah baling-baling. Contoh rotor turbin angin sumbu horizontal ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Rotor horizontal

2.2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal mempunyai banyak kelebihan khususnya pada sisi desain yang sederhana dan biaya yang lebih murah, jika dibanding dengan tipe turbin horisontal (Khan, 2009). Turbin angin vertikal pada awalnya dikenal dan digunakan pada sistem kincir angin. Desain awal turbin jenis ini ditemukan di Persia sekitar tahun 500-900 M, dimana digunakan untuk memompa air dan penggilingan gandum. Namun hak paten atas konsep turbin angin vertikal dilakukan pertama kali oleh Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1925 di Prancis. Perlu diketahui bahwa jenis turbin angin sumbu vertikal ada 5 tipe, yaitu : *SC-Darrieus (Straight Blade)*, *H-Darrieus (Straight Blade)*, *Darrieus (Curved Blade)*, *Gorlov (Helical Blade)* dan *Savonius (Straight/Skewed)* (Khan, 2009).

Ada beberapa kelebihan yang dimiliki oleh turbin sumbu vertikal, antara lain: aman, mudah pembangunannya, bisa dipasang tidak jauh dari tanah, dan lebih baik dalam menangani turbulensi angin. Generator dan gearbox bisa ditempatkan dekat dengan permukaan tanah. Hal ini meringankan beban tower dan memudahkan perawatan.

a) Rotor Darrieus

Rotor Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudut bilah diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Rotor Darrieus memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu seperti gambar 2.2

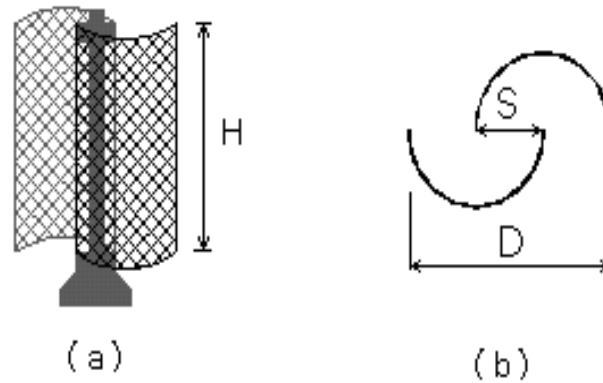


Gambar 2.2 Rotor Darrieus

b) Rotor Savonius

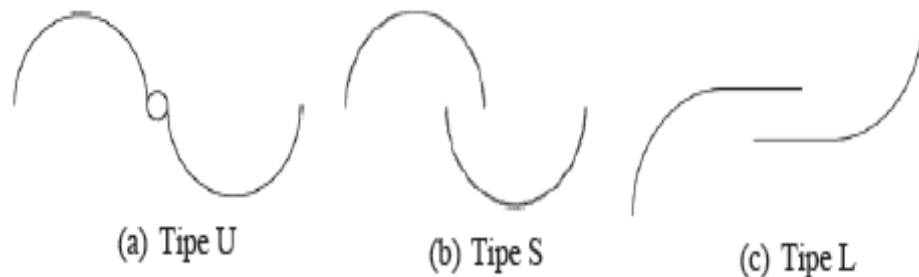
Rotor Savonius didesain oleh insinyur Prancis S. J. Savonius pada tahun 1922. Ide dasarnya adalah menggabungkan dua silinder yang telah dibelah menjadi dua. Desain ini sangat mudah dan sederhana untuk diaplikasikan. Tipe Savonius bekerja karena gaya *drag* dari angin, satu sisi memiliki gaya *drag* yang lebih besar dari pada sisi yang lainnya sehingga terjadi perputaran. Tipe ini memiliki efisiensi yang rendah karena gaya angin yang mengenai sebuah bidang di transformasikan menjadi gaya *drag* yang lebih besar daripada gaya angkat. Menurut penelitian koefisien tenaganya (C_p) tidak lebih dari 30%, sehingga cocok untuk penghasil daya yang rendah dengan kecepatan angin kecil, tetapi menghasilkan torsi yang cukup besar. Rotor Savonius

merupakan jenis rotor untuk turbin angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer.



Gambar 2.3 Rotor Savonius

Dalam perkembangannya rotor Savonius ini mengalami perubahan bentuk rotor, seperti gambar 2.4 dibawah:

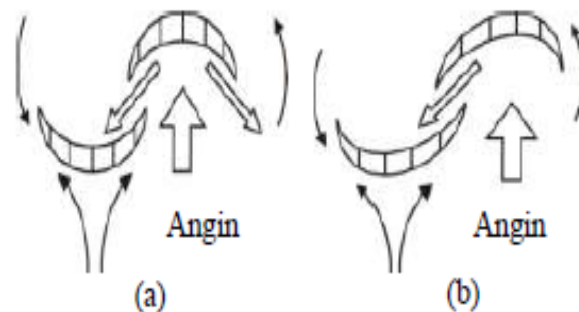


Gambar 2.4 Berbagai tipe rotor Savonius

Keunggulan dari ketiga rotor di atas adalah;

- a. Rotor Savonius tipe-U memiliki kecepatan putar tinggi karena angin dapat disirkulasikan terpusat ditengah atau pusat batang, tetapi kurang efisien dibandingkan dua tipe lainnya.
- b. Rotor Savonius tipe-S dapat dirancang dengan mudah dari drum. Desain ini lebih efisien dari Savonius U karena beberapa aliran udara dibelokkan oleh kedua sudu lalu keluar pada salah satu sisinya dengan kata lain aliran udara sama besar pada kedua bilah sudu.

c. Rotor Savonius tipe-L ini adalah desain yang paling efisien dari kincir angin Savonius. Savonius tipe-L tidak hanya memiliki keunggulan dari udara yang dibelokkan menjadi dua kali tetapi juga sebagian *vanes* bertindak seperti sebuah airfoil ketika berada di tepi, membuat efek gaya angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi. Selain itu, aliran udara pada sisi bilah yang lurus lebih besar daripada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran (Soelaiman, 2006) seperti gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Rotor Savonius S , dan (b) Rotor Savonius L (Sadaaki, Isao dan T.Jiro, 2003).

Keunggulan turbin vertikal dengan horizontal yaitu bentuk sudu yang sederhana, rendah noise, kerja pada aliran turbulensi lebih baik, memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dynamo dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan, tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, memiliki kecepatan awal angin yang rendah daripada jenis sumbu horizontal. Kekurangannya yaitu kecepatan angin dibagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan turbin angin sumbu horizontal.

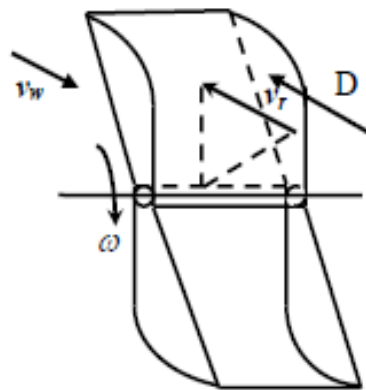
2.3 Aerodinamika gaya *drag* pada turbin angin sumbu vertikal

Untuk sistem konversi energi angin, daya yang dihasilkan dapat berasal dari gaya *drag* atau gaya *lift*. Pada rotor yang memanfaatkan gaya *drag*, udara dengan kecepatan V_w akan menerpa permukaan rotor dengan luas A . Daya P yang diperoleh

dari gaya *drag* dengan kecepatan v adalah $P = D v$, yang menunjukkan kecepatan efektif pada area drag. Gaya *drag* / D dapat dirumuskan:

$$D = \frac{1}{2} C_d V^2 A \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan C_d merupakan koefisien hambat (tanpa dimensi). Gaya ini bekerja pada permukaan rotor. Komponen gaya aerodinamiknya sejajar dan searah dengan arah angin (Rosidin, 2007).



Gambar 2.6 Profil kecepatan untuk rotor tipe *drag* (Rosidin, 2007).

Persamaan gaya hambat menghitung gaya yang dialami sebuah objek yang bergerak melalui sebuah fluida pada kecepatan yang relatif besar (misalnya bilangan Reynold yang tinggi, $R_e > \sim 1000$), yang juga dijuluki seretan kuadrat. Persamaan tersebut merupakan penghormatan kepada John William Strutt, 3rd Baron Rayleigh, yang awalnya menggunakan L^2 dalam tempatnya A (L adalah panjang). Luas rujukan A sering didefinisikan sebagai luas proyeksi ortografi (proyeksi siku-siku) dari objek pada sebuah bidang yang tegak lurus terhadap arah gerakan misalnya untuk objek-objek berbentuk sederhana seperti lingkaran, ini merupakan luas penampang lintang. Terkadang sebuah objek memiliki beberapa luas rujukan dimana sebuah koefisien hambatan yang sesuai dengan masing-masing luas rujukan harus ditentukan. Untuk objek yang berpermukaan halus dan titik pisah yang tidak tetap seperti sebuah lingkaran atau silinder bundar koefisien hambatan akan bervariasi dengan bilangan Reynolds R_e , bahkan sampai pada nilai yang sangat tinggi R_e dari tingkat besaran

10^7). Bagi sebuah objek bertitik pisah yang tetap dan terdefinisi dengan baik, seperti sebuah cakram lingkaran berbidang normal terhadap arah aliran, koefisien hambatan adalah konstan untuk $Re > 3,500$. Pada umumnya, koefisien hambatan C_d merupakan sebuah fungsi orientasinya aliran berkenaan dengan objek (terlepas dari objek yang simetris seperti sebuah bola).

2.4 Daya turbin angin

Daya yang dihasilkan dari konversi oleh rotor turbin angin sebanding dengan pangkat 3 kecepatan angin. Daya teoritis yang dihasilkan oleh rotor turbin angin seperti persamaan 2.3 dibawah ini (Sidiq, Moch Ridwan, 2008):

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A V^3 \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

P_t = daya keluaran rotor turbin angin (watt)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

A = luas sapuan rotor (m^2)

V = kecepatan angin (m/det)

Sedangkan untuk daya mekanik / aktual untuk turbin jenis ini adalah

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

P = Daya (watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan angular (rpm)

2.5 Efisiensi Betz

Efisiensi turbin angin adalah perbandingan antara daya yang diserap oleh turbin angin terhadap angin yang tersedia. Persamaan untuk mendapatkan efisiensi maksimum dari turbin angin adalah seperti persamaan berikut:

$$\eta = \frac{\text{Daya aktual turbin}}{\text{Daya teoritis turbin}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.6)$$

2.6 Desain rotor

Beberapa parameter yang perlu diperhatikan sewaktu mendesain rotor adalah :

a. Tip speed ratio (TSR)

Tip speed ratio atau disimbolkan dengan λ , adalah rasio yang menunjukkan kinerja dari rotor. Dapat dirumuskan perbandingan dari kecepatan putar rotor dengan kecepatan angin didepan rotor.

$$\lambda = (\omega R) / V_a \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan :

ω = Kecepatan putar (rad/s)

R = Jari jari (m)

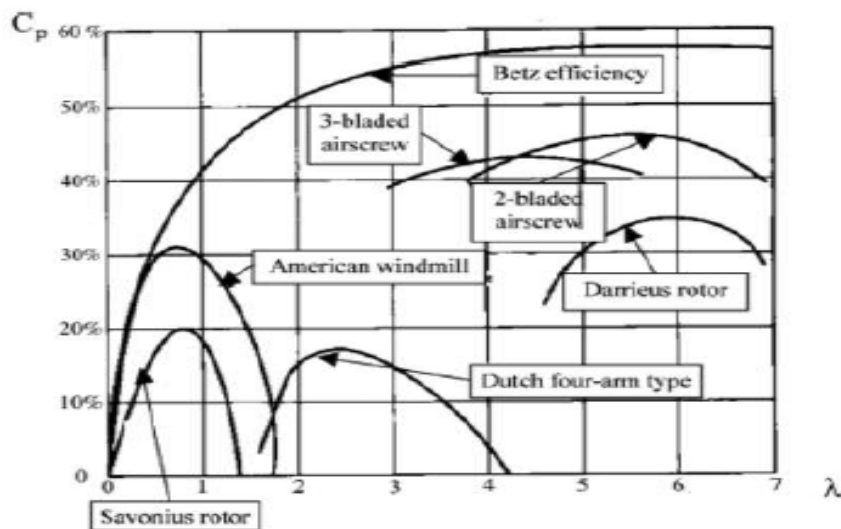
V_a = Kecepatan angin (m/s)

Blade tip speed merupakan kecepatan ujung blade atau rotor, dimana:

$$\text{Blade tip speed} = \text{putaran (rpm)} \times \pi D / 60 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan: D = diameter turbin (RWE npower renewable, 2009).

Setiap tipe turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR juga berbeda seperti ditunjukkan gambar 2.8:



Gambar 2.7 Faktor daya sebagai fungsi TSR berbagai jenis turbin (Khan, 2009)

d. Torsi

Torsi adalah besar putaran yang dihasilkan dengan satuan Nm. Torsi dan kecepatan angular berbanding terbalik.

$$T = P / \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

P = Daya (watt)

T = Torsi (Nm)

= Kecepatan angular (rpm)

e. Koefisien daya (Cp)

Setiap rotor memiliki karakteristik tertentu, diantaranya daya yang dihasilkan seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8. Koefisien daya memberikan perbandingan nilai daya dari shaft dengan daya energi kinetik angin

$$Cp = \frac{Pt}{Pw} = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan:

Cp = Coefisien Power

Pt = daya turbin shaft (Watt)

Pw = daya energi kinetik angin (Watt)

= Masa jenis udara (kg/m³)

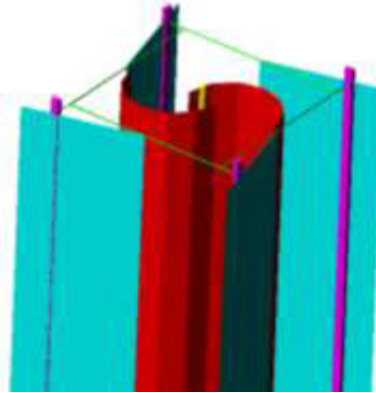
D = Diameter rotor (m)

A = Luas penampang rotor (m²)

2.7 Pengarah angin

Pada turbin angin, agar energi yang dikonversi semakin besar maka dibutuhkan sebuah pengarah angin untuk menambah putaran rotor Savonius. Fin adalah suatu benda yang berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida sehingga dapat menghasilkan putaran rotor yang maksimum. Menurut teori agar rotor Savonius berputar cepat dibutuhkan penghalang pada sisi cembungnya dan mengarahkan angin

pada sisi cekungnya. Agar pengarah angin dapat berjalan secara efektif perlu didesain secara tepat yaitu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8. Putaran yang dihasilkan ketika arah angin membentuk sudut dengan panampang tidak jauh berbeda dari putaran yang dihasilkan ketika arah angin tegak lurus.



Gambar 2.8 Pengarah angin

2.8 Prony break

Prony break merupakan alat uji torsi, dimana prinsip kerjanya melawan torsi yang dihasilkan dengan suatu gaya pengereman. Besarnya gaya pengereman diukur dengan menambahkan suatu lengan ayun, kemudian gaya pada ujung lengan ayun diukur dengan timbangan. Besarnya torsi didapat dengan mengalikan gaya pengereman dengan panjang lengan.



Gambar 2.9 Prony break

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Metode yang dipakai yaitu melakukan pengujian dengan variasi perubahan overlap sudu dan pengaruh penambahan fin sebagai parameter untuk meningkatkan torsi dan putaran yang dihasilkan rotor.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian, variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Besar overlap sudu.
2. Kecepatan angin
3. Penambahan fin dan tanpa fin.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh pada pengujian rotor savonius. Tujuan dari pengujian rotor savonius adalah untuk mengetahui unjuk kerja rotor tersebut dengan menganalisa data-datanya yang meliputi:

1. Torsi
2. Putaran
3. Daya.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Desain Fakultas Teknik Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Juli – Desember 2011. Meliputi persiapan penelitian, pengerjaan penelitian, pengumpulan data dan pengolahan data.

3.4 Alat dan Bahan

Parameter yang diperlukan pada prototype yaitu:

- a. Kipas angin, lem
- b. Anemometer, triplek, plat besi
- c. Tachometer, neraca pegas, *cutter*
- d. Fiberglass / aklirik
- e. Baut, mur, gergaji, Besi siku, prony break.

3.5 Prosedur Penelitian

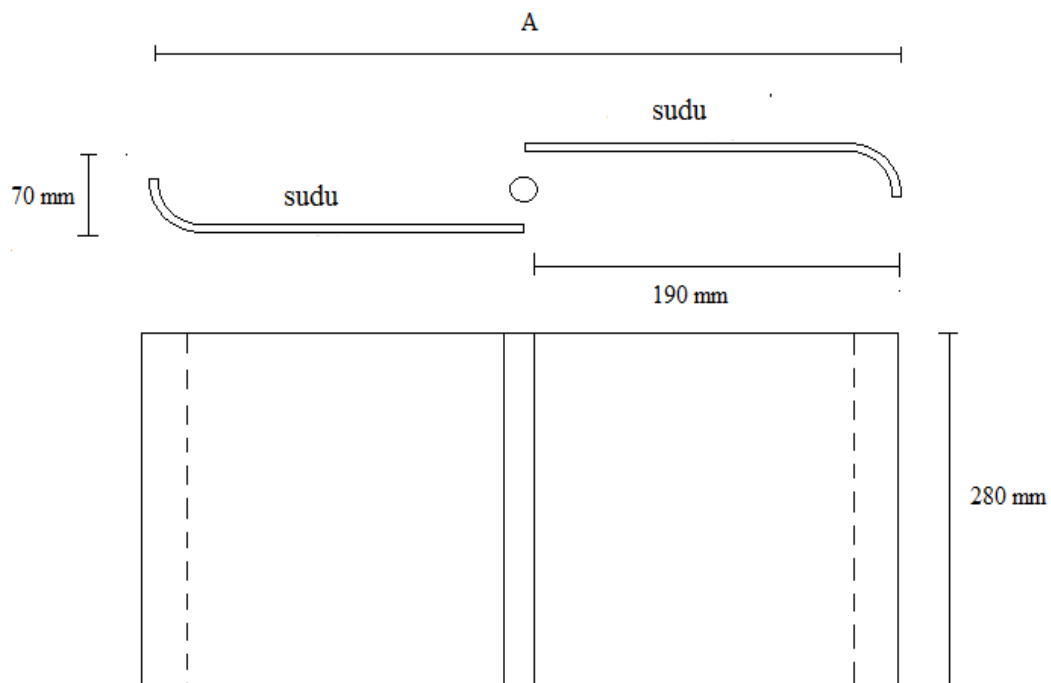
Adapun langkah - langkah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan meliputi aklirik dengan tebal 2 mm, panjang 280 mm, lebar 190 mm untuk sudu turbin, kipas angin, anemometer, tachometer, *prony break*, besi siku, baut, mur.
2. Persiapan kipas angin dengan cerobong angin untuk menghasilkan kecepatan angin yang telah ditentukan.
3. Overlap sudu sebesar 0 mm, 35 mm, 70 mm dari lebar sudu.
4. Memasang rotor pada ujung cerobong angin tanpa menggunakan fin, dengan variasi kecepatan angin 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s.
5. Memasang rotor pada ujung cerobong angin dengan menggunakan fin, dengan variasi kecepatan angin 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s.
6. Kemudian lakukan pengukuran putaran dan torsi untuk tiap – tiap kecepatan angin.
7. Setelah itu dilakukan pengambilan data yang dilanjutkan pengolahan data.
8. Kesimpulan.

3.6 Sumber Data

1. Sudu turbin angin savonius tipe L dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Tinggi sudu = 280 mm
- b. Lebar sudu = 190 mm
- c. Tebal sudu = 2 mm
- d. Variasi overlap = 0 mm, 35 mm, 70 mm



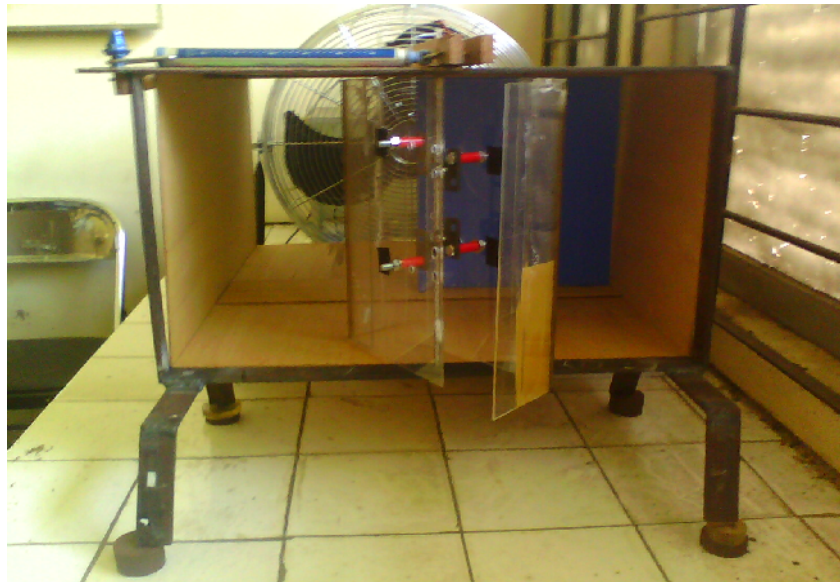
Gambar 3.1 Desain sudu savonius tipe-L

2. Variasi kecepatan angin : 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s.
3. Parameter – parameter yang diperlukan untuk melakukan pengujian:
 - Densitas udara, $= 1.224 \text{ kg/m}^3$.
4. Prony break terbuat dari rem sepeda dan pegas ukur di ujungnya dengan jarak antara prony break dengan pegas ukur yaitu 9 cm / 0,09 m.
5. Fin terbuat dari mika dengan tinggi 280 mm, lebar 190 mm, dan tebal 2 mm.

3.7 Cara Kerja Dan Teknik Pengambilan Data

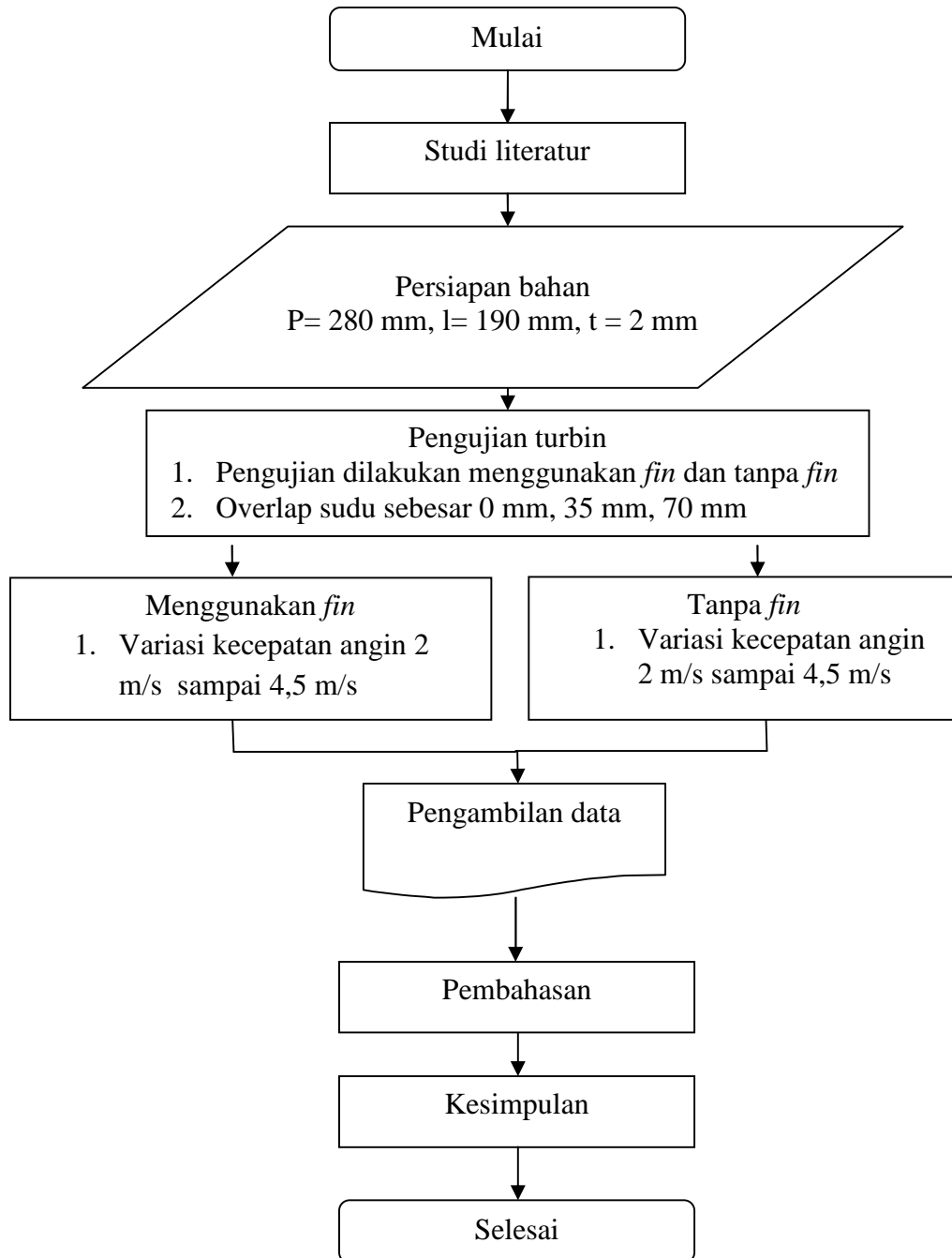
Adapun cara kerja dan pengambilan data sebagai berikut:

1. Rotor diletakkan di depan terowongan udara dari triplek dengan dialiri udara yang dihembuskan oleh kipas angin dengan variasi kecepatan 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s.
2. Angin yang keluar dari kipas angin terlebih dahulu diukur menggunakan anemometer.
3. Kemudian dilakukan pengereman pada poros menggunakan *prony break*, sehingga pegas ukur tertarik dan menunjukkan besar gaya (N).
4. Waktu pengereman tersebut, juga dilakukan pengukuran menggunakan tachometer untuk mendapatkan rpm.
5. Pengambilan data juga dilakukan dengan proses yang sama pada turbin dengan variasi penambahan fin, hanya di tengah - tengah terowongan udara ditambah dengan fin / pengarah angin dengan bentuk yang sama dengan sudu.



Gambar 3.2 Rotor savonius dengan terowongan angin

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengujian

Dari hasil pengujian dengan pengulangan 5 kali, maka didapat rata-rata sebagai berikut:

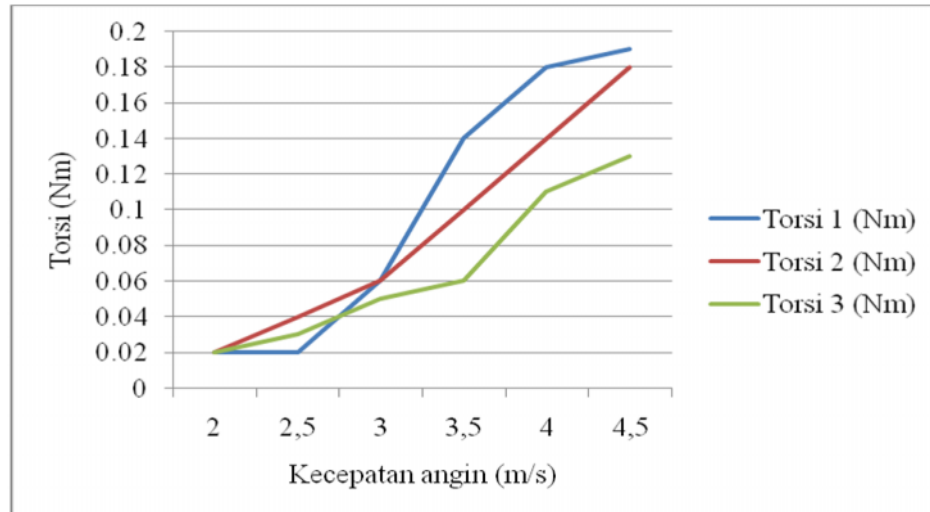
4.1.a) Tabel 4.1 Data hasil pengujian gaya dan putaran tanpa pengaruh angin

V (m/s)	Gaya / F (N)			Putaran (rpm)		
	Overlap 0 mm	Overlap 35 mm	Overlap 70 mm	Overlap 0 mm	Overlap 35 mm	Overlap 70 mm
2	0.22	0.26	0.26	27.06	22.26	33.62
2,5	0.26	0.4	0.36	31.66	34.12	34.7
3	0.64	0.7	0.6	25.96	34.2	41.42
3,5	1.5	1.16	0.68	35.12	34.98	100.12
4	2.02	1.54	1.22	36.06	35.88	123.24
4,5	2.14	1.94	1.42	38.61	43.28	136.9

Tabel 4.2 Data hasil pengujian gaya dan putaran menggunakan pengaruh angin

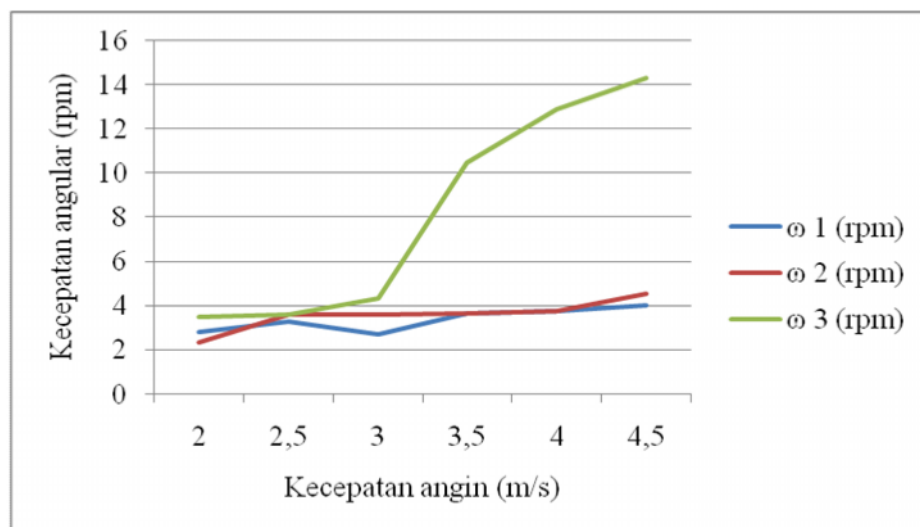
V (m/s)	Gaya / F (N)			Putaran (rpm)		
	Overlap 0 mm	Overlap 35 mm	Overlap 70 mm	Overlap 0 mm	Overlap 35 mm	Overlap 70 mm
2	0.44	0.46	0.2	29.64	31.86	71.6
2,5	0.42	1.1	0.4	38.1	37.72	77.66
3	0.48	1.32	0.8	44.22	46.94	89.92
3,5	2.04	1.84	1.82	49.74	104.16	99.14
4	2.36	2.18	2.36	59.68	111.44	120.5
4,5	2.48	2.22	2.36	73.94	118.92	157

4.1.b) Analisa grafik torsi dan putaran rotor tanpa *fin*



Gambar 4.1. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap torsi (tanpa *fin*).

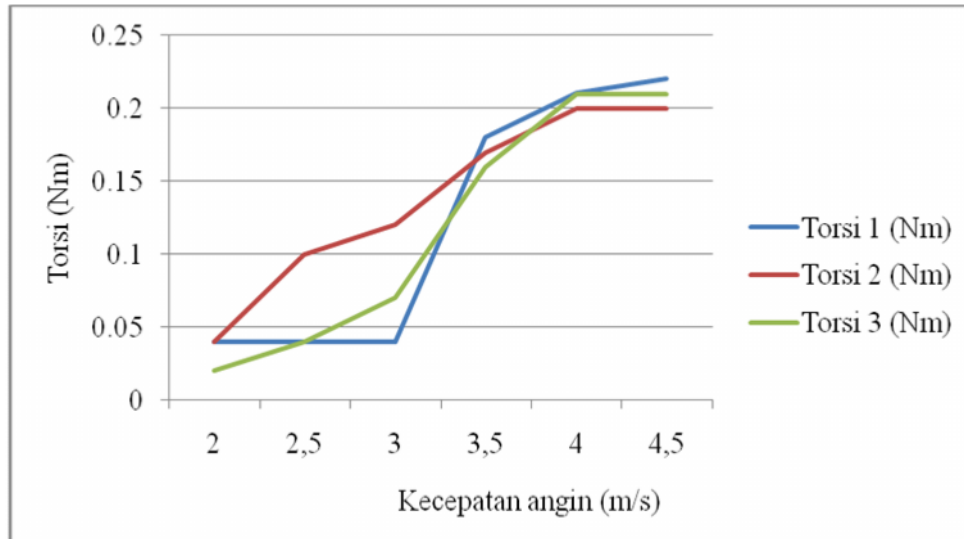
Dari gambar 4.1, bahwa torsi maksimal rotor tanpa *fin* adalah pada overlap 0 mm yaitu sebesar 0,19 Nm. Hal ini terjadi karena luas penampang overlap 0 mm yang lebih besar jika dibandingkan dengan overlap 35 mm dan 70 mm. Gambar 4.1 juga menunjukkan kenaikan torsi yang semakin besar seiring naiknya kecepatan angin.



Gambar 4.2. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap putaran rotor (tanpa *fin*).

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa penambahan overlap sudu pada rotor savonius tipe L menyebabkan naiknya RPM dari kondisi tanpa overlap menjadi overlap 35 mm dan overlap 70 mm. Hal ini dapat di buktikan pada grafik diatas terlihat bahwa RPM terbesar didapat pada overlap 70 mm yaitu sebesar 14,33 rpm. Peningkatan RPM ini disebabkan karena adanya celah seperti terowongan udara yang terdapat pada rotor dengan overlap 70 mm sehingga aliran yang menabrak sudu turbin dapat dialirkan ke sisi sudu lainnya sehingga menambah daya dorong yang menyebabkan RPM naik. Pada overlap 0 mm dan 35 mm memiliki RPM lebih rendah jika dibandingkan overlap 70 mm, hal ini dikarenakan pada overlap 0 mm dan 35 mm hanya terbentuk sedikit lorong udara, tidak seperti overlap 70 mm yang membentuk terowongan udara. Rotor tanpa fin juga menyebabkan aliran udara tertahan pada kedua sudu yang dapat menyebabkan berkurangnya besar RPM.

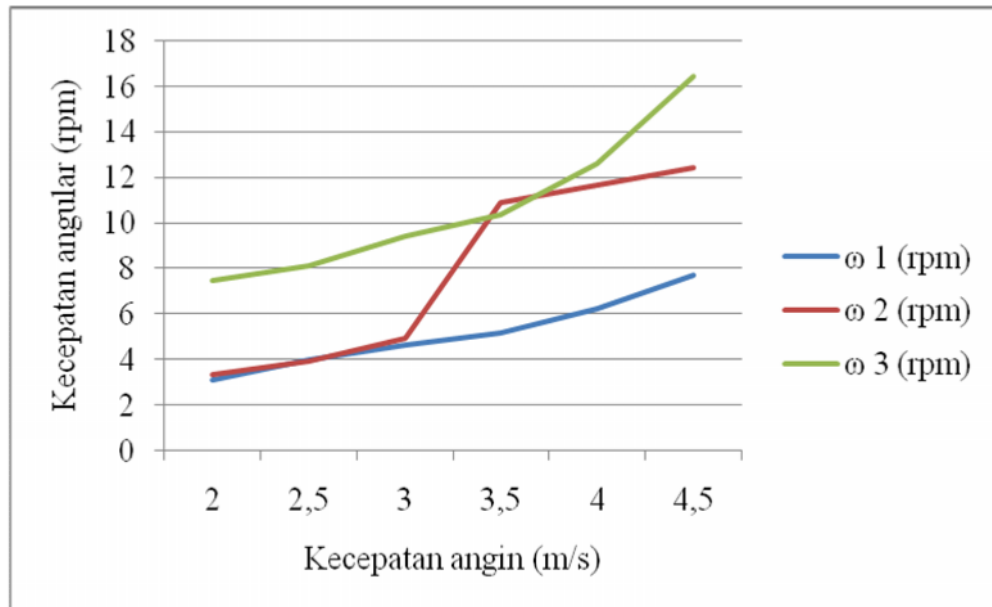
4.1.c) Analisa grafik torsi dan putaran rotor menggunakan Fin



Gambar 4.3. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap torsi (menggunakan fin).

Dari gambar 4.3 diatas, disimpulkan bahwa torsi terbesar adalah pada overlap 0 mm yaitu 0,22 Nm, sedangkan torsi minimum sebesar 0,02 N pada overlap 70 mm. Torsi maksimal yang diperoleh pada posisi overlap 0 mm karena luas penampang

sudu yang dikenai angin lebih besar dibandingkan dengan overlap 35 mm dan 70 mm, dan fungsi pengarah angin / fin disini juga berdampak pada peningkatan gaya dan torsi yang semakin besar karena kecepatan angin bertambah dan angin diarahkan ke sisi cekung dari sudu, selain itu juga berfungsi untuk mengurangi gaya *drag*.

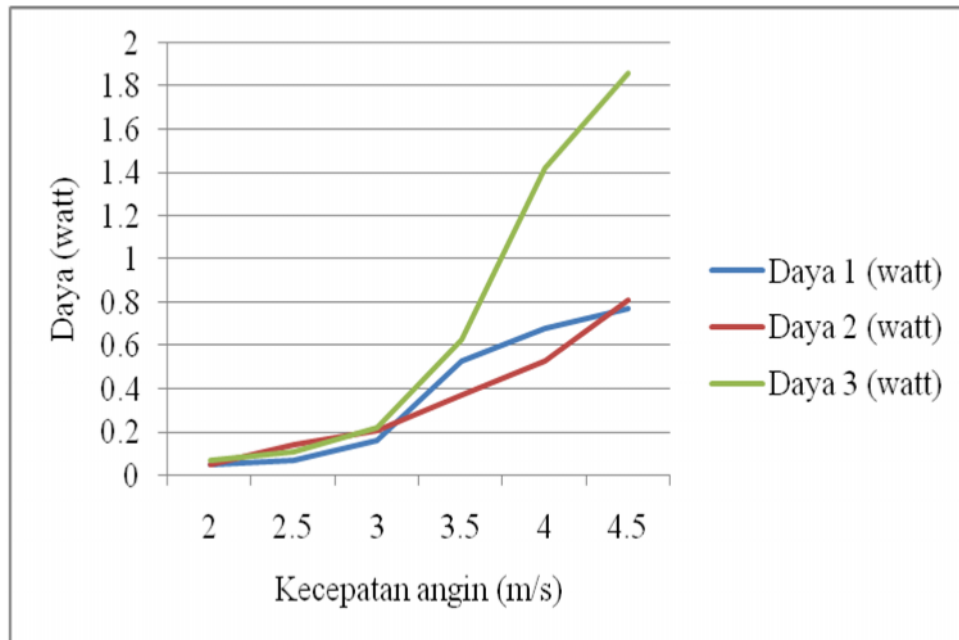


Gambar 4.4. Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap putaran rotor (menggunakan fin).

Dari gambar 4.4, didapat bahwa putaran rotor maksimal adalah pada kecepatan angin 4,5 m/s posisi overlap 70 mm sebesar 16,43 rpm. Sedangkan putaran minimum terjadi pada kecepatan angin 2 m/s overlap 0 mm sebesar 3,10 rpm. RPM yang besar pada overlap 70 mm karena luasan penampang yang masuk kedalam dan membentuk lorong udara yang mengakibatkan kecepatan angin meningkat dan mengakibatkan angin balik pada sudu yang satunya sehingga putaran rotor semakin cepat. Selain itu, putaran rotor juga dipengaruhi oleh penambahan *fin*, yang berfungsi untuk mengarahkan angin sehingga kecepatannya bertambah dan sebagai penghalang sisi sudu yang cembung sehingga gaya drag pada sisi berkurang.

4.2 Pembahasan daya aktual tanpa fin

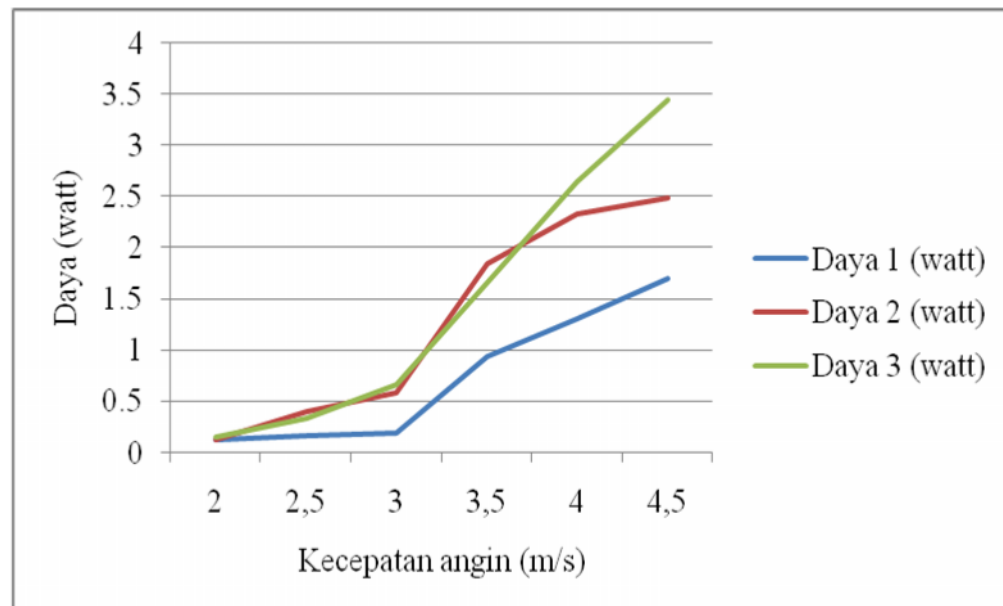
4.2.a) Analisa pengaruh kecepatan angin terhadap daya aktual turbin (tanpa fin)



Gambar 4.5 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya aktual turbin (tanpa *fin*).

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa daya terbesar diperoleh pada overlap 70 mm. Pada gambar 4.5 besar daya yang dapat dihasilkan sebesar 1.86 watt, sedangkan daya terendah hampir dihasilkan pada overlap 0 mm, 35 mm, dan 70 mm memiliki daya yang sama yaitu sekitar 0.05 watt. Hal ini terjadi karena fungsi dari overlap belum maksimal pada kecepatan angin rendah yaitu 2 m/s. Daya yang rendah juga dipengaruhi karena tidak adanya fin yang dapat mengarahkan angin dan mengurangi gaya drag. Namun kenaikan daya signifikan mulai terlihat pada kecepatan angin 3.5 m/s sampai 4.5 m/s pada overlap 70 mm. Daya yang besar ini dipengaruhi oleh torsi dan kecepatan angular yang besar pada posisi overlap 70 mm yaitu torsi 0.13 N dan kecepatan angularnya 14.33 rpm.

4.2.b) Analisa pengaruh kecepatan angin terhadap daya aktual turbin (menggunakan *Fin*)



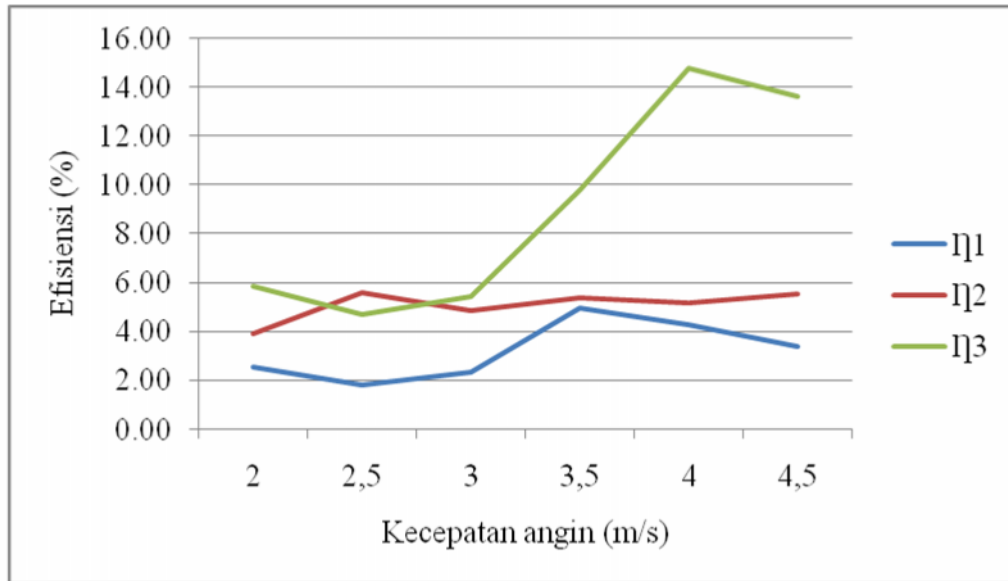
Gambar 4.6 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya turbin (menggunakan fin)

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa daya terbesar rotor pada posisi overlap 70 mm, yaitu sebesar 3.45 watt. Dapat diketahui bahwa dengan variasi overlap sebesar 70 mm mengakibatkan putaran meningkat. Sehingga nilai daya juga besar karena besar daya berbanding lurus dengan putaran dan torsi. Dari grafik diatas juga dapat diketahui bahwa penambahan fin sangat mempengaruhi daya dari turbin. Fungsi dari penambahan fin tersebut adalah mengarahkan aliran angin sehingga lebih terkonsentrasi dan kecepatannya meningkat. Selain itu juga berfungsi untuk mengurangi gaya drag atau hambat pada sudu. Sedangkan daya terkecil dari turbin yaitu 0,12 watt pada overlap 0 mm. Besaran tersebut menunjukkan bahwa overlap 0 mm kurang maksimum dalam menghasilkan daya karena pada overlap 0 mm aliran udara belum mengalir secara maksimal, meskipun dalam gambar diatas sudah dilakukan penambahan fin / pengarah angin.

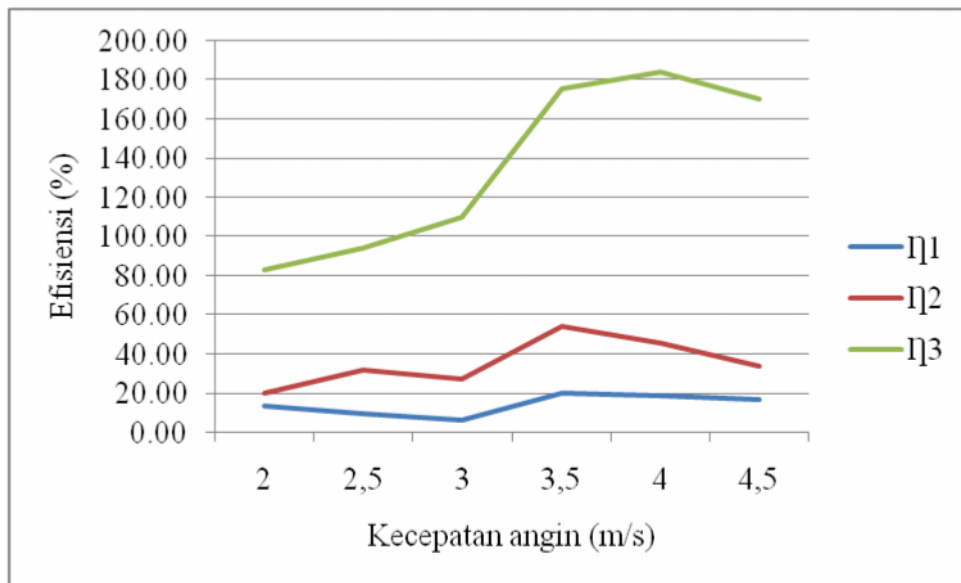
4.3 Efisiensi daya turbin

Perhitungan efisiensi daya turbin

$$\eta = \frac{\text{Daya aktual turbin}}{\text{Daya teoritis turbin}} \times 100 \% \dots\dots\dots(4.1)$$



Gambar 4.7 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap efisiensi daya turbin (tanpa fin)



Gambar 4.8 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap efisiensi daya turbin (dengan fin)

Gambar 4.7 dan gambar 4.8 menunjukkan perbandingan efisiensi daya antara turbin dengan overlap 0 mm, 35 mm, dan 70 mm. Efisiensi turbin didapat dengan menggunakan persamaan 4.1. Pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 didapat bahwa turbin memiliki efisiensi tinggi pada overlap 70 mm, dengan dan atau tanpa fin. Besar efisiensi maksimumnya adalah 14,79 % overlap 70 mm dan efisiensi terendah pada overlap 0 mm yaitu 1,83 %. Hal ini terjadi karena daya turbin maksimum yang dapat dicapai adalah pada posisi 70 mm, begitu juga sebaliknya pada overlap 0 mm, daya yang dihasilkan rendah sehingga nilai efisiensi berbanding lurus dengan keadaan tersebut. Sedangkan pada gambar 4.8, efisiensi terbesar juga didapat pada posisi overlap sudu 70 mm yaitu 170,39 %. Besar efisiensi selain dari adanya overlap sudu juga dipengaruhi penambahan fin yang dalam penelitian tersebut tidak seluruhnya mengarahkan aliran udara saja, tetapi juga mengurangi gaya hambat sudu.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian terhadap rotor savonius tipe-L, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut, antara lain:

1. Besar gaya maksimum untuk rotor tanpa fin adalah sebesar 2,14 N pada overlap 0 mm, dan putaran rotor sebesar 136,9 rpm pada overlap 70 mm.
2. Besar gaya maksimum untuk rotor dengan penambahan fin adalah sebesar 2,48 N pada overlap 0 mm, dan putaran rotor sebesar 157 rpm pada overlap 70 mm.
3. Torsi maksimum yaitu sebesar 0,19 Nm pada overlap 0 mm, sedangkan kecepatan angular maksimum sebesar 14,33 rpm pada overlap 70 mm (tanpa fin).
4. Torsi dan kecepatan angular maksimum untuk rotor menggunakan fin berturut-turut adalah 0,22 Nm overlap 0 mm dan 16,43 rpm pada overlap 70 mm.
5. Daya aktual maksimum yang dapat dihasilkan rotor jenis savonius tipe-L sebesar 1,86 watt (tanpa fin) dan 3,45 watt (penambahan fin).
6. Efisiensi maksimal rotor savonius tipe-L yaitu pada overlap 70 mm sebesar 170,39% dengan variasi penambahan *fin*, sedangkan efisiensi terendah savonius tipe-L pada overlap 0 mm sebesar 1,83 % tanpa penambahan *fin*.
7. Besar gaya yang didapat pada overlap 0 mm menunjukkan bahwa luas penampang yang besar mengakibatkan gaya juga besar dan overlap 70 mm hanya menghasilkan gaya yang rendah. Hal ini berbanding terbalik dengan kecepatan putar dimana pada overlap 0 mm memiliki kecepatan yang rendah sedangkan overlap 70 mm menghasilkan kecepatan rotor yang maksimal.
8. Kecepatan putar yang tinggi akibat adanya lorong udara sehingga udara dialirkan ke sisi sudu yang satunya sehingga menambah gaya dorong dan menyebabkan rpm naik.

9. Penambahan fin menyebabkan arah angin lebih terkonsentrasi sehingga putaran rotor dan gaya meningkat, selain itu juga berfungsi mengurangi gaya drag rotor.

5.2 Saran

Dari kesimpulan diatas, maka diperoleh beberapa saran sebagai berikut:

1. Mendesain sudu turbin dengan gaya hambat (*drag*) rendah sehingga meningkatkan putaran dan torsi.
2. Penggunaan alat pengukuran yang presisi sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifuddin, Moch. Arif, 2009. Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Dengan Variasi Desain Turbine. Teknik Fisika-FTI-ITS: Surabaya
- J.Sargolzaei. *Prediction of the power ratio in wind turbine Savonius rotors using artificial neural networks.* 2007
- Karnowo. Pengaruh Perubahan Overlap Sudu Terhadap Torsi Yang Dihasilkan Turbin Savonius Tipe U. UNS. Semarang
- Narsoyo Reksoatmodjo, Tedjo. 2004. Vertical-Axis Differential Drag Windmill. UNJANI
- R. N. Hidayatulloh, A. Suroso, Wahyudi. Desain alat konversi energi angin type savonius sebagai Pembangkit listrik pada pulau bawean, ITS, Surabaya
- Soelaiman, Tandian, N. P., dan Rosidin, N. , 2006, Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol, Program Studi Teknik Mesin ITB. Bandung
- Swenson, *J Tidal Power Project: Report on the Evaluation of an Axial Flow Lift Type Turbine*, Centre for Energy Research, Northern Territory University, 1999
- Y. Daryanto. 2007. Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. BALAI PPTAGG – UPT-LAGG. Yogyakarta

LAMPIRAN

Lampiran A

Tabel data hasil pengujian

Tabel A.1 Data pengujian putaran rotor / rpm overlap 0 mm (tanpa fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (rpm)	Percobaan 2 (rpm)	Percobaan 3 (rpm)	Percobaan 4 (rpm)	Percobaan 5 (rpm)	Rata -rata
2	19.8	27.5	31.6	26.3	30.1	27.06
2.5	33.0	37.9	32.0	25.2	30.2	31.66
3	31.2	31.8	26.5	21.5	18.8	25.96
3.5	31.7	47.5	34.3	31.3	30.8	35.12
4	42.9	32.3	37.5	31.7	35.9	36.06
4.5	45.9	33.3	39.0	36.1	38.8	38.61

Tabel A.2 Data pengujian putaran rotor / rpm, overlap 0 mm (menggunakan fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (rpm)	Percobaan 2 (rpm)	Percobaan 3 (rpm)	Percobaan 4 (rpm)	Percobaan 5 (rpm)	Rata -rata
2	21.0	32.2	27.3	27.1	40.6	29.64
2.5	34.2	40.1	30.8	41.5	43.9	38.1
3	43.2	50.2	41.0	39.0	47.7	44.22
3.5	44.9	54.0	50.8	45.8	53.2	49.74
4	55.5	60.7	54.1	66.9	61.2	59.68
4.5	79.3	85.6	73.0	71.9	59.9	73.94

Tabel A.3 Data pengujian gaya / F, overlap 0 mm (tanpa fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (N)	Percobaan 2 (N)	Percobaan 3 (N)	Percobaan 4 (N)	Percobaan 5 (N)	Rata -rata
2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.22
2.5	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.26
3	0.4	0.8	0.5	0.6	0.9	0.64
3.5	1.6	1.4	1.5	1.3	1.7	1.5
4	2.1	1.8	2.2	2.1	1.9	2.02
4.5	2.2	2.3	2.1	1.9	2.2	2.14

Tabel A.4 Data pengujian gaya / F, overlap 0 mm (menggunakan fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (N)	Percobaan 2 (N)	Percobaan 3 (N)	Percobaan 4 (N)	Percobaan 5 (N)	Rata - rata
2	0.4	1	0.3	0.2	0.3	0.44
2.5	0.5	0.4	0.6	0.3	0.3	0.42
3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.4	0.48
3.5	1.8	2	2.1	2	2.3	2.04
4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.6	2.36
4.5	2.8	2.4	2.2	2.5	2.5	2.48

Tabel A.5 Data pengujian putaran rotor / rpm overlap 35 mm (tanpa fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (rpm)	Percobaan 2 (rpm)	Percobaan 3 (rpm)	Percobaan 4 (rpm)	Percobaan 5 (rpm)	Rata - rata
2	23.2	17.1	23.6	20.4	27.0	22.26
2.5	30.3	33.4	33.7	40.5	32.7	34.12
3	35.3	35.9	34.6	31.9	33.3	34.2
3.5	37.9	36.2	34.7	31.7	34.4	34.98
4	33.3	32.3	40.1	32.4	41.3	35.88
4.5	40.5	44.3	50.4	37.8	43.4	43.28

Tabel A.6 Data pengujian putaran rotor / rpm overlap 35 mm (menggunakan fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (rpm)	Percobaan 2 (rpm)	Percobaan 3 (rpm)	Percobaan 4 (rpm)	Percobaan 5 (rpm)	Rata - rata
2	35.2	22.9	29.9	37.6	33.7	31.86
2.5	43.5	20.5	40.8	38.6	45.2	37.72
3	46.1	44.0	61.7	33.6	49.3	46.94
3.5	93.4	77.9	119.8	103.4	126.3	104.16
4	134.5	93.5	106.9	98.9	123.4	111.44
4.5	121.4	146.9	100.5	100.2	125.6	118.92

Tabel A.7 Data pengujian gaya / F overlap 35 mm (tanpa fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (N)	Percobaan 2 (N)	Percobaan 3 (N)	Percobaan 4 (N)	Percobaan 5 (N)	Rata - rata
2	0.3	0.1	0.3	0.4	0.2	0.26
2.5	0.3	0.2	0.4	0.5	0.6	0.4
3	1	0.6	0.6	0.5	0.8	0.7
3.5	0.8	1.1	1.2	1.3	1.4	1.16
4	1.7	1.2	1.6	1.5	1.7	1.54
4.5	1.8	2.0	2.1	1.8	1.7	1.94

Tabel A.8 Data pengujian gaya / F overlap 35 mm (menggunakan fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (N)	Percobaan 2 (N)	Percobaan 3 (N)	Percobaan 4 (N)	Percobaan 5 (N)	Rata - rata
2	0.3	0.6	0.2	0.5	0.7	0.46
2.5	0.7	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1
3	1.1	1.3	1.2	1.6	1.4	1.32
3.5	2	1.8	1.8	1.9	1.7	1.84
4	2.4	2.2	2.3	2.1	1.9	2.18
4.5	2.1	2.4	2.2	2.0	2.4	2.22

Tabel A.9 Data pengujian putaran rotor / rpm overlap 70 mm (tanpa fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (rpm)	Percobaan 2 (rpm)	Percobaan 3 (rpm)	Percobaan 4 (rpm)	Percobaan 5 (rpm)	Rata - rata
2	35.9	35.7	33.0	42.2	21.3	33.62
2.5	37.6	29.3	40.8	35.8	30	34.7
3	41.1	48.2	38.2	37.5	42.1	41.42
3.5	91.6	99.1	92.5	107.3	110.1	100.12
4	118.7	117.9	124.1	123.6	131.9	123.24
4.5	132.4	135.8	140.0	135.4	140.9	136.9

Tabel A.10 Data pengujian putaran rotor / rpm overlap 70 mm (menggunakan fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (rpm)	Percobaan 2 (rpm)	Percobaan 3 (rpm)	Percobaan 4 (rpm)	Percobaan 5 (rpm)	Rata - rata
2	59.7	76.4	87.5	45.8	88.6	71.6
2.5	76.1	65.4	77.9	98.5	70.4	77.66
3	77.8	87.5	89.3	93.6	101.4	89.92
3.5	101.8	95.7	87.3	98.9	112.0	99.14
4	124.7	145.8	97.1	134.8	100.1	120.5
4.5	165.4	144.4	137.0	161.8	176.4	157

Tabel A.11 Data pengujian gaya / F overlap 70 mm (tanpa fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (N)	Percobaan 2 (N)	Percobaan 3 (N)	Percobaan 4 (N)	Percobaan 5 (N)	Rata - rata
2	0.3	0.3	0.1	0.4	0.2	0.26
2.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.36
3	0.4	0.6	0.7	0.5	0.8	0.6
3.5	0.6	0.5	0.6	0.8	0.9	0.68
4	0.9	1.2	1.3	1.4	1.3	1.22
4.5	1.4	1.2	1.5	1.6	1.4	1.42

Tabel A.12 Data pengujian gaya / F overlap 70 mm (menggunakan fin)

V (m/s)	Percobaan 1 (N)	Percobaan 2 (N)	Percobaan 3 (N)	Percobaan 4 (N)	Percobaan 5 (N)	Rata - rata
2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
2.5	0.2	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4
3	1	0.7	0.8	0.6	0.9	0.8
3.5	1.5	2	1.9	1.9	1.8	1.82
4	2.7	2.2	2.2	2.3	2.4	2.36
4.5	2.3	2.3	2.0	2.8	2.4	2.36

Lampiran B

B.1 Perhitungan daya aktual turbin tanpa fin

1. Perhitungan torsi

$$T = F L$$

Dimana: F = gaya (N)

$$L = 9 \text{ cm} = 0,09 \text{ m}$$

a. Overlap 0 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$\begin{aligned} T &= 0,22 \text{ N} \times 0,09 \text{ m} \\ &= 0,02 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$\begin{aligned} T &= 0,26 \text{ N} \times 0,09 \text{ m} \\ &= 0,02 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$\begin{aligned} T &= 0,64 \text{ N} \times 0,09 \text{ m} \\ &= 0,06 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$\begin{aligned} T &= 1,5 \text{ N} \times 0,09 \text{ m} \\ &= 0,14 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$\begin{aligned} T &= 2,02 \text{ N} \times 0,09 \text{ m} \\ &= 0,18 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$\begin{aligned} T &= 2,14 \text{ N} \times 0,09 \text{ m} \\ &= 0,19 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Overlap 35 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$T = 0,26 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$$

$$= 0,02 \text{ Nm}$$

- Kecepatan 2,5 m/s
 $T = 0,04 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,04 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3 m/s
 $T = 0,07 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,06 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3,5 m/s
 $T = 1,16 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,10 \text{ Nm}$
- Kecepatan 4 m/s
 $T = 1,54 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,14 \text{ Nm}$
- Kecepatan 4,5 m/s
 $T = 1,94 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,18 \text{ Nm}$

c. Overlap 70 mm

- Kecepatan 2 m/s
 $T = 0,26 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,02 \text{ Nm}$
- Kecepatan 2,5 m/s
 $T = 0,36 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,03 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3 m/s
 $T = 0,6 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,05 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3,5 m/s
 $T = 0,68 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$

$$= 0,06 \text{ Nm}$$

- Kecepatan 4m/s

$$T = 1,22 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$$

$$= 0,11 \text{ Nm}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$T = 1,24 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$$

$$= 0,13 \text{ Nm}$$

2. Perhitungan daya aktual

$$P = T \times$$

$$P = T \times 2 \pi n / 60$$

$$\text{Dimana: } P = \text{daya (watt)}$$

$$= 3,14$$

$$T = \text{torsi (Nm)}$$

$$n = \text{putaran (rpm)}$$

a. Overlap 0 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$P = 0,02 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 27,06) / 60$$

$$= 0,05 \text{ watt}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$P = 0,02 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 31,66) / 60$$

$$= 0,07 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$P = 0,06 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 25,96) / 60$$

$$= 0,16 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$P = 0,14 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 35,12) / 60$$

$$= 0,53 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$P = 0,18 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 36,06) / 60$$

$$= 0,68 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$P = 0,19 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 38,61) / 60$$

$$= 0,77 \text{ watt}$$

b. Overlap 35 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$P = 0,02 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 22,26) / 60$$

$$= 0,05 \text{ watt}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$P = 0,04 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 34,12) / 60$$

$$= 0,14 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$P = 0,06 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 34,2) / 60$$

$$= 0,21 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$P = 0,10 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 34,98) / 60$$

$$= 0,37 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$P = 0,14 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 35,88) / 60$$

$$= 0,53 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$P = 0,18 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 43,28) / 60$$

$$= 0,81 \text{ watt}$$

c. Overlap 70 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$P = 0,02 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 33,62) / 60$$

$$= 0,07 \text{ watt}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$P = 0,03 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 34,7) / 60$$

$$= 0,11 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$P = 0,05 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 41,42) / 60$$

$$= 0,22 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$P = 0,06 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 100,12) / 60$$

$$= 0,63 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$P = 0,11 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 123,24) / 60$$

$$= 1,42 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$P = 0,13 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 136,9) / 60$$

$$= 1,86 \text{ watt}$$

B.2 Perhitungan daya aktual turbin menggunakan fin

1. Perhitungan torsi

$$T = F L$$

Dimana: F = gaya (N)

$$L = 9 \text{ cm} = 0,09 \text{ m}$$

a. Overlap 0 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$T = 0,44 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$$

$$= 0,04 \text{ Nm}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$T = 0,42 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$$

$$= 0,04 \text{ Nm}$$

- Kecepatan 3 m/s
 $T = 0,48 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,04 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3,5 m/s
 $T = 2,04 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,18 \text{ Nm}$
- Kecepatan 4 m/s
 $T = 2,36 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,21 \text{ Nm}$
- Kecepatan 4,5 m/s
 $T = 2,48 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,22 \text{ Nm}$
- b. Overlap 35 mm
 - Kecepatan 2 m/s
 $T = 0,46 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,04 \text{ Nm}$
 - Kecepatan 2,5 m/s
 $T = 1,1 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,10 \text{ Nm}$
 - Kecepatan 3 m/s
 $T = 1,32 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,12 \text{ Nm}$
 - Kecepatan 3,5 m/s
 $T = 1,84 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,17 \text{ Nm}$
 - Kecepatan 4 m/s
 $T = 2,18 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,20 \text{ Nm}$

- Kecepatan 4,5 m/s
 $T = 2,22 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,20 \text{ Nm}$

c. Overlap 70 mm

- Kecepatan 2 m/s
 $T = 0,2 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,02 \text{ Nm}$
- Kecepatan 2,5 m/s
 $T = 0,4 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,04 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3 m/s
 $T = 0,8 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,07 \text{ Nm}$
- Kecepatan 3,5 m/s
 $T = 1,82 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,16 \text{ Nm}$
- Kecepatan 4m/s
 $T = 2,36 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,21 \text{ Nm}$
- Kecepatan 4,5 m/s
 $T = 2,36 \text{ N} \times 0,09 \text{ m}$
 $= 0,21 \text{ Nm}$

2. Perhitungan daya aktual

$$P = T \times$$

$$P = T \times 2 \quad n / 60$$

Dimana: P = daya (watt)

$$= 3,14$$

$T = \text{torsi (Nm)}$

$n = \text{putaran (rpm)}$

a. Overlap 0 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$P = 0,04 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 29,64) / 60$$

$$= 0,12 \text{ watt}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$P = 0,04 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 38,1) / 60$$

$$= 0,16 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$P = 0,04 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 44,22) / 60$$

$$= 0,19 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$P = 0,18 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 49,74) / 60$$

$$= 0,94 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$P = 0,21 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 59,68) / 60$$

$$= 1,31 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$P = 0,22 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 73,94) / 60$$

$$= 1,7 \text{ watt}$$

b. Overlap 35 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$P = 0,04 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 31,86) / 60$$

$$= 0,13 \text{ watt}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$P = 0,10 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 37,72) / 60$$

$$= 0,4 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$P = 0,12 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 46,94) / 60$$

$$= 0,59 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$P = 0,17 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 104,16) / 60$$

$$= 1,85 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$P = 0,20 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 111,44) / 60$$

$$= 2,33 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$P = 0,20 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 118,92) / 60$$

$$= 2,49 \text{ watt}$$

c. Overlap 70 mm

- Kecepatan 2 m/s

$$P = 0,02 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 71,6) / 60$$

$$= 0,15 \text{ watt}$$

- Kecepatan 2,5 m/s

$$P = 0,04 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 77,66) / 60$$

$$= 0,33 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3 m/s

$$P = 0,07 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 89,92) / 60$$

$$= 0,66 \text{ watt}$$

- Kecepatan 3,5 m/s

$$P = 0,16 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 99,14) / 60$$

$$= 1,66 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4 m/s

$$P = 0,21 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 120,05) / 60$$

$$= 2,65 \text{ watt}$$

- Kecepatan 4,5 m/s

$$P = 0,21 \text{ Nm} \times (2 \times 3,14 \times 157) / 60$$

$$= 3,45 \text{ watt}$$

Tabel B.1 Hasil perhitungan daya aktual tanpa fin

V (m/s)	Torsi (Nm)			Kecepatan angular (rpm)			Daya (watt)		
	T 1	T 2	T 3	1	2	3	P1	P2	P3
2	0.02	0.02	0.02	2.83	2.33	3.52	0.05	0.05	0.07
2,5	0.02	0.04	0.03	3.31	3.57	3.63	0.07	0.14	0.11
3	0.06	0.06	0.05	2.72	3.58	4.34	0.16	0.21	0.22
3,5	0.14	0.10	0.06	3.68	3.66	10.48	0.53	0.37	0.63
4	0.18	0.14	0.11	3.77	3.76	12.90	0.68	0.53	1.42
4,5	0.19	0.18	0.13	4.04	4.53	14.33	0.77	0.81	1.86

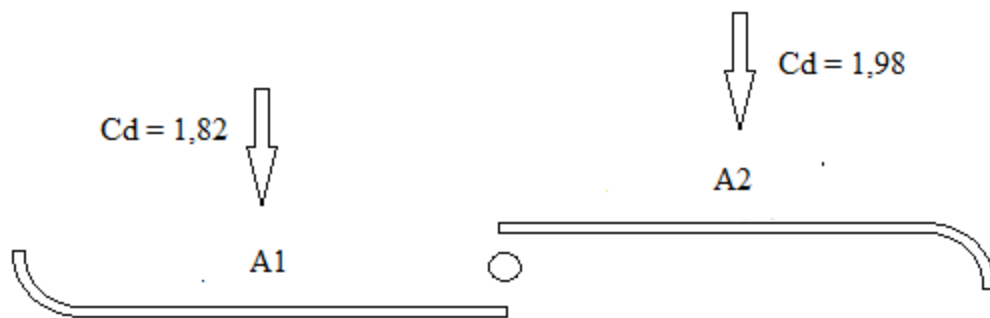
Tabel B.2 Hasil perhitungan daya aktual menggunakan fin

V (m/s)	Torsi (Nm)			Kecepatan putaran (rpm)			Daya (Watt)		
	T 1	T 2	T 3	1	2	3	P1	P2	P3
2	0.04	0.04	0.02	3.10	3.34	7.49	0.12	0.13	0.15
2,5	0.04	0.10	0.04	3.99	3.95	8.13	0.16	0.4	0.33
3	0.04	0.12	0.07	4.63	4.91	9.41	0.19	0.59	0.66
3,5	0.18	0.17	0.16	5.21	10.90	10.38	0.94	1.85	1.66
4	0.21	0.20	0.21	6.25	11.66	12.61	1.31	2.33	2.65
4,5	0.22	0.20	0.21	7.74	12.45	16.43	1.7	2.49	3.45

Lampiran C

Perhitungan gaya teoritis tanpa fin

C.1 Sketsa rotor dengan overlap 0 mm tanpa fin



- Luasan penampang sudu overlap 0 mm

A = luasan proyeksi

$$= (2 \times \text{lebar sudu}) \times \text{tinggi sudu}$$

$$= (2 \times 190 \text{ mm}) \times 280 \text{ mm}$$

$$= 106400 \text{ mm}^2 = 0,106 \text{ m}^2$$

C.2 Perhitungan gaya teoritis, overlap 0 mm

a. Kecepatan angin 2 m/s

$$F = \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,98$$

$$= 0,47 \text{ N} + 0,51 \text{ N}$$

$$= 0,98 \text{ N}$$

b. Kecepatan angin 2,5 m/s

$$F = \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98$$

$$= 0,73 \text{ N} + 0,80 \text{ N}$$

$$= 1,53 \text{ N}$$

c. Kecepatan angin 3 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \\ &\quad \text{m/s} \cdot 1,98 \\ &= 1,08 \text{ N} + 1,17 \text{ N} \\ &= 2,25 \text{ N} \end{aligned}$$

d. Kecepatan angin 3,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\ &\quad 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\ &= 1,47 \text{ N} + 1,59 \text{ N} \\ &= 3,06 \text{ N} \end{aligned}$$

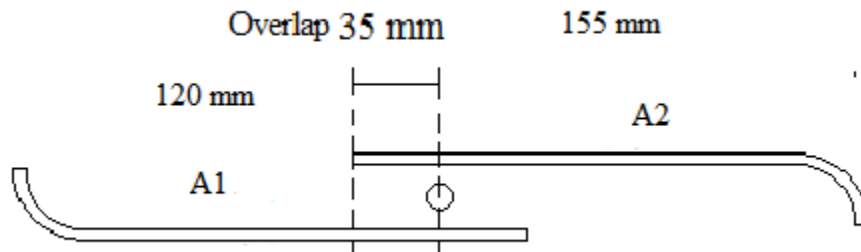
e. Kecepatan angin 4 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \\ &\quad \text{m/s} \cdot 1,98 \\ &= 1,92 \text{ N} + 2,08 \text{ N} \\ &= 4 \text{ N} \end{aligned}$$

f. Kecepatan angin 4,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\ &\quad 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\ &= 2,43 \text{ N} + 2,63 \text{ N} \\ &= 5,06 \text{ N} \end{aligned}$$

C.3 Sketsa rotor dengan overlap 35 mm tanpa fin



- Luasan penampang sudu overlap 35 mm

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{luas proyeksi} \\
 &= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu} \\
 &= 120 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \\
 &= 0,03 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \text{luas proyeksi} \\
 &= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu} \\
 &= 190 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \\
 &= 0,106 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

C.4 Perhitungn gaya teoritis, overlap 35 mm

- a. Kecepatan angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \\
 &\quad \text{m/s} \cdot 1,98 \\
 &= 0,12 \text{ N} + 0,52 \text{ N} \\
 &= 0,64 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- b. Kecepatan angin 2,5 m/s

$$F = \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\
&2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,19 \text{ N} + 0,81 \text{ N} \\
&= 1 \text{ N}
\end{aligned}$$

c. Kecepatan angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \\
&\text{m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,27 \text{ N} + 1,17 \text{ N} \\
&= 1,44 \text{ N}
\end{aligned}$$

d. Kecepatan angin 3,5 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\
&3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,37 \text{ N} + 1,59 \text{ N} \\
&= 1,96 \text{ N}
\end{aligned}$$

e. Kecepatan angin 4 m/s

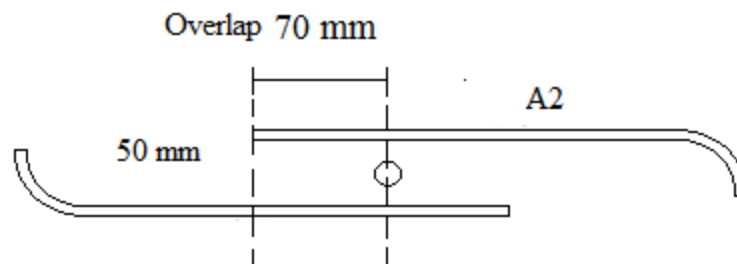
$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \\
&\text{m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,48 \text{ N} + 2,08 \text{ N} \\
&= 2,56 \text{ N}
\end{aligned}$$

f. Kecepatan angin 4,5 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,03 \text{ m}^2 \cdot 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\
&4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,6 \text{ N} + 2,63 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$= 3,23 \text{ N}$$

C.5 Sketsa rotor dengan overlap 70 mm tanpa fin



- Luasan penampang sudu overlap 70 mm

$$A_1 = \text{luasan proyeksi}$$

$$= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu}$$

$$= 50 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$$

$$= 0,014 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \text{luasan proyeksi}$$

$$= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu}$$

$$= 190 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$$

$$= 0,106 \text{ m}^2$$

C.6 Perhitungan gaya teoritis, overlap 70 mm

- a. Kecepatan angin 2 m/s

$$F = \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 2^2$$

$$\text{m/s} \cdot 1,98$$

$$= 0,08 \text{ N} + 0,52 \text{ N}$$

$$= 0,6 \text{ N}$$

- b. Kecepatan angin 2,5 m/s

$$F = \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\
&2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,13 \text{ N} + 0,81 \text{ N} \\
&= 0,94 \text{ N}
\end{aligned}$$

c. Kecepatan angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \\
&\text{m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,18 \text{ N} + 1,17 \text{ N} \\
&= 1,35 \text{ N}
\end{aligned}$$

d. Kecepatan angin 3,5 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\
&3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,25 \text{ N} + 1,59 \text{ N} \\
&= 1,84 \text{ N}
\end{aligned}$$

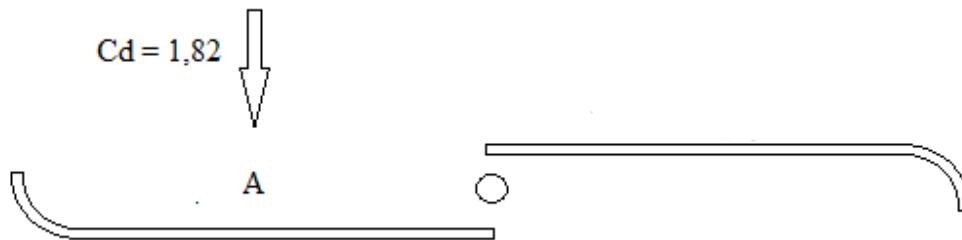
e. Kecepatan angin 4 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \\
&\text{m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,32 \text{ N} + 2,08 \text{ N} \\
&= 2,4 \text{ N}
\end{aligned}$$

f. Kecepatan angin 4,5 m/s

$$\begin{aligned}
F &= \frac{1}{2} A_1 V^2 C_d + \frac{1}{2} A_2 V^2 C_d \\
&= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,014 \text{ m}^2 \cdot 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 + \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,106 \text{ m}^2 \cdot \\
&4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,98 \\
&= 0,4 \text{ N} + 2,63 \text{ N} \\
&= 3,03 \text{ N}
\end{aligned}$$

C.7 Perhitungan gaya teoritis overlap 0 mm, menggunakan fin



- Luasan penampang sudu overlap 0 mm

$$\begin{aligned}
 A &= \text{luasan proyeksi} \\
 &= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu} \\
 &= 190 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \\
 &= 0,05 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- a. Kecepatan angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 F &= 2 \left(\frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \right) \\
 &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\
 &= 0,44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- b. Kecepatan angin 2,5 m/s

$$\begin{aligned}
 F &= 2 \left(\frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \right) \\
 &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\
 &= 0,69 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- c. Kecepatan angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 F &= 2 \left(\frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \right) \\
 &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\
 &= 1,0 \text{ N}
 \end{aligned}$$

d. Kecepatan angin 3,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \\ &= 1,36 \text{ N} \end{aligned}$$

e. Kecepatan angin 4 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \\ &= 1,78 \text{ N} \end{aligned}$$

f. Kecepatan angin 4,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \\ &= 2,25 \text{ N} \end{aligned}$$

C.8 Overlap 35 mm

- Luasan penampang sudu overlap 0 mm

$$\begin{aligned} A &= \text{luasan proyeksi} \\ &= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu} \\ &= 130 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \\ &= 0,036 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

a. Kecepatan angin 2 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,036 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \\ &= 0,32 \text{ N} \end{aligned}$$

b. Kecepatan angin 2,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,036 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \\ &= 0,5 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Kecepatan angin 3 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,036 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,72 \text{ N} \end{aligned}$$

d. Kecepatan angin 3,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,036 \text{ m}^2 \cdot 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,98 \text{ N} \end{aligned}$$

e. Kecepatan angin 4 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,036 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 1,28 \text{ N} \end{aligned}$$

f. Kecepatan angin 4,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,036 \text{ m}^2 \cdot 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 1,62 \text{ N} \end{aligned}$$

C.9 Overlap 70 mm

- Luasan penampang sudu overlap 0 mm

$$\begin{aligned} A &= \text{luasan proyeksi} \\ &= \text{lebar sudu} \times \text{tinggi sudu} \\ &= 50 \text{ mm} \times 280 \text{ mm} \\ &= 0,01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

a. Kecepatan angin 2 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 2^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,09 \text{ N} \end{aligned}$$

b. Kecepatan angin 2,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 2,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,14 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Kecepatan angin 3 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 3^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,2 \text{ N} \end{aligned}$$

d. Kecepatan angin 3,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 3,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,27 \text{ N} \end{aligned}$$

e. Kecepatan angin 4 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 4^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,36 \text{ N} \end{aligned}$$

f. Kecepatan angin 4,5 m/s

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho A V^2 C_d \\ &= 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 1,224 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 4,5^2 \text{ m/s} \cdot 1,82 \right) \\ &= 0,45 \text{ N} \end{aligned}$$

Lampiran D

Tabel D.1 Hasil perhitungan gaya teoritis turbin

V (m/s)	Gaya (Tanpa fin)			Gaya (Dengan fin)		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
2	0.98	0.64	0.6	0.44	0.32	0.09
2,5	1.53	1	0.94	0.69	0.5	0.14
3	2.25	1.44	1.35	1	0.72	0.2
3,5	3.06	1.96	1.84	1.36	0.98	0.27
4	4	2.56	2.4	1.78	1.28	0.36
4,5	5.06	3.23	3.03	2.25	1.62	0.45

Lampiran E

E.1 Daya teoritis, $P = F.v$

Daya (watt)			Daya (watt)		
P1	P2	P3	P1	P2	P3
1.96	1.28	1.20	0.88	0.64	0.18
3.83	2.50	2.35	1.73	1.25	0.35
6.75	4.32	4.05	3.00	2.16	0.60
10.71	6.86	6.44	4.76	3.43	0.95
16.00	10.24	9.60	7.12	5.12	1.44
22.77	14.54	13.64	10.13	7.29	2.03

E.2 Perhitungan Efisiensi daya turbin

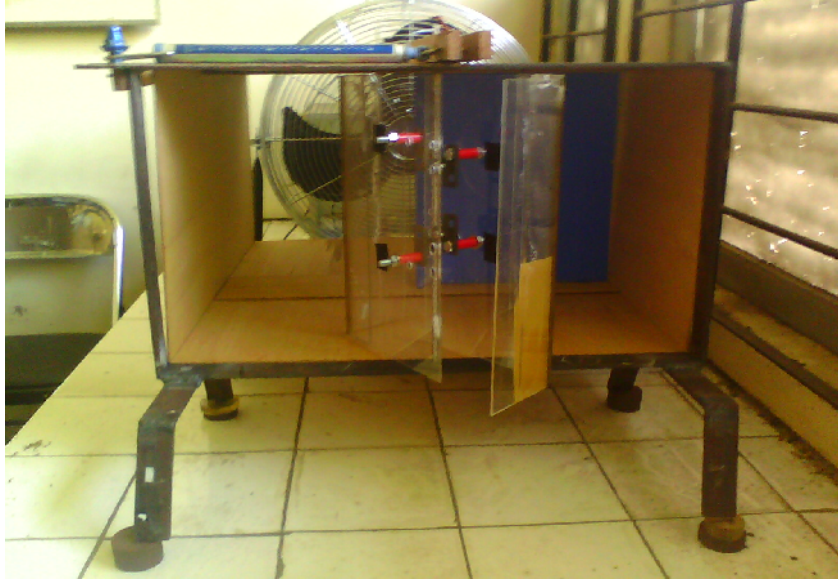
$$\eta = \frac{\text{Daya aktual turbin}}{\text{Daya teoritis turbin}} \times 100 \%$$

Tabel E.2 Hasil perhitungan efisiensi daya turbin

V (m/s)	Efisiensi turbin tanpa fin (%)			Efisiensi turbin dengan fin (%)		
	□ 1	□ 2	□ 3	□ 1	□ 2	□ 3
2	2.55	3.91	5.83	13.64	20.31	83.33
2,5	1.83	5.60	4.68	9.28	32.00	94.29
3	2.37	4.86	5.43	6.33	27.31	110.00
3,5	4.95	5.39	9.78	19.75	53.94	175.66
4	4.25	5.18	14.79	18.40	45.51	184.03
4,5	3.38	5.57	13.64	16.79	34.16	170.37

Lampiran F

F.1 Gambar rotor savonius L dengan terowongan udara (tampak depan)



F.2 Gambar rotor savonius dengan prony break



F.3 Gambar kipas angin untuk kecepatan angin 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s



F.4 Gambar kipas angin untuk kecepatan angin 2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s



F.5 Gambar rangkaian prony break dengan pegas ukur



F.6 Gambar rotor Savonius tipe-L



F.7 Gambar pegas ukur



F.8 Gambar tachometer digital



F.9 Gambar anemometer

