

**KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH *STAGE*
PADA PERFORMA TURBIN ANGIN *SAVONIUS* DENGAN
BILAH BERBENTUK U DAN L MODIFIKASI**



Disusun Oleh :

Arif Nur Arifin

5315117241

Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam Mendapatkan Gelar
Sarjana Pendidikan

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH
STAGE PADA PERFORMA TURBIN ANGIN
SAVONIUS DENGAN BILAH BERBENTUK U DAN L
MODIFIKASI
Nama Mahasiswa : ARIF NUR ARIFIN
Nomor Regristasi : 5315117241

NAMA DOSEN TANDATANGAN TANGGAL

Dr. Catur Setyawan K, M.T.
(Dosen Pembimbing I)



22/8/17

Drs. H. Sirojuddin, M.T.
(Dosen Pembimbing II)



22/8/17

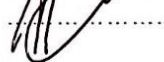
PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Drs. Adi Tri Tyassmadi, M.Pd.
(Ketua Penguji)



22/8/17

Dr. Imam Basori, M.T.
(Sekertaris)



22/8/17

Ir. Nugroho Gama Yoga, M.T.
(Dosen Ahli)



22/8/17

Tanggal Lulus:

Mengetahui

Ketua Prodi Pendidikan Teknik Mesin



Ahmad Kholil, S.T., M.T.

NIP. 197908312005011001

HALAMAN PERNYATAAN

Nama : Arif Nur Arifin
Nomor Registrasi : 5315117241
Program studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Negeri Jakarta

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penulisan skripsi yang saya buat ini adalah benar hasil karya sendiri dan bukan salinan dari karya orang lain, kecuali beberapa kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Jakarta, 20 Agustus 2017



Arif Nur Arifin

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian berjudul “Kaji Eksperimental Pengaruh Jumlah *Stage* Pada Performa Turbin Angin *Savonius* Dengan Bilah Berbentuk U Dan L Modifikasi”.

Penelitian ini tidak mungkin selesai tanpa bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, oleh sebab itu dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan segala karunia-Nya dan kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan secara moril maupun materil.
2. Bapak Ahmad Kholil, S.T. M.T., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Nugroho Gama Yoga, ST., MT., selaku Sekretaris Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
4. Bapak Dr. Catur Setyawan. K., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan motivasi, saran, dan bimbingan kepada penulis.
5. Bapak Drs. Sirojuddin, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Himawan Hadi Sutrisno, M.T selaku Pembimbing Akademik.
7. Kedua orang tuaku dan seorang adikku, yang selalu mendukung, memberi semangat dan doa kepada penulis.
8. Teman seperjuangan dalam penelitian, Firman Julismar yang selalu memberi bantuan dalam pengambilan data. Sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini.
9. Teman teman seperjuangan mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin, NR 2011 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
10. Mas Dayat , Pak Pri dan Bang Boim selaku penjaga lab. Produksi UNJ yang selalu membantu dan memberi saran dalam pembuatan alat penelitian.

11. Dan seluruh pihak lain yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian serta dalam penyusunan skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, baik dalam sistematika penulisan maupun dalam isi materinya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca, untuk penyempurnakan penulisan proposal ini dimasa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan membawa manfaat bagi semua orang.

Jakarta, 20 Agustus 2017

Arif Nur Arifin

ABSTRAK

ARIF NUR ARIFIN, Kaji Eksperimental Pengaruh Jumlah *Stage* Pada Performa Turbin Angin *Savonius* Dengan Bilah Berbentuk U Dan L Modifikasi. Skripsi, Jakarta : Agustus 2017.

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh *performance* jumlah *stage* dengan bilah berbentuk U dan L modifikasi. Bilah *Savonius* yang digunakan berjumlah 4 buah . Hasil yang didapat dalam pengujian ini adalah kecepatan putaran turbin (RPM), kuat arus, dan tegangan kemudian dihitung TSR dan Cp.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kajian pustaka yaitu penulis mengadakan studi literatur dari buku maupun jurnal-jurnal yang berhubungan dengan jumlah *stage* turbin angin *savonius*. Metode kedua adalah metode eksperimen Laboratorium dengan melakukan pengujian terhadap dua tipe turbin yaitu tipe U dan tipe L. Pengujian ini dilakukan dengan cara turbin angin diberikan tekanan angin yang berasal dari *blower* dengan variasi kecepatan 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s sehingga turbin angin berputar menghasilkan RPM dan meneruskan gaya putaran ke poros yang tersambung generator sehingga menghasilkan daya kemudian dianalisis untuk mencari tipe bilah turbin angin yang memiliki *performace* paling efisien.

Dalam penelitian ini data yang dihasilkan berupa daya, Cp, dan TSR dari kedua tipe bilah turbin angin *savonius*. Pada penelitian ini didapatkan tipe bilah U memiliki daya yang paling besar dibandingkan tipe bilah L yaitu engan nilai 0.02424 watt kemudian menghasilkan Cp sebesar 1.1846 dan pada nilai TSR memiliki nilai 1.19947.

Kata kunci :Jumlah *stage savonius*,daya,Cp,TSR

ABSTRACT

ARIF NUR ARIFIN, *Experimental evaluation on the effects of the number of stage on the performance of savonius wind turbine with blades of U and L modified shapes*. Skripsi, Jakarta: august 2017.

This thesis aims to determine the effects of the number of stage on the performance. The savonius turbine uses 4 blades. The results obtained from this experiment are RPM, current, voltage and then TSR and Cp are calculated.

The method used in this research is literature evaluation method, which allows the writer to conduct literature studies from books as well as journals that cover about number of stage in savonius wind turbines. The second method is laboratory experiment by testing on both type U and type L turbines. This test is conducted by applying pressure onto the turbine with a blower with speeds of 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s and 5 m/s so that the turbine will rotate and produce RPM and transmit rotation force to the axle that is connected to a generator to produce power which is then analyzed to decide which type of turbine blades has the most efficient performance.

The data obtained in this research are power, Cp and TSR from both types of savonius turbine blades. In this research, it is decided that type U blade has the largest power compared to type L which is 0.02424 watt and result in Cp of 1.1846 and value of TSR of 1.19947

Keywords: savonius number of stage, power, Cp, TSR

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR PERSAMAAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah.	5
1.4. Perumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan hasil Penelitian.	5
1.6. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. DASAR TEORI	
2.1. Energi Angin	7
2.2. Potensi Tenaga Angin	8
2.3. Turbin Angin	11
2.3.1. Turbin Angin <i>Savonius</i>	15
2.4. Pengaruh <i>Overlap Ratio</i>	17
2.5. Pengaruh Jumlah Bilah.....	18
2.6. Pengaruh Jumlah Tingkat	19

2.7. Torsi, Daya dan Kecepatan	20
2.8. Power Koefisien dan <i>Tip Speed Ratio</i>	21
2.9. Teori Momentum Elementer Betz	23

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Tujuan Operasional Penelitian	27
3.2. Tempat dan Waktu	27
3.3. Metode Penelitian	27
3.4. Instrumen Penelitian	28
3.5. Instrumen Pengujian	29
3.6. Prosedur Penelitian.....	29
3.7. Diagram Alir	30
3.8. Perancangan	31
3.9. Proses Pengujian	32
3.10. Uraian Pembuatan Sampel	34
3.10.1. Pembuatan Bilah <i>Savonius</i>	34
3.10.2. Pembuatan Rangka	34
3.10.3. Spesifikasi Komponen.....	34

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1. Pengujian Kecepatan Putar (RPM).....	36
4.2. Analisa Daya Pengukuran Tegangan dan Arus	41
4.3. Daya Turbin Angin <i>Savonius</i>	42
4.4. Perhitungan Teoritis	45
4.5. Analisa Torsi Pada <i>Blade</i> Turbin Angin <i>Savonius</i>	46
4.6. Perhitungan TSR (<i>Tip Speed Ratio</i>)	48
4.7. Perhitungan CP (<i>Coefficient Performance</i>)	49
4.8. Analisa Nilai CP (<i>Coefficient Performance</i>) dan TSR (<i>Tip Speed Ratio</i>).	49

4.9. Pengaruh <i>Overlap</i>	55
4.10. Perbandingan <i>Stage</i> Turbin Angin <i>Savonius</i>	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN 1	65
LAMPIRAN 2	87
LAMPIRAN 3	88
LAMPIRAN 4	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kecepatan angin	10
Tabel 3.1	Spesifikasi komponen	34
Tabel 4.1	Rpm <i>savonius non overlap</i> tanpa beban	36
Tabel 4.2	Rpm <i>savonius non overlap</i> dengan beban	38
Tabel 4.3	Rpm <i>savonius overlap 5cm</i> tanpa beban	39
Tabel 4.4	Rpm <i>savonius overlap 5cm</i> dengan beban	40
Tabel 4.5	Daya dan tegangan turbin angin <i>savonius non overlap</i>	41
Tabel 4.6	Daya arus dan tegangan turbin angin <i>savonius overlap 5cm</i>	42
Tabel 4.7	Daya turbin angin <i>savonius non overlap</i>	43
Tabel 4.8	Daya turbin angin <i>savonius overlap 5cm</i>	44
Tabel 4.9	Hasil perhitungan daya secara teoritis	45
Tabel 4.10	Nilai kecepatan bilah dan torsi turbin angin <i>savonius overlap 5cm</i>	46
Tabel 4.11	Nilai kecepatan bilah dan torsi turbin angin <i>savonius non overlap</i>	47
Tabel 4.12	Nilai Cp, dan TSR pada turbin angin <i>savonius non overlap</i> ..	49
Tabel 4.13	Nilai Cp, dan TSR pada turbin angin <i>savonius overlap 5cm</i> .	50
Tabel 4.14	Perbandingan pengaruh bilah tipe U jenis 2 <i>overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	55
Tabel 4.15	Perbandingan Cp turbin angin <i>savonius satu stage</i> dan dua <i>stage overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	57
Tabel 4.16	Perbandingan Rpm, daya, dan TSR tipe U jenis 2 <i>overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i> turbin angin <i>savonius satu stage</i> dan dua <i>stage</i>	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Turbin Angin	12
Gambar 2.2	Tipe Turbin <i>Savonius</i>	16
Gambar 2.3	Grafik Pengaruh <i>Overlap Ratio</i>	18
Gambar 2.4	Pengaruh Jumlah Bilah	18
Gambar 2.5	Turbin <i>Savonius</i> Bertingkat	19
Gambar 2.6	<i>Typical Performances of wind machines</i>	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> / Diagram Prosedur Penelitian	30
Gambar 3.2	Desain Jumlah <i>Blade</i> Turbin <i>Savonius</i> Tipe U	31
Gambar 3.3	Desain Poros	31
Gambar 3.4	Bilah Tipe L (a) <i>Non Overlap</i> (b) <i>Overlap</i>	32
Gambar 3.5	Bilah Tipe U (a) <i>Non Overlap</i> (b) <i>Overlap</i>	32
Gambar 3.6	Sketsa Turbin	33
Gambar 4.1	Grafik hubungan kecepatan angin non <i>overlap</i> dengan rotor turbin Angin tanpa beban	37
Gambar 4.2	Grafik hubungan kecepatan angin non <i>overlap</i> dengan rotor turbin Angin dengan beban	38
Gambar 4.3.	Grafik hubungan kecepatan angin <i>overlap 5cm</i> dengan rotor turbin Angin Tanpa beban	39
Gambar 4.4.	Grafik hubungan kecepatan angin <i>overlap 5cm</i> dengan rotor turbin Angin dengan beban.....	40
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Kecepatan angin terhadap daya keluaran pada turbin angin <i>savonius non overlap</i>	43
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Kecepatan angin terhadap daya keluaran pada turbin angin <i>savonius overlap 5cm</i>	44
Gambar 4.7	Grafik hubungan kecepatan angin dengan torsi pada turbin angin <i>savonius overlap 5cm</i>	47

Gambar 4.8	Grafik hubungan kecepatan angin dengan torsi pada turbin angin <i>savonius non overlap</i>	48
Gambar 4.9	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 1 <i>non overlap</i>	51
Gambar 4.10	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 2 <i>non overlap</i>	51
Gambar 4.11	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 1 <i>non overlap</i>	52
Gambar 4.12	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 2 <i>non overlap</i>	52
Gambar 4.13	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 1 <i>overlap 5cm</i>	53
Gambar 4.14	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 2 <i>overlap 5cm</i>	53
Gambar 4.15	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 1 <i>overlap 5cm</i>	54
Gambar 4.16	Hubungan nilai C_p dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 2 <i>overlap 5cm</i>	54
Gambar 4.17	Perbandingan grafik Rpm turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 <i>overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	55
Gambar 4.18	Perbandingan grafik daya turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 <i>overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	56
Gambar 4.19	Perbandingan grafik C_p turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 <i>overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	56
Gambar 4.20	Perbandingan grafik TSR turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 <i>overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	57
Gambar 4.21	Perbandingan grafik C_p turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 satu <i>stage</i> dan dua <i>stage overlap 5cm</i> dan <i>non overlap</i>	58
Gambar 4.22	Perbandingan grafik Rpm turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 satu <i>stage</i> dan dua <i>stage non overlap</i>	59
Gambar 4.23	Perbandingan grafik Daya turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 satu <i>stage</i> dan dua <i>stage non overlap</i>	59
Gambar 4.24	Perbandingan grafik TSR turbin angin <i>savonius</i> U jenis 2 satu <i>stage</i> dan dua <i>stage non overlap</i>	60

DAFTAR PERSAMAAN

Pers 2.1	Energi kinetik	7
Pers 2.2	Daya aliran angin	7
Pers 2.3	Luas sapuan rotor A	8
Pers 2.4	<i>Overlap ratio</i>	17
Pers 2.5	Torsi	20
Pers 2.6	Besar torsi total	20
Pers 2.7	Daya turbin	20
Pers 2.8	Konversi RPM	21
Pers 2.9	Nilai <i>coeffisien performance</i>	21
Pers 2.10	<i>Tip speed ratio</i>	21
Pers 2.11	Daya mekanik turbin.....	23
Pers 2.12	Persamaan kontinuitas	23
Pers 2.13	Gaya yang bekerja pada turbin	24
Pers 2.14	Aliran massa udara.....	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak revolusi industri, penggunaan bahan bakar meningkat secara tajam, oleh sebab itu diperlukan sumber energi yang dapat memenuhi semua kebutuhan. Salah satu sumber energi yang banyak digunakan adalah energi fosil. Sayangnya energi ini termasuk energi yang tidak dapat diperbaharui dan jika energi fosil ini habis maka diperlukan sumber-sumber energi baru. Selain itu penggunaan energi fosil juga berdampak negatif terhadap lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung seperti pemanasan global yang berdampak pada kerusakan ekologi. Untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil, maka perlu dilakukan konversi, konservasi, dan pengembangan sumber-sumber energi baru terbarukan. Pengembangan ini harus memperhatikan tiga "E", yakni energi, ekonomi, dan ekologi. Jadi, pengembangan sumber energi harus dapat memproduksi energi dalam jumlah yang besar, dengan biaya yang rendah serta mempunyai dampak minimum terhadap lingkungan. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin. Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan.¹

¹ Y.Daryanto,kajian potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga baru,(Yogyakarta: balai PPTAGUPT-LAAG,2007)h.10

Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpah dan tersedia terus-menerus sepanjang tahun. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki potensi energi angin yang besar. Karena itu maka sangat dimungkinkan untuk dikembangkan turbin angin sebagai pembangkit listrik. Namun pemanfaatan energi angin di Indonesia masih langka, hal tersebut dimungkinkan karena teknologi atau pengetahuan yang belum populer, arah angin di daerah Indonesia mudah berubah-ubah, kecepatan angin berfluktuasi dan kurang ekonomis. Selama ini angin dipandang sebagai proses alami yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat. Namun daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya².

Berdasarkan arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu turbin angin sumbu horizontal (TASH) dan turbin angin sumbu vertikal (TASV). Turbin dengan poros horizontal biasanya dikenal dengan turbin propeller sedangkan turbin dengan poros vertikal masih terbagi lagi menjadi beberapa jenis diantaranya tipe *savonius* dan *darrieus*. Turbin dengan poros horizontal lebih banyak digunakan oleh negara – negara yang memiliki data kecepatan angin yang tinggi. Salah satu kekurangan dari turbin angin sumbu horizontal yaitu turbin jenis ini memerlukan kecepatan angin yang lebih tinggi untuk bisa memproduksi listrik.

² Tedjo Narsoyo, Vertical Axis Differential Drag Windmill, (Bandung : Universitas Jenderal Achmad Yani) hal.3

Turbin yang sesuai untuk kecepatan angin rendah adalah turbin *savonius* dan turbin darrieus yang termasuk kedalam tipe turbin angin sumbu vertikal (TASV). Meskipun turbin ini memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin sumbu horizontal, turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki beberapa kelebihan, antara lain aman, mudah untuk dibangun, dapat dipasang tidak jauh dari tanah, lebih baik dalam menangani turbulensi angin, generator dan gerbox dapat ditempatkan tidak jauh dari permukaan tanah sehingga dapat memudahkan perawatan, dan keuntungan utama dari turbin jenis ini adalah turbin ini tidak memerlukan yaw, yaitu sistem yang mengatur posisi bilah/bilah agar tetap menghadap angin, sehingga dapat menangkap energi angin dari berbagai arah.

Permasalahan utama pada aplikasi turbin angin salah satunya adalah kondisi geografis pada suatu wilayah dimana kecepatan angin dan arah angin dapat berubah sepanjang waktu. Karena itu dibutuhkan turbin angin yang mampu bekerja dalam angin berkecepatan rendah dan mampu menerima angin dari segala arah, dan turbin angin sumbu vertikal (TASV) adalah jenis yang sesuai untuk menghadapi permasalahan tersebut. Turbin angin sumbu vertikal (TASV) dapat berputar dari berbagai bilah datangnya arah angin.

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) terbagi menjadi dua jenis dilihat dari bentuk bilahnya yakni *Savonius* dan darrieus. Turbin *Savonius* termasuk turbin tipe sumbu tegak (*vertical axis*) yang rotornya dapat berputar untuk semua arah angin. Sejak ditemukan oleh Sigurt J. *savonius* pada tahun 1922 hingga saat ini, turbin *savonius* banyak mengalami pengembangan desain. Salah satu keuntungan turbin angin *savonius* yaitu memiliki torsi awal yang

besar dan memiliki *selfstarting* pada kecepatan angin rendah³. Turbin *savonius* merupakan tipe turbin angin sumbu vertikal yang banyak digunakan sebagai sistem konversi energi angin ke listrik karena mampu menghasilkan listrik ketika angin memutar turbin. Turbin angin *savonius* tipe L termasuk jenis turbin *savonius* dengan desain sisi bilah yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran. Turbin ini biasanya terdiri dari dua tabung atau bilah berdinding logam yang saling berhadapan dan mempunyai poros ditengahnya. Prinsip kerja turbin angin adalah berdasarkan interaksi bilah dan rotor dengan hembusan angin. Tetapi perputaran turbin ini seringkali terhambat oleh gaya hambat (*drag*) yang besar akibat angin yang menyapu dinding bilah yang lebar. Beranjak dari kekurangan tersebut dan beberapa faktor di atas maka penulis melakukan eksperimen lebih lanjut untuk mencoba merekayasa turbin angin dengan menambah jumlah stage pada turbin angin *Savonius* serta memvariasikan bentuk bilah.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah diatas dapat diambil beberapa identifikasi masalah, yaitu sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara meningkatkan performa turbin angin *savonius*.
- b. Bagaimana pengaruh jumlah bilah terhadap rpm turbin.
- c. Apakah turbin angin vertikal tipe *savonius* dapat diterapkan sebagai penghasil energi alternatif di Indonesia.

³ <http://www.indoenergi.com/2012/07/jenis-jenis-turbin-angin>. Di akses pada tanggal 20 Januari 2017 jam 13:27

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan terkait desain dan analisis turbin angin vertikal dengan mekanisme *stage* antara lain :

- a. Turbin angin yang digunakan adalah jenis turbin angin vertikal tipe turbin *savonius* dirancang memiliki dua buah stage.
- b. Alat yang disimulasikan dan dianalisa merupakan bentuk prototipe untuk mengetahui kecepatan putar turbin yang dihasilkan.
- c. Bilah yang digunakan berbentuk U dan variasi bentuk L.
- d. Kecepatan angin yang diujikan yaitu, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s di laboratorium menggunakan blower.
- e. Pengaruh perbedaan bentuk bilah ditinjau terhadap kecepatan putar turbin (Rpm), torsi, tegangan listrik, daya, Cp dan TSR.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah di atas, maka perumusan masalah penelitian ini adalah pengaruh jumlah *stage* terhadap torsi dan putaran pada turbin *savonius* dengan blade tipe U dan variasi L

1.5 Tujuan Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk turut serta dalam upaya mendukung kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi terutama pada bidang keteknikan.

Adapun tujuan utamanya adalah :

- a. Menganalisis pengaruh bentuk bilah terhadap performa turbin angin *savonius* dua *stage*.

- b. Menganalisis pengaruh *overlap* bilah terhadap efisiensi putaran turbin angin *savonius* dua *stage*.
- c. Menganalisis pengaruh jumlah *stage* pada turbin angin *savonius*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

- a. Mengembangkan kreatifitas dalam memaksimalkan energi alternatif yang tepat guna.
- b. Memberikan solusi kemudahan dalam perancangan turbin angin.
- c. Melatih keterampilan mahasiswa dalam merekayasa suatu alat.
- d. Mengembangkan sumber energi alternatif khususnya sumber energi angin sebagai pengganti bahan bakar fosil.
- e. Membudayakan kebiasaan meneliti mahasiswa.
- f. Menambah referensi dalam bidang keilmuan dan penelitian dalam pengembangan turbin angin tipe vertikal di Indonesia sebagai salah satu sumber energi alternatif.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Energi Angin

Energi angin merupakan sumber energi yang berasal dari energi matahari melalui radiasi panasnya di permukaan bumi yang berbeda-beda sehingga menimbulkan perbedaan temperatur dan rapat masa udara di permukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya perbedaan tekanan sehingga kemudian menjadi aliran udara. Aliran udara tersebut dapat dipercepat dengan adanya perputaran bumi pada prosnya dengan kecepatan putar konstan.⁴

Daftar yang dihasilkan pada poros suatu turbin merupakan transformasi energi kinetik yang terdapat pada aliran angin. Aliran angin yang bergerak dengan kecepatan tertentu diserap oleh susunan sudu dari turbin angin. Secara matematis, udara dengan massa m dan bergerak dengan kecepatan v , memiliki energi kinetik sebesar:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan demikian dapat dihitung daya aliran angin dalam satuan watt yaitu:

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2}\rho Av^3 \dots\dots\dots (2.2)$$

Dalam hal ini : P_w = daya angin (watt)

ρ = densitas uadara ($\rho = 1,184 \text{ kg/m}^3$)

⁴ Astu pudjanarsa & Djati nursuhud, Mesin Konversi Energi, (Yogyakarta: Andi Offset, 2006), hal.10

A = Luas penampang turbin (m^2)

V = kecepatan udara (m/s)

Daya angin maksimum yang dapat di ekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah :

$$P_T = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.3)$$

Angka $16/27$ (=59.3%) ini disebut batas Betz (*Betz limit*, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teoriti menunjukkan efesiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horizontal. Pada kenyataanya karena ada rugi – rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efesiensi aerodinamik dari roto (η), η rotor ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik.⁵

2.2 Potensi Tenaga Angin

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik.

Jadi, proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor, kemudian energi listrik. Besarnya energi listrik

⁵ Mentari Laila Rachmawati, *Rancang bangun kincir angin model savonius termodifikasi sebagai sumber energi terbarukan* (Surakarta :UNS,2010), hal.5

yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah sebagai berikut :⁶

- a. Rotor (turbin) sangat bervariasi jenisnya, dimana diameter roda akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter rotor, semakin besar pula listrik yang dihasilkan. Dilihat dari jumlah bilah rotor (baling-baling), bilah dengan jumlah sedikit berkisar antara 3 – 6 buah lebih banyak digunakan.
- b. Kecepatan Angin dimana kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.
- c. Jenis generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah.

Listrik yang dihasilkan dari Sistem Konversi Energi Angin akan bekerja optimal pada siang hari dimana angin berhembus cukup kencang dibandingkan dengan malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasinya sistem ini sebaiknya tidak langsung namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media baterai atau aki, sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan dapat digunakan kapan saja.

⁶ Habibie & M.Najib, Kajian Potensi Energi Angin di wilayah Sulawesi dan Maluku, (Jakarta : Puslitbang Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2011), hal.182.

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan turbin angin dan jari – jari 1 meter, dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 2.1 Tingkat Kecepatan angin⁷

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
1	0,00 – 0,02	-----
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan,
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon
6	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat
10	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Tornado

Klasifikasi angin pada kelompok 3 merupakan batas minimum dan angin pada kelompok 8 merupakan batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

⁷ Ibid, hal.183

2.3 Turbin Angin

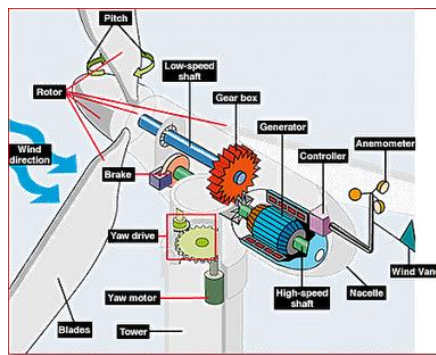
Turbin angin adalah turbin angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain - lain. Turbin angin terdahulu banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan Negara-negara Eropa lainnya. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin (turbin) disebut *windmill*. Jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka mesin disebut turbin angin atau *wind energy converter* (WEC).

Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional contohnya PLTD, PLTU, PLTA dan lain-lain. Turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui contohnya batubara dan minyak bumi sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau turbin angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin kemudian diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik melalui generator.⁸

⁸ Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Pusat Penelitian dan Pengembangan. Kajian potensi energi angin di wilayah Indonesia timur (Jakarta: BMKG, 2010) h. 6

Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Secara sederhana sketsa turbin angin digambarkan pada gambar 2.1 Berikut adalah komponen-komponen dari turbin angin antara lain:⁹



Gambar 2.1 Struktur Turbin Angin

- a. *Anemometer*: Mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke Alat Pengontrol.
- b. Bilah (Bilah Kipas): Kebanyakan turbin angin mempunyai 2 atau 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.
- c. *Brake* (Rem): Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolis untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.
- d. *Controller* (Alat Pengontrol): Alat Pengontrol ini men-*start* turbin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan kemudian mematakannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin

⁹ Apri wiyono. Desain dan analisis konvogurasi turbin angin savonius darrieus terhadap momen dan force (Jakarta:Universitas Negeri Jakarta, 2014) hal.9

tidak beroperasi di atas 90 km/jam. Hal ini dikarenakan tiupan angin yang terlalu kencang dapat merusakkannya.

- e. *Gear box* (Roda Gigi): Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi sekitar 1000-1800 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.
- f. *Generator*: Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak-balik.
- g. *High-speed shaft* (Poros Putaran Tinggi): Poros yang berfungsi untuk menggerakkan generator.
- h. *Low-speed shaft* (Poros Putaran Rendah): Poros yang berfungsi meneruskan putaran dari bilah turbin menuju generator.
- i. *Nacelle* (Rumah Mesin): Rumah mesin ini terletak di atas menara . Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
- j. *Pitch* (Bilah Bilah Kipas): Bilah kipas dapat diatur bilahnya sesuai dengan kecepatan rotor yang dikehendaki. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang.
- k. *Rotor*: Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.
- l. *Tower* (Menara): Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, ataupun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga angin yang didapat.

- m. *Wind direction* (Arah Angin): Adalah turbin yang menghadap angin. Desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang.
- n. *Wind vane* (Tebeng Angin): Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
- o. *Yaw drive* (Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
- p. *Yaw motor* (Motor Penggerak Arah): Motor listrik yang menggerakkan *Yaw drive*.

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:¹⁰

- a. Jenis *drag* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan selisih koefisien *drag*.
- b. Jenis *lift* yaitu prinsip konversi energi yang memanfaatkan gaya *lift*.

Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui bilah rotor atau rotor

¹⁰ Setiadi Wira Buana. Desain dan Analisis Karakteristik Propeller Turbin Angin Lima Bilah (Jakarta : UNJ, 2012), hal.7

angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis bilah. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya *drag* memiliki putaran rotor relatif rendah dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya *lift*.

Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu Turbin angin sumbu horizontal (TASH) dan Turbin angin sumbu vertikal (TASV).

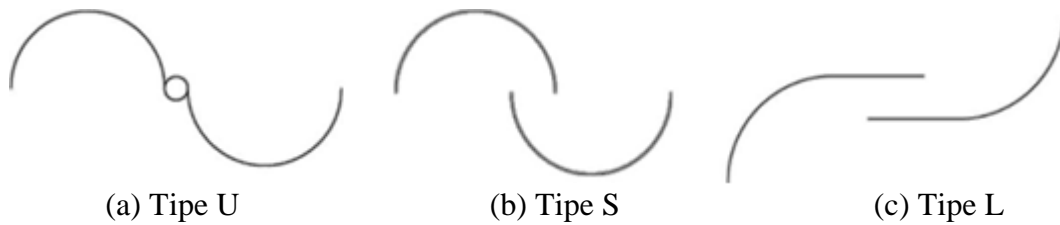
2.3.1 Turbin Angin Savonius

Turbin angin tipe Savonius ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922, Turbin yang termasuk dalam kategori VAWT ini memiliki sudu dengan bentuk setengah silinder. Prinsip kerjanya berdasarkan *differential drag windmill*.¹¹ Keuntungan utama Savonius adalah torsi awal yang sangat tinggi dan konstruksi sederhana. Kelemahannya adalah berat material dan kesulitan merancang rotor untuk menahan kecepatan angin yang tinggi. Kelemahan ini mungkin bisa diatasi dengan rekayasa yang baik jika efisiensi turbin cukup tinggi untuk membenarkan teknik yang dibutuhkan.¹²

Pada perkembangannya turbin *Savonius* ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, tipe turbin angin *Savonius* di bawah ini, terlihat dari bagian atas yaitu:

¹¹ Novri Tanti, Arnetto Alditihan, *pembuatan program perancangan turbin savonius tipe-u untuk pembangkit listrik tenaga angin*, (Bandar Lampung: Teknik Mesin Universitas Lampung, 2011), hal.9

¹² Johnson, Gary L, *Wind Energy System*, (Manhattan KS, 2006), hal.17



Gambar 2.2 Tipe Turbin *Savonius*

- a. *Savonius* tipe U sangat kuat karena terpusat di tengah atau pusat batang, tetapi kurang efisien dibandingkan dengan dua tipe *savonius* lainnya.
- b. Desain *savonius* tipe S ini juga sangat sederhana dan juga dapat dirancang dengan mudah dari drum. Desain *savonius* ini sedikit lebih efisien daripada tipe *savonius* di atas karena beberapa aliran udara dibelokkan oleh kedua bilah lalu keluar pada salah satu sisinya.
- c. *Savonius* tipe L ini adalah desain yang paling efisien dari kincir angin *savonius*. *Savonius* tipe L ini 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 angkat kecil sehingga meningkatkan efisiensi.

Keunggulan VAWT (*Vertikal Axis Wind Turbine*) tipe *drag* terhadap HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) yaitu, bentuk bilah yang sederhana, rendah *noise*, kerja pada aliran turbulensi lebih baik, memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dinamo dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan,

tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada HAWT. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan turbin angin sumbu horisontal. Turbin tipe ini banyak digunakan untuk konversi energi listrik skala kecil.¹³

Panjang lengkung sudu adalah panjang sudu turbin yang diukur melalui panjang keliling lingkarannya dimana panjang sudu turbin *savonius* umumnya adalah $\frac{1}{2}$ lingkaran, panjang lengkung sudu ini masih bisa divariasikan menjadi lebih panjang dari $\frac{1}{2}$ lingkaran untuk dicari performa terbaiknya pada turbin angin *savonius* tipe U.¹⁴

2.4 Pengaruh *Overlap Ratio*

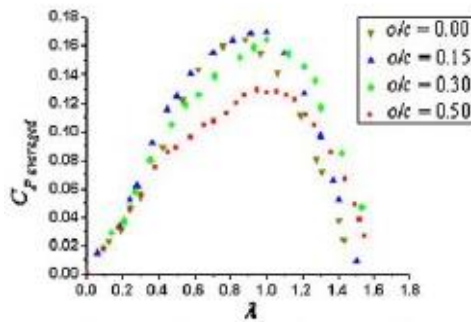
Pengaruh dari *overlap ratio* dapat ditunjukkan dari persamaan berikut :

$$\beta = \frac{e}{d} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana e adalah *overlap* (m) dan d adalah diameter bilah (m). Nilai e' berdasarkan beberapa penelitian menyatakan bahwa performa terbaik untuk turbin *Savonius* didapat saat $e' = 0$. Efisiensi terbaik didapat saat nilai *overlap ratio* yaitu 15% dari diameter bilah, seperti ditunjukkan pada gambar berikut.

¹³ Mentari Laila Rachmawati, Op.cit, h.12-13

¹⁴ Andri Kusbiantoro, Rudy Soenoko, Djoko Sutikno. Pengaruh panjang lengkung sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal savonius, (Malang:Teknik Mesin Universitas Brawijaya,2013)

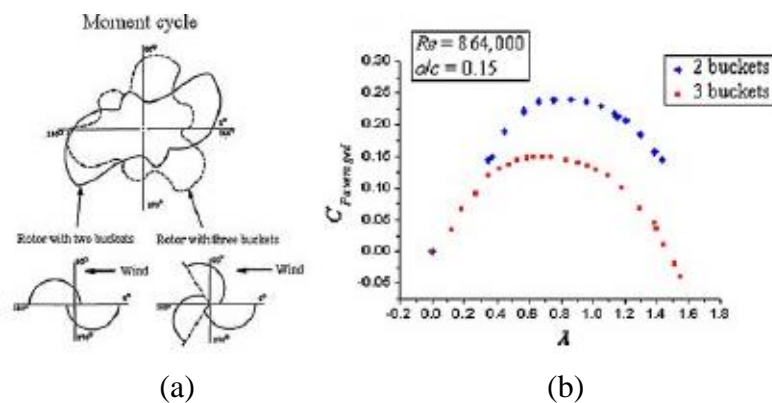


Gambar 2.3 Grafik pengaruh *overlap ratio*

Performa turbin terbaik juga dapat dicapai saat *overlap ratio* bernilai 10% - 15%, maupun bernilai 20% - 30% dan bernilai 0,2.

2.5 Pengaruh Jumlah Bilah

Getaran dinamis dan momen statik dari rotor *savonius* sepanjang posisi angular dari *advancing bucket* dapat dikurangi dengan penambahan jumlah bilah. Penambahan jumlah bilah secara signifikan mengurangi nilai posisi angular untuk *advancing bucket*. Penambahan jumlah bilah ini mengakibatkan momen rotor relatif rendah. Penambahan jumlah bilah juga memungkinkan bilah berada diposisi yan tepat agar kemampuan untuk mengkonversi momentum aliran udara bertambah. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut.



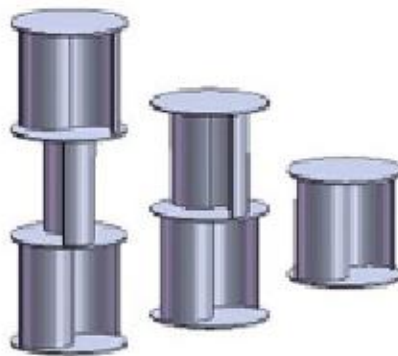
Gambar 2.4 Pengaruh jumlah bilah (a) Posisi angular terhadap momen; (b)

Pengaruh terhadap nilai C_p dan TSR

Berdasarkan gambar diatas, *Savonius* dengan bilah memiliki power koefisien lebih tinggi daripada turbin dengan tiga bilah. Turbin dua bilah lebih efisien daripada turbin tiga bilah. Turbin dua bilah memiliki nilai *cut-in* lebih rendah dan torsi yang lebih tinggi dibandingkan turbin dengan tiga bilah.¹⁵

2.6 Pengaruh Jumlah Tingkat

Starting torque merupakan kriteria yang utama. *Starting torque* dapat ditinjau dari beberapa arah kecepatan angin yang berpengaruh pada torsi awal. Torsi awal dari rotor *Savonius* konvensional sangat rendah sehingga rotor tidak dapat *start* dengan sendirinya. Beberapa penelitian menyatakan bahwa dengan diberi tambahan tingkat pada rotor dapat mengatasi masalah tersebut. Penambahan tingkat ini dilakukan dengan mengatur bilah pada tingkat pertama dengan bilah pada tingkat kedua sebesar 90° pada turbin dua bilah.¹⁶



Gambar 2.5 Turbin *Savonius* bertingkat

¹⁵ Satriya Riskiyanto, *Perancangan turbin angin tipe savonius dua tingkat dengan kapasitas 100 watt untuk gedung syariah hotel solo* (Surakarta: UNS, 2015), hal.18

¹⁶ Ibid, hal.19

2.7 Torsi, Daya dan Kecepatan

Gaya tangensial pada bilah ditimbulkan oleh adanya komponen daya angkat pada bidang putar, dikurangi dengan kemampuan daya seret (hambat) yang berlawanan arah. Gaya tangensial pada rotor ini mempunyai jarak (lengan) tertentu pada sumbu putar (poros) dan hasil kali kedua besaran ini disebut dengan torsi (τ). Sehingga torsi dapat ditulis pada persamaan di bawah ini :

$$\tau = r \times F \dots\dots\dots (2.5)$$

Besarnya torsi total yang bekerja pada suatu benda tegar maka dapat digunakan untuk menentukan besar percepatan bilahnya dapat dihubungkan dengan persamaan di bawah ini :

$$\tau = I \times \alpha \dots\dots\dots (2.6)$$

Jika kemudian rotor ini berputar dengan kecepatan tertentu pula (ω), maka berdasarkan hubungan antara torsi dengan kecepatan bilah, daya turbin (P) yang timbul dapat dihitung menurut persamaan di bawah ini :

$$P = \tau \times \omega \dots\dots\dots (2.7)$$

Dalam hal ini :

τ = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

P = Daya (watt)

Jika bilah ω dalam radian, satuan kecepatan bilah adalah radian per sekon (rad/s). Satuan lain yang digunakan adalah putaran (revolusi) per menit

(rev/menit atau rpm). Konversi yang menghubungkan rpm dengan rad/s dapat ditunjukkan pada persamaan. Karena 1 putaran = 2π rad, maka:¹⁷

$$1 \frac{\text{rev}}{\text{s}} = 2\pi \omega \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \text{ dan } 1 \frac{\text{rev}}{\text{menit}} = 1 \text{ Rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.8 Power Coefficient dan Tip Speed Ratio

Power coefficient atau *coefficient of power* (C_p) ini sering kali digunakan sebagai acuan nilai performa dari turbin angin. C_p sendiri adalah perbandingan antara daya yang mampu dihasilkan oleh turbin dengan daya total dari angin yang melalui turbin. Nilai C_p dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$C_p = \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{angin}}} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$C_p = \frac{P_{\text{turbin}}}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot A}$$

Tip speed ratio (λ) adalah perbandingan antara kecepatan pada ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Pada kecepatan angin nominal tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Nilai *tip speed ratio* ini dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{\pi DN}{60 V_{\text{max}}} \dots\dots\dots (2.10)$$

¹⁷ Mentari Laila Rachmawati, Op.cit, h.14

dimana :

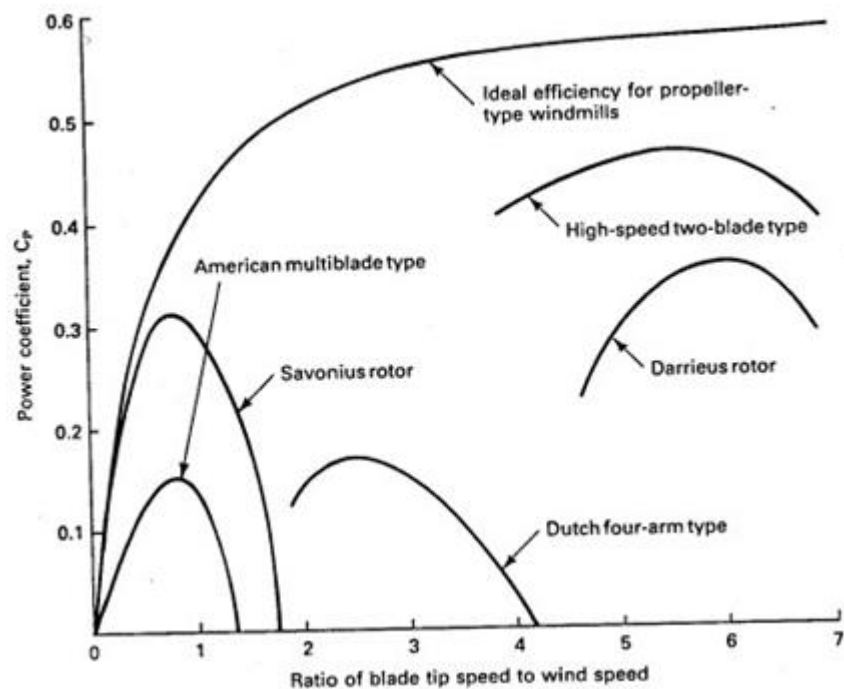
$\lambda = \text{tip speed ratio}$

$D = \text{diameter rotor (m)}$

$N = \text{putaran rotor (rpm)}$

$V_{\text{max}} = \text{kecepatan angin maksimum (m/s)}$

Nilai koefisien daya dan *tip speed ratio* ini akan berbeda dan tergantung pada tipe turbin yang digunakan, perbedaan koefisien daya ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.6 Typical Performances of wind machines
(Wind Energy Systems by Dr. Gary L. Johnson, 2006)

Berdasarkan gambar diatas, hubungan antara nilai CP dan TSR untuk turbin angin tipe *Savonius* konvensional didapatkan nilai CP tertinggi sebesar

0,18 pada TSR. Turbin angin *Savonius* tidak menghasilkan daya lagi ketika TSR berada pada nilai 1,5 ke atas.¹⁸

2.9 Teori Momentum Elementer betz

Albert Betz seorang aerodinamikawan Jerman adalah orang pertama yang memperkenalkan teori tentang turbin angin. Ia mengasumsikan bahwa, suatu turbin mempunyai bilah – bilah yang tak terhingga jumlahnya dan tanpa hambatan. Juga diasumsikan bahwa aliran udara di depan dan di belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (aliran laminar).

Dalam sistem konversi angin, energi mekanik turbin hanya dapat diperoleh dari energi kinetik yang tersimpan dalam aliran angin, berarti tanpa perubahan aliran massa udara, kecepatan angin di belakang turbin haruslah mengalami penurunan. Dan pada saat yang bersamaan luas penampang yang dilewati angin haruslah lebih besar, sesuai dengan persamaan kontinuitas.

Jika v_1 = kecepatan angin di depan rotor, v = kecepatan angin saat melewati rotor, dan v_2 = kecepatan angin di belakang rotor, maka daya mekanik turbin diperoleh dari selisih energi kinetik angin sebelum dan setelah melewati turbin.

Daya mekanik turbin adalah :

$$P_T = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3) \dots\dots\dots (2.11)$$

Dari persamaan kontinuitas diperoleh :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

¹⁸ Ibid, hal.21

Sehingga,

$$P_T = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3)$$

Jika $m = \rho V = \rho v_1 A_1$

Dengan menstubsitusi persamaan (2.4) ke persamaan (2.3) menjadi :

$$P_T = \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_2^2)$$

Dimana :

A_1 = luas penampang di depan turbin

A_2 = luas penampang dibelakang turbin

ρ = massa jenis angin

m = massa angin

Dari persamaan ini dapat disimpulkan bahwa untuk mendapat daya mekanik maksimum, v_2 harus bernilai nol tetapi pada kenyataanya tidaklah mungkin. Jika $v_2 = 0$, v_1 haruslah bernilai nol yang berarti tidak terjadi aliran udara sehingga tidak ada daya yang dihasilkan. Untuk mendapatkan rasio ini diperlukan suatu persamaan yang menunjukkan daya mekanik turbin.

Gaya yang bekerja pada turbin

$$F_T = m (v_1 - v_2) \dots\dots\dots (2.13)$$

Maka daya turbin adalah

$$P_T = F_T v = m (v_1 - v_2) v$$

Dari persamaan (2.5) dan (2.6)

$$\frac{1}{2} m (V_1^2 - V_2^2) = m (V_1 - V_2) v$$

$$\frac{1}{2} m (V_1^2 + V_2^2) (V_1 - V_2) = m (V_1 - V_2) v$$

$$V = \frac{\frac{1}{2} m (v_1 + v_2) (v_1 + v_2) v}{m (v_1 - v_2)}$$

$$V = \frac{1}{2} (v_1 + v_2)$$

Sehingga kecepatan aliran pada turbin sebanding dengan nilai v_1 dan v_2 .

Aliran massa udara menjadi

$$m = \rho A v = \frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \dots\dots\dots (2.14)$$

Daya mekanik turbin menjadi

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \right] [(v_1^2 - v_2^2)] \\ &= \frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \end{aligned}$$

Sehingga perbandingan daya mekanik turbin dan daya keluaran teoritiknya, yang biasa disebut sebagai faktor daya (C_p) adalah

$$CP = \frac{P_T}{P_w} = \frac{\frac{1}{4}\rho A(v_1+v_2)(v_1^2-v_2^2)}{\frac{1}{2}\rho A v_1^3}$$

C_p maksimum diperoleh apabila yang menghasilkan nilai sebesar $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$

Dimana menghasilkan nilai sebesar 0,593. Ini berarti, meski dengan asumsi ideal, dimana aliran dianggap tanpa gesekan dan daya keluaran dihitung dengan tanpa mempertimbangkan jenis turbin yang digunakan, daya maksimum yang bisa diperoleh dari energi angin adalah 0,593 yang artinya hanya sekitar 60 % daya angin yang dapat dikonversi menjadi daya mekanik. Angka ini kemudian disebut faktor *Betz*.¹⁹

¹⁹ Farel h napitupulu & fritz maurit. *Uji eksperimental dan analisis pengaruh variasi kecepatan dan jumlah sudu terhadap daya dan putaran turbin angin vertical axis savonius dengan menggunakan sudu pengarah*, (Sumatra Utara: teknik mesin UNS, 2013) h. 51

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Operasional Penelitian

Dilihat berdasarkan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya maka penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi dan data supaya mengetahui pengaruh jumlah bilah manakah yang paling berpengaruh terhadap torsi dan putaran pada turbin savonius type U dan variasi L. Hasil dilihat dari korelasi antara kecepatan angin terhadap kecepatan putar turbin, torsi, daya, C_p , dan TSR yang dihasilkan untuk mendapatkan efisiensi.

3.2 Tempat dan Waktu

- a. Tempat Pembuatan : Lab. Produksi Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
- b. Tempat Pengujian : Universitas Negeri Jakarta
- c. Waktu Pembuatan : Februari – Maret 2017
- d. Waktu Pengujian : April 2017

3.3 Metode Penelitian

Dalam pengumpulan data, penulis menggunakan beberapa metode yang dapat membantu dalam penelitian ini. Metode tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Metode Kajian Pustaka

Penulis mengadakan studi literatur dari buku maupun jurnal-jurnal yang berhubungan dengan penentuan dimensi, ukuran turbin angin *Savonius* dan tipe – tipe Bilah dari jurnal – jurnal.

b. Metode Eksperimen

Penulis juga menggunakan metode eksperimen laboratorium. Penulis melakukan analisis beberapa bentuk dan jumlah Bilah dengan menggunakan bantuan *software Autodesk Inventor* untuk memilih tipe Bilah yang akan dibuat, setelah itu penulis akan membuat turbin angin *Savonius* secara fisik dan mengujinya dengan variasi jumlah Bilah. Pengujian dilakukan di Lab. Pneumatik dengan menggunakan blower pada kecepatan tertentu kemudian dianalisis untuk mencari *performance* turbin yang paling baik.

3.4 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam perancangan dan penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan peneliti adalah sebagai berikut :

a. *Microsoft Office Word 2010*

b. *Inventor 2016*

b. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Laptop

b. Buku dan jurnal yang digunakan sebagai referensi

c. Tachometer

d. Anemometer

e. Multimeter

3.5 Instrumen Pengujian

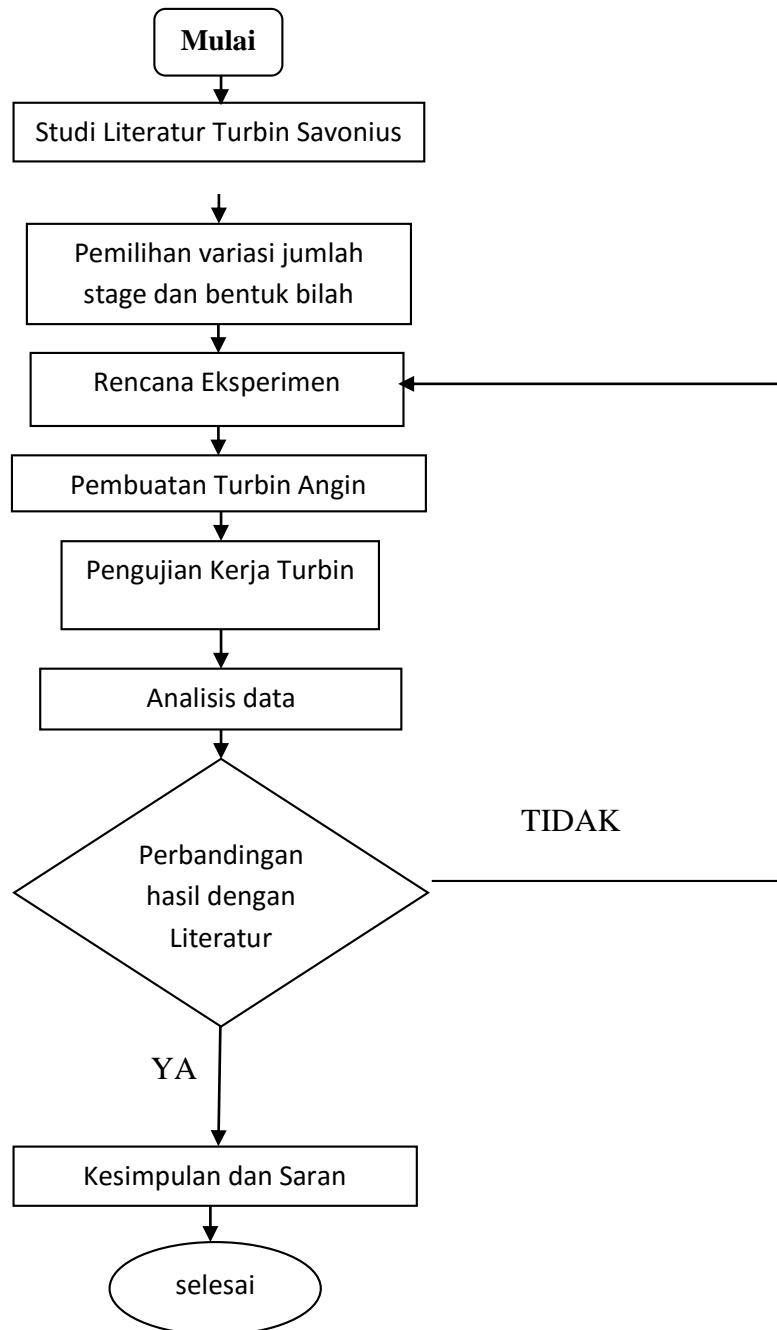
Alat ukur yang digunakan dalam perancangan prototipe turbin angin *Savonius* adalah:

- a. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang berhembus pada saat mendekati turbin.
- b. Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari rotor turbin.
- c. Multimeter digunakan untuk mengukur kuat arus dan tegangan yang dihasilkan generator.

3.6 Prosedur penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, dimulai dari studi pustaka kemudian dilanjutkan dengan perencanaan jumlah *stage*, melakukan analisis jumlah *stage*, perencanaan desain turbin tersebut. Setelah kajian selesai maka masuk kepada proses pembuatan dan diakhiri dengan proses pengujian kerja turbin dengan variasi jumlah *stage* yang ditentukan.

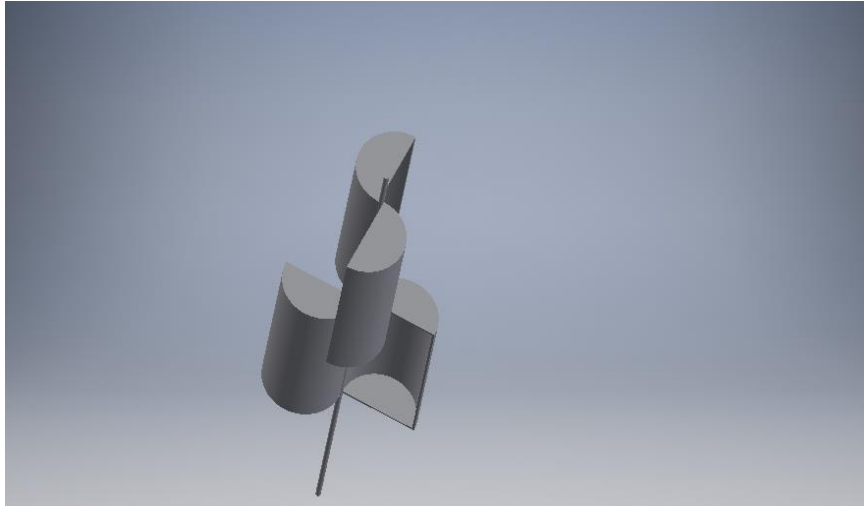
3.7 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.8 Perancangan

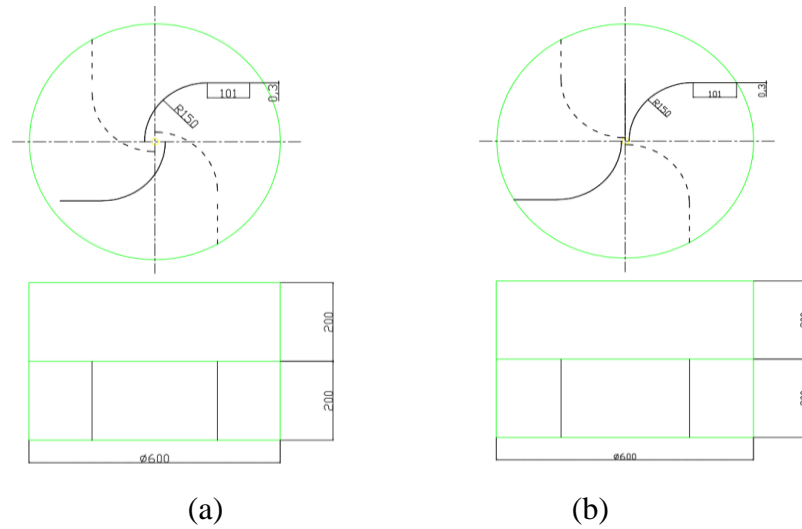
Tahap awal perancangan adalah dengan memilih tipe Bilah. Pada penelitian ini penulis memilih untuk menggunakan Bilah tipe U, Variasi L. Setelah itu penulis merancang desain turbin angin *Savonius*, mulai dari Bilah, poros dan rangka penyangga.



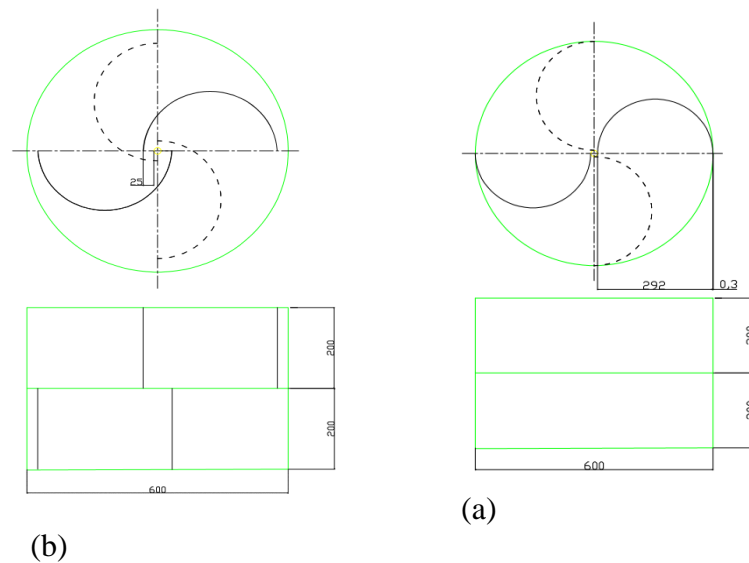
Gambar 3.2 Desain jumlah bilah turbin *savonius* tipe U



Gambar 3.3 Desain poros



Gambar 3.4 Bilah tipe L (a) Overlap (b) Non overlap

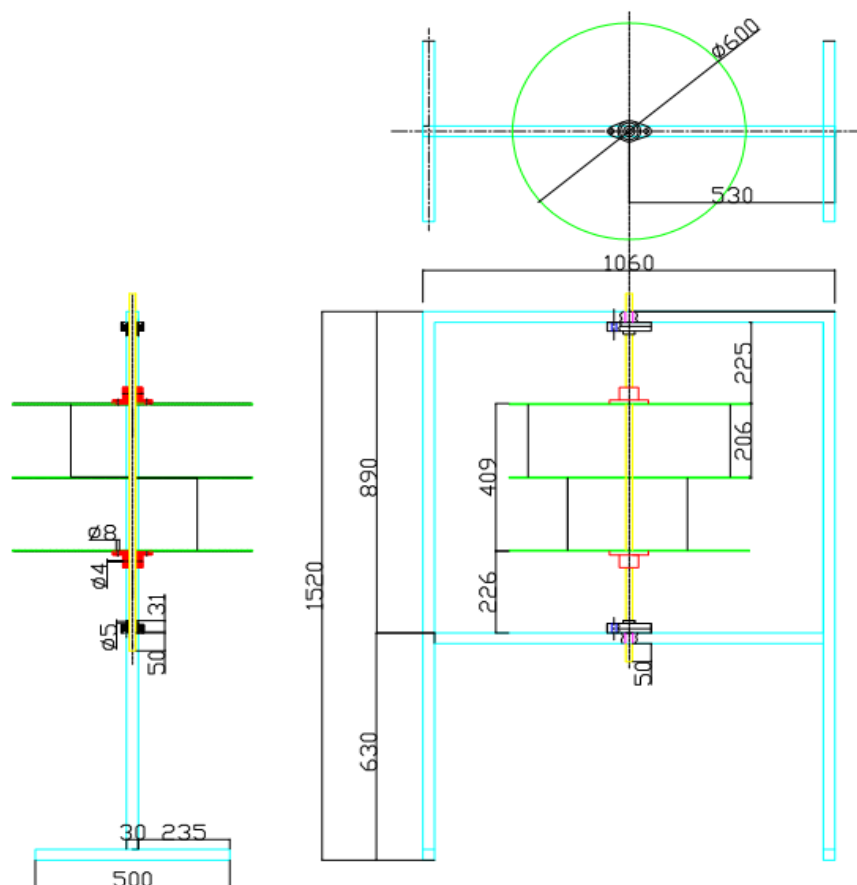


Gambar 3.5 Bilah tipe U (a) Overlap (b) Non overlap

3.9 Proses pengujian

Pengujian dilakukan dengan memasang rangka turbin, pengujian dilakukan di dua tempat, dimana Bilah turbin akan bergerak dialiri udara dari blower. Pada tiap Bilah akan dilihat pada kecepatan berapa turbin akan berputar (*starting speed point*) dan dilihat rpm nya pada kecepatan maksimum.

Kecepatan	Stage	U		L	
		Non Overlap	Overlap	Non Overlap	Overlap
2 m/s	I	✓	✓	-	-
3 m/s		✓	✓	-	-
4 m/s		✓	✓	-	-
5 m/s		✓	✓	-	-
2 m/s	II	✓	✓	✓	✓
3 m/s		✓	✓	✓	✓
4 m/s		✓	✓	✓	✓
5 m/s		✓	✓	✓	✓



Gambar 3.6 Sketsa Pengujian Turbin

3.10 Uraian pembuatan sampel sebagai berikut:

3.10.1 Pembuatan Bilah Savonius

Pada perancangan ini dibentuk sebuah bilah *savonius* dengan tipe U dan L yang memiliki berdimensi sebagai berikut:

- a. Bilah U : Panjang 30 cm, Tinggi 40 cm, Tebal Plat 0.3 mm
- b. Bilah L : Radius 150, Tinggi 40 cm, Panjang 11cm, Tebal Plat 0,3 mm

3.10.2 Pembuatan Rangka

Rangka menggunakan besi *hollow* dengan ukuran 30 mm x 30 mm x 3.0 mm. Besi dipotong sesuai ukuran. Setelah itu, dilakukan pengelasan untuk menghubungkan bagian-bagian yang bersinggungan dan di beri lubang untuk dudukan turbin *savonius*. Rangka ini diharapkan mampu menopang turbin beserta komponen-komponen lainnya.

3.10.3 Spesifikasi Komponen

Tabel 3.1 Spesifikasi Komponen

No	Nama Komponen	Qty	Bahan		Dimensi
			Nama Bahan / Remark	Komposisi Bahan	
1	Sudu	4	Alumunium Plat	-	U = Diameter 30 cm L1 = radius 150 panjang 11 cm
2	Bearing	2	NTN UCFL 203D1	-	-

3	Poros	1	Aluminium	Aluminium	Diameter = 17 mm, Panjang 1 meter
4	Rangka	1	Besi Hollow	Steel ASTM 36	P = 106 cm T = 152 cm
5	Tutup Blade	3	Polycarbonat	-	Diameter = 60 cm
6	Fleng	2	Polyethelene	-	Diameter = 100 cm Tinggi = 5 cm

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

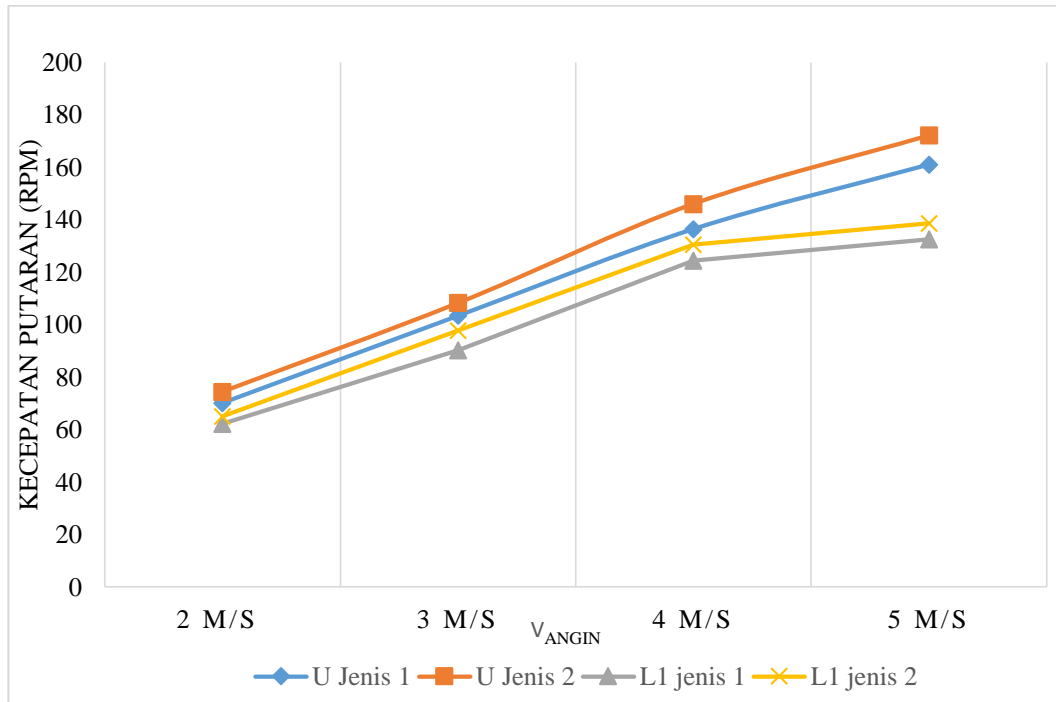
4.1 Pengujian Kecepatan Putar (RPM)

Pada pengujianya turbin angin di letakkan tepat di posisi peletakkan anemometer. Hal ini bertujuan agar angin yang di terima oleh turbin akan sama besarnya dengan angin yang terukur oleh anemometer pada pengukuran sebelumnya. Pengukuran yang dilakukan yaitu menggunakan metode penambahan tegangan masukan pada *blower* sebagai variasi kecepatan angin, yaitu 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s.

Pengukuran kecepatan turbin (RPM) menggunakan tachometer digital. Tachometer ini menggunakan sinar laser yang dapat membaca setiap putaran benda. Pengukuran dilakukan secara manual dengan cara menembakan tachometer ke arah poros yang terpasang pada turbin. Sebelum pengukuran poros diberi kertas khusus hal ini bertujuan agar ketika turbin berputar sinar laser dari tachometer dapat membaca setiap pantulan kertas tersebut sebagai indikator dalam penentuan nilai RPM.

Tabel 4.1 RPM turbin *savonius non overlap* tanpa beban

$V_{\text{angin}}(\text{m/s})$	RPM <i>Savonius Non-Overlap</i> Tanpa Beban			
	U Jenis 1	U Jenis 2	L Jenis 1	L Jenis 2
2 m/s	70.2	74.5	62.2	65.1
3 m/s	103.4	108.3	90.3	97.8
4 m/s	136.5	148.1	124.4	130.5
5 m/s	161.1	172.2	132.5	138.6



Gambar 4.1 Grafik hubungan kecepatan angin non overlap dengan kecepatan rotor turbin angin tanpa beban

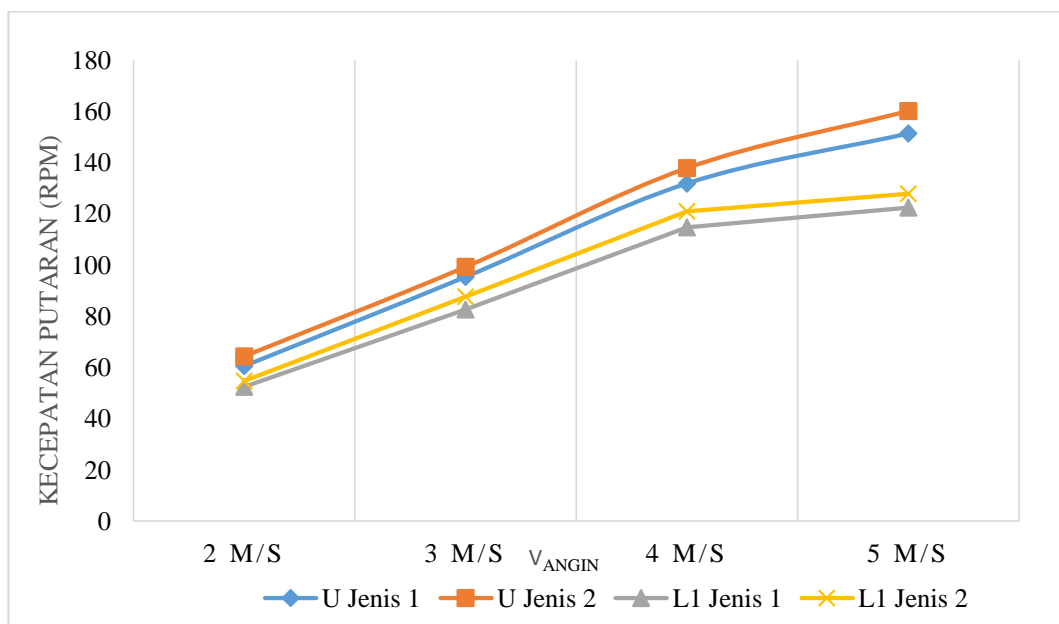
Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan kecepatan turbin (RPM). Semakin besar kecepatan angin semakin besar pula RPM turbin pada setiap jumlah *stage*.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa bilah tipe U memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan bilah tipe L, hal ini dikarenakan terdapat gaya drag pada bilah L yang mengakibatkan *starting torque* menjadi lebih berat.

Pada bilah U hasil RPM terbaik didapatkan pada bilah U Jenis 2 hal ini di karenakan bilah U jenis 2 menggunakan 1 poros sehingga putaran turbin menjadi lebih stabil. Hasil tersebut didapatkan pula pada Bilah L dimana bilah L jenis 2 memiliki RPM terbaik dibandingkan bilah L jenis 1.

Tabel 4.2 RPM turbin *savonius* non overlap dengan beban

$V_{\text{angin}}(\text{m/s})$	RPM <i>Savonius</i> Non-Overlap Dengan Beban			
	U Jenis 1	U Jenis 2	L Jenis 1	L Jenis 2
2 m/s	60.5	64.3	52.3	54.7
3 m/s	95.3	99.2	82.5	87.6
4 m/s	131.8	137.8	114.6	120.8
5 m/s	151.3	160.1	122.4	127.7

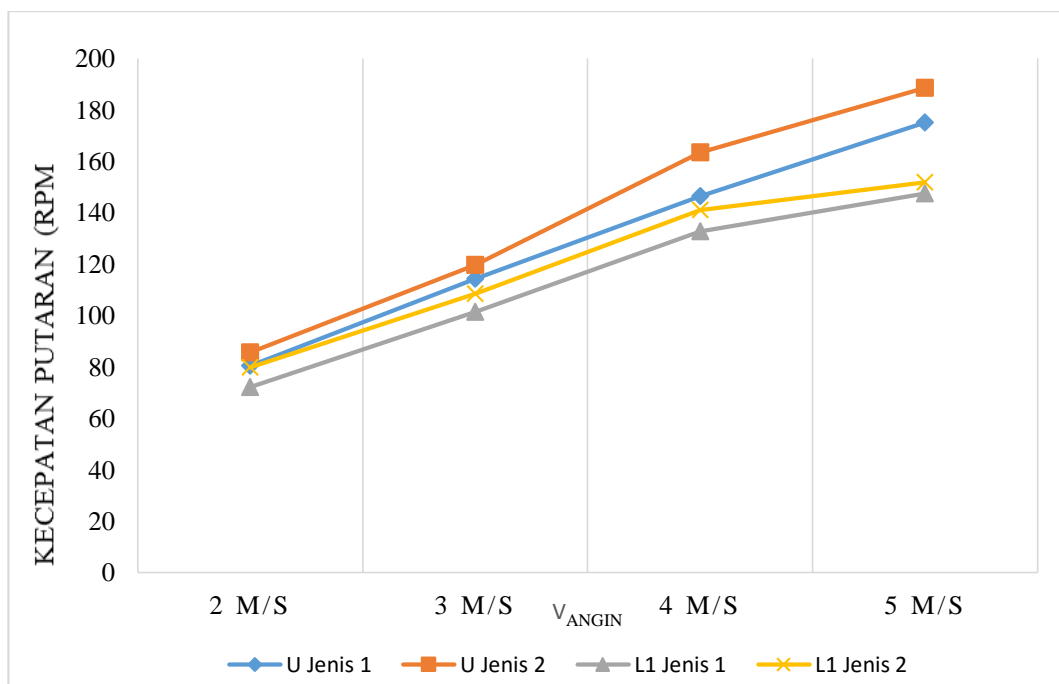


Gambar 4.2 Grafik hubungan kecepatan angin non overlap dengan kecepatan rotor turbin angin dengan beban

Berdasarkan gambar 4.2 menunjukkan bahwa bilah tipe U non overlap memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan bilah tipe L, meskipun diberikan beban generator.

Tabel 4.3 RPM Turbin *Savonius* Overlap 5cm Tanpa Beban

$V_{\text{angin}}(\text{m/s})$	RPM <i>Savonius</i> Overlap 2.5 Tanpa Beban			
	U Jenis 1	U Jenis 2	L Jenis 1	L Jenis 2
2 m/s	80.5	85.7	72.1	79.8
3 m/s	114.2	119.7	101.4	108.4
4 m/s	146.3	163.3	132.6	140.9
5 m/s	175.1	188.4	147.5	151.7

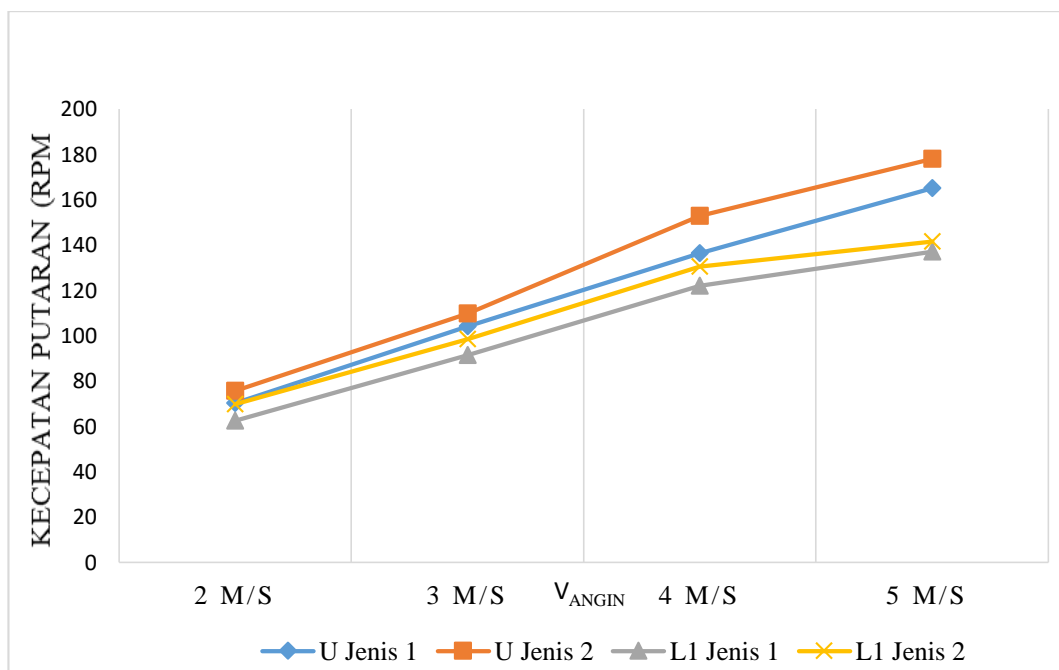


Gambar 4.3 Grafik hubungan kecepatan angin overlap 5cm dengan kecepatan rotor turbin angin tanpa beban

Berdasarkan gambar 4.3 menunjukkan bahwa bilah tipe U *overlap 5cm* memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan bilah tipe L, hal ini dikarenakan terdapat gaya drag pada bilah L yang mengakibatkan *starting torque* menjadi lebih berat.

Tabel 4.4 RPM turbin *savonius* overlap 5cm dengan beban

$V_{\text{angin}}(\text{m/s})$	RPM <i>Savonius</i> Overlap 5cm Dengan Beban			
	U Jenis 1	U Jenis 2	L Jenis 1	L Jenis 2
2 m/s	70.2	75.7	62.5	69.7
3 m/s	104.2	109.7	91.4	98.5
4 m/s	136.3	152.8	122.1	130.6
5 m/s	165.1	178.1	137.2	141.5



Gambar 4.4 Grafik hubungan kecepatan angin overlap 5cm dengan kecepatan rotor turbin angin dengan beban

Berdasarkan gambar 4.2 dan 4.4 menunjukkan bahwa penambahan *overlap* 2.5 pada bilah *savonius* memiliki kecepatan lebih besar dari bilah *savonius* non *overlap*. Hal ini dikarenakan pengaruh dari penambahan *overlap* yang membantu aliran mengurangi gaya *drag* pada bilah dan menambah daya dorong sehingga putaran bilah menjadi lebih maksimal.

Peningkatan RPM ini disebabkan karena adanya celah seperti terowongan udara yang terdapat pada Bilah dengan *Overlap* 2.5 cm sehingga aliran udara yang menabrak bilah turbin dapat dialirkan ke bilah lainnya.

4.2 Analisa Daya Pengukuran Tegangan dan Arus

Pengukuran daya keluaran dilakukan dengan mengukur tegangan pada beban dan kuat arus yang dihasilkan oleh dinamo setelah diberikan beban hambatan LED super bright menggunakan multimeter. Hasil data pengukuran arus dan tegangan dapat dilihat pada lampiran. Dan rata – rata hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel. 4.5

Tabel 4.5 Daya arus dan tegangan turbin angin *savonius* non overlap

Vangin (m/s)	U Jenis 1			L Jenis 1		
	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	0.0145	0.58	60.5	0.014	0.55	52.3
3 (m/s)	0.0176	0.69	95.3	0.017	0.66	82.5
4 (m/s)	0.021	0.81	131.8	0.0192	0.76	114.6
5 (m/s)	0.023	0.94	151.3	0.0211	0.8	122.4

Vangin (m/s)	U Jenis 2			L Jenis 2		
	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	0.0151	0.59	64.3	0.0143	0.56	54.7
3 (m/s)	0.0185	0.72	95.3	0.0172	0.67	87.6
4 (m/s)	0.021	0.84	131.8	0.021	0.79	120.8
5 (m/s)	0.0238	0.96	151.3	0.021	0.8	129.1

Tabel 4.6 Daya arus dan tegangan turbin angin *savonius overlap 5cm*

Vangin (m/s)	U Jenis 1			L Jenis 1		
	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	15.6	0.61	70.2	14.8	0.58	62.5
3 (m/s)	18.5	0.73	104.2	17.4	0.68	91.4
4 (m/s)	21.3	0.84	136.1	21	0.8	122.1
5 (m/s)	24	0.97	165.1	21.2	0.84	137.2

Vangin (m/s)	U Jenis 2			L Jenis 2		
	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	15.7	0.62	75.5	15.3	0.6	69.7
3 (m/s)	18.6	0.75	109.2	18.4	0.71	98.5
4 (m/s)	23	0.94	152.8	21	0.8	130.6
5 (m/s)	24	1.01	178.1	21.4	0.85	141.5

4.3 Daya Turbin Angin *Savonius*

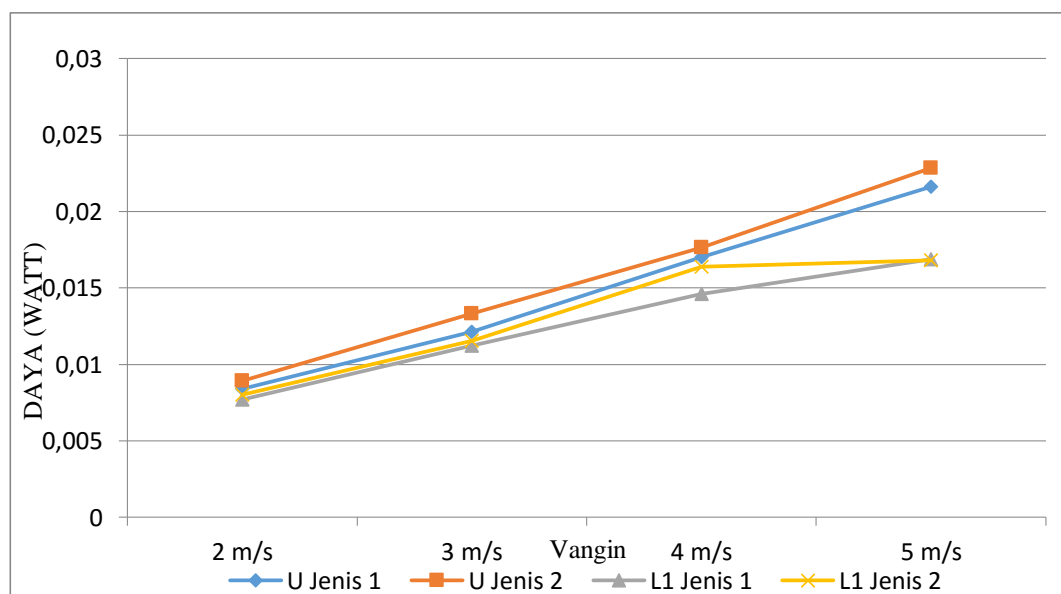
Data pengujian tegangan dan kuat arus yang dihasilkan turbin dapat dijadikan perhitungan untuk daya keluaran yang dihasilkan turbin pada setiap kecepatan angin yang ditentukan. Dengan menggunakan persamaan $P = I \times A$ maka daya keluaran dapat dihitung.

Hasil perhitungan daya yang dihasilkan turbin angin *Savonius* dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.7 Daya turbin angin *savonius non overlap*

Vangin (m/s)	U Jenis 1				L Jenis 1			
	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	0.00841	0.0145	0.58	60.5	0.0077	0.014	0.55	52.3
3 (m/s)	0.012144	0.0176	0.69	95.3	0.01122	0.017	0.66	82.5
4 (m/s)	0.01701	0.021	0.81	131.8	0.014592	0.0192	0.76	114.6
5 (m/s)	0.02162	0.023	0.94	151.3	0.01688	0.0211	0.8	122.4

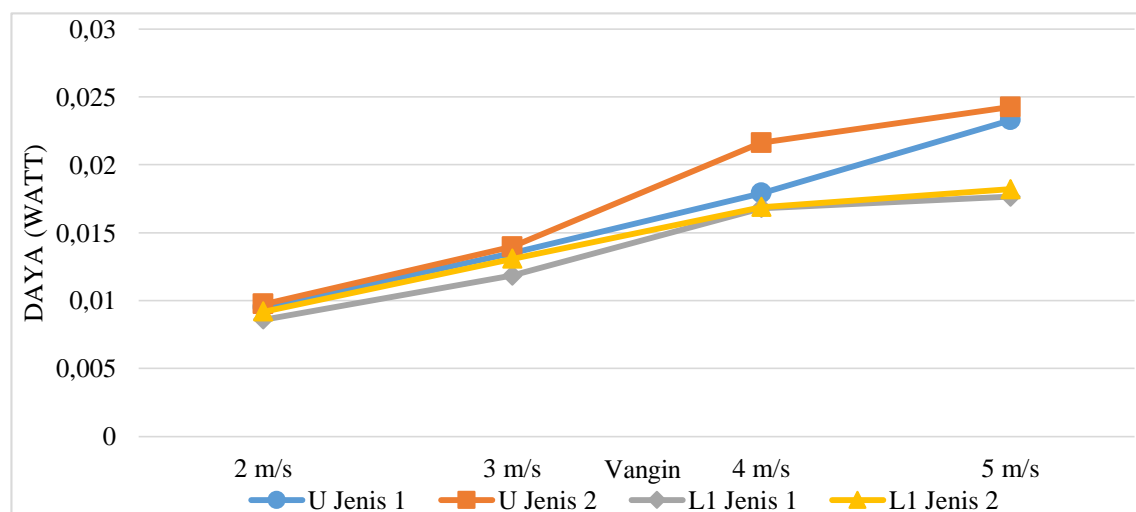
Vangin (m/s)	U Jenis 2				L Jenis 2			
	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	0.008909	0.0151	0.59	64.3	0.008008	0.0143	0.56	54.7
3 (m/s)	0.01332	0.0185	0.72	99.2	0.011524	0.0172	0.67	87.6
4 (m/s)	0.01764	0.021	0.84	137.8	0.01659	0.021	0.78	120.8
5 (m/s)	0.022848	0.0238	0.96	160.1	0.0168	0.021	0.8	129.1

**Gambar 4.5** Grafik hubungan kecepatan angin terhadap daya keluaran pada turbin angin *savonius non overlap*

Tabel 4.8 Daya turbin angin *savonius overlap 5cm*

Vangin (m/s)	U Jenis 1				L Jenis 1			
	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	0.009516	15.6	0.61	70.2	0.008584	14.8	0.58	62.5
3 (m/s)	0.013505	18.5	0.73	104.2	0.011832	17.4	0.68	91.4
4 (m/s)	0.017892	21.3	0.84	136.1	0.0168	21	0.8	122.1
5 (m/s)	0.02328	24	0.97	165.1	0.01764	21.2	0.84	137.2

Vangin (m/s)	U Jenis 2				L Jenis 2			
	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm	Watt (P)	Kuat Arus (A)	Tegangan (V)	Rpm
2 (m/s)	0.009734	15.7	0.62	75.5	0.00918	15.3	0.6	69.7
3 (m/s)	0.01395	18.6	0.75	109.2	0.013064	18.4	0.71	98.5
4 (m/s)	0.02162	23	0.94	152.8	0.01688	21	0.8	130.6
5 (m/s)	0.02424	24	1.01	178.1	0.01819	21.4	0.85	141.5

**Gambar 4.6** Grafik hubungan kecepatan angin terhadap daya keluaran pada turbin angin *savonius overlap 5cm*

Berdasarkan grafik 4.5 dan 4.6 dapat dibandingkan antara turbin *savonius non overlap* dan *overlap 5cm* menunjukkan bahwa turbin *savonius overlap 5cm* memiliki daya yang lebih besar.

Daya turbin *savonius* minimal dihasilkan oleh tipe L jenis 1 *non overlap* sebesar 0.0077 pada kecepatan 2 m/s dan maksimal di hasilkan oleh tipe U jenis 2 *overlap 2.5* sebesar 0.02424 pada kecepatan 5 m/s.

Hasil ini menunjukkan bahwa daya keluaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan besar tegangan dan kecepatan turbin yang diperoleh, dimana ketika kecepatan angin semakin besar maka daya keluaran turbin yang dihasilkan semakin besar. Kecepatan turbin (RPM) di pengaruhi oleh gaya yang bekerja pada tubin yaitu gaya hambat dan gaya angkat. Maka bilah tipe U memiliki kecepatan lebih tinggi dibandingkan bilah L dikarenakan gaya hambat (*Drag*) pada bilah U lebih rendah.

4.4 Perhitungan Teoritis

Perhitungan daya (P_{in}) turbin secara teoritis dapat dituliskan dengan menggunakan rumus :

$$P_{in \max} = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\text{angin}}^3$$

(Perhitungan lengkap Terlampir 1 pada halaman 71)

Hasil perhitungan $P_{in \max}$ dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil perhitungan daya secara teoritis

V_{angin} (m/s)	$P_{in \max}$ <i>Savonius</i>
2 m/s	1.202
3 m/s	4.058
4 m/s	9.619
5 m/s	18.788

4.5 Analisa Torsi Pada Bilah Turbin Angin *Savonius*

Torsi adalah sebuah gaya untuk mengubah gerak rotasi dari sebuah benda. Oleh sebab itu turbin angin pasti mempunyai nilai torsi saat berputar di setiap kecepatan anginya. Torsi dari turbin didapat dari daya keluaran turbin dibagi dengan kecepatan bilah turbin itu sendiri.

Untuk mencari torsi dapat menggunakan persamaan

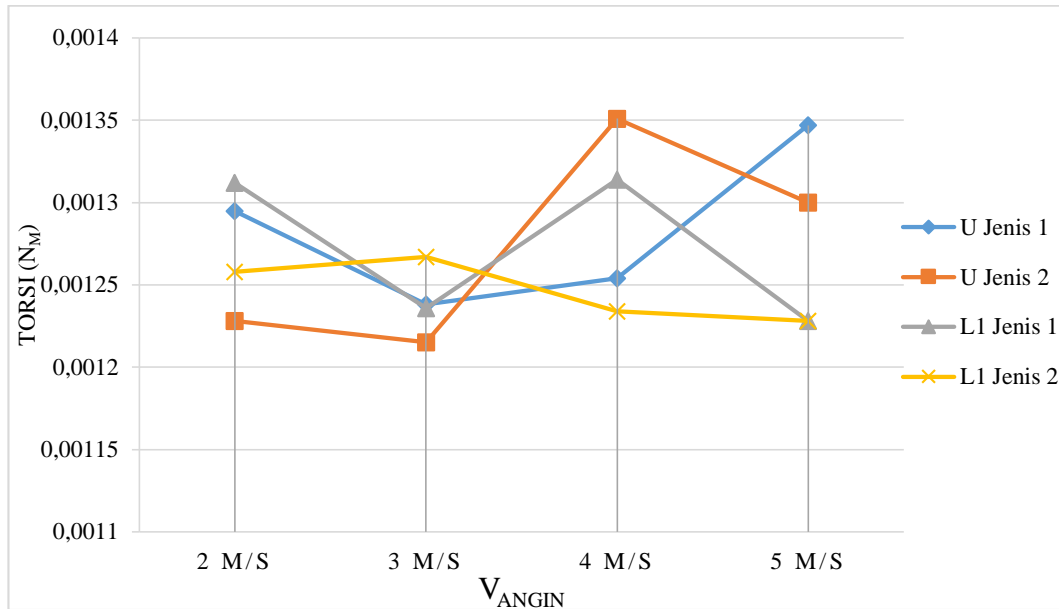
$$T = \frac{\text{Daya (P)}}{\omega}$$

Hasil perhitungan torsi turbin terdapat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.10 Nilai kecepatan bilah dan torsi turbin angin *savonius overlap 5cm*

V _{angin} (m/s)	U Jenis 1				U Jenis 2			
	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)
2(m/s)	70.2	0.009516	7.347	0.001295	75.5	0.00973	7.923	0.001228
3(m/s)	104.2	0.013505	10.906	0.001238	109.2	0.01395	11.481	0.001215
4(m/s)	136.1	0.017892	14.266	0.001254	152.8	0.02162	15.993	0.001351
5(m/s)	165.1	0.02328	17.280	0.001347	178.1	0.02424	18.641	0.001300

V _{angin} (m/s)	L Jenis 1				L Jenis 2			
	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)
2(m/s)	62.5	0.008584	6.541	0.001312	69.7	0.00918	7.295	0.001258
3(m/s)	91.4	0.011832	9.566	0.001236	98.5	0.013064	10.309	0.001267
4(m/s)	122.1	0.0168	12.779	0.001314	130.6	0.01688	13.669	0.001234
5(m/s)	137.2	0.01764	14.360	0.001228	141.5	0.01819	14.810	0.001228

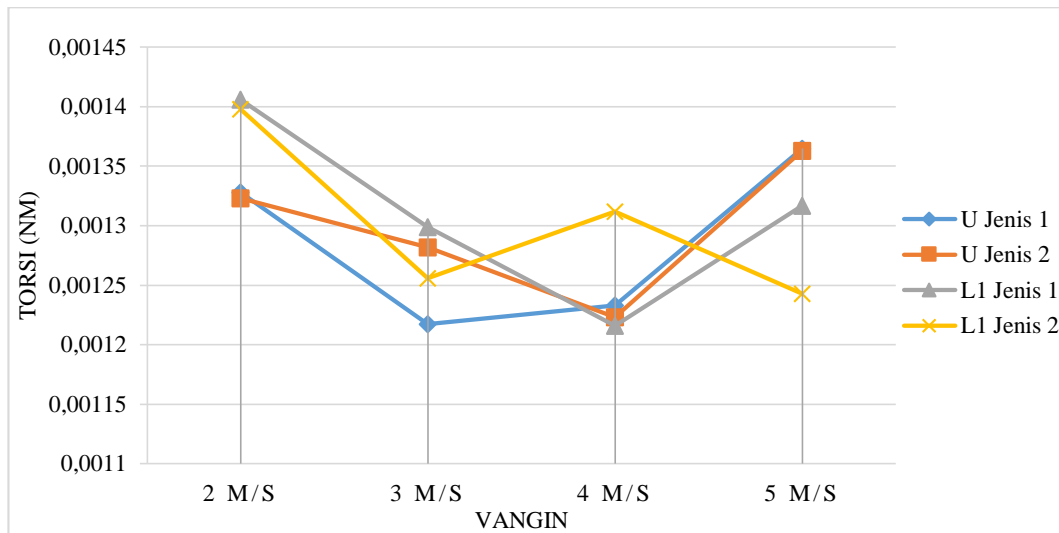


Gambar 4.7 Grafik hubungan kecepatan angin dengan torsi pada turbin angin *savonius overlap 5cm*

Tabel 4.11 Nilai kecepatan bilah dan torsi turbin *savonius non overlap*

V _{angin} (m/s)	U Jenis 1				U Jenis 2			
	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)
2(m/s)	60.5	0.00841	6.332	0.0013281	64.3	0.008909	6.730	0.001323
3(m/s)	95.3	0.012144	9.974	0.0012175	99.2	0.01332	10.382	0.001282
4(m/s)	131.8	0.01701	13.795	0.0012330	137.8	0.01764	14.423	0.001223
5(m/s)	151.3	0.02162	15.836	0.001365	160.1	0.022848	16.757	0.001363

V _{angin} (m/s)	L Jenis 1				L Jenis 2			
	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)	Rpm	Watt (P)	ω (rad/s)	Torsi (Nm)
2(m/s)	52.3	0.0077	5.474	0.001406	54.7	0.008008	5.725	0.001398
3(m/s)	82.5	0.01122	8.635	0.001299	87.6	0.011524	9.168	0.001256
4(m/s)	114.6	0.014592	11.994	0.001216	120.8	0.01659	12.643	0.001312
5(m/s)	122.4	0.01688	12.811	0.001317	129.1	0.0168	13.512	0.001243



Gambar 4.8 Grafik hubungan kecepatan angin dengan torsi pada turbin angin *savonius non overlap*

Berdasarkan gambar 4.7 dan 4.8 torsi terbesar didapatkan pada bilah L jenis 1 sebesar 0.001406 Nm pada angin kecepatan 2 m/s dan terendah pada bilah U jenis 2 sebesar 0.001215 Nm.

4.6 Perhitungan TSR (*Tip Speed Ratio*)

Tip Speed Ratio merupakan perbandingan antara kecepatan ujung bilah dengan kecepatan angin yang melewatinya. Untuk mencari nilai (*Tip Speed Ratio*), maka harus diketahui besar kecepatan bilah yang dihasilkan oleh rotor dengan rumus

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times R_{rpm}}{60}$$

Sehingga

$$\lambda = \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}}$$

Perhitungan TSR terlampir pada lampiran. Hasil dari perhitungan TSR terdapat pada tabel. 4.12

4.7 Perhitungan C_p (*Coefficient Performance*)

Coefficient Performance (C_p) merupakan perbandingan antara daya dihasilkan secara mekanik pada bilah akrobat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh angin tersebut.

Secara matematis hubungan ini dapat dituliskan

$$CP = \frac{P_{turbin}}{P_{in\ max}}$$

P_{turbin} = Daya aktual turbin angin

$P_{in\ max}$ = Daya hasil perhitungan teoritis

Hasil Perhitungan C_p terdapat pada tabel 4.12

4.8 Analisa Nilai CP (*Coefficient Performance*) dan λ (*Tip Speed Ratio*)

Berikut nilai C_p dan TSR dari setiap desain turbin angin *savonius*.

Tabel 4.12 Nilai C_p , dan TSR pada turbin angin *savonius non overlap*

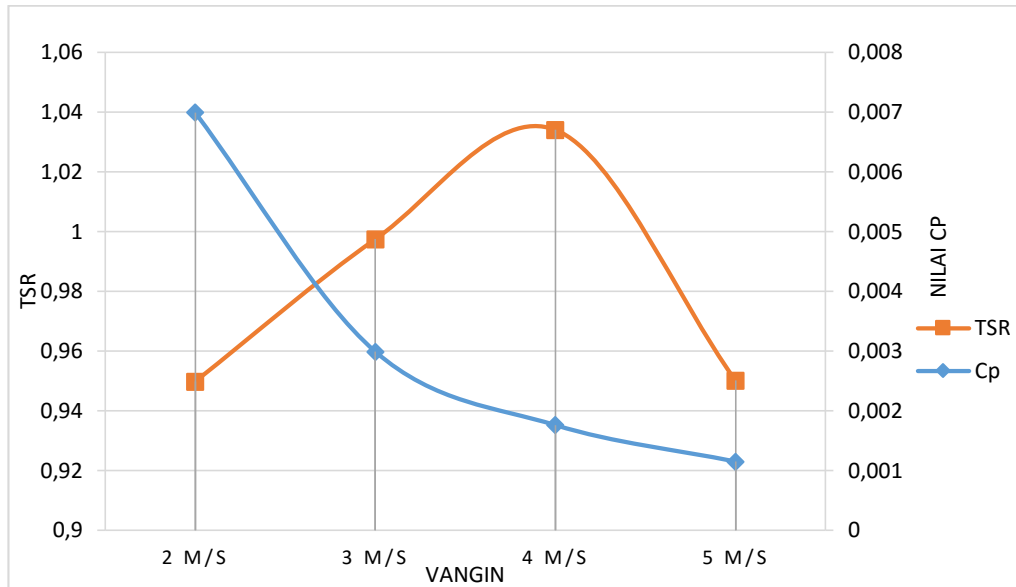
Vangin (m/s)	U Jenis 1			U Jenis 2		
	ω (rad/s)	λ (TSR)	C_p	ω (rad/s)	λ (TSR)	C_p
2 (m/s)	6.332	0.9498	0.00699	6.730	1.0095	0.00741
3 (m/s)	9.974	0.9974	0.00299	10.382	1.0382	0.00328
4 (m/s)	13.795	1.034	0.00176	14.423	1.0817	0.00183
5 (m/s)	15.836	0.9501	0.00115	16.757	1.00542	0.00121

Vangin (m/s)	L Jenis 1			L Jenis 2		
	ω (rad/s)	λ (TSR)	Cp	ω (rad/s)	λ (TSR)	Cp
2 (m/s)	5.474	0.8211	0.00640	54.7	0.85875	0.00666
3 (m/s)	8.635	0.8635	0.00276	87.6	0.9168	0.00283
4 (m/s)	11.994	0.89955	0.00151	120.8	0.948225	0.00172
5 (m/s)	12.811	0.76866	0.00089	129.1	0.81072	0.00089

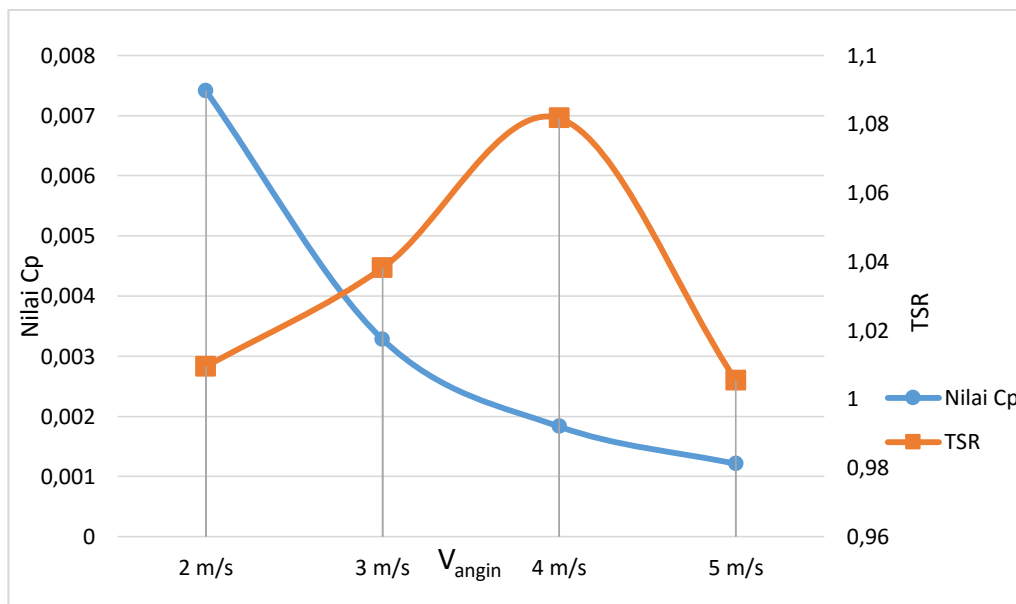
Tabel 4.13 Nilai Cp, dan TSR pada turbin angin *savonius overlap* 5cm

Vangin (m/s)	U Jenis 1			U Jenis 2		
	ω (rad/s)	λ (TSR)	Cp	ω (rad/s)	λ (TSR)	Cp
2 (m/s)	7.347	1.10205	0.00791	0.00973	1.18845	0.00809
3 (m/s)	10.906	1.0906	0.00332	0.01395	1.1481	0.00343
4 (m/s)	14.266	1.06995	0.00186	0.02162	1.19947	0.00224
5 (m/s)	17.280	1.0368	0.00123	0.02424	1.1846	0.00129

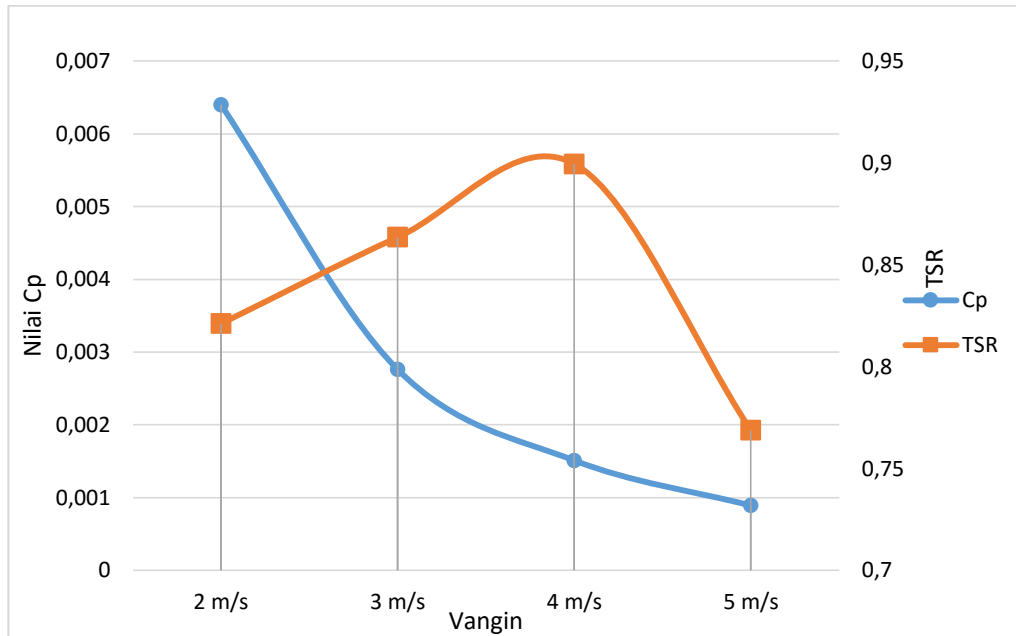
Vangin (m/s)	L Jenis 1			L Jenis 2		
	ω (rad/s)	λ (TSR)	Cp	ω (rad/s)	λ (TSR)	Cp
2 (m/s)	6.541	0.98115	0.00714	7.295	1.09425	0.00763
3 (m/s)	9.566	0.9566	0.00291	10.309	1.0309	0.00321
4 (m/s)	12.779	0.98542	0.00174	13.669	1.02517	0.00175
5 (m/s)	14.360	0.8616	0.00093	14.810	0.8886	0.00096



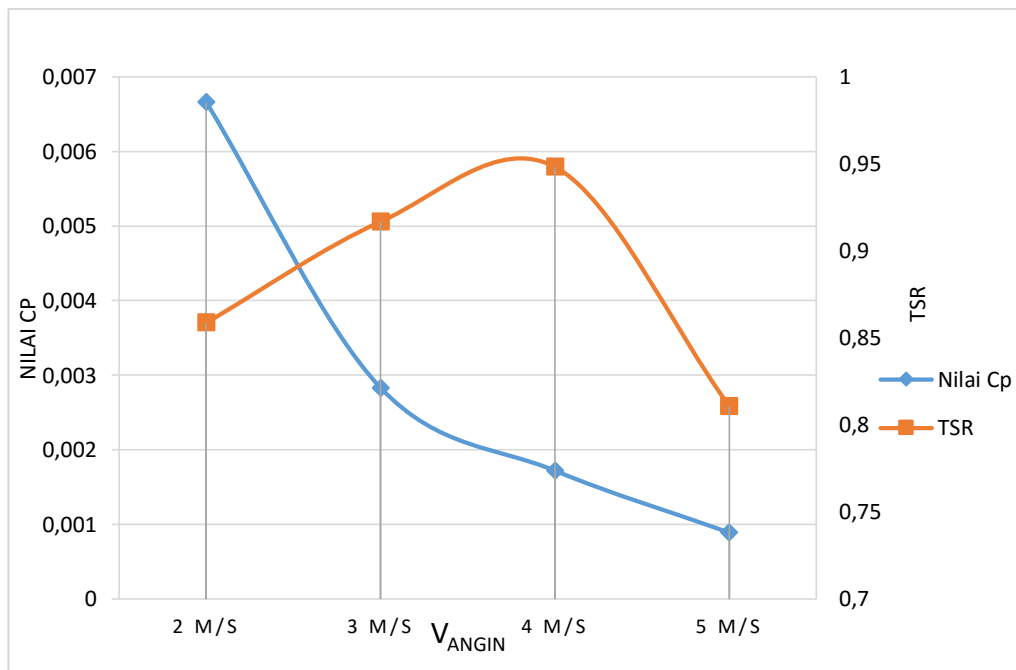
Gambar 4.9 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 1 *non overlap*



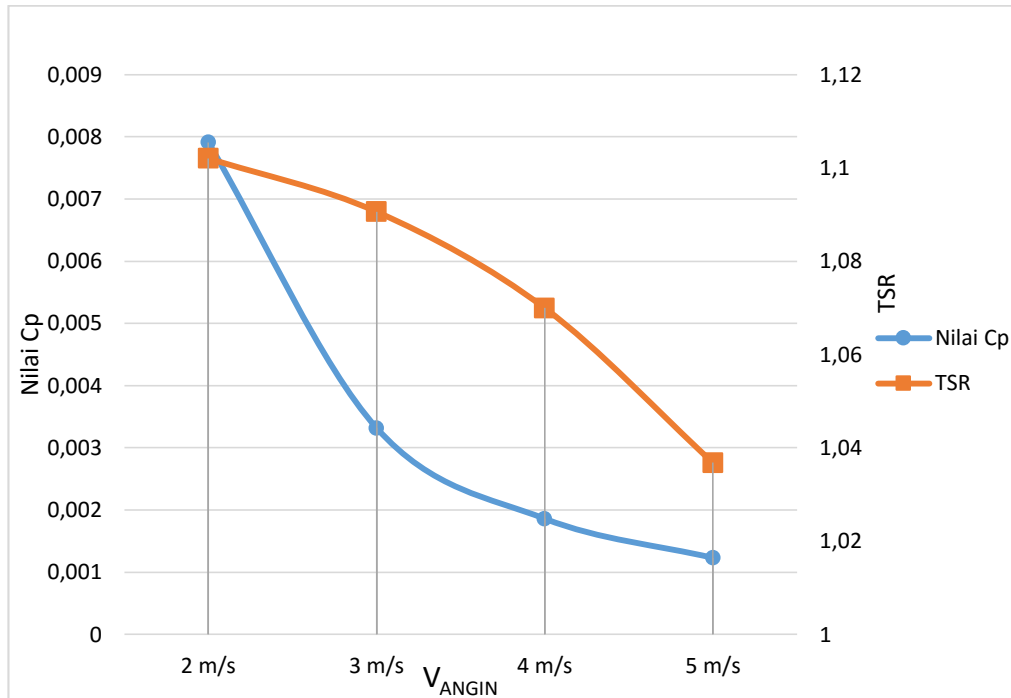
Gambar 4.10 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 2 *non overlap*



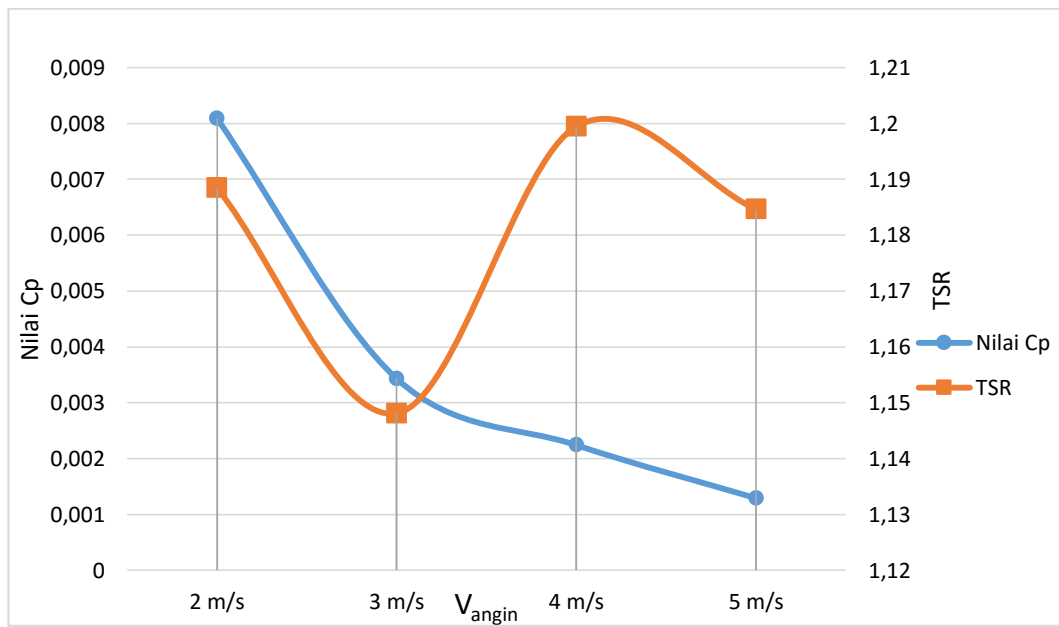
Gambar 4.11 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 1
non overlap



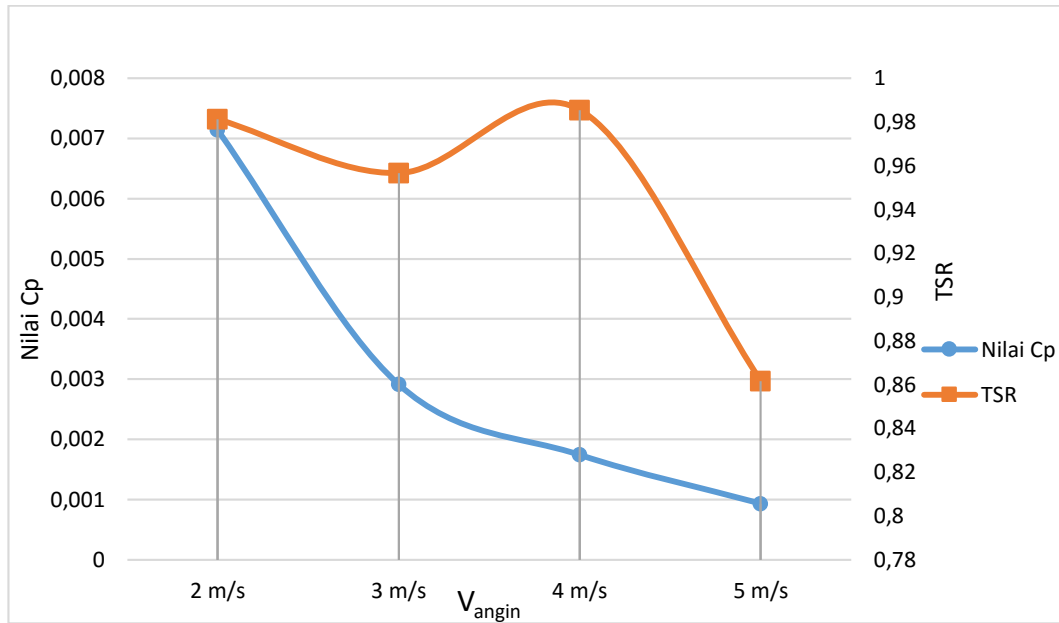
Gambar 4.12 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 2
non overlap



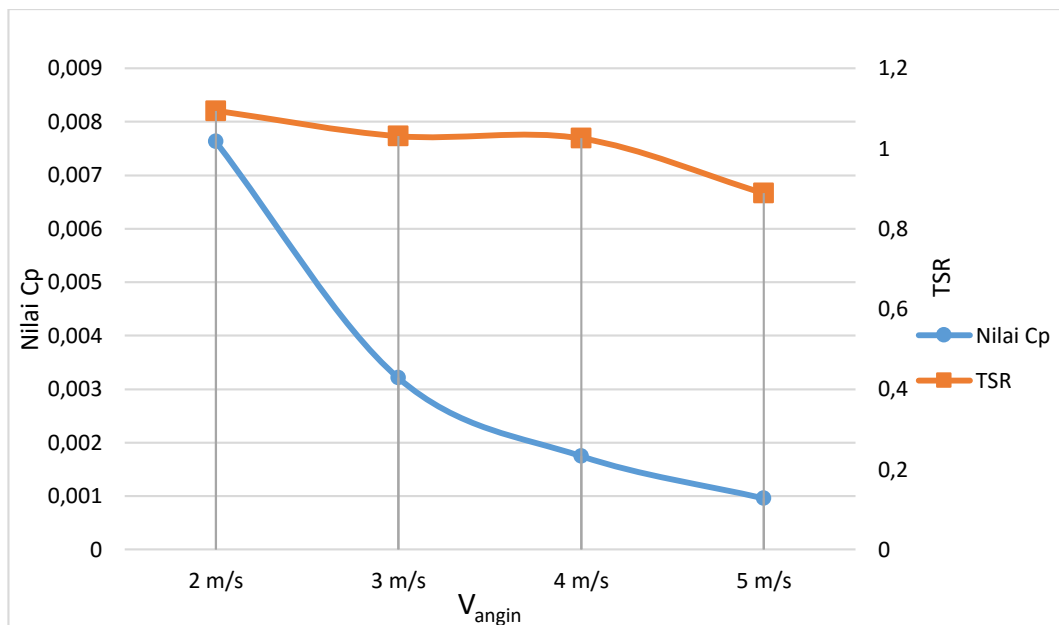
Gambar 4.13 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 1 overlap 5cm



Gambar 4.14 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah U jenis 2 overlap 5cm



Gambar 4.15 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 1 *overlap* 5cm



Gambar 4.16 Hubungan nilai Cp dengan kecepatan angin terhadap bilah L jenis 2 *overlap* 5cm

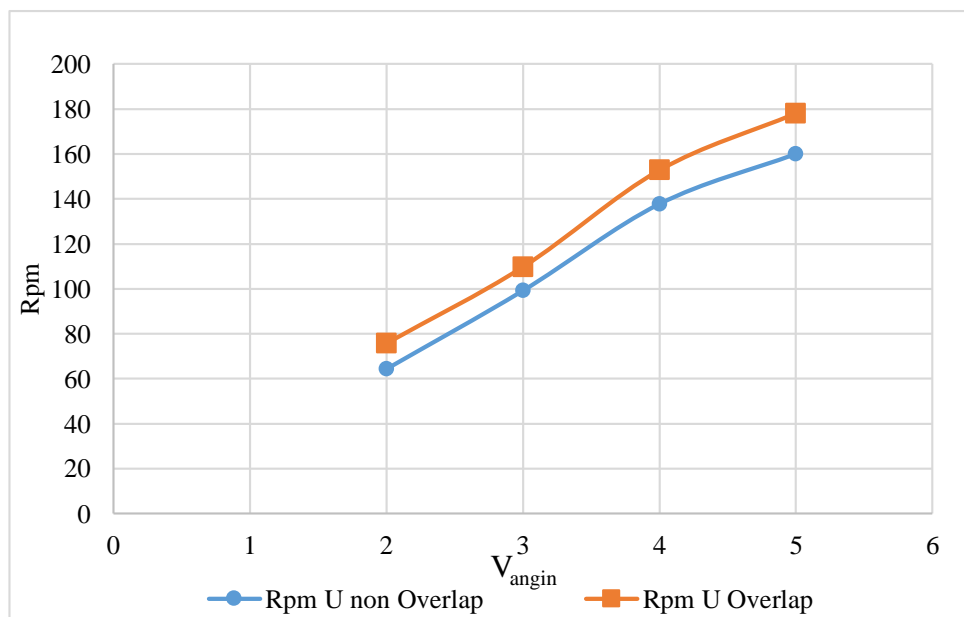
Dari Gambar 4.9, 4.11, 4.13, 4.15, 4.17, 4.19, 4.21, 4.23 dapat dijelaskan bahwa pada setiap bilah turbin angin *savonius* mengalami penurunan nilai Cp

seiring bertambahnya kecepatan angin. Hal ini dikarenakan nilai C_p berbanding terbalik dengan nilai kecepatan angin. Adapun penurunan nilai C_p diakibatkan karena peningkatan daya aktual turbin tidak sebesar peningkatan daya perhitungan turbin secara teoritis.

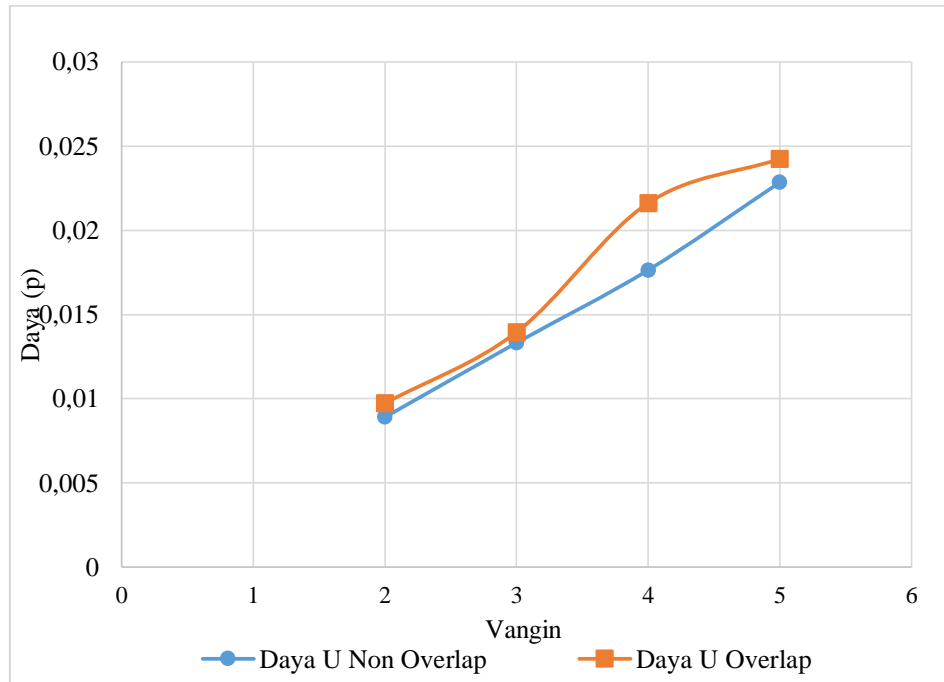
4.9 Pengaruh Overlap

Tabel 4.14 Perbandingan pengaruh bilah tipe U jenis 2 *overlap* 5cm dan *non overlap*

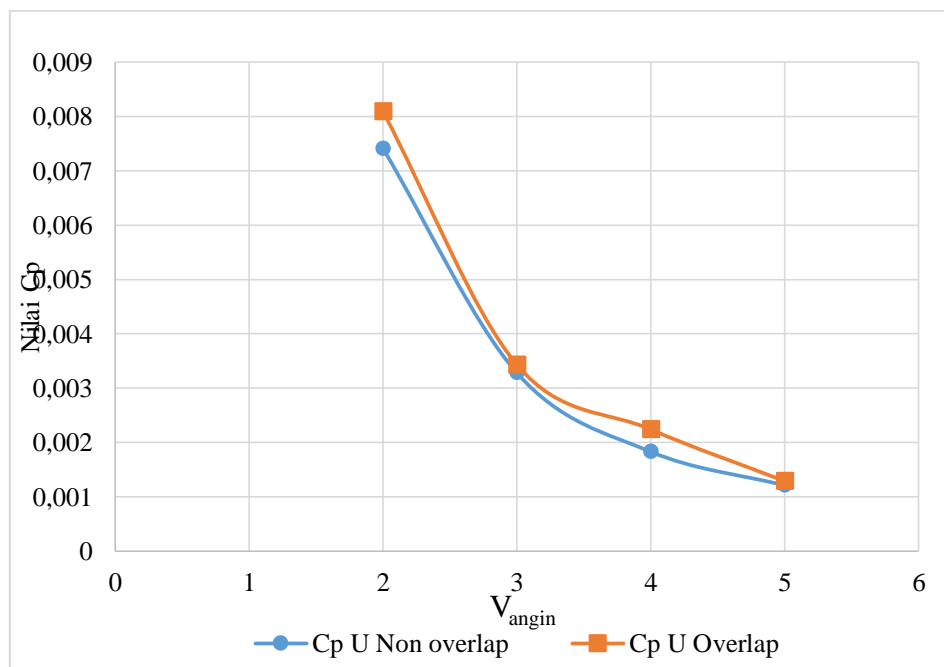
Bilah U Jenis 2							
Non Overlap				Overlap			
Rpm	Daya	C_p	TSR	Rpm	Daya	C_p	TSR
64.3	0.008909	0.00741	1.0095	75.7	0.00973	0.00809	1.18845
99.2	0.01332	0.00328	1.0382	109.7	0.01395	0.00343	1.1481
137.8	0.01764	0.00183	1.0817	152.8	0.02162	0.00224	1.19947
160.1	0.022848	0.00121	1.0054	178.1	0.02424	0.00129	1.1846



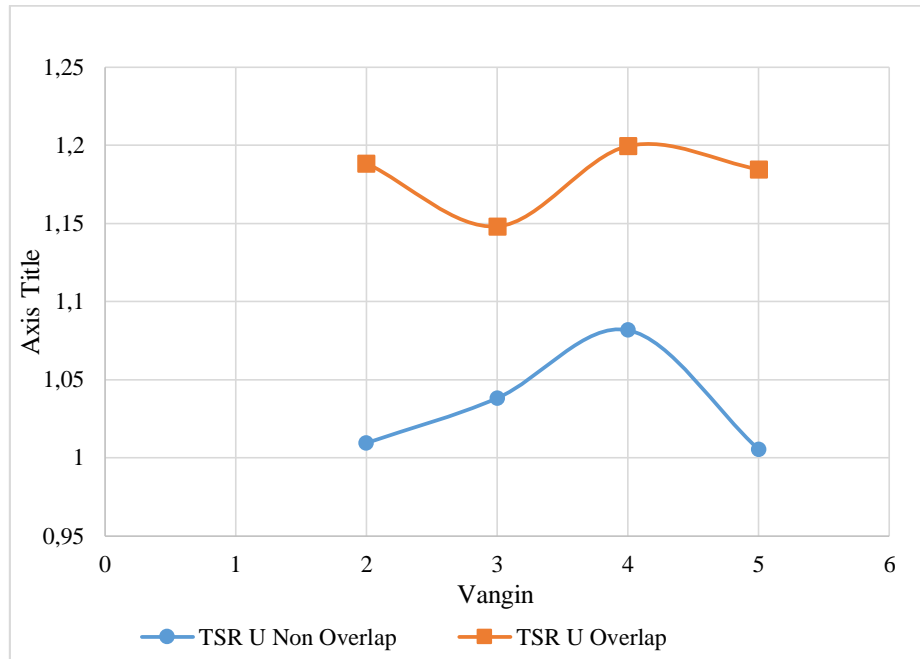
Gambar 4.17 Perbandingan grafik Rpm turbin angin *savonius overlap* dan *non overlap*



Gambar 4.18 Perbandingan grafik daya turbin angin *savonius overlap* dan *non overlap*



Gambar 4.19 Perbandingan grafik Cp turbin angin *savonius overlap* dan *non overlap*

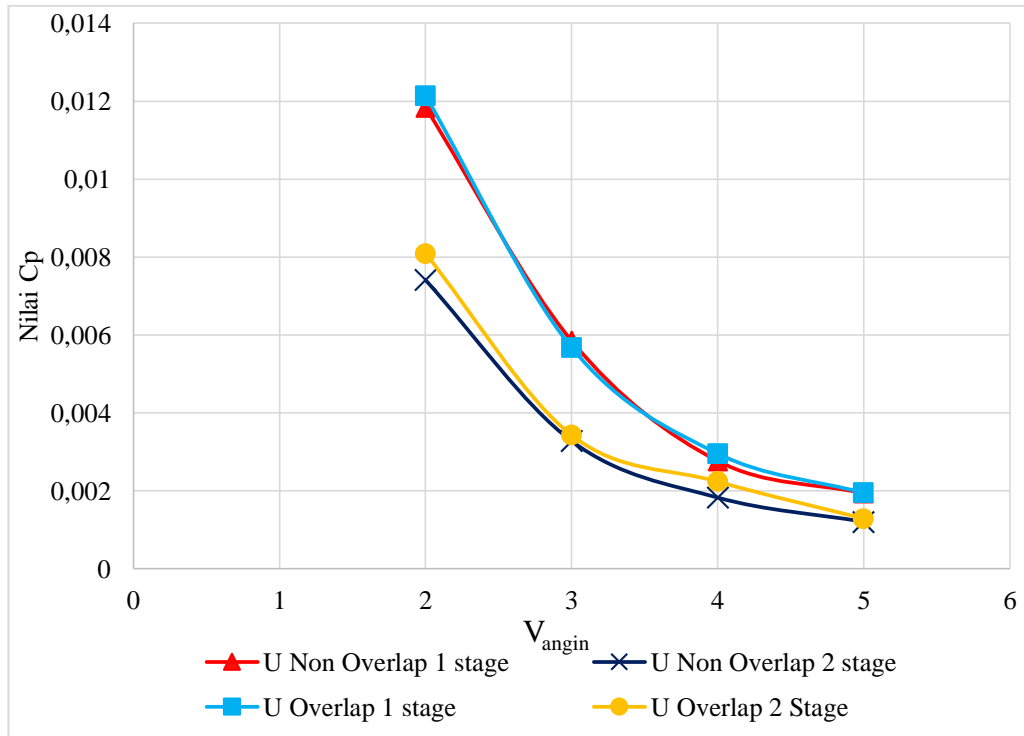


Gambar 4.20 Perbandingan grafik TSR turbin angin *savonius overlap* 5cm dan non *overlap*

4.10 Perbandingan Stage Turbin Angin Savonius

Tabel 4.15 Perbandingan C_p turbin angin *savonius* satu *stage* dan dua *stage non overlap* dan *overlap* 5cm

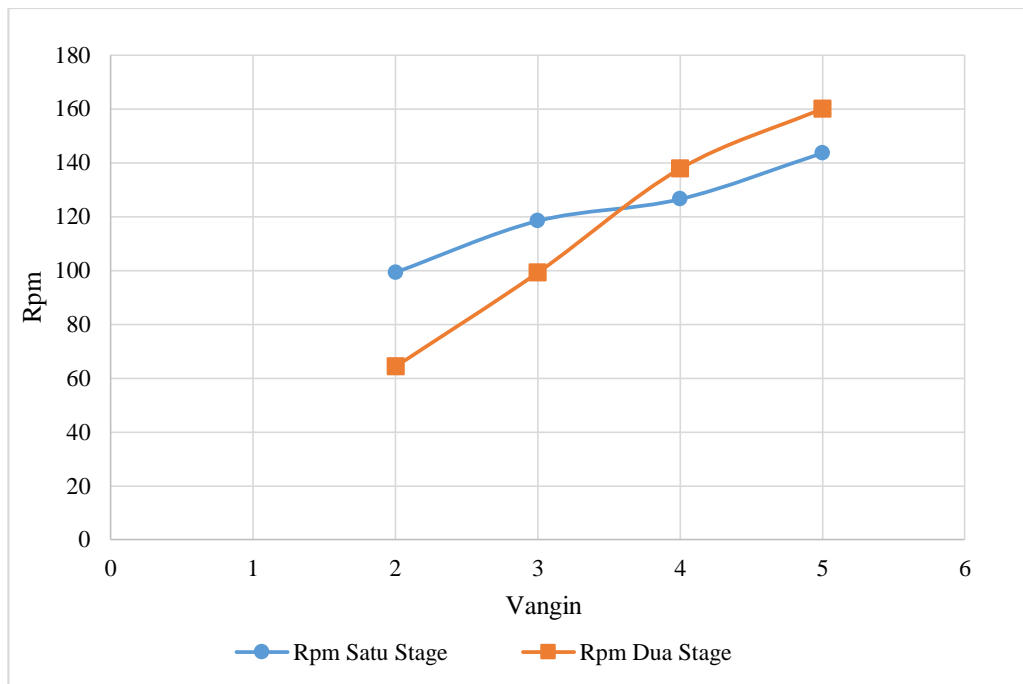
Turbin Angin Savonius 1 Stage		Turbin Angin Savonius 2 Stage	
Satu Stage		Dua Stage	
U Jenis 2 Non Overlap	U Jenis 2 Overlap	U Jenis 2 Non Overlap	U Jenis 2 Overlap
0.01184	0.01214	0.00741	0.00809
0.00585	0.00568	0.00328	0.00343
0.00277	0.00296	0.00183	0.00224
0.00194	0.00195	0.00121	0.00129



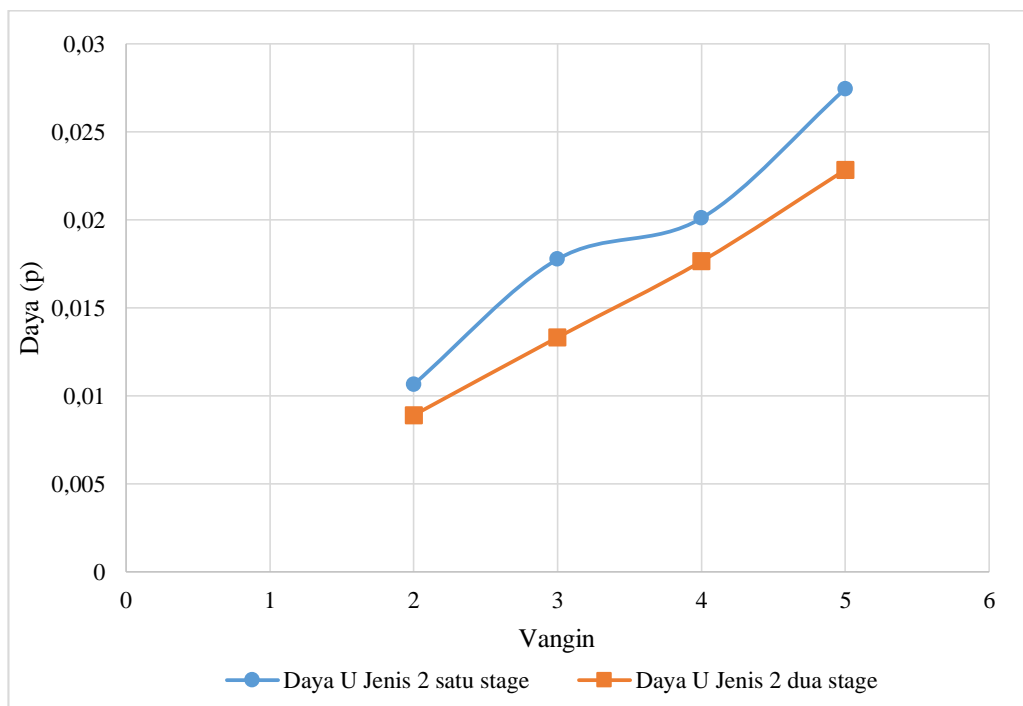
Gambar 4.21 Perbandingan Cp turbin angin *savonius* U jenis 2 satu *stage* dan dua *stage* *overlap* 5 cm dan non *overlap*

Tabel 4.16 Perbandingan Rpm, daya, dan TSR tipe U jenis 2 non *overlap* pada turbin angin *savonius* satu *stage* dan dua *stage*

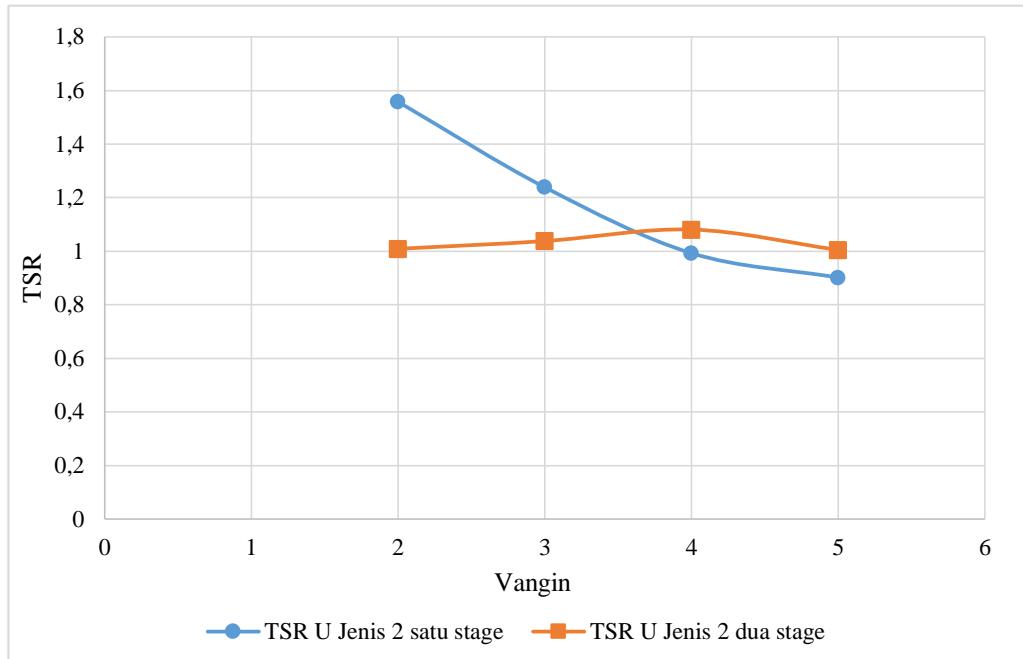
U Jenis 2 Non Overlap					
Satu Stage			Dua Stage		
Rpm	Daya	TSR	Rpm	Daya	TSR
99.3	0.01065	1.558	64.3	0.00890	1.0095
118.4	0.01776	1.239	99.2	0.01332	1.0382
126.5	0.02009	0.993	137.8	0.01764	1.0817
143.6	0.02744	0.9018	160.1	0.022848	1.0054



Gambar 4.22 Perbandingan Rpm turbin angin *savonius* satu *stage* dan dua *stage* tipe U jenis 2 non *overlap*



Gambar 4.23 Perbandingan daya turbin angin *savonius* satu *stage* dan dua *stage* tipe U jenis 2 non *overlap*



Gambar 4.24 Perbandingan TSR turbin angin *savonius* satu *stage* dan dua *stage* tipe U jenis 2 non *overlap*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Hasil analisa pengaruh bentuk bilah pada turbin angin savonius dua *stage* adalah bentuk bilah pada tipe U jenis 2 memiliki kecepatan paling besar yaitu 178,1 m/s, sedangkan pada bilah L jenis 2 memiliki kecepatan paling besar 141,5 m/s.
2. Hasil analisis pengaruh *overlap* bilah pada efisiensi putaran angin *savonius* dua *stage* adalah bilah U dan L *overlap* memiliki efisiensi putaran lebih baik. Untuk U *non overlap* memiliki kecepatan 160,1 m/s sedangkan U *overlap* memiliki kecepatan 178,1m/s.
3. Hasil analisis pengaruh jumlah *stage* pada turbin angin *savonius* adalah *starting torque* pada dua *stage* menjadi lebih ringan. Dan kecepatan angin terbesar dimiliki pada turbin angin dua *stage* yaitu 160 m/s.

5.2. Saran

Berdasarkan penilitan yang dilakukan, peneliti menyarankan untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan :

1. Melakukan simulasi sebelum melakukan penelitian agar mengetahui berpengaruh besar atau tidak terhadap objek yang akan diteliti.
2. Memilih bahan yang lebih kuat dan ringan agar dapat menghasilkan efisiensi yang terbaik.
3. Mengetahui tentang aerodinamika agar dapat memodifikasi bilah untuk mendapatkan efisiensi terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andri Kusbiantoro, Rudy Soenoko, Djoko Sutikno. 2013. *Pengaruh panjang lengkung sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros vertikal savonius*. Malang: teknik mesin Universitas Brawijaya.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Pusat Penelitian dan Pengembangan, 2010. *Kajian potensi energy angin di wilayah Indonesia timur*, Jakarta: BMKG.
- Buana, Setiadi Wira. 2012. *Desain dan Analisis Karakteristik Propeller Turbin Angin Lima Bilah*, Jakarta : UNJ.
- Dr. Gary L. Johnson. 2006. *Wind Energy Systems*. Manhattan: Prentice Hall, 1:17-18.
- Fachrudin Suhardiman Lutfi, Gunawan Nugroho, Ali Musyafa. 2013. *Rancang bangun turbin angin vertikal jenis savonius dengan variasi jumlah stage dan phase shift angle untuk memperoleh daya maksimum*. jurnal teknik pomits, 1:1-5.
- Farel h napitupulu & fritz maurit. 2013. *Uji eksperimental dan analisis pengaruh variasi kecepatan dan jumlah sudu terhadap daya dan putaran turbin angin vertical axis savonius dengan menggunakan sudu pengarah*. Sumatra Utara: teknik mesin UNS.
- Farel.H.Napitupulu , Fritz Mauritz. 2013. *Uji eksperimental dan analisis pengaruh variasi kecepatan dan jumlah sudu terhadap daya dan putaran turbin angin vertikal axis savonius dengan menggunakan sudu pengarah*. jurnal dinamis, 2:51-52.

- Habibie & M.Najib. 2011. *Kajian Potensi Energi Angin di wilayah Sulawesi dan Maluku*, Jakarta :Puslitbang Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Novri Tanti, Arnetto Alditihan. 2011. *pembuatan program perancangan turbin savonius tipe-u untuk pembangkit listrik tenaga angin. Jurnal Mechanical*, 2:9.
- Racmawati, Mentari Laila. 2010. Rancang bangun kincir angin model savonius termodifikasi sebagai sumber energi terbarukan. [skripsi]. Surakarta : FMIPA, Universitas Sebelas Maret.
- Riskiyanto, Satria. 2015. Perancangan turbin angin tipe savonius dua tingkat dengan kapasitas 100 watt untuk gedung syariah hotel solo: Energi Terbarukan [skripsi]. Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Wiyono, Apri. 2014. *Desain dan analisis konvogurasi turbin angin savonius darrieus terhadap momen dan force*. Jakarta : Universitas Negeri Jakarta.

Lampiran – 1. Data Hasil Perhitungan

A. Perhitungan Daya Teoritis

1. Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius

Daya angin maksimum yang di konversi oleh rotor Turbin Angin Savonius menjadi daya masukan (P_{in}) adalah sebagai berikut :

$$\rho = \text{rapat massa udara} = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$D = \text{diameter rotor} = 0,6 \text{ m}$$

$$H = \text{Tinggi rotor} = 0,409 \text{ m}$$

$$A = \text{Luas sapuan rotor} = H \times D = 0,2454 \text{ m}^2$$

Kecepatan angin 2 m/s

$$V_{\text{angin}} = 2 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ max}} &= 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\text{angin}}^3 \\ &= (0,5) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,2454 \text{ m}^2) \cdot (2)^3 = 1.202 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Kecepatangan angin 3 m/s

$$V_{\text{angin}} = 3 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ max}} &= 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\text{angin}}^3 \\ &= (0,5) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,2454 \text{ m}^2) \cdot (3)^3 = 4.058 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$V_{\text{angin}} = 4 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} P_{in \text{ max}} &= 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\text{angin}}^3 \\ &= (0,5) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,2454 \text{ m}^2) \cdot (4)^3 = 9.619 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$V_{\text{angin}} = 5 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Pin max} &= 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V_{\text{angin}}^3 \\ &= (0,5) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,2454 \text{ m}^2) \cdot (5)^3 = 18.788 \text{ Watt} \end{aligned}$$

B. Perhitungan TSR (Tip Ratio Speed)

1. Blade U Jenis 1 Non-Overlap dengan Beban

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 60.5}{60} \\ &= 6.332 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{6.332 \times 0.3}{2} \\ &= 0.9498 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 95.3}{60} \\ &= 9.974 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{9.974 \times 0.3}{3} \\ &= 0.9974 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 131.8}{60} \\ &= 13.795 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{13.795 \times 0.3}{4} \\ &= 1.034\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 151.3}{60} \\ &= 15.836 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{15.836 \times 0.3}{5} \\ &= 0.9501\end{aligned}$$

2. Blade U Jenis 2 Non-Overlap dengan Beban

Kecepatan 2 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 64.3}{60} \\ &= 6.730 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{6.730 \times 0.3}{2} \\ &= 1.0095\end{aligned}$$

Kecepatan 3 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 99.2}{60} \\ &= 10.382 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{10.382 \times 0.3}{3} \\ &= 1.0382\end{aligned}$$

Kecepatan 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 137.8}{60} \\ &= 14.423 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{14.423 \times 0.3}{4} \\ &= 1.0817\end{aligned}$$

Kecepatan 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 160.1}{60} \\ &= 16.757 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{16.757 \times 0.3}{5} \\ &= 1.0054\end{aligned}$$

3. Blade L Jenis 1 Non Overlap dengan Beban

Kecepatan 2 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 52.3}{60} \\ &= 5.474 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{5.474 \times 0.3}{2} \\ &= 0.8211\end{aligned}$$

Kecepatan 3 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 82.5}{60} \\ &= 8.635 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{8.635 \times 0.3}{3} \\ &= 0.8635\end{aligned}$$

Kecepatan 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 114.6}{60} \\ &= 11.994 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{11.994 \times 0.3}{4} \\ &= 0.89955\end{aligned}$$

Kecepatan 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 122.4}{60} \\ &= 12.811 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{12.811 \times 0.3}{5} \\ &= 0.768\end{aligned}$$

4. Blade L Jenis 2 Non Overlap dengan Beban

Kecepatan 2 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 54.7}{60} \\ &= 5.725 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{5.725 \times 0.3}{2} \\ &= 0,85875\end{aligned}$$

Kecepatan 3 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 87.6}{60} \\ &= 9.168 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{9.168 \times 0.3}{3} \\ &= 0.9168\end{aligned}$$

Kecepatan 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 120.8}{60} \\ &= 12.643 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{12.643 \times 0.3}{4} \\ &= 0.948225\end{aligned}$$

Kecepatan 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 129.1}{60} \\ &= 13.512 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{13.512 \times 0.3}{5} \\ &= 0.81072\end{aligned}$$

5. Blade U Jenis 1 Overlap 5cm dengan Beban

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 70.2}{60} \\ &= 7.347 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{7.347 \times 0.3}{2} \\ &= 1.10205\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 104.2}{60} \\ &= 10.906 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{10.906 \times 0.3}{3} \\ &= 1.0906\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 136.3}{60} \\ &= 14.266 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{14.266 \times 0.3}{4} \\ &= 1.06995\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 165.1}{60} \\ &= 17.280 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\
 &= \frac{17.280 \times 0.3}{5} \\
 &= 1.0368
 \end{aligned}$$

6. Blade U Jenis 2 Overlap 5cm dengan Beban

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\
 &= \frac{2 \times 3.14 \times 75.7}{60} \\
 &= 7.923 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\
 &= \frac{7.923 \times 0.3}{2} \\
 &= 1.18845
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\
 &= \frac{2 \times 3.14 \times 109.7}{60} \\
 &= 11.481 \text{ rad/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\
 &= \frac{11.481 \times 0.3}{3} \\
 &= 1.1481
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 152.8}{60} \\ &= 15.993 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{15.993 \times 0.3}{4} \\ &= 1.199475\end{aligned}$$

Kecepatan 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 178.1}{60} \\ &= 18.641 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{18.641 \times 0.3}{5} \\ &= 1.1846\end{aligned}$$

7. Blade L Jenis 1 Overlap 5cm dengan Beban

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 62.5}{60} \\ &= 6.541 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{6.541 \times 0.3}{2} \\ &= 0.98115\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 91.4}{60} \\ &= 9.566 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{9.566 \times 0.3}{3} \\ &= 0.9566\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 122.1}{60} \\ &= 12.779 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{12.779 \times 0.3}{4} \\ &= 0.958425\end{aligned}$$

Kecepatan 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 137.2}{60} \\ &= 14.360 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{14.360 \times 0.3}{5} \\ &= 0.8616\end{aligned}$$

8. Blade L Jenis 2 Overlap 5cm dengan Beban

Kecepatan 2 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 69.7}{60} \\ &= 7.295 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{rotor}}{V_{angin}} \\ &= \frac{7.295 \times 0.3}{2} \\ &= 1.09425\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 98.5}{60} \\ &= 10.309 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{10.309 \times 0.3}{2} \\ &= 1.0309\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 130.6}{60} \\ &= 13.669 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{13.669 \times 0.3}{4} \\ &= 1.025175\end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60} \\ &= \frac{2 \times 3.14 \times 141.5}{60} \\ &= 14.810 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\omega \times R_{\text{rotor}}}{V_{\text{angin}}} \\ &= \frac{14.810 \times 0.3}{5} \\ &= 0.8886\end{aligned}$$

C. Perhitungan Coefficient Performance

1. Blade U Jenis 1 Non-Overlap

Kecepatan angin 2 m/s

$$\begin{aligned} \text{CP} &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.00841}{1.202} \\ &= 0.00699 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned} \text{CP} &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.012144}{4.058} \\ &= 0.00299 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned} \text{CP} &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.01701}{9.619} \\ &= 0.00176 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned} \text{CP} &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.02162}{18.788} \\ &= 0.00115 \end{aligned}$$

2. Blade U Jenis 1 Overlap 5 cm

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.009516}{1.202} \\
 &= 0.00791
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.013505}{4.058} \\
 &= 0.00332
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.017892}{9.619} \\
 &= 0.00186
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.02328}{18.788} \\
 &= 0.00123
 \end{aligned}$$

3. Blade U Jenis 2 Non Overlap

Kecepatan Angin 2 m /s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.008909}{1.202} \\ &= 0.00741 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.01332}{4.058} \\ &= 0.00328 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.001764}{9.619} \\ &= 0.00183 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.022848}{18.788} \\ &= 0.00121 \end{aligned}$$

4. Blade U Jenis 2 Overlap 5cm

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.009734}{1.202} \\
 &= 0.00809
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.01395}{4.058} \\
 &= 0.00343
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.02162}{9.619} \\
 &= 0.00224
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.02424}{18.788} \\
 &= 0.00129
 \end{aligned}$$

5. Blade L1 Jenis 1 Non-Overlap

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.0077}{1.202} \\ &= 0.00640 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.01122}{4.058} \\ &= 0.00276 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.014592}{9.619} \\ &= 0.00151 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\ &= \frac{0.01688}{18.788} \\ &= 0.00089 \end{aligned}$$

6. Blade L1 Jenis 1 Overlap 5cm

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.008584}{1.202} \\
 &= 0.00714
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.011832}{4.058} \\
 &= 0.0029
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.0168}{9.619} \\
 &= 0.00174
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.01764}{18.788} \\
 &= 0.00093
 \end{aligned}$$

7. Blade L1 Jenis 2 Non Overlap

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.008008}{1.202} \\
 &= 0.00666
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.011524}{4.058} \\
 &= 0.00283
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.01659}{9.619} \\
 &= 0.00172
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.0168}{18.788} \\
 &= 0.00089
 \end{aligned}$$

8. Blade L1 Jenis 2 Overlap 5cm

Kecepatan Angin 2 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.00918}{1.202} \\
 &= 0.00763
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 3 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.01306}{4.058} \\
 &= 0.00175
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 4 m/s

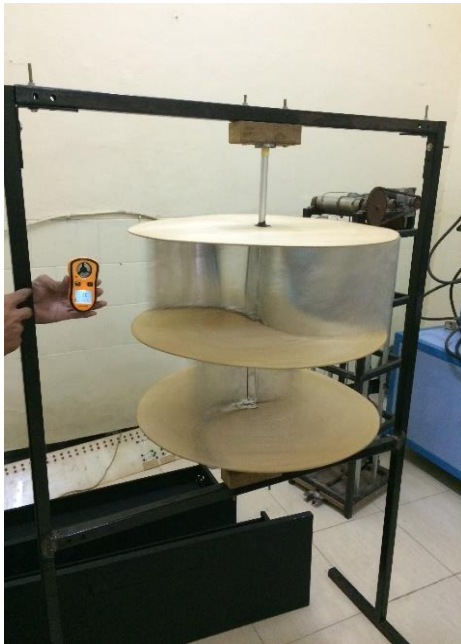
$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.01688}{9.619} \\
 &= 0.00175
 \end{aligned}$$

Kecepatan Angin 5 m/s

$$\begin{aligned}
 CP &= \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{in max}}} \\
 &= \frac{0.01819}{18.788} \\
 &= 0.00096
 \end{aligned}$$

Lampiran – 2. Gambar Turbin Angin

1. Tipe L

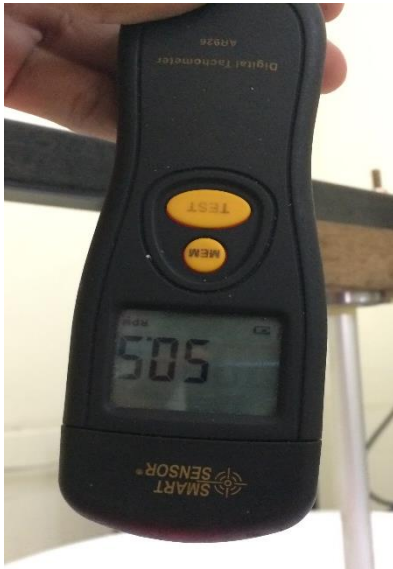


2. Tipe U



Lampiran – 3. Alat – Alat Penelitian

1. Tachometer



2. Anemometer



3. Avometer

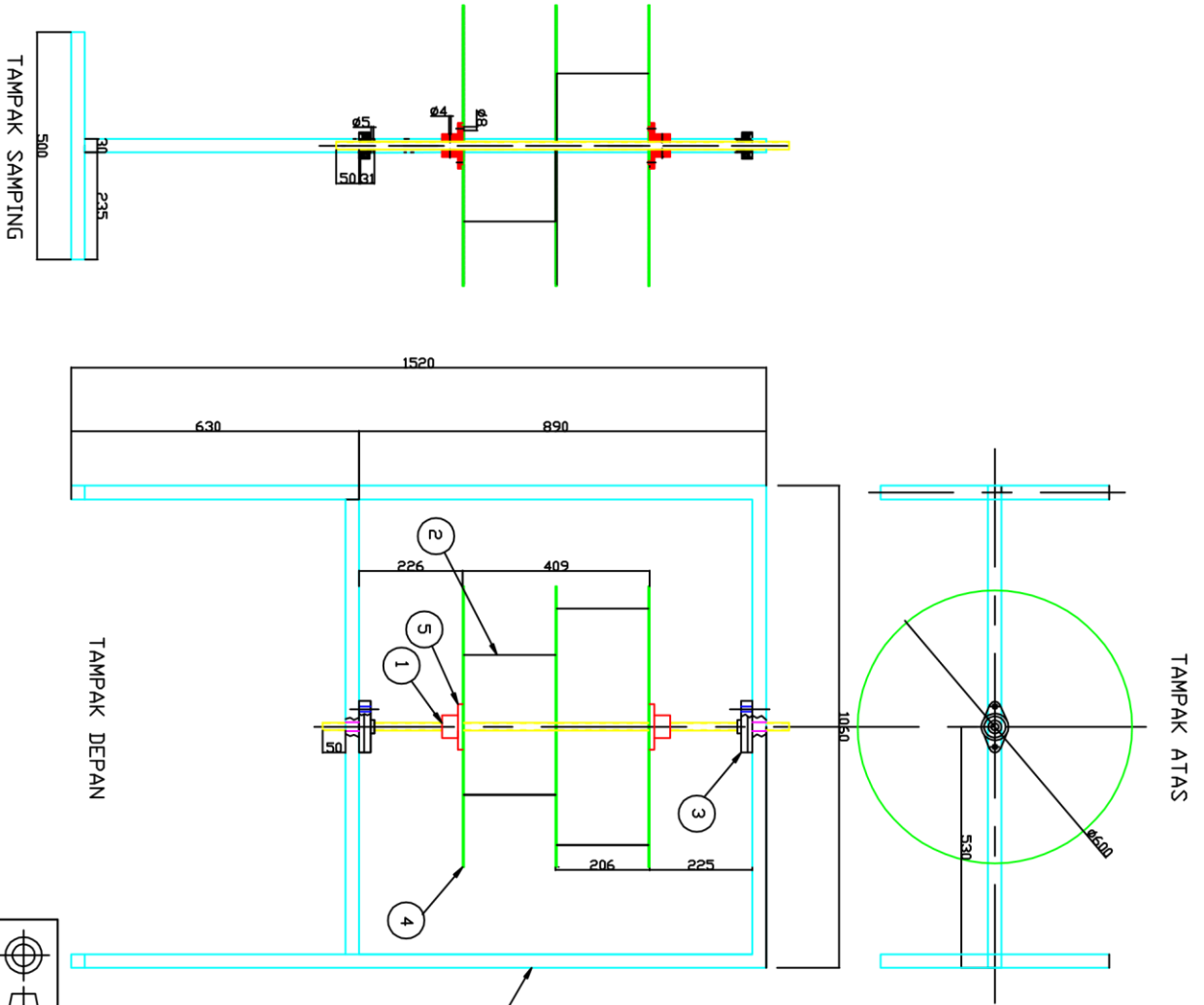


4. Blower



LAMPIRAN - 4. Gambar Desain

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



NID	NAMA KOMPONEN	JUMLAH	BAHAN
6	RANGKA	1	Steel ASTM 36
5	FILENG	2	Polyethylene HDPE
4	Poly Carbonat	3	Solarlite
3	PILLOW BLOCK	2	Seri BLF 203
2	PLAT	4	Plat Alloy 1100
1	PERDS	1	Aluminium 6061

SKALA	: 1 : 10	DIBUAT	: ARIF NUR ARIFIN
SATUAN	: MM	NO. REG.	: 5315117241
TAHUN	: 2017	DILIHAT	: Drs. Siro Juddin, M.T

UNJ	TURBIN ANGIN SAVONIUS	SKRIPSI	A4
-----	-----------------------	---------	----

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

RIWAYAT HIDUP



Arif Nur Arifin dilahirkan di DKI Jakarta, pada tanggal 1 April 1994. Anak pertama dari 2 bersaudara pasangan Bapak Daripan M Arifin dan Ibu Tuswiyah. Bertempat tinggal di Jalan. Warakas 1 RT11/01 no.63(36c) Kel.Warakas Kec.Tanjung Priok, Jakarta Utara.

Penulis menempuh pendidikan di SDN Sungai Bambu 01 Pagi Jakarta lulus pada tahun 2005, SMP Barunawati II Jakarta lulus pada tahun 2008, SMKN 55 Jakarta lulus pada tahun 2011, dan Universitas Negeri Jakarta (UNJ) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT). Pengalaman di organisasi diantaranya yaitu Osis di SMP Barunawati II pada tahun 2009, Staff Kaderisasi BEMJ Teknik Mesin UNJ 2011/2012. *Electrical Engineering Division* di Batavia Team UNJ 2013. Pada awal tahun 2013 penulis mengikuti ajang *Shell eco marathon asia* di Malaysia mewakili Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta.