

**KAJI EKSPERIMENTAL VARIASI BENTUK BLADE DAN
OVERLAP TURBIN ANGIN VERTIKAL TIPE SAVONIUS**



FIRMAN JULISMAR

5315117258

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

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

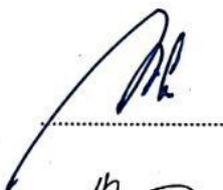
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

HALAMAN PENGESAHAN

| NAMA DOSEN | TANDA TANGAN | TANGGAL |
|--|--|-----------|
| Dr. Catur Setyawan. K., M.T. (Dosen Pembimbing I) |  | 20/8/2017 |
| Drs. Sirojuddin, M.T. (Dosen Pembimbing II) |  | 29/08/17 |

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

| | | |
|--|--|------------|
| Drs. Adi Tri Tyasmidi, M.Pd (Ketua Penguji) |  | 28/08/2017 |
| Dr. Imam Basori, M.T (Sekretaris Penguji) |  | 28/08/2017 |
| Ir. Nugroho Gama Yoga, M.T (Dosen Ahli) |  | 29/08/2017 |

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Rekayasa Mesin - UNJ



Almad Kholil, S.T., M.T

NIP. 197908312005011001

HALAMAN PERNYATAAN

Nama : Firman Julismar
Nomor Registrasi : 5315117258
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, 14 Juli 2017



ABSTRAK

Firman Julismar. Skripsi: Kaji Eksperimental Variasi Bentuk Blade dan Overlap Turbin Angin Vertikal Tipe Savonius. Jakarta :Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Agustus 2017.

Penelitian ini bertujuan untuk mecegahnya krisis senergi yang dialami masyarakat global dan menciptakan sumber energi yang dapat diperbarui kembali. Energi angin adalah energi potensial maka dari itu peneliti menciptakan turbin angin dan mengetahui variasi bentuk dan overlap mana yang mempunyai daya yang paling baik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini, pengujian yang dilakukan adalah membuat variasi bentuk blade dan overlap. Penelitian ini dimulai dengan merancang sebuah turbin angin vertikal tipe *savonius* dan menguji dengan variasi angin 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s. Pengujian ini dilakukan untuk mengambil data RPM, Tegangan, Kuat, Arus dan Daya yang bertujuan untuk mengetahui jenis turbin angin mana yang mempunyai daya yang paling baik. Hasil pengujian pada turbin angin *savonius* menunjukkan bahwa turbin dengan variasi overlap 2,5 dengan bentuk blade U mempunyai daya paling tinggi sebesar 0,02744 watt.

Kata kunci: Variasi Bentuk Blade, Turbin Angin, Savonius, Krisis Energi

ABSTRACT

Firman Julismar. Thesis: *Assess Experimental Blade Form Variation and Overlap of Type Savonius Vertical Wind Turbines.* Jakarta: Mechanical Engineering Education Study Program, Faculty of Engineering, Jakarta State University, August 2017.

This study aims to prevent the energy crisis experienced by the global community and create renewable energy sources. Wind energy is potential energy so the researchers create wind turbines and know which form variations and overlap have the best turbine efficiency. The method used in this research is the experimental method. In this research, the test is to vary the circle curve on the blade blade and overlap. This research begins by designing a vertical savonius wind turbine and testing with wind variations of 2 m / s, 3 m / s, 4 m / s, 5 m / s. This test is conducted to retrieve RPM, Voltage, Power Flow and Power data which aims to know which type of wind turbine has the best efficiency. Test results on savonius wind turbines show that turbines with overlap variations of 2.5 with blade U shape and shaft variation 2 have the highest efficiency with a power of 0.02744watts.

Keywords: Blade Form Variations, Wind Turbine, Savonius, Energy Crisis.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmatnya sehingga penulis berkesempatan untuk menyelesaikan penelitian berjudul **“KajiEksperimentalVariasiBentuk Blade Dan Overlap TurbinAnginVertikalTipeSavonius”**.

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. Bapak Ahmad Kholil, S.T. M.T., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
2. BapakDr. Catur Setyawan. K ., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan motivasi, saran, dan bimbingan kepada penulis.
3. BapakDrs. Sirojuddin, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Eko Arif Syaefudin, S.T., M.T. selaku penasehat akademik yang juga telah banyak membantu penulis.
5. Ayah danIbutercinta yang selalumemberikandukungan moral dandaoanyasehinggapenulisbiasmenyelesaikanstudi.
6. Teman seperjuangan dalam penelitian, Arif Nur Arifin danDellyAriansyah yang selalu memberi bantuan dalam pengambilan data. Sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini.
7. Teman teman seperjuangan mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin, NR 2011 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
8. Mas Dayat , Pak Pri dan Bang Boim selaku penjaga lab. Produksi UNJ yang selalu membantu dan memberi saran dalam pembuatan alat penelitian.
9. 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, 10 Juli 2017

FirmanJulismar

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| COVER | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| BAB I. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Identifikasi Masalah | 4 |
| 1.3. Pembatasan Masalah. | 4 |
| 1.4. Perumusan Masalah..... | 5 |
| 1.5. Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.6. Manfaat Penelitian..... | 5 |
| BAB II. DASAR TEORI | |
| 2.1. Energi Angin | 6 |
| 2.2. Turbin Angin | 7 |
| 2.2.2. Turbin Angin Vertikal..... | 9 |
| 2.3. Pengaruh <i>Overlap Ratio</i> | 12 |
| 2.4. Torsi Turbin Angin..... | 13 |
| 2.5. Daya Turbin Angin..... | 13 |

| | |
|--|----|
| 2.6. Power Coefficient dan Tip Speed Ratio | 15 |
| 2.7. Teori Momentum Elementer Betz | 16 |
| 2.7. Perkembangan Turbin Angin dari Tahun ke Tahun | 20 |
| 2.7. Modifikasi Turbin | 21 |
| 2.9.1. Rotor Savonius Dua Bucket | 21 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1. Tujuan Operasional Penelitian | 24 |
| 3.2. Tempat dan Waktu | 24 |
| 3.3. Metode Penelitian | 24 |
| 3.4. Instrumen Penelitian | 25 |
| 3.5. Prosedur Penelitian | 26 |
| 3.6. Diagram Alir | 27 |
| 3.7. Perancangan | 28 |
| 3.8. Uraian Pembuatan Sample | 31 |
| 3.9. Set Up Alat | 32 |
| 3.10. Mengukur Kecepatan Angin | 33 |
| 3.11. Proses Pengujian | 34 |
| 3.12. Teknis Analisis Data | 35 |

BAB IV HASIL PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 4.1. Pengujian Kecepatan Putar (RPM) Turbin Angin Savonius | 36 |
| 4.2. Perbandingan Kecepatan Turbin Angin Variasi Overlap | 37 |
| 4.3. Perbandingan Kecepatan Turbin Angin Savonius Overlap 2,5 Variasi Bentuk Blade | 39 |
| 4.4. Analisis Daya Pengukuran Tegangan dan Arus | 41 |
| 4.5. Daya Turbin Angin Savonius | 41 |
| 4.6. Perhitungan Teoritis | 43 |

| | |
|--|----|
| 4.7. Analisa Torsi Pada Setiap Turbin..... | 44 |
| 4.8. Perhitungan TSR (<i>Tip Speed Ratio</i>)..... | 46 |
| 4.9. Perhitungan <i>Coeficient Performnace</i> | 46 |
| 4.10 Analisis Nilai Cp dan TSR..... | 47 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1. Kesimpulan..... | 51 |
| 5.2. Saran..... | 52 |
| DAFTAR PUSTAKA | 53 |
| LAMPIRAN 1 | 54 |
| LAMPIRAN 2 | 54 |
| LAMPIRAN 3 | 55 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tingkat Kecepatan Angin | 7 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi Komponen | 32 |
| Tabel 3.2 Data Pengujian | 34 |
| Tabel 4.1 Hasil Kecepatan Putar (RPM) Variasi Overlap Tanpa Beban dan Dengan Beban | 76 |
| Tabel 4.2 Perbandingan RPM Turbin Angin Savonius Overlap 2,5VariasiBentuk Blade Tanpa Beban dan Dengan Beban..... | 76 |
| Tabel 4.3 Daya Arus dan Tegangan Variasi Overlap Pada Turbin Angin Savonius | 76 |
| Tabel 4.4 Daya Arus dan Tegangan Variasi Bentuk Blade Pada Turbin Angin Savonius | 77 |
| Tabel 4.5 Daya Turbin Angin Savonius Blade U Variasi Overlap | 78 |
| Tabel 4.6 Daya Turbin Angin Savonius Overlap 2,5 cm Variasi Bentuk | 79 |
| Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Daya Teoritis | 80 |
| Tabel 4.8 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi Pada Turbin Angin Savonius Variasi Overlap..... | 81 |
| Tabel 4.9 Nilai Kecepatan Sudutdan Torsi Pada Turbin Angin Savonius Blade U Variasi Bentuk Blade | 82 |
| Tabel 4.10 Putar Turbin, Tip Speed Ratio dan Cp Pada Turbin Angin Savonius Blade U Variasi Overlap | 83 |
| Tabel 4.11 Putaran Turbin, Tip Speed Ratio dan Cp Pada Turbin Angin Savonius Variasi Bentuk Blade..... | 83 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Sketsa Sederhana Kincir Angin | 8 |
| Gambar 2.2 Turbin <i>Savonius</i> Standar | 10 |
| Gambar 2.3 Turbin <i>Savonius</i> Tipe U, Tipe S, Tipe L..... | 10 |
| Gambar 2.4 Turbin <i>Darrieus</i> | 11 |
| Gambar 2.5 Grafik Pengaruh Overlap Ratio..... | 12 |
| Gambar 2.6 Grafik Perbandingan Koefisien Daya dan Tip Speed Ratio..... | 16 |
| Gambar 2.7 Turbin <i>Savonius</i> Non Overlap | 21 |
| Gambar 2.8 Turbin <i>Savonius</i> Overlap | 22 |
| Gambar 2.9 Turbin dengan variasi bentuk..... | 23 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir | 27 |
| Gambar 3.2 Desain Jumlah <i>Blade</i> Turbin <i>Savonius</i> Tipe U | 28 |
| Gambar 3.3 Desain Poros | 28 |
| Gambar 3.4 Desain <i>Blade</i> Turbin <i>Savonius</i> Tipe U..... | 29 |
| Gambar 3.5 Desain <i>Blade</i> Turbin <i>Savonius</i> Tipe L1 | 29 |
| Gambar 3.6 Desain <i>Blade</i> Turbin <i>Savonius</i> Tipe L2 | 30 |
| Gambar 3.7 Sketsa Turbin | 30 |
| Gambar 3.8 Pengujian Turbin Angin Dengan Blower..... | 34 |
| Gambar 4.1 Grafik Hasil Kecepatan Putar (RPM) Variasi Overlap Tanpa Beban | 37 |
| Gambar 4.2 Grafik Hasil Kecepatan Putar (RPM) Blade U Non Overlap Tanpa Beban dan Dengan Beban | 38 |
| Gambar 4.3 Grafik Hasil Kecepatan Putar (RPM) Blade U Variasi Overlap 2,5 Tanpa Beban dan Dengan Beban | 38 |
| Gambar 4.4 Grafik Hasil Kecepatan Putar (RPM) Blade U Overlap 5 Tanpa Beban dan Dengan Beban | 39 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Kecepatan Putar (RPM) | |
| Variasi Bentuk Blade Tanpa Beban | 40 |
| Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kecepatan Putar (RPM) | |
| Variasi Bentuk Blade Dengan Beban | 40 |
| Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kecepatan Angin Dengan Daya | |
| Variasi Overlap | 41 |
| Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Daya | |
| Variasi Bentuk Blade..... | 42 |
| Gambar 4.9 Grafik Hasil Perhitungan Daya Berdasarkan Teori..... | 43 |
| Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Torsi | |
| Variasi Overlap | 44 |
| Gambar 4.11 Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Torsi | |
| Variasi Bentuk Blade..... | 45 |
| Gambar 4.12 Hubungan Nilai Cp dengan Kecepatan Angin terhadap Blade U NonOverlap | 47 |
| Gambar 4.13 Hubungan Nilai Cp dengan Kecepatan Angin terhadap Blade U Overlap 2,5 | 47 |
| Gambar 4.14 Hubungan Nilai Cp dengan Kecepatan Angin terhadap Blade U Overlap 5 | 48 |
| Gambar 4.15 Hubungan Nilai Cp dengan Kecepatan Angin terhadap Blade U Overlap 2,5 cm Variasi Bentuk Blade..... | 48 |
| Gambar 4.16 Hubungan Nilai Cp dengan Kecepatan Angin terhadap Blade L1 Overlap 2,5 cm Variasi Bentuk Blade..... | 49 |
| Gambar 4.17 Hubungan Nilai Cp dengan Kecepatan Angin terhadap Blade L2 Overlap 2,5 cm Variasi Bentuk Blade..... | 49 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena krisis energi yang sedang dialami dunia kini mulai dialami masyarakat Indonesia, Pada era industri saat ini penggunaan energi sangat meningkat tajam, oleh karena itu diperlukan sumber energi yang memenuhi kebutuhan. Salah satu sumber energi yang digunakan saat ini yaitu energi fosil, pada saat ini energi fosil semakin menipis maka diperlukan sumber energi yang baru. Selain itu energi fosil juga berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil maka perlu pengembangan sumber – sumber energi yang dapat diperbarukan.

Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh dimana saja karena jumlahnya melimpah dan tersedia terus – menerus. Indonesia juga merupakan Negara kepulauan yang memiliki potensi energi angin yang besar. Oleh sebab itu sangat dimungkinkan untuk dikembangkan turbin angin sebagai pembangkit listrik. Namun pemanfaatan energi angin ini masih langka, hal ini dikarenakan teknologi dan pengetahuan yang belum populer, arah angin di Indonesia juga berubah – ubah, kecepatan angin berfluktuasi dan kurang ekonomis. Namun daerah yang mempunyai potensi energi angin perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin lebih kompetitif.

Turbin angin adalah sebuah mesin yang berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara

Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Berdasarkan arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin dengan poros horizontal biasanya disebut dengan turbin propeller sedangkan turbin angin dengan poros vertikal dibagi lagi beberapa jenis yaitu tipe savonius dan darrieus. Turbin dengan poros horizontal lebih banyak digunakan oleh Negara – Negara yang memiliki kecepatan angin yang tinggi. Salah satu kekurangan pada turbin ini adalah butuh memerlukan kecepatan angin yang tinggi untuk bisa memproduksi listrik.

Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin 5 m/detik, masing – masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa.¹

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 gearbox 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/sudu agar

¹<http://www.alpensteel.com/article/116-103-energi-angin--wind-turbine--wind-mill/2286--pemanfaatan-energi-angin-di-indonesia> diakses tanggal 16 agustus 2017 jam 16.00 wib

tetap menghadap angin, sehingga dapat menangkap energi angin dari berbagai arah.

Permasalahan pada aplikasi turbin angin salah satunya adalah kondisi geografis pada suatu wilayah dimana ada wilayah dengan kecepatan angin dapat berubah sepanjang waktu. Karena itu diperlukan turbin angin yang mampu bekerja dalam keadaan angin berkecepatan rendah dan mampu menerima angin dari segala arah, dan Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin yang sesuai untuk menghadapi permasalahan yang terjadi.

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) terbagi menjadi dua jenis dilihat dari bentuk sudunya yakni savonius dan darreius. Turbin savonius termasuk turbin tipe sumbutegak (*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 rendah².

²<http://www.indoenergi.com/2012/07/jenis-jenis-turbin-angin>. Di akses pada tanggal 20 Januari 2017 jam 13:27

1.2 Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimana cara meningkatkan performa turbin angin *savonius*?
2. Bagaimana pengaruh bentuk kurva sudu diturbin angin *savonius* terhadap rpm turbin?
3. Bagaimana pengaruh overlap terhadap rpm turbin?
4. Apakah turbin angin vertikal tipe *savonius* dapat diterapkan sebagai penghasil energi alternatif di Indonesia?

1.3 Pembatasan Masalah

Batasan terkait desain dan analisis turbin angin vertikal tipe *savonius* antara lain:

1. Turbin angin yang digunakan adalah jenis turbin angin vertikal tipe *savonius*
2. Turbin *savonius* dirancang memiliki 2 bilah sudu (blade)
3. Alat yang disimulasikan dan dianalisa merupakan bentuk prototipe untuk mengetahui kecepatan putar turbin yang dihasilkan.
4. Blade yang digunakan berbentuk U, L dan Variasi
5. Kecepatan angin yang diujikan terdapat di dua tempat yaitu, Lab dan di lingkungan Universitas Negeri Jakarta.
6. Pengaruh perbedaan bentuk blade ditinjau terhadap kecepatan putar turbin (Rpm), torsi, tegangan listrik, daya, C_p dan TSR.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah di atas, maka perumusan masalahnya adalah Variasi kurva sudu manakah yang mempunyai keluaran daya paling besar ?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi bentuk blade terhadap dayayang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh variasi overlapterhadap dayayang dihasilkan.
3. Mengetahui kombinasi mana yang mempunyai daya paling baik.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan solusi dalam perancangan turbin angin.
2. Mengetahui proses perancangan dan pembuatan turbin angin poros vertikal tipe *savonius*.
3. Melatih keterampilan mahasiswa dalam merekayasa suatu alat.
4. Mengembangkan kreatifitas dalam memaksimalkan energi alternatif yang tepat guna.
5. Menjadi solusi krisis energi yang dihadapi dunia.
6. Membudayakan kebiasaan meneliti mahasiswa.
7. 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

Angin merupakan udara yang bergerak. Pergerakan ini disebabkan adanya perbedaan tekanan pada atmosfer bumi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh matahari, hal ini dikarenakan ada daerah yang terkena paparan matahari yang menyebabkan temperature menjadi tinggi dibandingkan daerah yang sedikit terkena paparan matahari. Perbedaan intensitas penyinaran matahari yang diterima pada setiap tempat menimbulkan temperatur dan rapat massa udara yang berbeda, sehingga temperatur berbanding terbalik dengan tekanan yang menjadikan temperatur yang tinggi memiliki tekanan udara yang rendah.

Angin yang bergerak mempunyai energi kinetik sehingga dapat diubah menjadi energi dalam bentuk lain seperti energi mekanik menjadi energi listrik. Untuk mengkonversi energi ini dibutuhkan alat dan diciptakanlah turbin angin.

Untuk menghasilkan energi listrik dibutuhkan energi kinetik. Energi kinetik adalah energi dari suatu benda karena gerakannya, dipengaruhi massa benda dan kecepatannya. Energi yang dimiliki angin memiliki persamaan:³

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: P = *Power output* (kilowatt)

ρ = Kerapatan udara (1,2 Kg/m³)

A = Area penangkapan angin (m²)

v = Kecepatan angin (m/s)

³J.F. Manwell, *Wind Energy Explained*, (Universty Of Massachusetts USA, 2009), h. 33

Persamaan diatas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal. Dimana energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik.

Tabel 2.1 Tingkat Kecepatan angin⁴

| Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah (m/s) | | |
|---|--------------------|--|
| 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 |
| 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.

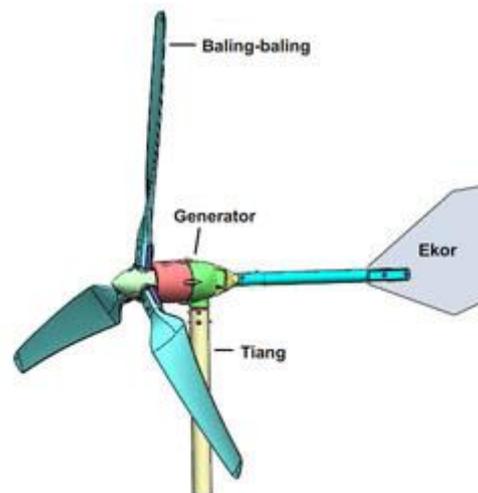
2.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah mesin yang berputar untuk mengubah energi kinetic menjadi energi listrik. Bagian yang berputara pada turbin disebut rotor, turbin angin awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dan

⁴M. Najib Habibie, Achmad Sasmito, Roni Kurniawan, Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Maluku Dan Sulawesi, (Jakarta: Puslitbang BMKG, 2011), h.183.

sekarang turbin angin lebih dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik seperti PLTD, PLTU dll, namun turbin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat akan menghadapi masalah yaitu kekurangan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui kembali seperti minyak bumi dan batu bara yang sekarang menjadi bahan dasar pembangkit tenaga listrik.

Cara kerja turbin angin cukup sederhana, energi angin dengan dorongan memutar turbin lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator. Energi listrik sebelum dimanfaatkan masuk kedalam baterai. Secara sederhana sketsa turbin angin digambarkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Sketsa Sederhana Kincir angin⁵

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

⁵<http://mit.ilearning.me/kincir-angin-pembangkit-listrik/> (diakses pada tanggal 21 Agustus 2017 jam 10.30)

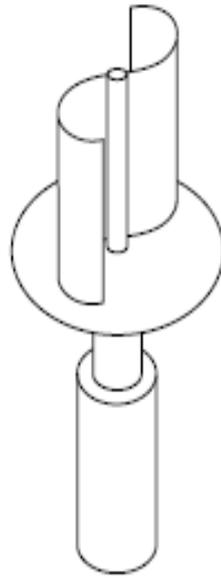
2.2.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal memiliki sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama dari turbin ini yaitu turbin tidak perlu diarahkan ke angin agar bekerja secara efektif atau angin cocok dengan angin yang bersifat fluktuatif. Dengan turbin ini gearbox bisa ditempatkan di tanah sehingga turbin lebih mudah diakses dan mudah dalam perawatan. Sehingga secara biaya mengalami efisien dan rendah.

Namun dibalik kelebihanannya memiliki kekurangan yaitu jenis turbin ini hanya memproduksi 50 % energi listrik, turbin ini mempunyai torsi awal yang rendah sehingga dibutuhkan dorongan eksternal untuk mengoperasikannya. Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua:

1. Turbin Angin Savonius

Turbin angin savonius pertama kali diperkenalkan pertama kali oleh insinyur finlandia Sigurd. J Savonius pada tahun 1922. Turbin angin ini yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (elips) yang dirangkai membentuk S. Berdasarkan prinsip turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat energi angin mengalir melalui sudu turbin. Gaya hambat yang besar terdapat pada sudu berbentuk cekung sedangkan pada sudu berbentuk cembung gaya hambat yang dihasilkan lebih kecil. Setiap turbin angin memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat efisiensi terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan anginnya.



Gambar 2.2 Turbin Savonius Standar⁶

Konstruksi turbin savonius sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu silinder. Pada perkembangannya turbin savonius terus mengalami perubahan bentuk rotor, seperti desai sudu berbentuk L (Lihat Gmabar 2.3)

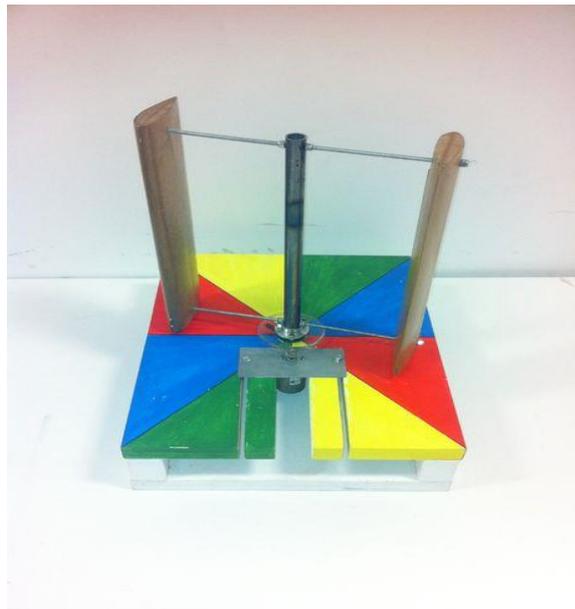


Gambar 2.3 Turbin Savonius Tipe U, Tipe S, Tipe L

⁶J.F. Manwell ,*Op.Cit*, h. 153

2. Turbin Angin Darrieus

Turbin Angin Darrieus pada umumnya dikenal dengan sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai bilah – bilah tegak yang berputar kedalam dan keluar dari arah angin.⁷ Kelebihan dari turbin ini memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding turbin savonius. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk memulai berputar.



Gambar 2.4 Turbin Darrieus

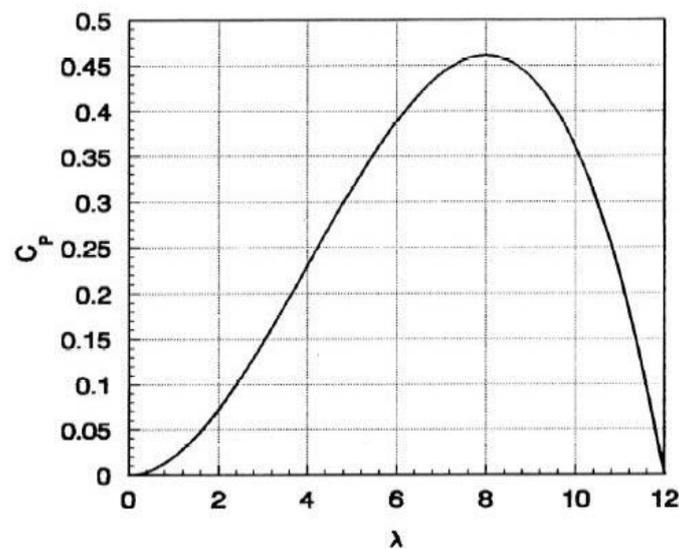
Sumber : <http://www.instructables.com/id/Darrieus-Wind-Turbine/>

(diakses pada tanggal 21 agustu 2017 Jam.10.45)

2.3 Pengaruh *Overlap Ratio*

⁷<http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/640/jbptitbpp-gdl-fransiscus-31998-3-2008ta-2>(diakses pada tanggal 21 Agustus 2017 Jam 10.43)

Pengaruh dari *overlap ratio* ini sangat penting untuk menunjang besaran keluaran yang dihasilkan oleh suatu turbin angin. Banyak manfaat dari *overlap ratio* yaitu dengan adanya rasio overlap tekanan pada sudu berkurang karena aliran fluida dipindahkan ke sudu yang berlawanan, dengan adanya *overlap ratio* torsi pun semakin besar menyatakan bahwa performa terbaik untuk turbin Savonius didapat saat $e' = 0$. Effisiensi terbaik didapat saat nilai *overlap ratio* yaitu 15% dari diameter sudu, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.5 Grafik pengaruh *overlap ratio*⁸

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

2.4 Torsi Turbin Angin

⁸http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/power_coefficient.htm (diakses pada tanggal 21 Agustus 2017 Jam. 10.50)

Gaya pada sudu yaitu jenis keliling (*circumferencial force*) arahnya adalah rotasi roda yang mengakibatkan torsi dan gaya aksial ke arah aliran angin yang menyebabkan gaya aksial (*axial thrust*). Gaya keliling atau torsi dapat diperoleh dari persamaan berikut:⁹

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{\pi DN} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : ω = kecepatan angular turbin (put/det)

P = *Power output* (kilowatt)

D = Diameter turbin

N = putaran turbin

2.5 Daya Turbin Angin (*Wind Turbine*)

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan dibawah ini :

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

Prinsip dasar turbin angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadi dengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain batang kincir (*blade*). Ketersediaan angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin.

⁹Astu pudjanarsa, Djati nursuhud, Mesin Konversi Energi,(Yogyakarta: Andi Offset, 2006), h.248

Ada 2 gaya yang bekerja pada batang kincir yaitu gaya *lift* dan *drag*, pada model kincir diatas maka batang kincir bergerak/terangkat karena gaya *lift*. Energi yang dihasilkan oleh turbin angin dinyatakan sebagai berikut. Energi kinetik yang dihasilkan oleh benda yang bergerak adalah:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana m adalah massa udara yang mengenai turbin angin, dan v adalah kecepatan angin. Massa m tersebut dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$m = \rho (Ad) \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana ρ adalah densitas udara, A adalah luas daerah yang menyapu turbin angin, dan d adalah jarak yang ditempuh angin. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin (P_w) merupakan energi kinetik per detik yang dinyatakan oleh:

$$P_w = \frac{E_{kin}}{t} + \frac{\frac{1}{2}\rho Ad v^2}{t} = \frac{1}{2}\rho A v^3 \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

P = *Power output* (kilowatt)

ρ = *Air density*(kg/m³)

A = *Rotor swept area*(m²)

V = *Wind speed*(m/s)

Salah satu yang mempengaruhi daya (*Power*) turbin angin ialah konfigurasi geometri turbin angin yang meliputi karakteristik *propeller*, bentuk dan jumlah bilah (*blade*) digunakan. Semua hal itu sangat berpengaruh terhadap gaya *lift* dan *drag* dalam menentukan daya yang dihasilkan turbin.

2.6 Power Coefficient dan Tip Speed Ratio

Power coefficient adalah perbandingan antara nilai energi mekanik yang dihasilkan oleh perputaran rotor dan energi mekanik dari angin yang melintasi rotor. Kleuaran energi mekanik dari rotor merupakan daya yang bervariasi torsi dan kecepatan putar dari rotor. Dalam persamaan matematis ditulis dengan.¹⁰

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

Tip speed ratio merupakan salah satu parameter penting dalam perancangan suatu turbin angin. *Tip speed ratio* disini dilambangkan dengan λ merupakan perbandingan antara kecepatan pada ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Nilai *Tip speed ratio* ini dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{\pi D N}{60 V_{max}} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

λ = *tip speed ratio*

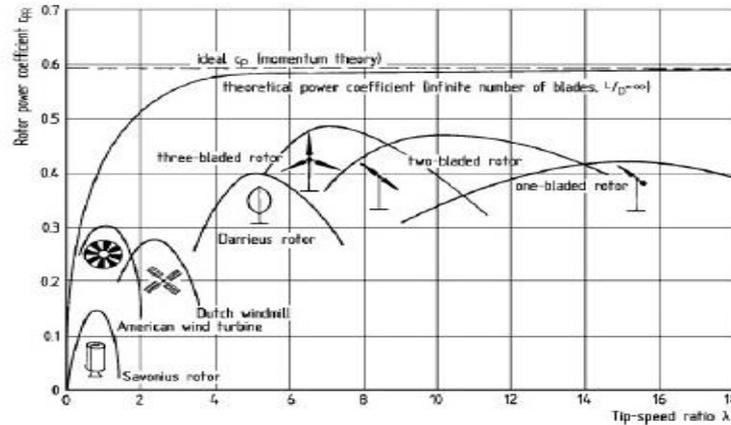
D = diameter rotor (m)

N = putaran rotor (rpm)

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

¹⁰J.F. Manwell, Op.Cit, h. 63

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 Grafik Perbandingan Koefisien Daya dan *Tip Speed Ratio*

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.

2.7 Teori Momentum Elementer Betz

Seorang aerodinamikawan asal Jerman yang bernama *Albert Betz* orang yang memperkenalkan teori tentang turbin angin. *Albert Betz* mengasumsikan bahwa suatu turbin mempunyai sudu – sudu yang tak terhingga jumlahnya dan tanpa hambatan juga yang 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 adalah¹¹ :

$$P_T = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dari persamaan kontinuitas diperoleh :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Sehingga,

$$P_T = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\text{Jika } m = \rho V = \rho v_1 A_1 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan menstubsitusi persamaan (2.10) ke persamaan (2.11) menjadi :

$$P_T = \frac{1}{2} m (V_1^2 - V_2^2) \dots \dots \dots (2.12)$$

¹¹Farel 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

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 kenyataannya 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

$$P_T = F_T v = m (v_1 - v_2)v \dots \dots \dots (2.14)$$

Dari persamaan (2.13) dan (2.14)

$$\frac{1}{2} m (V_1^2 - V_2^2) = m (V_1 - V_2) v \dots \dots \dots (2.15)$$

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

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

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

Sehingga kecepatan aliran pada turin sebanding dengan nilai v_1 dan v_2 . Aliran massa udara menjadi

$$m = \rho Av = \frac{1}{2}\rho A(v_1 + v_2) \dots \dots \dots (2.16)$$

Daya mekanik turbin menjadi

$$P_T = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) \dots \dots \dots (2.17)$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \right] [(v_1^2 - v_2^2)]$$

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

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

$$C_p = \frac{P_T}{P_w} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2)}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3} \dots \dots \dots (2.18)$$

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*. Faktor *Betz* menunjukkan nilai maksimum semua alat konversi energi angin, tak ubahnya mesin Carnot untuk mesin – mesin termodinamika.

2.8 Perkembangan Turbin Angin dari Tahun ke Tahun

Pada saat ini, sistem pembangkit tenaga angin ini menjadi bagian yang harus di pikirkan untuk kedepan dengan bertujuan sebagai sumber nergi alternatif yang bersih, aman serta ramah lingkungan dan kelebihan – kelebihan yang lainnya. Turbin angin skala kecil menjadi peranan penting di daerah – daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Penmanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan enegri terbaru yang paling berkembang saatini bedasarkan data dari WWEA (*World Wind Energy Association*), sampai dengan tahun 2007 perkiraan energi listrik yang dihasilkan 93,85 GW dan menghasilkan lebih dari 1% dari total kelistrikan secara global.

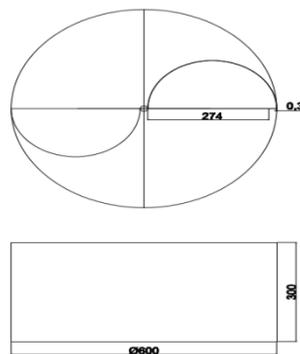
2.9 Modifikasi Turbin Angin

Seiring perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan serta penelitian dari ilmuwan maka banyak inovasi dan modifikasi yang dibuat terutama untuk rotor turbin angin, sebagai contoh modifikasi rotor atau sudu pada turbin angin tipe savonius. Berikut contoh penjelasannya

2.9.1 Rotor Savonius Dua Bucket

Bedasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini memanfaatkan gaya hambat (*drag*) saat mengestrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh karena itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang besar daripada sisi lain sehingga membuat rotor berputar. Pada dasarnya savonius dua bucket memiliki tiga variasi yaitu.

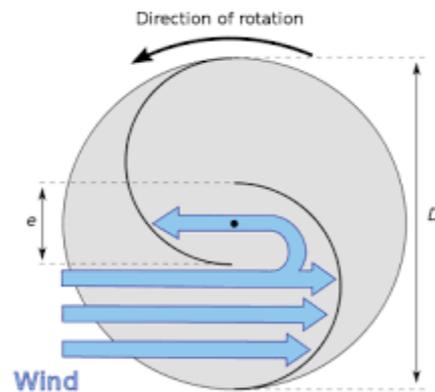
A. Konfigurasi tanpa overlap



Gambar 2.7 Turbin Savonius Non Overlap

Rotor jenis ini memiliki kekuatan yang tinggi kaeran letak poros yang tepat berada di tengah kedua bucketnya. Rotor ini memiliki eifisiensi yang rendah.

B. Konfigurasi Dengan Overlap



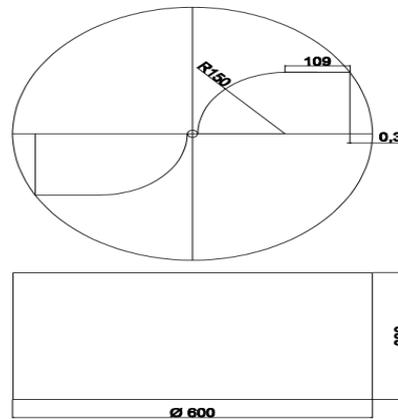
Gambar 2.7 Turbin Savonius Overlap

Sumber : <http://www.getstpln.com/2014/03/> (diakses pada tanggal 21 Agustus 2017 Jam 11.07)

Jenis ini memiliki celah antar bucket sehingga membuat arah angin yang dapat meningkatkan putaran dan adanya rasio overlap torsi pun semakin besar.¹² Efisiensi pada rotor ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi non overlap.

¹²Abdul Qodir Al – Jailanny, Silas Prayoga Putra, Wahyu Puspa Wijaya. *Turbin Angin* (Malang: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, 2016)

C. Konfigurasi dengan bucket didefleksikan



Gambar 2.8 Turbin dengan variasi bentuk

Konfigurasi ini berbentuk L, keunggulan dari jenis adalah bisa membelokkan fluida dan memiliki efisiensi yang lebih baik dari jenis – jenis yang lainnya. Bucket seperti diatas mampu bertindak seperti air foil ketika fluida menabrak tepi rotor dan sedikit menimbulkan gaya *lift* dan mampu meningkatkan efisiensi, tetapi jenis diatas mempunyai kekurangan yaitu relative sulit dibuat dikarenakan membutuhkan lembaran logam yang di rol bukan dari potongan drum.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

1. Tempat Pembuatan : Laboratorium Produksi Jurusan Teknik
Mesin
Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Tempat Pengujian : Universitas Negeri Jakarta
3. Waktu Pembuatan : Oktober – Maret 2017
4. Waktu Pengujian : Mei 2017

3.2 Metode Penelitian

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

1. Metode Kajian Pustaka

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

2. Metode Eksperimen

Penulis juga menggunakan metode eksperimen laboratorium. Penulis melakukan analisis beberapa bentuk *blade* dengan menggunakan bantuan *software Autodesk Inventor* untuk memilih tipe *blade* yang akan dibuat, setelah itu penulis akan membuat turbin angin *savonius* secara fisik dan mengujinya dengan variasi

bentuk *bladed* dan jarak poros dari *blade*. Pengujian dilakukan pada 1 tempat di Lab dengan menggunakan blower dengan kecepatan tertentu kemudian dianalisis untuk mencari *performance* turbin yang paling baik.

3.3 Instrumen Penelitian

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

3. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan peneliti adalah sebagai berikut :

- a. *Microsoft Office Word 2010*
- b. *Inventor 2014*
- c. *Auto Cad 2007*

4. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Laptop
- b. Printer
- c. Komputer
- d. Buku dan jurnal yang digunakan sebagai referensi
- e. Jurnal terkait turbin angin
- f. Laporan penelitian terkait turbin angin
- g. Peralatan tulis
- h. Buku tulis
- i. Blower
- j. Tachometer
- k. Anemometer

1. Digital Multimeter

5. Instrumen Pengujian

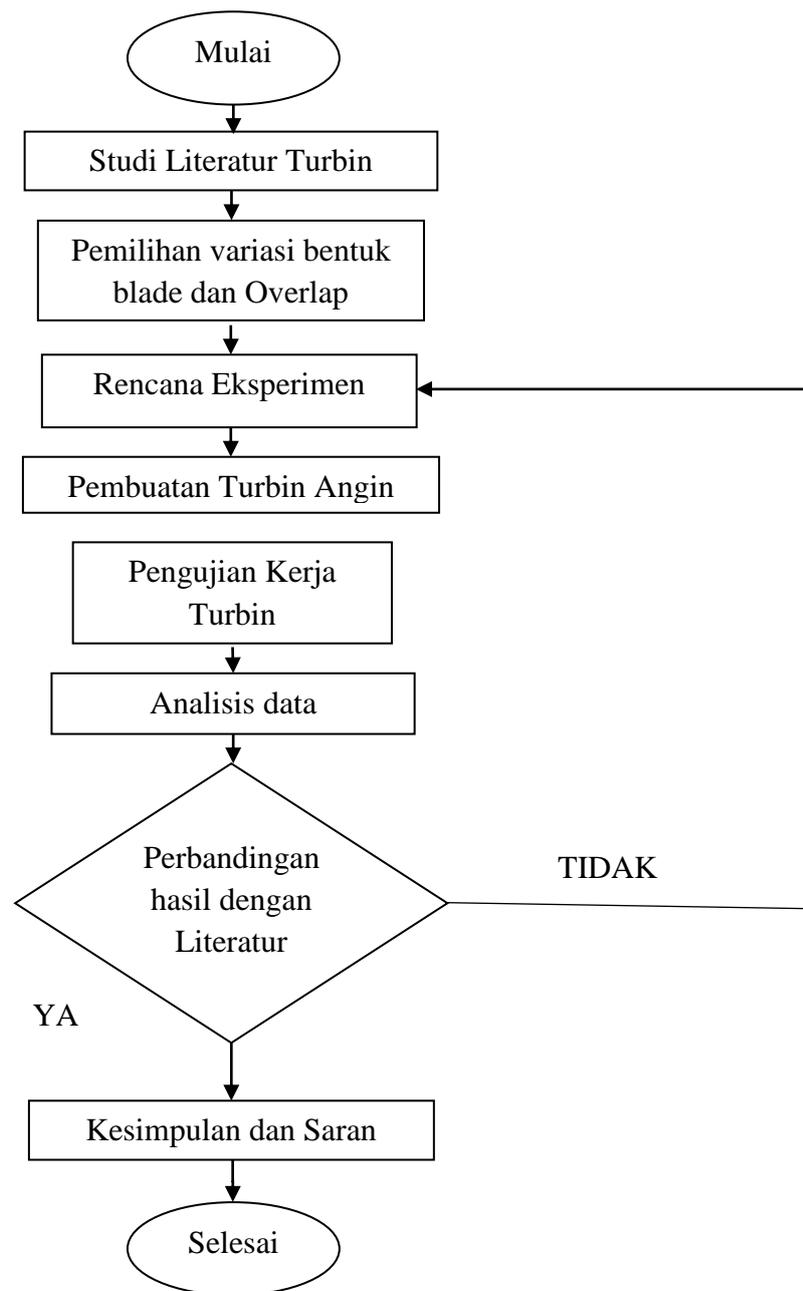
Alat ukur yang digunakan dalam perancangan prototipe turbin angin Savonius adalah:

- a. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang berhembus pada saat mendekati turbin.
- b. Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari rotor turbin.
- c. Digital Multimeter digunakan untuk mengukur arus searah, tegangan, dan
- d. tahanan listrik.

3.4 Prosedur penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, dimulai dari studi pustaka kemudian dilanjutkan dengan perencanaan *blade*, melakukan analisis *blade*. Setelah analisis selesai maka masuk kepada proses pembuatan dan diakhiri dengan proses pengujian kerja turbin dengan variasi blade dan jarak poros terhadap blade .

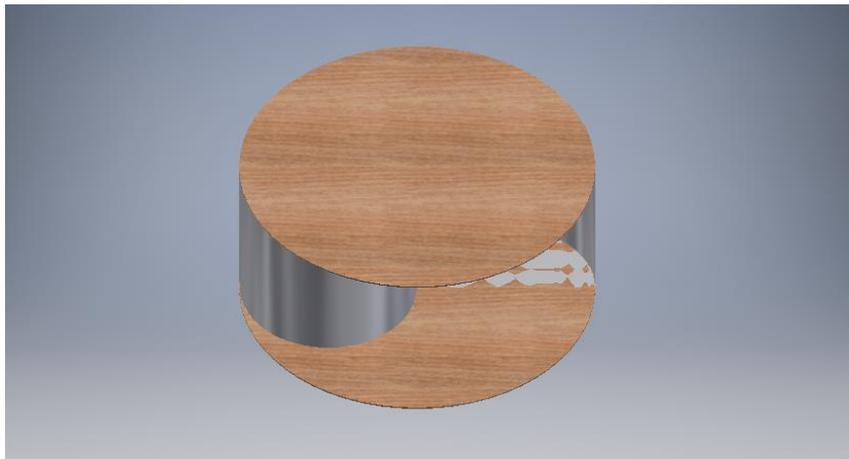
3.5 Diagram Alir



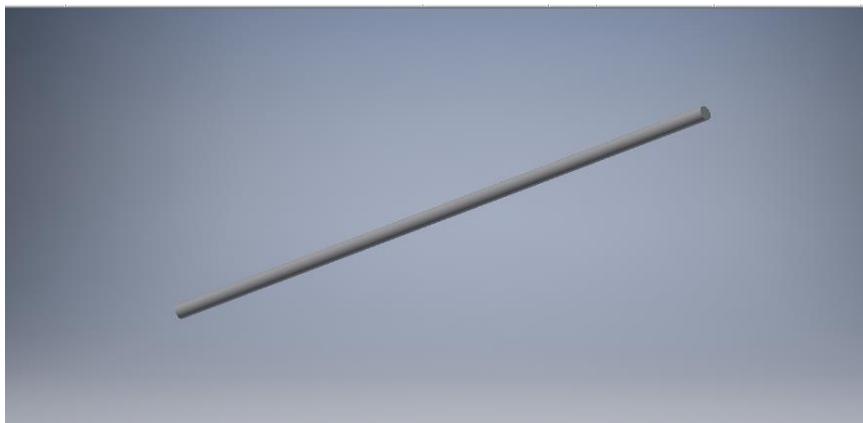
Gambar 3.1 Diagram Alir

3.6 Perancangan

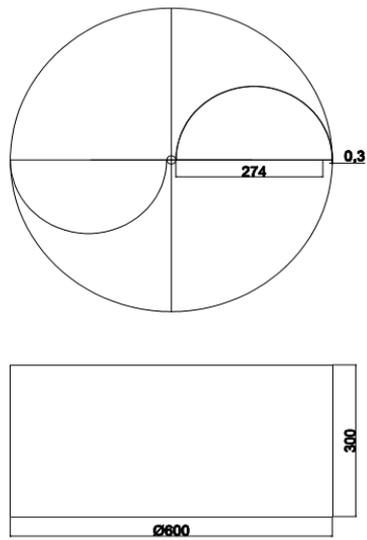
Tahap awal perancangan adalah dengan memilih tipe *blade*. Pada penelitian ini penulis memilih untuk menggunakan *blade* tipe U, L dan Variasi. Setelah itu penulis merancang desain turbin angin *Savonius*, mulai dari *blade*, poros dan rangka penyangga.



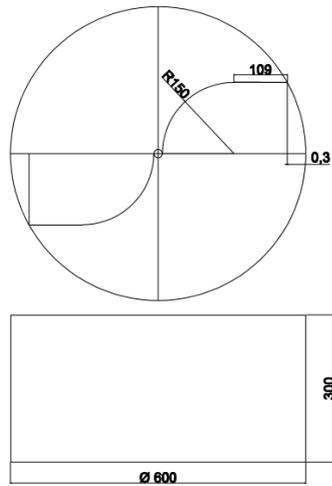
Gambar 3.2 Desain Jumlah *Blade* Turbin *Savonius* Tipe U



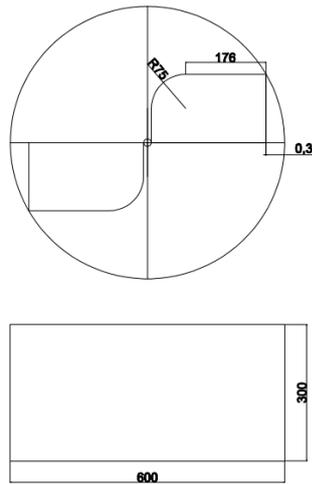
Gambar 3.3 Desain Poros



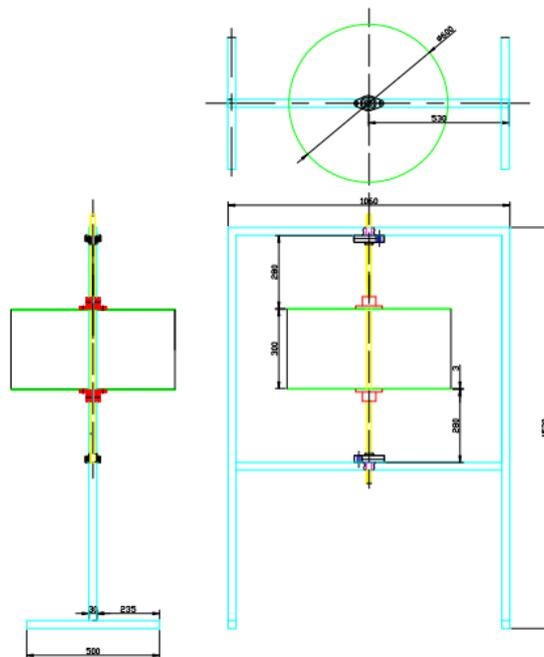
Gambar 3.4 Desain Blade Turbin Savonius Tipe U



Gambar 3.5 Desain Blade Turbin Savonius Tipe L1



Gambar 3.6 Desain Blade Turbin Savonius Tipe L2



Gambar 3.7 Sketsa Turbin

3.7 Uraian pembuatan sampel

Uraian pembuatan sampel sebagai berikut:

1. Pembuatan Sudu Rotor Savonius

Pada perancangan ini dibentuk sebuah rotor Savonius dengan tipe U, L1 dan L2 yang memiliki variasi kelengkungan berdimensi sebagai berikut:

- Sudu U : Panjang 30 cm, Tinggi 30 cm, Tebal Plat 0.3 mm
- Sudu L1 : Radius 150, Tinggi 30 cm, Tebal Plat 0,3 mm
- Sudu L2 : Radius 75, Tinggi 30 cm, Tebal Plat 0,3 mm

2. Pembuatan rangka

Rangka ini digunakan sebagai dudukan turbin savonius dan menggunakan besi balok *hollow* dengan ukuran 30 mm x 30 mm x 3.0 mm. Besi dipotong sesuai ukuran yang ditentukan kemudian diberi lubang dimana akan dipasang mur dan baut sebagai pengikat. Setelah itu, dilakukan pengelasan untuk menghubungkan bagian-bagian yang bersinggungan. Rangka ini diharapkan mampu menopang turbin beserta komponen-komponen lainnya.

Table 3.1 Spesifikasi komponen

| No | Nama Komponen | Qty | Bahan | | Dimensi |
|----|---------------|-----|-------------------|----------------------------|--|
| | | | Nama Bahan | Komposisi Bahan | |
| 1 | Sudu | 2 | Alumunium Plat | | U =Diameter 30 cm |
| 2 | Bearing | 2 | Alumunium | | |
| 3 | Poros | 1 | Alumunium | | Diamater = 17 mm,Panjang 1 meter |
| 4 | Rangka | 1 | Besi Hollow | h x b x t 30 x 30 x 3.0 | P = 106 cm T =149 cm |
| 5 | Tutup Blade | 2 | Polycarbonat | | Diameter = 60 cm |

3.8 Set Up Alat

Kecepatan angin diambil dengan cara menaruh digital anemometer di depan blower dengan jarak 2.5 meter. Data untuk kecepatan diambil dengan variasi 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s.

Kemudian turbin angin ditempatkan di depan blower dengan jarak yang ditentukan. Pada bagian ujung poros dipasang generator untuk mengetahui daya

keluaran turbin. Multimeter pun dirangkai yang bertujuan untuk menghitung tegangan dan kuat arus dari turbin.

3.9 Mengukur kecepatan angin

Kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer yang posisinya ditentukan untuk mendapatkan kecepatan angin yang maksimum. Agar posisinya konstan terhadap sumber angin, anemometer disangga menggunakan statif. Pengukuran dilakukan dengan tidak menyertakan turbin terlebih dahulu yang bertujuan untuk mengetahui kecepatan awal angin sebelum menumbuk turbin. Hal ini bertujuan untuk mencegah hasil pengukuran yang sedikit berbeda karena putaran turbin dapat mempengaruhi nilai kecepatan angin yang diukur oleh anemometer.

1. Analisis penyebaran angin terhadap rotor turbin

Analisis penyebaran angin bertujuan untuk mengetahui hasil penyebaran kecepatan angin dari *blower* terhadap luas daerah sudu turbin karena luas penampang turbin angin lebih besar daripada luas penampang *blower* sehingga perlu diketahui masing-masing titik sudu turbin dalam menerima tumbukan kecepatan angin. Sampel kecepatan angin yang diuji adalah 3 m/s. Hasil penyebarang angin terhadap luas daerah sudu savonius adalah sempurna artinya seluruh penampang sudu mendapatkan tumbukan kecepatan angin yang sama yaitu 3 m/s. Luas daerah sudu savonius ditandai dengan garis berwarna hijau.

3.10 Proses Pengujian

Variasi yang dipakai menjadikan turbin angin ini menjadi 3 desain. Desain pertama pada turbin ini bertipe U, desain kedua bertipe L1, desain ketiga bertipe L2.

Pembuatan turbin dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin Gedung B FT UNJ dan pengujian turbin dilakukan di Laboratorium Pneumatik Gedung C FT UNJ. Pengukuran tegangan dilakukan secara manual menggunakan multimeter yang disusun secara parallel dan mengukur arus disusun secara seri. *Blower* sebagai sumber anginnya dan pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer. Anemometer dipasang secara statif kemudian ditempatkan dengan jarak 2.5 meter dari *blower*. Dalam penelitian ini menggunakan angin dengan kecepatan 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s. Dengan variasi kecepatan angin ini kemudian diukur tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter serta putaran rotor yang dihasilkan turbin (RPM) menggunakan *digital tachometer non contact*.

Table 3.2 Tabel Pengujian

| Variasi Bentuk dan Overlap | 0 | 2,5 | 5 |
|----------------------------|---|-----|---|
| U | √ | √ | √ |
| L1 | X | √ | √ |
| L2 | X | √ | √ |



Gambar 3.8 Pengujian turbin angin dengan *blower*

Data RPM diambil dengan menggunakan tachometer digital laser, tegangan dan kuat arus diukur dengan menggunakan multimeter digital. Selain itu massa turbin ditimbang dengan menggunakan timbangan digital, baru setelah itu diambil datanya.

3.11 Teknik Analisis Data

Pada setiap rotor dihitung C_p nya masing-masing. Kemudian berlanjut pada perhitungan data dari ketiga desain turbin. Data yang diolah adalah daya keluaran, RPM, TSR. Setelah itu dibuat grafik dari hasil perhitungan pada masing-masing tipe turbin. Yang pertama adalah grafik daya keluaran terhadap kecepatan angin, Grafik yang kedua adalah grafik RPM terhadap kecepatan angin, Grafik ketiga adalah grafik C_p terhadap kecepatan turbin, Grafik keempat adalah grafik TSR terhadap kecepatan angin, dan sedangkan grafik yang kelima adalah grafik antara C_p dan TSR.

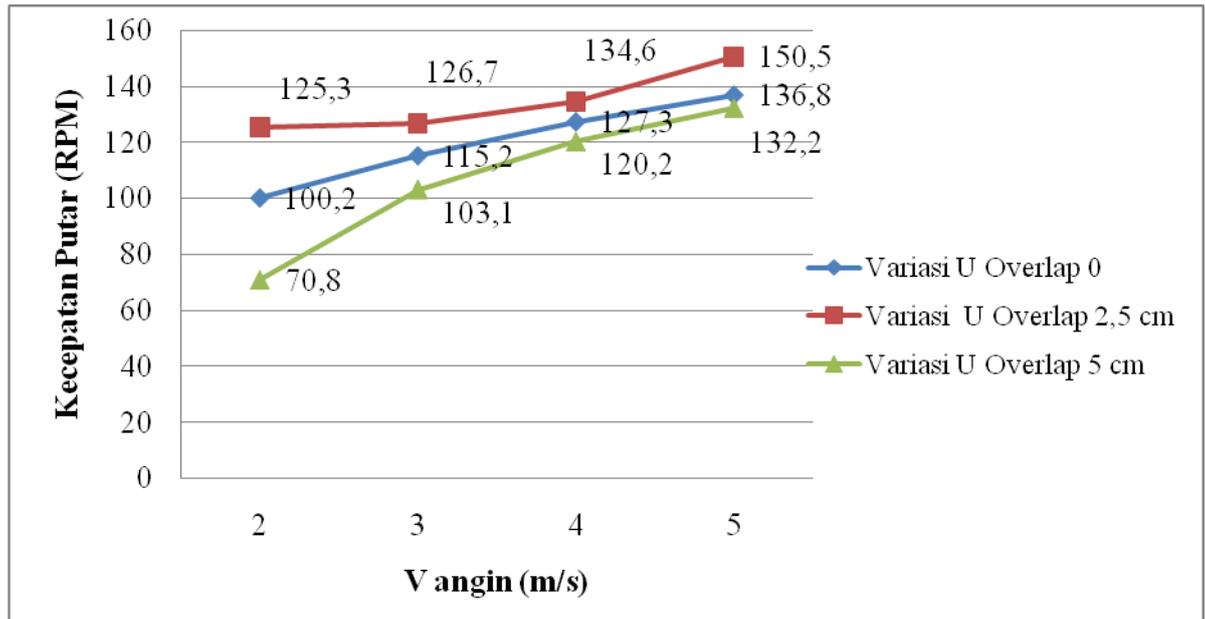
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kecepatan Putar (RPM) Turbin Angin Savonius

Pada pengujiannya turbin angin diletakan tepat diposisi dimana anemometer diletakan. Hal ini bertujuan agar angin yang diterima oleh turbin akan sama besarnya dengan angin yang terukur dengan anemometer pada pengukuran sebelumnya. Pengukuran yang dilakukan menggunakan metode variasi kecepatan angin yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s. Kemudian dilakukan pengambil data untuk banyaknya putaran turbin (RPM) dan daya keluaran yang dihasilkan oleh masing-masing turbin.

Pengukuran putaran turbin (RPM) dengan menggunakan tachometer digital. Tachometer ini menggunakan sinar laser yang dapat membaca setiap putaran benda. Pengukuran yang dilakukan secara manual dengan cara menembakan tachometer ke aras poros yang berputar. Sebelum pengukuran poros diberikan kertas khusus terlebih dahulu, bertujuan agar ketika turbin berputar sinar laser dari tachometer dapat membaca setiap pantulan kertas tersebut sebagai indikator dalam penentuan nilai RPM.



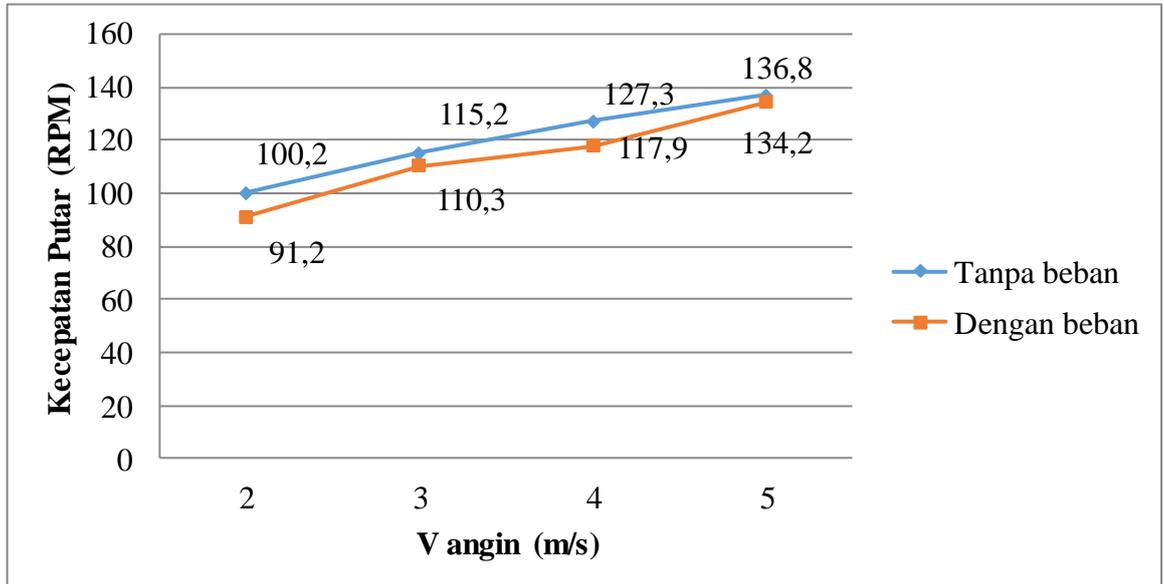
Gambar 4.1 Grafik hasil kecepatan putar (RPM) variasi *overlap* tanpa beban

Bedasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa variasi overlap 2,5 cm tanpa beban memiliki kecepatan putar (RPM) lebih tinggi dibandingkan dengan variasi non overlap dan variasi overlap 5 cm dikarenakan variasi overlap 2,5 cm mempunyai daya dorong yang tinggi tetapi di variasi overlap 5 cm mengurangi daya dorong hal ini dikarenakan besarnya jarak overlap yang menyebabkan terjadi turbulen sehingga banyak angin yang terbuang.

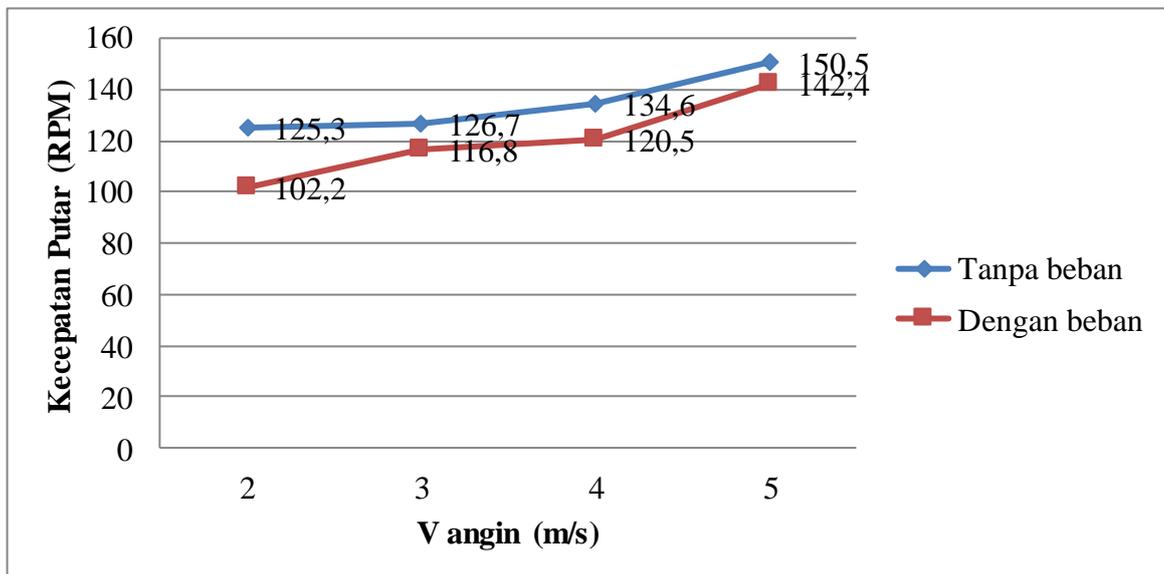
4.2 Perbandingan Kecepatan Turbin Angin Variasi Overlap

Untuk mengetahui perbandingan kecepatan putaran turbin angin dalam keadaan bebas tanpa menggunakan generator dengan keadaan dipasang beban yaitu dengan menggunakan generator dapat dianalisis dengan melihat tabel 4.2. Perbandingan putaran turbin angin bertujuan untuk mengetahui penurunan putaran atau rpm yang terjadi pada turbin angin ketika dalam keadaan tanpa menggunakan generator dan ketika menggunakan generator. Kecepatan turbin

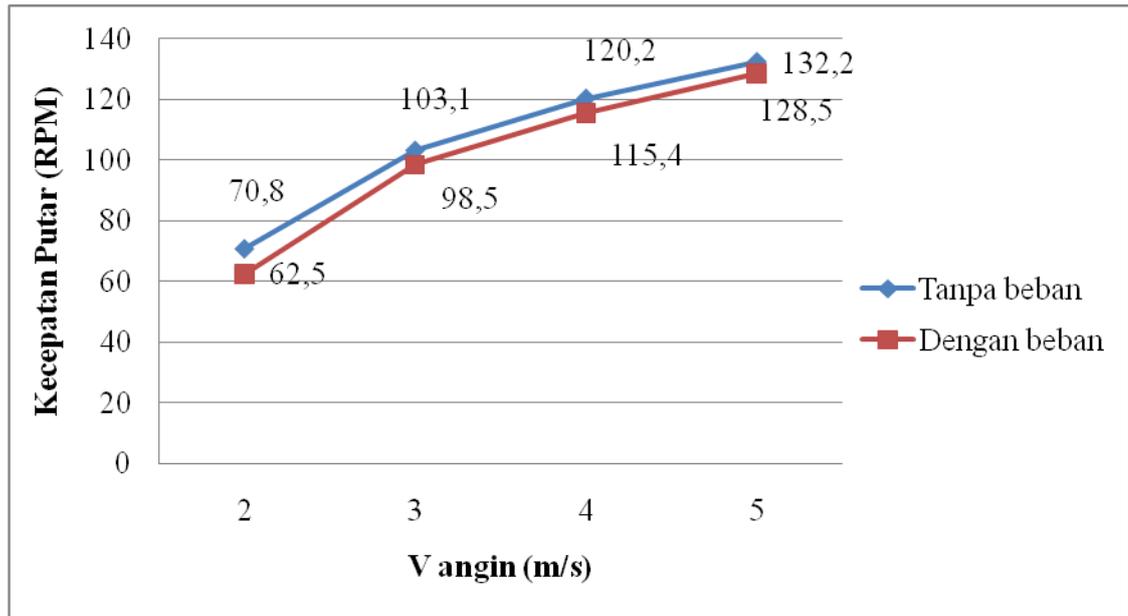
atau rpm sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh generator, semakin tinggi rpm maka daya yang dihasilkan oleh generator semakin besar.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan kecepatan rotor (RPM) blade U non overlap tanpa beban dan dengan beban



Gambar 4.3 Grafik perbandingan kecepatan rotor (RPM) blade U overlap 2,5 tanpa beban dan dengan beban



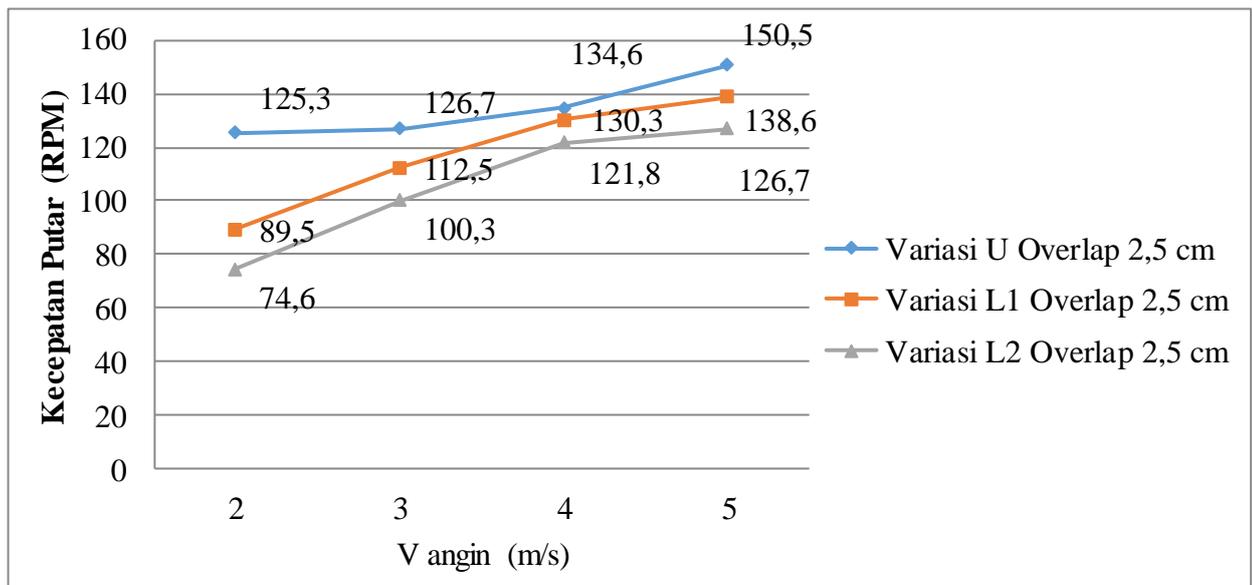
Gambar 4.4 Grafik perbandingan kecepatan rotor (RPM) blade U overlap 5 tanpa beban dan dengan beban

Bedasarkan Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 menunjukkan bahwa Overlap 2,5 cm lebih memiliki kecepatan putar (RPM) lebih tinggi dibandingkan Non Overlap dan Overlap 5, hal ini dikarenakan penambahan Overlap menambah daya dorong terhadap Blade sehingga putaran lebih maksimal tetapi di Overlap 5 mengurangi daya dorong hal ini dikarenakan besarnya Overlap yang menyebabkan banyaknya angin yang terbuang sehingga tidak bisa mengurangi gaya drag pada Blade tersebut.

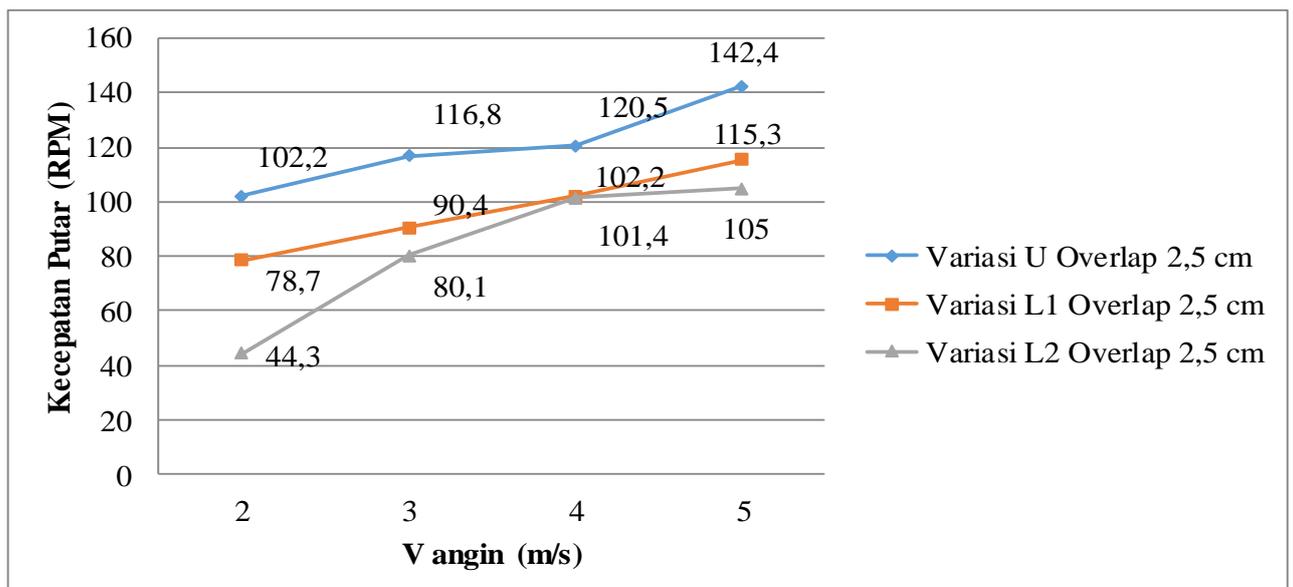
4.3 Perbandingan Kecepatan Turbin Angin Savonius Overlap 2,5 dengan

Variasi Bentuk Blade

Untuk mengetahui perbandingan kecepatan putaran turbin angin dengan variasi bentuk yaitu berupa kurva sudu pada blade U, L1 yang mempunyai radius R150 dan L2 yang mempunyai radius R75. Perbandingan putaran turbin angin bertujuan untuk mengetahui penurunan RPM yang terjadi.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan kecepatan rotor (RPM) variasi bentuk blade tanpa beban



Gambar 4.6 Grafik perbandingan kecepatan rotor (RPM) variasi bentuk blade dengan beban

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara Blade U, L1 dan L2 yang dimana kecepatan rotor (RPM) Blade U lebih besar

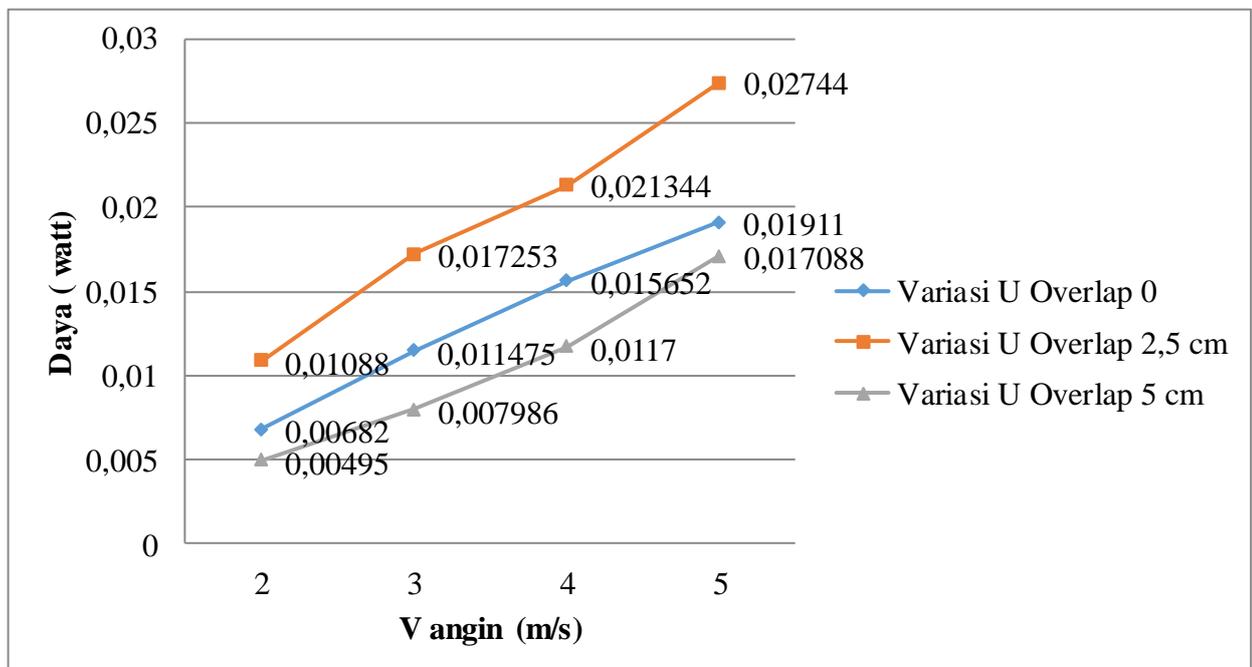
dibandingkan kedua Blade yang lain, hal dikarenakan gaya drag (gaya hambat) yang terdapat pada Blade U lebih besar dibandingkan Blade L1 dan L2.

4.4 Analisa Daya Pengukuran Tegangan dan Arus

Pengukuran daya keluaran dilakukan dengan mengukur tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh generator setelah diberikan beban berupa hambatan *LED Super Bright* dengan menggunakan multimeter. Data rata-rata hasil pengukuran turbin angin savonius dapat dilihat dari tabel 4.13, 4.14 dan 4.15

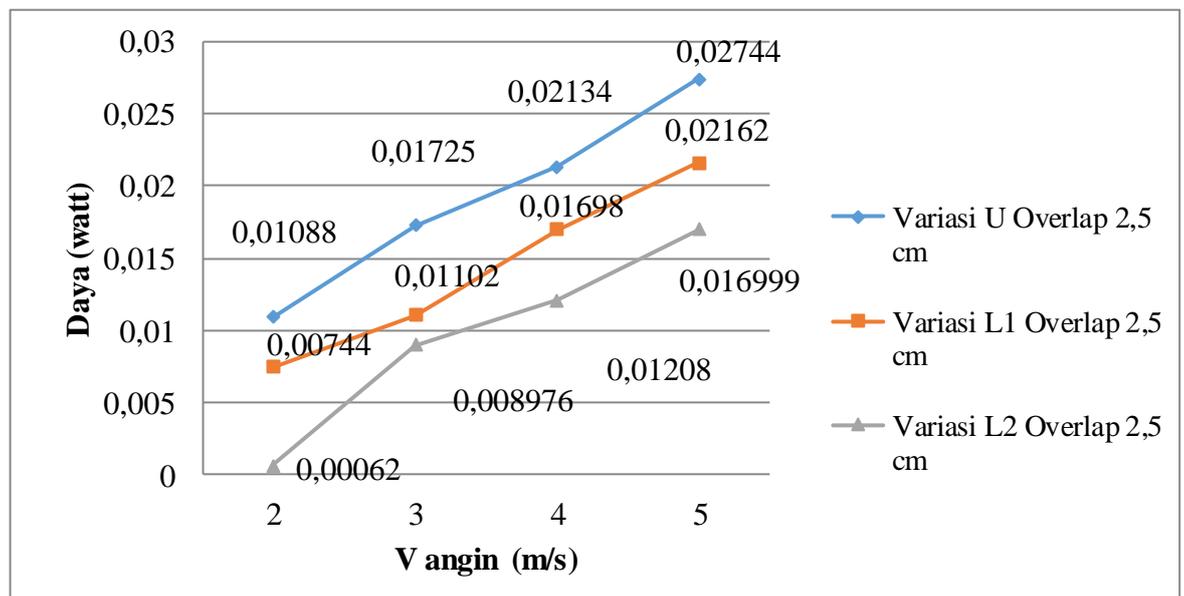
4.5 Daya Turbin Angin Savonius

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



Gambar 4.7 Grafik hubungan kecepatan angin dengan daya variasi overlap

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dibandingkan antara Blade U Non Overlap, Blade U Overlap 2,5, Blade U Overlap 5 bahwa daya yang paling besar terdapat pada Blade U Overlap 2,5. Hasil ini menunjukkan daya keluaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan besar tegangan dan kecepatan putar turbin (RPM) semakin besar keluaran semakin besar daya yang dihasilkan.



Gambar 4.8 Grafik hubungan kecepatan angin dengan daya variasi bentuk blade

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dibandingkan antara Blade U, L1 dan L2 bahwa daya keluaran yang besar terdapat pada Blade U hal ini dikarenakan gaya drag yang terdapat Blade U lebih kecil daripada Blade yang lain dan Variasi ini berpengaruh juga terhadap tegangan.

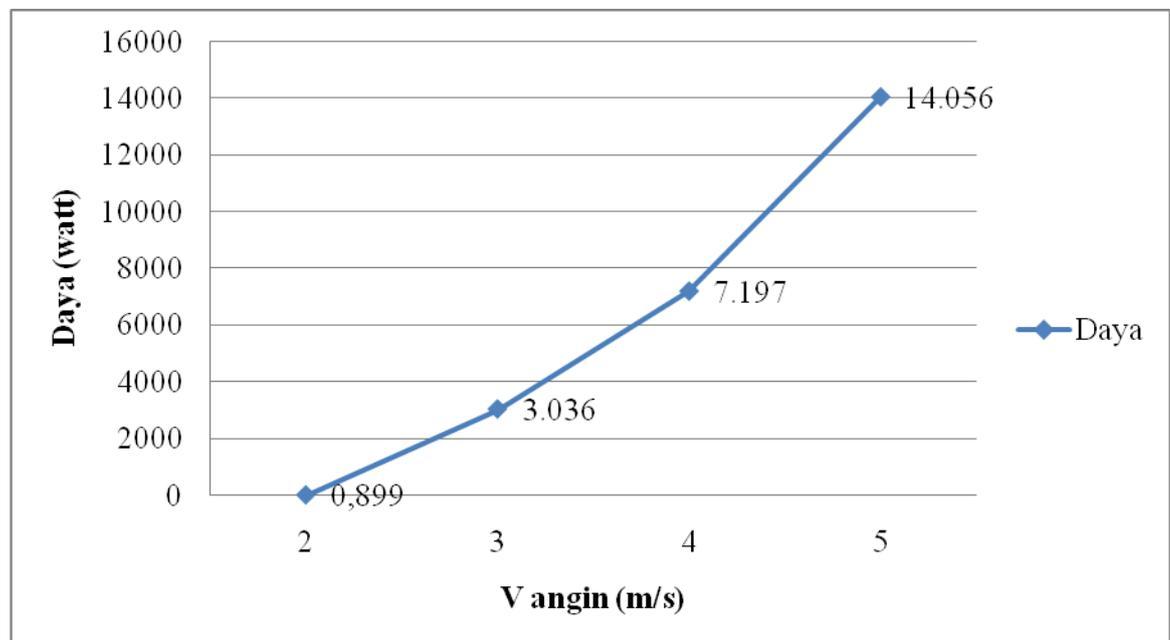
4.6 Perhitungan Teoritis

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

$$P_{in\ max} = 0.5 \cdot \rho \cdot A V \text{ angin}^3 \text{ atau } F_d = \frac{1}{2} (\Delta C_d \cdot A \cdot v^3)$$

(Perhitungan lengkap (P_{in}) terlampir pada halaman 57)

Hasil perhitungan $P_{in\ max}$ dilihat pada table 4.7



Gambar 4.9 Grafik hasil perhitungan daya berdasarkan teori

Pada Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa daya yang dihasilkan oleh turbin berbanding lurus dengan kecepatan angin yang ditangkap oleh sudu turbin. Pada grafik tersebut dilihat arah grafik yang tidak linear hal ini disebabkan karena pangkat tiga dari kecepatan angin yang dikalikan dengan massa jenis dan luas penampang rotor turbin untuk memperoleh nilai daya yang dihasilkan sehingga

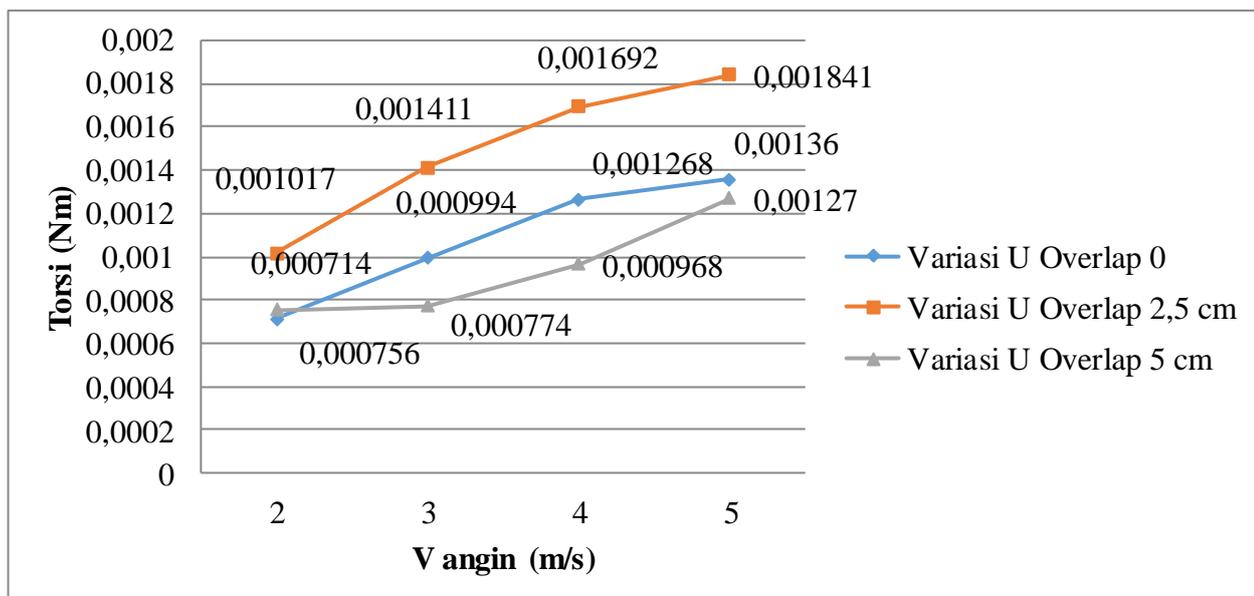
setiap kali terjadi peningkatan kecepatan angin, terjadi peningkatan daya yang lebih tinggi dari sebelumnya.

Hasil diatas adalah daya masukan maksimum yang dihasilkan oleh besarnya kecepatan angin dengan mengabaikan banyak factor. Namun pada kenyataannya ada banyak energy yang hilang karena kerugian gesekan yang mengakibatkan efisiensi aerodinamik dari rotor akan lebih kecil lagi.

4.7 Analisa Torsi Pada Setiap Turbin Angin

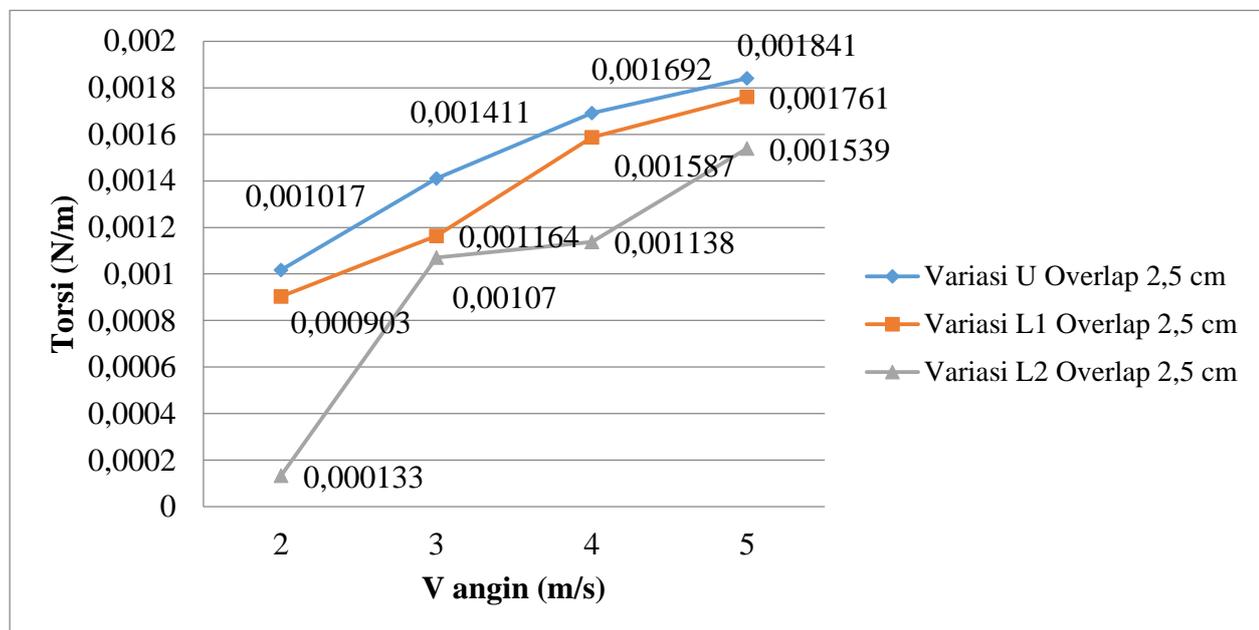
Torsi adalah kecendrungan sebuah gaya untuk mengubah gerak rotasi dari sebuah benda. Oleh karena itu turbin angin ini mempunyai nilai rotasi saat berputar disetiap kecepatan anginnya. Torsi dari turbin didapat dari daya keluaran turbin dibagi dengan kecepatan turbin itu sendiri. Untuk menacari torsi dapat menggunakan persamaan :

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



Gambar 4.10 Grafik hubungan kecepatan angin dengan torsi variasi overlap

Berdasarkan Gambar 4.10 pada kecepatan angin 5 m/s torsi yang paling besar terdapat pada blade U Overlap 2,5 yaitu sebesar 0,001841 Nm. Hal ini dikarenakan daya keluaran dan kecepatan turbin yang besar. Semakin besar kecepatan sudut semakin besar daya yang dikeluarkan. Kedua hal tersebut mempengaruhi torsi turbin angin tersebut. Dengan kata lain jika ingin memberhentikan turbin blade U Overlap 2,5 dibutuhkan gaya yang lebih besar dibandingkan tipe blade yang lain.



Gambar 4.11 Grafik hubungan kecepatan angin dengan torsi variasi bentuk blade

Berdasarkan Gambar 4.11 pada kecepatan angin 5 m/s torsi yang paling besar terdapat pada blade berbentuk U yaitu sebesar 0,001841 Nm. Hal ini dikarenakan gaya drag / gaya hambat lebih besar maka daya keluaran dan kecepatan turbin semakin besar. Kedua hal tersebut mempengaruhi torsi turbin angin tersebut. Dengan kata lain jika ingin memberhentikan turbin blade U dibutuhkan gaya yang lebih besar dibandingkan tipe blade yang lain.

4.8 Perhitungan TSR (*Tip Speed Ratio*)

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

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times RPM}{60}$$

Sehingga

$$\lambda = \frac{\omega \times R \text{ rotor}}{V \text{ angin}}$$

Perhitungan TSR terlampir pada lampiran halaman 58.

4.9 Perhitungan *Coefficient Performance* (C_p)

Coefficient Performance (C_p) merupakan perbandingan antara daya dihasilkan secara mekanik pada sudu akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh angin itu sendiri. Secara matematis hubungan ini dapat dituliskan

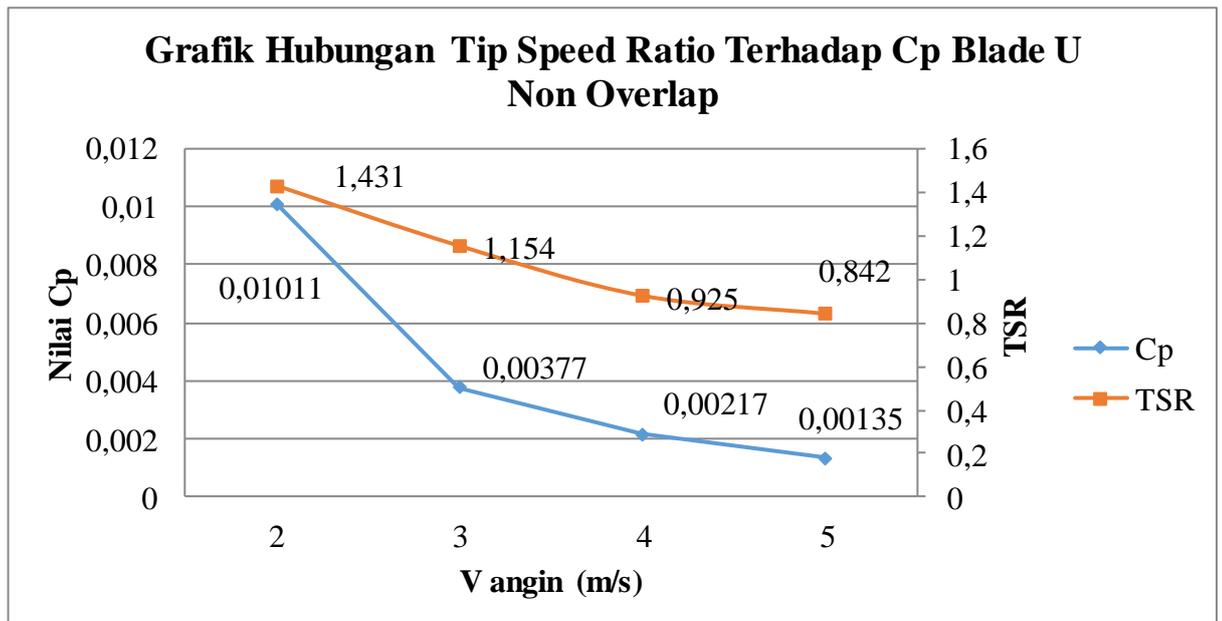
$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{in \text{ max}}} = \text{Rumus efisiensi}$$

$$P_{turbin} = \text{Daya aktual turbin}$$

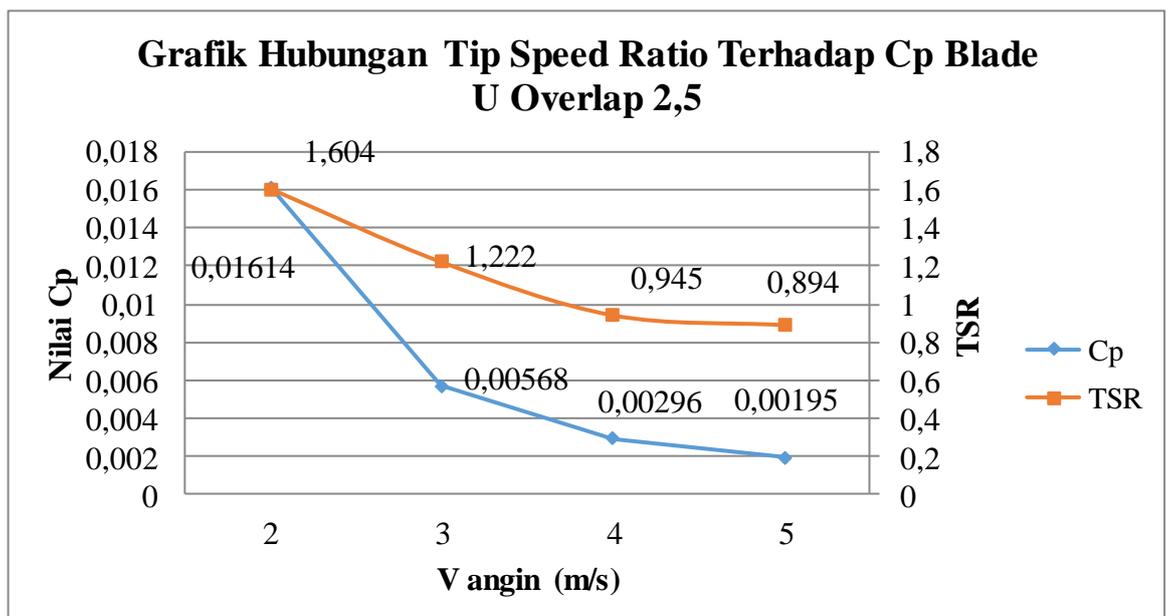
$$P_{in \text{ max}} = \text{Daya hasil perhitungan teoritis}$$

4.10 Analisa Nilai Cp (Efisiensi) dan TSR (Tip Speed Ratio)

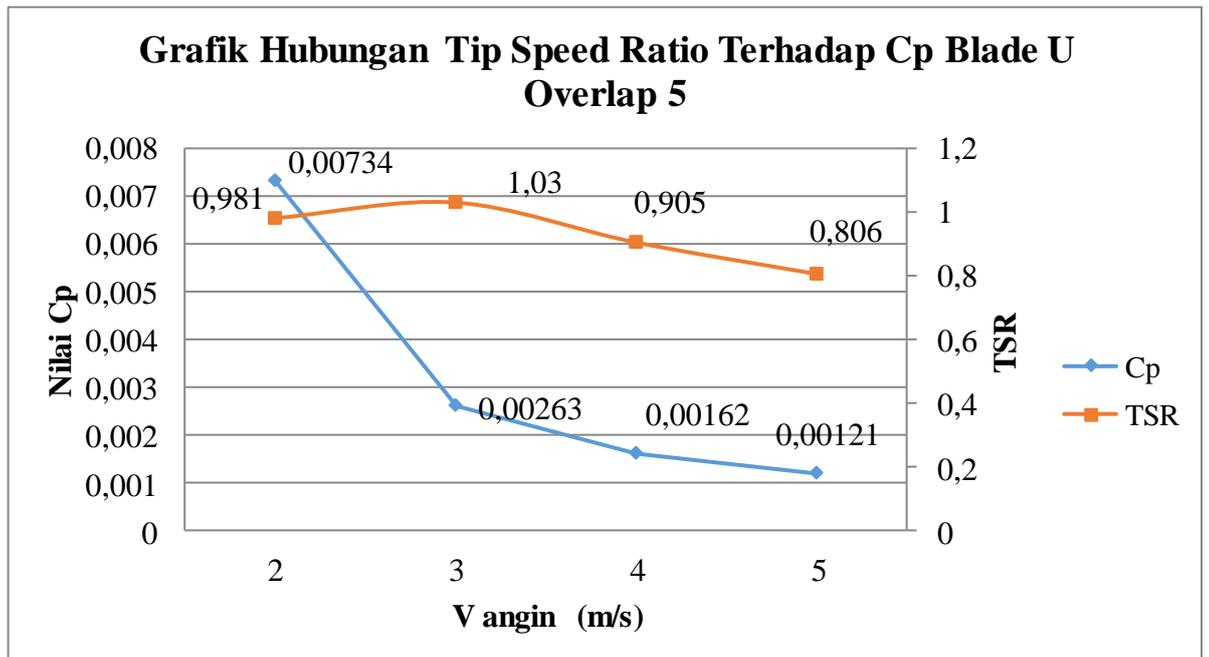
Berikut nilai Cp dan TSR dari setiap desain turbin angin sumbu vertical perhitungan kualitatif.



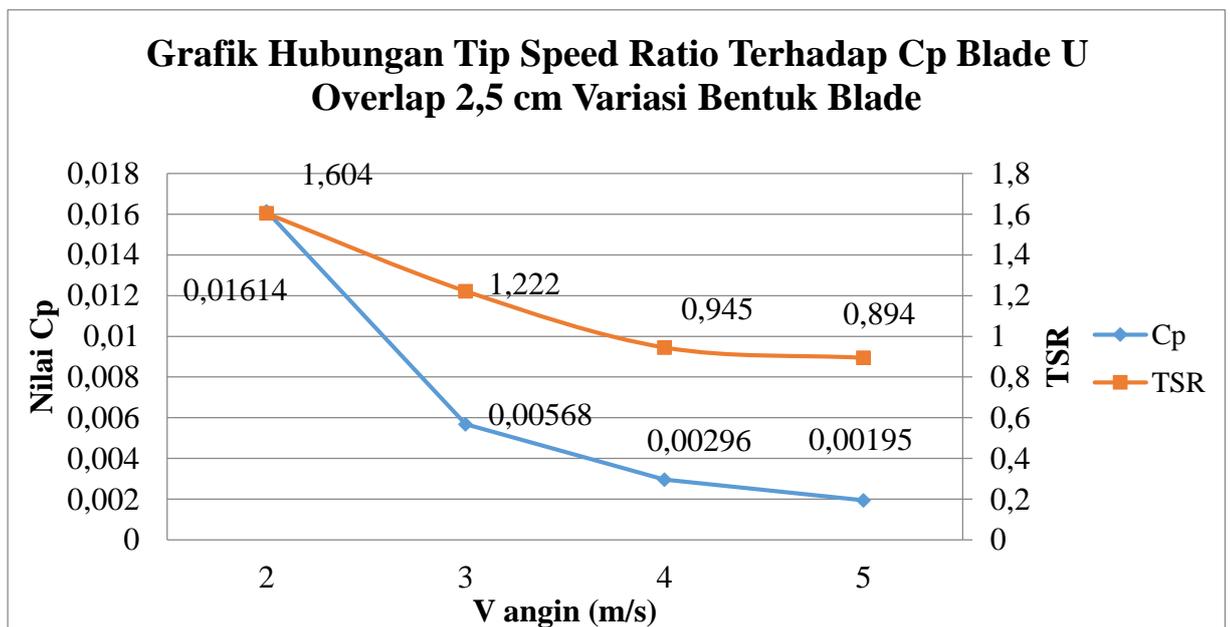
Gambar 4.12 Hubungan nilai cp dengan kecepatan angin terhadap blade U non overlap



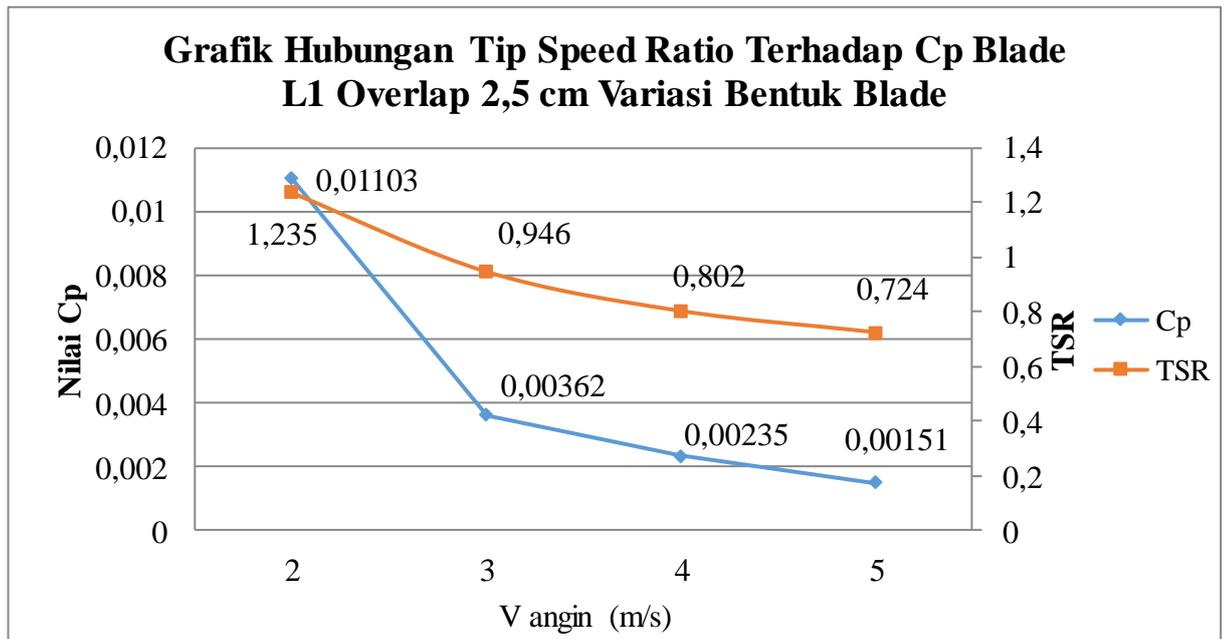
Gambar 4.13 Hubungan nilai cp dengan kecepatan angin terhadap blade U overlap 2,5



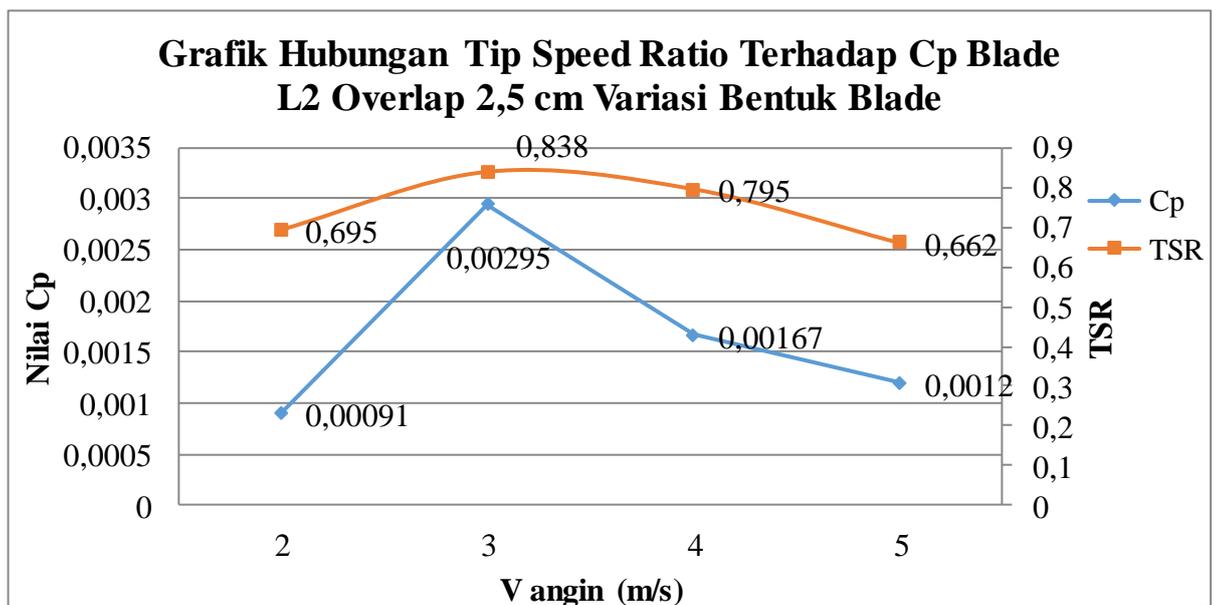
Gambar 4.14 Hubungan nilai cp dengan kecepatan angin terhadap blade U overlap 5



Gambar 4.15 Hubungan nilai cp dengan kecepatan angin terhadap blade U overlap 2,5 cm variasi bentuk blade



Gambar 4.16 Hubungan nilai cp dengan kecepatan angin terhadap blade L1 overlap 2,5 cm variasi bentuk blade



Gambar 4.17 Hubungan nilai cp dengan Kecepatan angin terhadap blade L2 overlap 2,5 cm variasi bentuk blade

Berdasarkan Gambar 4.12 s/d 4.20 dapat disimpulkan bahwa pada setiap jenis blade mengalami penurunan pada nilai C_p hal ini dikarenakan adanya turbulensi yang disebabkan angin yang berasal dari blower yang dipantulkan oleh tembok sehingga angin berbalik mengenai turbin. Pada Gambar 4.17 dimana C_p terbesar dengan nilai 0,00295 di kecepatan angin 3 m/s hal ini dikarenakan setiap turbin ada batas maksimal efisiensi, yang terdapat pada blade L2 overlap 2,5 cm di kecepatan angin 3 m/s.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari tiga variasi bentuk blade yang didapat, blade variasi bentuk U dengan kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya 0,02744 watt, blade variasi bentuk L1 dengan kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya 0,02126 watt, blade variasi bentuk blade L2 dengan kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya 0,016999 watt sehingga disimpulkan blade variasi bentuk U menghasilkan daya yang paling baik dikarenakan gaya drag / gaya hambat lebih besar dibandingkan tipe blade yang lain.
2. Dari tiga variasi overlap antar sudu yang didapat, blade U variasi non overlap daya 0,02744 watt, blade U variasi overlap 5 menghasilkan daya 0,017088 watt dan pada blade L1 Non Overlap tidak menghasilkan daya karena blade tidak berputar, sedangkan pada blade L1 Overlap menghasilkan daya 0,02126 watt. Dapat disimpulkan blade dengan variasi overlap 2,5 menghasilkan daya yang paling baik hal ini dikarenakan aliran angin yang masuk melalui overlap antara sudu yang menghasilkan gaya dorong tetapi pada overlap 5 menghasilkan daya yang lebih kecil dikarenakan adanya turbulensi yang mengakibatkan gaya dorong yang kecil atau aliran angin yang sia – sia.
3. Dari variasi bentuk blade di peroleh kombinasi yang paling baik adalah bentuk U dengan overlap 2,5 cm dengan daya 0,02744 watt.

5.2 Saran

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

1. Melakukan simulasi sebelum penelitian agar diketahui percobaan yang dilakukan dapat berpengaruh besar atau tidak terhadap objek yang diteliti nantinya.
2. Memilih bahan yang ringan dan rangka yang kokoh agar berpengaruh terhadap efisiensi turbin itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Qodir Al – Jailanny, Silas Prayoga Putra, Wahyu Puspa Wijaya. 2016. *Turbin Angin* (Malang: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang)

Astu pudjanarsa, Djati nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*, (Yogyakarta: Andi Offset)

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

J.F. Manwell. 2009. *Wind Energy Explained*, (University Of Massachusetts USA)

M. Najib Habibie, Achmad Sasmito, Roni Kurniawan. 2011. *Kajian Potensi Energi Angin Di Wilayah Maluku Dan Sulawesi*, (Jakarta: Puslitbang BMKG)

<http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/640/jbptitbpp-gdl-fransiscus-31998-3-2008ta-2>

<http://mit.ilearning.me/kincir-angin-pembangkit-listrik/>

http://mstudioblackboard.tudelft.nl/duwind/Wind%20energy%20online%20reader/Static_pages/power_coefficient.htm

<http://www.alpensteel.com/article/116-103-energi-angin--wind-turbine--wind-mill/2286--pemanfaatan-energi-angin-di-indonesia>

<http://www.getsttpln.com/2014/03/>

<http://www.indoenergi.com/2012/07/jenis-jenis-turbin-angin>.

<http://www.instructables.com/id/Darrieus-Wind-Turbine/>

B. Alternator



Lampiran – 3. Proses Pengujian



A. Perhitungan daya teoritis

1. Perhitungan Efisiensi Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius

Daya angin maksimum yang dikonversi oleh rotor Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius menjadi daya maksimum (P_{in}) adalah sebagai berikut :

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

$$D = \text{diameter rotor} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$H = \text{Tinggi rotor} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$A = \text{Luas sapuan rotor} = H \times D = 0,1836 \text{ m}^2$$

Kecepatan angin 2 m/s

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

$$P_{in \text{ max}} = (0,5) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,1836 \text{ m}^2) \cdot (2)^3$$

$$= 0,899 \text{ watt}$$

Kecepatan angin 3 m/s

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

$$P_{in \text{ max}} = (0,5) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,1836 \text{ m}^2) \cdot (3)^3$$

$$= 3,036 \text{ watt}$$

Kecepatan angin 4 m/s

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

$$P_{in \max} = (0,5).(1,225 \text{ kg/m}^3).(0,1836 \text{ m}^2).(4)^3$$

$$= 7,197 \text{ watt}$$

Kecepatan angin 5 m/s

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

$$P_{in \max} = (0,5).(1,225 \text{ kg/m}^3).(0,1836 \text{ m}^2).(5)^3$$

$$= 14,056 \text{ watt}$$

B. Perhitungan TSR (*Tip Speed Ratio*)

1. Blade U Non-Overlap

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2. 3,14.91,2)/60 = 9,545 \text{ rad/s}$$

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

$$= (9,5456.0,3)/2 = 1,431$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2. 3,14. 110,3)/60 = 11,544 \text{ rad/s}$$

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

$$= (11,544 \cdot 0,3) / 3 = 1,154$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2 \cdot 3,14 \cdot 117,9) / 60 = 12,340 \text{ rad/s}$$

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

$$= (12,340 \cdot 0,3) / 4 = 0,925$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2 \cdot 3,14 \cdot 134,2) / 60 = 14,046 \text{ rad/s}$$

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

$$= (14,046 \cdot 0,3) / 5 = 0,842$$

2. Blade U Overlap 2,5

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.102,2)/60 = 10,696 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,696.0,3)/2 = 1,604$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.116,8)/60 = 12,225 \text{ rad/s}$$

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

$$= (12,225.0,3)/3 = 1,222$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.120,5)/60 = 12,612 \text{ rad/s}$$

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

$$= (12,612.0,3)/4 = 0,945$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.142,4)/60 = 14,904 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (14,904.0.3)/5 = 0,894$$

1. Blade U Overlap 5

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.62,5)/60 = 6,541 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (6,541.0,3)/2 = 0,981 \text{ rad/s}$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.98,5)/60 = 10,309 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (10,309.0,3)/3 = 1,030$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.115,4)/60 = 12,078 \text{ rad/s}$$

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

$$= (12,078.0,3)/4 = 0,905$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.128,5)/60 = 13,449 \text{ rad/s}$$

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

$$= (13,449.0,3)/5 = 0,806$$

2. Blade U Overlap 2,5 Variasi Bentuk

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.102,2)/60 = 10,696 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,696.0,3)/2 = 1,604$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.116,8)/60 = 12,225 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{angin}$$

$$= (12,225.0,3)/3 = 1,222$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.120,5)/60 = 12,612 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{angin}$$

$$= (12,612.0,3)/4 = 0,945$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.142,4)/60 = 14,904 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{angin}$$

$$= (14,904.0,3)/5 = 0,894$$

1. Blade L1 Overlap 2,5 Variasi Bentuk

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.78,7)/60 = 8,237 \text{ rad/s}$$

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

$$= (8,237.0,3)/2 = 1,235$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.90,4)/60 = 9,461 \text{ rad/s}$$

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

$$= (9,461.0,3)/3 = 0,946$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.102,2)/60 = 10,696 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,696.0,3)/4 = 0,802$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.115,3)/60 = 12,068 \text{ rad/s}$$

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

$$= (12,068.0,3)/5 = 0,724$$

2. Blade L2 Overlap 2,5 Variasi Bentuk

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.44,3)/60 = 4,636 \text{ rad/s}$$

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

$$= (4,636.0,3)/2 = 0,695$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.80,1)/60 = 8,383 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (8,383.0,3)/3 = 0,838$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.101,4)/60 = 10,613 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (10,613.0,3)/4 = 0,795$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.105,5)/60 = 11,042 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (11,042.0,3)/5 = 0,662$$

1. Blade U Overlap 2,5 Variasi Jenis 1

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.102,2)/60 = 10,696 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (10,696.0,3)/2 = 1,604$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.116,8)/60 = 12,225 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (12,225.0,3)/3 = 1,222$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.120,5)/60 = 12,612 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (12,612.0,3)/4 = 0,945$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.142,4)/60 = 14,904 \text{ rad/s}$$

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

$$= (14,904.0,3)/5 = 0,894$$

2. Blade U Overlap 2,5 Jenis 2

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.110,3)/60 = 11,544 \text{ rad/s}$$

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

$$= (11,544.0,3)/2 = 1,731 \text{ rad/s}$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.123,2)/60 = 12,894 \text{ rad/s}$$

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

$$= (12,894.0,3)/3 = 1,289$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.131,2)/60 = 13,732 \text{ rad/s}$$

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

$$= (13,732.0,3)/4 = 1,029$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.148,6)/60 = 15,553 \text{ rad/s}$$

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

$$= (15,553.0,3)/5 = 0,933$$

1. Blade L1 Overlap 2,5 Jenis 1

Kecapatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.78,7)/60 = 8,237 \text{ rad/s}$$

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

$$= (8,237.0,3)/2 = 1,235$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.90,4)/60 = 9,461 \text{ rad/s}$$

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

$$= (9,461.0,3)/3 = 0,946$$

Kecapatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.102,2)/60 = 10,696 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,696.0,3)/4 = 0,802$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.115,3)/60 = 12,068 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{angin}$$

$$= (12,068.0,3)/5 = 0,724$$

2. Blade L1 Overlap 2,5 Jenis 2

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.91,2)/60 = 9,545 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{angin}$$

$$= (9,545.0,3)/2 = 1.431$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.111,3)/60 = 11,649 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (11,649.0,3)/3 = 1,164$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3.14.120,1)/60 = 12,570 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (12,570.0,3)/4 = 0,942$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$60$$

$$= (2.3,14.125)/60 = 13,083 \text{ rad/s}$$

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

$$V_{\text{angin}}$$

$$= (13,083.0,3)/5 = 0,785$$

1. Blade L2 Overlap 2,5 Jenis 1

Kecapatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.44,3)/60 = 4,636 \text{ rad/s}$$

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

$$= (4,636.0,3)/2 = 0,695$$

Kecapatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.80,1)/60 = 8,383 \text{ rad/s}$$

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

$$= (8,383.0,3)/3 = 0,838$$

Kecapatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.101,4)/60 = 10,613 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,613.0,3)/4 = 0,795$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.105)/60 = 10,990 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,990.0,3)/5 = 0,659$$

2. Blade L2 Overlap 2,5 Jenis 2

Kecepatan angin 2 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.74,2)/60 = 7,766 \text{ rad/s}$$

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

$$= (7,766.0,3)/2 = 1.164$$

Kecepatan angin 3 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.98,3)/60 = 10,288 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,288.0,3)/3 = 1,028$$

Kecepatan angin 4 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3.14.104,5)/60 = 10,937 \text{ rad/s}$$

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

$$= (10,937.0,3)/4 = 0,820$$

Kecepatan angin 5 m/s

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times Rpm}{60}$$

$$= (2.3,14.125,3)/60 = 13,114 \text{ rad/s}$$

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

$$= (13,114.0,3)/5 = 0,786$$

Tabel 4.1 Hasil kecepatan putar (RPM) variasi *overlap* tanpa beban dan dengan beban

| V angin (m/s) | RPM | | | RPM | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 2,5 | 5 | 0 | 2,5 | 5 |
| 2 | 100,2 | 125,3 | 70,8 | 91,2 | 102,2 | 62,5 |
| 3 | 115,2 | 126,7 | 103,1 | 110,3 | 116,8 | 98,5 |
| 4 | 127,3 | 134,6 | 120,2 | 117,9 | 120,5 | 115,4 |
| 5 | 136,8 | 150,5 | 132,2 | 134,2 | 142,4 | 128,5 |

Tabel 4.2 Perbandingan rpm turbin angin savonius overlap 2,5 cm variasi bentuk blade tanpa beban dan dengan beban

| V angin (m/s) | RPM | | | RPM | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | U | L1 | L2 | U | L! | L2 |
| 2 | 125,3 | 89,5 | 74,6 | 102,2 | 78,7 | 44,3 |
| 3 | 126,7 | 112,5 | 100,3 | 116,8 | 90,4 | 80,1 |
| 4 | 134,6 | 130,3 | 121,8 | 120,5 | 102,2 | 101,4 |
| 5 | 150,5 | 138,6 | 126,7 | 142,4 | 115,3 | 105,5 |

Tabel 4.3 Daya arus dan tegangan variasi overlap pada turbin angin savonius

| V angin (m/s) | U Non Overlap | | | U Overlap 2,5 | | | U overlap 5 | | |
|------------------|---------------|--------------|-------|---------------|--------------|-------|---------------|--------------|-------|
| | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm |
| 2 | 0,011 | 0,62 | 91,2 | 0,017 | 0,64 | 102,2 | 0,009 | 0,56 | 62,5 |
| 3 | 0,0153 | 0,75 | 110,3 | 0,0213 | 0,81 | 116,8 | 0,0121 | 0,66 | 98,5 |
| 4 | 0,0182 | 0,86 | 117,9 | 0,0232 | 0,92 | 120,5 | 0,0156 | 0,75 | 115,4 |
| 5 | 0,021 | 0,91 | 134,2 | 0,028 | 0,98 | 142,4 | 0,0192 | 0,89 | 128,5 |

Tabel 4.4 Daya arus dan tegangan variasi bentuk blade pada turbin angin savonius

| V angin (m/s) | U | | | L1 | | | L2 | | |
|------------------|---------------|--------------|-------|---------------|--------------|-------|---------------|--------------|-------|
| | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm |
| 2 | 0,017 | 0,64 | 102,2 | 0,012 | 0,62 | 78,7 | 0,0011 | 0,57 | 44,3 |
| 3 | 0,0213 | 0,81 | 116,8 | 0,0153 | 0,72 | 90,4 | 0,0136 | 0,69 | 80,1 |
| 4 | 0,0232 | 0,92 | 120,5 | 0,0193 | 0,88 | 102,2 | 0,0161 | 0,77 | 101,4 |
| 5 | 0,028 | 0,98 | 142,4 | 0,0233 | 0,94 | 115,3 | 0,019 | 0,91 | 105,5 |

Tabel 4.5 Daya turbin angin savonius blade U variasi overlap

| Vangin (m/s) | U Non Overlap | | | | U Overlap 2,5 cm | | | | U Overlap 5 cm | | | |
|-----------------|---------------|---------------|--------------|-------|------------------|---------------|--------------|-------|----------------|---------------|--------------|-------|
| | Watt (P) | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Watt (P) | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Watt (P) | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm |
| 2 | 0.00682 | 0.011 | 0.62 | 91.2 | 0.01088 | 0.017 | 0.64 | 102.2 | 0.00495 | 0.009 | 0.55 | 62.5 |
| 3 | 0.011475 | 0.0153 | 0.75 | 110.3 | 0.017253 | 0.0213 | 0.81 | 116.8 | 0.007986 | 0.0121 | 0.66 | 98.5 |
| 4 | 0.015652 | 0.0182 | 0.86 | 117.9 | 0.021344 | 0.0232 | 0.92 | 120.5 | 0.0117 | 0.0156 | 0.75 | 115.4 |
| 5 | 0.01911 | 0.021 | 0.91 | 134.2 | 0.02744 | 0.028 | 0.98 | 142.4 | 0.017088 | 0.0192 | 0.89 | 128.5 |

Tabel 4.6 Daya turbin angin savonius overlap 2,5 variasi bentuk blade

| Vangin (m/s) | U | | | | L1 | | | | L2 | | | |
|-----------------|----------|---------------|--------------|-------|----------|---------------|--------------|-------|----------|---------------|--------------|-------|
| | Watt (P) | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Watt (P) | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm | Watt (P) | Kuat Arus (A) | Tegangan (V) | Rpm |
| 2 | 0.01088 | 0.017 | 0.64 | 102.2 | 0.00744 | 0.012 | 0.62 | 78.7 | 0.00062 | 0.0011 | 0.56 | 44.3 |
| 3 | 0.01725 | 0.0213 | 0.81 | 116.8 | 0.01102 | 0.015 | 0.72 | 90.4 | 0.008976 | 0.0136 | 0.66 | 80.1 |
| 4 | 0.02134 | 0.0232 | 0.92 | 120.5 | 0.01698 | 0.019 | 0.88 | 102.2 | 0.01208 | 0.0161 | 0.75 | 101.4 |
| 5 | 0.02744 | 0.028 | 0.98 | 142.4 | 0.02126 | 0.023 | 0.94 | 115.3 | 0.016999 | 0.0191 | 0.89 | 105.5 |

Tabel 4.7 Hasil perhitungan daya teoritis

| V angin (m/s) | <i>P inmax</i> Savonius |
|---------------|----------------------------|
| 2 | 0,899 |
| 3 | 3,036 |
| 4 | 7,197 |
| 5 | 14,056 |

Tabel 4.8 Nilai kecepatan sudut dan torsi pada turbin angin savonius variasi overlap

| V angin (m/s) | U Non Overlap | | | | U Overlap 2,5 cm | | | | U Overlap 5 cm | | | |
|---------------------|---------------|----------------|---------------------|---------------|------------------|----------------|---------------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|---------------|
| | RPM | Daya (Watt) | ω (rad/s) | Torsi (Nm) | RPM | Daya (Watt) | ω (rad/s) | Torsi (Nm) | RPM | Daya (Watt) | ω (rad/s) | Torsi (Nm) |
| 2 | 91,2 | 0,00682 | 9,545 | 0,00071 | 102,2 | 0,01088 | 10,696 | 0,00102 | 62,5 | 0,00495 | 6,541 | 0,00076 |
| 3 | 110,3 | 0,01148 | 11,544 | 0,00099 | 116,8 | 0,01725 | 12,225 | 0,00141 | 98,5 | 0,00799 | 10,309 | 0,00077 |
| 4 | 117,9 | 0,01565 | 12,34 | 0,00127 | 120,5 | 0,02134 | 12,612 | 0,00169 | 115,4 | 0,0117 | 12,078 | 0,00097 |
| 5 | 134,2 | 0,01911 | 14,046 | 0,00136 | 142,4 | 0,02744 | 14,904 | 0,001841 | 128,5 | 0,01709 | 13,449 | 0,00127 |

Tabel 4.9 Nilai kecepatan sudut dan torsi pada turbin angin savonius variasi bentuk blade

| V angin (m/s) | U | | | | L1 | | | | L2 | | | |
|---------------------|-------|----------------|---------------------|---------------|-------|----------------|---------------------|---------------|-------|----------------|---------------------|---------------|
| | RPM | Daya (Watt) | ω (rad/s) | Torsi (Nm) | RPM | Daya (Watt) | ω (rad/s) | Torsi (Nm) | RPM | Daya (Watt) | ω (rad/s) | Torsi (Nm) |
| 2 | 102,2 | 0,01088 | 10,696 | 0.001017 | 78,7 | 0,00744 | 8,237 | 0.000903 | 44,3 | 0,00062 | 4,636 | 0.000133 |
| 3 | 116,8 | 0,01725 | 12,225 | 0.001411 | 90,4 | 0,01102 | 9,461 | 0.001164 | 80,1 | 0,00898 | 8,383 | 0.001070 |
| 4 | 120,5 | 0,02134 | 12,612 | 0.001692 | 102,2 | 0,01698 | 10,696 | 0.001587 | 101,4 | 0,01208 | 10,613 | 0.001138 |
| 5 | 142,4 | 0,02744 | 14,904 | 0.001841 | 115,3 | 0,02126 | 12,068 | 0.001761 | 105,5 | 0,017 | 11,042 | 0.001539 |

Tabel 4.10 Putar turbin, tip speed ratio dan cp pada turbin angin savonius blade U variasi overlap

| V angin (m/s) | U Non Overlap | | | U 2,5 | | | U 5 | | |
|------------------|------------------|--------------------|---------|------------------|--------------------|---------|---------------------|--------------------|---------|
| | ω (rad/s) | λ (TSR) | Cp | ω (rad/s) | λ (TSR) | Cp | ω (rad/s) | λ (TSR) | Cp |
| 2 | 9,545 | 1,431 | 0,00758 | 10,696 | 1,604 | 0,01210 | 6,541 | 0,981 | 0,00840 |
| 3 | 11,544 | 1,154 | 0,00377 | 12,225 | 1,222 | 0,00568 | 10,309 | 1,030 | 0,00263 |
| 4 | 12,340 | 0,925 | 0,00217 | 12,612 | 0,945 | 0,00296 | 12,078 | 0,905 | 0,00162 |
| 5 | 14,046 | 0,842 | 0,00135 | 14,904 | 0,894 | 0,00195 | 13,449 | 0,806 | 0,00121 |

Tabel 4.11 Putar turbin, tip speed ratio dan cp pada turbin angin savonius variasi bentuk blade

| V angin (m/s) | U | | | L1 | | | L2 | | |
|------------------|------------------|-----------------|---------|------------------|--------------------|---------|---------------------|--------------------|---------|
| | ω (rad/s) | λ (TSR) | Cp | ω (rad/s) | λ (TSR) | Cp | ω (rad/s) | λ (TSR) | Cp |
| 2 | 10,696 | 1,604 | 0,01210 | 8,237 | 1,235 | 0,00827 | 4,636 | 0,695 | 0,00068 |
| 3 | 12,225 | 1,222 | 0,00568 | 9,461 | 0,946 | 0,00362 | 8,383 | 0,838 | 0,00295 |
| 4 | 12,612 | 0,945 | 0,00296 | 10,696 | 0,802 | 0,00235 | 10,613 | 0,795 | 0,00167 |
| 5 | 14,904 | 0,894 | 0,00195 | 12,068 | 0,724 | 0,00151 | 11,042 | 0,662 | 0,00120 |

RIWAYAT HIDUP



Firman Julismar lahir di DKI Jakarta, pada tanggal 17 Juli 1993. Putra sulung dari 3 bersaudara dari pasangan Marzuli Janur dan Isnawita yang bertempat tinggal di Jl. P. Ternate 3 No. 69 RT.07 / 017 Aren Jaya Bekasi Timur Kota Bekasi.

Menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Aren Jaya XI, SMP Negeri 11 Bekasi dan SMA Negeri 2 Bekasi. Pengalaman Organisasi pada jenjang SMA yaitu mengikuti OSIS dan pada jenjang kuliah mengikuti organisasi BEMJ Teknik Mesin

