

**Analisis Performansi Turbin Angin Savonius Tipe-U  
Dengan Variasi Sudut Kelengkungan Sudu Untuk  
Pengoptimalan Kinerja Turbin**

**SKRIPSI**

Disusun untuk Melengkapi Syarat-Syarat Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**RIANTORO WIBOWO**

**3225122052**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2017**

## PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

### Analisis Performansi Turbin Angin Savonius Tipe-U Dengan Variasi Sudut Kelengkungan Sudu Untuk Pengoptimalan Kinerja Turbin

Nama : Riantoro Wibowo

No. Registrasi : 3225122052

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab			
Dekan	: Prof. Dr. Suryono, M.Si NIP. 19671218199303 1005	.....	.....
Wakil Penanggung Jawab			
Pembantu Dekan I	: Dr. Muktiningsih, M.Si NIP. 19640511 198903 2 001	.....	.....
Ketua	: Dr. Esmar Budi, M.T NIP. 19720728 199903 1 002	.....	.....
Sekretaris	: Dr. Mutia Delina, M.Si NIP. 19801119 200801 2 007	.....	.....
Anggota			
Pembimbing I	: Dr. Sunaryo, M.Si NIP. 19550303 198703 1 002	.....	.....
Pembimbing II	: Cecep E. Rustana, Ph.D NIP. 19590729 198602 1 001	.....	.....
Penguji Ahli	: Dr. Anggara Budi Susila, M.Si NIP. 19601001 199203 1 001	.....	.....

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 7 Februari 2017

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini, saya yang bertandatangan dibawah ini, mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Riantoro Wibowo

No. Reg. : 3225122052

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat dengan judul “**Analisis Performansi Turbin Angin Savonius Tipe-U Dengan Variasi Sudut Kelengkungan Sudu Untuk Pengoptimalan Kinerja Turbin**”, adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian pada bulan September 2016 – Januari 2017.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar.

Jakarta, Februari 2017  
Yang membuat pernyataan

Riantoro Wibowo

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Performansi Turbin Angin Savonius Tipe-U Dengan Variasi Sudut Kelengkungan Sudu Untuk Pengoptimalan Kinerja Turbin”**. Skripsi ini dibuat berdasarkan hasil studi literatur yang penulis lakukan dari buku-buku sumber, jurnal-jurnal, dan sebagainya.

Dalam penyusunan skripsi ini, tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Tetapi, atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, hambatan tersebut pun dapat penulis hadapi. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyusunan proposal ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Sunaryo, M.Si selaku dosen pembimbing I atas waktu bimbingan, masukan, dan saran-saran yang diberikan.
2. Bapak Cecep E. Rustana, Ph.D selaku dosen pembimbing II yang dengan sabar membimbing, membantu, dan memberikan banyak masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku koordinator program studi Fisika.
4. Seluruh dosen dan Staf Pengajar Fisika UNJ yang telah memberikan ilmu, nasihat, berbagi pengalaman ketika perkuliahan berlangsung.
5. Kedua orang tua, dan adik tercinta yang selalu memberi dukungan baik moril maupun materil kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini belum sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, dengan rasa terima kasih, penulis menerima kritik dan saran untuk membangun kreatifitas penulis menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat menambah ilmu pengetahuan bagi kita semua.

Jakarta, Januari 2017

Riantoro Wibowo



## ABSTRAK

**RIANTORO WIBOWO. Analisis Performansi Turbin Angin Savonius Tipe-U Dengan Variasi Sudut Kelengkungan Sudu Untuk Pengoptimalan Kinerja Turbin.** Skripsi. Jakarta: Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Jakarta. 2017

Krisis energi mendorong kepada pengembangan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan dan juga ramah lingkungan, seperti turbin angin. Turbin Savonius merupakan turbin sumbu vertikal yang dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan angin rendah. Secara umum kinerja turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah bentuk aerodinamis turbin. Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi rotor Savonius U dengan variasi sudut kelengkungan turbin sebanyak 5 variasi sudut  $\theta$ , yaitu masing-masing sebesar  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ , dan  $60^{\circ}$  dengan panjang diameter  $d$  tetap. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yaitu dengan eksperimen Laboratorium dengan melakukan pengujian terhadap tipe turbin angin. Dalam penelitian ini data yang dihasilkan berupa nilai daya,  $C_p$  dan TSR dari turbin angin Savonius dalam berbagai sudu. Pada penelitian ini didapatkan tipe Savonius memiliki daya yang paling besar berada di tipe Savonius dengan sudu  $20^{\circ}$  yaitu dengan nilai 0.49 watt kemudian menghasilkan nilai  $C_p$  sebesar 0.067.

Kata kunci: turbin angin sumbu vertikal, rotor Savonius U, aerodinamis turbin

## ABSTRACT

**RIANTORO WIBOWO. Performance Analysis Savonius U-Type with Variation of The Angle of Curvature Rotors For Turbine Performance Optimization.** Essay. Jakarta: Physic Department. Faculty of Matematical and Science. State University of Jakarta. 2017

*The energy crisis encourages the development of alternative energy sources that are renewable and environmentally friendly, such as wind turbines. Savonius turbine is a vertical axis turbine that can operate well at lower wind speeds. In general, the performance of the turbine is influenced by several factors, one of which is the aerodynamic shape of the turbine. This research was carried out by modifying the U-Savonius rotor with variable-angle curvature of the turbine by 5 variations angle  $\theta$ , respectively of 20, 30, 40, 50, and 60 with a fixed length of diameter  $d$ . The method used is an experimental method that is by laboratory experiments with testing of the type of wind turbine. In this study, the data generated in the form of power value,  $C_p$  and TSR of Savonius wind turbines in various blade. In this study, the type Savonius that have the greatest power is in Savonius type with blades 20 with a value 0.49 watt then generate  $C_p$  value of 0.067*

## DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	3
1.3. Pembatasan Masalah .....	3
1.4. Perumusan Masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN TEORI.....	6
2.1. Turbin Angin Savonius .....	6
2.2. Rotasi Benda Tegar .....	7
2.3. Torsi.....	9

2.4. <i>Coefficient Performance</i> Turbin Angin.....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>13</b>
3.1. Tujuan Operasional .....	13
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	13
3.3. Metodologi Penelitian .....	13
3.4. Alat dan Bahan .....	13
3.5 Alur Penelitian.....	15
3.6 Prosedur Penelitian.....	16
3.7. Pengambilan Data dan Pengujian Kelima Variasi Sudut Kelengkungan.....	17
3.8. Teknik Analisis Data .....	18
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
4.1 Pengujian Kecepatan Putar (RPM) Turbin Angin.....	20
4.2 Tip Speed Ratio (TSR) .....	23
4.3 Analisa Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus.....	25
4.4 Daya Turbin Angin.....	29
4.4.1 Daya Keluaran Turbin Angin.....	29
4.4.2 Daya Teoritis.....	33
4.5 Torsi Pada Turbin Angin .....	35
4.6 <i>Coefficient Performance</i> (CP) .....	37
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>39</b>

5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	40
Daftar Pustaka.....	41
LAMPIRAN.....	43
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Turbin Angin Savonius .....	7
Gambar 2 Grafik Hubungan Kecepatan Putar (RPM) Dengan Kecepatan Angin	21
Gambar 3 Grafik Hubungan Kecepatan Putar (RPM) Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel.....	21
Gambar 4 Perbandingan Grafik Hubungan Kecepatan Putar (RPM) terhadap Kecepatan Angin.....	23
Gambar 5 Grafik Hubungan Nilai Tegangan Dengan Kecepatan Angin tanpa Wind Tunnel.....	26
Gambar 6 Grafik Hubungan Nilai Tegangan Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel.....	27
Gambar 7 Perbandingan Grafik Hubungan Nilai Tegangan Dengan Kecepatan Angin.....	27
Gambar 8 Grafik Hubungan Nilai Arus Dengan Kecepatan Angin tanpa Wind Tunnel .....	28
Gambar 9 Grafik Hubungan Nilai Arus Dengan Kecepatan Angin tanpa Wind Tunnel .....	28
Gambar 10 Perbandingan Grafik Hubungan Nilai Arus Dengan Kecepatan Angin .....	29
Gambar 11 Grafik Hubungan Daya Dengan Kecepatan Angin.....	31
Gambar 12 Grafik Hubungan Daya Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel .....	31
Gambar 13 Perbandingan Grafik Hubungan Daya Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel.....	32
Gambar 14: Grafik Hubungan Daya terhadap Kecepatan Putar .....	32
Gambar 15 Grafik Hubungan Nilai Daya Teoritis Dengan Kecepatan Angin.....	34
Gambar 16 Grafik Hubungan Torsi Dengan Kecepatan Angin .....	36

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Spesifikasi Turbin Angin Savonius Modifikasi .....	19
Tabel 2 Rata-rata Kecepatan Putar (RPM) Setiap Kelengkungan Sudu .....	20
Tabel 3 Hasil Perhitungan TSR (Tip Speed Ratio) .....	24
Tabel 4 Hasil Perhitungan TSR (Tip Speed Ratio) dengan Wind Tunnel .....	25
Tabel 5 Nilai Tegangan dan Kuat Arus Keluaran Turbin Angin Savonius Setiap Kelengkungan Sudu .....	25
Tabel 6 Nilai Tegangan dan Kuat Arus Keluaran Turbin Angin Savonius Setiap Kelengkungan Sudu -Wind Tunnel .....	26
Tabel 7 Daya Keluaran Turbin Angin .....	30
Tabel 8 Daya Keluaran Turbin Angin dengan <i>Wind Tunnel</i> .....	30
Tabel 9 Daya Teoritis Turbin Angin Savonius pada tiap Kelengkungan Sudu ....	34
Tabel 10 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi Pada Tipe Savonius di Setiap Modifikasi .....	35
Tabel 11 Nilai Coefficient Performance (CP) Turbin Angin Savonius .....	37

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1: Dokumentasi Penelitian .....	44
Lampiran 2: Data Hasil Penelitian .....	46
Lampiran 3: Data Hasil Perhitungan .....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Krisis energi mendorong kepada pengembangan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan dan juga ramah 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.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km. Indonesia memiliki potensi energi angin yang sangat besar yaitu sekitar 9,3 GW dan total kapasitas yang baru terpasang saat ini sekitar 0,5 MW. <sup>[1]</sup>

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 masi 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. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika, tentang penilaian potensi energi angin di

Indonesia karakteristik angin di Indonesia yang cenderung berkecepatan rendah dengan rata – rata per tahun sekitar 2,5 – 6 m/s. <sup>[2]</sup>

Turbin yang sesuai untuk kecepatan angin rendah adalah turbin savonius dan turbin darrieus yang termasuk kedalam tipe Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Turbin Darrieus mula-mula diperkenalkan di Prancis pada sekitar tahun 1920-an. Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar ke dalam dan ke luar dari arah angin. Turbin jenis ini memiliki beberapa keuntungan antara lain tidak memerlukan pengarah angin dan memerlukan konstruksi yang mudah, biaya pembuatannya lebih murah dibanding dengan turbin angin sumbu horisontal dan memiliki desain rotor yang lebih mudah dan dapat digunakan di kecepatan angin rendah. Selain itu turbin jenis ini juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu turbin angin Darrieus tidak memiliki self starting pada angin kecepatan rendah.

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 self starting pada kecepatan angin rendah. Selain itu turbin jenis ini juga memiliki beberapa kelemahan yaitu Turbin angin Savonius memiliki putaran dan daya yang rendah pada angin kecepatan tinggi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan pengembangan desain pada Savonius Tipe-U dengan melakukan modifikasi pada rotor Savonius Tipe-U.

Modifikasi dilakukan dengan memvariasi sudut kelengkungan dengan 5 variasi sudut , yaitu masing-masing sebesar  $20^0$ ,  $30^0$ ,  $40^0$ ,  $50^0$ ,  $60^0$  dengan panjang busur profil lengkung sebesar  $r$ , tetap. Jumlah rotor yang digunakan adalah sebanyak dua buah. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi kecepatan angin, yaitu 4 m/s, 4,5 m/s, dan 5 m/s.

## 1.2. Identifikasi Masalah

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

1. Bagaimanakah pengaruh variasi sudut kelengkungan terhadap putaran turbin Savonius Tipe-U.
2. Bagaimanakah pengaruh penambahan kecepatan angin terhadap putaran setiap variasi sudut kelengkungan turbin Savonius Tipe-U.
3. Bagaimanakah pengaruh variasi sudut kelengkungan terhadap nilai torsi turbin.
4. Bagaimanakah pengaruh variasi sudut kelengkungan terhadap nilai *Tip Speed Ratio* (TSR).
5. Bagaimanakah pengaruh variasi sudut kelengkungan terhadap daya keluaran turbin angin.
6. Bagaimanakah pengaruh variasi sudut kelengkungan terhadap *Coefisien Performance* (CP).

## 1.3. Pembatasan Masalah

Batasan terkait desain dan analisis turbin angin savonius antara lain:

1. Variasi sudut kelengkungan yang digunakan sebanyak 5 variasi, masing-masing sebesar  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ .
2. Kecepatan angin dianggap konstan dan berasal dari satu arah, yaitu dari depan turbin angin dengan sumber angin berasal dari Blower.

#### **1.4. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah diatas, maka perumusan masalahnya adalah Tipe turbin savonius dengan sudut kelengkungan berapakah yang memiliki efisiensi dan menghasilkan daya keluaran yang paling besar?

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian itu, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut kelengkungan terhadap banyaknya putaran turbin.
2. Mengetahui pengaruh penambahan kecepatan angin terhadap banyaknya putaran turbin.
3. Mengetahui pengaruh variasi sudut terhadap nilai torsi turbin.
4. Mengetahui pengaruh variasi sudut terhadap daya keluaran pada turbin angin.
5. Mengetahui pengaruh variasi sudut terhadap Coefisien Performance (CP).
6. Mengetahui pengaruh variasi sudut terhadap Tip Speed Ratio (TSR).

## **1.6. Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian diharapkan dapat mengetahui pengaruh variasi sudut kelengkungan dan penambahan kecepatan angin terhadap banyaknya putaran turbin, sehingga kemudian diketahui desain turbin dengan kelengkungan sudut mana yang mempunyai optimasi maksimum. Secara umum penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam pengembangan energi terbarukan khususnya pengembangan turbin angin yang mampu beroperasi secara efisien pada kecepatan angin rendah.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

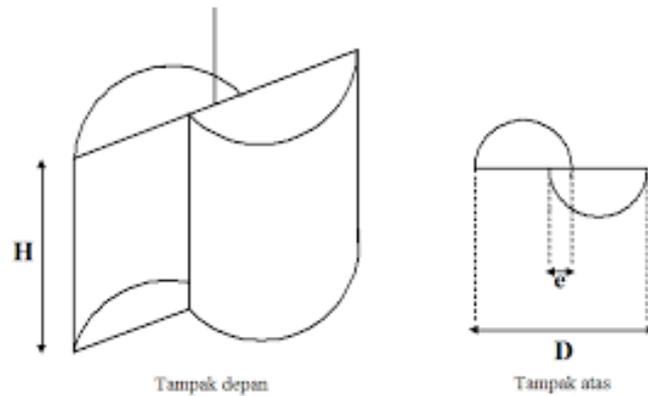
#### 2.1. Turbin Angin Savonius

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 massa udara di permukaan bumi yang mengakibatkan terjadinya perbedaan tekanan sehingga kemudian menjadi aliran udara. Aliran udara tersebut dapat dipercepat dengan adanya perputaran bumi pada porosnya dengan kecepatan putar konstan.<sup>[3]</sup> Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.

Berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*) (Daryanto, 2007). Salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah adalah turbin angin Savonius. Turbin ini ditemukan oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder.

Turbin Angin Savonius dengan sumbu vertikal memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi, sehingga turbin angin ini mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Pada rotor Savonius, angin yang berhembus salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah

rotor lainnya melalui celah di sekitar poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini, akibatnya rotor dapat berputar lebih cepat.<sup>[5]</sup>



*Gambar 1 Turbin Angin Savonius*

## **2.2. Rotasi Benda Tegar**

Sebuah benda dikatakan melakukan gerakan rotasi jika semua titik pada benda bergerak mengitari poros benda tersebut. Benda tegar (rigid body) dapat didefinisikan sebagai benda yang memiliki bentuk dan ukuran yang definit dan tidak berubah.

Dalam gerak rotasi, benda mengalami pergeseran, kecepatan dan percepatan sudut, ini analogi dengan pergeseran, kecepatan dan percepatan linier pada gerak translasi. Titik-titik yang berbeda pada suatu benda tegar yang berotasi bergerak dengan jarak yang berbeda dalam selang waktu tertentu, tergantung dari seberapa jauh titik tersebut terhadap sumbu rotasi. Tetapi karena benda itu tegar, semua titik berotasi melalui sudut yang sama pada waktu yang sama. Kecepatan sudut akan positif jika benda berotasi ke arah penambahan sudut  $\theta$  (berlawanan

dengan arah jarum jam) dan negatif jika benda berotasi ke arah mengurangkan sudut  $\theta$  (searah dengan jarum jam).

Kecepatan sudut ( $\omega$ ) merupakan limit dari kecepatan sudut rata-rata saat  $t$  mendekati nol. Kecepatan sudut rata-rata didefinisikan sebagai rasio perpindahan sudut  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$  terhadap  $\Delta t$  :

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

$\omega =$  Kecepatan sudut rata – rata

$d\theta =$  rasio perpindahan sudut

$dt =$  perubahan waktu

Dan ketika kecepatan suatu benda tegar mengalami perubahan, maka benda tersebut memiliki percepatan sudut ( $\alpha$ ) :

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

$\alpha =$  percepatan sudut

$d\omega =$  rasio kecepatan sudut rata – rata

$dt =$  perubahan waktu

Jika sudut  $\theta$  dalam radian, satuan kecepatan sudut adalah radian per sekon (rad/s). Satuan lain yang juga sering digunakan adalah putaran (revolusi) per menit (rev/menit atau rpm).  $\omega$

### 2.3. Torsi

Torsi merupakan ukuran kuantitatif dari kecenderungan sebuah gaya untuk menyebabkan atau mengubah gerak rotasi dari suatu benda. Torsi total yang bekerja pada suatu benda tegar, menentukan percepatan sudutnya dapat dihubungkan dengan persamaan:

$$\tau = I \alpha \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$\tau = \text{Torsi}$

$I = \text{Momen Inersia}$

$\alpha = \text{percepatan sudut}$

Torsi pada masing-masing partikel disebabkan oleh gaya total yang bekerja pada partikel tersebut. Selain persamaan (2.3) torsi juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:<sup>[6]</sup>

$$\tau = \frac{v^2 R^3}{\lambda^2} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$\tau = \text{Torsi}; v = \text{kecepatan angin}$

$R = \text{jari - jari sudu}; \lambda = \text{Tip Speed Ratio}$

Torsi dengan kecepatan sudut memiliki hubungan dengan daya turbin yang dirumuskan sebagai berikut:

$$P_T = \tau \omega \dots\dots\dots (2.5)$$

$P_T = \text{daya turbin}$

$\tau = \text{torsi}$

$\omega = \text{kecepatan sudut}$

#### **2.4. Daya Turbin Angin**

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

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \dots\dots\dots (2.6)$$

$P = \text{daya turbin}$

$\rho = \text{massa jenis udara}$

$A = \text{luas sapuan turbin}$

$V = \text{kecepatan Angin}$

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.

Di dalam teori turbin angin terdapat karakteristik menyangkut nilai daya atau Karakteristik daya turbin angin ini dinyatakan melalui lima parameter kecepatan operasional berikut:

a. Kecepatan *Cut-In*

Merupakan kecepatan angin minimal yang diperlukan agar sebuah turbin menghasilkan listrik. Nilai kecepatan ini berkisar antara 2.0 – 5.0 m/s.

b. Kecepatan Asut (*Start Speed*)

Kecepatan angin minimal yang diperlukan agar sebuah turbin mulai berputar dalam skala keperluan yang rendah.

c. Kecepatan Rencana (*Rated Speed*)

Kecepatan angin yang diperlukan agar sebuah turbin angin mencapai daya rencana (umumnya disebut daya nominal). Mulai pada kecepatan ini daya yang dihasilkan pada berbagai kecepatan sebelum mencapai Cut-In, adalah konstan. Kecepatan rencana sebuah turbin adalah kecepatan angin dimana turbin tersebut menghasilkan daya terpasang, yakni yang tertulis pada data teknis. Nilai ini bervariasi antara 9.0 – 15 m/s.

d. Kecepatan *Cut-out*

Kecepatan angin yang mengakibatkan turbin angin berhenti menghasilkan daya dan ini biasanya dihasilkan oleh pengontrolan terhadap turbin angin tersebut.

e. Kecepatan Maksimum

Kecepatan angin dimana sebuah turbin angin mampu menahan beban aerodinamis agar turbin itu tidak rusak. Dengan kata lain dapat meminimalisir kerugian yang mungkin akan terjadi.

#### 2.4. Coefficient Performance Turbin Angin

Dalam sistem konversi energi 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.

Daya mekanik turbin adalah: <sup>[7]</sup>

$$P_T = \frac{1}{2} \rho (A_1 V_1^3 - A_2 V_2^3) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dari persamaan kontinuitas diperoleh:  $A_1 V_1 = A_2 V_2$ , sehingga:

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

$$P_T = \frac{1}{2} \rho m (V_1^3 - V_2^3) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$P_T = \frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_2) (V_1^2 - V_2^2) \dots\dots\dots (2.10)$$

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

$$CP = \frac{P_T}{P_w} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (V_1 + V_2) (V_1^2 - V_2^2)}{\frac{1}{2} \rho A V_1^3} \dots\dots\dots (2.11)$$

$P$  = daya turbin;  $\rho$  = massa jenis udara ;  $A$  = luas sapuan turbin;  $V$  = kecepatan Angin

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Tujuan Operasional**

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi dan data tentang beberapa nilai, diantaranya kecepatan putaran (RPM), torsi pada turbin, dan *output* daya yang dihasilkan, yaitu nilai P dan  $C_p$ .

#### **3.2. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi, dan Laboratorium Mekanik, Jurusan Fisika. Universitas Negeri Jakarta. Rawamangun, Jakarta Timur. Waktu penelitian di mulai pada bulan September 2016- Januari 2017.

#### **3.3. Metodologi Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pengujian ini dilakukan dengan cara turbin angin diberikan tekanan angin yang berasal dari blower sehingga turbin angin berputar dan menghasilkan RPM serta menghasilkan nilai tegangan dan arus kemudian dianalisis untuk mencari tipe turbin angin dengan kelengkungan sudut yang memiliki performance paling baik.

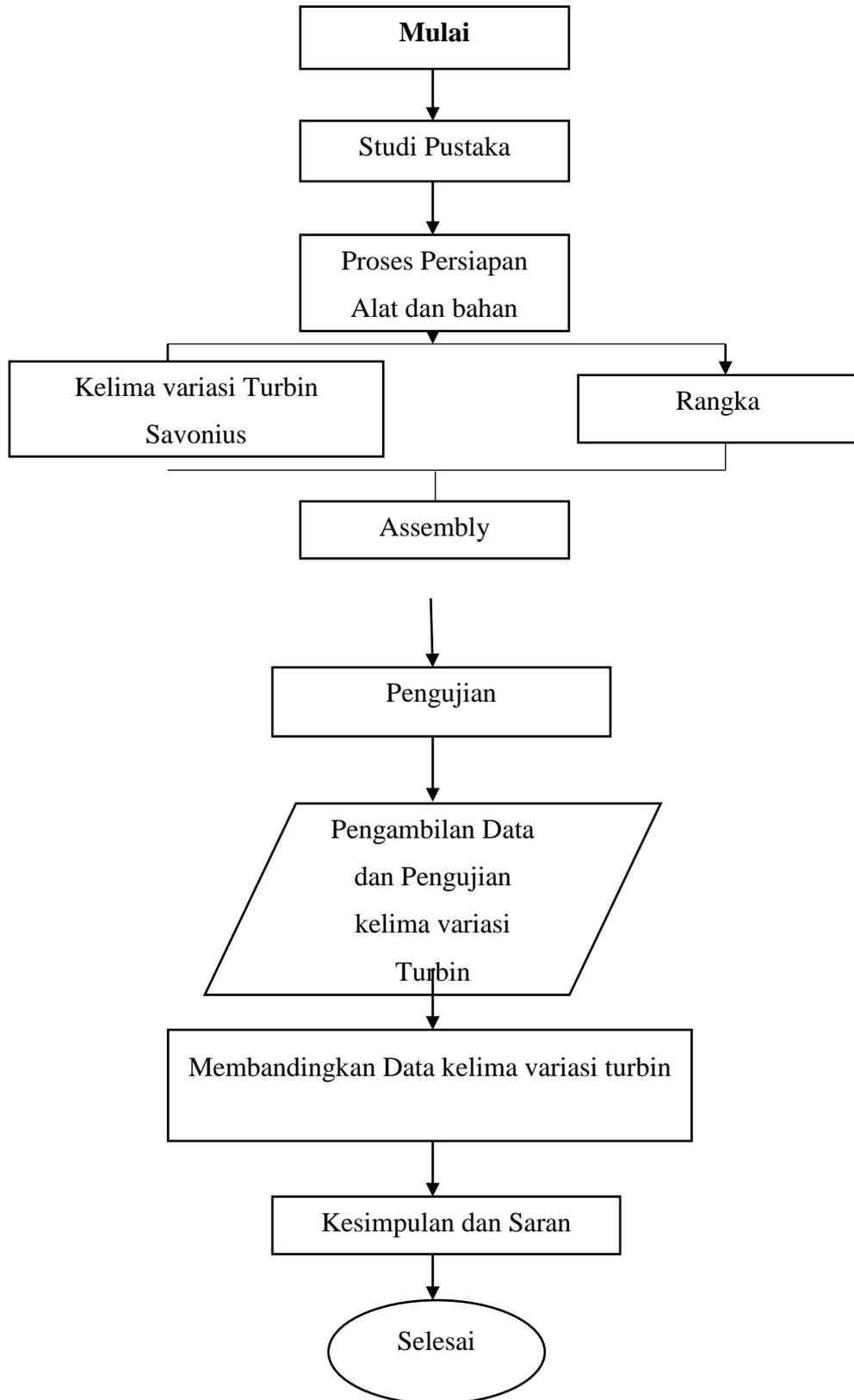
#### **3.4. Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Blower*
2. *Tachometer*
3. Turbin Angin Savonius Tipe-U
4. Regulator

5. Generator (Dinamo 24 Volt)
6. Anemometer
7. Statif
8. Multimeter Digital
9. Kabel *Jumper*
10. Resistor 1 Ohm

### 3.5 Alur Penelitian



### **3.6 Prosedur Penelitian**

Kecepatan angin diambil dengan cara menaruh digital anemometer di depan blower dengan jarak 2.5 meter. Data untuk kecepatan angin diambil dengan variasi 4 m/s, 4.5 m/s, 5 m/s, 5.5 m/s.

Kemudian turbin angin ditempatkan di depan blower dengan jarak yang sama dengan anemometer, yaitu 2.5 meter. Pada jarak yang sama dengan jarak antara turbin angin dengan blower ditempatkan Tachometer untuk mengukur kecepatan putaran turbin per menit. Multimeter dan resistor pun dirangkai untuk nantinya dihitung tegangan dan kuat arus dari turbin. Resistor yang digunakan sebesar 1 ohm.

#### **3.6.1. Mengukur Kecepatan Angin**

Kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer yang posisinya ditentukan untuk mendapatkan kecepatan angin maksimum dan jaraknya 2,5 meter dari blower. Agar posisinya konstan terhadap sumber angin, anemometer disangga menggunakan statif. Pengukuran dilakukan dengan tidak menyertakan turbin terlebih dahulu yang bertujuan mengetahui kecepatan awal angin sebelum menumbuk turbin. Hal ini juga bertujuan untuk mencegah hasil pengukuran yang sedikit berbeda karena putaran turbin dapat mempengaruhi nilai kecepatan angin yang terukur oleh anemometer.

Variasi kecepatan angin yang dilakukan ialah dengan mengatur tegangan input dari blower menggunakan voltage regulator. Pada tegangan keluaran voltage regulator dipasang multimeter agar nilai tegangan yang diinginkan terbaca akurat.

Tegangan dari voltage regulator diatur sedemikian rupa sampai kecepatan angin yang dikeluarkan oleh blower sesuai dengan yang diinginkan dalam penelitian. Setelah itu tegangan pada voltage regulator dicatat sesuai dengan kecepatan angin yang terbaca pada anemometer.

### **3.7. Pengambilan Data dan Pengujian Kelima Variasi Sudut Kelengkungan**

Variasi yang dipakai menjadikan turbin angin savonius tipe-u ini menjadi 5 desain. Desain pertama pada turbin ini adalah tipe Savonius dengan sudut kelengkungan  $20^{\circ}$ , Desain kedua adalah tipe savinus dengan sudut kelengkungan  $30^{\circ}$ , desain ketiga adalah tipe savonius dengan sudut kelengkungan  $40^{\circ}$ , desain keempat adalah tipe savonius dengan sudut kelengkungan  $50^{\circ}$ , dan desain kelima adalah tipe savonius dengan sudut kelengkungan  $60^{\circ}$ .

Pengukuran tegangan dilakukan secara manual menggunakan multimeter yang disusun secara paralel dan mengukur arus disusun secara seri dengan menggunakan beban resistor  $1 \Omega$ . Blower sebagai sumber anginnya dan pengukuran kecepatan angin dengan menggunakan anemometer. Penentuan kecepatan angin yang digunakan adalah dengan mengatur tegangan input dari blower menggunakan voltage regulator. Anemometer dipasang pada statif kemudian ditempatkan berjarak 2.5 meter dari blower. Voltage regulator diatur sedemikian mungkin agar angin yang ditiupkan blower sesuai dengan kecepatan angin yang digunakan dalam penelitian yaitu 4 – 5 m/s dengan rentang 0.5 m/s di setiap variasi angin. Setelah disesuaikan dengan kecepatan angin yang diinginkan, tegangan dari voltage regulator dicatat.

Tegangan tersebut nantinya akan digunakan dalam mengatur kecepatan angin dimana posisi anemometer diganti dengan turbin angin. Dengan variasi kecepatan angin ini kemudian diukur tegangan dan arus menggunakan multimeter serta putaran rotor yang dihasilkan turbin (RPM) menggunakan digital tachometer *non contact*. Data RPM diambil dengan menggunakan tachometer digital laser, tegangan dan kuat arus diukur dengan menggunakan multimeter digital. Selain itu massa turbin dari masing-masing desain ditimbang dengan timbangan digital. Sebagai catatan data diambil setelah turbin berputar stabil yaitu kurang lebih 3 menit turbin berputar, baru setelah itu diambil datanya.

### **3.8. Teknik Analisis Data**

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

Masing-masing grafik dibandingkan hasil dari kelima turbin. Setelah itu hasil dari grafik dianalisis kemudian dicari tipe turbin yang memiliki efisiensi dan daya keluaran yang paling tinggi.

## BAB IV

### PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dikarakterisasi turbin angin savonius dengan modifikasi sudut kelengkungan sudu turbin. Turbin savonius yang telah dimodifikasi dibuat menjadi lima variasi sudut, yaitu  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ , dan  $60^{\circ}$ . Masing-masing sudu dikarakterisasikan besar RPM (putaran turbin angin), TSR (*Tip Speed Ratio*), torsi, dan juga efisiensi dari turbin savonius. Spesifikasi turbin setiap sudu dapat dilihat pada tabel berikut:

*Tabel 1 Spesifikasi Turbin Angin Savonius Modifikasi*

<b>Turbin</b>	<b>Sudut Kelengkungan, <math>\theta</math></b>	<b>R (cm)</b>
Turbin 1	$20^{\circ}$	7.3
Turbin 2	$30^{\circ}$	7.5
Turbin 3	$40^{\circ}$	8
Turbin 4	$50^{\circ}$	8.5
Turbin 5	$60^{\circ}$	9.1

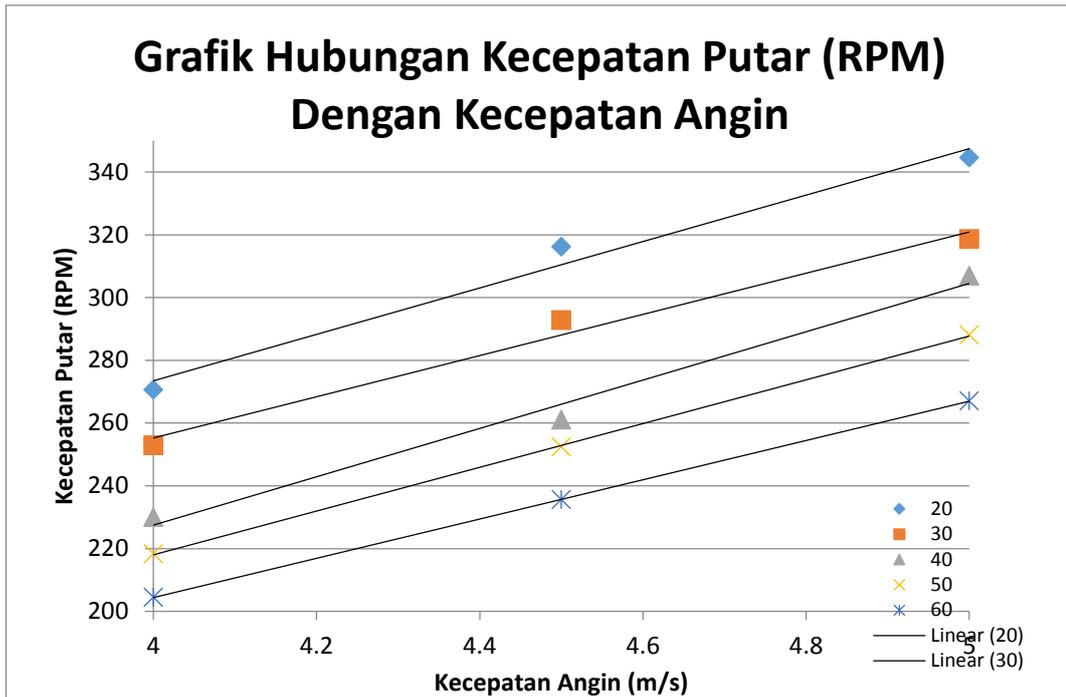
#### 4.1 Pengujian Kecepatan Putar (RPM) Turbin Angin

Pada pengujiannya turbin angin diletakkan tepat diposisi peletakkan anemometer tanpa menyertakan anemometer kembali. Hal ini bertujuan agar angin yang diterima 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* kembali, sebagai variasi kecepatan anginnya yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu 4 m/s, 4.5 m/s, dan 5 m/s. Kemudian dilakukan pengambilan data untuk banyaknya putaran turbin (RPM) dan daya keluaran yang dihasilkan oleh ketiga desain turbin.

Pengukuran putaran turbin (RPM) menggunakan tachometer digital. Tachometer ini menggunakan sinar laser yang dapat membaca setiap putaran benda. Pengukuran dilakukan secara manual dengan cara mengarahkan tachometer ke arah turbin angin. Pengukuran RPM pada setiap kecepatan angin dilakukan sebanyak 5 kali agar data RPM yang didapat lebih akurat. Berikut data pengujian berupa RPM yang dihasilkan oleh turbin angin savonius setiap sudut.

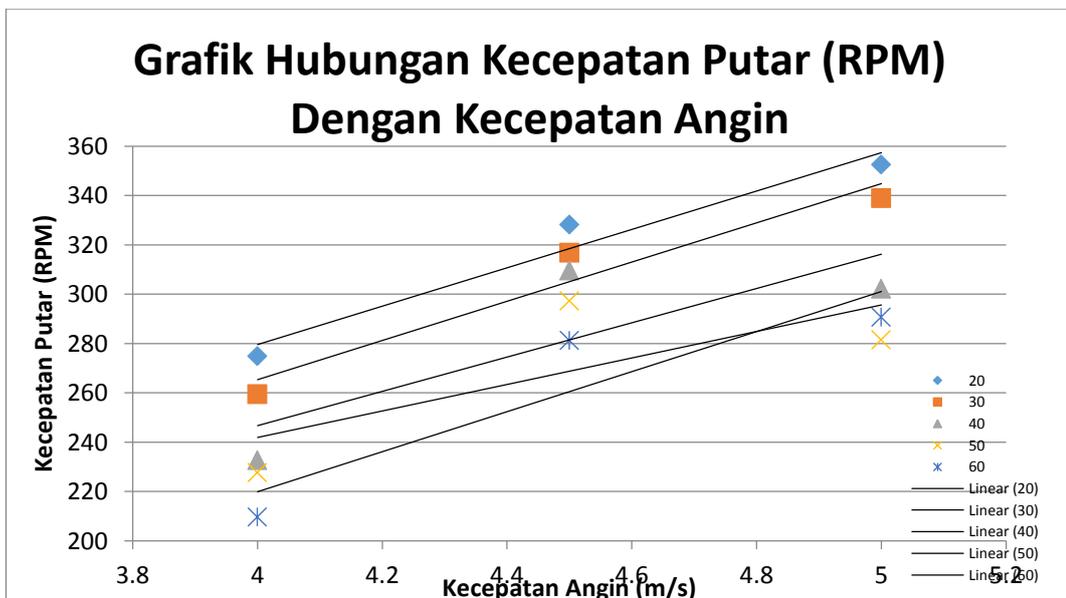
*Tabel 2: Rata-rata Kecepatan Putar (RPM) Setiap Kelengkungan Sudu*

Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan putar (RPM)					Kecepatan putar (RPM)- <i>Wind Tunnel</i>				
	20 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>
4	270.58	252.88	230.02	218.28	204.4	274.81	259.47	232.72	227.64	209.6
4.5	316.18	292.7	261.02	252.38	235.6	328.14	316.79	309.52	297.26	281.16
5	344.56	318.54	306.94	288.02	266.96	352.49	338.91	302.17	281.42	290.7



Gambar 2 Grafik Hubungan Kecepatan Putar (RPM) Dengan Kecepatan Angin

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan kecepatan turbin (RPM) untuk berputar. Semakin besar kecepatan angin semakin besar pula RPM turbin pada setiap desain.

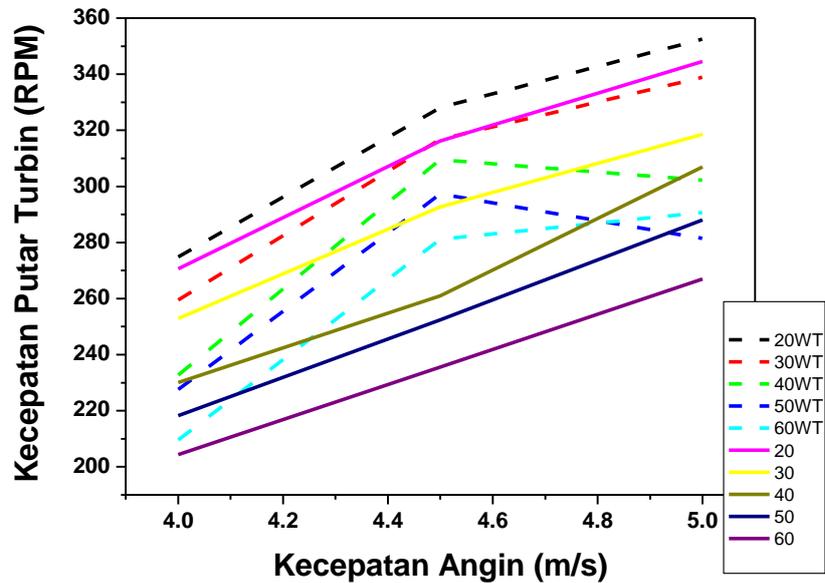


Gambar 3 Grafik Hubungan Kecepatan Putar (RPM) Dengan Kecepatan Angin dengan Wind

Tunnel

Secara umum terdapat dua gaya yang bekerja pada turbin angin, yaitu gaya hambat (*drag*) dan gaya angkat (*lift*). Gaya yang bekerja pada turbin Savonius adalah gaya hambat, gaya ini sejajar dengan arah hembusan angin dan bekerja pada permukaan rotor.<sup>[8]</sup> Gambar 3 menunjukkan grafik rpm pada kecepatan angin 4 m/s – 5 m/s, dapat dilihat pada grafik diatas bahwa yang mempunyai kecepatan putar tertinggi adalah kecepatan angin yang dihasilkan oleh turbin 1 dengan sudut  $20^{\circ}$ , yaitu sebesar 270.58 rpm pada kecepatan angin 4m/s. Sedangkan kecepatan putar terendah adalah yang dihasilkan oleh sudut  $60^{\circ}$ , yaitu 204.4 rpm pada kecepatan angin 4m/s. Jika dilihat dari ukuran turbin, Turbin 1 memiliki jari-jari paling kecil dibandingkan turbin lainnya, yaitu sebesar 7,3 cm, sehingga gaya hambatnya pun kecil. Jika dibandingkan dengan Turbin 5 dengan sudut  $60^{\circ}$  yang memiliki jari-jari sebesar 9,1 cm putaran turbin yang dihasilkan merupakan putaran yang paling rendah. Pada gambar 4 saat kecepatan angin 4 m/s – 5 m/s, dapat dilihat pada grafik diatas bahwa yang mempunyai kecepatan putar tertinggi adalah kecepatan angin yang dihasilkan oleh turbin 1 dengan sudut  $20^{\circ}$ , yaitu sebesar 274.81 rpm pada kecepatan angin 4m/s. Sedangkan kecepatan putar terendah adalah yang dihasilkan oleh sudut  $60^{\circ}$ , yaitu 209.6 rpm pada kecepatan angin 4m/s.

Grafik Hubungan Kecepatan Putar Turbin terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4 Perbandingan Grafik Hubungan Kecepatan Putar (RPM) terhadap Kecepatan Angin

Dari penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa penyebab dari perbedaan nilai rpm terdapat pada perbedaan dimensi turbin, dimana semakin besar sudut kelengkungan turbin, semakin besar pula jari-jari turbin. Apabila dilihat dari gambar 4, kecepatan putar (rpm) turbin angin yang menggunakan wind tunnel mempunyai kecepatan lebih besar dari turbin angin tanpa wind tunnel. Hal ini disebabkan karena ketika melewati wind tunnel, angin yang dihasilkan tingkat turbulensinya lebih kecil dibanding tanpa wind tunnel, sehingga dapat menghasilkan putaran sudut (rpm) yang lebih besar.<sup>[9]</sup>

#### 4.2 Tip Speed Ratio (TSR)

*Tip Speed Ratio* merupakan perbandingan antara kecepatan ujung *blade* dengan kecepatan angin yang melewatinya. Pada turbin Savonius nilai TSR tidak lebih dari 1. Ini karena turbin Savonius hanya memanfaatkan gaya hambat, sehingga

kecepatan putar turbin tidak mungkin lebih besar dari kecepatan angin. Berbeda dengan turbin yang memanfaatkan gaya angkat, nilai TSR-nya bernilai lebih dari 1, karena kecepatan putar turbin bisa melebihi kecepatan angin.

Untuk mencari nilai TSR (*Tip Speed Ratio*), maka harus diketahui besar kecepatan sudut yang dihasilkan oleh rotor dengan rumus:

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

$$\lambda = \frac{\omega x R_{rotor}}{v_{angin}}$$

$\omega$  = kecepatan sudut

$\lambda$  = Tip Speed Ratio

Hasil dari perhitungan TSR terdapat pada table berikut:

**Tabel 3 Hasil Perhitungan TSR (Tip Speed Ratio)**

Kecepatan	RPM	$\omega$ (Omega)	TSR
(20 <sup>0</sup> )			
4	270.58	28.35	0.52
4.5	316.18	33.12	0.60
5	344.56	36.10	0.66
(30 <sup>0</sup> )			
4	252.88	26.49	0.48
4.5	292.70	30.66	0.56
5	318.54	33.37	0.61
(40 <sup>0</sup> )			
4	230.02	24.10	0.44
4.5	261.02	27.34	0.50
5	306.94	32.16	0.59
(50 <sup>0</sup> )			
4	218.28	22.87	0.42
4.5	252.38	26.44	0.48
5	288.02	30.17	0.55
(60 <sup>0</sup> )			
4	204.40	21.41	0.39
4.5	235.60	24.68	0.45
5	266.96	27.97	0.51

*Tabel 4 Hasil Perhitungan TSR (Tip Speed Ratio) dengan Wind Tunnel*

Kecepatan Angin	RPM	$\omega$ (Omega)	TSR
(20 <sup>0</sup> )			
4	274.81	28.79	0.53
4.5	328.14	34.38	0.63
5	352.49	36.93	0.67
(30 <sup>0</sup> )			
4	259.47	27.18	0.50
4.5	316.79	33.19	0.61
5	338.91	35.50	0.65
(40 <sup>0</sup> )			
4	232.72	24.38	0.44
4.5	309.52	32.43	0.59
5	302.17	31.66	0.58
(50 <sup>0</sup> )			
4	227.64	23.85	0.44
4.5	297.26	31.14	0.57
5	281.42	29.48	0.54
(60 <sup>0</sup> )			
4	209.6	21.96	0.40
4.5	281.16	29.45	0.54
5	290.7	30.45	0.56

### 4.3 Analisa Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus

Pengukuran daya keluaran pada turbin angin dilakukan dengan mengukur tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh generator setelah diberikan beban satu buah resistor 1 ohm menggunakan multimeter.

*Tabel 5 Nilai Tegangan dan Kuat Arus Keluaran Turbin Angin Savonius Setiap Kelengkungan Sudu*

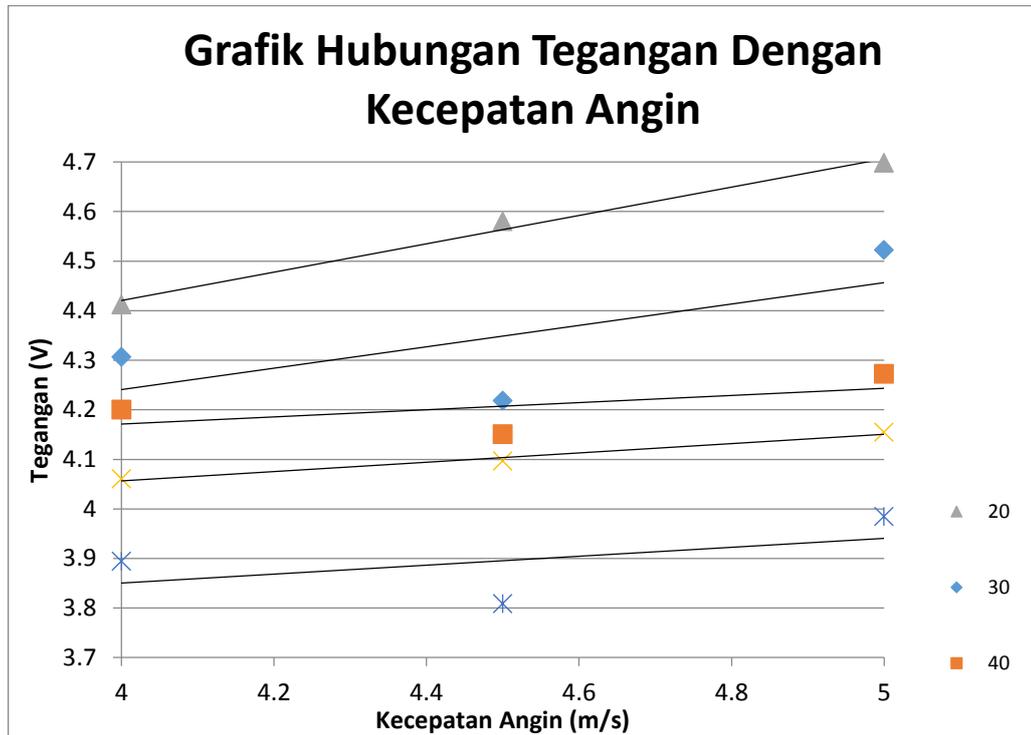
Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)					Arus (mA)				
	20	30	40	50	60	20	30	40	50	60
4	4.41	4.31	4.20	4.06	3.89	90.54	86.04	83.46	79.78	75.26
4.5	4.58	4.22	4.15	4.10	3.81	98.21	92.78	92.43	88.96	84.78

5	4.70	4.52	4.27	4.15	3.98	103.25	97.76	94.57	91.43	89.41
---	------	------	------	------	------	--------	-------	-------	-------	-------

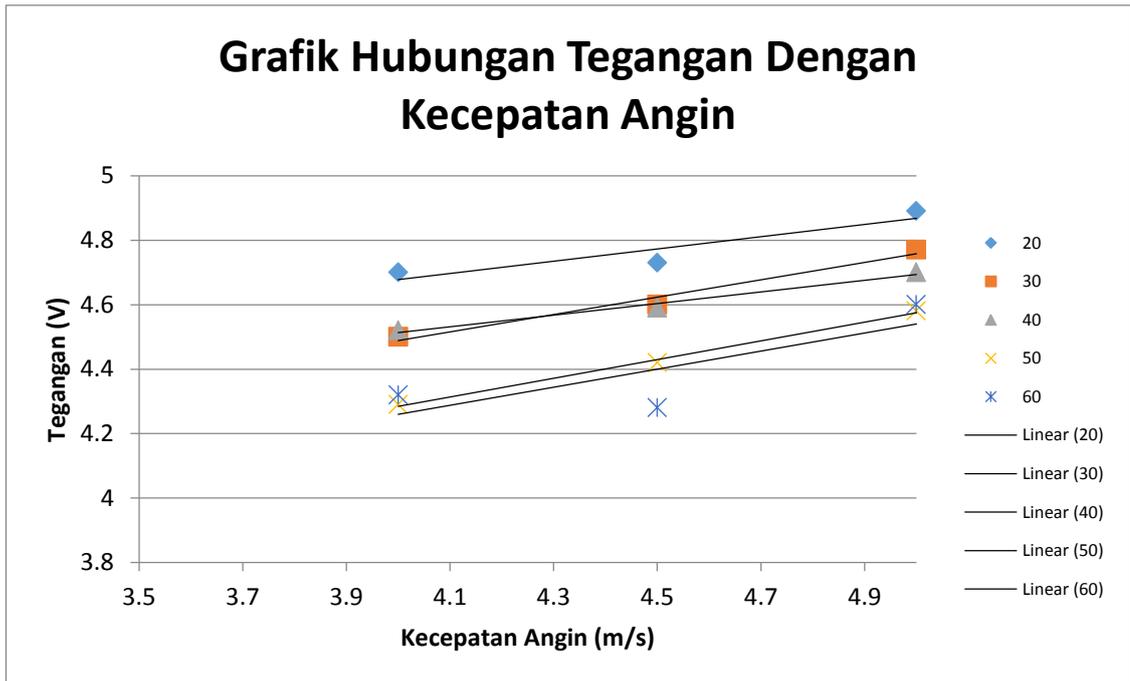
*Tabel 6: Nilai Tegangan dan Kuat Arus Keluaran Turbin Angin Savonius*

*Setiap Kelengkungan Sudu -Wind Tunnel*

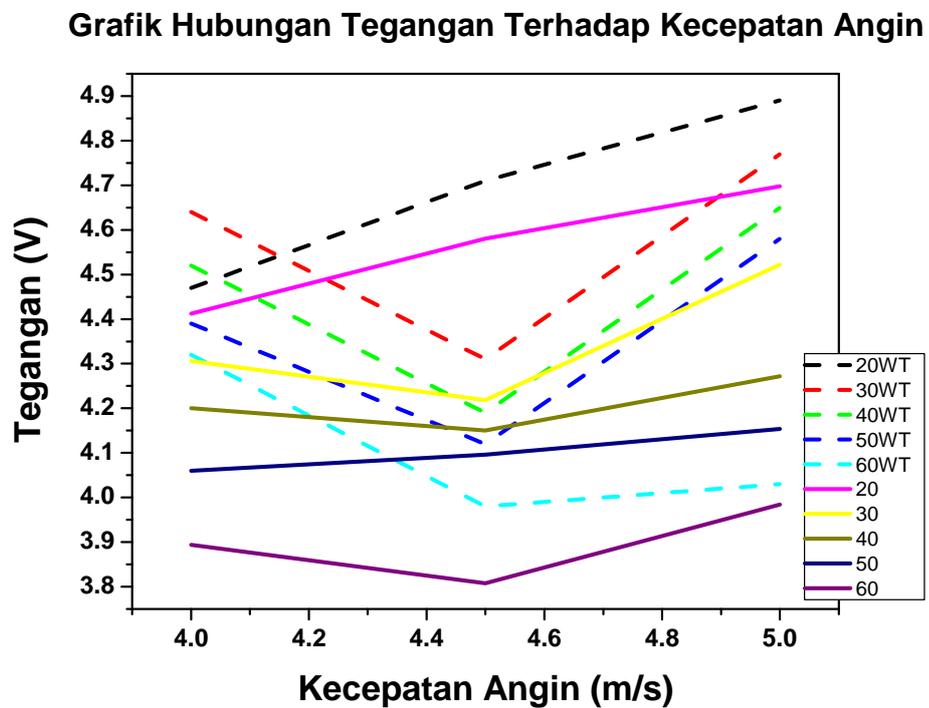
Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)					Arus (mA)				
	20	30	40	50	60	20	30	40	50	60
4	4.7	4.5	4.52	4.29	4.32	93.62	92.85	92.04	91.39	90.92
4.5	4.73	4.6	4.59	4.42	4.28	99.74	99.15	97.38	96.51	95.72
5	4.89	4.77	4.7	4.58	4.6	105.92	104.7	104.09	103.27	102.51



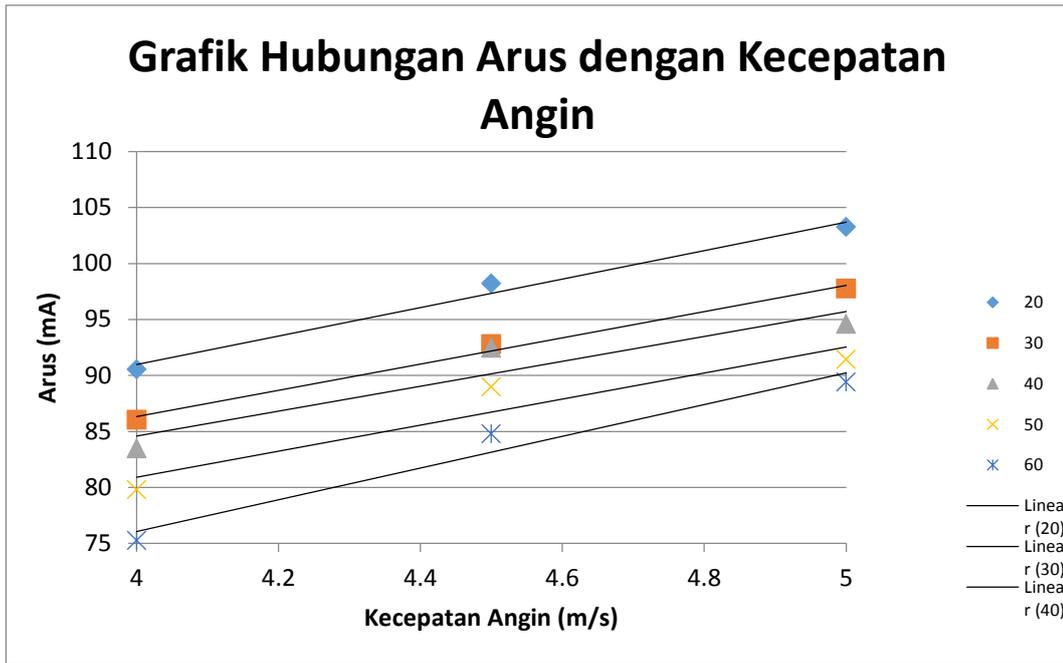
*Gambar 5 Grafik Hubungan Nilai Tegangan Dengan Kecepatan Angin tanpa Wind Tunnel*



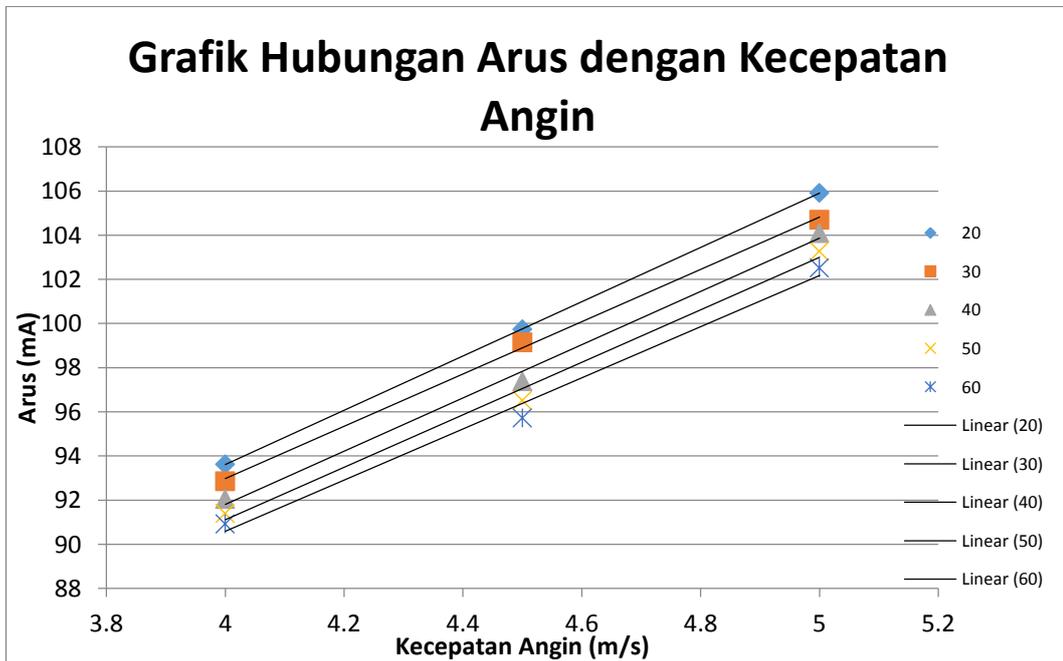
Gambar 6 Grafik Hubungan Nilai Tegangan Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel



Gambar 7 Perbandingan Grafik Hubungan Nilai Tegangan Dengan Kecepatan Angin

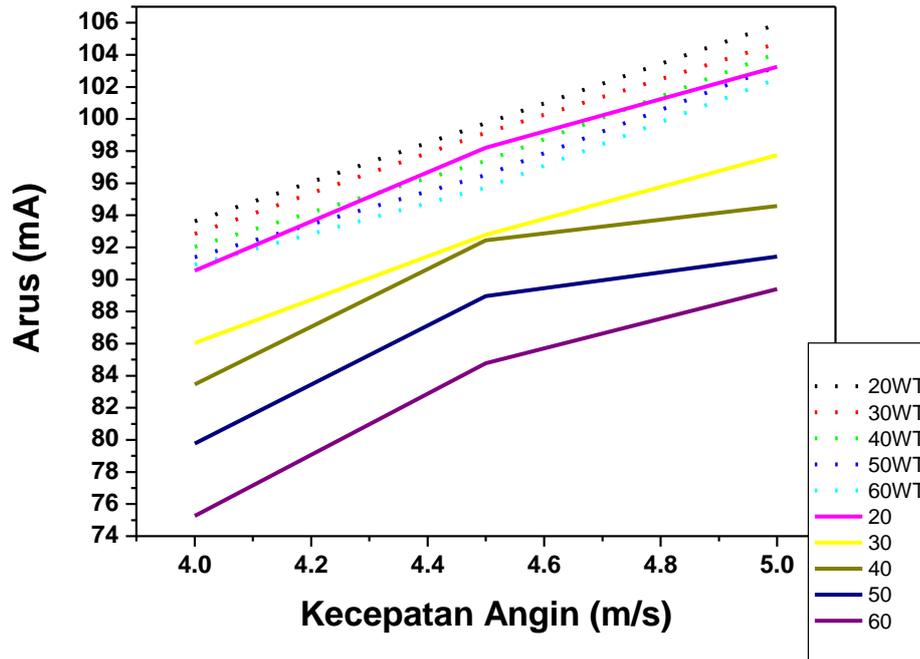


Gambar 8 Grafik Hubungan Nilai Arus Dengan Kecepatan Angin tanpa Wind Tunnel



Gambar 9 Grafik Hubungan Nilai Arus Dengan Kecepatan Angin tanpa Wind Tunnel

## Grafik Hubungan Arus terhadap Kecepatan Angin



Gambar 10 Perbandingan Grafik Hubungan Nilai Arus Dengan Kecepatan Angin

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan nilai arus keluaran yang dihasilkan turbin angin. Semakin besar kecepatan angin semakin besar pula arus turbin pada setiap desain kelengkungan sudu turbin angin.

### 4.4 Daya Turbin Angin

#### 4.4.1 Daya Keluaran Turbin Angin

Data pengujian berupa 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  $P = I \times V$  maka daya keluaran dapat dihitung. Hasil perhitungan daya yang dihasilkan turbin angin tipe Savonius dapat dilihat pada tabel 7.

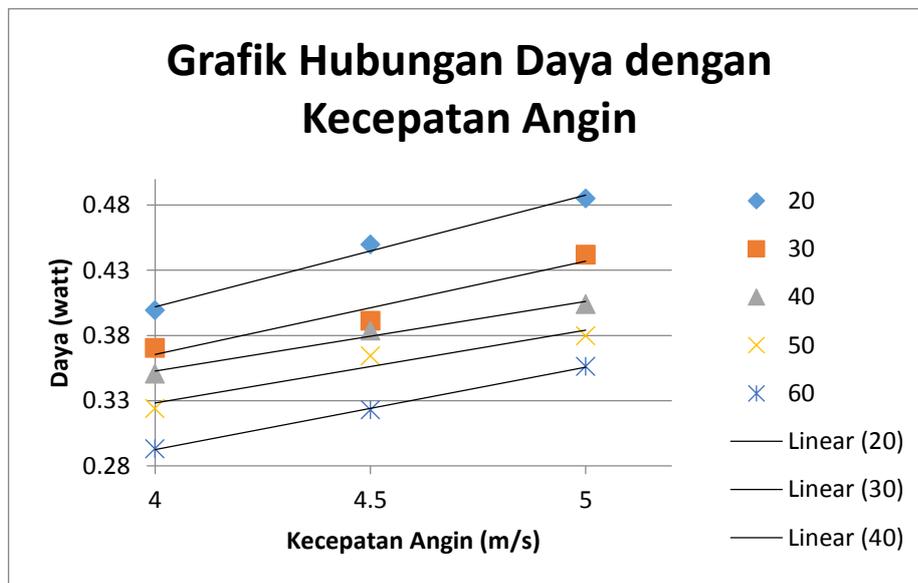
*Tabel 7: Daya Keluaran Turbin Angin*

<b>Kecepatan Angin (m/s)</b>	<b>Tegangan (V)</b>	<b>Arus (mA)</b>	<b>Daya Keluaran (Watt)</b>
<b>20<sup>0</sup></b>			
4	4.41	90.54	0.40
4.5	4.58	98.21	0.45
5	4.70	103.25	0.49
<b>30<sup>0</sup></b>			
4	4.31	86.04	0.37
4.5	4.22	92.78	0.39
5	4.52	97.76	0.44
<b>40<sup>0</sup></b>			
4	4.20	83.46	0.35
4.5	4.15	92.43	0.38
5	4.27	94.57	0.40
<b>50<sup>0</sup></b>			
4	4.06	79.78	0.32
4.5	4.10	88.96	0.36
5	4.15	91.43	0.38
<b>60<sup>0</sup></b>			
4	3.89	75.26	0.29
4.5	3.81	84.78	0.32
5	3.98	89.41	0.36

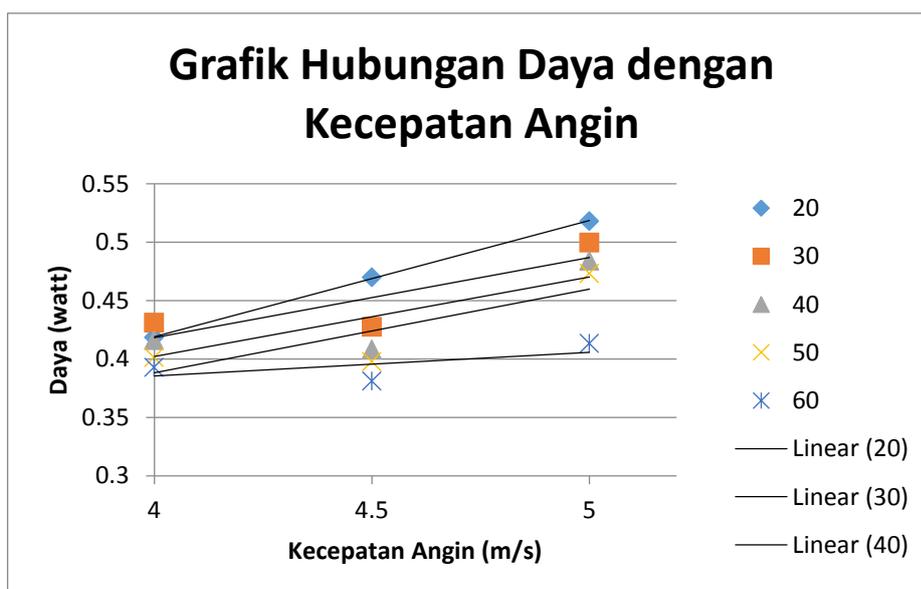
**Tabel 8 Daya Keluaran Turbin Angin dengan *Wind Tunnel***

<b>Kecepatan Angin (m/s)</b>	<b>Tegangan (V)</b>	<b>Arus (mA)</b>	<b>Daya Keluaran (Watt)</b>
<b>20<sup>0</sup></b>			
4	4.47	93.62	0.42
4.5	4.71	99.74	0.47
5	4.89	105.92	0.52
<b>30<sup>0</sup></b>			
4	4.64	92.85	0.43
4.5	4.31	99.15	0.43
5	4.77	104.7	0.50
<b>40<sup>0</sup></b>			
4	4.52	92.04	0.42
4.5	4.19	97.38	0.41

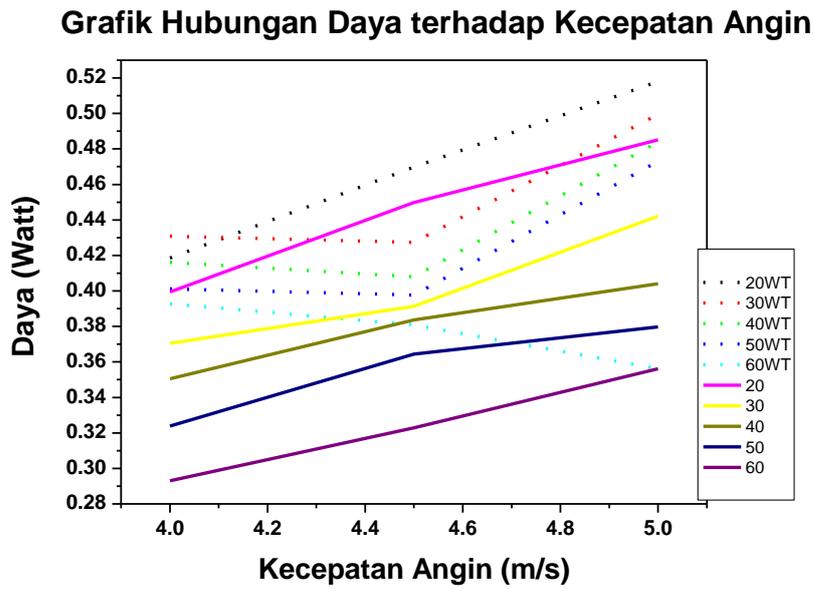
5	4.65	104.09	0.48
<b>50<sup>0</sup></b>			
4	4.39	91.39	0.40
4.5	4.12	96.51	0.40
5	4.58	103.27	0.47
<b>60<sup>0</sup></b>			
4	4.32	90.92	0.39
4.5	3.98	95.72	0.38
5	4.03	102.51	0.41



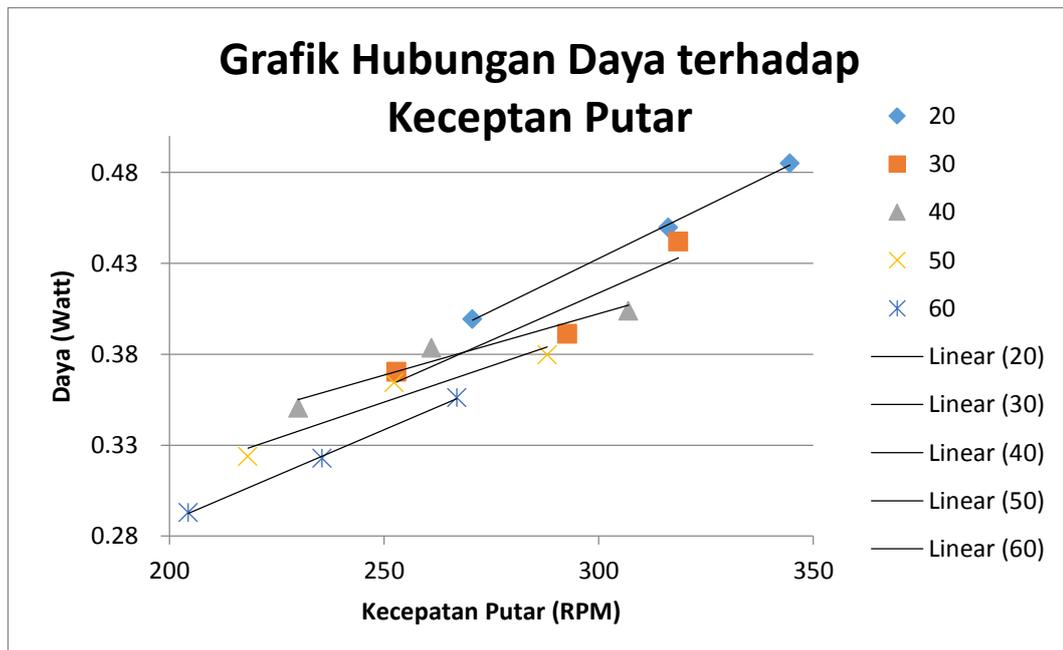
Gambar 11 Grafik Hubungan Daya Dengan Kecepatan Angin



Gambar 12 Grafik Hubungan Daya Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel



Gambar 13 Perbandingan Grafik Hubungan Daya Dengan Kecepatan Angin dengan Wind Tunnel



Gambar 14: Grafik Hubungan Daya terhadap Kecepatan Putar

Berdasarkan gambar 13 dapat dibandingkan Daya tipe Savonius dalam berbagai sudut. Daya turbin minimal yang dihasilkan dari dinamo pada tipe Savonius yaitu oleh turbin angin dengan sudut 60, sebesar 0.2931 pada kecepatan angin 4 m/s

dan maksimal yang dihasilkan oleh turbin angin dengan sudut  $20^0$ , sebesar 0.49 dikecepatan angin 5 m/s.

Berdasarkan gambar 13 juga dapat kita lihat bahwa pada kecepatan angin 4.5 m/s terjadi anomali pada seluruh jenis turbin dimana daya yang dihasilkan turun drastis menuju posisi terendah untuk setiap turbin. Hal ini dikarenakan pada batas kecepatan angina inilah batas maksimum angina yang bisa dikonversikan daya yang maksimal. Pada grafik turbin dengan sudut kelengkungan  $60^0$  dengan menggunakan *Wind Thunnel* menunjukkan bahwa untuk sudut kelengkungan turbin tersebut sangat tidak dianjurkan untuk dijadikan sebagai sudut kelengkungan turbin dikarenakan hasil menunjukkan grafik daya yang semakin lama semakin menurun. Hal ini dikarenakan turbin dengan sudut kelengkungan tersebut sudah melewati batas optimalnya. Hasil ini menunjukkan daya keluaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan besar tegangan dan kecepatan putaran turbin yang diperoleh dimana ketika kecepatan angin semakin besar, maka daya keluaran putaran turbin yang dihasilkan juga semakin besar. Tipe Savonius memiliki daya keluaran yang paling besar diantara tipe yang lainnya karena menghasilkan RPM-nya yang tinggi jika dihubungkan dengan dinamo atau generator.

#### 4.4.2 Daya Teoritis

Daya teoritis pada turbin angin savonius dihitung dengan menggunakan persamaan:

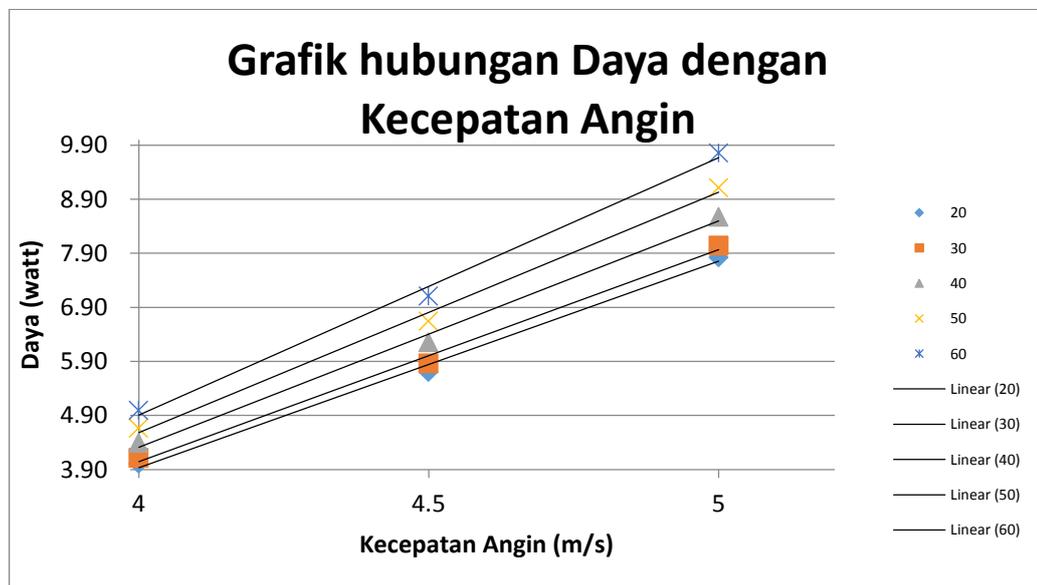
$$P = \frac{1}{2} \rho A v_{\text{angin}}^3$$

$P = \text{daya turbin}$                        $\rho = \text{massa jenis udara}$

$A = \text{luas sapuan turbin}$        $V = \text{kecepatan Angin}$

*Tabel 9 Daya Teoritis Turbin Angin Savonius pada tiap Kelengkungan Sudu*

Kecepatan Angin	Daya (P)				
	20 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>
4	4.01	4.12	4.39	4.66	4.99
4.5	5.70	5.86	6.25	6.64	7.11
5	7.82	8.04	8.58	9.11	9.75



*Gambar 15 Grafik Hubungan Nilai Daya Teoritis Dengan Kecepatan Angin*

Pada grafik di atas dapat dijelaskan bahwa daya yang dihasilkan oleh turbin berbanding lurus dengan kecepatan angin yang ditangkap oleh sudu turbin. Pada grafik tersebut terlihat arah grafik yang tidak linier 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 besar daya masukan maksimum yang dihasilkan oleh besarnya kecepatan angin dengan mengabaikan banyak faktor. Namun pada kenyataannya ada banyak energi yang hilang karena kerugian gesekan dan kerugian pada transmisi mekanik rotor ke generator, tentu efisiensi aerodinamik dari rotor akan lebih kecil lagi.

#### 4.5 Torsi Pada Turbin Angin

Torsi adalah kecenderungan sebuah gaya untuk mengubah gerak rotasi dari sebuah benda. Oleh sebab itu turbin angin ini pasti mempunyai nilai torsi saat berputar di setiap kecepatan anginnya. Torsi dari turbin didapat dari daya keluaran turbin dibagi dengan kecepatan sudut turbin itu sendiri. <sup>[10]</sup>

Untuk mencari Torsi dapat menggunakan persamaan :

$$\tau = \frac{V^2 R^2}{\lambda^2}$$

Hasil perhitungan torsi turbin angin tipe Savonius terdapat pada tabel 10:

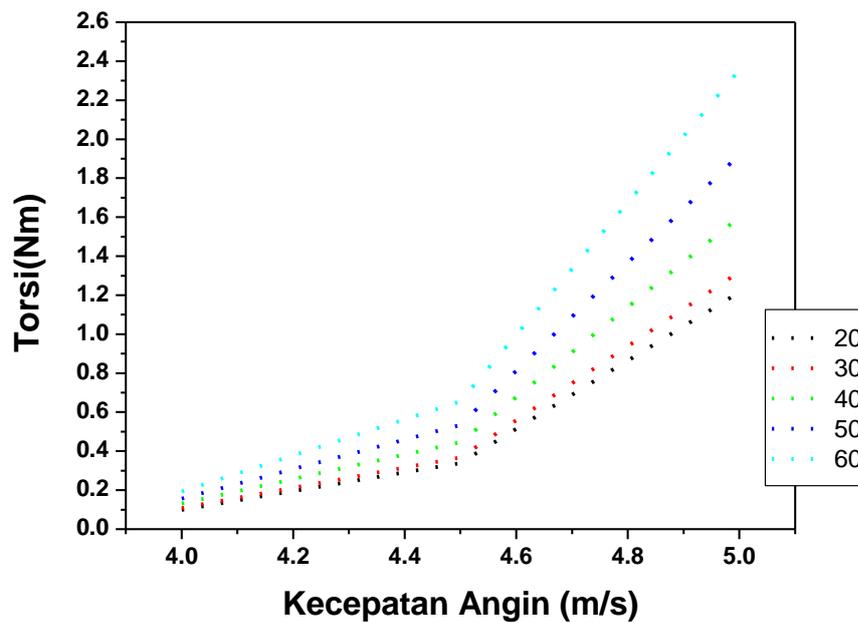
*Tabel 10 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi Pada Tipe Savonius di Setiap*

*Modifikasi*

Kecepatan Angin	RPM	$\omega$ (Omega)	TSR	Torsi
(20 <sup>0</sup> )				
4	274.81	28.79	0.53	0.10
4.5	328.14	34.38	0.63	0.34
5	352.49	36.93	0.67	1.22
(30 <sup>0</sup> )				
4	259.47	27.18	0.50	0.11

4.5	316.79	33.19	0.61	0.37
5	338.91	35.50	0.65	1.32
(40 <sup>0</sup> )				
4	232.72	24.38	0.44	0.13
4.5	309.52	32.43	0.59	0.45
5	302.17	31.66	0.58	1.60
(50 <sup>0</sup> )				
4	227.64	23.85	0.44	0.16
4.5	297.26	31.14	0.57	0.53
5	281.42	29.48	0.54	1.92
(60 <sup>0</sup> )				
4	209.6	21.96	0.40	0.19
4.5	281.16	29.45	0.54	0.66
5	290.7	30.45	0.56	2.35

**Grafik Hubungan Torsi terhadap Kecepatan Angin**



*Gambar 16 Grafik Hubungan Torsi Dengan Kecepatan Angin*

Berdasarkan tabel 10, pada kecepatan angin 4 m/s torsi yang paling kecil terdapat pada tipe sudu turbin angin Savonius dengan kelengkungan sudut 20<sup>0</sup> yaitu sebesar 0.485059104. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa nilai torsi semakin

bertambah seiring dengan bertambahnya sudut kelengkungan turbin. Ini berarti semakin besar jari-jari turbin, semakin besar pula torsi, namun putaran yang dihasilkan turbin semakin kecil. Secara umum untuk turbin tipe *vertikal axis* khususnya turbin Savonius memiliki nilai torsi yang lebih besar dibandingkan dengan turbin *horizontal axis*. Semakin besar kecepatan sudut maka semakin besar pula torsi yang dihasilkan. Sedangkan untuk menghasilkan torsi yang besar diperlukan daya yang besar, kelengkungan sudut yang kecil dan kecepatan sudut yang kecil.<sup>[11]</sup>

#### 4.6 Coefficient Performance (CP)

*Coefisient Performance* (CP) merupakan perbandingan antara daya dihasilkan secara mekanik pada sudu akrobat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh angin itu sendiri. Secara matematis hubungan ini dapat di tuliskan :

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

Dimana :

$P_{turbin}$  = daya keluaran turbin

$P_{in\ max}$  = Daya Teoritis turbin

*Tabel 11 Nilai Coefficient Performance (CP) Turbin Angin Savonius*

Tanpa Wind Tunnel				Dengan Wind Tunnel			
Kecepatan Angin	Pin max	P tubrin	CP	Kecepatan Angin	Pin max	P tubrin	CP
$20^0$							
4	4.01	0.40	0.10	4	4.01	0.42	0.10

4.5	5.70	0.45	0.08	4.5	5.70	0.47	0.08
5	7.82	0.49	0.06	5	7.82	0.52	0.07
<b>30<sup>0</sup></b>							
4	4.12	0.37	0.09	4	4.12	0.43	0.10
4.5	5.86	0.39	0.07	4.5	5.86	0.43	0.07
5	8.04	0.44	0.05	5	8.04	0.50	0.06
<b>40<sup>0</sup></b>							
4	4.39	0.35	0.08	4	4.39	0.42	0.09
4.5	6.25	0.38	0.06	4.5	6.25	0.41	0.07
5	8.58	0.40	0.05	5	8.58	0.48	0.06
<b>50<sup>0</sup></b>							
4	4.66	0.32	0.07	4	4.66	0.40	0.09
4.5	6.64	0.36	0.05	4.5	6.64	0.40	0.06
5	9.11	0.38	0.04	5	9.11	0.47	0.05
<b>60<sup>0</sup></b>							
4	4.99	0.29	0.06	4	4.99	0.39	0.08
4.5	7.11	0.32	0.05	4.5	7.11	0.38	0.05
5	9.75	0.36	0.04	5	9.75	0.36	0.04

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Telah berhasil dirancang bangun turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius dengan lima variasi sudut kelengkungan, yaitu  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ , dan  $60^{\circ}$ .
2. Hasil pengujian RPM pada setiap sudut kelengkungan, yang mempunyai kecepatan putar tertinggi adalah kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin 1 dengan sudut  $20^{\circ}$ , yaitu sebesar 270.58 rpm pada kecepatan angin 4m/s. Sedangkan kecepatan putar terendah adalah yang dihasilkan oleh sudut  $60^{\circ}$ , yaitu 204.4 rpm pada kecepatan angin 4m/s
3. Semakin besar sudut kelengkungan turbin, semakin besar pula jari-jari turbin, dan semakin kecil kecepatan putar dari turbin tersebut.
4. Daya turbin minimal yang dihasilkan dari dinamo pada tipe Savonius yaitu oleh turbin angin dengan sudut  $60^{\circ}$ , sebesar 0.2931 pada kecepatan angin 4 m/s dan maksimal yang dihasilkan oleh turbin angin dengan sudut  $20^{\circ}$ , sebesar 0.49 dikecepatan angin 5 m/s.
5. Dari hasil pengujian didapat *Coefficient Performance* dan *Tip Speed Ratio* maksimal untuk tipe Savonius sebesar 0.104457 dan 0.673927 untuk sudut turbin  $20^{\circ}$

6. Torsi yang paling kecil terdapat pada tipe sudu turbin angin Savonius dengan kelengkungan sudut  $20^0$  yaitu sebesar 0.485059104. Nilai torsi semakin bertambah seiring dengan bertambahnya sudut kelengkungan turbin. Ini berarti semakin besar jari-jari turbin, semakin besar pula torsinya

## **5.2 Saran**

1. Sudu turbin hendaknya dibuat lebih ringan namun kuat, sehingga mengurangi kerugian gesekan karena beban yang berat.
2. Dalam pemilihan sistem transmisi hendaknya harus diperhatikan sehingga dapat mengurangi kemungkinan energi yang hilang karena ada kerugian transmisi mekanik rotor ke generator.
3. Perlunya alat ukur otomatis yang dapat mengukur tegangan, kuat arus, putaran rotor dan kecepatan angin tiap-tiap detik yang terjamin keakuratannya.
4. Penggunaan generator harus diperhatikan guna mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi.

## Daftar Pustaka

- [1] Daryanto, Y 2007, kajian potensi angin untuk pembangkit listrik tenaga baru, balai PPTAGUPT-LAAG ,Yogyakarta
- [2] Adi, Adri dkk, 2009, Rancang Bangun Sistem Pengendalian Sudut Pitch Blade pada Prototipe Turbin Angin Berbasis Logika Fuzzy, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya.
- [3] Astu pudjanarsa & Djati nursuhud, 2006, Mesin Konversi Energi, Yogyakarta: Andi Offset.
- [4] Wiyono, Apri. 2014. Desain dan analisis konvogurasi turbin angin savonius darrieus terhadap momen dan force ,Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.
- [5] Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol; Bandung. ITB
- [6] Anwar, M.S., 2008. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik. Tugas Sarjana. Surabaya: ITS
- [7] 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.
- [8] Guntoro, W., 2008. *Studi Pengaruh Panjang dan Jumlah Baling-Baling Terhadap Efisiensi Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin.* Bandung: ITB

- [9] Khan, N.I., Iqbal, M.T., Hinchey, Michael, dan Masek, Vlastimil. 2009. *Performance of Savonius Rotor As A Water Current Turbine*. Journal of Ocean Technology. Vol. 4, No. 2, pp. 71-83
- [10] Nakajima, M., Lio, S., dan Ikeda, T., 2008. *Performance of Double-step Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hidroulic Turbine*. Journal of Fluid Science And Technology. Volume 3 No. 3, pp 410-419
- [11] Olson, Reuben M., dan Wright, Steven J., 1993. *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik Edisi Kelima (Terjemahan)*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- [12] Young, Hugh D, dan Freedman, R.A., 2002. *Fisika Universita. Jilid 1*. Edisi ke- 10. Jakarta: Erlangga. Terjemahan: *University Physics*. Edisi ke-8. 2000. Addison Wesley Longman, Inc.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Dokumen Hasil Penelitian





## Lampiran 2. Data Hasil Pengujian

### A. Pengujian RPM

#### Data Hasil Pengujian RPM Tanpa Wind Tunnel

Kecepatan Angin = 4 m/s

Sudut	RPM					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	272.3	265.7	270.2	275.6	269.1	270.58
30	251.7	250.3	254.1	251.5	256.8	252.88
40	229.4	234.2	231.6	227.4	227.5	230.02
50	215.6	220.3	221.7	215.3	218.5	218.28
60	204.2	207.8	203.5	204.9	201.8	204.44

Kecepatan Angin = 4.5 m/s

Sudut	RPM					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	318.3	315.8	314.1	315.2	317.5	316.18
30	293.4	297.6	290.4	292.8	289.3	292.7
40	264.8	260.3	259.4	261.4	259.2	261.02
50	251.5	250.1	255.9	250.8	253.6	252.38
60	239.4	235.3	234.7	235.1	233.5	235.6

Kecepatan Angin = 5 m/s

Sudut	RPM					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	341.2	346.4	342.6	346.7	345.9	344.56
30	320.4	318.7	316.1	318.3	319.2	318.54
40	303.7	308.1	309.4	308.3	305.2	306.94
50	286.8	285.3	286.1	290.5	291.4	288.02
60	269.2	265.8	270.3	264.3	265.2	266.96

#### Data Hasil Pengujian RPM Dengan Wind Tunnel

Kecepatan Angin = 4 m/s

Sudut	RPM					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	272.3	276.7	270.2	275.6	274.1	274.81
30	258.7	255.3	254.1	251.5	256.8	259.47
40	230.4	234.2	231.6	227.4	227.5	232.72
50	223.6	220.3	221.7	225.3	228.5	227.64
60	204.2	207.8	209.5	300.9	209.8	209.6

Kecepatan Angin = 4.5 m/s

Sudut	RPM					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	318.3	315.8	314.1	315.2	317.5	328.14
30	293.4	297.6	290.4	292.8	289.3	316.79
40	264.8	260.3	259.4	261.4	259.2	309.52
50	251.5	250.1	255.9	250.8	253.6	297.26
60	239.4	235.3	234.7	235.1	233.5	281.16

### B. Pengujian Tegangan

Kecepatan Angin = 4 m/s

Sudut	Tegangan (V)					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	4.31	4.47	4.36	4.45	4.47	4.412
30	4.38	4.31	4.26	4.3	4.28	4.306
40	4.19	4.25	4.21	4.14	4.21	4.2
50	4.08	4.05	4.1	4.04	4.03	4.06
60	3.93	3.91	3.85	3.88	3.9	3.894

Kecepatan Angin = 4.5 m/s

Sudut	Tegangan (V)					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	4.52	4.57	4.64	4.56	4.61	4.58
30	4.34	4.17	4.22	4.17	4.19	4.218
40	4.21	4.12	4.11	4.19	4.12	4.15
50	4.1	4.15	4.03	4.08	4.12	4.096
60	3.85	3.82	3.89	3.78	3.7	3.808

Kecepatan Angin = 5 m/s

Sudut	Tegangan (V)					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	4.71	4.64	4.72	4.68	4.74	4.698
30	4.54	4.58	4.5	4.48	4.51	4.522
40	4.27	4.23	4.3	4.29	4.27	4.272
50	4.15	4.13	4.18	4.2	4.11	4.154
60	4.02	3.97	3.95	4.03	3.95	3.984

Tegangan (Wind Tunnel)

Angin (m/s)	20	30	40	50	60
4	4.47	4.64	4.52	4.39	4.32
4.5	4.71	4.31	4.19	4.12	3.98
5	4.89	4.77	4.65	4.58	4.03

### C. Pengujian Arus

Kecepatan Angin = 4 m/s

Sudut	Arus (mA)					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	94.2	90.3	86.8	91.6	89.8	90.54
30	90.4	85.1	86.7	85.4	82.6	86.04
40	84.7	85.2	85.6	81.1	80.7	83.46
50	81.4	79.5	78.7	79.9	79.4	79.78
60	74.6	77.2	73.5	74.8	76.2	75.26

Kecepatan Angin= 4.5 m/s

Sudut	Arus (mA)					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	99.4	97.8	100.15	97.2	96.5	98.21
30	94.2	96.7	91.28	91.53	90.2	92.782
40	92.4	91.54	94.1	92.5	91.62	92.432
50	88.27	88.52	90.16	87.39	90.46	88.96
60	85.51	82.32	86.29	85.13	84.65	84.78

Kecepatan Angin= 5 m/s

Sudut	Arus (mA)					RPM rata-rata
	1	2	3	4	5	
20	103.51	103.67	102.56	100.2	106.3	103.248
30	99.5	99.36	97.2	96.14	96.6	97.76
40	95.21	94.2	94.36	92.7	96.4	94.574
50	93.58	90.23	90.82	92.39	90.11	91.426
60	89.42	88.15	89.53	90.68	89.25	89.406

Arus-Dengan Menggunakan Wind Tunnel

Angin (m/s)	20	30	40	50	60
4	93.62	92.85	92.04	91.39	90.92
4.5	99.74	99.15	97.38	96.51	95.72
5	105.92	104.7	104.09	103.27	102.51

### Lampiran 3. Data Hasil Perhitungan

#### A. Perhitungan Daya Teoritis

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

$$\rho = \text{rapat massa udara} = 1.225 \frac{kg}{m^3}$$

$$H = \text{tinggi rotor} = 0.7$$

$$D = \text{diameter rotor, disesuaikan dengan kelengkungan Sudu}$$

$$A = \text{Luas sapuan rotor} = H \times D$$

Sudut Kelengkungan, $\theta$	R (m)	D (m)	A(luas sapuan Rotor)
$20^0$	0.073	0.146	0.1022
$30^0$	0.075	0.15	0.105
$40^0$	0.08	0.16	0.112
$50^0$	0.085	0.17	0.119
$60^0$	0.091	0.182	0.1274

Kecepatan Angin	H (tinggi Rotor)	D (diameter rotor)	Rapat Masa	Daya (Pin)
$20^0$				
4	0.7	14.6	1.225	4.00624
4.5	0.7	14.6	1.225	5.704197
5	0.7	14.6	1.225	7.824688
$30^0$				
4	0.7	15	1.225	4.116
4.5	0.7	15	1.225	5.860477
5	0.7	15	1.225	8.039063
$40^0$				
4	0.7	16	1.225	4.3904
4.5	0.7	16	1.225	6.251175
5	0.7	16	1.225	8.575
$50^0$				

4	0.7	17	1.225	4.6648
4.5	0.7	17	1.225	6.641873
5	0.7	17	1.225	9.110938
60°				
4	0.7	18.2	1.225	4.99408
4.5	0.7	18.2	1.225	7.110712
5	0.7	18.2	1.225	9.754063

### B. Perhitungan TSR

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

$$\lambda = \frac{\omega x R_{rotor}}{v_{angin}}$$

#### *Perhitungan TSR tanpa Wind Tunnel*

Kecepatan	RPM	$\omega$ (Omega)	TSR
(20°)			
4	270.58	28.34648	0.517323
4.5	316.18	33.12362	0.604506
5	344.56	36.09676	0.658766
(30°)			
4	252.88	26.49219	0.483482
4.5	292.7	30.66381	0.559615
5	318.54	33.37086	0.609018
(40°)			
4	230.02	24.09733	0.439776
4.5	261.02	27.34495	0.499045
5	306.94	32.15562	0.58684
(50°)			
4	218.28	22.86743	0.417331
4.5	252.38	26.43981	0.482527
5	288.02	30.17352	0.550667
(60°)			
4	204.4	21.41333	0.390793
4.5	235.6	24.6819	0.450445
5	266.96	27.96724	0.510402

**Perhitungan TSR dengan Wind Tunnel**

Kecepatan Angin	RPM	$\omega$ (Omega)	TSR	Torsi
(20 <sup>0</sup> )				
4	274.81	28.78961905	0.525411	0.099588
4.5	328.14	34.37657143	0.627372	0.338396
5	352.49	36.92752381	0.673927	1.215678
(30 <sup>0</sup> )				
4	259.47	27.18257143	0.496082	0.108
4.5	316.79	33.18752381	0.605672	0.366978
5	338.91	35.50485714	0.647964	1.318359
(40 <sup>0</sup> )				
4	232.72	24.38019048	0.444938	0.131072
4.5	309.52	32.42590476	0.591773	0.445375
5	302.17	31.65590476	0.57772	1.6
(50 <sup>0</sup> )				
4	227.64	23.848	0.435226	0.157216
4.5	297.26	31.14152381	0.568333	0.534211
5	281.42	29.48209524	0.538048	1.919141
(60 <sup>0</sup> )				
4	209.6	21.95809524	0.400735	0.192914
4.5	281.16	29.45485714	0.537551	0.655512
5	290.7	30.45428571	0.555791	2.354909

C. Perhitungan CP

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

**Perhitungan CP tanpa Wind Tunnel**

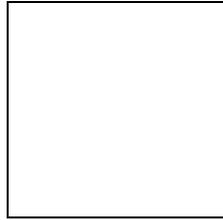
Kecepatan Angin	Pin	Pturbin	CP
20 <sup>0</sup>			
4	4.00624	0.399462	0.09971
4.5	5.704197	0.449802	0.078855
5	7.824688	0.485059	0.061991
30 <sup>0</sup>			
4	4.116	0.370488	0.090012
4.5	5.860477	0.391346	0.066777
5	8.039063	0.442071	0.05499
40 <sup>0</sup>			
4	4.3904	0.350532	0.079841

4.5	6.251175	0.383593	0.061363
5	8.575	0.40402	0.047116
50 <sup>0</sup>			
4	4.6648	0.323907	0.069436
4.5	6.641873	0.36438	0.054861
5	9.110938	0.379784	0.041684
60 <sup>0</sup>			
4	4.99408	0.293062	0.058682
4.5	7.110712	0.322842	0.045402
5	9.754063	0.356194	0.036517

***Perhitungan CP dengan Wind Tunnel***

Kecepatan Angin	Pin max	P tubrin	CP
20			
4	4.00624	0.4184814	0.104457
4.5	5.704197	0.4697754	0.082356
5	7.824688	0.5179488	0.066194
30			
4	4.116	0.430824	0.104671
4.5	5.860477	0.4273365	0.072918
5	8.039063	0.499419	0.062124
40			
4	4.3904	0.4160208	0.094757
4.5	6.251175	0.4080222	0.065271
5	8.575	0.4840185	0.056445
50			
4	4.6648	0.4012021	0.086006
4.5	6.641873	0.3976212	0.059866
5	9.110938	0.4729766	0.051913
60			
4	4.99408	0.3927744	0.078648
4.5	7.110712	0.3809656	0.053576
5	9.754063	0.356193504	0.036517

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### IDENTITAS DIRI

Nama : Riantoro Wibowo

Tempat, Tanggal Lahir : Jakarta, 17 April 1994

Alamat : Rusunawa Cipinang Besar Selatan

Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam

Golongan Darah : B

Orangtua : - Yatin Raharjo  
- Nadwah

Email : Riantorowibowo17@gmail.com

### PENDIDIKAN FORMAL

2000 – 2006 SDN 04 Jatimulya

2006 – 2009 SMPN 26 Jakarta

2009 – 2012 SMAN 54 Jakarta

2012 – 2017 Fisika Universitas Negeri Jakarta

### PENGALAMAN KERJA

- 2014 Asisten Laboran (Aslab) Mata Kuliah Praktikum Fisika Dasar I
- 2015 Praktik Kerja Lapangan (PKL) di LIPI – Oseanografi