

# UJI EKSPERIMENTAL DAN ANALISIS PENGARUH VARIASI KECEPATAN DAN JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA DAN PUTARAN TURBIN ANGIN VERTIKAL AXIS SAVONIUS DENGAN MENGGUNAKAN SUDU PENGARAH

Farel.H.Napitupulu<sup>1</sup>, Fritz Mauritz<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

## ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat akan tetapi energi yang biasanya dijadikan untuk menghasilkan energi listrik yaitu energi fosil, semakin berkurang jumlahnya. Krisis energi ini menjadi pemacu diseluruh negara di dunia untuk mencari energi terbarukan. Salah satu energi terbarukan yang berpotensi adalah energi angin. Energi kinetik angin dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Salah satu jenis turbin angin adalah turbin angin Savonius. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengujian eksperimental untuk mengetahui pengaruh karakteristik turbin angin tersebut terhadap variasi jumlah sudu dan kecepatan angin. Penelitian ini diawali dengan mencari referensi teori yang berhubungan langsung dengan turbin angin Savonius sehingga perancangan dan desain dapat dibuat. Setelah desain dibuat maka turbin angin Savonius dapat diproduksi sesuai dengan desain yang telah ada agar menjadi suatu sistem instalasi turbin angin Savonius. Pengujian dilakukan dengan menggunakan jumlah variasi sudu rotor 2,4 dan 8, adapun kecepatan angin yang digunakan adalah 2,32 m/s, 3,61 m/s, 4,6 m/s, 5,53 m/s, 6,58 m/s dan 7,61 m/s. Pada pengujian juga dilakukan dengan penambahan beban lampu 10 watt dan 20 watt, dimana penambahan beban lampu ini untuk mengetahui pengaruh beban lampu terhadap daya listrik yang dihasilkan turbin angin. Hasil pengujian diketahui bahwa putaran dan daya yang tertinggi turbin angin adalah 62,67 rpm dan 35,96 watt pada kecepatan angin 7,61 m/s dan jumlah sudu delapan sedangkan daya yang terendah adalah 0,06 watt diperoleh pada pembebanan lampu 20 watt pada kecepatan angin 2.32 m/s

*Kata kunci : Turbin angin Savonius, putaran, kecepatan angin.*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Salah satu masalah terbesar yang dihadapi oleh negara-negara di dunia termasuk Indonesia saat ini adalah masalah energi. Menurut International Energi Agency (IEA), pada tahun 2005 kebutuhan energi setiap harinya di seluruh dunia mencapai 14 terawatt atau 14 triliun watt. Jumlah ini setara dengan 210 juta barel minyak. Konsumsi terhadap energi tersebut diprediksi akan mengalami peningkatan menjadi 60 terawatt untuk memenuhi permintaan energi dari total penduduk dunia yang mencapai 8 miliar jiwa. Pada kenyataannya, permintaan yang terus meningkat terhadap energi tidak diiringi dengan peningkatan jumlah pasokan minyak bumi yang saat ini menjadi

penyuplai terbesar kebutuhan energi di dunia. Bahkan ladang-ladang yang biasanya dijadikan penghasil minyak semakin berkurang jumlah produksi minyak yang dihasilkan. Kondisi ini menjadikan harga energi ini semakin mahal..

Selain hal di atas isu pemanasan global juga menjadi perhatian negara-negara di dunia termasuk juga Indonesia. Penggunaan bahan baku cadangan lain seperti batu bara sudah jelas akan menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) lebih besar ketika pada proses pembakarannya sehingga membuat bumi semakin panas

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak, disebabkan beberapa adanya perbedaan tekanan pada atmosfer

bumi. Perbedaan tekanan ini dipengaruhi oleh sinar matahari, hal ini dikarenakan pada daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin dapat dirumuskan sebagai berikut :

Udara yang memiliki massa  $m$  dan kecepatan  $v$  akan menghasilkan energi kinetik sebesar

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

Volume udara per satuan waktu ( debit ) yang bergerak dengan kecepatan  $v$  dan melewati daerah seluas  $A$  adalah

$$V = vA \quad (2.2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$  yaitu

$$m = \rho V = \rho vA \quad (2.3)$$

Sehingga energi kinetik yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah

$$P_o = \frac{1}{2}(\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2.4)$$

Dengan:

$P_o$  = daya angin (watt)

$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$A$  = luas penampang turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan udara ( $\text{m}/\text{s}$ )

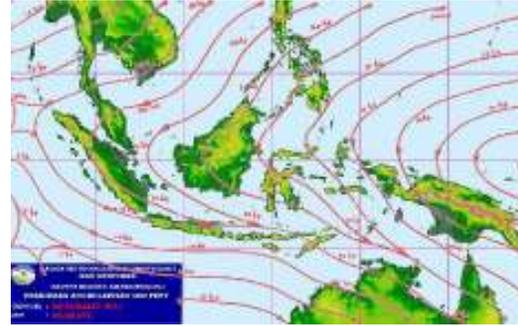
Besarnya daya diatas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin (Ajao dan Adenivi), 2009.

## 2.2 Potensi Energi Angin

Data potensi energi angin yang baik merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan suatu pengembangan energi angin. Pada suatu lokasi yang ingin dikembangkan, kecepatan angin dan arahnya perlu diukur selama setahun penuh untuk memperoleh nilai kecepatan rata-rata tahunan.

### 2.2.1 Potensi Energi Angin Indonesia

Berdasarkan pengukuran langsung beberapa lokasi di Indonesia memiliki rata-rata kecepatan angin pada ketinggian 10 meter berkisar 2 m/s sampai dengan 7 m/s. Beberapa daerah di Indonesia berpotensi sebagai tempat pengembangan turbin angin hal ini dikarenakan kecepatan angin yang dapat diperoleh yaitu 5-7 m/s.



Gambar 2.1 Kecepatan Angin Indonesia (Sumber: Badan Meteorologi Geofisika dan Klimatologi)

### 2.2.2 Potensi Energi Angin Dunia

Pada saat ini, di beberapa daerah di dunia berdasarkan data WWEA (World Wind Energy Association) ditemukan potensi angin dengan kecepatan tinggi, yakni 10 -13 m/detik. Daerah-daerah yang memiliki potensi besar tersebut berada di Eropa (sepanjang Laut Utara), Amerika selatan dan Australia bagian Tasmania. Inggris Belanda.

### 2.3 Turbin Angin

Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin belum dapat langsung dipergunakan, oleh karena itu diperlukan mesin yang dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik sehingga dapat diteruskan menjadi energi listrik. Alat ini dinamakan dengan turbin angin atau sering disebut juga dengan kincir angin. Penggunaan turbin angin sebagai pembangkit energi listrik diawali pada akhir tahun 1890-an. Turbin angin ini khusus didesain untuk pembangkit energi listrik dan dibangun di Denmark. Turbin angin ini menyuplai energi listrik untuk daerah

pedesaan. Pada tahun 1900 dibangun turbin angin di Cleveland, Ohio yang untuk pertama kalinya menggunakan gear box yang berfungsi untuk menaikkan putaran.

Turbin angin dapat dibedakan berdasarkan arah sumbu rotasi rotor yaitu :

1. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)
2. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

### 2.3.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal.



Gambar 2.5 Turbin angin Savonius ( Sumber: rapid share.com )

### 2.3.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin.

### 2.4. Profil Geseran Angin ( Wind Shear profil )

Angin seperti fluida yang lain pada umumnya mempunyai profil geseran atau profil kecepatan ketika mengalir melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Wind shear adalah perubahan arah atau kecepatan angin saat melalui jarak tertentu.



Single bladed, two bladed, three bladed and multi bladed turbines

Wind shear dapat juga terjadi secara vertikal. Perubahan kecepatan

angin terhadap ketinggian, horizontal wind shear merupakan faktor utama dalam memperkirakan produksi energi melalui turbin angin.

### 2.5. Prinsip Konversi Energi Angin

#### 2.5.1. Teori Momentum Betz

Seorang aerodinamika berkebangsaan Jerman yang bernama Albert Betz adalah orang yang pertama kali memperkenalkan teori tentang turbin angin. Ia mengasumsikan bahwa suatu turbin mempunyai sudu-sudu yang tidak terhingga jumlahnya dan tanpa hambatan. Dalam sistem konversi energi angin, energi mekanik turbin hanya dapat diperoleh dari energi kinetik yang tersimpan dalam aliran angin.

$$P_T = \frac{1}{2}(\rho A_1)(v_1^3) - \frac{1}{2}(\rho A_2)(v_2^3)$$

$$= \frac{1}{2}\rho(A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \quad (2.5)$$

Persamaan Kontinuitas diperoleh

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.6)$$

Persamaan (2,5) disubstitusikan ke persamaan (2,6) sehingga diperoleh

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A_1 (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.7)$$

Persamaan (2,3) disubstitusikan ke persamaan (2,7) menjadi

$$P_t = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.8)$$

Jika melihat persamaan di atas maka dapat disimpulkan bahwa untuk mendapat daya mekanik maksimum  $V_2$  harus bernilai nol tetapi pada kenyataannya tidaklah mungkin. Jika  $V_2 = 0$  maka  $V_1 = 0$  dengan kata tidak terjadi aliran fluida. Jika fluida tidak mengalir maka tidak ada daya yang dihasilkan. Sehingga untuk mendapatkan daya maksimum diperlukan suatu nilai perbandingan antara  $V_1$  dengan  $V_2$ .

Gaya yang bekerja pada turbin

$$F_t = m(v_1 - v_2) \quad (2.9)$$

Maka daya turbin

$$\begin{aligned} P_T &= F_T v \\ &= m(v_1 - v_2) \cdot v \end{aligned} \quad (2.10)$$

Persamaan (2,8) dan (2,10)

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2) &= m(v_1 - v_2) \cdot v \\ \frac{1}{2} m(v_1 + v_2)(v_1 - v_2) &= m(v_1 - v_2) v \\ v &= \frac{\frac{1}{2} m(v_1 + v_2)(v_1 - v_2)}{m(v_1 - v_2)} \end{aligned} \quad (2.11)$$

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

Maka nilai  $v_1$  dan  $v_2$  sebanding dengan kecepatan aliran fluida pada turbin. sehingga massa udara menjadi

$$m = \rho A v = \frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \quad (2.12)$$

Daya mekanik turbin dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2) \right) (v_1^2 - v_2^2) \right] \\ &= \left( \frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2) \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Perbandingan daya mekanik turbin dan daya keluaran teoritik turbin disebut sebagai faktor daya ( $C_p$ ) adalah

$$C_p = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2)}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (2.14)$$

$C_p$  maksimum diperoleh jika perbandingan  $V_2$  dengan  $V_1$  adalah  $\frac{1}{3}$  maka  $C_p$  yang dapat di hasilkan adalah 0,593. Koefisien daya tersebut dapat diartikan bahwa turbin angin hanya dapat mengubah energi angin menjadi energi mekanik kurang dari 60 %. Nilai ini disebut dengan faktor betz

### 2.5.2. Tip Speed Ratio ( TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan ujung rotor turbin terhadap kecepatan angin yang melalui rotor. Rasio kecepatan ujung rotor memiliki nilai nominal yang berubah-ubah terhadap perubahan kecepatan angin.

Secara matematis tip speed ratio dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$\lambda = \frac{2 \pi n R}{60 u}$$

Dimana :

- $\lambda$  = tip speed ratio
- $n$  = kecepatan putar rotor (rpm)
- $R$  = Jari-jari turbin (m)
- $V$  = Kecepatan angin (m/s)

### 2.6. Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan sistem yang bertujuan untuk meneruskan daya dan putaran. Sistem transmisi berdasarkan rasio putaran masukan dan keluaran dapat dibedakan yaitu :

1. speed increasing
2. speed reducing
3. direct drive

Sistem speed increasing adalah sistem transmisi yang tujuannya untuk menaikkan putaran keluar. Sistem transmisi dengan speed reducing, pada

sistem ini merupakan kebalikan dari sistem speed increasing, yaitu putaran keluar lebih rendah dari putaran masuk. Sistem transmisi direct drive merupakan sistem transmisi dimana putaran masuk sama dengan putaran keluar. Pada sistem ini tidak terdapat penurunan putaran.

## 2.7. Alternator

Alternator berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin savonius menjadi energi listrik. Alternator dilengkapi dengan sebuah exciter yang berfungsi untuk mensuplai arus pada rotor supaya menjadi electromagnet



Gambar 2.11 Alternator  
( Sumber: rapid share.com )

### 2.7.1 Prinsip Kerja Alternator

Prinsip kerja alternator dalam mengkonversi energi mekanik yang dihasilkan turbin menjadi energi listrik adalah sesuai dengan hasil penelitian Faraday yang mengatakan bahwa jika kumparan kawat konduktor yang berada pada medan magnet yang berubah terhadap waktu maka pada ujung-ujung kawat akan timbul tegangan atau gaya listrik (ggl) induksi. Syarat utama, harus ada perubahan fluks magnetik, jika tidak maka tidak akan timbul listrik.

## 2.8. Baterai

Baterai adalah perangkat yang mampu menyimpan energi listrik, yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terdapat pada baterai menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, redoks (Reduksi – Oksidasi). Baterai terdiri dari beberapa sel listrik, sel listrik

tersebut menjadi penyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Sel baterai tersebut adalah elektroda-elektroda. Elektroda negatif disebut katoda yang berfungsi pemberi elektron. Elektroda positif disebut anoda yang berfungsi sebagai penerima elektron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus yaitu dari kutub positif (anoda) ke kutub negatif (katoda).

### 2.8.1. Prinsip kerja baterai

Pada prinsipnya terjadi 2 proses yang terjadi pada baterai yaitu

#### 1. Proses Pengisian (charge)

Proses pengisian (charge) terjadi ketika baterai dialiri arus, dimana kutub positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif baterai dihubungkan dengan arus listrik negatif.

#### 2. Proses Pengosongan

Proses pengosongan baterai terjadi karena terjadinya perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Oksigen dengan hidrogen (H) pada cairan elektrolit yang secara perlahan-lahan keduanya bergabung / berubah menjadi (H<sub>2</sub>O). Asam (SO<sub>4</sub>) pada cairan elektrolit bergabung dengan timah (Pb) di pelat positif maupun pelat negatif sehingga menempel (O) pada pelat positif terlepas di kedua pelat tersebut. Reaksi ini akan berlangsung terus sampai isi (tenaga baterai) habis alias dalam keadaan *discharge*.

## III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode studi kepustakaan dan penelitian eksperimental. Metode studi kepustakaan dilakukan untuk mencari referensi teori yang relevan sesuai dengan permasalahan yang ditemukan. Sedangkan metode penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan dengan mengadakan observasi langsung terhadap objek yang diteliti.

### 3.1 Tempat Penelitian

Semua proses penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin Proses Produksi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

**3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

**3.2.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Digital Multimeter  
Digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada rangkaian beban
2. Digital Tachometer  
Digunakan untuk mengukur putaran poros pada turbin savonius dengan
3. Thermo-Anemometer  
Alat ini berguna untuk mengukur kecepatan angin dan temperatur lingkungan

**3.3 Objek Penelitian**

Adapun objek penelitian yaitu turbin angin savonius terlihat pada gambar dibawah ini



Gambar 3.7 Prototipe turbin angin savonius



Gambar 3.8 Prototipe sudu pengarah

**IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA**

**4.1. Hasil Pengujian**

Penelitian dilakukan dengan metode penelitian eksperimen. Berdasarkan tahap-tahap pengujian yang dilakukan pada metode penelitian, diperoleh data hasil pengujian.

**4.1.1. Hasil Pengujian Daya Pengisian Baterai Tanpa Beban**

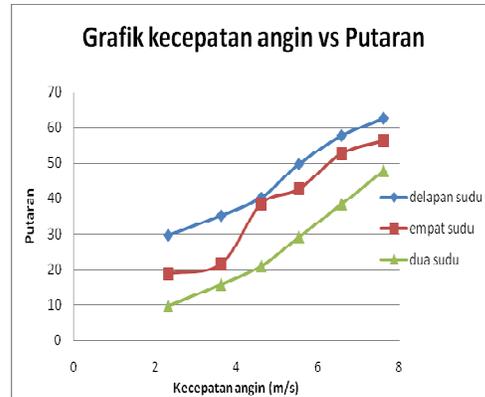
Pengujian ini dilakukan dengan tanpa menggunakan beban lampu, hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh pembebanan terhadap daya yang dihasilkan alternator terhadap baterai

Tabel 4.1 Data pengujian delapan sudu

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya alternator (Watt)
7,61	2,96	12,15	35,964
6,58	2,85	11,35	32,347
5,53	2,41	11,08	26,702
4,6	2,15	10,4	22,361
3,61	1,92	6,7	12,864
2,32	1,12	2,11	2,6321

Tabel 4.2 Data pengujian empat sudu

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	2,84	11,35	33,881
6,58	2,45	11,10	27,195
5,53	2,18	10,60	23,282
4,60	1,95	6,80	13,262
3,61	1,53	5,54	8,4762
2,32	0,5	2,16	1,0813



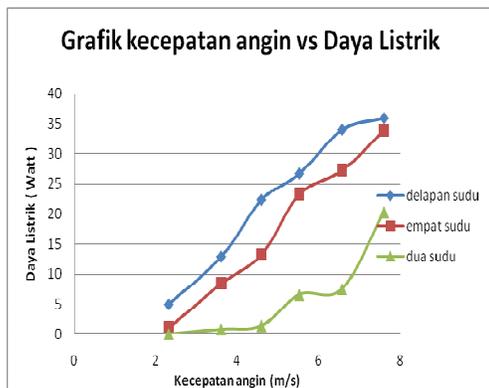
4.2 Grafik kecepatan angin-vs- putaran

Tabel 4.3 Data pengujian dengan dua sudu

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	2,18	10,54	22,412
6,58	1,92	6,84	13,1328
5,53	1,28	5,12	6,5536
4,60	0,61	2,20	1,403
3,61	0,42	1,96	0,8232
2,32	0,031	0,87	0,02697

#### 4.1.2..Hasil Pengujian Daya Pengisian Baterai Dengan Beban

Pengujian juga dilakukan dengan menggunakan beban lampu, hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh pembebanan terhadap daya yang dihasilkan alternator terhadap baterai. Beban lampu yang digunakan adalah beban lampu 10 watt, dan 20 watt. Data yang diperoleh berdasarkan pengujian dengan variasi beban dituliskan dalam bentuk tabel di bawah ini.



4.1 Grafik kecepatan angin-vs- daya listrik

Tabel 4.4 .Data pengujian delapan sudu dengan beban 10 watt

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan ( Volt )	Daya Listrik (Watt )
7,61	2,92	11,80	34,456
6,58	2,40	11,12	31,688
5,53	2,20	10,80	26,762
4,60	1,94	7,76	15,054
3,61	1,84	6,20	11,408
2,32	0,98	1,53	1,4994

Tabel 4.5 .Data pengujian empat sudu dengan beban 10 watt

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	2,84	11,30	32,092
6,58	2,49	11,20	27,881
5,53	2,10	10,71	23,454
4,60	2,01	6,60	13,266
3,61	1,17	5,10	5,9673
2,32	0,71	2,19	1,5549

Tabel 4.7. Data pengujian delapan sudu dengan beban 20 watt

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	2,40	11,10	26,64
6,58	2,10	10,98	23,058
5,65	1,60	9,45	15,12
4,53	1,40	5,48	7,678
3,61	0,89	4,98	4,4322
2,32	0,35	1,18	0,413

Tabel 4.6 .Data pengujian dua sudu dengan beban 10 watt

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	2,26	9,20	20,792
6,58	1,46	5,70	8,32
5,53	1,10	3,85	4,235
4,6	0,95	2,35	2,2325
3,61	0,57	1,73	0,9861
2,32	0,04	0,42	0,00168

Tabel 4.8 Data Pengujian empat sudu dengan beban 20 watt

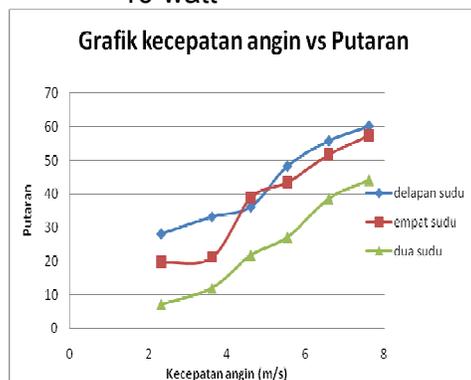
V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	2,40	11,10	26,64
6,58	2,10	10,98	23,058
5,65	1,60	9,45	15,12
4,53	1,40	5,48	7,678
3,61	0,89	4,98	4,4322
2,32	0,35	1,18	0,413



Gambar 4.3 Grafik kecepatan angin vs daya listrik pada beban 10 watt

Tabel 4.9. Data pengujian dua sudu dengan beban 20 watt

V (m/s)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya listrik (Watt)
7,61	1,32	9,16	12,09
6,58	1,12	5,50	6,2048
5,53	0,90	3,87	3,7926
4,6	0,30	2,20	0,66
3,61	0,15	1,40	0,21
2,32	0,02	0,30	0,006



Gambar 4.4 Grafik kecepatan angin vs putaran pada beban 10 watt



Gambar 4.5 Grafik kecepatan angin vs daya listrik pada beban 20 watt



Gambar 4.6 Grafik kecepatan angin vs putaran pada beban 20 watt

**4.2. Analisis Data**

**4.2.1 Perhitungan Teoritis Daya Angin**

Berdasarkan variasi kecepatan angin yang digunakan pada saat pengujian maka tiap variasi kecepatan angin tersebut dapat ditentukan daya angin teoritis dengan menggunakan Temperatur ruangan pada saat pengujian 30°C (303K). Sehingga dapat diketahui kerapatan udara sebagai berikut

T (K)	$\rho$ (kg / m <sup>3</sup> )
300	1,1774
303	1,1546
350	0,9980

**4.2.2 Perhitungan Koefisien Daya ( Cp )**

Koefisien daya merupakan perbandingan daya angin yang mampu dikonversikan turbin angin yang diukur dari besarnya energi listrik dari generator dengan daya angin yang dihitung secara teoritis. Perhitungan koefisien daya (Cp) pada penelitian ini dibuat pada sebuah tabel

$$Cp = \frac{P_T}{P_o}$$

Koefisien daya tersebut dapat diartikan merupakan efisiensi turbin angin dalam mengekstrak energi kinetis angin menjadi energi listrik

**4.2.3 Perhitungan Tip Speed Ratio**

Tip Speed Ratio (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. Tip speed ratio dapat dilambangkan dengan  $\lambda$  ( lambda ). Secara matematis tip speed ratio dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$\lambda = \frac{2 \pi nR}{60 u}$$

Dimana :

- $\lambda$  = tip speed ratio
- $\omega$  = kecepatan sudut rotor (rad /s)
- R = Jari-jari turbin (m)
- V = Kecepatan angin (m/s)

Tabel 4.11 Hasil perhitungan tip speed ratio dan koefisien daya pada jumlah delapan sudu

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik (Watt)	Daya Angin (Watt)	Tip Speed Ratio ( $\lambda$ )	Koefisien Daya ( Cp )
7,61	35,964	508,992	0,387	0,0706
6,58	32,347	329,029	0,4130	0,0983
5,53	26,702	195,313	0,4233	0,1367
4,6	22,361	112,416	0,4119	0,1989
3,61	12,864	54,334	0,45847	0,2361
2,32	2,6321	14,236	0,5381	0,3466

Tabel 4.12 Hasil perhitungan tip speed ratio dan koefisien daya pada jumlah empat sudu

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik ( Watt )	Daya Angin ( Watt )	Tip Speed Ratio ( $\lambda$ )	Koefisien Daya ( Cp )
7,61	33,881	508,992	0,34851	0,06656
6,58	27,195	329,029	0,3768	0,082652
5,53	23,282	195,313	0,30402	0,119204
4,6	13,262	112,416	0,39420	0,117973
3,61	8,4762	54,334	0,2822	0,156002
2,32	1,0813	14,236	0,38146	0,07395

Tabel 4.13 Hasil perhitungan tip speed ratio dan koefisien daya pada jumlah dua sudu

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik (Watt)	Daya Angin (Watt)	Tip Speed Ratio ( $\lambda$ )	Koefisien Daya ( $C_p$ )
7,61	22,412	508,992	0,2380	0,00440
6,58	13,1328	329,029	0,2757	0,03991
5,53	6,5536	195,313	0,24785	0,003355
4,6	1,403	112,416	0,213855	0,01248
3,61	0,8232	54,334	0,205	0,0151
2,32	0,02697	14,236	0,196521	0,00189

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan putar turbin angin savonius akan semakin cepat seiring dengan penambahan jumlah sudu dan kecepatan angin
2. Daya yang dihasilkan turbin angin berbanding lurus dengan kecepatan putar turbin. Semakin cepat putaran turbin maka daya yang dihasilkan turbin akan semakin cepat
3. Penambahan beban lampu mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan alternator ,semakin tinggi beban lampu yang diberikan maka daya yang dihasilkan alternator semakin kecil
4. Putaran maksimum pada turbin angin savonius ini adalah 62,63 rpm pada kecepatan angin 7,61 m/s dan jumlah sudu delapan
5. Daya yang dihasilkan pada turbin angin savonius ini berdasarkan pengujian dengan sudu pengarah tidak sesuai dengan daya rencana awal yaitu 132 watt sedangkan daya yang dihasilkan adalah 35,964 watt.

### 5.2 Saran

Beberapa saran yang perlu diberikan demi pengembangan penelitian ini dikemudian hari adalah :

1. Pada saat perancangan turbin angin , agar merancang sedetail mungkin hal ini berguna untuk mengurangi adanya kehilangan daya
2. Pada dasarnya turbin angin savonius ini merupakan salah satu turbin angin yang mempunyai kecepatan rendah oleh karena itu ada baiknya untuk penelitan selanjutnya agar menggunakan generator kecepatan rendah. Hal ini bertujuan agar turbin yang dibuat dapat beroperasi lebih optimum
3. Perancangan sudu pengarah sebaiknya dilakukan dengan sangat detail dan pada saat pembuatan sudu pengarah juga sebaiknya dilakukan dengan sangat teliti agar sudu pengarah dapat bekerja optimal

### DAFTAR PUSTAKA

1. Atmadi, Sulistyono dan Ahmad Jamaludin *Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan*, LAPAN
2. Anwar, M.S, 2008. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik*. Tugas Sarjana . Surabaya : ITS
3. Culp, Archie W, 1991 . *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta : Erlangga. Terjemahan *Principle of Energi*

- Conversation* . 1979 .  
McGraw-Hill, Ltd
4. Daryanto, Y, F.A Yohanes dan F. Hasim 2005 *Potensi, Peluang dan Tantangan Energi Angin di Indonesia BPPT, Tangerang*
  5. Daryanto, Y, 2007 *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit listrik Tenaga Bayu BPPT, Yogyakarta*
  6. Djodjodiharjo, Harijono dan Jens Peter Molly. 1983 *Wind Energy System* Bandung: Penerbit Alumni
  7. Hermawan. 2010. *Unjuk Kerja Model Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Dengan Variasi Jumlah Suhu dan Variasi Posisi Sudut Turbin* Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin. Palembang
  8. Soeilaiman, Fauzi, Nathabael dan Rosidin Nanang 2007 *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe Skea menggunakan rotor Savonius dan WindSide Untuk Penerangan Jalan Tol* Tugas Sarjana. Bandung ITB
  9. Syarul. 2008. *Prospek Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Energi Alternatif di Daerah Pedesaan* Teknik Elektro FT UKM
  10. Hasan Umar dan Cahaya Dedid *Sistem Charging Baterai Pada Perancangan Mobil Hybrid* Surabaya : ITS
  11. [http:// Badan Meteorologi Geofisika dan Klimatologi.com](http://Badan.Meteorologi.Geofisika.dan.Klimatologi.com)
  12. <http://wikipedia.com/harga> produksi energi listrik pada PLN dalam 1 kWh
  13. [http://World Wind Energy.com](http://World.Wind.Energy.com)
  14. <http://wikipedia.com/prinsip> kerja alternator
  15. <http://wikipedia.com/> fungsi dan konstruksi baterai
  16. <http://wikipedia.com/> turbin angin savonius dan penggunaannya
  17. <http://wikipedia.com/> jenis-jenis turbin angin
  18. <http://wikipedia.com/> fungsi dan konstruksi baterai
  19. <http://rapidshared.com/> Gambar turbin angin