## PENGARUH VARIASI JARAK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L

# SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

KUNCORO WAHYUAJI NIM. 0710623018-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012

#### LEMBAR PERSETUJUAN

# PENGARUH VARIASI JARAK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L

#### **SKRIPSI**

Konsentrasi Teknik Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

KUNCORO WAHYUAJI NIM. 0710623018-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Pembimbing I** 

**Pembimbing II** 

Prof. Ir. Sudjito, Ph. D NIP. 19470330 198002 1 001 <u>Ir. Ari Wahjudi, MT</u> NIP. 19680324 199412 1 001

#### **LEMBAR PENGESAHAN**

# PENGARUH VARIASI JARAK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS TIPE L

### SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

KUNCORO WAHYUAJI NIM. 0710623018-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada Tanggal 1 Agustus 2012

**MAJELIS PENGUJI** 

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Agustinus Ariseno, MT. NIP. 19510822 198701 1 001 Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT. Met NIP. 19551117 198601 1 001

Komprehensif

Ir. Suharto, MT. NIP. 19531030 198212 1 001

Mengetahui Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr Slamet Wahyudi, ST., MT. NIP. 19720903 199702 1 001

#### **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkah dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pengaruh Variasi Jarak Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L". Atas selesainya skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 3. Bapak Prof. Ir. Sudjito Ph, D. selaku pembimbing skripsi 1 yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
- 4. Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT. selaku pembimbing skripsi 2 yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
- 5. Keluarga saya tercinta, Ayahnda Mino dan Ibunda Marsini, kakakku Joko Rianto, yang telah memberikan doa serta dukungan moril dan materiil selama penelitian dan penyusunan skripsi.
- 6. Bahrudin, Wisnu, Novran, serta kawan-kawan EXTREME 07 yang membantu dalam segala proses skripsi.
- 7. Teman-teman di Divisi Otomotif yang selalu memberi inspirasi dan motivasi dalam penelitian ini.
- 8. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk masukan di masa mendatang.

Malang, Juni 2012

Penulis

# DAFTAR ISI

AJAUNINIVELIER PLACITAL AC BRAH	alaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Angin	4
2.2.1 Pengertian angin	4
2.2.2 Proses Terbentuknya Angin	4
2.2.3 Energi Angin	7
2.3 Tinjauan Umum Turbin Angin	9
2.3.1 Pengertian Turbin Angin	9
2.3.2 Klasifikasi Turbin Angin	10
2.4 Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius	11
2.4.1 Pengertian Turbin Angin Savonius	11
2.4.2 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius	12
2.5 Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius	14
2.5.1 Brake Horse Power	14
2.5.2 Efisiensi	14
2.6 Teori dan Persamaan	15
2.6.1 Teori Betz	15

2.6.2 Segitiga Kecepatan	16
2.6.3 Daya pada Turbin Angin Savonius	18
2.7 Hipotesa	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Metode Penelitian	20
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	20
3.3 Variabel Penelitian	20
3.4 Instalasi Penelitian	21
3.5 Peralatan Penelitian	22
3.6 metode Pengambilan Data      3.7 Diagram Alir Penelitian	27
3.7 Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil Simulasi	29
4.1.1 Variasi Jarak Sudu	29
4.1.2 Variasi Kecepatan Angin	30
4.2 Data Hasil Penelitian dan Pengolahan Data	30
4.2.1 Data Hasil Penelitian	30
4.2.2 Pengolahan Data	30
4.2.3 Data Hasil Perhitungan	32
4.3 Pembahasan	33
4.3.1 Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Daya Poros	33
4.3.2 Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Efisiensi	34
4.3.3 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros	35
4.3.4 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39

# DAFTAR PUSTAKA

# LAMPIRAN

# DAFTAR GAMBAR

Judul	Halamar
Skema Terjadinya Angin	5
Laju Pertumbuhan Energi Angin Tahunan Di Dunia	8
Turbin Angin Horizontal	10
Macam-macam turbin angin vertikal	11
Turbin angin tipe Savonius	12
Prinsip kerja turbin angin savonius	12
Asumsi Teori Betz	15
Skema Segitiga Kecepatan	17
Performance of main conventional wind machine	18
Skema Instalasi Uji	
Inclined Manometer	30
Blower	31
Wind Tunnel	31
Spesifikasi wind tunnel	32
Spesifikasi sudu turbin angin	32
Turbin angin Savonius	32
Digital multitester	33
Digital tachometer	34
0 Generator listrik	34
1 Diagram Alir Penelitian	36
Simulasi vortex yang terjadi pada kecepatan angin 3m/s	45
Simulasi vortex yang terjadi pada jarak sudu 0d	46
Grafik Hubungan Jarak Sudu dengan Daya Poros	47
Grafik Hubungan Jarak Sudu dengan efisiensi	48
Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Daya Poros	49
Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan efisiensi	51
	Skema Terjadinya Angin Laju Pertumbuhan Energi Angin Tahunan Di Dunia Turbin Angin Horizontal Macam-macam turbin angin vertikal Turbin angin tipe Savonius Prinsip kerja turbin angin savonius Asumsi Teori Betz Skema Segitiga Kecepatan Performance of main conventional wind machine Skema Instalasi Uji Inclined Manometer Blower Wind Tunnel Spesifikasi wind tunnel Spesifikasi sudu turbin angin Turbin angin Savonius Digital multitester Digital tachometer 0 Generator listrik 1 Diagram Alir Penelitian Simulasi vortex yang terjadi pada kecepatan angin 3m/s Simulasi vortex yang terjadi pada jarak sudu 0d Grafik Hubungan Jarak Sudu dengan Daya Poros Grafik Hubungan Jarak Sudu dengan Daya Poros

# DAFTAR TABEL

No.	Judul	Н	alaman
Tabel 2.1 Skala Beaufort			6
Tabel 4.1 Data Hasil Perhitunga	n Jarak Sudu 0d		40
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitunga	n Jarak Sudu 1/8d		40
Tabel 4.3 Data Hasil Perhitunga	n Jarak Sudu 1/4d		40
Tabel 4.4 Data Hasil Perhitunga	n Jarak Sudu 3/8d		40
Tabel 4.5 Data Hasil Perhitunga	n Jarak Sudu 1/2d		40



## DAFTAR LAMPIRAN

No. Judul
Lampiran A Tabel Hasil Data Penelitian



# DAFTAR SIMBOL

Satuan m <sup>2</sup>	Simbol A'
	Ū
m/s	$U_{\rm i}$
m/s	U
m/s	U'
m/s	U"
m/s	Ur
m/s	$U_1$
m/s	$U_2$
m/s	$u_1$
m/s	$u_2$
N	F
S BS	$t_{i}$
Watt	$P_{\infty}$
$\frac{kgm^2}{s^2}$	$P_{up}$
$\frac{kgm^2}{s^2}$	$P_{\mathrm{down}}$
Watt	$P_{t}$
Watt	$P_p$
rad/s	ω
m	R
FIM SR	$C_{p}$
kg/m <sup>3</sup>	ρ
N	$F_l$
N	$F_d$
$m^2$	$A_p$
	$C_1$
	$C_d$
m	$S_p$
m	L
m	H
	m/s

Panjang model	m	$S_m$
Lebar prototipe model	m	1
Tinggi model	m	h
Gaya prototipe pada titik1	N	$F_1$
Gaya model pada titik 1	N	$\mathbf{f}_1$
Gaya prototipe pada titik 2	N	$F_2$
Gaya model pada titik 2	N	$f_2$
Luasan aliran pelepasan untuk model	$m^2$	a
Luasan aliran untuk prototipe	$m^2$	A
Perbandingan ukuran model dan prototype	DD.	S
Kecepatan tangensial model	rad/s	$\omega_{\text{m}}$
Kecepatan tangensial prototipe	rad/s rad/s rpm	$\omega_p$
Kecepatan putar rotor model	rpm	n
Kecepatan putar prototipe	rpm	N
Discharge model	$m^3$	q
Head model	m	h
Discharge prototipe	$m^3$	Q
Head prototipe	m	h
Effisiensi model	%	$Cp_m$
Effisiensi prototipe	<b>%</b> 登(音)	$Cp_p$
Diameter prototipe	m	$D_p$
Diameter model	m	$D_{m}$
Voltase	volt	V
Arus	ampere	I
Efisiensi generator	%	$\eta_g$
Skala rasio daya		Pr
Skala rasio gaya		Fr
Skala rasio putaran		Nr
Skala rasio debit		Qr
Skala rasio luasan		Ar
Skala rasio panjang		Lr
Skala rasio kecepatan		Ur

#### RINGKASAN

Kuncoro Wahyuaji, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2012, Pengaruh Variasi Jarak Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius Tipe L, Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Sudjito, Ph, D, Dosen Pembimbing II : Ir. Ari Wahjudi, MT.

Semakin menipisnya sumber energi yang tidak dapat terbarukan (non-renewable), serta penggunaan bahan bakar yang kurang ramah lingkungan, memerlukan suatu jalan alternatif guna mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang tebarukan (renewable). Salah satu upaya mengatasi masalah tersebut adalah dengan pemanfaatan energi angin dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin sendiri ada 2 macam, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan trubin angin sumbu vertikal. Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Salah satu jenis turbin yang termasuk dalam kategori turbin angin sumbu vertikal adalah turbin angin Savonius.

Pada penelitian ini turbin angin savonius akan di variasikan jarak atau gap antar sudu nya, yaitu 0d; 1/8d; 1/4d; 3/8d; 1/2d . Serta di variasikan kecepatan anginnya dari 3 m/s; 4 m/s; 5m/s; 6m/s; dan 7m/s. sedangkan unju krja yang diteliti sebagai variabel terikat adalah daya poros dan efisiensi.

Dari hasil penelitian variasi jarak sudu dan kecepatan angin pada turbin angin Savonius, didapatkan peningkatan daya poros dan efisiensi turbin pada setiap peningkatan jarak sudu. Efisiensi terbesar adalah 54,4% dan daya terbesar yang diperoleh adalah 1,462 Watt pada jarak sudu ¼ d dan kecepatan angin 3 m/s. Kata kunci: *Energi angin, turbin angin Savonius, jarak sudu, kinerja*.

#### **BABI**

#### **PENDAHULUAN**

#### 1.1 Latar Belakang

Salah satu ilmu pengetahuan dalam bidang teknik mesin adalah mekanika fluida, ilmu ini merupakan salah satu ilmu pengetahuan dasar dalam bidang engineering di dalam mekanika fluida dipelajari tentang sifat-sifat aliran fluida, baik itu fluida compressible maupun incompressible. Udara termasuk fluida compressible, dan udara yang bergerak pada lingkungan biasa kita sebut angin. Sesungguhnya angin mengandung energi yang seharusnya dapat kita manfaatkan. Karena sifatnya yang mudah didapat, dapat diperbaharui dan ramah lingkungan.

Di sisi lain semakin menipisnya sumber energi yang tidak dapat terbarukan (non-renewable), serta penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan, memerlukan suatu jalan alternatif guna mengganti sumber energi tersebut dengan sumber energi yang tebarukan (renewable). Sumber energi tak terbarukan yang banyak digunakan saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari fosil (minyak bumi, gas alam, dan batu bara). Salah satu upaya mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan energi angin. Angin termasuk salah satu dari sumber daya energi yang terbarukan, dan ramah lingkungan sehingga sangat potensial untuk menggantikan bahan bakar minyak.

Cara pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di negara-negara Eropa dan lebih dikenal dengan Windmill (wikipedia.org).

Saat ini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensonal, turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/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. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Turbin jenis ini sangat cocok untuk digunakan sebagai pembangkit energi pada rumah tangga dan industri kecil. Dimana tubin ini dipengaruhi salah satunya oleh jarak antar sudunya yang nantinya akan mempengaruhi banyaknya turbulensi yang tejadi di daerah sekitar sudu. Sehingga besarnya energi yang dihasilakan turbin juga dipengaruh oleh jarak antar sudu tersebut.

Oleh karena itu dalam studi eksperimental ini diteliti seberapa besar pengaruh turbulensi angin pada sudu pada sistem turbin angin vertikal tipe savonius dengan cara memvariasikan jarak antar sudunya.

#### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diambil suatu rumusan masalah yang akan diteliti yaitu:

"Bagaimana pengaruh pengaruh variasi jarak sudu terhadap kinerja turbin angin Savonius tipe L?"

#### 1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi agar penelitian ini lebih spesifik dan lebih jelas arahnya maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

- 1. Fluida kerja yang digunakan adalah udara yang diasumsikan incompressible
- 2. Penelitian dilakukan di wind tunnel dengan variasi kecepatan angin yang kecepatan di tiap titiknya sama.
- 3. Sudu turbin terbuat dari pipa PVC.
- 4. Turbin angin merupakan model.
- 5. Kinerja turbin angin Savonius tipe L dalam penelitian ini adalah daya poros, dan efisiensi.
- 6. Jarak turbin yang dimaksud adalah jarak sudu terhadap poros rotor.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui peran serta jarak sudu terhadap kinerja turbin angin savonius tipe L.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

- Mahasiswa dapat memahami lebih jauh tentang energi alternatif, dalam hal ini adalah energi angin.
- Dapat dijadikan sebagai referensi tambahan bagi mahasiswa teknik mesin pada khususnya dalam penelitian-penelitian selanjutnya mengenai alternatif usaha penghematan bahan bakar.
- Memberikan informasi kepada dunia industri tentang salah satu usaha untuk 3. mengurangi konsumsi BBM.
- Dapat meminimalisir biaya produksi dengan mengoptimalkan energi yang dihasilkan oleh angin



#### **BAB II**

#### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian sebelumnya

Karnowo (2007), melakukan penelitian tentang pengaruh *overlap* sudu terhadap torsi yang dihasilkan turbin savonius tipe – U. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan salah satu kelebihan dari turbin angin jenis savonius yaitu kemampuan *self – starting* dan torsi yang tinggi apabila dibandingkan dengan tipe turbin angin sumbu horizontal. Maka dari itu, dilakukan penelitian dengan memvariasikan besar *overlap* antar sudu. Dari hasil penelitian didapatkan torsi tertinggi didapatkan pada nilai *overlap* 12-14cm atau 76% dari diameter sudu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai torsi maksimal sebaiknya nilai *overlap* berkisar antara 70-76% dari diameter sudu.

Hermawan (2010) melakukan variasi terhadap jumlah sudu dan posisi sudut turbin savonius tipe U. Penelitian ini menggunakan turbin savonius tipe U tiga tingkat. Hasil dari penelitian ini adalah nilai Cp maksimum dihasilkan oleh turbin dengan dua sudu. Namun daya maksimum dihasilkan oleh turbin dengan tiga sudu.

#### 2.2 Angin

#### 2.2.1 Pengertian Angin

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan dengan arah aliran angin dari tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu randah ke tempat yang bersuhu tinggi. Angin di daerah khatulistiwa atau garis ekuator seperti Indonesia lebih kencang daripada daerah kutub (Daryanto, 2007).

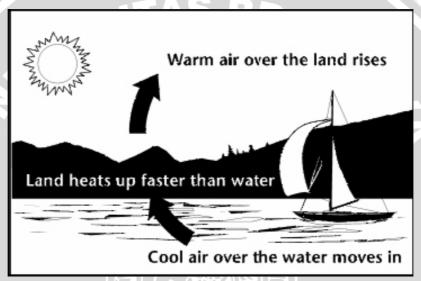
#### 2.2.2 Proses Terbentuknya Angin

Angin memiliki hubungan erat dengan sinar matahari karena daerah yang terkena banyak sinar matahari akan memiliki suhu yang lebih tinggi serta tekanan udara yang lebih rendah dari daerah disekitarnya sehingga menyebabkan

BRAWIJAYA

terjadinya aliran udara. Angin juga dapat disebabkan oleh pergerakan benda, sehingga mendorong udara di sekitarnya untuk bergerak ke tempat lain.

Di daerah khatulistiwa yang panas, udaranya menjadi panas, mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke daerah yang lebih dingin, misalnya daerah kutub sebaliknya daerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun kebawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara dari kutub utara ke garis khatulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya, suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub utara melalui lapisan udara yang lebih tinggi.



Gambar 2.1 : skema terjadinya angin

Sumber : Kadir. 1996

Meskipun pada kenyataan angin tidak dapat dilihat bagaimana wujudnya, namun masih dapat diketahui keberadaannya melalui efek yang ditimbulkan pada benda – benda yang mendapat hembusan angin. Seperti ketika melihat dahan pohon bergerak atau bendera yang berkibar kita tahu bahwa ada angin yang berhembus. Darimana angin bertiup dan berapa kecepatannya dapat diketahui dengan menggunakan alat – alat pengukur angin. Alat – alat pengukur angin tersebut adalah:

- 1. Anemometer, yaitu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin.
- 2. Wind vane, yaitu alat yang digunakan untuk mengetahui arah angin.

3. Windsock, yaitu alat yang digunakan untuk mengetahui arah angin dan memperkirakan besar kecepatan angin. Biasanya ditemukan di bandara – bandara.

Tabel 2.1 : Table Skala Beaufort

Descriptive term	Beaufort scale number	Mean velocity (km/hour)	Land criterion	
Tenang	0	< 2	Tenang, asap mengepul vertical	
Teduh	1	2>6	Asap mengepul miring tetapi alat anemometer tidak berputar	
Sepoi Lemah	2	7>12	Terpaan angin terasa di muka, anemometer berputar perlahan	
Sepoi Lembut	3	13>19	Daun-daun kecil di pohon bergerak, bendera dapat bergerak	
Sepoi Sedang	4	20>30	Debu dan kertas dapat terbang, ranting pohon bergerak	
Sepoi Segar	5	31>40	Pohon-pohon kecil terlihat condong. Genangan air tanah terlihat mengombak kecil	
Sepoi Kuat	6	41>51	Batang pohonterlihat bergerak, suara berdesing dari kawat telepon dapat terdengar, payung dapat terangkat	
Angin ribut lemah	7	52>62	Pohon-pohon bergerak, berjalan terasa berat	
Angin ribut	8	63>75	Batang pohon dapat tumbang,	
Angin ribut kuat	9	76>87	Dapat membuat kerusakan cerobong, pot- beterbangan	
Badai	10	88>103	Kerusakan lebih besar, tetapi di darat jaran	
Badai amuk	11	104>117	Kerusakan berat tetapi sangat jarang terjadi di darat	
Topan	12	>=118	Hampir tidak pernah terjadi	

Sumber : Hong Kong Observation, 2009

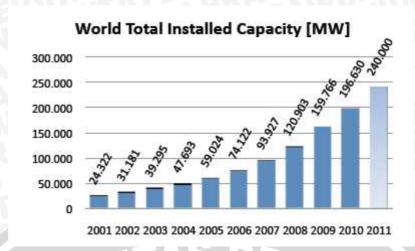
### 2.2.3 Energi Angin

Energi angin merupakan salah satu renewable resources yang berkembang pesat di dunia saat ini. Energi angin juga sangat fleksibel karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering atau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan/udang, pendingin ikan pada perahi – perahu nelayan dan lain – lain.

Selain itu pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana – mana, baik di daerah pantai maupun dataran ringgi, bahkan dapat diterapkan di laut. Pemanfaatan energi angin ini selain dapat mengurangi ketergantungan terhadap enegri fosil, diharapkan juga dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi system pertanian yang pada gilirannya akan meningkatkan produktifitas masyarakat pertanian.

Walaupun pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana sja, daerah – daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi tetap perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternative lainnya. Oleh karena itu studi potensi pemanfaatan energi angin ini sangat tepat dilakukan guna mengidentifikasi daerah – daerah berpotensi. Angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat.

Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian, sampai tahun 2004, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 0.5 MW dari 9.29 GW potensi yang ada (DEADM,2005). Padahal kaasitas pembangkit listrik tenaga angin dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995, menjadi hamper 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74,400 turbin angin di sekitar 60 negara (BTM Consults ApS, 2005).



Gambar 2.2 : Laju pertumbuhan energi angin tahunan dunia

Sumber : WWEA (2011).

Sebagaimana diketahui menurut ilmu fisika, energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m dan kecepatan v dirumuskan sesuai dengan rumus 2-1 berikut, dengan ketentuan kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya.

$$E = \frac{1}{2} \text{ m.v}^2$$
 (Bueche; 1991:46) (2-1)

Dimana:

E = energi kinetik udara (Joule)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin (m/detik)

rumus 2-1 di atas juga berlaku untuk angin yang merupakan udara yang bergerak. Jika suatu "blok" udara memiliki penampang A dan bergerak dengan kecepatan v, maka jumlah massa yang melewati suatu tempat dapat dilihat pada rumus 2-2 berikut:

$$\dot{m} = \rho.A.v$$
 (white;2001;133) (2-2)

dimana:

 $\dot{m}$  = laju alir massa udara (kg/s)

 $\rho = \text{kerapatan massa udara} \quad (\text{kg/m}^3)$ 

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$$A = d \times h$$

$$d: diameter sudu \qquad (m)$$

$$h: tinggi sudu \qquad (m)$$

$$v = kecepatan udara \qquad (m/s)$$

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah sesuai dengan rumus 2-3 berikut:

Power = Work / time (Giancoli; 1995; 157) (2-3)
$$= (\frac{1}{2}, \text{ m. } v^{2}) / t$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \text{m. } v^{2}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \hat{\text{m. }} v^{2}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \hat{\text{p. A.v}}^{3}$$
Dimana:
$$P = \text{daya angin} \qquad (W)$$

$$E = \text{energi angin} \qquad (\text{joule})$$

$$\rho = \text{kerapatan massa udara} \qquad (\text{kg/m}^{3})$$

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

$$v = \text{kecepatan angin} \qquad (\text{m/detik})$$

#### 2.3 Tinjauan Umum Turbin Angin

#### 2.3.1 **Pengertian Turbin Angin**

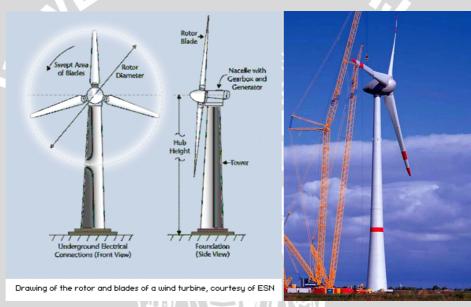
Turbin angin adalah suatu kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik dengan cara mengubah energi kinetik angin menjadi mekanik pada poros turbin. Energi pada poros tubin ini nantinya digunakan untuk memutar generato yang dapat menghasilkan energi listrik pembangkit listrik yang memanfaatkan energi angin biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Energi listrik yang dihasilkan PLTB ini nantinya akan disimpan ke dalam batrei sebelum dimanfaatkan.

#### Klasifikasi Turbin Angin

Secara umum turbin angin dibagi menjadi dua jenis berdasarkan arah sumbunya, yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal atau *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* 

Turbin angin sumbu horizontal memiliki sudu yang berputar pada bidang vertikal layaknya baling-baling pesawat terbang. Turbin ini biasanya memiliki sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih ceat dari aliran udara di sisi yang lain ketika melewatinya. Sehingga menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi pada depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar. Gambar 2.3 memperlihatkan berbagai jenis turbin angin horizontal.



Gambar 2.3 : Turbin angin horizontal Sumber : http://kask.us/2910385

### Turbin angin sumbu vertikal atau Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus terhadap permukaan tanah. Pada umumnya turbin angin jenis ini memiliki putaran awal yang baik, sehingga dapat beroperasi walaupun dalam kecepatan angin yang rendah. Turbin angin ini terdiri dari berbagai jenis, yang dapat dilihat pada gambar 2.4, yaitu : Savonius Rotor, Darrieus Rotor, Giromill, dan H-Rotor.









Gambar 2.4 : Macam-macam turbin angin vertikal

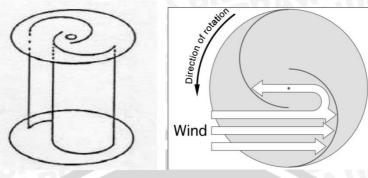
Sumber : www.energi.iastute.edu

#### 2.4 **Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius**

#### 2.4.1 **Pengertian Turbin Angin Savonius**

Turbin angin Savonius adalah turbin dengan konstuksi sederhana yang ditemukan oleh sarjana Finlandia yang bernama Sigurd J. Savonuis. Bentuk dasar rotor turbin ini adalah setengah silinder. Prinsip kerjanya cukup sederhana, yaitu berdasarkan differential drag windmill.

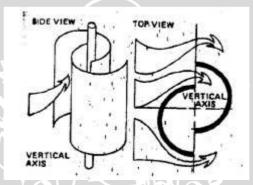
Pada masa awal ditemukannya turbin vertikal tipe Savonius, turbin angin poros horizontal telah bnyak dimanfaatkan. Tetapi turbin dengan poros horizontal memiliki desain yang sulit dan biaya operasional yang mahal. Sehingga banyak yang memilih alternatif lain, yaitu turbin angin Savonius. Desain turbin Savonius memiliki beberapa keuntungan daripada turbin angin dengan poros horizontal. Diantaranya adalah, turbin ini dapat beroperasi dengan arah angin yang tidak beraturan/brmacam-macam. Turbin angin Savonius beroperasi ada kecepatan angin yang rendah, sehingga tidak memerlukan menara penyangga dan dapat ditempatkan di atas permukaan tanah,sehingga mempermudah pemeliharaan. Karena kesederhanaan dari turbin savonius inilah yang menyebabkan turbin ini banyak dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga dan pembangkit listrik skala kecil. Salah satu contoh turbin angin savonius seperti pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 : Turbin angin tipe Savonius Sumber : Cheremisinoff.1978

#### 2.4.2 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius

Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energi mekanik poros. Data dilihat pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 : Prinsip kerja turbin angin savonius Sumber : Hunt. 1981

Turbin angin savonius adalah jenis turbin angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja sejajar atau parallel dengan arah angin yang menumbuk sudu (white, 1986: 412). Besarnya gaya drag yang dihasilkan oleh masing sudu tergantung dari nilai Coefficient of Drag dari sudu tersebut sesuai dengan rumus 2-4 berikut:

$$C_d = \frac{\text{Drag}}{\frac{1}{2}\rho A v^2}$$
 (white, 1986: 413) (2-4)
$$Drag = C_d \frac{1}{2}\rho A v^2$$

#### Dengan:

C<sub>d</sub> : Coefficient of Drag

Drag : Gaya drag (kg.m/s<sup>2</sup>)

ρ : Massa jenis udara (Kg/m³)

A : luas permukaan sudu (m²)

v : kecepatan angin (m/s)

untuk mengetahui besarnya Coefficient of Drag dari tiap-tiap bentuk sudu dapat dilihat pada table dibawah

Shape	$C_{\mathcal{P}}$ based on frontal area	Shape	Cp based on side
Plate		Half-cylinder	_
I	2.0	<b></b> -(	1,2
Square Cylinder	2.1	-	D 2,1
$-\langle$	> 16	Equilateral tr	iangle:
Half tube:	1.2		2,1
<b>→</b> ]	23		
Eliptical Cylin	der Laminar	Turbulen	
t:t	12	0.3	
2.1	0.6	0.2	
4.1	0.35	0.15	
8:1	0.25	0.1	

Table 2.2 : Coefficient of Drag tiap-tiap bentuk sudu

Sumber: white. 1986

Dari table di atas terlihat perbedaan *Coefficent of Drag* pada bentuk setengah lingkaran dengan dua posisi berbeda. Dari perbedaan tersebut *drag* yang dihasilkan masing-masing sudu juga berbeda, sehingga resultan gaya-gaya yang bekerja akan mengakibatkan rotor

berputar dengan kata lain torsi pada turbin angin Savonius dihasilkan dari perbedaan tekanan antara bentuk cenbung dan cekung sudu yang menghadap kea rah angin dan juga dari efek resirkulasi pada sisi cembung yang mengarahkan angin ke belakang melawan arah angin.

### 2.5 Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius

Dalam pembahasan kali ini parameter -parameter dari unjuk kerja turbin angin yang dibahas adalah  $Brake\ Horse\ Power\ (BHP)\ dan\ Efisiensi\ (\eta).$ 

#### 2.5.1 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari turbin yang diukur setelah mengalami pembebanan yang disebabkan oleh altenator, gearbox, pompa ataupun perangkat tambahan lainnya. Brake yang dimaksud adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memberikan beban pada turbin sehingga putarannya dapat terjaga secara konstan. Besarnya BHP dapat dihitung menggunakan rumus 2-6 sebagai berikut:

BHP = 
$$\frac{VxI}{\eta_{generator} x \eta_{transmisi}}$$
 (Pikatan, 1999) (2-6)

Dimana:

BHP = Brake Horse Power (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

 $\eta_{generator} = 85\%$ 

 $\eta_{transmisi}~=90\%$ 

#### 2.5.2 Efisiensi (η)

Untuk menyatakan performa suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan. Lebih sederhananya adalah perbandingan antara input dan output yang dinyatakan dalam persen. Seperti pada rumus 2-7 berikut:

$$\eta = \frac{P \ usefull}{P \ input} \ x \ 100\%$$
(Fox; 1994: 570) (2-7)

 $\eta$  = efisiensi (%)

P usefull = efek bermanfaat (Watt)

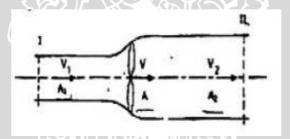
P input = masukan yang dikorbankan (Watt)

#### 2.6 Teori dan Persamaan

#### 2.6.1 Teori Betz

Betz dianggap sebagai sarjana yang pertama memperkenalkan teori tentang turbin angin ia mengasumsikan bahwa suatu turbin ideal merupakan rotor tanpa naf (hub) dan mempunyai sudu-sudu yang tak terhingga jumlahnya tanpa hambatan (Reksoatmojo, 2004). Juga diasumsikan bahwa aliran udara didepan dan belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (laminar). Jika  $V_1$ =kecepatan angin didepan roto,  $V_2$  = kecepatan angin dibelakang rotor dan V = kecepatan angin pada saat melewati rotor, maka berdasarkan persamaan kontinuitas :

$$A_1V_1 = A_2V_2$$



Gambar 2.7 : Asumsi Teori Betz Sumber : Reksoatmojo 2004

Selanjutnya berdasarkan teorema Euler, gaya yang bekerja pada rotor :

$$F = \rho AV(V_1 - V_2) \tag{2-8}$$

Karena gaya kinetik yang diserap oleh rotor:

$$P = FV = \rho AV^{2}(V_{1}-V_{2})$$
 (2-9)

Selisih energi kinetik di depan dan belakang rotor dapat dihitung dengan persamaan Bernoulli :

$$\Delta P = \frac{1}{2}\rho AV(V_1 - V_2) \tag{2-10}$$

Persamaan (2-9) adalah sama dengan persamaan (2-10) sehingga dari kedua persamaan itu diperoleh :

$$V = (V_1 + V_2)/2 (2-11)$$

Jika hasil V tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan (2-8) dan (2-9) akan menghasilkan persamaan:

$$F = \frac{1}{2}\rho AV(V_1^2 - V_2^2)$$
 (2-12)

Dan 
$$P = \frac{1}{4} \rho AV(V_1^2 - V_2^2) (V_1 - V_2)$$
 (2-13)

Untuk kecepatan V1 tertentu dapat dikaji besar P sebagai fungsi dari V2 dengan mendeferensiasi persamaan (2-113):

$$dP / dV_2 = d\{ {}^{1}\!\!/_{4} \rho AV(V_1^3 - V_1^2 V^2 - V_2^2 V_1 - V_2^3) \}$$
 (2-14)

$$dP / dV_2 = \frac{1}{4} \rho AV(V_1^2 - 2V_1 V - 3V_2^2)$$
 (2-15)

pada dP/dV2 = 0 diperoleh dua akar persamaan :  $V_2 = -V_1$  yang berarti udara dalam keadaan tenang ( $B_N = 0$ ), dan  $V_2 = V_1/3$  yang merupakan harga yang menghasilkan daya maksimum. Dengan demikian daya maksimum yang diperoleh adalah:

Pmaks = 
$$\frac{8}{27} \rho A V_1^3$$
 (2-16)

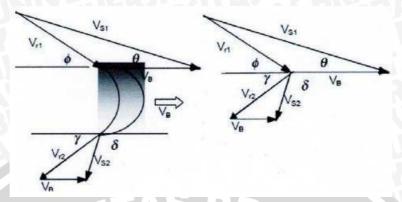
Persamaan (2-16) menunjukkan bahwa daya maksimum yang diperoleh tergantung pada massa jenis udara (berubah dengan tekanan dan temperatur) serta kecepatan angin. Pada jumlah sudu-sudu tertentu (finite) daya yang dihasilkan diperkirakan perlu dikoreksi (Reksoatmojo, 2004).

#### 2.6.2 Segitiga Kecepatan

Pada mesin - mesin berputar yang memanfaatkan sudu, biasanya digunakan segitiga kecepatan untuk menghitung performa dasar dari sebuah tingkat turbin. Sepeti gambar 2.8 segitiga kecepatan terdiri dari tiga buah vector kecepatan yaitu kecepatan absolute, kecepatan relative, dan kecepatan tangensial. Setiap fluida di tiap titik ditinjau mempunyai segitiga kecepatan. Kecepatan absolute adalah kecepatan suatu fluida terhadap benda acuan yang diam. Untuk kecepatan fluida yang ditinjau terhadap benda lain yang juga bergerak disebut kecepatan relative. Kecepatan yang disebabkan gerakan memutar adalah kecepatan tangensial.

Pada umumnya tinjauan untuk segitiga kecepatan ada pada sisi masuk dan sisi keluar sudu. Pada sisi masuk, fluida keluar dari nozel dengan kecepatan tangensial VB. Relative terhadap rotor, kecepatan fluida masuk runner sebesar Vr1. Fluida setelah melewati sudu akan mempunyai kecepatankeluar relative terhadap rotor Vr2 dan juga kecepatan tangensial VB sehingga kecepatan keluar absolute VS2. Segitiga kecepatan disusun menggunakan tiga macam kecepatan tersebut. Dari hubungan ketiga kecepatan

diatas dapat diketahui bahwa penjumlahan vector kecepatan relative dan kecepatan tangensial akan menghasilkan vector kecepatan absolute.



Gambar 2.8 : skema segitiga kecepatan

Sumber : Sunyoto. 2011

Segitiga kecepatan adalah dasar kinematika dari aliran fluida yang menumbuk sudu turbin. Dengan pemahaman segitiga kecepatan akan sangat membantu dalam pemahaman proses konversi energi pada sudu-sudu turbin. Adapun notasi dari segitiga kecepatan adalah sebagai berikut :

Vsl = kecepatan absolute fluida meninggalkan nosel

VB = kecepatan tangensial

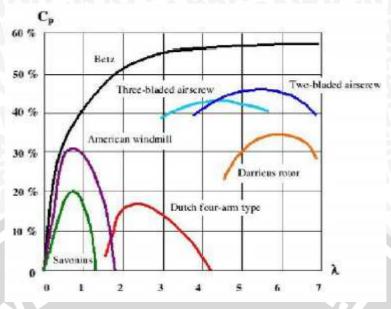
Vrl = kecepatan relative fluida

Vr2 = kecepatan relative fluida meninggalkan sudu

Vs1 = kecepatan absolut fluida meninggalkan sudu

#### 2.6.3 Daya pada Turbin Angin Savonius

Besar daya yang dapat dibangkitkan dari putaran rotor turbin angin Savonius dapat dihitung melalui pendekatan Betz. Percobaan Betz dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut:



: Performance of main conventional wind machine Gambar 2.9

Sumber : Bouraba (November 2004)

Berdasarkan teori Betz yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada gambar 2.9, menjelaskan ketidakmungkinan suatu desain turbin angin memiliki coeffisien power (Cp) diatas angka 56%. Hal ini dapat diartikan bahwa desain turbin terbaik tipe apapun tidak akan menghasilkan efisiensi rotor diatas 56%. Nilai efisiensi 56% juga sering disebut sebagai Betz Limit.

Nilai Cp untuk satu tipe turbin angin tidak selalu sama karena nilai Cp merupakan fungsi dari tip speed ratio atau λ. Untuk mengetahui nilai Cp maksimal yang mampu dihasilkan oleh sebuah turbin angin, maka perlu diketahui terlebih dahulu berapa nilai tip speed ratio yang dihasilkan dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \qquad (\text{fox, 1994: 579}) \tag{2-17}$$

dimana:

: kecepatan sudut =  $\frac{2\pi rpm}{60}$ 

R : radius rotor (m)

: kecepatan angin (m/s)

Dengan diketahuinya nilai λ dapat ditarik suatu garis lurus vertikal pada grafik gambar 2.9 untuk mengetahui berapa nilai Cp maksimum. Pada turbin angin Savonius dengan tinggi rotor H serta jari-jari rotor R, dikenai aliran angin berkecepatan V, maka daya maksimumnya adalah:

$$P_{\text{teoritis}} = \frac{1}{2}\rho A V^3 \tag{2-19}$$

P<sub>teoritis</sub> merupakan daya maksimum yang dihasilkan oleh poros rotor turbin angin Savonius ketika menyerap energi kinetik aliran angin. Dengan demikian dapat diketahui efisiensi turbin angin savonius, yaitu:

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{P_{\text{akun1}}}{\dot{P}_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$
(2-20)

#### 2.7 Hipotesa

Dengan bertambahnya jarak antar sudu, akan menyebabkan menurunnya turbulensi yang terjadi pada rotor, maka jumlah partikel angin yang melewati turbin angin Savonius akan meningkat,sehingga *Coeficient of Drag* pada tiap sudu akan meningkat,hal ini mengakibatkan daya poros akan semakin meningkat sampai pada nilai tertentu.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental (*experimental research*), yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data sebab-akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh putaran dan tinggi suhu terhadap performansi pada turbin angin vertikal tipe Savonius. Selain itu untuk mengetahui fenomena olakan yang terjadi pada sudu turbin, maka sebelum penelitian dilakukan simulasi menggunakan *software* Ansys.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada bulan 20 Februari 2012 – 21 Maret 2012.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel yang lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

• Kecepatan angin: 3; 4; 5; 6; dan 7 m/s

• Jarak sudu : 0d; 1/8d; 1/4d; 3/8d; dan 1/2d

#### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan dalam penelitian ini. Variabel terikatnya adalah :

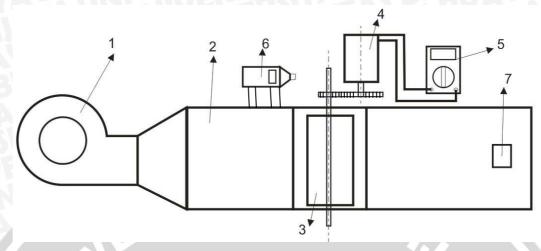
- Daya poros yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius.
- Efisiensi yang dihasilkan turbin angin Savonius.

#### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama pengujian berlangsung.

### 3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian dapat dilihat seperti pada gambar 3.1 berikut



Gambar 3.1 : Ske

: Skema Instalasi Uji

## Keterangan:

- 1. Blower
- 2. Wind tunnel
- 3. Turbin angin Savonius
- 4. Generator listrik
- 5. Digital Multitester
- 6. Digital Tachometer
- 7. Inclined Manometer

#### 3.5 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

#### 1. Inclined Manometer

Pada prinsipnya inclined manometer digunakan untuk mengukur beda tekanan udara inlet yang ditunjukkan oleh perbedaan ketinggian cairan, yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui kecepatan angin dari wind tunnel. Dalam penelitian digunakan kecepatan angin dalam satuan m/s.



Gambar 3.2 : Inclined Manometer

Kecepatan udara dapat dihitung dengan rumus:

$$V = c\sqrt{2gh}$$

$$V = c \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}$$

$$V = c \sqrt{2g \frac{\rho_{minyak} \cdot g \cdot h_{minyak}}{g \rho_{udara}}}$$

$$V = c \sqrt{2g \frac{\rho_{air} S G_{minyak} (z.\sin 3,75/1000)}{\rho_{udara}}}$$

#### Dengan:

= Konstanta tabung pitot (0,85)

ΔΡ = Beda tekanan rata-rata fluida yang diukur oleh tabung pitot  $(\frac{kg}{ms^2})$ 

= Berat jenis udara dan uap air saat pengujian  $(\frac{kg}{s^2m^2})$ γ

= Massa jenis air  $(1000 \text{kg/m}^3)$ 

 $\rho_{\text{minyak}} = \text{Massa jenis minyak pada manometer (kg/m}^3)$ 

= Beda tekanan yang diukur oleh tabung pitot (mm minyak manometer)

 $\rho_{udara} = Massa \ jenis \ udara \ {\it inlet} \ (campuran \ antara \ air \ dan \ uap \ air)$   $(kg/m^3)$ 

 $SG_{minyak}$  = specific gravity (0,826)

#### 2. Blower

Digunakan untuk menggerakkan angin menuju turbin. Sehingga dapat menyebabkan turbin berputar akibat tumbukan angin dari *blower*.



Gambar 3.3 : Blower

Spesifikasi motor blower:

Tipe : U 7181 No 7076-2977

Model : 4C 668A

Daya : 1/6 Hp

Putaran Max : 1600 RPM

Voltase : 115/230 V

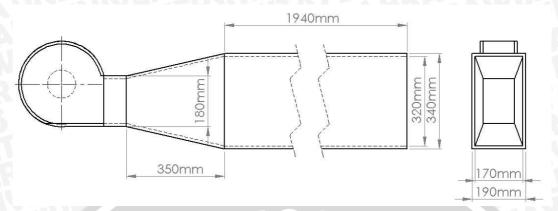
Ampere : 2,6 - 1,3 A

#### 3. Wind tunnel

Digunakan sebagai terowongan angin yaitu angin yang dari *blower* menuju turbin.



Gambar 3.4 : Wind tunnel

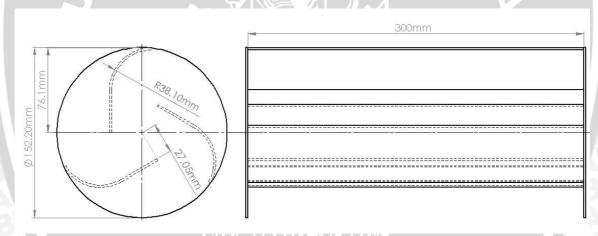


: Spesifikasi wind tunnel Gambar 3.5

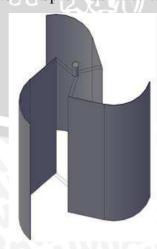
## 4. Sudu turbin

Dalam penelitian ini, sudu turbin terbuat dari pipa PVC dengan diameter

3" = 7.62 cm = 0.0762 m.



Gambar 3.6 : Spesifikasi sudu turbin angin



: Turbin angin Savonius Gambar 3.7

# Keterangan:

D : diameter rotor(2R)

d : diameter sudu

R : jari-jari rotor

h : tinggi sudu

t : tebal (2mm)

e : jarak sudu

e : kekasaran (1.5µm)

θ : sudut pencekam (120°)

# 5. Digital Multitester

Multitester digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan motor listrik dan mengukur hambatan lampu LED. Digital multitester yang digunakan adalah seperti gambar 3.8 dibawah ini



Gambar 3.8 : Digital multitester Sumber : Shanghai MCP Corp. 2009

Spesifikasi:

Merk : CADIC Tipe : Cadic 32B

Battery Voltage : 9V

Display : 9 digit 18mm LCD

DC Volt : 0-1000 V

Ac Volt : 0-759 V

Ampere max : 200mA, 10A unfused

Ohm max : 2000 kOhm

Batery : 4 x 1,5v AAA battery

# BRAWIJAYA

# 6. Digital tachometer

Digunakan untuk mengukur kecepatan putar dari poros turbin dalam RPM.



Gambar 3.9 : Digital tachometer Sumber : Weafo instrument Co.,Ltd. 2010

# Spesifikasi Digital tachometer:

Display : 5 digits 18mm LCD

Accuracy : 0.05%+1digit

Sampling time : 0.5sec (over 120 rpm)

Memory : Max. value, Min. value, Last value

*Test range* : 2.5~99,999 RPM

Resolution : 0.1 rpm (2.5~999.9 rpm),1 rpm(over 1000 rpm)

Detecting distance : 50~500mm

*Battery* : 4x1.5 V AAA battery

# 7. Generator Listrik

Adalah alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi mekanik pada rotor turbin menjadi energi listrik, yang nantinya *output* listriknya di ukur dengan *Digital Multitester*.



Gambar 3.10 : Generator listrik

# Spesifikasi:

Tipe : 24454

RPM Maksimal : 375 rpm

Voltase Maksimal : 24V DC

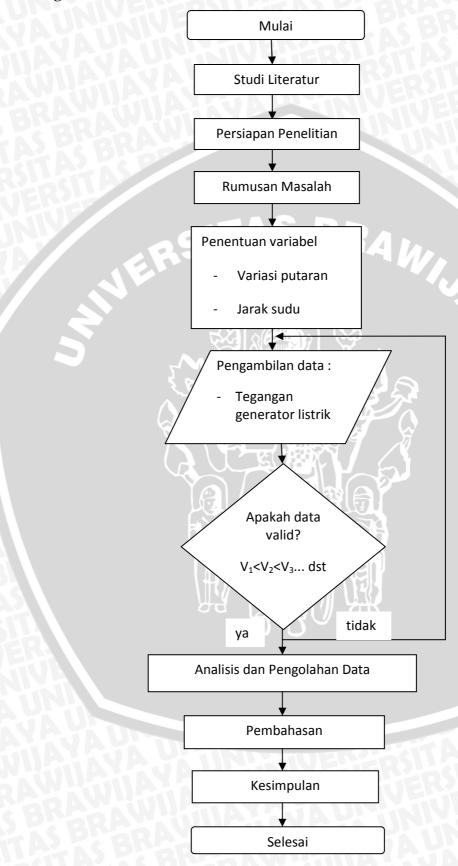
Arus Maksimal : 5A

# 3.6 Metode Pengambilan Data

Adapun proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

- 1. Menyiapkan instalasi wind tunnel dan turbin angin dengan jarak sudu yang telah ditentukan sebagai variabel terkontrol.
- 2. Pengambilan data dimulai setelah mengalirkan fluida dari wind tunnel ke seluruh instalasi turbin angin. Kecepatan angin diukur dengan melihat perbedaan ketinggian cairan manometer, dimana kecepatan angin yang tertinggi yaitu 7 m/s dan terendah yaitu 3 m/s. Pecepatan angin diatur dengan mengatur bukaan pada blower.
- 3. Putaran turbin dibaca dengan menggunakan tachometer. Pengambilan data dilakukan pada saat putaran turbin konstan.
- 4. Pengambilan data baru dilakukan ketika putaran turbin mulai menurun akibat pembebanan. Data yang diambil berupa tegangan dan arus yang dihasilkan generator listrik menggunakan Digital Multitester.
- 5. Mengulangi langkah 1 sampai 3 sebanyak lima kali.
- 6. Mengganti sudu dengan jarak sudu lain yang diuji selanjutnya.
- 7. Megulangi langkah 1 sampai 5 dengan variasi jarak sudu yang tetap.
- 8. Pengolahan data tegangan listrik untuk mendapatkan besar daya poros.

# 3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.11 : Diagram Alir Penelitian

# **BAB IV**

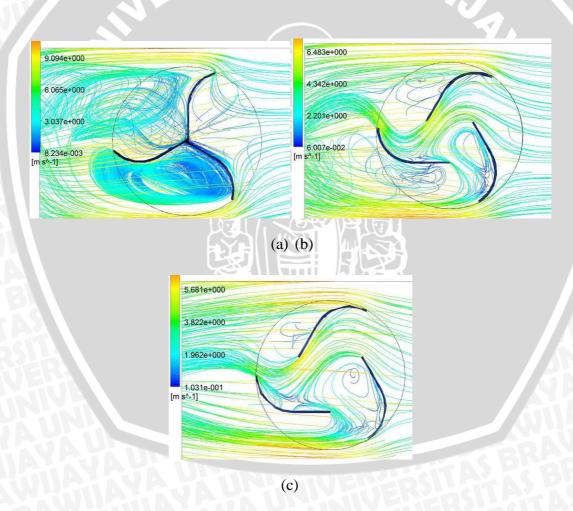
# PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

# 4.1 Hasil Simulasi

Untuk melihat fenomena olakan angin yang terjadi pada turbin, maka dalam penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Ansys..

# 4.1.1 Variasi Jarak Sudu

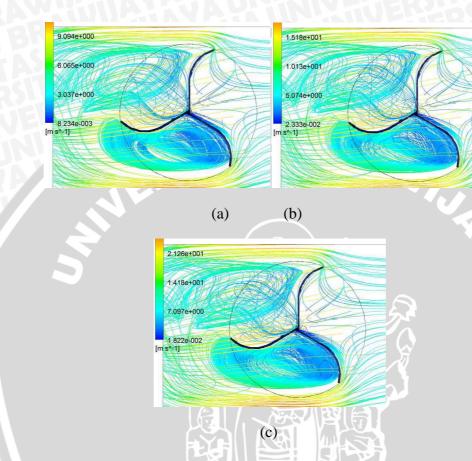
Fenomena olakan angin yang terjadi pada jarak sudu yang meningkat dapat dilihat seperti pada gambar di bawah.



Gambar 4.1 Simulasi olakan yang terjadi pada kecepatan angin 3m/s; (a) 0d; (b) 1/4d; (c) 1/2d

# 4.1.2 Variasi Kecepatan Angin

Fenomena olakan yang terjadi pada kecepatan angin yang meningkat dapat dilihat seperti pada gambar di bawah.



Gambar 4.2 Simulasi olakan yang terjadi pada jarak sudu 0d; (a) 3m/s; (b) 5m/s; (c) 7m/s

# 4.2 Data Hasil Penelitian dan Pengolahan Data

## 4.2.1 Data Hasil Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan yaitu pengujian unjuk kerja turbin angin savonius dengan variasi jarak sudu dan kecepatan angin diperoleh data tegangan motor listrik, seperti yang ditampilkan pada tabel(lampiran).

# 4.2.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai besaran-besaran yang diperlukan untuk menentukan koefisien prestasi turbin angin Savonius. Berikut ini

BRAWIJAY

adalah contoh perhitungan data hasil penelitian untuk jarak sudu 1/4d dan dan bukaan katup kec angin 6m/s. Contoh perhitungan:

Data yang diperoleh pada saat penelitian adalah sebagai berikut :

•	Tinggi Turbin (h)	= 0.3 m

• Efisiensi motor listrik (
$$\eta$$
) = 80%

• Temperatur udara ruangan (T) 
$$= 27^{\circ} \text{ C}$$

Dari temperatur udara pada 27° C tersebut didapatkan nilai massa jenis udara sebagai berikut (berdasar tabel viskositas dan massa jenis udara pada tekanan 1 atm White, 1986 : Appendix) :

- Massa jenis udara (ρ) =1,18kg/m<sup>3</sup>
  Contoh perhitungan data:
  - Luas penampang turbin (A)
     Contoh pada diameter sudu (d) = 18cm = 0,18m

$$A = D \cdot h$$
$$= 0.18 \text{m} \cdot 0.3 \text{m}$$
$$= 0.054 \text{m}^2$$

• Daya Angin (P<sub>angin</sub>)

Contoh pada kecepatan angin (v) = 6 m/s

$$P_{angin} = \frac{1}{2}\rho A v^3$$
  
=  $\frac{1}{2}$  . 1,18 kg/m<sup>3</sup> . 0,054m<sup>2</sup> . (6)<sup>3</sup>m/s  
= 5,859 Watt

• Daya Poros (BHP)

Contoh pada kecepatan angin (v) = 6 m/s dan jarak sudu 1/4d

Didapatkan:

Tegangan listrik (V) = 5,278Volt; dan arus (I) = 0,928 Ampere

BHP = 
$$\frac{5,278 \times 0,928}{80 \% \times 90 \%}$$

= 1.161Watt

$$\eta = \frac{BHP}{P \ angin} .100\%$$
$$= \frac{1.161}{5,859} .100\%$$
$$= 19,845 \%$$

# 4.2.3 Data Hasil Perhitungan

Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan Jarak Sudu 0d

daya		
angin	poros	Efisiensi (%)
0.73	0.33	45.60
1.73	0.55	31.98
3.39	0.81	23.89
5.85	1.11	18.90
9.29	1.38	14.90

Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Jarak Sudu 1/8d

daya (W	S S	
angin	poros	Efisiensi (%)
0.73	0.39	53.80
1.73	0.53	30.77
3.39	0.83	24.51
5.85	1.16	19.82
9.29	1.45	15.61

Tabel 4.3 Data Hasil Perhitungan Jarak Sudu 1/4d

daya (	W P 61	
angin	poros	Efisiensi (%)
0.73	0.40	54.41
1.73	0.60	34.60
3.39	0.82	24.21
5.85	1.16	19.85
9.29	1.46	15.74

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Jarak Sudu 3/8d

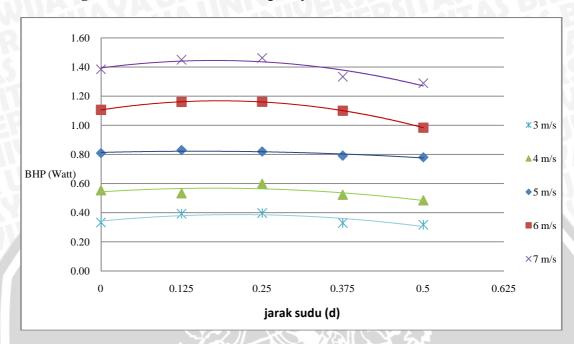
8			
daya			
angin	poros	Efisiensi (%)	
0.73	0.33	45.08	
1.73	0.52	30.18	
3.39	0.79	23.39	
5.85	1.10	18.80	
9.29	1.33	14.35	

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Jarak Sudu 1/2d

daya (			
angin	poros	Efisiensi (%)	
0.73	0.32	43.42	
1.73	0.48	27.96	
3.39	0.78	23.06	
5.85	0.98	16.81	
9.29	1.29	13.87	

#### 4.3 Pembahasan

## 4.3.1 Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Daya Poros.



Gambar4.3 :Grafik Hubungan Jarak Sudu dengan Daya Poros

Dapat kita ketahui bahwa jarak sudu berpengaruh terhadap daya poros yang dihasilkan. Kecepatan angin yang sama terlihat peningkatan daya poros. Tren dari grafik terlihat berbentuk parabolik. Daya poros maksimal didapat pada jarak sudu 1/4d, hal ini terjadi karena gaya drag pada sudu turbin cukup tinggi dan turbulensi yang terjadi di area tengah rotor mengalami penurunan. Berbeda dengan variasi jarak sudu 0d, dimana gaya drag pada masing-masing sudu lebih tinggi daripada variasi yang lain, namun terdapat turbulensi udara di area rotor, sehingga dapat menurunkan performa turbin, semakin bertambahnya jarak sudu akan mengurangi turbulensi yang terjadi pada rotor turbin sehingga meningkatkan gaya dorong yang dihasilkan, sehingga daya poros meningkat seiring dengan peningkatan jarak sudu. Namun pada variasi jarak sudu 3/8d mengalami penurunan performa, hal itu dapat disebabkan karena jarak sudu dari poros turbin terlalu jauh, sehingga angin yang memberi gaya dorong terhadap sudu turbin semakin menurun. Hal itu juga terjadi pada jarak sudu ½ d.

Hal ini sesuai dengan hasil simulasi pada gambar 4.1, dimana dengan semakin meningkatnya jarak sudu maka olakan yang terjadi juga semakin

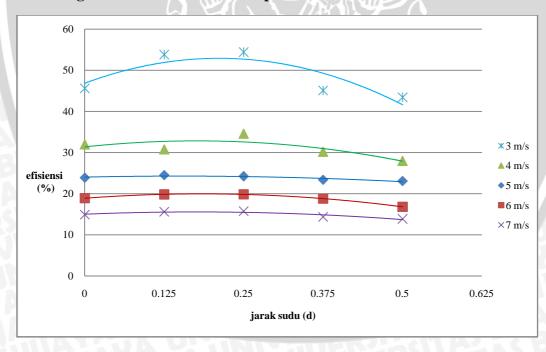
menurun.Pada gambar 4.1 (a), yaitu pada variasi jarak sudu 0d, olakan yang terjadi adalah yang paling banyak dari variasi jarak sudu yang lainnya.Aliran berwarna biru adalah aliran berkecepatan rendah, sehingga memiliki tekanan yang lebih tinggi daripada aliran berwana hijau atau kuning. Olakan yang banyak terjadi pada variasi 0ddapat menghambat putaran turbin.Dapat dilihat pula bahwa aliran fluida pada variasi jarak sudu ½ d (gambar 4.1 (c))hampir tidak tejadi olakan, sehingga gaya dorong pada sudu turbin mengalami penurunan.

Secara fenomena yang terjadi hal itu dapat disebabkan karena semakin tinggi gaya dorong yang dihasilkan, juga akan meningkatkan putaran dari turbin itu sendiri. Semakin tinggi putaran maka voltase yang dihasilkan akan semakin meningkat, hal itu sesuai dengan persamaan (2-6) :

$$BHP = \frac{V.I}{\eta_t x \eta_g}$$

Dimana dengan semakin meningkatnya voltase, hal itu juga akan menyebabkan semakin meningkatnya daya poros yang dihasilkan oleh turbin.

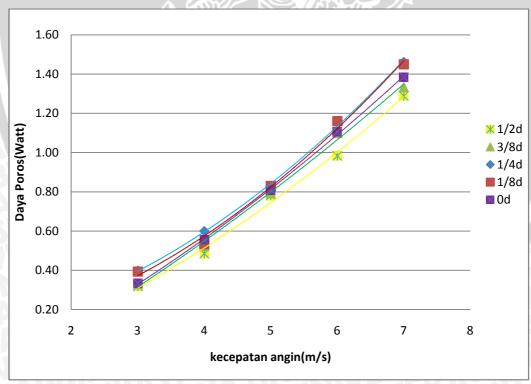
# 4.2.2 Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Efisiensi



Gambar 4.4 :Grafik Hubungan Jarak Sudu dengan efisiensi

Dapat kita ketahui bahwa pada kecepatan angin yang sama dan jarak sudu yang meningkat terjadi peningkatan efisiensi. Tren dari grafik terlihat berbentuk parabolik.Dengan variasi jarak sudu 0d, gaya drag pada masing-masing sudu lebih tinggi daripada variasi yang lain, namun terdapat turbulensi udara di area rotor, sehingga dapat menurunkan performa turbin. Kemudian jarak sudu 1/8d terjadi peningkatan efisiensi sampai pada variasi jarak sudu 1/4d turbin angin savonius mencapai efisiensi puncaknya, hal ini terjadi karena gaya drag pada sudu turbin cukup tinggi dan turbulensi atau olakan yang terjadi di area tengah rotor mengalami penurunan. Maka dengan semakin bertambahnya jarak sudu akan mengurangi turbulensi yang terjadi pada rotor turbin sehingga meningkatkan gaya dorong yang dihasilkan, sehingga efisiensi meningkat seiring dengan peningkatan jarak sudu. Namun pada variasi jarak sudu 3/8d terjadi penurunan efisiensi, hal itu dapat disebabkan karena jarak sudu dari poros turbin terlalu jauh, sehingga angin yang memberi gaya dorong terhadap sudu turbin semakin menurun.

# 4.2.1 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros.



Gambar4.5 : Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Daya Poros

Dari grafik 4.5 dapat kita ketahui bahwa kecepatan angin berpengaruh terhadap daya poros yang dihasilkan. Pada jarak sudu yang sama terlihat

peningkatan daya poros dari 0,33Watt ke 1,33 Watt. Hal itu telah sesuai dengan teori, yaitu dengan semakin meningkatnya kecepatan angin akan menyebabkan semakin besar momentum anginyang menumbuk turbin setiap detiknya maka perbedaan tekanan antara bagian depan sudu dan bagian belakang sudu meningkat, sehingga gaya drag yang dihasilkansemakin meningkat pula. Akibat dari peningkatan gayadrag ini akan menyebabkan peningkatan dari torsi turbin itu sendiri.

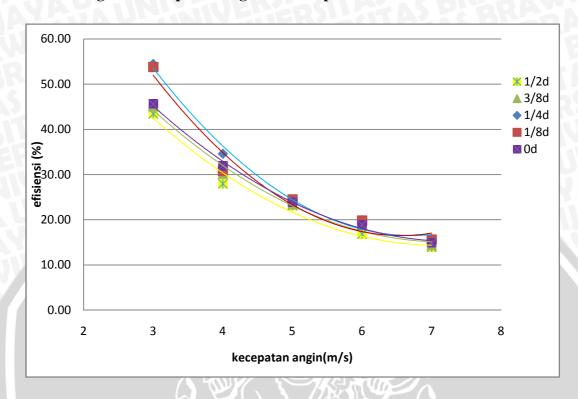
Daya poros maksimal didapat pada jarak sudu 1/4d, hal ini terjadi karena gaya drag pada sudu turbin cukup tinggi dan turbulensi atau olakan yang terjadi di area tengah rotor mengalami penurunan. Berbeda dengan variasi jarak sudu 0d, dimana gaya drag pada masing-masing sudu lebih tinggi daripada variasi yang lain, namun terdapat turbulensi udara d area rotor, sehingga dapat menurunkan performa turbin itu sendiri. Pada variasi jarak sudu 3/8d juga mengalami penurunan performa, hal ini dapat disebabkan banyaknya tumbukan antara angin dengan sudu turbin semakin menurun meskipun turbulensi yang terjadi juga semakin berkurang.

Secara fenomena yang terjadi hal itu dapat disebabkan karena semakin tinggi gayadorong yang dihasilkan, juga akan meningkatkan putaran dari turbin. Semakin tinggi putaran maka voltase yang dihasilkan akan semakin meningkat, hal itu sesuai dengan persamaan (2-6):

BHP = 
$$\frac{V.I}{\eta_t x \eta_g}$$

Dimana meningkatnya daya poros yang dihasilkan oleh turbin disebabkan oleh semakin meningkatnya voltase. Sehingga dengan meningkatnya putaran turbin, maka daya poros juga akan meningkat pula.

# 4.2.2 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Efisiensi

Seperti terlihat pada grafik 4.6 maka dapat terlihat bahwa pada jarak sudu yang tetap dan kecepatan angin yang meningkat maka terjadi penurunan efisiensi. Pada kecepatan angin 3m/s – 5m/s terjadi penurunan efisiensi yang signifikan, hal itu dapat disebabkan pada kecepatan angin yang meningkat olakan yang terjadi semakin meningkat pula sehingga gaya dorong yang dihasilkan menurun. Sedang pada kecepatan angin diatasnya olakan itu menurun disebabkan karena putaran angular yang dihasilkan makin tinggi. Sehingga terjadi perubahan trend yaitu menurun drastis pada kecepatan 3 sampai 5m/s pada semua variasi jarak sudu, lalu cenderung landai pada kecepatan angin 5 m/s sampai dengan 7 m/s. Penurunan efisiensi ini juga bisa disebabkan karena semakin tinggi kecepatan angin maka sudu turbin akan mengalami perubahan sudut serang lebih cepat sehingga pada pusat turbin timbul olakan yang menyebabkan gangguan pada sisi sudu yang bertekanan rendah yang menyebabkan gaya dorong yang dihasilkan menurun.

Hasil simulasi dengan variasi kecepatan angin pada gambar 4.2 juga menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kecepatan angin, maka olakan yang terjadi juga semakin besar.Sehingga dapat menurunkan eifisiensi dari turbin.Olakan juga diperlukan untuk memberi gaya dorong pada sudu turbin, namun jika terjadi di area yang berlawanan dengan arah putaran turbin akan menyebabkan kerugian.



## BAB V

#### **KESIMPULAN DAN SARAN**

# 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa kecepatan angin dan jarak sudu berpengaruh terhadap kinerja turbin angin Savonius tipe L, dimana:

- Untuk jarak sudu yang semakin meningkat dan kecepatan angin yang tetap diperoleh kinerja turbin yang meningkat sampai pada jarak sudu 1/4 d.
- Pada jarak sudu yang sama dan kecepatan angin yang meningkat diperoleh daya poros yang meningkat.
- Pada jarak sudu yang sama dan kecepatan angin yang meningkat diperoleh efisiensi turbin yang menurun
- Efisiensi terbesar adalah 54,4% dan daya terbesar yang diperoleh adalah 1,462 Watt pada jarak sudu ¼ d dan kecepatan angin 3 m/s.

#### 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk:

- 1. Dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh kemiringan sudu terhadap perfomansi turbin angin Savonius tipe L.
- 2. Dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh jumlah blade terhadap unjuk kerja turbin angin Savonius tipe L.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Arsad, A. M. dan F. Hartono; 2009: *Pembuatan Kode Desain dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe H*; JurnalTeknologiDirgantara 7(2):93-100.
- Benson, Tom; 2010: FoilSim II Version 1.5a; http://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/foil2.html.
- Beri, Habtamu *et al*; 2011: *Effect Of Chamber Airfoil On Self Starting Of Vertical Axis Wind Turbine*; Journal of Environmental Science and Technology4(3): 302-312.
- Bueche, F. J.; 1988: Fisika; Erlangga, Jakarta.
- Dietzel, Fritz; 1990: TurbinPompadanKompresor; Erlangga, Jakarta.
- Daryanto, Y; 2007: Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu; BALAI PPTAGG UPT-LAGG, Yogyakarta.
- Fox, R. and McDonald, A. T.; 1994: *Introduction to Fluid Mechanic*; John Wiley & Sons Inc., Toronto.
- Hermawan; 2010: Unjuk Kerja Model Trubin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Variasi Posisi Sudu; Jurusan Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- Hunt, V. Daniel; 1981: Wind Power; Nostard Reinhold, New York.
- Kadir, Abdul; 1996: Energy; UIP, Jakarta.
- Karnowo; 2008: Pengarh Perubahan Overlap Sudu Terhadap Torsi Yang Dihasilkan Turbin Angin Savonius Tipe U, Majalah Ilmiah STTR, Cepu.
- Kragten, ing. A; 2004: The Darrieus rotor, a vertical axis wind turbine (VAWT) with only a few advantages and many disadvantages; Engineering office Kragten Design, Populierenlaan.
- Liang, Kah; 2002: *Darrieus wind turbine-analysis.com*;http://www.windturbine-analysis.netfirms.com/about-aboutme.html, Malaysia.
- Mulyadi, Muhamad; 2010: Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis ComputationalFluid Dynamics (CFD); http://www.gunadarma.ac.id/library/articles/graduate/industrial-technology/2010/Artikel\_20403473.pdf.
- Olson, Reuben M. and Steven J. Wright; 1990: Essential of Engineering Fluid Mechanic; Harpercollins College Div., Toronto.
- Pikatan, Sugata; 1999: KKonversi Energi Angin, Departemen Mipa Universitas Surabaya, Surabaya.
- Suseno, Aria; 2010: Rancangan Wahana Terbang Tanpa Awak Fliying Wing; http://www/scribd.com/doc/36878985/Rancangan-Uav-From-Blue-to-Dark-Flame.

WWEA; 2011: 10<sup>th</sup> World Wind Energy Conference & Renewable Energy exhibition; World Wind Energy Association WWEA 2011, Bonn.

http://kadarsah.wordpress.com/2008/09/09.

http://www.reuk.co.uk/Savonius-Wind-Turbines.htm

http://www.bombayharbor.com/Product/10363/Portable\_Usb\_Video\_Borescope. html

http://alysaid.blogspot.com/2010/05/memperbaiki-ram-yang-rusak.html

http://ichwanfisika.blogspot.com/2011/01/momen-gayatorsi.html

http://wikipedia.com/savonius



# LAMPIRAN A

# Tabel Data Variasi jarak sudu 0d

kec. angin (m/s)	kinerja turbin			
kec. aligili (lil/s)	tegangan (mV)	putaran (rpm)	arus (ampere)	
	2834	390.9	0.268	
BRADA	2821	389.1	0.265	
3	2841	391.8	0.269	
ALL AS E	2827	390.0	0.266	
SIL	2821	389.1	0.265	
rata - rata	2828.7	389.99	0.266	
	3645	502.7	0.443	
	3658	504.6	0.446	
4	3638	501.8	0.441	
	3645	502.7	0.443	
7	3652	503.7	0.444	
rata - rata	3647.5	503.10	0.444	
	4435	611.8	0.656	
	4395	606.2	0.644	
5	4375	603.5	0.638	
	4395	606.2	0.644	
	4429	610.9	0.654	
rata - rata	4405.9	606.70	0.645	
	5139	708.8	0.880	
	5172	713.4	0.892	
6	5166	712.5	0.889	
	5126	707.0	0.876	
	5152	710.7	0.885	
rata - rata	5151.0	710.89	0.885	
	5769	795.7	1.109	
	5749	792.9	1.102	
7	5762	794.8	1.107	
	5782	797.5	1.114	
	5755	793.8	1.104	
rata - rata	5763.3	794.94	1.107	

# Tabel Data Variasi jarak sudu 1/8d

kec. angin (m/s)	kinerja turbin			
kee. angm (m/s)	tegangan (mV)	putaran (rpm)	arus (ampere)	
	3069	423.3	0.314	
MIVII) LAT	3062	422.3	0.313	
3	3075	424.2	0.315	
BRALL	3075	424.2	0.315	
	3082	425.1	0.317	
rata - rata	3072.6	423.95	0.315	
	3571	492.6	0.425	
	3585	494.4	0.428	
4	3564	491.6	0.423	
	3591	495.3	0.430	
	3578	493.5	0.427	
rata - rata	3577.8	493.49	0.427	
	4429	610.9	0.654	
	4489	619.2	0.672	
5	4449	613.6	0.660	
	4462	615.5	0.664	
	4482	618.2	0.670	
rata - rata	4462.2	616.63	0.666	
	5266	726.4	0.924	
	5273	727.3	2)	
6	5293	730.1	0.934	
	5280	728.2	0.929	
	5266	726.4	0.924	
rata - rata	5275.6	727.99	0.929	
	5889	812.3	1.156	
	5909	815.1	1.164	
7	5896	813.2	1.159	
	5896	813.2	1.159	
	5903	814.2	1.161	
rata - rata	5898.7	813.61	1.161	

# Tabel Data Variasi jarak sudu 1/4d

kec. angin (m/s)	kinerja turbin			
kec. angm (m/s)	tegangan (mV)	putaran (rpm)	arus (ampere)	
	3082	425.1	0.31	
41111	3102	427.9	0.32	
3	3082	425.1	0.31	
BRAN	3095	427.0	0.31	
	3089	426.0	0.31	
rata - rata	3090.0	426.49	0.31	
ATAR A	3792	523.1	0.47	
	3792	523.1	0.47	
4	3799	524.0	0.48	
41117	3779	521.2	0.47	
	3806	524.9	0.48	
rata - rata	3793.5	523.25	0.48	
	4442	612.7	0.65	
	4429	610.9	0.65	
5	4449	613.6	0.66	
	4435	611.8	0.65	
	4422	609.9	0.65	
rata - rata	4435.4	611.55	0.65	
	5286	729.1	0.93	
	5300	731.0	(0.93	
6	5266	726.4	0.92	
	5260	725.4	0.92	
	5280	728.2	0.92	
rata - rata	5278.3	727.76	0.92	
	5909	815.1	1.16	
	5916	816.0	1.16	
7	5943	819.7	1.17	
	5923	816.9	1.16	
	5930	817.9	1.17	
rata - rata	5924.1	817.12	1.17	

# Tabel Data Variasi jarak sudu 3/8d

kec. angin (m/s)	kinerja turbin			
kee. angm (m/s)	tegangan (mV)	putaran (rpm)	arus (ampere)	
	2801	386.3	0.26	
TIVILET	2814	388.1	0.264	
3	2827	390.0	0.266	
RRASA	2801	386.3	0.26	
PA BRE	2821	389.1	0.26	
rata - rata	2812.7	388.37	0.26	
	3551	489.8	0.42	
	3538	487.9	0.41	
4	3551	489.8	0.42	
	3544	488.9	0.41	
	3531	487.0	0.41	
rata - rata	3543.0	488.68	0.41	
	4422	609.9	0.65	
	4322	596.1	0.62	
5	4389	605.3	0.64	
	4395	606.2	0.64	
	4268	588.7	0.60	
rata - rata	4359.0	599.07	0.62	
	5126	707.0	0.87	
	5132	707.9	(0.87	
6	5139	708.8	0.88	
	5152	710.7	0.88	
	5139	708.8	0.88	
rata - rata	5137.6	709.04	0.88	
	5621	775.4	1.05	
	5668	781.8	1.07	
7	5662	780.9	1.06	
	5675	782.7	1.07	
	5655	780.0	1.06	
rata - rata	5656.1	780.16	1.07	

# Tabel Data Variasi jarak sudu 1/2d

kec. angin (m/s)	kinerja turbin			
kee. angm (m/s)	tegangan (mV)	putaran (rpm)	arus (ampere)	
	2747	378.9	0.252	
	2734	377.0	0.249	
3	2754	379.8	0.25	
BRASA	2740	378.0	0.25	
E BRE	2760	380.7	0.25	
rata - rata	2747.0	378.90	0.25	
ATTAR 5	3410	470.4	0.38	
	3417	471.3	0.38	
4	3404	469.5	0.38	
	3430	473.2	0.39	
	3410	470.4	0.38	
rata - rata	3414.3	470.94	0.38	
	4315	595.1	0.62	
	4301	593.3	0.61	
5	4322	596.1	0.62	
	4328	597.0	0.62	
	4328	597.0	0.62	
rata - rata	4318.8	595.84	0.62	
	4831	666.3	0.77	
	4824	665.4	$2 \sim 0.77$	
6	4864	670.9	0.78	
	4844	668.2	0.78	
	4858	670.0	0.78	
rata - rata	4844.1	668.61	0.78	
	5621	775.4	1.05	
	5608	773.5	1.04	
7	5595	771.7	1.04	
	5635	777.2	1.05	
	5561	767.0	1.03	
rata - rata	5603.9	772.95	1.04	