

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sargolzaei J. (2007), dalam penelitiannya menggunakan turbin angin savonius dengan dua sudu, dengan variasi jarak antar kedua bilah sudu dan variasi kecepatan angin. Yang digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *Coefficient of Power/ Power Ratio* (C_p). Uji coba dilakukan pada *wind tunnel* dengan pengulangan empat hingga enam kali percobaan pada enam macam sudu dengan bilangan Reynolds yang berbeda dan kecepatan angin 8 hingga 14 m/s. Hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimental menunjukkan bahwa peningkatan bilangan Reynolds akan meningkatkan *Power Ratio* dan torsi.

Karnowo (2007), dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh *overlap* sudu terhadap torsi yang dihasilkan turbin *savonius* tipe – U”, salah satu kelebihan dari turbin angin jenis *savonius* adalah kemampuan *self-starting* dan torsi yang tinggi apabila dibandingkan dengan tipe turbin angin sumbu horizontal. Maka dari itu, untuk mendapatkan efisiensi konversi energi yang maksimal dilakukan penelitian dengan memvariasikan besar *overlap* antar sudu. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa torsi tertinggi didapatkan pada nilai *overlap* 10-12 cm dengan diameter sudu 15 cm atau 70% dari diameter sudu. Begitu juga pada turbin dengan diameter 17 cm, torsi maksimum didapatkan pada *overlap* 12-14 cm dengan kata lain 76% dari diameter sudu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai torsi yang maksimal sebaiknya nilai *overlap* berkisar antara 70-76% dari diameter sudu.

Patuh (2008) melakukan penelitian terhadap turbin angin savonius dengan variasi bentuk sudu plat dan airfoil. Cerobong penyearah angin ditempatkan diantara sumber angin dan turbin angin untuk mengurangi faktor turbulensi. Kecepatan angin yang digunakan terdapat empat variasi yaitu 2,05 m/s, 2,55 m/s, 2,97 m/s dan 5,63 m/s. Hasil penelitian ditampilkan dalam sebuah kurva karakteristik ($C_p-\lambda$) untuk setiap variasi bentuk sudu dan kecepatan angin. Turbin angin savonius sudu plat memiliki nilai C_{pmax} dan daya yang lebih baik dibanding dengan turbin angin savonius sudu airfoil. Ini menunjukkan bahwa turbin angin savonius sudu plat memiliki kinerja yang lebih baik dibanding turbin angin savonius sudu airfoil. Turbin angin savonius sudu plat dan sudu airfoil merupakan turbin angin sumbu vertikal yang bisa self starting. Nilai cut in speed untuk sudu plat sebesar 0,78 m/s, sedangkan untuk sudu airfoil sebesar 0,23 m/s.

Hermawan (2010), dalam penelitiannya yang berjudul “Unjuk kerja model turbin angin poros vertikal tipe *savonius* dengan variasi jumlah sudu dan variasi posisi sudut turbin”. Penelitian ini menggunakan turbin *savonius* tipe U tiga tingkat. Nilai C_p maksimum yang dicapai untuk turbin angin dengan dua sudu adalah 0,1016 atau 10,16 % diperoleh pada saat *tip speed ratio* sebesar 0,2474 dengan kecepatan angin 4,92 m/s, sedangkan nilai C_p maksimum yang dicapai untuk turbin angin dengan tiga sudu adalah 0,0755 atau 7,55 % diperoleh pada saat *tip speed ratio* sebesar 0,2113 dengan kecepatan angin 4,92 m/s. Daya turbin maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin dengan dua sudu adalah 0,6451 watt, yaitu pada model 1, pada putaran rotor sekitar 174,7 rpm dicapai pada kecepatan angin 6,35 m/s, sedangkan daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin dengan tiga sudu adalah 0,3718 watt, yaitu pada model 4, pada putaran rotor sekitar 134,4 rpm, dicapai pada kecepatan angin 6,35 m/s.

M. Iqbal (2011), dalam penelitiannya yang berjudul “*Pengaruh Variasi Diameter Sudu dan kecepatan Angin Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius*”, menggunakan variasi kecepatan angin pada *wind tunnel* sebesar 5, 6 dan 8 m/s, data yang diambil berupa tegangan motor listrik. Didapatkan hasil bahwa diameter sudu mempengaruhi unjuk kerja turbin angin *savonius*. Dimana semakin besar diameter sudu maka luas bidang kontak sudu dengan angin akan meningkat, sehingga unjuk kerja yang meliputi *Tip Speed Ratio* dan efisiensi menjadi maksimum dan setelah melewati titik tersebut, unjuk kerjanya menurun.

Riangga aji (2011), dalam penelitiannya yang berjudul “*pengaruh variasi tinggi sudu terhadap performansi vertical axis wind turbine jenis savonius type-u*”, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 sudu, hasilnya menunjukkan bahwa pada kecepatan angin yang sama, dengan semakin besarnya tinggi sudu maka putaran poros turbin juga akan semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan semakin meningkatnya *plan view area* pada turbin. Putaran sudu tertinggi dimiliki oleh sudu dengan tinggi 0,25 m pada kecepatan 8 m/s yaitu sebesar 2223 m/s.

2.2 Angin

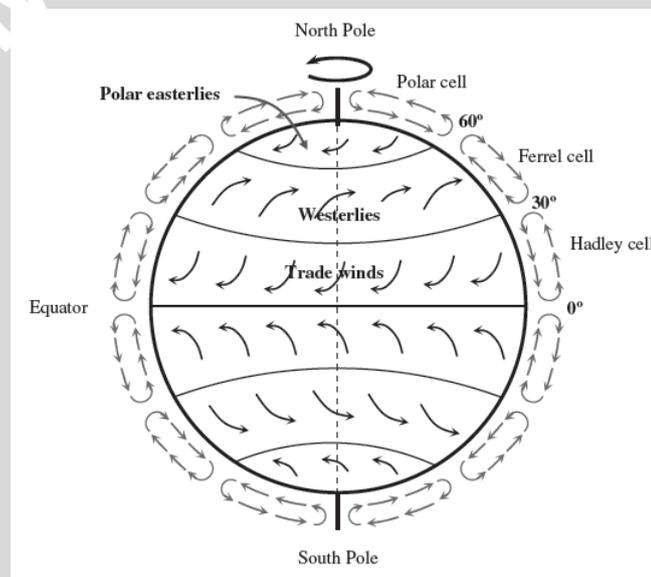
2.2.1 Pengertian Angin

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 rendah ke tempat yang bersuhu tinggi.

Angin di daerah khatulistiwa atau garis ekuator seperti Indonesia lebih kencang daripada daerah kutub (Kadir, 1996)

2.2.2 Proses Terbentuknya Angin

Proses terbentuknya angin memiliki hubungan yang erat dengan sinar matahari, karena daerah yang terkena banyak sinar matahari memiliki suhu lebih tinggi dan berat jenis udara yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang kurang mendapat sinar matahari. Pada daerah khatulistiwa lebih banyak mendapatkan sinar matahari, dibandingkan pada daerah kutub. Sehingga angin mengalir dari daerah yang memiliki suhu tinggi (khatulistiwa) menuju daerah bersuhu rendah (kutub). Angin juga dapat disebabkan oleh pergerakan benda, sehingga mendorong udara disekitarnya untuk bergerak ke tempat lain.



Gambar 2.1 : Skema Terjadinya Angin

Sumber : Wei Tong (2010 : 6)

2.2.3 Potensi Energi Angin di Indonesia

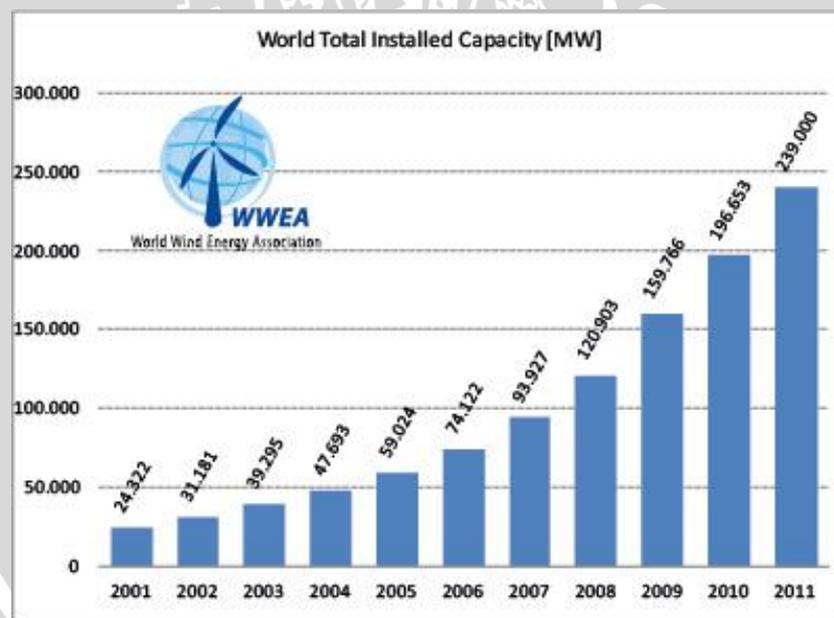
Indonesia adalah negara yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki potensi energi angin yang memadai, dengan kecepatan angin rata-rata 3,5 – 7 m/s. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan beberapa wilayah memiliki kecepatan angin diatas 5 m/s, yaitu Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Merupakan faktor pendukung pengembangan teknologi tenaga angin di Indonesia.

Tabel 2.1 Pengelompokan Potensi Energi Angin.

KELAS	Kec. Angin (m/s)	Daya Spesifik (W/m ²)	Kapasitas (kW)	Lokasi
Skala Kecil	2,5 - 4,0	< 75	s/d 10	Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi
Skala Menengah	4,0 - 5,0	75 -150	10 -100	NTB, NTT, Sulsel, Sultra
Skala Besar	>5,0	> 150	> 100	Sulsel, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa

Sumber: LAPAN, 2005

Pada data kapasitas pembangkit listrik tenaga angin yang telah terpasang hingga tahun 2011 adalah sebesar 239.000 MW. Inilah yang menjadikan motivasi untuk pertumbuhan teknologi pembangkit energi angin di Indonesia yang sumber daya alamnya juga cukup memadai.



Gambar 2.2 : Laju Pertumbuhan Energi Angin Tahunan di Dunia.

Sumber : *World Wind Energy Association*, 2011

Tabel pembagian angin berdasarkan skala baufert

Tabel 2.2 Pembagian Angin Berdasarkan Skala Baufert

Kekuatan Angin	Kecepatan Angin		Nama	Keterangan
	Skala Beaufort	m/dt		
0	0,0-0,5	0-1	angin reda	tiang asap tegak
1	0,6-1,7	2-6	angin sepoi-sepoi	tiang asap miring
2	1,8-3,3	7-12	angin lemah	daun-daun bergerak
3	3,4-5,2	13-18	angin sedang	ranting-ranting bergerak
4	5,3-7,4	19-26	angin tegang	dahan-dahan bergerak
5	7,5-9,8	27-35	angin keras	batang pohon bergerak
6	9,9-12,4	36-44	angin keras sekali	batang pohon bsr bergerak
7	12,5-15,2	45-54	angin ribut	dahan-dahan patah
8	15,3-18,2	55-65	angin ribut hebat	pohon-pohon kecil patah
9	18,3-21,5	66-77	angin badai	pohon-pohon besar patah
10	21,6-25,1	78-90	angin badai hebat	rumah-rumah roboh
11	25,2-29,0	91-104	angin taifun	benda berat berterbangan
12	29 ke atas	105 ke atas	angin taifun hebat	benda berat berterbangan hingga beberapa km

Sumber : http://110.138.206.53/bahan-ajar/modul_online/geografi/MO_138/geo109_04.htm (2013)

2.2.4 Dasar Teori Energi Angin

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.

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

dimana :

E = energi dari udara yang bergerak (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:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (\text{White; 2001; 133}) \quad (2-2)$$

dimana :

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

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

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

$$A = d \times h$$

$$d : \text{diameter sudu} \quad (\text{m})$$

$$h : \text{tinggi sudu} \quad (\text{m})$$

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

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

$$\text{Power} = \text{Work (Energi angin)} / \text{time} \quad (\text{Giancoli; 1995; 157}) \quad (2-3)$$

$$= (1/2 \cdot m \cdot v^2) / t$$

$$= 1/2 \cdot m/t \cdot v^2$$

$$= 1/2 \cdot \dot{m} \cdot v^2$$

$$= 1/2 \rho \cdot A \cdot v^3$$

dimana :

$$P = \text{daya angin} \quad (\text{W})$$

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

$$t = \text{waktu} \quad (\text{s})$$

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

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

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

2.3 Turbin Angin

2.3.1 Pengertian Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada poros turbin tersebut (Sargolzaei, 2007:51) Energi angin dikonversi sebagian menjadi energi putar oleh rotor. Dengan atau tanpa roda gigi, putaran rotor tersebut biasanya digunakan untuk memutar generator yang

akan menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik yang memanfaatkan energi angin biasa disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Energi listrik dari PLTB ini kebanyakan disimpan ke dalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan.

2.3.2 Klasifikasi Turbin Angin Berdasarkan Sumbu Putarnya

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

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

- poros rotor utama sejajar dengan permukaan tanah
- bentuk sudu memiliki irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat 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
- C_p (Koefisien daya) cenderung baik
- Cenderung membutuhkan tower

2. Turbin angin sumbu vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

- poros rotor utama tegak lurus dengan permukaan tanah
- Cenderung tidak membutuhkan tower karena gear box dan generator bisa ditempatkan ditanah
- Memiliki kemampuan self starting yang baik
- Drag Coefficient atau koefisien hambatan mendukung untuk melakukan putaran rotor dengan persamaan sebagai berikut :

$$c_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (2-4)$$

Dimana :

C_d = Drag Coefficient

F_d = Force drag (N)

ρ = density (kg/m³)

v = speed (m/s)

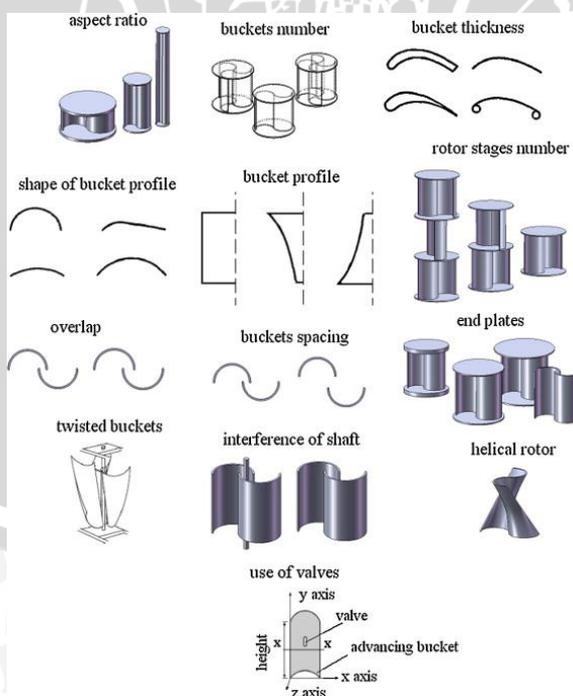
A = area (m²)

2.4 Turbin Angin Savonius

2.4.1 Pengertian Turbin Angin Savonius

Turbin angin tipe Savonius merupakan turbin dengan konstruksi sederhana pertama kali ditemukan oleh sajana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius. Turbin yang termasuk dalam kategori VAWT ini memiliki rotor dengan bentuk dasar setengah silinder. Konsep turbin angin Savonius cukup sederhana, prinsip kerjanya berdasarkan *differential drag windmill*. Pada perkembangan selanjutnya, Savonius rotor tidak lagi selalu berbentuk setengah silinder, tetapi mengalami modifikasi guna meningkatkan performa dan efisiensi.

Desain turbin Savonius mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan turbin angin poros horizontal. Dalam kaitannya dengan poros, Savonius dapat beroperasi pada arah angin yang bermacam-macam, dimana hal ini tidak ditemukan pada turbin poros horizontal. Desain Savonius dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah, sehingga tidak memerlukan sebuah menara penyangga dan dapat ditempatkan pada dasar tanah untuk mempermudah pemeliharaan. Dari kesederhanaan struktur turbin Savonius, maka banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan rumah tangga, seperti pembangkit listrik skala kecil. Contoh turbin angin savonius dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.

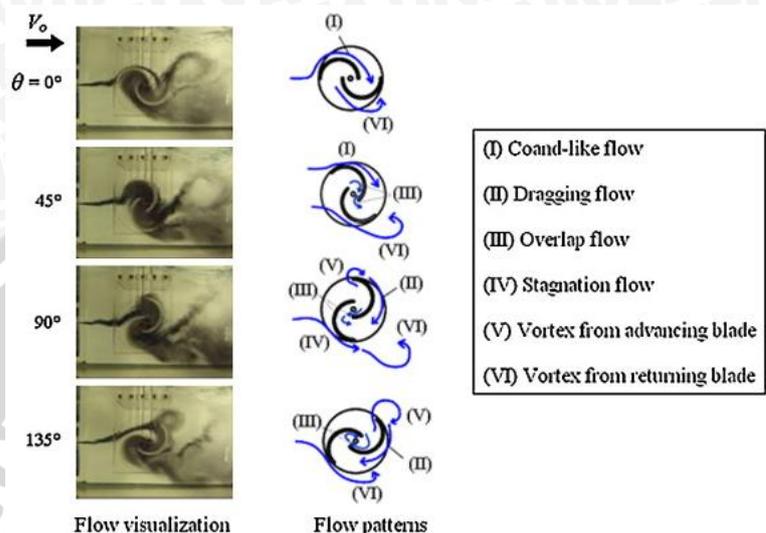


Gambar 2.3 : Turbin Angin Tipe Savonius

Sumber : Vicente, et.al (2012 : 6)

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 atau rotor. Dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini



Gambar 2.4 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius

Sumber : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112001505> (2013)

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, berikut adalah persamaannya :

$$c_d = \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \quad (2-5)$$

Dimana :

C_d = Drag Coefficient

F_d = Force drag (N)

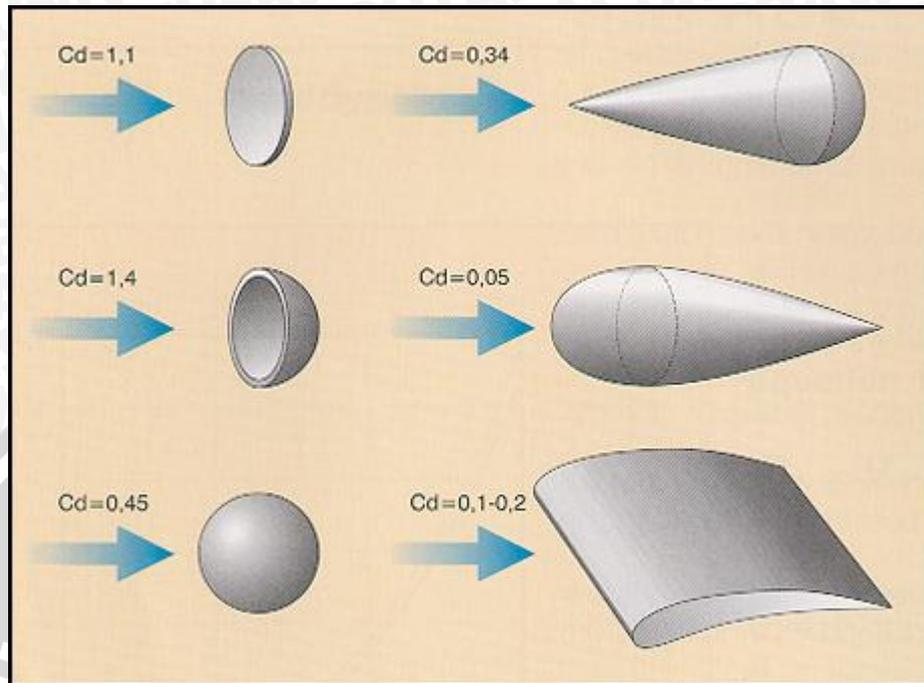
ρ = density (kg/m³)

v = speed (m/s)

A = area (m²)

Sumber : <http://gerrynaval.blogspot.com/2012/05/drag-coefficient.html>

untuk mengetahui besarnya *Coefficient of Drag* dari tiap-tiap bentuk sudu dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.5 : Macam Koefisien *Drag* Pada Beberapa Bentuk 3D Sederhana

Sumber : <http://www.aquaphoenix.com/lecture/matlab5/page2.html> (2013)

Dari gambardi atas terlihat perbedaan *Coefficient of Drag* pada berbagai macam bentuk sudu. 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 cembung dan cekung sudu yang menghadap kearah angin dan juga dari efek resirkulasi pada sisi cembung yang mengarahkan angin ke belakang melawan arah angin.

2.4.3 Panjang Lengkung Sudu Turbin Angin Savonius

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

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), Torsi (T), Efisiensi (η).

2.5.1. *Brake Horse Power* (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari turbin yang diukur setelah mengalami pembebanan yang disebabkan oleh generator, *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. Dalam percobaan nantinya BHP diukur dengan menggunakan motor listrik. Dengan mengukur besarnya tegangan yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator.

Seperti pada rumus :

$$P_{\text{generator}} = V \times I \quad (2-6)$$

Dimana :

$P_{\text{generator}}$ = Daya motor listrik (Watt)

V = Tegangan motor listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Besarnya BHP dapat dihitung setelah didapatkan harga $P_{\text{generator}}$ dengan rumus sebagai berikut :

$$BHP = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}} \quad (2-7)$$

Dimana :

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

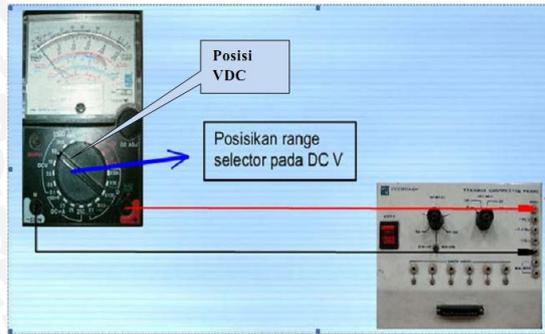
P_{motor} = Daya motor listrik (Watt)

$\eta_{\text{generator}}$ = Efisiensi generator (%)

- Prinsip pengukuran tegangan dan arus DC

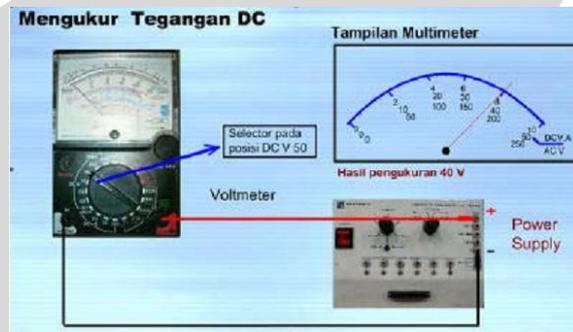
Pengukuran tegangan dan arus dilakukan dengan menggunakan multimeter elektronik dengan cara sebagai berikut :

- Pengukuran tegangan DC



Gambar 2.6 : Rangkaian Pengukuran Tegangan DC

Sumber : Sri (2008 : 78)

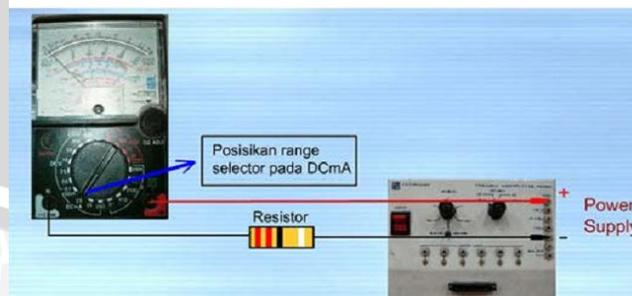


Gambar 2.7 : Penunjukkan Pengukuran Tegangan DC

Sumber : Sri (2008 : 78)

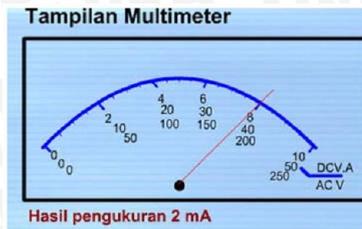
- Pengukuran arus DC

Pemasangan meter seri terhadap beban yang akan di ukur arusnya.



Gambar 2.8 : Rangkaian Pengukuran Arus DC

Sumber : Sri (2008 : 85)



Gambar 2.9 : Penunjukkan Pengukuran Arus DC

Sumber : Sri (2008 : 85)

2.5.2. Torsi (T)

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut (Bueche, 1988 : 16). Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$T = \frac{P}{2\pi n} \quad (2-8)$$

$$T = \frac{P_{\text{generator}}}{2\pi \frac{n_{\text{generator}}}{60}} \quad (2-9)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

$P_{\text{generator}}$ = Daya generator (Watt)

$n_{\text{generator}}$ = Putaran generator (rpm)

2.5.3. Efisiensi (η)

Untuk menyatakan performa suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan. Rumus efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{BHP}{P_{\text{input}}} \times 100\% \quad (\text{Fox, 1994 : 570}) \quad (2-10)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

BHP = Brake Horse Power / daya poros turbin (Watt)

P_{input} = masukan yang dikorbankan (Watt)

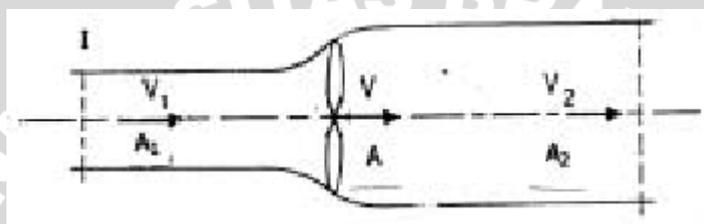
2.6 Persamaan Teori

2.6.1 Teori Betz

Teori Betz mengasumsikan bahwa suatu turbin ideal merupakan rotor tanpa naf (hub) dan mempunyai sudu-sudu yang tak terhingga jumlahnya tanpa hambatan (Reksoatmodjo, 2004). Juga diasumsikan bahwa aliran udara didepan dan belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (laminar). Jika V_1 = kecepatan angin didepan rotor, V_2 = kecepatan angin dibelakang rotor, dan V = kecepatan angin ketika melewati rotor, maka berdasarkan persamaan kontinuitas :

$$Q_1 = Q_2 \quad (2-11)$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2-12)$$



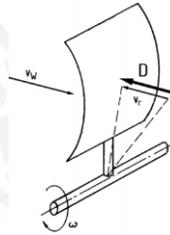
Gambar 2.10 : Asumsi Teori Betz

Sumber : Reksoatmojo 2004

2.6.2. Segitiga Kecepatan

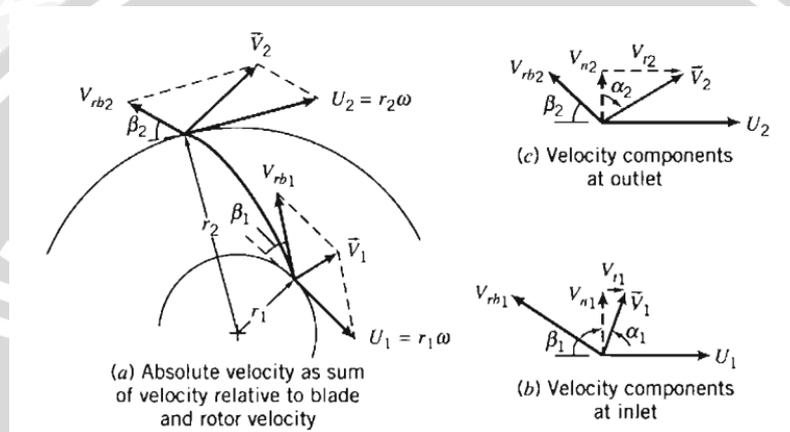
Pada mesin-mesin berputar yang memanfaatkan sudu, biasanya digunakan segitiga kecepatan untuk menghitung performa dasar dari sebuah tingkat turbin. Seperti gambar segitiga kecepatan terdiri dari tiga buah vektor kecepatan yaitu kecepatan absolut, kecepatan relatif, dan kecepatan tangensial. Setiap fluida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

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 :



Gambar 2.11 : Kondisi Aliran dan Gaya Aerodinamis Pada Sudu

Sumber : Hau (2005:87)



Gambar 2.12 : Skema Segitiga Kecepatan Pada Aliran Radial Normal

Sumber : Fox (2003 : 494)

Keterangan gambar :

β_1 = Sudut masuk sudu

β_2 = Sudut keluar sudu (relatif terhadap arah keliling lingkaran)

$U_1 = \omega r_1$ = Kecepatan sudu sisi masuk

$U_2 = \omega r_2$ = Kecepatan sudu sisi keluar (geometri + kecepatan operasional mesin)

V_1 = Kecepatan masuk absolut (kecepatan impeller + kecepatan aliran relatif terhadap sudu)

V_2 = Kecepatan keluar absolut

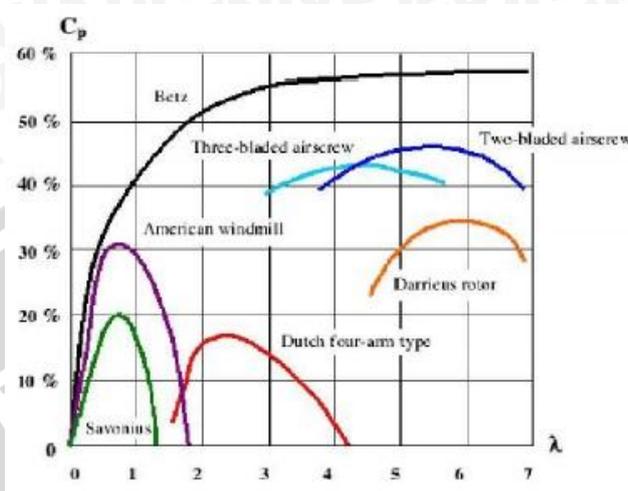
α_1 = Sudut kecepatan absolut fluida, diukur dari arah normal ke daerah aliran (komponen tangensial V_{t1} , komponen normal terhadap daerah aliran V_{n1} , kecepatan relatif terhadap sudu V_{rb1} setara, sudu tidak memiliki kecepatan normal)

Dengan segitiga kecepatan dapat digunakan untuk menghitung torsi dan daya ideal yang diserap dan dihantarkan impeller



2.6.3 Coeffisien power (C_p)

Besar daya yang dapat dibangkitkan dari putaran rotor turbin angin *savonius* dapat dihitung melalui pendekatan Betz. Percobaan Betz dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut:



Gambar 2.13 *Performance of main conventional wind machine*

Sumber : Bouraba (November 2004)

Berdasarkan teori Betz yang divisualisasikan dalam bentuk grafik pada gambar 2.13, menjelaskan ketidakmungkinan suatu desain turbin angin memiliki *coeffisien power* (C_p) 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 C_p untuk satu tipe turbin angin tidak selalu sama karena nilai C_p merupakan fungsi dari *tip speed ratio* atau λ . Untuk mengetahui nilai C_p maksimal yang mampu dihasilkan oleh sebuah turbin angin, maka perlu diketahui terlebih dahulu berapa nilai *tip speed ratio* yang dihasilkan dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (\text{Fox, 1994: 579}) \quad (2-23)$$

dimana :

- ω = Kecepatan sudut = $\frac{2\pi n}{60}$
- R = Radius rotor (m)
- V = Kecepatan angin (m/s)

2.6.4 Hipotesis

Panjang lengkung sudu yang lebih kecil akan menyebabkan bagian lengkung sudu yang menghadap dengan arah aliran angin semakin besar sehingga gaya dorong yang dihasilkan semakin besar hal ini mengakibatkan performa turbin angin savonius akan semakin besar.

