

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Iqbal (2011), dalam penelitiannya menggunakan variasi kecepatan angin pada *wind tunnel* sebesar 5, 6, dan 8 m/s. Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil bahwa diameter sudu mempengaruhi unjuk kerja turbin angin *Savonius*. Semakin besar diameter sudu maka luas bidang kontak sudu dengan angin akan semakin meningkat sehingga unjuk kerja (*tip speed ratio* dan efisiensi) menjadi maksimal hingga titik tertentu kemudian turun.

Riangga Aji (2011), dalam penelitiannya 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.

A. Damak *et al.* (2012), melakukan penelitian untuk mengetahui sifat aerodinamis dari sudu turbin angin *Savonius* dengan bentuk pada sebuah *open jet wind tunnel*. Sifat aerodinamis yang diteliti adalah pengaruh variasi angka *Reynold* dan *overlap ratio* terhadap unjuk kerja sudu turbin angin *Savonius* dengan *aspect ratio* 1.57 dan variasi angka *Italic Re* = 79,794, *Re* = 99,578, *Re* = 106,064 and *Re* = 147,059. Pada penelitian ini, didapatkan hasil bahwa angka *Reynold* dan *overlap ratio* berpengaruh terhadap unjuk kerja serta sudu dengan bentuk *twisted* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan sudu konvensional (sudut puntir 0°).

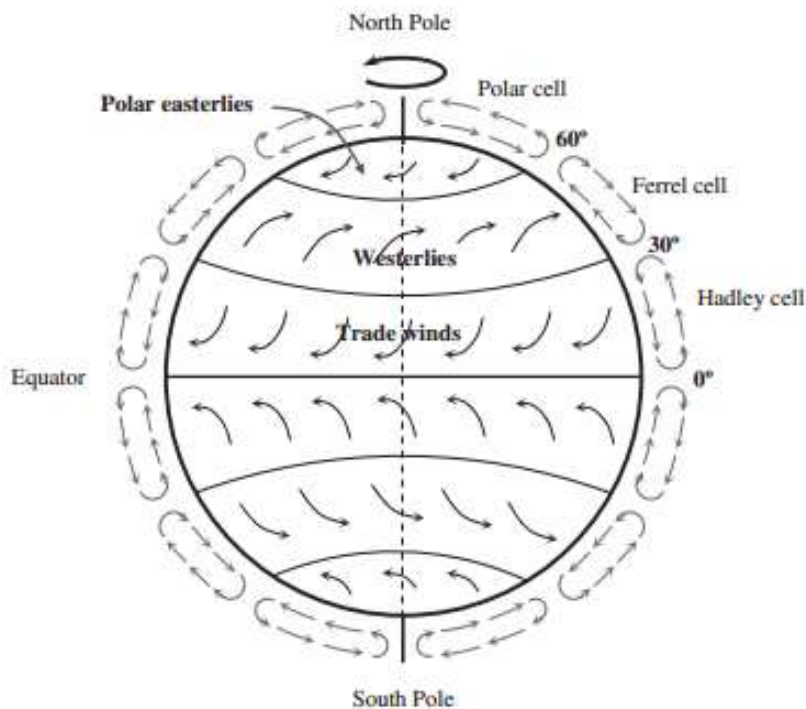
Andreas A (2014), dalam penelitiannya mengenai pengaruh jarak antar sudu pada turbin angin *Savonius* dilakukan dengan memakai variasi angin sebesar 2, 3, 4, dan 5 m/s. Variasi jarak celah pada penelitiannya, yaitu 0 - 3 cm. Pada penelitiannya diperoleh kesimpulan berupa kecepatan angin yang sama dengan jarak celah sudu berbeda, didapatkan daya poros tertinggi, torsi tertinggi dan efisiensi tertinggi pada turbin dengan jarak celah 1 cm. Maka dapat disimpulkan unjuk kerja tertinggi diperoleh pada turbin dengan jarak antar sudu 1 cm.

Andri kusbiantoro (2013), dalam penelitiannya tentang pengaruh panjang sudu pada turbin angin *Savonius*. Pada penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan jarak celah sudu berpengaruh terhadap performa turbin angin *Savonius* dimana performa terbesar pada setiap kecepatan angin dimiliki oleh turbin angin dengan panjang sudu 6/12 lingkaran.

2.2 Angin

2.2.1 Pengertian dan Proses Terbentuknya Angin

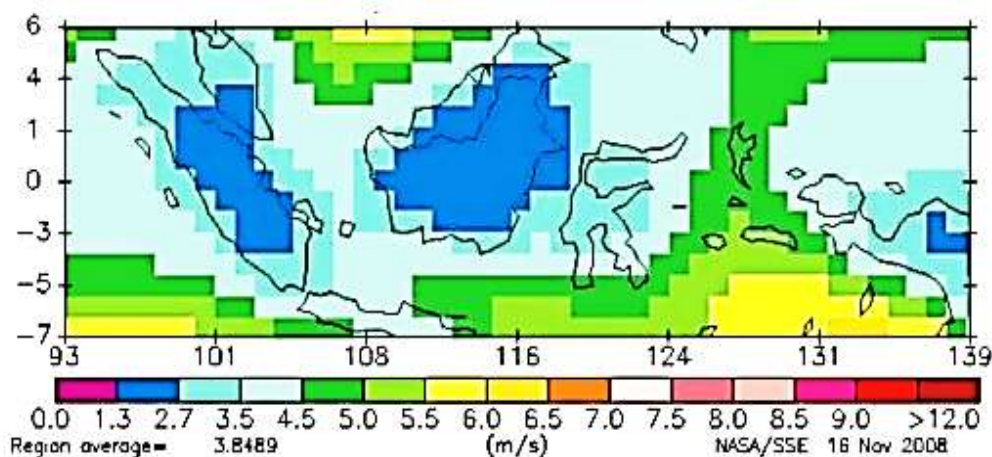
Energi angin adalah aliran angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu diantara dua tempat dengan kecepatan tertentu. Udara yang panas di suatu tempat di permukaan bumi menjadi lebih ringan dan naik ke atas. Untuk mengisi kekosongan udara di tempat tersebut, maka udara yang lebih dingin di tempat lain akan bergerak ke tempat yang panas sehingga terjadilah pergerakan angin/ udara. Energi yang terkandung pada angin adalah energi kinetik yang dapat dikonversikan menjadi energi mekanik hingga menjadi energi listrik dengan menggunakan sebuah turbin angin yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan pompa air, menggiling padi, menggergaji kayu, hingga dapat membangkitkan energi listrik yang disebut Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) (Rachman.A, 2012).



Gambar 2.1 Sirkulasi angin pada atmosfer
Sumber: Tong (2010:6)

2.2.2 Potensi Energi Angin di Indonesia

Kecepatan angin Indonesia memiliki kecepatan rata-rata 3,8489 m/s dengan rentang kecepatan angin 2–7 m/s. Dengan karakteristik kecepatan seperti itu, Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10 kW) dan menengah (10–100 kW) dengan penggunaan energi untuk pompa, lampu, alat-alat elektronik (Rachman.A, 2012).



Gambar 2.2 Kecepatan angin rata-rata tahunan di Indonesia yang diambil pada ketinggian 50 m
 Sumber: <http://konversi.files.wordpress.com/2009/01/nemi10.jpg?w=640> (diakses pada tanggal 25 Juli 2017)

Tabel 2.1

Pengelompokkan Potensi Energi Angin, Pemanfaatan dan Lokasi Potensial

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

Sumber: LAPAN (2005)

Hasil pemetaan yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 12 lokasi menunjukkan beberapa wilayah memiliki kecepatan angin diatas 5 m/s dan kapasitas diatas 100 (kW), yaitu Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Hal tersebut dapat menjadi motivasi untuk mengembangkan pembangkit energi angin di Indonesia.

2.2.3 Teori Energi Angin

2.2.3.1 Perhitungan Daya Angin Ideal

Energi kinetik didapat ketika sebuah obyek yang memiliki massa bergerak dengan kecepatan translasi atau rotasi. Energi kinetik dapat dinyatakan dengan rumus:

$$Ek = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana m adalah massa udara (kg) dan v (m/s) adalah rata-rata kecepatan angin untuk waktu tertentu. Tenaga angin dapat ditentukan dengan differensial dari energi kinetik udara terhadap waktu, sehingga didapat:

$$P_w = \frac{dEk}{dt} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 \dots\dots\dots (2-2)$$

Energi udara yang dapat dikonversikan oleh turbin angin jumlahnya terbatas. Aliran udara akan mengenai sudu dari turbin angin dan memutar poros turbin angin tersebut. Hubungan antara luasan sudu dengan dengan laju alir massa udara sebagai berikut.

$$\dot{m} = \rho A v \dots\dots\dots(2-3)$$

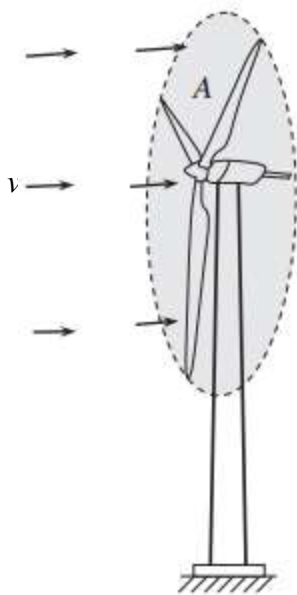
variabel A merupakan luas sapuan turbin, untuk turbin angina sumbu horizontal

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots(2-4)$$

Sedangkan pada turbin angin *vertical*

$$A = D H \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana A merupakan luas sapuan turbin, r adalah jari jari sudu, D adalah diameter sudu, dan H adalah tinggi sudu.



Gambar 2.3 Luas daerah sapuan sudu
Sumber: Tong (2010:10)

Dimana ρ adalah berat jenis udara, A adalah luas daerah sapuan sudu dan v adalah kecepatan.

Kemudian dilanjutkan dengan mensubtitusikan persamaan (2-2) dengan (2-3), sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2-6)$$

Sumber: Tong (2010:9)

Dimana:

ρ = berat jenis udara pada kondisi standar 27°C, tekanan 1 atm (1,2 kg/m³)

v = kecepatan (m/s)

P_w = daya angin (Watt)

2.2.3.2 Teori Momentum Betz

Teori efisiensi maksimal pada sebuah turbin angin ideal telah dirumuskan oleh Lanchester pada tahun 1915 dan Betz pada tahun 1920. Teori tersebut menyatakan bahwa tidak ada turbin angin yang dapat merubah energi kinetik dari aliran angin menjadi energi mekanik melebihi $16/27$ (59,26%). Nilai tersebut diketahui sebagai *Lanchester-Betz Limit* atau *Betz Limit*. Berikut merupakan penjabaran teori momentum Betz (Tong, 2010:21).

Jika v_1 adalah kecepatan angin di depan rotor dan v_2 adalah kecepatan angin dibelakang rotor dan v adalah kecepatan angin pada saat melalui rotor (Gambar 2.2), maka berdasarkan hukum kontinuitas:

$$m = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot S \cdot v = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (2-7)$$

Sumber: Tong (2010:21)

dimana:

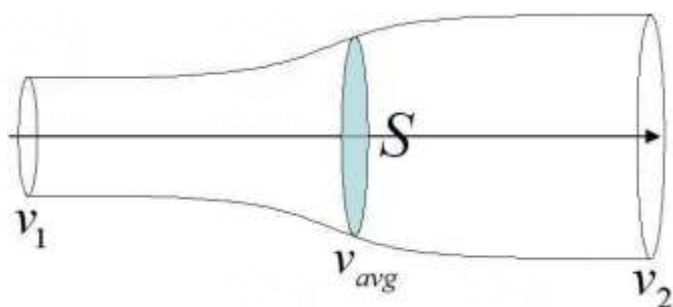
v_1 = kecepatan angin di depan rotor

v_2 = kecepatan angin setelah melewati rotor

v = kecepatan pada rotor

ρ = massa jenis udara

S = luas sapuan turbin



Gambar 2.4 Asumsi teori betz

Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/Betz' law](http://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27_law) (diakses pada tanggal 20 juli 2017)

Gaya yang bekerja pada angin dapat dituliskan sebagai:

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots (2-8)$$

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$F = \dot{m} \cdot \Delta v \dots\dots\dots (2-10)$$

$$F = \rho \cdot S \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots (2-11)$$

Kerja yang dihasilkan oleh gaya dapat dituliskan secara bertahap sebagai

$$dE = F \cdot dx \dots\dots\dots (2-12)$$

dan daya yang dihasilkan angin adalah

$$P = \frac{dE}{dt} = F \cdot \frac{dx}{dt} = F \cdot v \dots\dots\dots(2-13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2-11) ke persamaan (2-13) maka didapat

$$P = \rho \cdot S \cdot v^2 (v_1 - v_2) \dots\dots\dots(2-14)$$

dan dengan pendekatan energi kinetik, daya dapat dihitung dengan

$$P = \frac{dE}{dt} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) \dots\dots\dots (2-16)$$

Substitusi persamaan (2-3) ke persamaan (2-16) maka didapat persamaan.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) \dots\dots\dots (2-17)$$

Kedua pendekatan yang dilakukan dengan pendekatan kerja yang dihasilkan dari energy angin dan pendekatan dengan energi kinetik memiliki persamaan yang valid. Kedua persamaan tersebut dapat dituliskan.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) = \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots (2-18)$$

Dengan memeriksa kedua persamaan, didapatkan beberapa hasil persamaan, terutama persamaan:

$$\frac{1}{2} \cdot (v_1^2 - v_2^2) = v \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\frac{1}{2} \cdot (v_1 - v_2) \cdot (v_1 + v_2) = v \cdot (v_1 - v_2) \dots\dots\dots (2-20)$$

maka

$$v = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \dots\dots\dots (2-21)$$

Meskipun demikian, kecepatan angin pada rotor dapat dianggap sebagai kecepatan angin rata-rata dari kecepatan angin di depan dan setelah melewati rotor. Kembali pada persamaan (2-17)

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot (v_1^2 - v_2^2) \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) \dots\dots\dots (2-23)$$

Substitusi dengan persamaan (2-19)

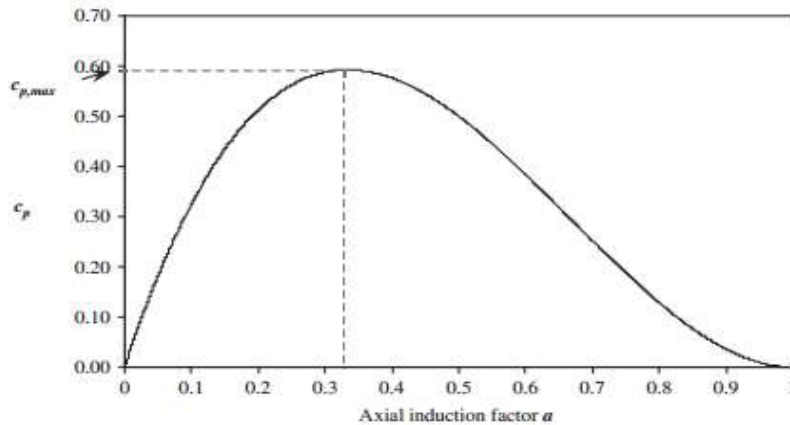
$$\dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot (v_1 + v_2) \cdot (v_1^2 - v_2^2) \dots\dots\dots (2-24)$$

$$\dot{E} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot S \cdot (v_1^3 - v_1 v_2^2 + v_2 v_1^2 - v_2^3) \dots\dots\dots (2-25)$$

$$\dot{E} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 + \left(\frac{v_2}{v_1} \right) - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^3 \right) \dots\dots\dots (2-26)$$

Dengan menurunkan \dot{E} menggunakan hubungan $\frac{v_2}{v_1}$ untuk kecepatan fluida yang diketahui v_1 dan diketahui juga luas S, terdapat titik nilai maksimum untuk \dot{E} Gambar 2.5

Hasilnya \dot{E} mencapai nilai maksimum ketika $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik penentuan nilai Cp maksimum (sumbu x= $\frac{v_2}{v_1}$ dan y= Cp)

Sumber: Tong (2010:22)

Substitusi nilai ini menghasilkan

$$P_{max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot (v_1^3) \dots\dots\dots (2-27)$$

Daya yang dihasilkan dari tabung fluida dengan luas penampang area S dan kecepatan v_1 adalah

$$P = \frac{1}{2} \cdot Cp \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 \dots\dots\dots (2-28)$$

Daya acuan untuk perhitungan efisiensi Betz adalah kekuatan dalam fluida bergerak di dalam silinder dengan luas penampang area S dan kecepatan v_1 adalah

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v_1^3 \dots\dots\dots (2-29)$$

2.3 Turbin Angin

2.3.1 Pengertian Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang berfungsi mengambil energi kinetik dari angin yang berhembus dimana energi kinetik tersebut dikonversi menjadi energi yang dapat dipakai dalam keperluan energi mekanik, elektrik, dan termal. Fungsi utama dari energi angin adalah untuk menghasilkan tenaga mekanik maupun elektrik yang ekonomis tanpa menghasilkan polusi udara dengan menggunakan sumber-sumber dari alam. Fungsi dari generator listrik angin adalah untuk mengkonversi energi angin menjadi bentuk yang sangat berguna, yaitu kelistrikan. Desain dasar membutuhkan konversi energi dengan efisiensi yang rendah dan harga yang murah. Langkah-langkah untuk mengkonversi energi angin diantaranya adalah energi kinetik angin, dikonversi menjadi energi mekanik ketika angin melewati sudu turbin angin sehingga dapat memutar poros dan kemudian ditransmisikan

oleh *gearbox* ke generator, sehingga pada generator terjadi konversi energi mekanik menjadi energi listrik (Amirat, Y et all, 2007).

2.3.2 Klasifikasi Turbin Angin

Turbin angin dapat diklasifikasikan berdasarkan perbedaan sumbu pada poros sudu menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal.

1. Turbin angin sumbu horizontal



Gambar 2.6 Turbin angin sumbu horizontal

Sumber: www.poweredbythenature.com (diakses pada tanggal 31 Juli 2017)

Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros horizontal dan seluruh komponen-komponen pembangkitnya seperti *gearbox* dan generatornya berada di atas tower. Turbin angin sumbu horizontal merupakan jenis turbin angin yang paling banyak digunakan. Turbin ini terdiri dari sebuah menara yang di puncaknya terdapat sebuah baling-baling yang berfungsi sebagai sudu dan menghadap atau membelakangi arah angin. Turbin angin jenis ini yang banyak dibuat sekarang mempunyai dua atau tiga bilah baling-baling.

2. Turbin angin sumbu vertikal



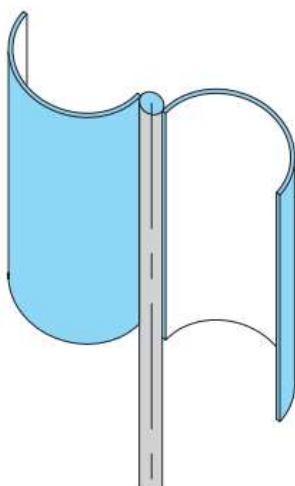
Gambar 2.7 Turbin angin sumbu vertikal

Sumber: Technologygreenenergi-e-online.blogspot.com (diakses pada tanggal 30 Juli 2017)

Turbin angin sumbu vertikal mempunyai banyak kelebihan khususnya pada sisi desain yang sederhana dan biaya yang lebih murah, jika dibanding dengan tipe turbin horizontal. Turbin angin vertikal pada awalnya dikenal dan digunakan pada sistem kincir angin. Desain awal turbin jenis ini ditemukan di Persia sekitar tahun 500-900 M, dimana digunakan untuk memompa air dan penggilingan gandum. Namun hak paten atas konsep turbin angin vertikal dilakukan pertama kali oleh Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1925 di Prancis. Perlu diketahui bahwa jenis turbin angin sumbu vertikal ada 5 tipe, yaitu: SC-Darrieus (*Straight Blade*), H-Darrieus (*Straight Blade*), Darrieus (*Curved Blade*), Gorlov (*Helical Blade*) dan *Savonius (Straight/Skewed)*. Keunggulan turbin angin vertikal jika dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal yaitu bentuk sudu yang sederhana, rendah *noise*, kerja pada aliran turbulensi lebih baik, memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dinamo dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan, tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, Memiliki kecepatan awal angin yang rendah daripada jenis sumbu horizontal. Kekurangannya yaitu kecepatan angin dibagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan turbin angin sumbu horizontal.

2.4 Turbin Angin *Savonius*

2.4.1 Pengertian Turbin Angin *Savonius*

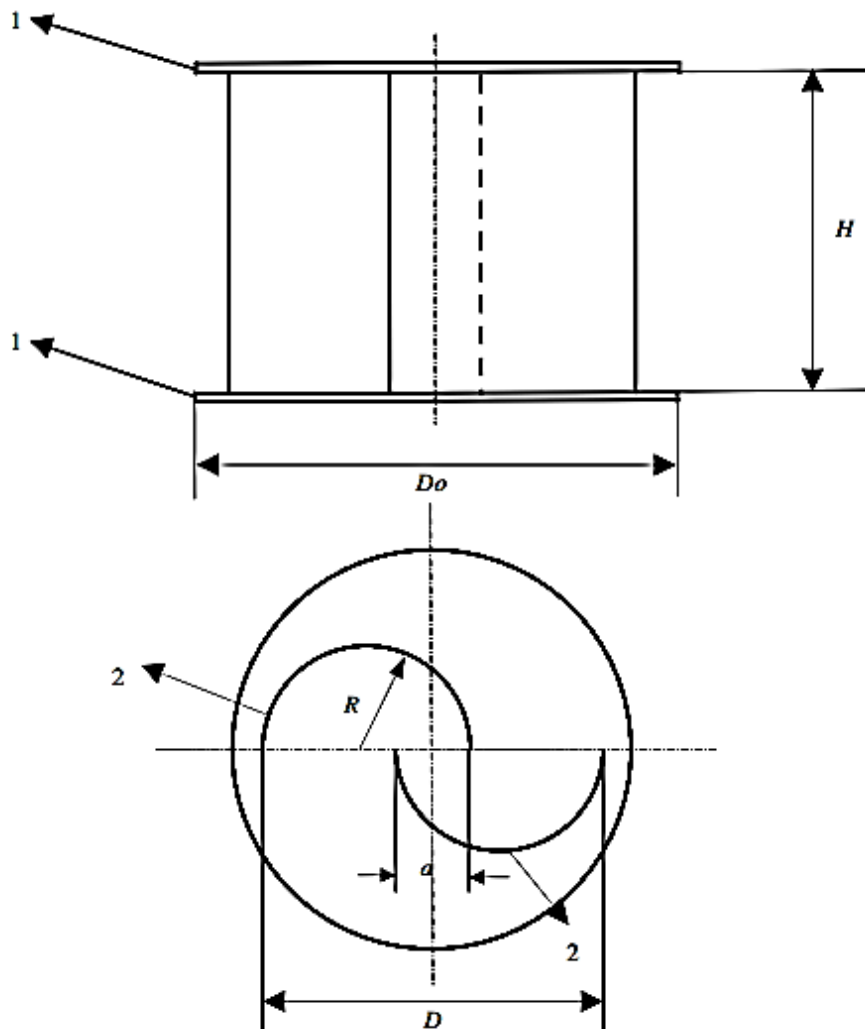


Gambar 2.8 Turbin angin *Savonius*
Sumber: A. Hermami (2012)

Sudu *Savonius* didesain oleh insinyur Prancis S. J. *Savonius* pada tahun 1922. Turbin *Savonius* merupakan turbin dengan tipe *drag*. Turbin *Savonius* memiliki konstruksi yang

relatif lebih sederhana dibandingkan dengan jenis turbin lainnya. Dalam bentuk sederhananya, turbin angin *Savonius* dapat terdiri dari dua potongan setengah silinder yang terhubung dengan poros dalam bentuk bersilangan, sehingga membentuk huruf “S”, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.8 (A. Hermami 2012:58-59).

Tipe ini memiliki efisiensi yang rendah karena gaya angin yang mengenai sebuah bidang di transformasikan menjadi gaya drag yang lebih besar daripada gaya angkat. Menurut penelitian koefisien tenaganya (C_p) tidak lebih dari 40%, sehingga cocok untuk penghasil daya yang rendah dengan kecepatan angin kecil, tetapi menghasilkan torsi yang cukup besar. Sudu *Savonius* merupakan jenis sudu untuk turbin angin yang paling sederhana dan versi besar dari anemometer. Untuk geometri sudu turbin angin *Savonius* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Geometri sudu *savonius*
Sumber: M.A Kamoji *et all* (2008)

Dimana:

Nomor 1= *End plate*

Nomor 2 = Sudu turbin angin

R	= Jari-jari sudu	D	= Diameter sudu
Do	= Diameter <i>End plate</i>	a	= Jarak antar sudu

2.4.2 Prinsip Kerja Turbin Angin *Savonius*

Turbin angin jenis ini memiliki prinsip kerja yang sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki angin yang mengalir, kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energi mekanik poros.

Turbin angin sumbu vertikal adalah jenis turbin angin tipe *drag*, dimana turbin ini menghasilkan daya poros dengan memanfaatkan *drag* yang dihasilkan dari tiap-tiap sudunya. *Drag* merupakan gaya yang bekerja sejajar atau parallel dengan arah angin yang menumbuk sudu (White, 1986:412).

Pengaruh dari *drag* dan *coefficient of drag* terhadap kinerja turbin angin dapat dilihat dari daya poros yang dihasilkan oleh turbin angin, dimana daya *drag* yang ditimbulkan karena angin akan memutar sudu sehingga menimbulkan torsi dari turbin tersebut. Peningkatan nilai torsi dari turbin akan meningkatkan putaran poros dari turbin angin. Semakin tinggi putaran poros maka daya poros yang dihasilkan akan meningkat kemudian efisiensi yang dihasilkan juga akan meningkat sehingga kinerja dari turbin angin juga akan meningkat. Untuk mengetahui besarnya *coefficient of drag* dari tiap-tiap bentuk sudu dapat dilihat pada Tabel 2.2 White (1986:463).

Besarnya gaya drag yang dihasilkan oleh tiap sudu bergantung pada nilai *coefficient of drag* dengan rumus berikut:

$$C_d = \frac{Fd}{\frac{1}{2} \rho A v^2} \dots\dots\dots (2-30)$$

Sumber: White (1986:413)

Dimana:

Fd = Gaya Drag (kg.m/s²)

ρ = masa jenis udara (kg/m³)

v = kecepatan angin (m/s)

Tabel 2.2
Koefisien *Drag* Tiap-Tiap Bentuk Sudu

	SHAPE	C_D		SHAPE	C_D
1)		0.47	12)		1.17
2)		0.38	13)		1.20
3)		0.42	14)		1.16
4)		0.59	15)		1.60
5)		0.81	16)		1.55
6)		0.50	17)		1.55
7)		1.17	18)		1.98
8)		1.17	19)		2.00
9)		1.42	20)		2.30
10)		1.38	21)		2.20
11)		1.05	22)		2.05

Sumber: White (1986:463)

Dari Tabel 2.2 terlihat perbedaan *coefficient of drag* pada bentuk lingkaran dengan dua posisi berbeda. Dari perbedaan tersebut drag yang dihasilkan masing masing sudu juga berbeda sehingga resultan gaya-gaya yang bekerja akan menghasilkan rotor berputar dengan kata lain torsi pada turbin angin *Savonius* dihasilkan dari perbedaan tekanan antara bentuk cembung dan cekung sudu yang menghadap ke arah angin dan juga dari efek resirkulasi pada sisi cembung yang mengarahkan angin ke belakang melawan arah angin.

2.5 Parameter-Parameter Unjuk Kerja Turbin Angin *Savonius*

2.5.1 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah keluaran dari sebuah pengukuran dengan pembebanan 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 yang dilakukan, nilai BHP dapat diketahui dengan mengukur arus dan tegangan listrik dari generator dengan menggunakan multimeter. Dengan mengukur besarnya tegangan yang dihasilkan, dapat diketahui besarnya daya generator. Seperti pada rumus:

$$P_{generator} = V \times I \dots\dots\dots(2-31)$$

Sumber: Buche, F.J. (1998)

Dimana:

$P_{generator}$ = Daya generator listrik (Watt)

V = Tegangan generator listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

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

$$BHP = \frac{P_{generator}}{\eta_{generator}} \dots\dots\dots(2-32)$$

Sumber: Buche, F.J. (1998)

Dimana:

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

$P_{generator}$ = Daya generator listrik (Watt)

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

2.5.2 Torsi (T)

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut.

$$T = \frac{P_{generator}}{2\pi \frac{n_{generator}}{60}} \dots\dots\dots (2-33)$$

Sumber: Buche, F.J. (1998)

Dimana:

T = Torsi (N/m)

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

$n_{generator}$ = 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:

$$\eta = \frac{BHP}{P_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-34)$$

Sumber: Buche, F.J. (1998)

Dimana:

η = Efisiensi (%)

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

P_{input} = Daya Angin (Watt)

2.6 Hipotesa

Sesuai dengan dasar teori dan penelitian sebelumnya bahwa semakin kecil jari-jari kelengkungan sudu pada diameter dan tinggi sudu yang sama akan mempengaruhi *coefisient of drag* sehingga akan mengakibatkan performa turbin angin *Savonius* menjadi meningkat.