

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dodyk Afrizal (2012), dalam penelitiannya menggunakan daya dan efisiensi sebagai variabel terikat. Sedangkan variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah *blade*, kecepatan angin, sudut *pitch* dan variasi beban. Penelitian tersebut menggunakan kipas angin yang diarahkan langsung ke turbin angin *vertical axis* ini, kemudian diberi variasi beban sebesar 200, 250 dan 300 gram. Beban tersebut akan terangkat dan menempuh jarak 10 cm, pada saat itu kita ukur berapa lama beban ini terangkat. Kemudian hasil dari pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung berapa besar daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin ini. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa turbin angin vertikal aksis ini menghasilkan daya maksimal sebesar $4,9 \times 10$ Watt pada beban yang terangkat 300 gram dengan sudut *pitch* 15° . Sedangkan efisiensi maksimal yang dihasilkan adalah 7,84 %.

Sulistiyono (2013), yang dalam penelitiannya telah menggunakan variasi radius bagian depan sudu dengan menggunakan ukuran 5 mm, 10 mm, dan 15 mm untuk radius sudunya sebagai variabel bebas. Sedangkan variabel terikatnya yaitu daya poros, torsi, dan efisiensi dari turbin. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan udara ke instalasi turbin angin dengan kecepatan angin 3 m/s sampai dengan 7 m/s dengan mengatur bukaan katup pada *blower* dengan variasi radius bagian depan 5 mm, 10 mm, dan 15 mm pada jarak celah antar sudu 50 mm masing-masing sebanyak tiga kali. Pengambilan data berupa putaran pada poros dengan menggunakan *digital tachometer* serta pengambilan data berupa kuat arus dan tegangan listrik yang dihasilkan motor listrik menggunakan *digital multimeter*.

2.2 Angin

2.2.1 Proses Terbentuknya Angin

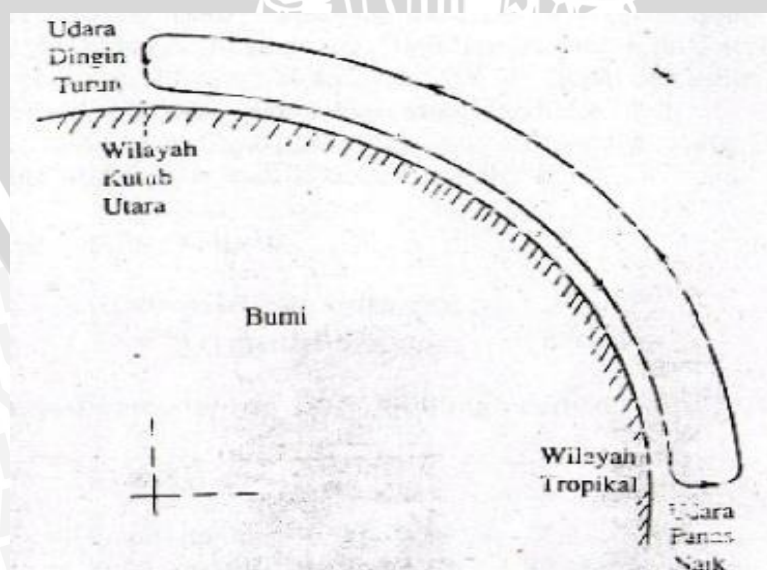
Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Kecepatan angin dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya letak tempat dimana kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dari yang jauh dari garis khatulistiwa. Semakin tinggi tempat, semakin

kencang pula angin yang bertiup, hal ini disebabkan oleh pengaruh gaya gesekan yang menghambat laju udara. Di permukaan bumi, gunung, pohon, dan topografi yang tidak rata lainnya memberikan gaya gesekan yang besar. Semakin tinggi suatu tempat, gaya gesekan ini semakin kecil.

Pemanfaatan tenaga angin di Indonesia saat ini masih jauh dari optimal. Dengan letak Indonesia sebagai negara yang terletak di garis khatulistiwa sebenarnya memiliki potensi energi angin yang sangat memadai bila dapat dimanfaatkan dengan baik. Angin memang tidak nampak wujudnya namun dapat diketahui melalui efek yang disebabkan oleh angin tersebut. Contohnya awan yang berada di langit tidak akan dapat bergerak bila tidak ada angin, daun – daun yang bergerak di pohon juga salah satu efek yang disebabkan oleh angin.

Penggunaan turbin angin dapat digunakan di berbagai tempat. Di dataran rendah, dataran tinggi maupun laut juga dapat diterapkan sistem turbin angin tersebut. Kelebihan dari energi angin adalah dapat mengurangi ketergantungan akan sumber energi yang berasal dari fosil yang tidak dapat diperbaharui.

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

Arah datang angin dan kecepatannya dapat diketahui dengan menggunakan alat bantu. Beberapa macam alat bantu untuk mengetahuinya 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.



Gambar 2.2 Macam-macam Alat Pengukur Angin

Sumber: jendeladenngabei.blogspot.com/2012/11/alatukurangin.html

Selain penggunaan alat bantu yang telah disebutkan diatas. Keberadaan angin juga dapat diketahui dengan menggunakan skala Beaufort yang sampai sekarang masih digunakan secara internasional. Berikut adalah tabel skala Beaufort yang dimaksud :

Tabel 2.1 Tabel Skala Beaufort

Skala Beaufort	Kekuatan Angin		Keterangan
	m/s	Nama	
0	0,0-0,5	Angin reda	Tiang asap tegak
1	0,6-1,7	Angin sepoi-sepoi	Tiang asap miring
2	1,8-3,3	Angin lemah	Daun-daun bergerak
3	3,4-5,2	Angin sedang	Ranting-ranting bergerak
4	5,3-7,4	Angin tegang	Dahan-dahan bergerak
5	7,5-9,8	Angin keras	Batang pohon bergerak
6	9,9-12,4	Angin keras sekali	Batang pohon besar bergerak
7	12,5-15,2	Angin ribut	Dahan-dahan patah
8	15,3-18,2	Angin ribut hebat	Pohon-pohon kecil patah
9	18,3-21,5	Angin badai	Pohon-pohon besar patah
10	21,6-25,1	Angin badai hebat	Rumah-rumah roboh
11	25,2-29,0	Angin taifun	Benda berat berterbangan
12	29 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

2.2.2 Energi Angin

Energi angin dapat didapatkan dari lingkungan sekitar yang disebabkan oleh perbedaan suhu. Energi kinetik didapat ketika sebuah obyek yang memiliki massa bergerak dengan kecepatan translasi atau rotasi. Energi kinetik dapat dinyatakan dengan rumus:

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

Dimana :

E = energi dari udara yang bergerak (joule)

m = massa udara (kg)

v = kecepatan angin pada waktu tertentu (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 :

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

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

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

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

$$A = d \times h$$

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

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

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

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

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

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

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

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

dimana :

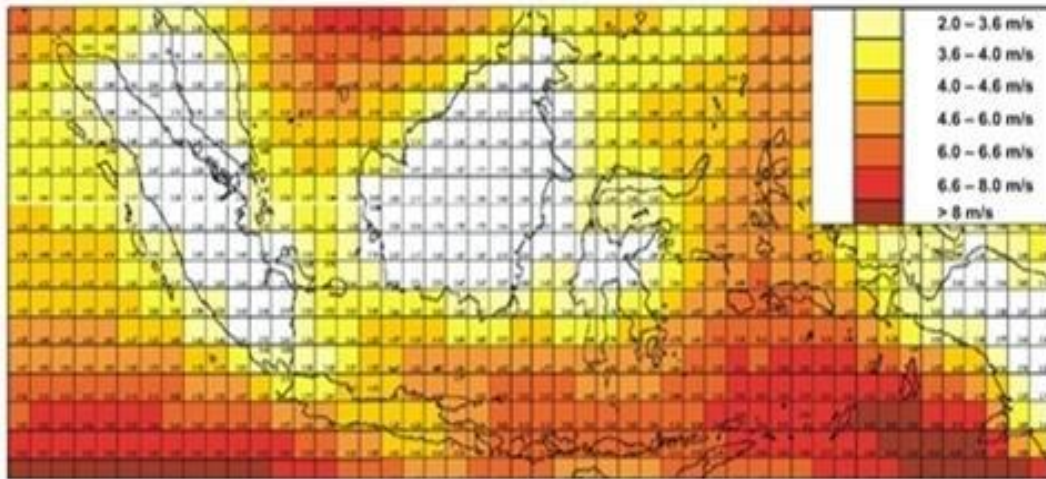
$$P = \text{daya angin} \quad (\text{watt})$$

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

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

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

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



Gambar 2.3 Peta potensi angin Indonesia (sumber: konversi.wordpress.com, 6 November 2008)

Indonesia seperti kebanyakan negara tropis, memiliki potensi angin yang rendah. Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa potensi angin terbesar di Indonesia terletak di kepulauan Sumba, Sumbawa, Lombok dan Bali, yaitu sebesar 4,6 – 6 m/s.

2.3 Turbin Angin

2.3.1 Pengertian Turbin Angin

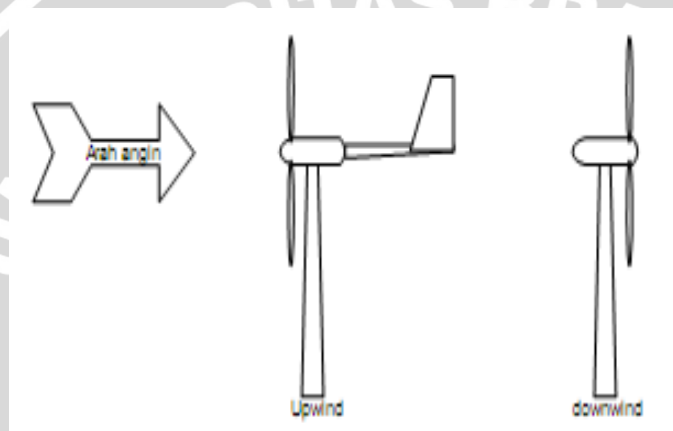
Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Kini 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.

Saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), namun turbin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak dapat diperbaharui (Contoh: batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Turbin angin dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu: turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal.

2.3.1. Turbin Angin poros horizontal atau *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)*.

Turbin angin dengan sumbu horizontal mempunyai sudu yang berputar dalam bidang vertikal seperti halnya propeler pesawat terbang. Gambar 2.3 memperlihatkan berbagai jenis turbin angin horizontal. Turbin angin biasanya mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus di mana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT).



Gambar 2.4 : Turbin Angin Sumbu Horizontal
Sumber : Daryanto (2007)

2.3.2. Turbin angin poros vertikal atau *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*.

Berbagai tipe turbin angin vertikal yang sering digunakan diantaranya adalah Tipe Savonius, Tipe Darrieus, dan Tipe H-Rotor.

a. Tipe Savonius

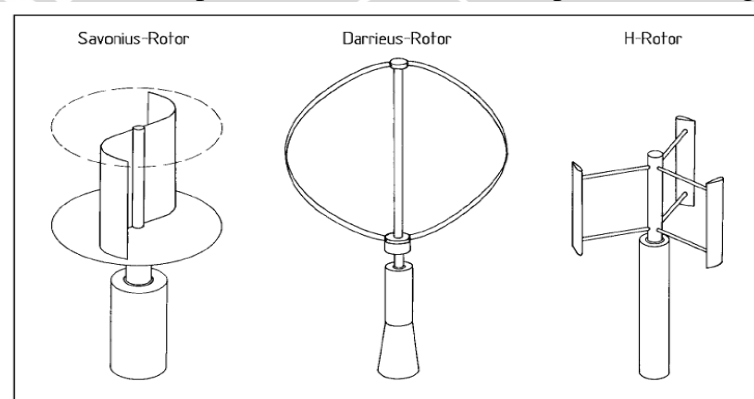
Turbin angin tipe Savonius diciptakan oleh seorang insinyur Finlandia, SJ Savonius pada tahun 1929. Turbin tipe ini merupakan jenis yang paling sederhana. Kincir Savonius dapat berputar karena adanya gaya dorong dari angin, sehingga putaran rotor pun tidak akan melebihi kecepatan angin. Meskipun daya koefisien untuk jenis turbin angin bervariasi antara 30% sampai 45%, menurut banyak peneliti untuk jenis Savonius biasanya tidak lebih dari 25%. Jenis turbin ini cocok untuk aplikasi daya yang rendah dan biasanya digunakan pada kecepatan angin yang berbeda. (Savonius SJ. The S-Rotor and its applications : 1931)

b. Tipe Darrieus

Tipe Darrieus ditemukan oleh seorang insinyur Perancis George Jean Marie Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Kincir angin Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudu bilah yang diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan Savonius, kincir angin Darrieus bergerak dengan memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.

c. Tipe H-rotor

Type H-rotor dikembangkan di Inggris melalui penelitian yang dilakukan selama 1970-1980an, diuraikan bahwa mekanisme yang digunakan pada pisau berbilah lurus (Straight-bladed) Darrieus tidak diperlukan, ternyata ditemukan bahwa efek hambatan yang diciptakan oleh sebuah pisau akan membatasi kecepatan aliran angin



Gambar 2.5 : Varian Turbin Angin Sumbu Vertikal

Sumber : Hau E, (2006)

2.4 Turbin Angin Darrieus

2.4.1 Pengertian Turbin Angin Darrieus

Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh George Jean Marie Darrieus yang merupakan seorang *aeronautical engineer* asal Perancis pada tahun 1920. Contoh turbin Darrieus ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Salah Satu tipe Turbin poros vertikal.
Sumber: Daryanto (2007).

Turbin Angin poros vertikal (Darrieus) memiliki keunggulan diantaranya tidak harus mengubah posisinya jika arah angin berubah, kincir angin poros vertikal juga memiliki kecepatan awal yang lebih rendah dibandingkan dengan kincir angin poros horizontal, sehingga cocok untuk digunakan untuk daerah yang memiliki potensi angin yang rendah seperti Indonesia. Namun kincir angin poros vertikal juga memiliki beberapa kelemahan, diantaranya kebanyakan kincir angin jenis ini membutuhkan energi awalan untuk mulai berputar.

2.4.2 Prinsip Kerja Turbin Angin Darrieus

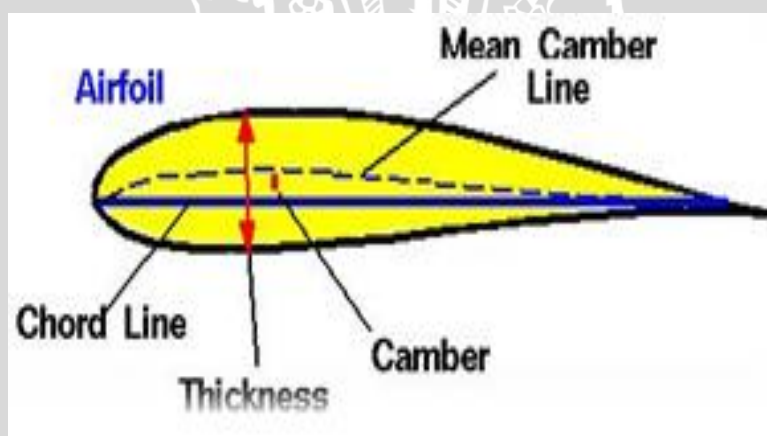
Prinsip kerja turbin *Darrieus* adalah akibat kecepatan aliran udara maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya *aerodinamis*. Gaya angkat (*lift*) dihasilkan karena bentuk airfoil dari sudu turbin. Sudu-sudu ini memotong udara dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang dapat mengakibatkan terjadinya gaya angkat, yang kemudian mendorong sudu bergerak ke depan. Untuk mendorong turbin, torsi yang disebabkan oleh gaya angkat (*lift*) harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) sehingga menghasilkan torsi netto.

2.4.3 Macam – macam Jenis Sudu Turbin Angin *Darrieus*

2.4.3.1 Airfoil NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*)

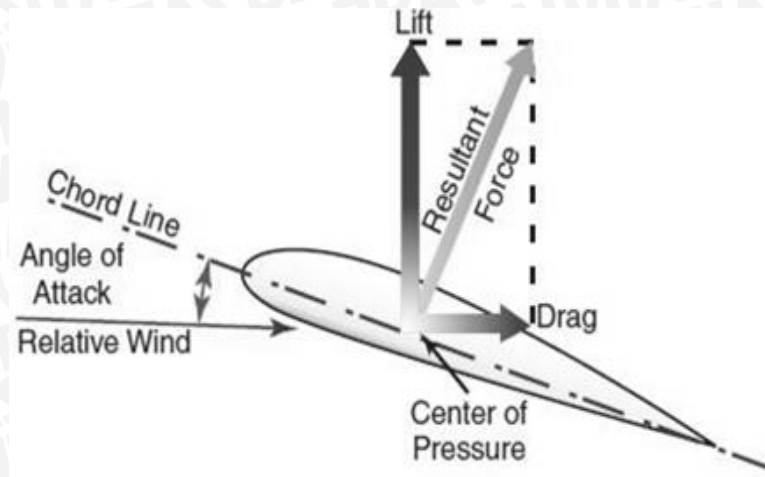
NACA *airfoil* adalah salah satu bentuk aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bagian lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan lift (gaya angkat yang dihasilkan) (Mulyadi, 2010). Gaya – gaya yang bekerja pada *airfoil* dapat dilihat pada gambar 2.8.

Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujiannya dilakukan pada bilangan *Reynold* yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hal ini sering dirangkum oleh beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, maksimum bentuk melengkung, posisi max ketebalan, posisi maks bentuk melengkung, dan hidung jari-jari



Gambar 2.7 NACA Airfoil Geometry

Sumber: Benson (2010)

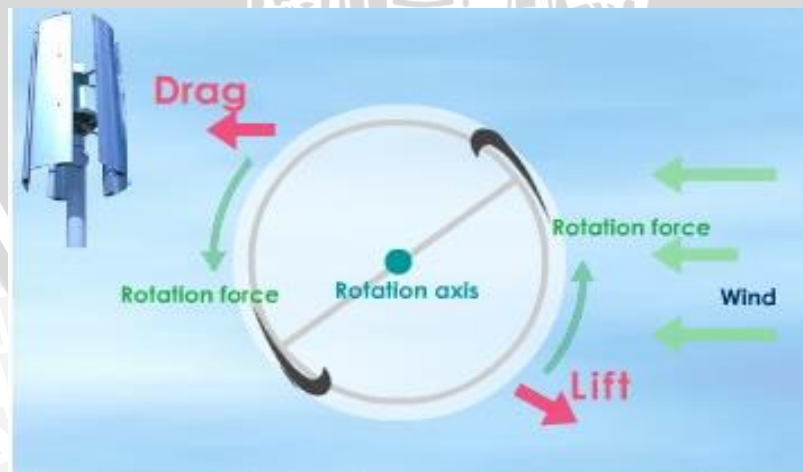


Gambar 2.8 Gaya pada *Airfoil*

Sumber: Suseno (2010)

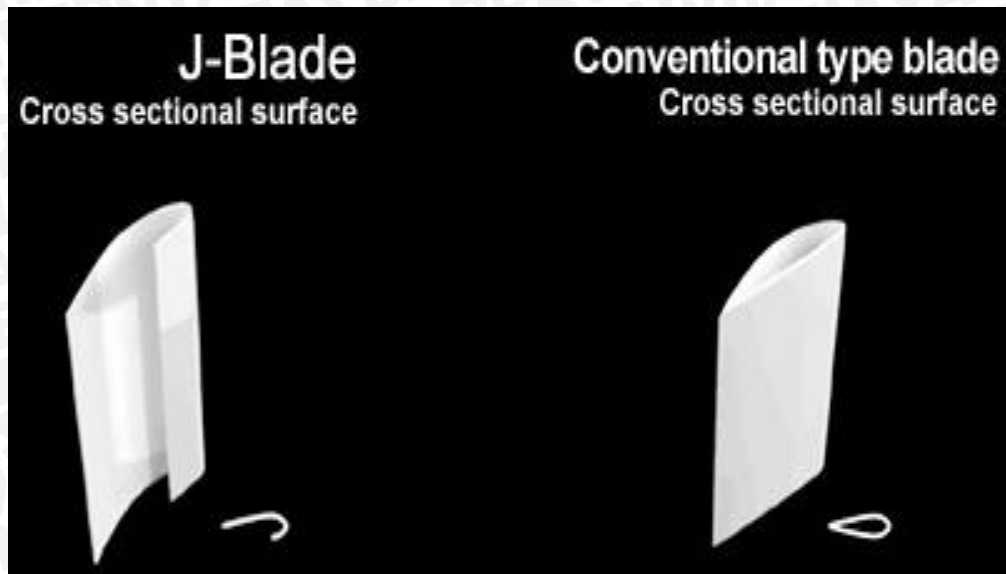
2.4.3.2 Sudu J (*J-Blades*)

Sudu ini diperkenalkan oleh perusahaan Wind-Smile Co., LTD. Tokyo. Sudu-J ini sudah terdaftar dengan hak paten Jepang dengan No. 3451085. Tetapi perusahaan Wind-Smile tidak memberitau lebih lanjut tentang dimensi dari sudu-J tersebut. Perusahaan Wind-Smile menunjukkan ilustrasi gaya – gaya yang bekerja pada sudu-J pada gambar 2.9 dan menunjukkan perbandingan penampang pada sudu-J dengan sudu konvensional pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Ilustrasi gaya-gaya yang bekerja pada Sudu J

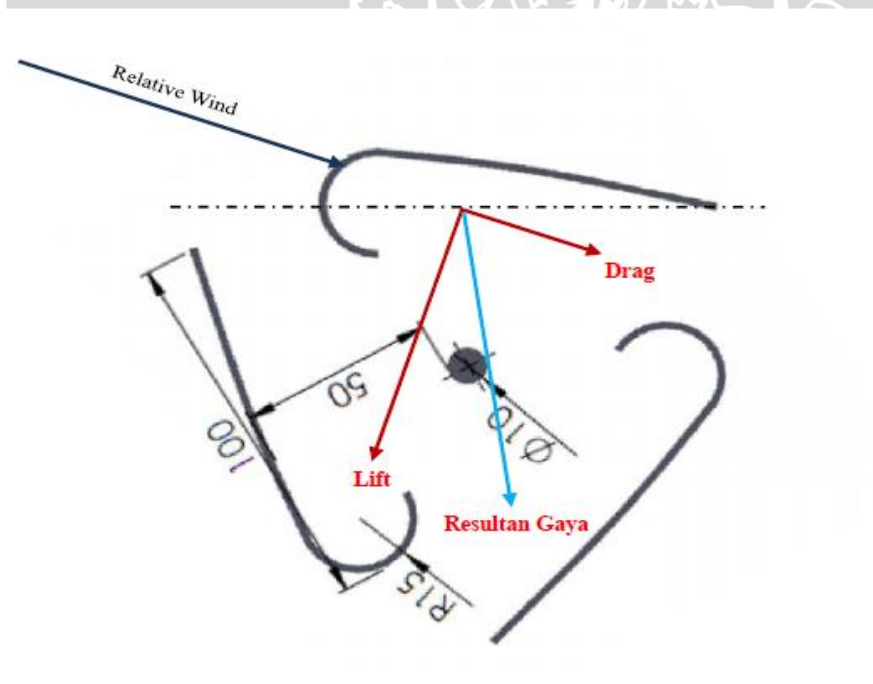
Sumber: www.wind-smile.com/technology/utilized.html



Gambar 2.10 Perbandingan penampang pada sudu J dengan sudu konvensional

Sumber: www.wind-smile.com/technology/utilized.html

2.4.3.3 Vektor Gaya – Gaya pada Sudu J



Gambar 2.11 Vektor Gaya Pada Sudu-J

Gaya yang bekerja pada sudu yaitu gaya *lift* dan gaya *drag*. Gaya *lift* adalah gaya pada arah tegak lurus arah aliran yang dihasilkan ketika fluida bergerak melalui benda yang perpenampang airfoil. Jika penampang airfoil menyapu udara dengan kecepatan tertentu, maka tekanan udara pada bagian atas sayap akan lebih kecil dari bagian bawah

pesawat. Hal ini menyebabkan adanya gaya angkat pada sayap tersebut yang disebut gaya *lift*. Sedangkan gaya *drag* adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda.

2.5 Karakteristik Kinerja Turbin Angin *Darrieus*

Dalam pembahasan kali ini, parameter – parameter dari karakteristik kinerja turbin angin yang akan dibahas adalah *Brake Horse Power* (BHP), Torsi (T), dan Efisiensi (η).

2.5.1 *Brake Horse Power* (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari turbin yang diukur setelah mengalami kerugian energi yang disebabkan oleh *gearbox*, pompa ataupun perangkat tambahan lainnya. Dalam percobaan nantinya *BHP* diukur dengan menggunakan motor listrik. Dengan mengukur besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan maka bisa diketahui besarnya daya, dengan menggunakan hukum ohm seperti pada rumusan

$$P_{\text{generator}} = V \times I \quad (2-4)$$

Keterangan:

$P_{\text{generator}}$	= Daya generator listrik	(Watt)
V	= Tegangan generator listrik	(Volt)
I	= Arus listrik	(Ampere)

Setelah didapatkan nilai $P_{\text{generator}}$ maka BHP dapat dihitung:

$$BHP = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}} \quad (2-5)$$

Keterangan:

BHP	= <i>Brake Horse Power</i>	(watt)
$P_{\text{generator}}$	= Daya generator listrik	(watt)
$\eta_{\text{generator}}$	= Efisiensi generator listrik	(%)

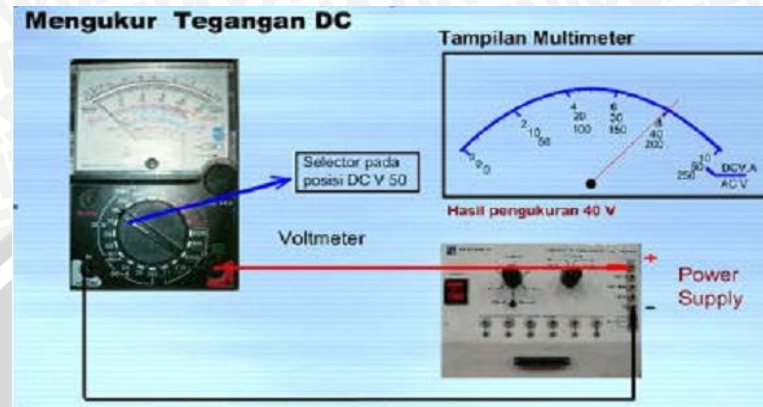
- Prinsip pengukuran tegangan dan arus DC

Pengukuran tegangan dan arus DC dilakukan dengan menggunakan *Digital Multitester*.

Pada alat ukur ini ditampilkan beberapa panel untuk pengukuran arus (mA), temperatur ($^{\circ}\text{C}$), Hambatan atau resistansi (ohm), tegangan (mV), Frekuensi (Hz) dan daya listrik (mW), serta kapasitansi (nF). Berikut ini penjelasan tentang pengukuran tegangan dan arus DC:

- Pengukuran tegangan DC

Tegangan DC dapat diukur dengan menggunakan Voltmeter. Prinsip kerjanya yaitu semakin tinggi arus listrik yang melewati voltmeter, maka semakin besar pula medan magnet yang dihasilkan. Sehingga pembacaan pada layar juga akan semakin besar.

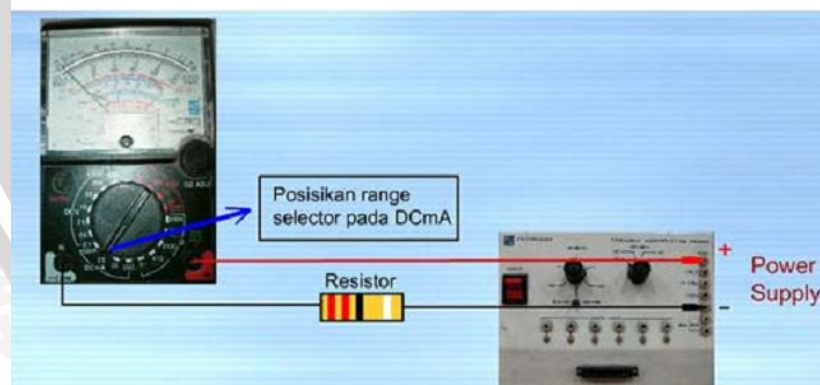


Gambar 2.12 : Rangkaian Pengukuran Tegangan DC
Sumber : Sri (2008 : 78)

- Prinsip pengukuran arus DC

Pengukuran arus dilakukan dengan menggunakan amperemeter. Tetapi pengukuran arus listrik menggunakan amperemeter ini mempunyai kelemahan, yaitu keterbatasan untuk mengukur besarnya arus. Tahanan dalam meter R_m membatasi kemampuan batas ukur dari alat tersebut.

Pemasangan meter seri terhadap beban yang akan di ukur arusnya.



Gambar 2.13 Rangkaian 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 sebagai ukuran keefektifan gaya dalam

menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut (Bueche, 1988:16). Besar torsi dapat dinyatakan dengan menggunakan rumus 2-6.

$$T = \frac{\text{BHP}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{\text{generator}}}{60}} \quad (2-6)$$

Keterangan :

T : Torsi (Nm)
 BHP : *Brake Horse Power* (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 diperoleh dengan pengorbanan yang dilakukan. Rumus efisiensi adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{BHP}}{P_{\text{angin}}} \times 100\% \quad (\text{Fox, 1994 : 570}) \quad (2-7)$$

Keterangan :

η = Efisiensi (%)
 BHP = *Brake Horse Power* (Watt)
 P_{angin} = Daya angin (Watt)

2.6 Teori dan Persamaan

2.6.1 Teori Betz

Teori Betz sederhana berdasarkan permodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin.

Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversi menjadi bentuk energi lainnya.

Betz mengasumsikan bahwa aliran udara di depan dan di belakang rotor memiliki kecepatan aliran yang seragam atau laminar. Jika kecepatan angin di depan rotor sebesar V_1 , kecepatan angin di belakang rotor sebesar V_2 , dan kecepatan angin pada saat melewati rotor sebesar V , maka berdasarkan rumus kontinuitas:

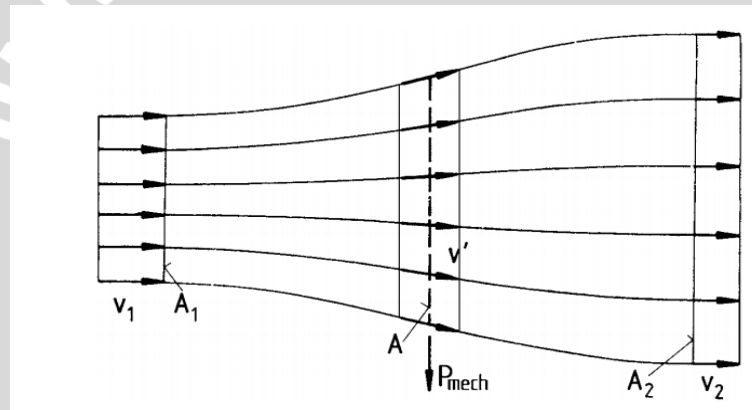
$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (\text{Reksoatmodjo; 2004: 67}) \quad (2-8)$$

dimana:

A = Luas penampang (m^2)

V = Kecepatan alir udara (m/s)



Gambar 2.14 : Kondisi aliran udara akibat ekstraksi energi mekanik aliran bebas

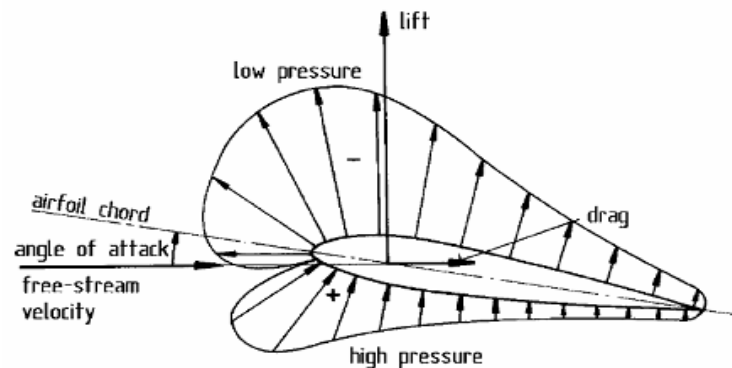
Sumber : Hau, E. (2005 : 82)

2.6.2 Gaya Aerodinamik pada Rotor

Ada dua macam gaya yang menggerakkan rotor pada turbin angin, yaitu gaya *lift* dan gaya *drag*. Gaya *lift* adalah gaya pada arah tegak lurus arah aliran yang dihasilkan ketika fluida bergerak melalui benda yang perpenampang airfoil. Jika penampang airfoil menyapu udara dengan kecepatan tertentu, maka tekanan udara pada bagian atas sayap akan lebih kecil dari bagian bawah pesawat. Hal ini menyebabkan adanya gaya angkat pada sayap tersebut yang disebut gaya *lift*. Sedangkan gaya *drag* adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda.

Turbin angin jenis *drag* umumnya memiliki koefisien daya yang relatif rendah karena banyak terjadi kerugian-kerugian yang disebabkan oleh turbulensi yang terjadi. Kecepatan putar rotornya juga relatif rendah. Turbin angin jenis *lift* memiliki koefisien daya yang relatif tinggi dibandingkan dengan turbin angin jenis *drag*.

Gaya *lift* dan *drag* tergantung pada koefisien *lift* C_L dan koefisien *drag* C_D , juga berbanding lurus dengan kecepatan angin. Luas penampang sudu dan sudut serang juga mempengaruhi besarnya gaya *lift* L dan gaya *drag* D yang timbul.



Gambar2.15 : Gaya aerodinamik yang dialami sudu ketika dilalui aliran udara

Sumber : Hau, E. (2005)

2.6.3 Daya pada Turbin Angin Darrieus

Nilai *coefficient of performance* (C_p) untuk satu tipe turbin angin tidak selalu sama karena nilai C_p merupakan fungsi dari *tip speed ratio* atau λ . *Tip speed ratio* merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial dengan kecepatan angin. 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 2-10:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (\text{Fox, 1994: 579}) \quad (2-10)$$

Dimana: $\omega \cdot R = v$ tangensial (rad.m/s) (2-11)

Keterangan:

$$\omega = \text{Kecepatan sudut} = \frac{2\pi n}{60}$$

$$n = \text{putaran} \quad (\text{rpm})$$

$$R = \text{Radius rotor} \quad (\text{m})$$

$$v = \text{Kecepatan angin} \quad (\text{m/s})$$

P_{teoritis} merupakan daya maksimum yang dihasilkan oleh poros rotor turbin angin *Darrieus* ketika mengkonversikan energi kinetik aliran angin.

$$P_{\text{teoritis}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2-12)$$

Keterangan:

P_{teoritis}	= daya teoritis	(Watt)
ρ	= kecepatan udara	(kg/m^3)
A	= luas penampang	(m^2)
v	= kecepatan angin	(m/detik)

2.7 Hipotesa

Dengan semakin besarnya jarak antar celah sudu turbin Darrieus tipe sudu-J menyebabkan panjang lengan bertambah besar, sehingga torsi yang bekerja pada sudu juga akan bertambah besar. Hal ini akan mengakibatkan daya poros, torsi dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin Darrieus tipe sudu-J akan mengalami peningkatan.

