

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian terkait ilmu yang menyangkut tentang turbin angin, antara lain:

Kenaikan harga BBM mendorong masyarakat untuk mencari alternatif baru yang murah dan mudah didapat untuk mendapatkan tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga angin merupakan tenaga gerak yang murah dan mudah didapat, sehingga hal ini dijadikan penelitian dan dimanfaatkan untuk tenaga penggerak generator listrik sehingga menghasilkan arus listrik. Teknik pengolahan dan analisis data dalam pembuatan turbin angin ini dibuat dengan mengambil data jumlah kipas, besarnya sudut, kecepatan angin, dan jumlah putaran. Analisis regresi digunakan sebagai metode untuk menyusun hubungan fungsional antara dua variable yaitu variable bebas dan tak bebas. Dengan konstruksi tinggi tiang 9 meter, dimensi kipas terdiri dari empat daun dengan diameter 3 m, lebar 1,30 m dan tinggi 2,50 m yang terbuat dari lembaran alumunium. Putaran kipas dipercepat 20 kali (1:20) untuk memutar dynamo ampere dan dapat mengisi strum accu sehingga accu mampu memutar dynamo DC dan dynamo AC ikut berputar menghasilkan listrik. Arus listrik yang dihasilkan sekitar ± 1500 watt untuk waktu ± 30 menit (Setioko,2007)

Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN) meneliti tentang pengembangan metode parameter rotort urbin

angin sumbu vertikal tipe savonius. Penelitian ini dikembangkan dengan metode penentuan parameter awal rotor turbin angin sumbu vertical tipe savonius. Dengan daya dan kecepatan angin tertentu, maka kisaran luas, diameter, tinggi, dan kecepatan putar rotor dapat diketahui. Luas rotor sangat dipengaruhi oleh koefisien daya. (Atmadi,2008)

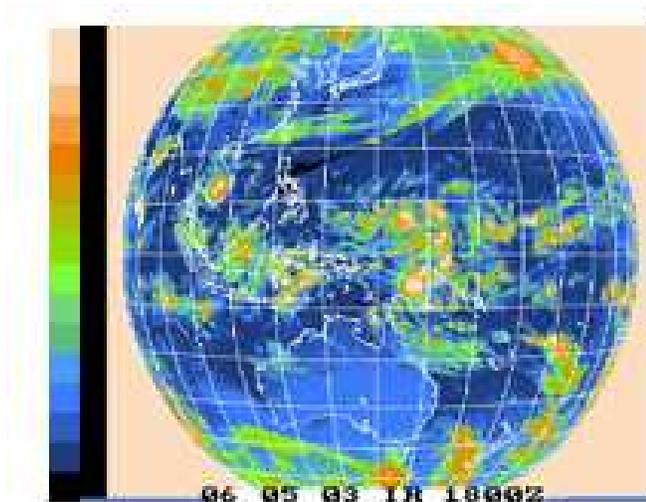
Kecepatan putaran rotor rancangan dapat dihitung setelah diameter rotor dihitung dan Tip Speed Ratio ditentukan. Penelitian ini menggunakan ratio diameter terhadap tinggi masing-masing 0,1; 0,8; 0,8. Hasilnya berupa table daya, kecepatan angin, luas rotor, diameter, tinggi serta kecepatan putar dapat digunakan sebagai rancangan awal turbin angin Savonius bagi para pemula karena turbin angin ini dapat dibuat secara sederhana.

2.2 Teori Penunjang

2.2.1 Definisi Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara disekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat

dan turun ke tanah. Diatas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dikarenakan konveksi.



Gambar 2.1 Panas Udara Bumi

Tenaga angin menunjuk kepada pengumpulan energi yang berguna dari angin. Pada tahun 2005, kapasitas energi generator tenaga angin adalah 58.982 MW, hasil tersebut kurang dari 1% pengguna listrik dunia. Meskipun masih berupa sumber energi listrik minor dikebanyakan Negara, penghasil tenaga angin lebih dari empat kali lipat antara 1999 dan 2005.

Kebanyakan tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi dari pisau turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Pada kincir angin energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik untuk melakukan kerja fisik, seperti menggiling atau memompa air. Tenaga angin banyak jumlahnya, tidak habis habis, tersebar luas dan bersih.

2.2.2 Asal Energi Angin

Semua energi yang dapat diperbaharui dan bahkan energi pada bahan bakar fosil, kecuali energi pasang surut dan panas bumi berasal dari matahari. Matahari meradiasi $1,74 \times 1.014$ Kilowatt jam energi ke Bumi setiap jam. dengan kata lain, bumi ini menerima daya $1,74 \times 1.017$ watt. Sekitar 1-2% dari energi tersebut diubah menjadi energi angin. Jadi, energi angin berjumlah 50-100 kali lebih banyak daripada energi yang diubah menjadi biomassa oleh seluruh tumbuhan yang ada di muka bumi. Sebagaimana diketahui, pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu pada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi. Daerah panas ditunjukkan dengan warna merah, oranye, dan kuning pada gambar inframerah dari temperature permukaan laut yang diambil dari satelit NOAA-7 pada juli 1984. Udara panas lebih ringan daripada udara dingin dan akan naik ke atas sampai mencapai ketinggian sekitar 10 kilometer dan akan tersebar ke arah utara dan selatan. Jika bumi tidak berotasi pada sumbunya, maka udara akan tiba di kutub utara dan kutub selatan, turun ke permukaan lalu kembali ke khatulistiwa. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energi yang dapat diperbaharui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya menghasilkan listrik.

Tabel 2.1 Kondisi Angin

Tabel kondisi angin			
kelas angin	kecepatan angin m/d	kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0.3~1.5	1~5.4	0.58 - 2.92
2	1.6~3.3	5.5~11.9	3.11 - 6.42
3	3.4~5.4	12.0~19.5	6.61 - 10.5
4	5.5~7.9	19.6~28.5	10.7 - 15.4
5	8.0~10.7	28.6~38.5	15.6 - 20.8
6	10.8~13.8	38.6~49.7	21 - 26.8
7	13.9~17.1	49.8~61.5	27.7 - 33.3
8	17.2~20.7	61.6~74.5	33.5 - 40.3
9	20.8~24.4	74.6~87.9	40.5 - 47.5
10	24.5~28.4	88.0~102.3	47.7 - 55.3
11	28.5~32.6	102.4~117.0	55.4 - 63.4
12	>32.6	>118	63.4

Sumber : <http://www.kincirangin.info/pdf/kondisi-angin.pdf>

2.2.3 Definisi 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 digunakan 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 energidan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (contoh : PLTD, PLTU,dll) , turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contoh: batubara dan minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, Pembangkit Listrik Tenaga Angin mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Secara sederhana sketsa kincir angin adalah sebagai berikut:

2.2.4 Jenis Turbin Angin

2.2.4.1 Turbin Angin Sumbu *Horizontal*(TASH)

Turbin angin sumbu *horizontal*(TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditebuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

Kelebihan Turbin Angin Sumbu *Horizontal*(TASH):

- a. Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin) antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.

Kelemahan Turbin Angin Sumbu *Horizontal*(TASH):

- a. Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- b. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
- c. Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- d. TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
- e. Ukurannya yang tinggi merintangikanjangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
- f. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- g. TASH membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.

Sumber: https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_angin

2.3 Parameter Desain Rotor Blade

Pengaruh dari parameter desain pada konfigurasi rotor digambarkan melalui terminologi sebagai berikut ini :

a. Average Free Air Velocity, (V_0)

Nilai rata-rata kecepatan angin anual pada suatu lokasi harus dipertimbangkan paling awal dalam kaitannya dengan distribusi kecepatan angin dan kelayakan output energi angin pada wilayah tersebut dimana biasanya sangat didominasi oleh kondisi iklim lokal. Frekwensi hujan, debu, erosi pasir, air asin akan mengenai permukaan rotor dan menurunkan kualitas rotor sehingga berakibat terhadap karakteristik aerodinamik

b. Tip Speed, (U)

Tip speed adalah kecepatan ujung dari rotor blade dalam arah gerak tangensial (gerak melingkar). *High tip speed* akan menyebabkan kebisingan dan akan menyebabkan benturan udara yang lebih besar terhadap rotor blade, akan tetapi juga mempunyai keuntungan yaitu efisiensi aerodinamik akan meningkat, lebih-lebih bila ketebalan airfoil kecil.

c. Tip Speed Ratio, (λ)

Perbandingan kecepatan ujung rotor blade dengan kecepatan angin (*tip speed ratio*) bila terlalu besar maka akan menurunkan kecepatan angular rotor, menurunkan perbandingan transmisi,

menurunkan dimensi dan berat transmisi sehingga menurunkan harga turbin angin. Akan tetapi juga berakibat meningkatkan *drag effects*, dengan demikian tip speed ratio yang tinggi akan mempengaruhi *coefficient of power*.

d. Airfoil Section

Perbandingan antara *lift* dengan *drag* adalah kriteria kunci dalam membandingkan kualitas dari sebuah airfoil. Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa bila nilai L/D meningkat maka *coefficient of power* akan meningkat pula secara berurutan. Pada pengoperasian yang berkelanjutan nilai L/D hanya memiliki deviasi yang kecil yaitu terjadi pada kondisi bila gaya *lift* terlalu besar. Untuk alasan struktur desain ketebalan airfoil dikehendaki dikarenakan perlu dipasangkan struktur penguat didalam blade.

e. Roughness

Kekasaran permukaan blade akan berpengaruh pada aspek aerodinamik dan tenaga rotor. Peningkatan kekasaran bisa disebabkan oleh : air hujan yang terkontaminasi debu, kristalisasi air garam, korosi, serangan *impact* dari erosi pasir yang beterbangan. Turbin angin yang dipasangkan pada daerah pantai atau gurun akan lebih sering menerima serangan *impact* dan erosi akibat pasir sehingga permukaan sudunya akan menjadi lebih kasar.

f. Number of Blade

Peningkatan jumlah sudu dapat meningkatkan coefficient of power tetapi menurunkan putaran dan selanjutnya lebih menguntungkan bila dioperasikan untuk putaran rendah. Berat rotor yang besar juga berakibat terhadap peningkatan biaya dan peningkatan getaran. Pemilihan jumlah sudu yang tepat akan memberikan keuntungan yang lebih baik.

g. Blade Geometri

Performa maksimal suatu rotor membutuhkan konfigurasi sudu meliputi variasi radial dari *chord* dan *twist angle*, dimana tergantung utamanya pada hasil lokal dari *lift coefficient* dan *flow angle*. Desain blade haruslah dikompromikan terhadap aspek-aspek meliputi airfoil, kekuatan struktur, pembatasan getaran dan pertimbangan nilai ekonomis (Ruud Van Rooij dkk, 2004).

h. Blade Chord Distribution

Performa maksimal suatu rotor blade menghendaki sisi *chord* dengan bentuk hiperbol. Biasanya hal ini dihindari dengan tujuan untuk mempermudah dalam menyusun disain serta dalam pembuatannya sehingga menjadi berbentuk trapezoidal. Perubahan yang dilakukan menyebabkan penurunan *coefficient of power* akan tetapi tidak begitu besar seolah-olah merupakan deviasi dari nilai maksimum yang didapatkan dari performa rotor blade.

i. Blade Thickness Distribution

Distribusi tebal blade secara kuat sangat dipengaruhi oleh kebutuhan kekuatan struktur, untuk mengantisipasi gaya-gaya yang bekerja pada blade yaitu momen bengkok akibat dari *drag* maupun *lift force*, gaya centrifugal akibat putaran (Tangler dkk, 2005).

j. Blade Twist Distribution

Yang dimaksud dengan distribusi *blade twist* adalah perubahan sudut kemiringan airfoil mulai dari ujung blade hingga pada bagian pangkal. Perubahan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai maksimum dari kerja rotor. Pada umumnya *twist angle* pada bagian ujung mempunyai nilai kecil dan selanjutnya akan semakin besar bila mendekati pangkal.

2.3.1 Airfoil NACA 4415

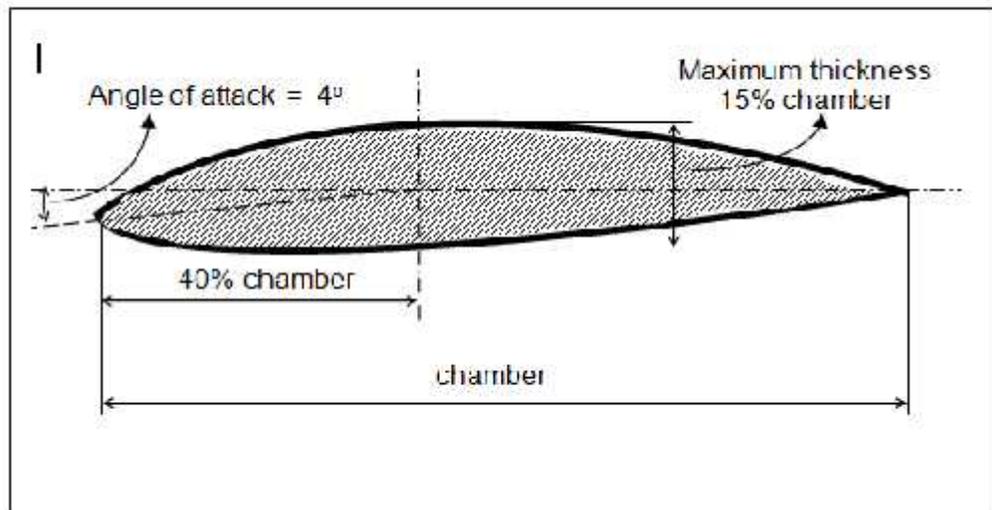
National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) adalah sebuah badan yang membidangi kedirgantaraan di negara Amerika. Unit ini merupakan agen federal yang dimiliki pemerintah Amerika, dimana didirikan pada 3 Maret 1915. NACA mempunyai beberapa produk diantaranya adalah (Frank Bertagnolio, dkk, 2001) :

- a. NACA duct, berupa produk riset dan pengembangan.
- b. NACA Cowling, yaitu product intake manifold yang digunakan untuk kebutuhan otomotif.

c. NACA airfoil, yaitu produk kedirgantaraan dalam bidang airfoil dan dikembangkan lebih lanjut untuk turbin angin.

Salah satu produk airfoil yang dihasilkan adalah NACA 4415 yaitu airfoil empat digit yang lazim digunakan dalam pengembangan sudu turbin angin. NACA 4415 ini memuat kode terhadap airfoil yaitu bahwa airfoil dengan berpedoman pada seri ini akan :

- Mempunyai sumbu memanjang dengan jarak terhadap *leading edge* sebesar 40% dari panjang chamber.
- Mempunyai maximum thickness sebesar 15% dari panjang chamber.
- Mempunyai angle of attack sebesar 4° .



Gambar 2.3 Ketentuan dimensi airfoil NACA 4415

2.3.2 Material Komposit dalam Pembuatan Blade

Material komposit mempunyai maksud penggabungan dari dua atau lebih dari beberapa jenis material dikombinasikan dalam skala makro dan dibentuk menjadi suatu material yang berguna. Material komposit mempunyai aplikasi ideal manakala dibutuhkan *ratio of strenght to weight* dan *stiffness to weight* yang tinggi. Oleh karena itu, blade pada konvertor angin lazim dibuat dengan menggunakan bahan fiberglass, yaitu serat yang berasal dari pengolahan bahan tambang menjadi berbagai varian seperti berikut ini (Atwirman S, 1985) :

a. Woven roving

Adalah material fiberglass yang secara sepiintas tampak seperti anyaman tikar. Jenis ini termasuk varian fiberglass yang memiliki kekuatan paling tinggi sehingga digunakan untuk membentuk kerangka blade. Woven roving mempunyai tebal 0,040 in dengan tensile strength 1000 lb/sq-in.

b. Mat

Mat mempunyai bentuk sebaran serat acak dengan potongan antara 2 hingga 4 in. Di pasaran mat dikenal dengan nama mat 425, mat 325 dimana angka tersebut mengindikasikan satuan luas tiap satuan berat. Angka yang besar menunjukkan ketebalannya kecil dan angka yang kecil menunjukkan serat tersebut lebih tebal.

c. 10.oz fabric

Varian ini mempunyai bentuk menyerupai woven roving akan tetapi anyamannya lebih halus, serta ketebalannya rendah. Tensile strenght yang dimiliki 440 lb/sq-in dengan ketebalan 0,013 in.

d. 181 Fabric

Varian ini mempunyai bentuk seperti 10.0z fabric akan tetapi lebih halus lagi anyamannya. Tensile strenght yang dimiliki adalah 340 lb/sq-in, dengan ketebalan 0,0085 in.

Selanjutnya sebagai bahan matrik yang digunakan adalah epoxy resin yang dicampur dengan katalis sebagai bahan untuk menguatkan ikatan dan mengeringkan resin pada temperatur kamar sehingga material komposit menjadi berbentuk seperti yang dikehendaki.

Performa adalah pedoman dasar dalam menganalisis keberhasilan konvertor angin dengan kriteria pokok terletak pada nilai C_p (*coefficient of power*). Beberapa penelitian yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa C_p bisa menjangkau pada angka 0,3 hingga 0,45 pada nilai *tip speed ratio* sebesar 8 hingga 12. Pada *tip-speed ratio* diluar selang tersebut nilai C_p cenderung lebih kecil atau mendekati nol (A.Kussman, 2005).

Dalam penelitian ini peneliti mengacu terhadap hasil-hasil yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dimana sebagai ukuran keberhasilan yang dapat dicapai terletak pada besar nilai C_p yang dihasilkan oleh konvertor yang dibuat ini. Apa bila nilai C_p dapat berada dalam selang antara 0,3 sampai pada 0,45 maka konvertor angin ini layak dioperasikan. Dari uraian di atas maka peneliti berhadapan dengan sebuah tantangan, yaitu : penelitian ini menghasilkan prototipe turbin angin yang mampu mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dengan *Coefficient of power* (C_p) sebesar 0,3 hingga 0,45.

2.4 Skala Beaufort

Skala Beaufort adalah ukuran empiris yang berkaitan dengan kecepatan [angin](#) untuk pengamatan kondisi di darat atau di laut. Skala ini ditemukan oleh [Francis Beaufort](#) pada tahun [1805](#). Beaufort mengukur kecepatan angin dengan menggambarkan pengaruhnya pada kecepatan kapal dan gelombang air laut. Skala Beaufort menggunakan angka dan simbol.

Semakin besar angka skala Beaufort, maka semakin kencang angin berhembus dan bahkan bisa semakin merusak. Skala Beaufort dimulai dari angka 1 untuk embusan angin yang paling tenang sampai angka 12 untuk embusan angin yang dapat menyebabkan kehancuran. Skala Beaufort tetap berguna dan dipakai sampai sekarang.

Tabel 2.2 Skala Beaufort

No.	Kecepatan angin		Macam angin	Indikator di daratan
	(m/s)	(km/jam)		
1.	0,0–0,5	0–1	Reda	Tiap asap tegak
2.	0,6–1,7	2–6	Sepoi-sepoi	Tiang asap miring
3.	1,8–3,3	7–12	Lemah	Daun bergerak
4.	3,4–5,2	13–18	Sedang	Ranting bergerak
5.	5,3–7,4	19–26	Agak keras	Dahan bergerak
6.	7,5–9,8	27–35	Keras	Batang pohon bergerak
7.	9,9–12,4	36–44	Sangat keras	Batang pohon besar bergerak
8.	12,5–15,2	45–51	Ribut	Dahan patah
8.	15,3–18,2	55–65	Ribut hebat	Pohon kecil patah
9.	18,3–21,5	66–77	Badai	Pohon besar tumbang
10.	21,6–25,1	78–90	Badai hebat	Rumah roboh
11.	25,2–29,0	91–104	Taifun	Benda berat berterbangan
12.	>29,0	>105	Taifun hebat	Benda berterbangan sejauh beberapa kilometer

Sumber : Wikipedia

2.5 Gaya Horizontal Akibat Kecepatan Angin (kg)

Untuk menghitung energi maksimal angin yaitu dengan rumus sebagai

berikut :
$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

dimana :

P : Daya angin (Watt)

ρ : kerapatan udara (kg/m^3)

A : Luas penampang blade (m^2)

v : kecepatan angin (m/s)

Dalam hal ini dibutuhkan gaya drag lift di kali capture area untuk mengetahui gaya angin yang sesungguhnya, maka dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{\text{Capture Area}} = A \times D_f$$

Dimana :

A : Luas Blade (m^2)

Df : Gaya drag (kg/m^2)

Gaya Df adalah gaya yang bekerja menabrak sudu turbin secara *horizontal* yang dapat dihitung dengan rumus :

Df : $P \sin \beta$ (kg/m^2)

2.6 Berat Total Pondasi

Berat total pondasi merupakan berat keseluruhan yang digunakan untuk menopang peralatan turbin angin. Berat total pondasi dihitung dengan menggunakan $MA = 0$. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$F_{\max} \cdot h - F_{\text{jepit}} \cdot d - W$$

2.7 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah sangat dibutuhkan dalam merancang pondasi turbin angin ini. Dikarenakan setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda. Klasifikasi daya dukung tanah di pantai pandansimo Bantul didapat berdasarkan uji kuat tekan tanah atau disebut juga uji sondir. Uji sondir ini dilakukan oleh bappeda bekerja sama dengan sipil daerah istimewa Yogyakarta dengan melakukan tiga kali pengetesan di sepanjang pantai pandansimo bantul, berikut tabel hasil pengetesan daya dukung tanah sebagai berikut :

Tabel 2.3. Nilai daya dukung tanah (Q_c) Pantai Pandansimo Bantul

No	Lokasi	Kedalaman (m)	Daya dukung tanah (Q_c) Kg/cm ²
1	S1	0.00 – 8.00	2.00 – 4.00
		8.00 – 12.00	30.00 – 62.00
		> 12.00	> 150
2	S2	0.00 – 11.00	1.00 – 8.00
		> 11.50	> 150

