

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Kenaikan harga BBM mendorong masyarakat untuk mencari alternatif energi baru yang murah dan mudah didapat untuk mendapatkan 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. Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional (LAPAN) meneliti tentang pengembangan metode parameter rotor turbin angin sumbu vertikal tipe savonius. Penelitian ini dikembangkan dengan metode penentuan parameter awal rotor turbin angin sumbu vertikal 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.

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.

Sumber : <https://www.mysciencework.com/publication/read/2204487/rancang-bangun-turbin-angin-vertikal-untuk-penerangan-rumah-tangga-design-of-vertical-wind-turbine-for-the-household-lighting-co#page-null>

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.

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 di kebanyakan 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 tumbuhanyang 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 kearah utara dan selatan. Jika bumi tidak berotasi pada sumbunya, maka udara akan tiba dikutub 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.

Sumber : www.eprints.undip.ac.id/41638/16/BAB_II.pdf

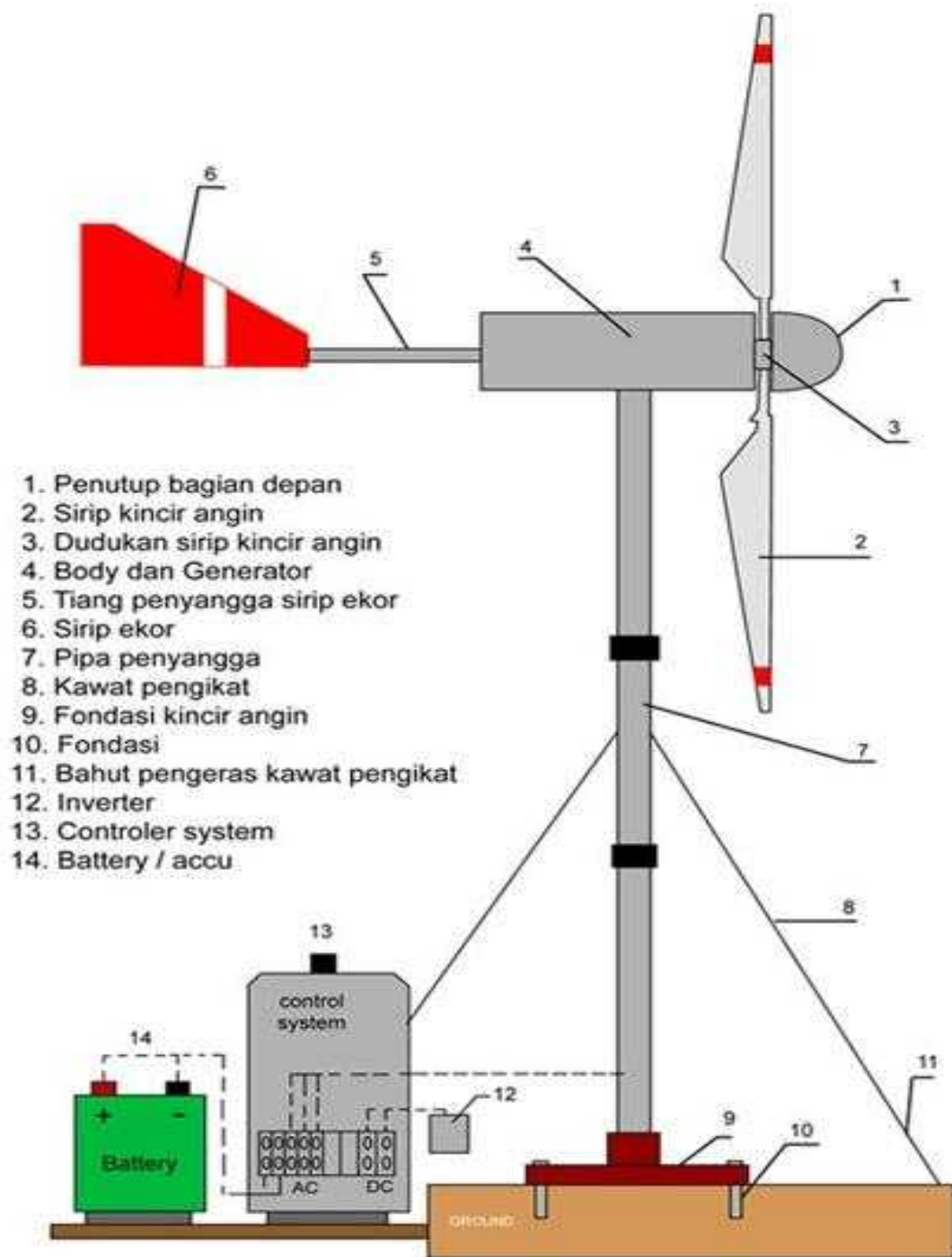
Tabel 2.1 Kondisi Angin

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 ~ 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 energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini penggunaan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Co: 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 terbarui (Co: 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 di belakang 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:



Gambar 2.1 Sketsa Sederhaana Kincir Angin

Sumber : <https://nugrohoadi.files.wordpress.com/2008/05/sketsa-kincir-angin1.jpg>

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 disaat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk 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 panjang sulit diangkat dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- b. TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil.
- 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 merintangai jangkauan 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

Penentuan karakteristik rancangan awal rotor sangat dipengaruhi oleh tempat atau daerah dimana turbin angin akan dipasang, yang mempunyai kecepatan berbeda. Pada umumnya rotor buatan Amerika atau Eropa dirancang pada kecepatan angin rata-ratanya relatif lebih tinggi dibandingkan di Negara-negara Asia. Untuk kecepatan angin 13 m/s, maka hubungan antara daya, diameter, dan RPM rancangan rotor turbin angin Amerika/Eropa dituliskan kembali pada tabel 2.1 :

Tabel 2.2 Rotor Turbin Angin untuk Kondisi Angin di Amerika/Eropa

Daya (Watt)	Diameter (m)	RPM
100	0,4 - 0,6	2.653 - 5.988
300	0,7 - 1,0	1.532 - 3.457
500	0,9 - 1,3	1.187 - 2.678
1.000	1,3 - 1,8	839 - 1.893
3.000	2,3 - 3,1	484 - 1.093
5.000	2,9 - 4,0	375 - 847
10.000	4,1 - 5,6	265 - 599
30.000	7,2 - 9,7	153 - 346
50.000	9,3 - 12,6	119 - 268
100.000	13,1 - 17,8	84 - 89
300.000	22,7 - 30,8	48 - 09
500.000	29,3 - 39,7	38 - 85

Sumber: http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_tekgan/article/viewfile/852/757

Kecepatan angin rata-rata di Indonesia relatif lebih kecil dibandingkan di Amerika maupun Eropa. Oleh karena itu kecepatan angin rancangan rotor turbin angin diharapkan lebih kecil dari 12 m/s. Penentuan kecepatan angin rancangan untuk rotor turbin angin Indonesia juga masih dipengaruhi oleh tempat atau daerah dimana turbin angin akan dipasang. Secara umum daerah pemasangan turbin

angin dapat dibagi menjadi 2, yaitu daerah daratan dan daerah pantai. Pada umumnya daerah pantai mempunyai kecepatan angin rata-rata lebih tinggi dibandingkan daerah daratan. Rotor turbin angin yang akan dipasang di daerah pantai Indonesia dapat dirancang pada kecepatan angin rancangan 5 m/s s.d. 8 m/s.

Berikut adalah tabel 2.3 mengenai hubungan antara daya, kecepatan angin, diameter rotor turbin, dan RPM :

Tabel 2.3 Daya 100 Watt – 100000 Watt

Daya (Watt)	Kec. Angin (m/s)	Diameter (m)	RPM	Daya (Watt)	Kec. Angin (m/s)	Diameter (m)	RPM
100	3	3.7-5.1	68-153	10000	3	37.4-50.7	7-15
	5	1.7-2.4	243-549		5	17.4-23.6	24-55
	8	0.9-1.2	788-1779		8	8.6-11.6	79-178
	10	0.6-0.8	1377-3107		10	6.1-8.3	138-311
	13	0.4-0.6	2653-5988		13	4.1-5.6	265-599
	15	0.3-0.5	3794-8563		15	3.3-4.5	379-856
300	3	6.5-8.8	39-88	30000	3	64.8-87.8	4-9
	5	3.0-4.1	141-317		5	30.1-40.8	14-32
	8	1.5-2.0	455-1027		8	14.9-20.2	46-103
	10	1.1-1.4	795-1794		10	10.7-14.4	79-179
	13	0.7-1.0	1532-3457		13	7.2-9.7	153-346
	15	0.6-0.8	2191-4944		15	5.8-7.9	219-494

Daya (Watt)	Kec. Angin (m/s)	Diameter (m)	RPM	Daya (Watt)	Kec. Angin (m/s)	Diameter (m)	RPM
500	3	8.4-11.3	30-69	50000	3	83.7-113.3	3-7
	5	3.9-5.3	109-246		5	38.9-52.7	11-25
	8	1.9-2.6	353-795		8	19.2-26.0	35-80
	10	1.4-1.9	616-1390		10	13.8-18.6	62-139
	13	0.9-1.3	1187-2678		13	9.3-12.6	119-268
	15	0.7-1.0	1679-3829		15	7.5-10.1	170-383
1000	3	11.8- 16.0	21-48	100000	3	118.3-160.2	2-5
	5	5.5-7.4	77-174		5	55.0-74.5	8-17
	8	2.7-3.7	249-562		8	27.2-36.8	25-56
	10	1.9-2.6	435-983		10	19.4-26.3	44-98
	13	1.3-1.8	839-1893		13	13.1-17.8	84-189
	15	1.1-1.4	1200-2708		15	10.6-14.3	120-271
3000	3	20.5- 27.8	12-28	300000	3	205.0-277.5	1-3
	5	9.5-12.9	44-100		5	95.3-129.0	4-10
	8	4.7-6.4	144-325		8	47.1-63.7	14-32
	10	3.4-4.6	251-567		10	33.7-45.6	25-57

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel diatas, dapat dilihat bahwa untuk daya yang sama, kecepatan angin rancangan 5 m/s akan membutuhkan diameter rotor yang jauh lebih besar. Dengan demikian, pemilihan rancangan 5 m/s untuk daerah pantai Indonesia dianggap cukup masuk akal. Hubungan antara daya, diameter, dan RPM rancangan rotor turbin angin daratan dan pantai Indonesia, dapat dilihat dari tabel 2.4:

Tabel 2.4 Rotor Turbin Angin Pantai

Daya (Watt)	Diameter (m)	RPM
100	0,6 – 0,8	1.377– 3.107
300	1,1 – 1,4	795 – 1.794
500	1,4 – 1,9	616 – 1.390
1.000	1,9 – 2,6	435 – 983
3.000	3,4 – 4,6	251 – 567
5.000	4,3 – 5,9	195 – 439
10.000	6,1 – 8,3	138 – 311
30.000	10,7 – 14,4	79 – 179
50.000	13,8 – 18,6	62 – 139
100.000	19,4 – 26,3	44 – 98
300.000	33,7 – 45,6	25 – 57
500.000	43,5 – 58,9	19 – 44

Sumber: http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_tekgan/article/viewfile/852/757

Tabel 2.5 Rotor Turbin Angin Daratan

Daya (Watt)	Diameter (m)	RPM
100	0,9 - 1,2	788 - 1.779
300	1,5 - 2,0	455 - 1.027
500	1,9 - 2,6	353 - 795
1.000	2,7 - 3,7	249 - 562
3.000	4,7 - 6,4	144 - 325
5.000	6,1 - 8,2	111 - 252
10.000	8,6 - 11,6	79 - 178
30.000	14,9 - 20,2	46 - 103
50.000	19,2 - 26,0	35 - 80
100.000	27,2 - 36,8	25 - 56
300.000	47,1 - 63,7	14 - 32
500.000	60,8 - 82,3	11 - 25

Sumber: http://jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal_tekgan/article/viewfile/852/757

Dipilih daya yang dibangkitkan sebesar 1000 Watt. Hal ini dikarenakan, pada kecepatan angin dibawah 8 m/s, turbin angin masih dapat menghasilkan daya yang cukup dan tidak terlalu kecil, dibandingkan ketika rancangan daya yang dibangkitkan lebih kecil dibandingkan dengan 1000 Watt.

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

1. 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 out-put energi angin pada wilayah tersebut dimana biasanya sangat didominasi oleh kondisi iklim lokal. Frekuensi hujan, debu,

erosi pasir, air asin akan mengenai permukaan rotor dan menurunkan kualitas rotor sehingga berakibat terhadap karakteristik aerodinamik.

2. 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.

3. Tip Speed Ratio, ()

Perbandingan kecepatan ujung rotor *blade* dengan kecepatan angin (*tip speed ratio*) bila terlalu besar maka akan menurunkan kecepatan agular 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*.

4. 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*.

5. *Roughness* (Kekasaran)

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.

6. *Number of Blade* (jumlah sudu)

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.

7. *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.

8. *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*.

9. 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.

10. 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) :

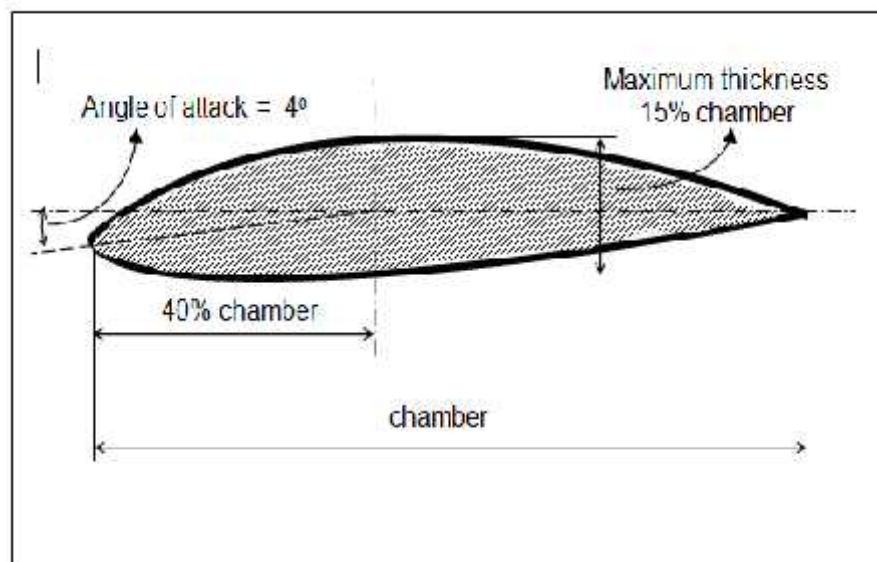
1. NACA duct, berupa produk riset dan pengembangan.
2. NACA Cowling, yaitu product intake manifold yang digunakan untuk kebutuhan otomotif.

3. 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 :

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

Untuk memperjelas uraian di atas berikut ini dicantumkan gambar airfoil NACA 4415, yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.2 Ketentuan Dimensi Airfoil NACA 4415

Sumber : <http://www.accessscience.com>

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:

a. Woven roving

Adalah material fiberglass yang secara sepintas 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.

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.