

Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah

Maidi Saputra

Dosen Teknik Mesin - Universitas Teuku Umar - Meulaboh

E-mail : maidi_poetra@yahoo.co.id

Abstrak

Penggunaan turbin angin pada suatu daerah yang memiliki skala kecepatan angin rendah diperlukan untuk efisiensi penggunaan turbin angin dan penggunaan pada skala rumah tangga. Maka perlu dilakukan analisis studi literatur (kepuustakaan) mengenai jenis sudu turbin yang sesuai untuk aplikasi turbin angin pada keadaan kecepatan angin rendah. Dimensi rotor turbin berpengaruh terhadap kemampuan turbin untuk menangkap angin yang melewati turbin. Pemilihan jumlah sudu pada turbin berdasarkan pada rancangan kecepatan turbin dan beberapa airfoil yang cocok untuk diterapkan pada turbin angin sumbu horizontal dengan skala kecil hingga besar. Jenis bahan yang sesuai dengan kajian adalah pipa PVC sebagai bahan dasar pembuatan sudu (baling-baling) turbin angin karena mudah dilakukan dan sesuai dengan salah satu Standar Amerika tentang Sudu Turbin (NACA) yaitu NACA 2410.

Kata Kunci : Turbin angin, Sudu turbin, Rotor, Kecepatan angin rendah, NACA 2410.

1. PENDAHULUAN

Kincir angin pertama kali digunakan untuk membangkitkan listrik dibangun oleh P. La Cour dari Denmark diakhir abad ke-19. Setelah perang dunia I, layar dengan penampang melintang menyerupai sudut propeler pesawat sekarang disebut kincir angin tipe propeler' atau turbin. Eksperimen kincir angin sudut kembar dilakukan di Amerika Serikat tahun 1940, ukurannya sangat besar yang disebut mesin Smith-Putman, karena dirancang oleh Palmer Putman, kapasitasnya 1,25 MW yang dibuat oleh Morgen Smith Company dari York Pennsylvania. Diameter propelernya 175 ft(55m) beratnya 16 ton dan menaranya setinggi 100 ft (34m). Tapi salah satu batang propelernya patah pada tahun 1945. (Astu Pudjanarso, 2006)

Pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Sementara tingginya kebutuhan migas tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan sehingga di hampir semua negara berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan. (DESDM, 2005)

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Salah satu sumber pemasok listrik, PLTA bersama pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) memang memegang peran penting terhadap ketersediaan listrik terutama di Jawa, Madura, dan Bali.

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya energi yang sangat melimpah, salah satunya adalah sumber energi angin. Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan salah satu Negara yang terletak di garis khatulistiwa merupakan faktor, bahwa Indonesia memiliki potensi energi angin yang melimpah. Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Di daerah katulistiwa, udaranya menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas dan bergerak ke

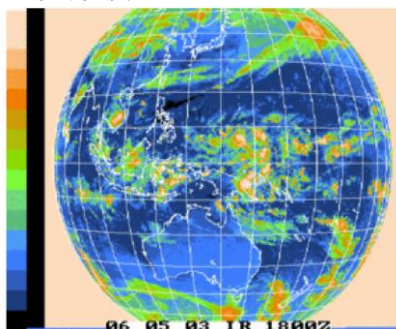
daerah yang lebih dingin. Sebaliknya daerah kutub yang dingin, udara menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi perputaran udara berupa perpindahan udara dari kutub utara ke garis katulistiwa menyusuri permukaan bumi dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis katulistiwa kembali ke kutub utara, melalui lapisan udara yang lebih tinggi. Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 - 7 m/s. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa.

Salah satu pemanfaatan energi angin adalah penggunaan turbin angin yang banyak digunakan untuk kebutuhan pertanian, seperti untuk menggerakkan pompa untuk keperluan irigasi, serta kebutuhan akan energi yaitu sebagai pembangkit listrik energi angin. Berbagai macam penemuan turbin angin sebagai pembangkit energi alternatif sudah ditemukan sejak lama dengan berbagai macam bentuk desain.

Perancangan sebuah turbin angin berdasarkan daya yang dihasilkan tidak terlepas dari perancangan sudu-sudu (rotor) turbin, seperti perancangan turbin angin untuk kapasitas rumah tangga harus bisa memanfaatkan kecepatan angin pada skala rendah untuk memutar sudu turbin dalam menghasilkan daya listrik. Perancangan turbin skala rumah tangga memerlukan jenis sudu yang dapat bergerak pada keadaan kecepatan angin rendah sehingga memerlukan analisis terhadap sudu-sudu turbin tersebut dengan menggunakan model NACA.

Melakukan analisis studi literatur (kepuustakaan) mengenai jenis sudu turbin yang sesuai untuk aplikasi turbin angin pada keadaan kecepatan angin rendah dan penggunaan untuk kapasitas rumah tangga. Setelah melakukan analisis tentang sudu turbin yang sesuai untuk penggunaan pada turbin angin keadaan kecepatan angin rendah, maka dapat dilakukan perancangan dan rancang bangun terhadap turbin angin tersebut sehingga bisa bermanfaat bagi rumah tangga yang belum teraliri listrik serta bisa menghemat pembayaran listrik bulanan apabila dikombinasikan dengan pemakaian listrik dari sumber PLN.

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.

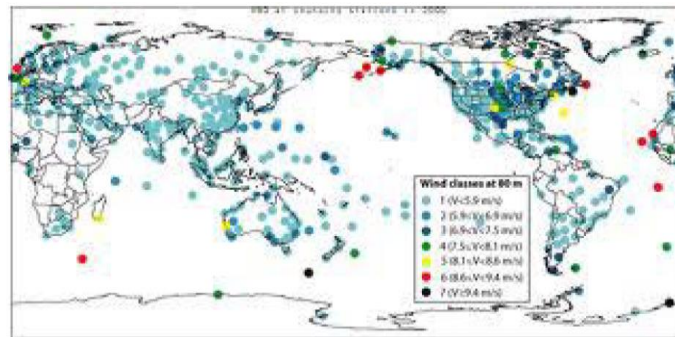


Gambar 1 Foto satelit gerakan angina

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.



Gambar 2 Peta Energi Angin di Indonesia

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 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.

Tabel 1 Kondisi Angin

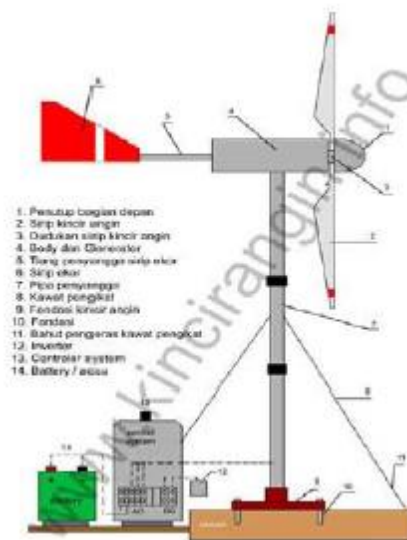
Tabel kondisi angin			
kelas angin	kecepatan angin m/d	kecepatan angin km/jam	Kecepatan angin knot/jam
1	0.3~1.5	1~5.4	0.58 ~ 2.92
2	1.6~3.3	5.5~11.9	3.11 ~ 6.42
3	3.4~5.4	12.0~19.5	6.61 ~ 10.5
4	5.5~7.9	19.6~28.5	10.7 ~ 15.4
5	8.0~10.7	28.6~38.5	15.6 ~ 20.8
6	10.8~13.8	38.6~49.7	21 ~ 26.8
7	13.9~17.1	49.8~61.5	2.7 ~ 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

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 terbaharui (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 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:



Gambar 3 Sketsa Sederhaana Kincir Angin

Jenis Turbin Angin

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 ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 4 Turbin angin sumbu horizontal

Turbin angin sumbu vertical (TASV)

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Karena sulit dipasang di atas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah, sehingga yang tersedia adalah energi angin yang sedikit. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yang bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan *bearing wear* yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasangi menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal.



Gambar 5 Varian turbin angin sumbu vertical

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin. Hal ini selanjutnya akan dibahas melalui persamaan-persamaan.

Energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (Nm)$$

Dimana:

m : massa udara yang bergerak (kg)

v : kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Dengan menganggap suatu penampang melintang A , dimana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume V sebagai persamaan:

$$V = vA$$

Dimana:

V : laju volume (m^3/s)

v : kecepatan angin (m/s)

A : luas area sapuan rotor (m^2)

Sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara p sebagai:

$$m = \rho Av$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) menjadi:

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

Dimana:

P : daya mekanik (W)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg/m}^3$)

Karena setiap jenis turbin angin mempunyai karakteristik aerodinamika yang unik, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR untuk setiap jenis turbin angin juga berbeda-beda. Dengan memasukkan faktor daya C_p , sebagaimana dijelaskan sebelumnya, gaya mekanik aktual yang dapat diperoleh dari energi kinetik pada angin menjadi:

$$P = C_{pr} \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Parameter utama yang mempengaruhi C_p adalah: jumlah bilah sudu, panjang *chord* bilah sudu, karakteristik aerodinamis bilah sudu, NREL menambahkan kemampuan sebuah SKEA juga dibatasi oleh rugi-rugi pada generator dan sistem transmisi.

Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki *tip speed ratio* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*. *Tip speed ratio* dihitung dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

Dengan:

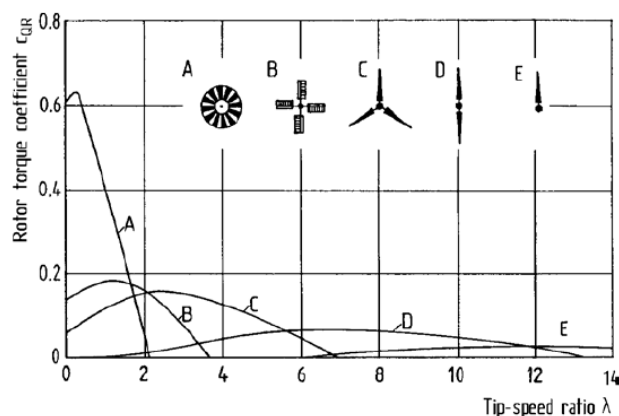
λ = *tip speed ratio*

D = diameter rotor (m)

n = putaran rotor (rpm)

v = kecepatan angin (m/s)

Grafik berikut menunjukkan variasi nilai *tip speed ratio* dan koefisien daya c_p untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 6 Torsi rotor untuk berbagai jenis turbin angina

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis jenis sudu turbin angin yang sesuai digunakan untuk jenis turbin angin yang dapat beroperasi optimal pada keadaan kecepatan angin rendah.

Metode analisis yang dilakukan adalah menggunakan metode analisis kepustakaan (*Library Research*), yaitu menganalisa suatu jenis sudu turbin angin berdasarkan studi kepustakaan.

Jenis sudu turbin angin yang dianalisis harus mendekati suatu standard model sudu turbin angin yang dikeluarkan oleh badan standarisasi sudu yang berasal dari Amerika, yaitu *NACA*. Berdasarkan standard *NACA* tersebut, maka dipilih suatu jenis sudu turbin angin yang sesuai digunakan untuk keadaan kecepatan angin rendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampang airfoil yang berbeda mempunyai perbandingan gaya angkat dan tahanan yang berbeda pula. Bila digunakan airfoil dengan perbandingan gaya angkat dan tahanan yang tinggi, koefisien daya rotor akan meningkat, dan rotor mampu beroperasi dalam daerah perbandingan kecepatan ujung yang tinggi. Kekasaran permukaan sudu mempengaruhi aerodinamik dan prestasi rotor. Kekasaran tersebut dapat diakibatkan oleh kontaminasi air hujan bercampur debu, kristalisasi air garam, serangga yang menempel dan erosi permukaan.

Airfoil tipe *NACA* adalah bentuk airfoil yang digunakan untuk berbagai jenis pesawat terbang dan turbin angin yang dikembangkan oleh National Advisory Committee for Aeronautics (*NACA*) Amerika. Bentuk airfoil *NACA* ini di rincikan berdasarkan daftar angka rincian bentuk airfoil atau disebut sebagai angka “*NACA*”. Parameter dari kode angka tersebut menyatakan ukuran dan bentuk dari airfoil tersebut.

Bilah Turbin Angin

Pada turbin angin, desain sudu merupakan hal yang paling penting karena sudu merupakan komponen utama yang menangkap angin untuk kemudian dikonversikan menjadi gerakan mekanik. Perkembangan teknologi telah menciptakan sudu turbin angin dengan berbagai variasi bahan, ukuran, jenis airfoil, jumlah sudu, dan lain sebagainya. Pada turbin angin sumbu horizontal, hal yang penting untuk diperhatikan adalah jari-jari sudu, jumlah sudu, sudut pitch, panjang chord, jenis airfoil, dan bahan sudu.

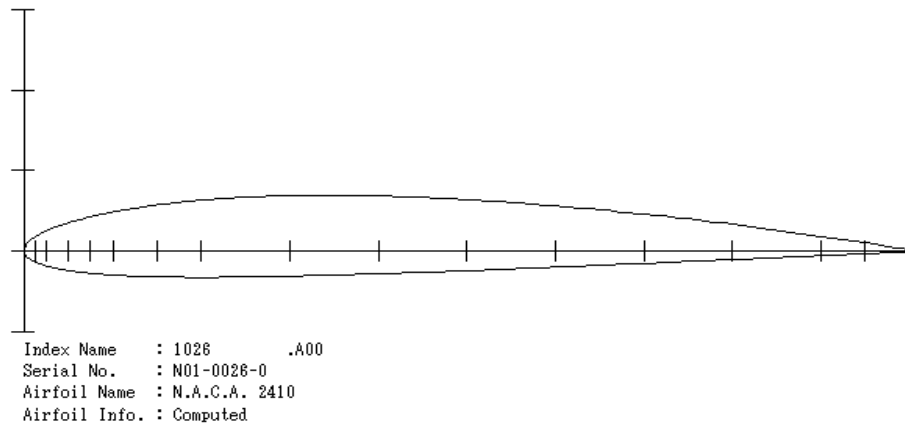
Dimensi rotor turbin berpengaruh terhadap kemampuan turbin untuk menangkap angin yang melewati turbin. Semakin besar diameter rotor, maka semakin besar pula area sapuan angin yang dapat dimanfaatkan. Namun hal ini akan berpengaruh terhadap kecepatan rotor turbin tersebut, semakin besar rotor, maka koefisien daya akan makin besar dan kecepatan putaran turbin akan makin rendah.

Jumlah sudu pada turbin angin tidak memiliki batasan khusus. Pada umumnya turbin angin sumbu horizontal memiliki tiga sudu atau banyak sudu. Pemilihan jumlah sudu pada turbin berdasarkan pada rancangan kecepatan turbin, adanya noise, dan estetika turbin angin (Rand, 2010).

Pemilihan Jenis Airfoil

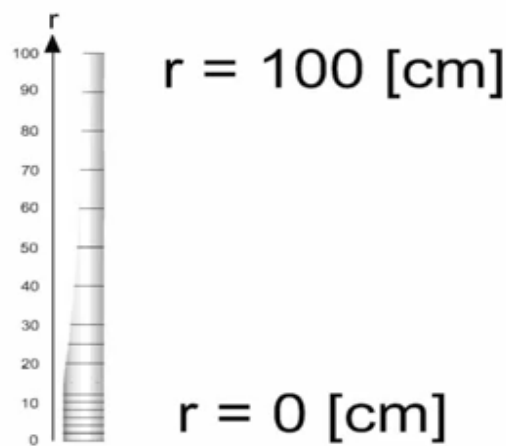
Turbin angin sederhana dengan skala kecil tidak terlalu memperhatikan jenis airfoil yang dipakai. Untuk turbin angin sumbu horizontal biasanya menggunakan bentuk foil yang sederhana mulai dari pelat datar atau airfoil tipis berstandar *NACA* (National Advisory Committee for Aeronautics) seri 4 atau 5 digit. Airfoil sederhana tersebut bisa saja digunakan dengan rugi performa yang sedikit (Piggot, 2001).

Badan laboratorium nasional NREL (National Renewable Energy Laboratory) telah melakukan penelitian dan merilis beberapa airfoil yang cocok untuk diterapkan pada turbin angin sumbu horizontal dengan skala kecil hingga besar. Airfoil-airfoil tersebut diprediksi memiliki peningkatan energi sebesar 23% - 33% untuk regulated turbine, 8% - 20% untuk variable pitch turbine, dan 8% - 10% untuk variable RPM turbine (Buhl, 2009).

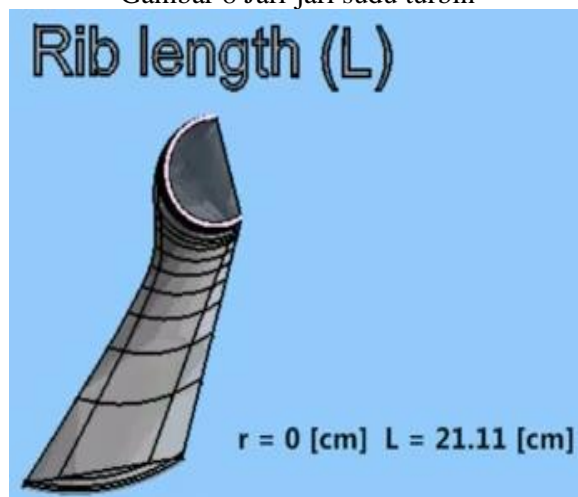


Gambar 7 Bentuk rancangan airfoil NACA 2410

Penggunaan pipa PVC sebagai bahan dasar pembuatan sudu (balung-balung) turbin angin sangat mudah dilakukan dan sesuai dengan salah satu Standar Amerika tentang Sudu Turbin (NACA) yaitu NACA 2410. Dan dari segi bahan, pipa PVC merupakan jenis bahan plastik olahan yang sesuai dengan bahan dari polymer yang dikenal kuat sebagai bahan pembuat sudu turbin.



Gambar 8 Jari-jari sudu turbin



Gambar 9 Panjang sisi sudu turbin terhadap jari-jarinya

Tabel 2 Konstruksi sudu turbin

Build Instructions			
Radial Position of Rib	Radial Position of Rib	Length of Rib	Length of Rib
r [cm]	r [in]	Length [cm]	Length [in]
0.00	0.00	21.11	8.31
2.00	0.79	19.31	7.60
4.00	1.57	17.53	6.90
6.00	2.36	15.98	6.29
8.00	3.15	14.68	5.78
10.00	3.94	13.49	5.31
12.00	4.72	12.44	4.90
15.00	5.91	11.25	4.43
20.00	7.87	9.67	3.81
25.00	9.84	8.51	3.35
30.00	11.81	7.82	3.08
40.00	15.75	6.71	2.64
50.00	19.69	6.00	2.36
60.00	23.62	5.57	2.19
70.00	27.56	5.24	2.06
80.00	31.50	4.96	1.95
90.00	35.43	4.76	1.87
100.00	39.37	4.58	1.80

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penulisan diatas maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Airfoil tipe NACA adalah bentuk airfoil yang digunakan untuk berbagai jenis pesawat terbang dan turbin angin yang dikembangkan oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) Amerika.
2. Pada turbin angin, desain sudu merupakan hal yang paling penting karena sudu merupakan komponen utama yang menangkap angin untuk kemudian dikonversikan menjadi gerakan mekanik.
3. Penggunaan pipa PVC sebagai bahan dasar pembuatan sudu (baling-baling) turbin angin sangat mudah dilakukan dan sesuai dengan salah satu Standar Amerika tentang Sudu Turbin (NACA) yaitu NACA 2410.

DAFTAR PUSTAKA

1. A.W. Culp, (1991). *Principles of Energy Conversion*, 2nd Edition (McGraw Hill International Edition, NewYork).
2. David, A. Spera, (1994). *Wind Turbine Technology, fundamental concepts of wind turbine engineering*. ASME Press.
3. Gilman, P., Lambert, T. (2005). *Homer the micropower optimization model software started guide*. National Renewable Energy Laboratory of United States Government.
4. Soeripno MS, Malik Ibrochim, (2009). *Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Output Turbin Angin Di Lebak Banten*. Jurnal Teknologi dirgantara Vol. 7 No. 1 Juni 2009 51-59.
5. Y. Daryanto, (2007). *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG- UPT-LAGG Yogyakarta.