

BAB II

LANDASAN TEORI

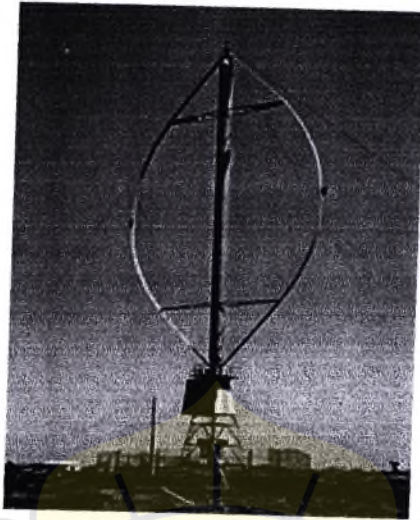
2.1 Tinjauan Umum Turbin Angin

Turbin angin pertama kali digunakan oleh P. La Cour dari Denmark di akhir abad ke IX. Setelah perang dunia I, layar dengan airfoil berpenampang sudu propeller melintang yang menyerupai sudu propeller pesawat terbang, yang sekarang disebut propeller type windmill atau wind turbin. Eksperimen pada turbin angin ini dilakukan di USA dengan sudu kembar dengan menggunakan mesin yang disebut mesin Smith-Putman yang dirancang oleh Palmer Putman dengan asisten dari Theodore, Vonkarman. Lalu suatu pembangkit berkapasitas 1,25 Mw dibuat oleh Morgen Smith company from York Pensylvania dengan sudu kembar yang mempunyai diameter propeller 175 ft (55m) bertipe rotor dengan berat 16 ton, dipasang setinggi 10 ft (34m) dan berputar pada 29 rad/menit. (Pudjanarsa, 2006)

Tapi untuk perancangan ini kita memanfaatkan energy angin yang kita manfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Dalam proses ini kita menggunakan kincir angin sebagai alat yang digunakan. Sedangkan dari segi dayanya, rancangan dapat dibagi atas skala kecil, skala menengah, dan besar, dengan kapasitas masing-masing berkisar dibawah 10 kw, antara 10 s/d 25 kw dan lebih besar 25 kw. Dan untuk penyesuaian dengan kondisi di Indonesia maka kincir angin yang cocok adalah yang bersekala kecil sampai sedang menengah (Pudjanarsa, 2006)

Sedangkan untuk jenis-jenisnya bisa kita kelompokkan menjadi dua yaitu:

1) **Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV).**



Gambar 2.1 Turbin angin sumbu vertikal (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 diatas 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.

a) Kelebihan TASV

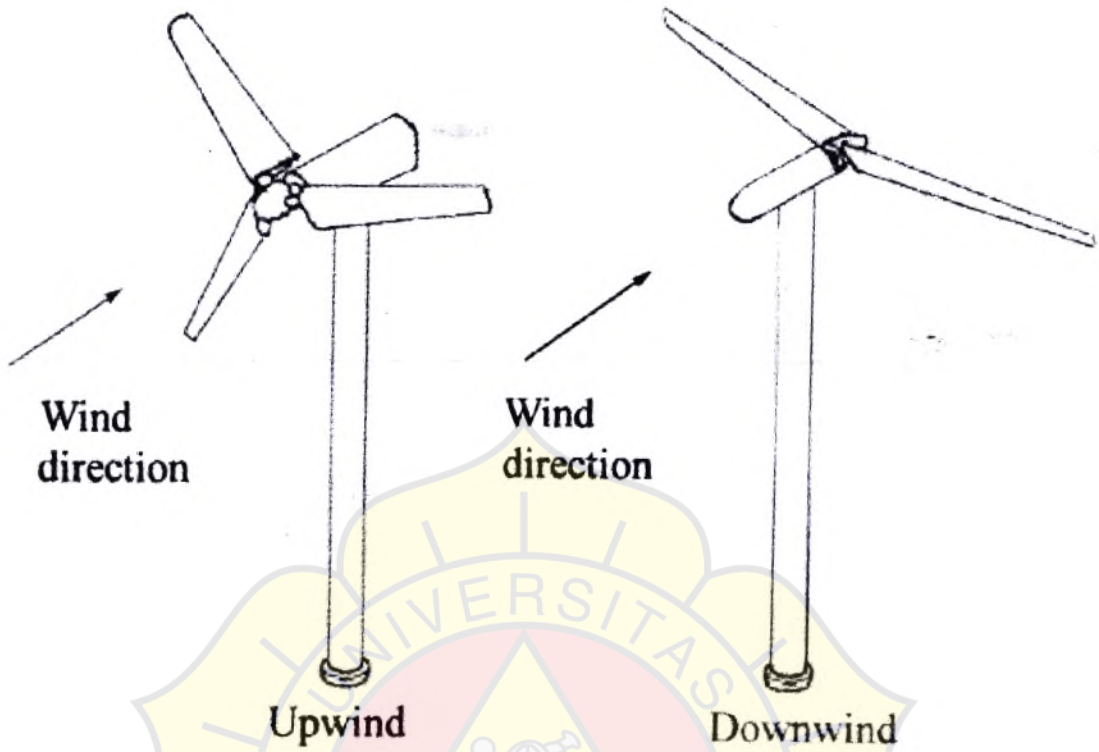
- Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
- Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
- Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- TASV memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi *drag* pada tekanan yang rendah dan tinggi.
- Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkarannya TASH.
- TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10km/jam (6 m.p.h.)

- TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
- TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit),
- TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
- Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

b) Kekurangan TASV

- Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
- TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
- Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
- Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah.

2) Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).



Gambar 2.2 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.

a. Kelebihan 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%.

b. Kelemahan TASH

- 1) 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.
- 2) TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.

- 3) Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- 4) TASH yang tinggi bisa mempengaruhi radar airport.
- 5) Ukurannya yang tinggi merintangai jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
- 6) Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.

2.2 Prinsip Dasar Turbin Angin

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

2.3 Komponen Utama Turbin Angin.

2.3.1 Komponen Turbin Angin

Disini *Turbin Angin* sendiri memiliki beberapa komponen utama yaitu:

1. Sudu dan Tulang

yaitu bagian yang berfungsi untuk menampung energi mekanik dari udara menjadi energi putar yang kemudian akan diteruskan ke rotor dan poros. Biasanya sudu dibuat dari fiberglass dengan busa plastik, sedangkan untuk tulangnya memakai pelat baja yang dipasang pada tengah sudu.

Untuk bentuknya menyerupai daun untuk mendapatkan titik beratnya pada poros sehingga akan terjadi gaya dorong yang dititik beratkan pada

porosnya dan akibatnya meskipun kecepatan angin sudah menurun poros masih bisa berputar.

2. Rotor

Yaitu bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor sekaligus sebagai penerus putaran sudu ke poros.

3. Poros

Yaitu salah satu bagian dari turbin yang meneruskan momen atau daya dari rotor ke poros itu sendiri. Poros pada umumnya terbuat dari baja batang yang ditarik dingin dan difinis. Kadang penarikan dingin dapat menyebabkan poros menjadi keras dan bertambah besar (*Sularso, 2008*)

4. Gearbox

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi kira-kira 1000-1800 rpm yaitu putaran yang biasanya disyaratkan untuk memutar generator listrik.

5. Generator.

Ini adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnet.

Dinamo adalah generator listrik pertama yang mampu mengantarkan tenaga untuk industri, dan masih merupakan generator terpenting yang digunakan pada abad ke-21. Dinamo menggunakan prinsip elektromagnetisme untuk mengubah putaran mekanik menjadi listrik arus bolak-balik.

Dinamo pertama berdasarkan prinsip Faraday dibuat pada 1832 oleh Hippolyte Pixii, seorang pembuat peralatan dari Perancis. Alat ini menggunakan magnet permanen yang diputar oleh sebuah "crank". Magnet yang berputar diletakkan sedemikian rupa sehingga kutub utara dan selatannya melewati sebonkah besi yang dibungkus dengan kawat. Pixii menemukan bahwa magnet yang berputar memproduksi sebuah pulsa arus di kawat setiap kali sebuah kutub melewati kumparan. Lebih jauh lagi, kutub utara dan selatan magnet menginduksi arus di arah yang berlawanan. Dengan menambah sebuah komutator, Pixii dapat mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

6. Penyimpan energi

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpanan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada

masyarakat menurun. Penyimpanan energi ini diakomodasi dengan menggunakan alat penyimpan energi. Contoh sederhana yang dapat dijadikan referensi sebagai alat penyimpan energi listrik adalah aki mobil. Aki mobil memiliki kapasitas penyimpanan energi yang cukup besar. Aki 12 volt, 65 Ah dapat dipakai untuk mencatu rumah tangga (kurang lebih) selama 0.5 jam pada daya 780 watt.

Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan satu daya DC (*Direct Current*) untuk meng-charge/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan *rectifier-inverter* untuk mengakomodasi keperluan ini.

7. Menara

Menara yang fungsinya sebagai penyangga dan penyeimbang yang mempertimbangkan berat dari keseluruhan kepala turbin dari kipas/sudu sampai *gearbox* dan yang lainnya.

2.3.2 Pemilihan Jenis Turbin Angin

Faktor peating dalam pemilihan jenis turbin ini adalah:

- 1) Desain yang lebih sederhana sehingga proses pembuatanpun relatif cepat.
- 2) Bahan-bahan yang dipakai tidak terlalu rumit dan mudah untuk didapat.

3) Perhitungan yang dipakai tidak terlalu banyak sehingga memudahkan dalam proses pengerjaanya.

4) Rumus daya yang digunakan:

a) Energi maksimum yang diserap rotor.

$$E = 0,478 \times c_p \times v^3 \times D^2 \dots\dots\dots 2.1 \text{ (Harijono, 2004)}$$

Dimana:

E = Energi maksimum yang diserap rotor (Watt)

c_p = Koefisien daya turbin angin

v = Asumsi kecepatan angin (m/det)

D = Diameter rotor (m)

b) Daya angin tersedia

$$P_{\infty} = K_E \times \frac{1}{2} \times \rho \times \bar{U}^3 \times A \dots\dots\dots 2.2 \text{ (Josh, 2004)}$$

Dimana:

P_{∞} = Daya angin tersedia (Watt)

K_E = Faktor pola energi (1,37)

ρ = Kerapatan massa udara (kg/m³)

\bar{U} = Kecepatan angin rata-rata (m/det)

A = Luas permukaan yang diekspose (m²)

c) Daya turbin angin.

$$P_t = \frac{1}{2} \times c_p \times \rho \times \dot{A} \times U^3 \dots\dots\dots 2.3 \text{ (Sidiq dan kawan - kawan 2008)}$$

Dimana:

P_t = Daya keluaran rotor turbin angin (Watt)

c_p = Koefisien daya turbin angin

\dot{A} = Luas sapuan rotor (m^2)

U = Kecepatan angin (m/det)

d) Daya turbin angin rata-rata.

$$P_t = \frac{P_{\infty}}{A} \times c_p \times \dot{A} \dots\dots\dots 2.4 \text{ (Sidiq dan kawan - kawan 2008)}$$

e) Efisiensi yang didapat

$$\eta = \frac{P_t \text{ MAX}}{P_{\infty}} \times 100\% \dots\dots\dots 2.5 \text{ (Betz, 2009)}$$

$$P_t \text{ max} = \frac{8}{27} \times \rho \times \dot{A} \times U^3 \dots\dots\dots 2.6 \text{ (Trust, 2008)}$$

5) Gaya-gaya yang bekerja pada sudu-sudunya:

- Gaya sentrifugal “s”, yang meninggalkan titik tengah. Bila kipas bentuk simetrik, semua gaya sentrifugal “s” akan saling meniadakan atau resultannya sama dengan nol.
- Gaya tangensial “t”, yang menghasilkan momen , bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif.

Besar gaya-gaya tersebut dapat dihitung menggunakan rumus empiris yaitu:

$$A = 0,00142 \cdot v^2 \cdot R^2 \text{ (kg)} \dots\dots\dots 2.7 \text{ (Pudjanarsa,2006)}$$

$$S = 367 \cdot R \cdot P / v_1 \cdot v \text{ (kg)} \dots\dots\dots 2.8 \text{ (Pudjanarsa,2006)}$$

$$T = 0,00219 \cdot W \cdot v_2 \cdot v^2 / R_1 \text{ (kgm)} \dots\dots\dots 2.9 \text{ (Pudjanarsa,2006)}$$

Dimana :

P = daya (kw)

R = radius daun rotor (m)

R₁ = radius hingga titik berat daun.

v = kecepatan angin (km/jam).

W = berat daun (kg).

v₁ = kecepatan relatif ujung sudu terhadap v

v₂ = kecepatan relatif titik berat sudu terhadap v.

A = gaya aksial.

S = gaya sentrifugal.

T = gaya tangensial.

2.6 Karakteristik Turbin Angin.

Suatu mesin selalu didesain untuk bekerja dibawah kondisi kerja yang diinginkan. Suatu turbin mungkin didesain untuk beberapa faktor penting kecepatan angin (v), putaran (rpm), dan daya (P). Tetapi dalam prakteknya mungkin harus bekerja pada kondisi yang berbeda dari kondisi desainya. Oleh sebab unjuk kerja pada kondisi-kondisi yang bervariasi perlu diketahui dengan melakukan pengujian terhadap model turbin di laboratorium. Grafik yang ditampilkan dalam bentuk kurva-kurva disebut karakteristik turbin.

2.7 Pengukuran data karakteristik.

Data yang akan diujikan adalah :

- a) Pengaruh daya dan efisiensi terhadap luas blade.
- b) Pengaruh kecepatan angin terhadap voltase dan Rpm yang dihasilkan.
- c) Dengan voltase berapa bisa digunakan untuk penerangan dalam skala kecil.