

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sudu**

Sudu adalah baling – baling pada turbin angin. Sudu pada turbin angin sendiri biasanya dihubungkan dengan rotor pada turbin angin. Sudu merupakan salah satu bagian dari turbin angin yang memiliki fungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak, angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar. Pada sebuah turbin angin, baling-baling rotor dapat berjumlah 3 atau lebih.

#### **2.2 Angin<sup>1</sup>**

Angin yaitu udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara (tekanan tinggi ke tekanan rendah) di sekitarnya. Angin merupakan udara yang bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah atau dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang tinggi. 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 di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi.

##### **2.2.1 Sifat angin**

Angin memiliki beberapa sifat antara lain sebagai berikut :

1. Angin mempercepat pendinginan dari benda panas.
2. Angin menimbulkan tekanan dari permukaan yang menentang atau menghalangi arah angin tersebut.
3. Kecepatan angin bervariasi dari suatu tempat ke tempat lain dan dari waktu ke waktu.

---

<sup>1</sup> Rakhmad Hidayatullah, Analisa Perubahan Sudut Kemiringan Sudu Terhadap Kecepatan Putar Turbin Angin, 2013, hlm.6

### **2.2.2 Faktor terjadinya angin**

#### 1. Gradien Barometris

Bilangan yang menunjukkan perbedaan tekanan udara dari 2 isobar yang jaraknya 111 km. Makin besar gradien barometrisnya, makin cepat tiupan angin.

#### 2. Letak Tempat

Kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dari yang jauh dari garis khatulistiwa.

#### 3. Tinggi Tempat

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.

#### 4. Waktu

Di siang hari angin bergerak lebih cepat dari pada di malam hari.

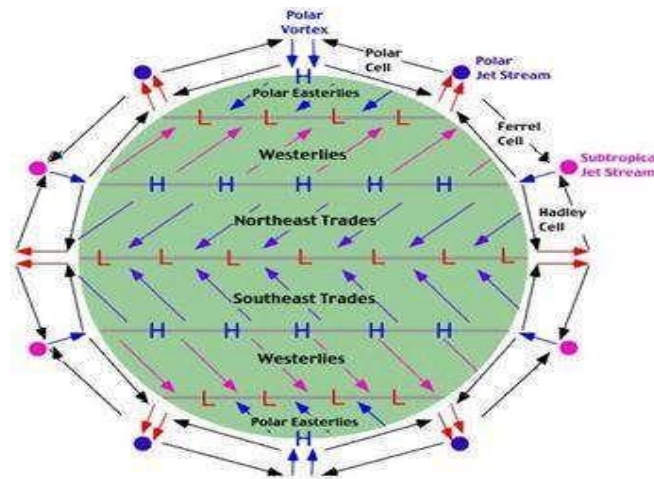
### **2.2.3 Terjadinya angin**

Angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara atau perbedaan suhu udara pada suatu daerah atau wilayah. Hal ini berkaitan dengan besarnya energi panas matahari yang di terima oleh permukaan bumi. Pada suatu wilayah, daerah yang menerima energi panas matahari lebih besar akan mempunyai suhu udara yang lebih panas dan tekanan udara yang cenderung lebih rendah. Perbedaan suhu dan tekanan udara akan terjadi antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, yang berakibat akan terjadi aliran udara pada wilayah tersebut.

### **2.2.4 Jenis - jenis angin**

Angin timbul akibat sirkulasi di atmosfer yang dipengaruhi oleh aktivitas matahari dalam menyinari bumi yang berotasi. Dengan demikian, daerah khatulistiwa akan menerima energi radiasi matahari lebih banyak daripada di

daerah kutub, atau dengan kata lain, udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Perbedaan berat jenis dan tekanan udara inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara. Pergerakan udara inilah yang didefinisikan sebagai angin.



Gambar 2.1 Pola Sirkulasi Udara Akibat Rotasi Bumi

Sumber : <http://whitehacker-software.blogspot.co.id/2013/02/prinsip-plta-kincir-angin.html>

### 1. Angin Laut dan Angin Darat

Angin laut adalah angin yang timbul akibat adanya perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Angin darat dan angin laut Angin ini terjadi di daerah pantai. Angin bertiup dari laut ke darat. Sebaliknya, angin darat terjadi pada malam hari daratan lebih cepat melepaskan panas dibandingkan dengan lautan. Daratan bertekanan maksimum dan lautan bertekanan minimum. Angin laut terjadi pada siang hari daratan lebih cepat menerima panas dibandingkan dengan lautan Seperti yang kita ketahui bahwa sifat air dalam melepaskan panas dari radiasi sinar matahari lebih lambat daripada daratan, sehingga suhu di laut pada malam hari akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di daratan. Semakin tinggi suhu, tekanan udara akan semakin rendah. Akibat adanya perbedaan suhu ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di atas daratan dan lautan. Hal inilah yang menyebabkan angin akan bertiup dari arah darat ke arah

laut. Sebaliknya, pada siang hari dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 angin akan berhembus dari laut ke darat akibat sifat air yang lebih lambat menyerap panas matahari.

## 2. Angin Lembah dan Angin Gunung

Angin lembah adalah angin yang bertiup dari arah lembah ke arah puncak gunung yang biasa terjadi pada siang hari. Prinsip terjadinya hampir sama dengan terjadinya angin darat dan angin laut yaitu akibat adanya perbedaan suhu antara lembah dan puncak gunung.

Angin gunung adalah angin yang bertiup dari puncak gunung ke lembah gunung yang terjadi pada malam hari. Pada siang hari udara yang seolah-olah terkurung pada dasar lembah lebih cepat panas dibandingkan dengan udara di puncak gunung yang lebih terbuka (bebas), maka udara mengalir dari lembah ke puncak gunung menjadi angin lembah. Sebaliknya pada malam hari udara mengalir dari gunung ke lembah menjadi angin gunung.

## 3. Angin Fohn atau Angin Jatuh

Angin Fohn/angin jatuh adalah angin yang terjadi sesuai hujan Orografis. Angin yang bertiup pada suatu wilayah dengan temperatur dan kelembapan yang berbeda. Angin Fohn terjadi karena ada gerakan massa udara yang naik pegunungan yang tingginya lebih dari 200 meter di satu sisi lalu turun di sisi lain. Angin Fohn yang jatuh dari puncak gunung bersifat panas dan kering, karena uap air sudah dibuang pada saat hujan Orografis.

Biasanya angin ini bersifat panas merusak dan dapat menimbulkan korban. Tanaman yang terkena angin ini bisa mati dan manusia yang terkena angin ini bisa turun daya tahan tubuhnya terhadap serangan penyakit. Angin bersifat kering dan panas terdapat di lereng pegunungan Alpine. Sejenis angin ini banyak terdapat di Indonesia dengan nama angin Bahorok (Deli), angin Kumbang (Cirebon), angin Gending di Pasuruan (Jawa Timur), dan Angin Brubu (Sulawesi Selatan).

### 2.3 Energi Angin

Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering atau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan atau udang, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana - mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat di terapkan di laut, berbedahalnya dengan energi air.

Pada dasarnya angin terjadi karena ada perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Didaerah katulistiwa, udaranya menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik keatas dan bergerak kedaerah yang lebih dingin. Sebaliknya didaerah kutub yang dingin, udaranya menjadi dingin dan turun ke bawah. Dengan demikian terjadi suatu 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.

Udara yang memiliki massa  $m$  dan kecepatan  $v$  akan menghasilkan energi kinetik sebesar :

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Volume udara per satuan waktu ( debit ) yang bergerak dengan kecepatan  $v$  dan melewati daerah seluas  $A$  adalah :

$$V = Av \dots\dots\dots (2.2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan  $\rho$  yaitu :

$$m = \rho V \dots\dots\dots (2.3)$$

Dari persamaan (2.2) dan (2.3) dapat disubstitusikan sehingga :

$$\begin{aligned}
 m &= \rho V \\
 m &= \rho (Av) \\
 m &= \rho Av \dots\dots\dots (2.4)
 \end{aligned}$$

### 2.3.1 Daya energi angin

Pada dasarnya daya angin merupakan energi yang bergerak per satuan waktu. Dari “Persamaan (2.1) dan (2.4)” dapat dihitung daya yang dihasilkan dari energi angin sebagai berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.5)^2$$

Dengan ;

$P_w$  = Daya energi angin (*Watt*)

$\rho$  = Kerapatan udara ( $\text{Kg/m}^3$ ) ( $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ )

$A$  = Area penangkapan angin ( $\text{m}^2$ )

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

Dimana untuk mendapatkan luas area penangkapan angin ( $A$ ) sebagai berikut :

$$A = \frac{1}{4} \pi D \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan ;

$D$  = Diameter turbin angin

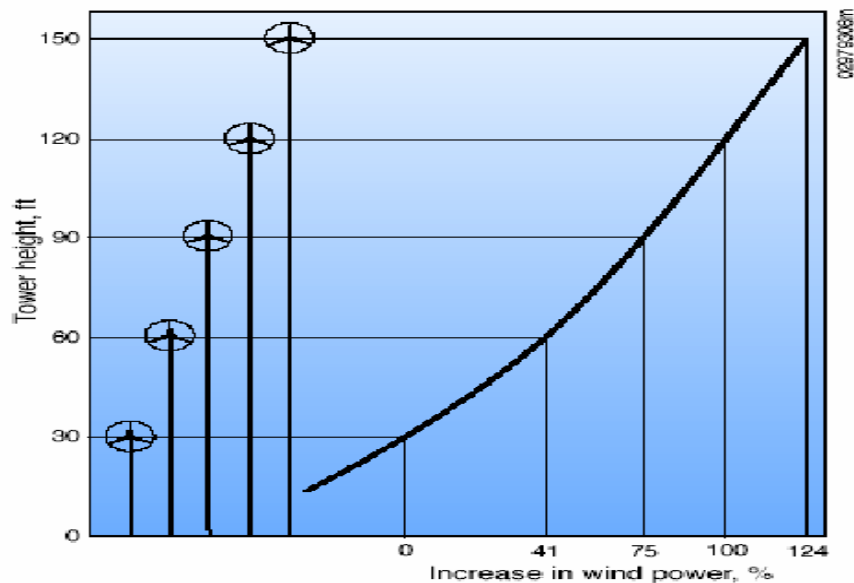
---

<sup>2</sup> Kwang-Wook Jung, Wind Energy Generation Experiments (Korea: Man&Tel Co, 2011), hlm.17.

## 2.4 Kecepatan Angin

Hal yang biasanya dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan angin. Sebagai mana diketahui, kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat. Misalnya di Indonesia, kecepatan angin pada siang hari bisa lebih kencang dibandingkan malam hari. Pada beberapa lokasi bahkan pada malam hari tidak terjadi gerakan udara yang signifikan. Untuk situasi seperti ini, perhitungan kecepatan rata-rata dapat dilakukan dengan catatan pengukuran kecepatan angin dilakukan secara kontinyu.

Untuk udara yang bergerak terlalu dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin yang diperoleh akan kecil sehingga daya yang dihasilkan sangat sedikit. Semakin tinggi akan semakin baik. Pada keadaan ideal, untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s, umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m.



Gambar 2.2 Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Ketinggian Tertentu

Sumber : Anonim1, [www.mst.gadjamada.edu/dl/Kincir\\_Angin.pdf](http://www.mst.gadjamada.edu/dl/Kincir_Angin.pdf)

Faktor lain yang perlu diperhatikan untuk turbin angin konvensional adalah desain baling-baling. Untuk baling-baling yang besar (misalnya dengan diameter 20 m), kecepatan angin pada ujung baling-baling bagian atas kira-kira 1,2 kali dari kecepatan angin ujung baling-baling bagian bawah. Artinya, ujung

baling-baling. Pada saat di atas akan terkena gaya dorong yang lebih besar dari pada pada saat di bawah. Hal ini perlu diperhatikan pada saat mendesain kekuatan baling – baling dan tiang (menara) khususnya pada turbin angin yang besar. Jika kecepatan angin di baling-baling atas dan bawah berbeda secara signifikan.

Yang perlu diperhitungkan selanjutnya adalah pada kecepatan angin berapa turbin angin dapat menghasilkan daya optimal. Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh kontur dari permukaan. Di daerah perkotaan dengan banyak rumah, apartemen dan perkantoran bertingkat, kecepatan angin akan rendah. Sementara kecepatan angin pada daerah lapang lebih tinggi. Kepadatan (*porositas*) dipermukaan bumi akan menyebabkan angin mudah bergerak atau tidak. Faktor porositas ini juga penting untuk diperhatikan ketika mendesain turbin angin.

## **2.5 Turbin Angin**

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak diatas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa bagi kehidupan manusia, salah satunya adalah para nelayan. Selain itu, turbin angin pada awalnya juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun.

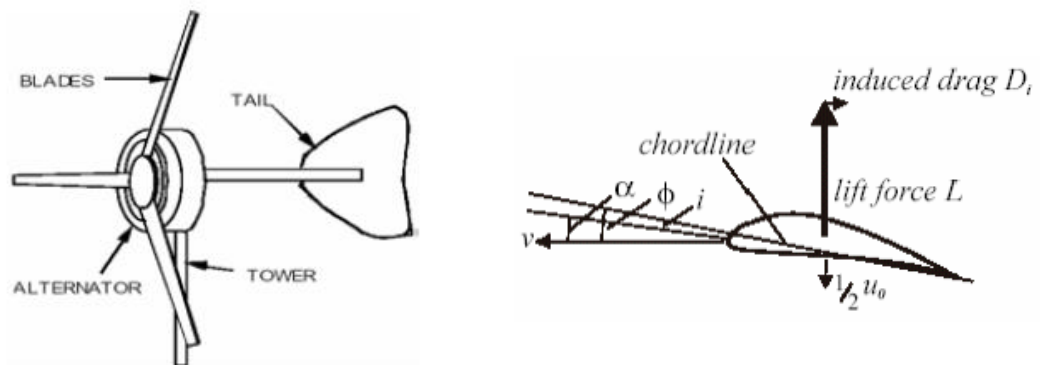
Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara- negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*. Sebagai pembangkit listrik, turbin angin telah digunakan di Denmark sejak tahun 1890. Dalam beberapa dekade terakhir ini, kekhawatiran akan habisnya energi fosil telah mendorong pengembangan dan penggunaan turbin angin secara meluas dalam mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan prinsip konversi energi. Pada saat ini, angin merupakan salah satu sumber energy dengan perkembangan



relatif cepat dibanding sumber energi lainnya. Walaupun demikian sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (misal: PLTD atau PLTU). Pengkajian potensi angin harus dilakukan dengan baik guna memperoleh suatu sistem konversi angin yang tepat. Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin.

Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah kincir angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam, biasanya kincir angin digolongkan menjadi dua tipe (horizontal dan vertikal) dan yang paling banyak digunakan adalah kincir jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horisontal terhadap tanah (secara sederhana yaitu sejajar dengan arah tiupan angin). Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadi dengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain batang kincir (*blade*).

Ketersediaan angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin.



Gambar 2.3 Prinsip Dasar Kincir Angin

Sumber :Anonim,<http://permaculturewest.org.au/ipc6//shannon/index.html>, (2010)

Untuk mendesain sebuah kincir angin, banyak hal yang harus diperhatikan. Hal pertama yang harus dipertimbangkan yaitu berapa besar daya yang kita butuhkan, kemudian kecepatan angin, setelah itu yang tidak kalah penting yaitu. Berapa jumlah blade (bilah kincir).

### **2.5.1 Jenis turbin angin**

Ada dua jenis turbin angin yang umum digunakan saat ini, yaitu berdasarkan arah poros berputar (sumbu): turbin angin sumbu horisontal dan turbin angin sumbu vertikal. Ukuran turbin angin bervariasi. Turbin kecil yang digunakan untuk memasok energi rumah tinggal atau bisnis mungkin memiliki kapasitas kurang dari 100 kilowatt. Beberapa turbin komersial berukuran besar mungkin memiliki kapasitas 5 juta watt, atau 5 megawatt. Turbin yang lebih besar sering di kelompokkan bersama-sama sebagai ladang angin yang memasok listrik ke jaringan listrik.

#### **2.5.1.1 Turbin angin sumbu horizontal**

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 Turbin Angin Sumbu Horizontal merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut arah 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. Adapun kelebihan turbin angin sumbu horizontal, sebagai berikut :

1. 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%.

Berdasarkan kelebihan turbin angin, adapun kelemahan turbin angin sumbu horizontal diantaranya, sebagai berikut:

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. Turbin Angin Sumbu Horizontal 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. Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
5. Ukurannya yang tinggi merintangikanjangkauan pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
6. Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
7. Turbin Angin Sumbu Horizontal membutuhkan mekanisme kontrol *yaw* tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin.



Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Sumber : <http://www.satuenergi.com/2015/10/jenis-jenis-turbin-angin-serta.html>

#### **2.5.1.2 Turbin angin sumbu vertikal**

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros atau 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. Turbin Angin Sumbu Vertikal 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 dipasang menara turbin kira-kira 50% dari tinggi bangunan, ini merupakan titik optimal bagi energi angin yang maksimal dan turbulensi angin yang minimal. Adapun kelebihan turbin angin sumbu vertikal, sebagai berikut :

1. Tidak membutuhkan struktur yang besar.
2. Karena bilah-bilah rotornya vertikal, tidak dibutuhkan mekanisme yaw.
3. Sebuah turbin angin sumbu vertikal bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, dengan ini dapat membuat pemeliharaan bagian - bagiannya yang bergerak jauh lebih mudah.
4. Turbin angin sumbu vertikal 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 .
5. Desain turbin angin sumbu vertikal 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 turbin angin sumbu horizontal.
6. Turbin angin sumbu vertikal memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada turbin angin sumbu horizontal. Biasanya turbin angin sumbu vertikal mulai menghasilkan listrik pada 10km/jam (6 m.p.h.).
7. Turbin angin sumbu vertikal 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.
8. Turbin angin sumbu vertikal bisa didirikan pada lokasi - lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
9. Turbin angin sumbu vertikal 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).

10. Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah..
11. Kincir pada turbin angin sumbu vertikal mudah dilihat dan dihindari burung.

Berdasarkan kelebihan turbin angin, adapun kelemahan turbin angin sumbu vertikal diantaranya, sebagai berikut:

1. Kebanyakan turbin angin sumbu vertikal memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi turbin angin sumbu horizontal karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir berputar.
2. Turbin angin sumbu vertikal tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
3. Kebanyakan turbin angin sumbu vertikal mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.
4. Sebuah turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor di bebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.



Gambar 2.5 Turbin Angin Sumbu Vertikal

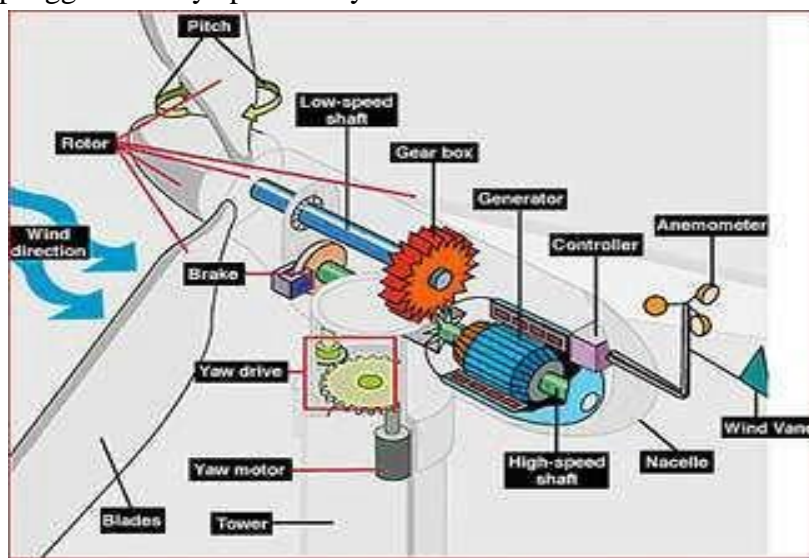
Sumber : [https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin\\_angin](https://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_angin)

### 2.5.2 Bagian penyusun dari turbin angin

1. *Anemometer* : Mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke Alat Pengontrol.
2. *Blades* (Sudu) : Kebanyakan turbin angin mempunyai 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar.
3. *Brake* (Rem) : Suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat.
4. *Controller* (Alat Pengontrol) : Alat Pengontrol ini men-*start* turbin pada kecepatan angin kira - kira 12-25 km/jam, dan kemudian mematkannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi diatas 90km/jam. Hal ini dikarenakan tiupan angin yang terlalu kencang dapat merusakkannya.
5. *Gearbox* (Roda Gigi) : Roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi sekitar 1000-1800 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.
6. *Generator* : Generator pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak - balik.
7. *High-speedshaft* (Poros Putaran Tinggi) : Berfungsi untuk menggerakkan generator.
8. *Low-speedshaft* (Poros Putaran Rendah) : Poros turbin yang berputar kira - kira 30 - 60 rpm.
9. *Nacelle* (Rumah Mesin) : Rumah mesin ini terletak diatas menara. Di dalamnya berisi *gearbox*, poros putaran tinggi atau rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
10. *Pitch* (Sudut Bilah Kipas) : Bilah kipas dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan rotor yang dikehendaki. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang.
11. *Rotor* : Bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor.
12. *Tower* (Menara) : Menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, atau pun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga

angin yang didapat.

13. *Wind direction* (Arah Angin) : Adalah turbin yang menghadap angin.
14. *Wind vane* (Tebeng Angin) : Mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin.
15. *Yaw drive* (Penggerak Arah): Penggerak arah memutar turbin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
16. *Yaw motor* (Motor Penggerak Arah) : Motor listrik yang menggerakkan *Yaw drive*.
17. *Battery* (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 penyimpan 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.



Gambar 2.6 Bagian Penyusun Turbin Angin

Sumber : <http://lugiromadoni.blogspot.co.id/>



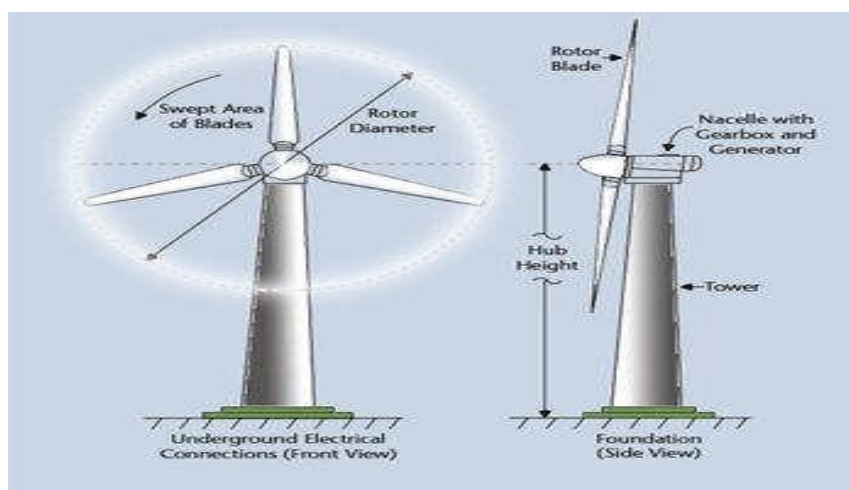
### 2.5.3 Kontruksi turbin angin

Kontruksi turbin sngin trdiri dari sudu (blade), generator, penyimpanan energi (*battery*), *rectifier – inverter*.

#### 2.5.3.1 Sudu (*Blade*)

Untuk mendapatkan hasil yang optimal maximal dari sebuah kincir angin maka perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Bentuk sudu seperti sekerup atau memuntir, sehingga aerodinamisnya semakin baik.
2. Untuk mendapatkan energi yang lebih baik sayap – sayap dipasang langsung pada rotor.
3. Memperhatikan jumlah sudu yang ideal, jumlah sudu dapat berjumlah 3, 4, 6, dan 12.



Gambar 2.7 Rotor Sudu Turbin Angin

Sumber : <http://backupkuliah.blogspot.co.id/2013/06/energi-angin.html>

#### 2.5.3.2 Generator

Generator AC dan generator DC memiliki perbedaan prinsip. Untuk generator DC kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap di tempat, diputar oleh tenaga mekanik. Pada generator AC, konstruksinya sebaliknya yaitu, kumparan jangkar disebut juga

kumparan stator karena berbeda pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersamasama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik.

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh tenaga air atau tenaga lainnya, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak-balik atau fluks putar. Flux putar ini akan memotong-motong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dan flux putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.

#### A. Generator AC

Pada generator AC dipakai sebuah medan magnetic yang berputar sehingga energi listrik dan lilitan stator dapat dikeluarkan. Arus penguatan untuk rotor dihasilkan oleh satu atau lebih lilitan generator yang dipasang pada poros dimana juga rotor terpasang. Listrik yang dihasilkan disearahkan dengan bantuan dioda. Dioda adalah elemen pengantar tanggung yang meneruskan arus listrik hanya pada satu arah. Generator AC jenis praktis menghasilkan arus bolak balik tiga fase dengan frekuensi yang tergantung dan jumlah putaran rotor. Hal ini praktis tidak memungkinkan penghubungan jaringan (50Hz), kecuali kalau dengan perantaraan pengaturan putaran jaringan dapat disinkronisasikan. Jika generator ini dihubungkan dengan sebuah jembatan perata arus, maka dapat diperoleh arus searah dengan keuntungan yang telah disebut terdahulu.

#### B. Generator DC

Bekerjanya generator DC berdasarkan pengaruh timbal balik antara medan-medan magnetik dari stator dan rotor. Di dalam lilitan stator, arus tiga fase yang dihubungkan membangkitkan medan magnetik yang berputar. Karena ini terjadilah medan magnetik di dalam rotor sehingga di dalam lilitan-lilitan yang dihubungkan dengan singkat, mengalir arus. Sebagai

akibatnya arus ini mengubah medan rotornya sedemikian rupa sehingga rotor itu berputar. Di medan rotor dan medan stator selalu harus ada perubahan, sebab kalau tidak begitu mesinnya tidak dapat bekerja.

Jadi, rotor itu tidak akan pernah berputar sinkron dengan medan rotor. Kalau motornya yang berputar, rotor itu berputar mengikuti medan stator. Perbedaan antara putaran rotor dan medan stator disebut selip dan dinyatakan dengan proses dan putaran sinkron. Bila rotor ini berputar lebih cepat dan pada medan stator, maka mesinnya bekerja sebagai generator. Juga di sini terdapat selip. Tegangan yang dihasilkan adalah sefase dengan tegangan jaringan; variasi jumlah putaran (dalam batas-batas tertentu) diserap oleh selip. Adapun kelebihan generator, sebagai berikut :

1. Generator ini tidak begitu peka terhadap gangguan. Di dalamnya tidak terdapat sikat - sikat arang, gelanggelang seret dan pengaturan-pengaturan yang mudah rusak. Terutama bagi kincir angin, hal ini sangat penting karena kincir angin tidak mudah dimasuki untuk perawatan.
2. Sedikit variasi pada jumlah putaran ditampung oleh selip, sehingga alat-alat yang mahal untuk mengkonstarikan putaran tidak diperlukan.
3. Sedikit variasi pada jumlah putaran ditampung oleh selip, sehingga alat-alat yang mahal untuk mengkonstarikan putaran tidak diperlukan.

Berdasarkan kelebihan generator, adapun kelemahan generator diantaranya, sebagai berikut:

1. Mesinnya memerlukan arus mati jaringan. Walaupun arus mati sebenarnya tidak membangkitkan daya di dalam mesin, tetapi itu dapat menimbulkan kerugian pada kawat - kawat dimulai dan sentral. Dampak ini dapat dibatasi dengan kompensasi arus mati.
2. Arus gerak awal sangat tinggi, sehingga akibat dan menurunnya tegangan pada saluran - saluran dapat terjadi kelipan inisialnya pada cahaya lampu. Sebuah varian pada generator DC adalah mesin nadi gelang seret. Di sini lilitan rotornya tidak dihubungkan secara singkat, tetapi dikeluarkan melalui gelang-gelang seret. Dengan mengatur arus

rotorya, beberapa variasi yang lebih besar dalam jumlah putarannya masih dapat diserap.

### **2.5.3.3 Penyimpanan energi (*Battery*)**

Karena keterbatasan ketersediaan akan energi angin (tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia) maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Oleh karena itu digunakan alat penyimpan 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 accu mobil. Kendala dalam menggunakan alat ini adalah alat ini memerlukan catu daya DC (*Direct Current*) untuk mengcharge/mengisi energi, sedangkan dari generator dihasilkan catu daya AC (*Alternating Current*). Oleh karena itu diperlukan rectifier-inverter untuk mengakomodasi keperluan ini.

### **2.5.3.4 Rectifier - Inverter**

*Rectifier* berarti penyearah. *Rectifier* dapat menyearahkan gelombang sinusoidal (AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. *Inverter* berarti pembalik. Ketika dibutuhkan daya dari penyimpan energi (*accu*/lainnya) maka catu yang dihasilkan oleh accu akan berbentuk gelombang DC. Karena kebanyakan kebutuhan rumah tangga menggunakan catu daya AC, maka diperlukan *inverter* untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh *accu* menjadi gelombang AC, agar dapat digunakan oleh rumah tangga.

#### 2.5.4 Pemilihan tempat pemasangan turbin angin

Secara umum tempat - tempat yang baik untuk pemasangan turbin angin antara lain:

1. Celah di antara gunung. Tempat ini dapat berfungsi sebagai nozzle, yang mempercepat aliran angin.
2. Dataran terbuka. Karena tidak ada penghalang yang dapat memperlambat angin, dataran terbuka yang sangat luas memiliki potensi energi angin yang besar.
3. Pesisir pantai. Perbedaan suhu udara di laut dan di daratan menyebabkan angin bertiup secara terus menerus.

Walau pada dasarnya turbin angin dapat dipasang di mana saja di tempat tersebut di atas, pengkajian potensi angin tetap harus dilakukan untuk mendapatkan suatu sistem konversi energi angin yang tepat. Pengkajian potensi energi angin di suatu tempat dilakukan dengan mengukur dan menganalisis kecepatan dan arah angin. Analisis data angin dilakukan dengan menggunakan metoda statistik untuk mencari kecepatan angin rata-rata, durasi kecepatan angin dan distribusi frekwensi data angin. Jika informasi mengenai arah angin juga tersedia, analisis dengan menggunakan metoda wind rose dapat dilakukan untuk mengetahui kecepatan rata-rata, frekuensi dan energi angin di setiap arah mata angin.

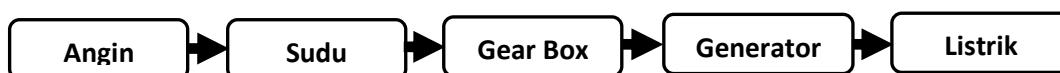
Pada prakteknya, penentuan tempat pemasangan sistem konversi energy angin dapat ditentukan dengan cara:

1. Pilih Tempat : Tempat ditentukan sesuai kebutuhan, kemudian potensi energi angin dikaji dari data yang didapat. Cara ini mempertimbangkan:
  - a. Aksesibilitas baik untuk pekerjaan konstruksi maupun perawatan,
  - b. Kondisi Sosial Budaya Setempat,
  - c. Kepentingan lain.
2. Pilih Potensi : Pemilihan tempat berdasarkan besarnya potensi energy angin yang tersedia. Semakin besar kecepatan angin rata - rata di suatu tempat akan semakin baik. Semakin tinggi potensi energi yang tersedia

akan memberikan keuntungan berupa ukuran sistem konversi energy angin yang semakin kecil dan tidak perlu terlalu efisien sehingga pembuatannya akan lebih mudah dan murah.

### 2.5.5 Konversi turbin angin

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



Gambar 2.8 Skema Konversi Energi Angin

Sumber : <http://backupkuliah.blogspot.co.id/2013/06/energi-angin.html>

Dari prinsip dasar kerja turbin angin yang mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Baling - baling menerima datangnya angin sehingga ia berputar pada porosnya, putarannya tidak terlalu cepat karena massanya yang besar, diteruskan oleh poros laju rendah ke belakang melalui gearbox. Gearbox mengubah laju putar menjadi lebih cepat, konsekuensinya dengan momen gaya yang lebih kecil, sesuai dengan kebutuhan generator yang ada di belakangnya. Generator kemudian mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik.

### 2.5.6 Daya Mekanik Turbin Angin

Daya mekanik pada turbin angin dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin yang memutar turbin, semakin besar kecepatan angin tentunya daya mekanik yang dihasilkan akan semakin besar. Daya mekanik pada turbin ( $P_T$ ) juga sangat dipengaruhi oleh besarnya torsi ( $\tau$ ) dan kecepatan putaran sudut ( $\omega$ ). Untuk mengetahui nilai torsi ( $\tau$ ) dan kecepatan putaran sudut ( $\omega$ ) dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut :

- Momen inersia untuk satu sudu (*Blade*)

$$I = \frac{1}{3}ML^2 \dots\dots\dots (2.7)^3$$

Dengan ;

M = Massa Sudu

L = Panjang Sudu

- Percepatan

$$\alpha = \frac{v^2}{t} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

v = Kecepatan Angin

t = Waktu Maksimum

Pada benda berotasi untuk mencari torsi ( $\tau$ ) yang dihasilkan dapat dihitung dari persamaan (2.7) dan (2.8).

$$\tau = I \cdot \alpha \dots\dots\dots (2.9)$$

Kecepatan putaran sudut ( $\omega$ ) yang dihasilkan sebuah turbin angin dapat dihitung menggunakan rumus.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan :

n = Kecepatan putaran (Rpm)

Untuk menghitung daya mekanik turbin ( $P_T$ ) menggunakan torsi ( $\tau$ ) dan kecepatan putaran sudut ( $\omega$ ) sebagai pengalinya dengan “Persamaan (2.9) dan (2.10)”.

$$P_T = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots (2.11)$$

---

<sup>3</sup> David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Fisika Dasar Edisi Ketujuh Jilid 1 (Jakarta: Erlangga, 2010), hlm.273-274.