



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi Terbarukan**

##### **2.1.1 Definisi Energi**

Energi adalah kemampuan melakukan kerja. Disebut demikian karena setiap kerja yang dilakukan sekecil apapun dan seringnya apapun tetap membutuhkan energi. Menurut KBBI energi didefinisikan sebagai daya atau kekuatan yang diperlukan untuk melakukan berbagai proses kegiatan. Energi merupakan bagian dari suatu benda tetapi tidak terikat pada benda tersebut. Energi bersifat fleksibel artinya dapat berpindah dan berubah. Berikut beberapa pendapat ahli tentang pengertian energi;

1. Energi adalah kemampuan membuat sesuatu terjadi (Robert L. Wolke).
2. Energi adalah kemampuan benda untuk melakukan usaha (Mikrajuddin).
3. Energi adalah suatu bentuk kekuatan yang dihasilkan atau dimiliki oleh suatu benda (Pardiyono).
4. Energi adalah sebuah konsep dasar termodinamika dan merupakan salah satu aspek penting dalam analisis teknik (Michael J. Moran), dll.

Dari berbagai pengertian dan definisi energi diatas dapat disimpulkan bahwa secara umum energi dapat didefinisikan sebagai kekuatan yang dimiliki oleh suatu benda sehingga mampu untuk melakukan kerja.

##### **2.1.2 Definisi Energi Terbarukan**

Energi terbarukan adalah adalah energi yang berasal dari "proses alam yang berkelanjutan", seperti tenaga surya, tenaga angin, arus air proses biologi, dan panas bumi.(wikipedia).

### 2.1.3 Jenis Energi

#### 1. Energi Yang Berasal Dari Fosil

Energi yang berasal dari fosil adalah energi yang kesediaan sumbernya di alam terbatas, sumber energi yang berasal dari fosil adalah batu bara, minyak bumi, dan gas alam.

#### 2. Energi Terbarukan

Konsep energi terbarukan mulai dikenal pada tahun 1970-an, sebagai upaya untuk mengimbangi pengembangan energi berbahan bakar nuklir dan fosil. Definisi paling umum adalah sumber energi yang dapat dengan cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan. Dengan definisi ini, maka bahan bakar nuklir dan fosil tidak termasuk di dalamnya. (wikipedia).

## 2.2 Sumber Energi Yang Berasal Dari Fosil

### 2.2.1 Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen.

Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk.

### 2.2.2 Minyak Bumi

Minyak Bumi (bahasa Inggris: *petroleum*, dari bahasa Latin *petrus*-karang dan *oleum*-minyak), dijuluki juga sebagai *emas hitam*, adalah cairan kental, berwarna coklat gelap, atau kehijauan yang mudah terbakar, yang berada di lapisan atas dari beberapa area di kerak bumi. Minyak Bumi terdiri dari campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon, sebagian besar seri alkana, tetapi bervariasi dalam penampilan, komposisi, dan kemurniannya. Minyak Bumi diambil dari sumur minyak di pertambangan-pertambangan

minyak. Lokasi sumur-sumur minyak ini didapatkan setelah melalui proses studi geologi, analisis sedimen, karakter dan struktur sumber, dan berbagai macam studi lainnya.

### **2.2.3 Gas Alam**

Gas alam sering juga disebut sebagai gas Bumi atau gas rawa, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana  $\text{CH}_4$ ). Ia dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas Bumi dan juga tambang batu bara. Ketika gas yang kaya dengan metana diproduksi melalui pembusukan oleh bakteri anaerobik dari bahan-bahan organik selain dari fosil, maka ia disebut biogas. Sumber biogas dapat ditemukan di rawa-rawa, tempat pembuangan akhir sampah, serta penampungan kotoran manusia dan hewan.

## **2.3 Sumber Energi Terbarukan**

### **2.3.1 Energi Panas Bumi**

Energi panas bumi berasal dari peluruhan radioaktif di pusat Bumi, yang membuat Bumi panas dari dalam, serta dari panas matahari yang membuat panas permukaan bumi. Panas bumi adalah suatu bentuk energi panas atau energi termal yang dihasilkan dan disimpan di dalam bumi. Energi panas adalah energi yang menentukan temperatur suatu benda. Energi panas bumi berasal dari energi hasil pembentukan planet (20%) dan peluruhan radioaktif dari mineral (80%) Gradien panas bumi, yang didefinisikan dengan perbedaan temperatur antara inti bumi dan permukaannya, mengendalikan konduksi yang terus menerus terjadi dalam bentuk energi panas dari inti ke permukaan bumi.

Temperatur inti bumi mencapai lebih dari  $5000\text{ }^\circ\text{C}$ . Panas mengalir secara konduksi menuju bebatuan sekitar inti bumi. Panas ini menyebabkan bebatuan tersebut meleleh, membentuk magma. Magma mengalirkan panas secara konveksi dan bergerak naik karena magma yang berupa bebatuan cair memiliki massa jenis yang lebih rendah dari bebatuan padat. Magma

memanaskan kerak bumi dan air yang mengalir di dalam kerak bumi, memanaskannya hingga mencapai 300 °C. Air yang panas ini menimbulkan tekanan tinggi sehingga air keluar dari kerak bumi.

Energi panas bumi dari inti Bumi lebih dekat ke permukaan di beberapa daerah. Uap panas atau air bawah tanah dapat dimanfaatkan, dibawa ke permukaan, dan dapat digunakan untuk membangkitkan listrik. Sumber tenaga panas bumi berada di beberapa bagian yang tidak stabil secara geologis seperti Islandia, Selandia Baru, Amerika Serikat, Filipina, dan Italia. Dua wilayah yang paling menonjol selama ini di Amerika Serikat berada di kubah Yellowstone dan di utara California. Islandia menghasilkan tenaga panas bumi dan mengalirkan energi ke 66% dari semua rumah yang ada di Islandia pada tahun 2000, dalam bentuk energi panas secara langsung dan energi listrik melalui pembangkit listrik. 86% rumah yang ada di Islandia memanfaatkan panas bumi sebagai pemanas rumah. Ada tiga cara pemanfaatan panas bumi:

1. Sebagai tenaga pembangkit listrik dan digunakan dalam bentuk listrik.
2. Sebagai sumber panas yang dimanfaatkan secara langsung menggunakan pipa ke perut bumi.
3. Sebagai pompa panas yang dipompa langsung dari perut bumi.

### **2.3.2 Energi Surya**

Energi surya adalah energi yang dikumpulkan secara langsung dari cahaya matahari. Tentu saja matahari tidak memberikan energi yang konstan untuk setiap titik di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan untuk mengisi daya baterai, di siang hari dan daya dari baterai tersebut digunakan di malam hari ketika cahaya matahari tidak tersedia. Tenaga surya dapat digunakan untuk:

1. Menghasilkan listrik menggunakan sel surya
2. Menghasilkan listrik Menggunakan menara surya
3. Memanaskan gedung secara langsung

4. Memanaskan gedung melalui pompa panas
5. Memanaskan makanan Menggunakan oven surya

### 2.3.3 Tenaga Air

Energi air digunakan karena memiliki massa dan mampu mengalir. Air memiliki massa jenis 800 kali dibandingkan udara. Bahkan gerakan air yang lambat mampu diubah ke dalam bentuk energi lain. Turbin air didesain untuk mendapatkan energi dari berbagai jenis reservoir, yang diperhitungkan dari jumlah massa air, ketinggian, hingga kecepatan air. Energi air dimanfaatkan dalam bentuk:

1. Bendungan pembangkit listrik. Yang terbesar adalah Three Gorges dam di China.
2. Mikrohidro yang dibangun untuk membangkitkan listrik hingga skala 100 kilowatt. Umumnya dipakai di daerah terpencil yang memiliki banyak sumber air.
3. Run-of-the-river yang dibangun dengan memanfaatkan energi kinetik dari aliran air tanpa membutuhkan reservoir air yang besar.

### 2.3.4 Biomassa

Tumbuhan biasanya menggunakan fotosintesis untuk menyimpan tenaga surya, udara, dan CO<sub>2</sub>. Bahan bakar bio (biofuel) adalah bahan bakar yang diperoleh dari biomassa - organisme atau produk dari metabolisme hewan, seperti kotoran dari sapi dan sebagainya. Ini juga merupakan salah satu sumber energi terbarukan. Biasanya biomass dibakar untuk melepas energi kimia yang tersimpan di dalamnya, pengecualian ketika biofuel digunakan untuk bahan bakar fuel cell (misal direct methanol fuel cell dan direct ethanol fuel cell). Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar atau untuk memproduksi bahan bakar jenis lain seperti biodiesel, bioetanol, atau biogas tergantung sumbernya. Biomassa berbentuk biodiesel, bioetanol, dan biogas dapat dibakar dalam mesin pembakaran dalam atau pendidih secara langsung dengan kondisi tertentu.

Biomassa menjadi sumber energi terbarukan jika laju pengambilan tidak melebihi laju produksinya, karena pada dasarnya biomassa merupakan bahan yang diproduksi oleh alam dalam waktu relatif singkat melalui berbagai proses biologis. Berbagai kasus penggunaan biomassa yang tidak terbarukan sudah terjadi, seperti kasus deforestasi jaman romawi, dan yang sekarang terjadi, deforestasi hutan amazon. Gambut juga sebenarnya biomassa yang pendefinisianya sebagai energi terbarukan cukup bias karena laju ekstraksi oleh manusia tidak sebanding dengan laju pertumbuhan lapisan gambut.

Ada tiga bentuk penggunaan biomassa, yaitu secara padat, cair, dan gas. Dan secara umum ada dua metode dalam memproduksi biomassa, yaitu dengan menumbuhkan organisme penghasil biomassa dan menggunakan bahan sisa hasil industri pengolahan makhluk hidup.

#### 1. Bahan bakar bio cair

Bahan bakar bio cair biasanya berbentuk bioalkohol seperti metanol, etanol dan biodiesel. Biodiesel dapat digunakan pada kendaraan diesel modern dengan sedikit atau tanpa modifikasi dan dapat diperoleh dari limbah sayur dan minyak hewani serta lemak. Tergantung potensi setiap daerah, jagung, gula bit, tebu, dan beberapa jenis rumput dibudidayakan untuk menghasilkan bioetanol. Sedangkan biodiesel dihasilkan dari tanaman atau hasil tanaman yang mengandung minyak (kelapa sawit, kopra, biji jarak, alga) dan telah melalui berbagai proses seperti esterifikasi.

#### 2. Biomassa padat

Penggunaan langsung biasanya dalam bentuk padatan yang mudah terbakar, baik kayu bakar atau tanaman yang mudah terbakar. Tanaman dapat dibudidayakan secara khusus untuk pembakaran atau dapat digunakan untuk keperluan lain, seperti diolah di industri tertentu dan limbah hasil pengolahan yang bisa dibakar dijadikan bahan bakar. Pembuatan briket biomassa juga menggunakan biomassa padat, di mana bahan bakunya bisa berupa potongan atau serpihan biomassa padat mentah atau yang telah

melalui proses tertentu seperti pirolisis untuk meningkatkan persentase karbon dan mengurangi kadar airnya.

Biomassa padat juga bisa diolah dengan cara gasifikasi untuk menghasilkan gas.

### 3. Biogas

Berbagai bahan organik, secara biologis dengan fermentasi, maupun secara fisiko-kimia dengan gasifikasi, dapat melepaskan gas yang mudah terbakar. Biogas dapat dengan mudah dihasilkan dari berbagai limbah dari industri yang ada saat ini, seperti produksi kertas, produksi gula, kotoran hewan peternakan, dan sebagainya. Berbagai aliran limbah harus diencerkan dengan air dan dibiarkan secara alami berfermentasi, menghasilkan gas metana. Residu dari aktivitas fermentasi ini adalah pupuk yang kaya nitrogen, karbon, dan mineral.

#### 2.3.5 Tenaga Angin

Perbedaan temperatur di dua tempat yang berbeda menghasilkan tekanan udara yang berbeda, sehingga menghasilkan angin. Angin adalah gerakan materi (udara) dan telah diketahui sejak lama mampu menggerakkan turbin. Turbin angin dimanfaatkan untuk menghasilkan energi kinetik maupun energi listrik. Energi yang tersedia dari angin adalah fungsi dari kecepatan angin; ketika kecepatan angin meningkat, maka energi keluarannya juga meningkat hingga ke batas maksimum energi yang mampu dihasilkan turbin tersebut. Wilayah dengan angin yang lebih kuat dan konstan seperti lepas pantai dan dataran tinggi, biasanya diutamakan untuk dibangun "ladang angin".

## 2.4 Energi Angin

Dua ribu tahun yang lalu manusia sudah dapat memanfaatkan energi angin untuk usaha sederhana. Beratus-ratus tahun kemudian energi angin itu menjadi semakin jelas pemanfaatannya. Kapal kecil dan besar dapat mengarungi lautan luas dengan bantuan energi angin yang meniup layar kapal. Angin merupakan udara

yang bergerak; udara yang berpindah tempat, mengalir dari tempat yang dingin ke tempat yang panas dan dari tempat yang panas mengalir ke tempat yang dingin, demikian terus-menerus.

Angin adalah proses alam yang berlaku secara skala kecil dan skala besar, secara lingkup daerah dan dunia. Di lapisan atmosfer bawah udara dingin mengalir dari daerah kutub menuju daerah khatulistiwa dan di lapisan atmosfer atas udara hangat mengalir dari khatulistiwa menuju daerah kutub.

Angin merupakan suatu energi alam yang berlimpah adanya di bumi yang juga merupakan energi yang murah serta tak pernah habis. Energi angin telah lama dikenal dan dimanfaatkan oleh manusia. Adapun pemanfaatannya adalah antara lain :

- Pemompaan air untuk keperluan rumah tangga dan pertanian.
- Melaksanakan kegiatan pertanian, seperti menggiling jagung, menggiling tepung, tebu.
- Mengalirkan air laut untuk pembuatan garam.
- Membangkitkan tenaga listrik khususnya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin terutama untuk daerah yang belum terjangkau oleh PLN.

## 2.5 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 menerima  $1,74 \times 1.017$  watt daya.

Sekitar 1-2 persen 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  $0^\circ$ , 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 temperatur permukaan laut yang diambil dari satelit NOAA-7 pada Juli 1984. Udara panas lebih ringan daripada udara dingin dan akan naik ke atas sampai mencapai ketinggian sekitar 10 kilometer dan akan tersebar ke arah utara dan selatan.

Jika bumi tidak berotasi pada sumbunya, maka udara akan tiba di kutub utara dan kutub selatan, turun ke permukaan lalu kembali ke khatulistiwa. Udara yang bergerak inilah yang merupakan energi yang dapat diperbaharui, yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan akhirnya dapat menghasilkan listrik.

## **2.6 Proses Terjadinya Angin**

Angin terjadi bila terdapat pemanasan permukaan bumi yang tak sama oleh sinar matahari. Disiang hari udara di atas lautan relatif lebih dingin daripada daratan. Sinar matahari menguapkan air lautan dan diserap lautan. Penguapan dan absorpsi sinar matahari di daratan kurang sehingga udara di atas daratan lebih panas. Dengan demikian udara di atas mengembang, jadi ringan dan naik ke atas.

Udara dingin yang lebih berat turun mengisi kekurangan udara di daratan, maka terjadilah aliran udara yang disebut angin dari lautan ke daratan tepi pantai. Di malam hari peristiwa yang sebaliknya terjadi, angin di permukaan laut mengalir dari pantai ke tengah lautan dan peristiwa inilah yang dimanfaatkan oleh para nelayan untuk mencari ikan di lautan.

Angin di lereng gunung juga terjadi demikian. Pada sekitar puncak pegunungan lebih dulu panas dibandingkan dengan daerah lembah. Karena perbedaan panas ini sehingga menimbulkan perbedaan tekanan yang akhirnya timbul angin biasa yang disebut angin lembah dan angin gunung.

## **2.7 Energi Tenaga Angin**

Energi angin juga menjadi pilihan alternatif sebagai energi pengganti bahan bakar fosil, yang disediakan alam secara gratis. Energi angin tersedia dalam jumlah tidak terbatas, selama bumi masih memiliki cadangan udara. Energi tersebut dihasilkan oleh angin yang menggerakkan kincir angin ukuran raksasa. Biasanya

kincir angin sebagai penghasil energi diletakkan pada wilayah tertentu dengan tingkat intensitas angin yang tinggi.

Untuk menggerakkan blade / baling-baling agar bisa berputar saja harus memiliki kecepatan angin 2 meter/detik dan untuk menghasilkan listrik yang stabil sesuai kapasitas generatornya rata-rata 6 s/d 10 meter/detik.

Pembangkit ini bisa digunakan untuk skala kecil, menengah dan besar karena arus yang dihasilkan dalam 1 jam lebih besar serta membutuhkan investasi yang lebih murah ketimbang PLTS .Daerah yang cocok digunakan pembangkit ini adalah daerah pantai, pesisir, pegunungan.

Kincir angin merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Awal mulanya kincir angin digunakan pada zaman babilonia untuk penggilingan padi.

Penggunaan teknologi modern dimulai sekitar tahun 1930, diperkirakan ada sekitar 600.000 buah kincir angin untuk berbagai keperluan. Saat ini kapasitas daya yang dihasilkan kincir angin skala industri antara 1 – 4 mw.

Prinsip kerja Turbin Angin adalah mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik putaran poros. Energi mekanik poros biasanya dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik menggunakan suatu generator. Energi listrik sifatnya sangat fleksibel. Energi ini dapat digunakan untuk penerangan, menggerakkan mesin-mesin industri, transportasi, dan masih banyak lagi.

## 2.8 Daya Angin

Energi angin adalah energi yang terkandung dalam pergerakan massa aliran udara. Energi jenis ini disebut energi kinetik ( $KE$ ) dan merupakan fungsi dari massa  $m$  dan kecepatan fluida  $V$ , yang diberikan oleh persamaan:

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_w^2 \quad (2.1)$$

Daya angin adalah laju aliran energi kinetik per satuan waktu. Laju aliran massa diturunkan dengan mengalikan laju aliran volume  $A \cdot V$  silinder dengan

densitas aliran  $\rho$  dan sama dengan massa yang mengalir dalam silinder per satuan waktu:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot V_w \quad (2.2)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan 2.2 ke 2.1 maka daya angin dapat dihitung dalam satuan watt yaitu:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot V_w^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^3 \quad (2.3)$$

Dimana:

$P_w$  = Daya angin (Watt)

$\rho$  = Densitas udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$A$  = Luas sapuan angin ( $\text{m}^2$ )

$\dot{m}$  = Laju aliran massa ( $\text{kg}/\text{s}$ )

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

## 2.9 Turbin

Turbin adalah suatu mesin rotari yang berfungsi untuk mengubah energi dari aliran fluida menjadi energi gerak yang bermanfaat. Mesin turbin yang paling sederhana terdiri dari sebuah bagian yang berputar disebut rotor, yang terdiri atas sebuah poros/shaft dengan sudu-sudu atau blade yang terpasang sekelilingnya. Rotor tersebut berputar akibat dari tumbukan aliran fluida atau berputar sebagai reaksi dari aliran fluida tersebut.

### 2.9.1 Turbin Gas

Turbin gas adalah sebuah mesin panas pembakaran dalam, proses kerjanya seperti motor bakar yaitu udara atmosfer dihisap masuk kompresor dan dikompresi, kemudian udara mampat masuk ruang bakar dan dipakai untuk proses pembakaran, sehingga diperoleh suatu energi panas yang besar. Energi panas tersebut diekspansikan pada turbin dan menghasilkan energi mekanik pada poros. Sisa gas pembakaran yang ke luar turbin menjadi energi dorong (turbin gas pesawat terbang). Jadi jelas bahwa

turbin gas adalah mesin yang dapat mengubah energi panas menjadi energi mekanik atau dorong. Persamaan turbin gas dengan motor bakar adalah pada proses pembakarannya yang terjadi di dalam mesin itu sendiri.

Disamping itu proses kerjanya adalah sama yaitu: hisap, kompresi, pembakaran, ekspansi dan buang. Perbedaannya adalah terletak pada konstruksinya. Motor bakar kebanyakan bekerja gerak bolak-balik (reciprocating) sedangkan turbin gas adalah mesin rotasi, proses kerja motor bakar bertahap (intermiten), untuk turbin gas adalah kontinyu dan gas buang pada motor bakar tidak pernah dipakai untuk gaya dorong.

Turbin gas bekerja secara kontinyu tidak bertahap, semua proses yaitu hisap, kompresi, pembakaran dan buang adalah berlangsung bersamaan. Pada motor bakar yang prosesnya bertahap yaitu yang dinamakan langkah, yaitu langkah hisap, kompresi, pembakaran, ekspansi dan langkah buang. Antara langkah satu dan lainnya saling bergantung dan bekerja bergantian. Pada proses ekspansi turbin gas, terjadi perubahan energi dari energi panas menjadi energi mekanik putaran poros turbin, sedangkan pada motor bakar pada langkah ekspansi terjadi perubahan dari energi panas menjadi energi mekanik gerak bolak-balik torak. Dengan kondisi tersebut, turbin gas bekerja lebih halus dan tidak banyak getaran.

### **2.9.2 Turbin Air**

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi :

#### **1. Turbin Impuls**

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air(yang terdiri dari energi potensial+tekanan+kecepatan) yang

tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nozle tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton.

## 2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

### 2.9.3 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 dibangun 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 pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional

(Contoh: PLTD, PLTU, dll), turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.

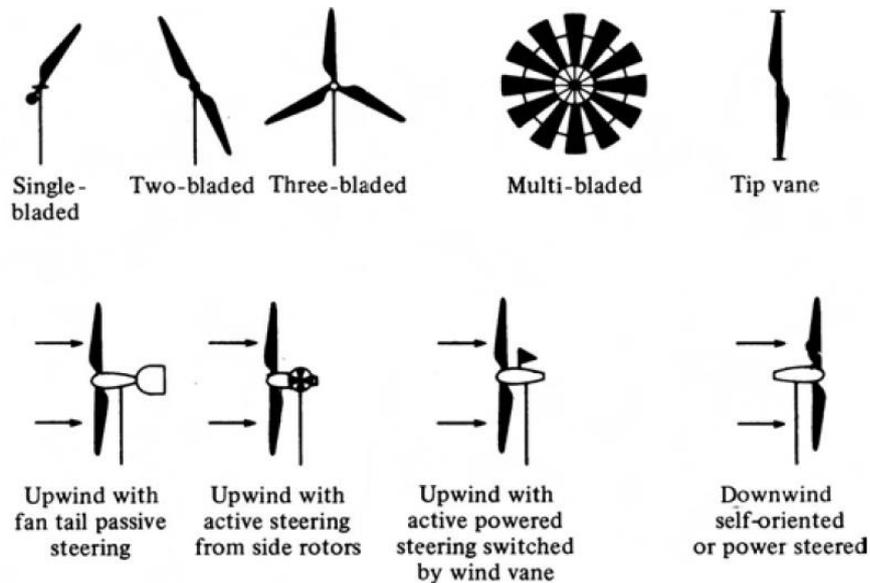
Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu, yaitu :

### **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 TASH 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.

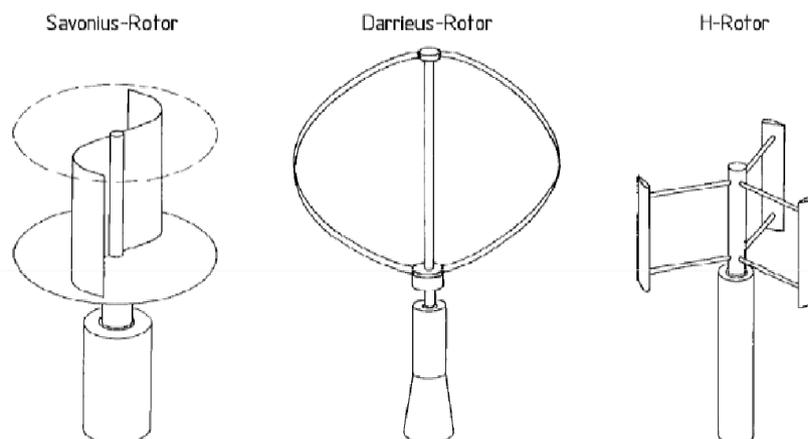


Gambar 2. 1 Turbin angin sumbu horizontal (Twidell & Weir, 2006)

## 2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Kendala penggunaan turbin angin adalah kecepatan angin dan arah angin yang berubah-ubah sepanjang waktu. Oleh karena itu, turbin angin yang baik adalah turbin yang dapat menerima angin dari segala arah selain itu juga mampu bekerja pada angin dalam kecepatan yang rendah salah satunya Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Turbin ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal.

Ada berbagai type TASV yang sering digunakan diantaranya adalah Tipe Savonius, Tipe Darrieus, dan Tipe H-Rotor.



Gambar 2. 2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (Eric Hau, 2006)

**a. Tipe Savonius TASV**

Diciptakan oleh seorang insinyur Finlandia SJ Savonius pada tahun 1929. Kincir TASV ini merupakan jenis yang paling sederhana dan menjadi versi besar dari anemometer. Kincir Savonius dapat berputar karena adanya gaya dorong dari angin, sehingga putaran rotorpun tidak akan melebihi kecepatan angin. Meskipun daya koefisien untuk jenis turbin angin bervariasi antara 30% sampai 45%, menurut banyak peneliti untuk jenis Savonius biasanya tidak lebih dari 25%. Jenis turbin ini cocok untuk aplikasi daya yang rendah dan biasanya digunakan pada kecepatan angin yang berbeda.

**b. Type Darrieus TASV**

Ditemukan oleh seorang insinyur Perancis George Jean Maria Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Ia memiliki 2 bentuk turbin yang digunakan diantaranya adalah “Eggbeater/ Curved Bladed” dan “Straightbladed” TASV. Sketsa dari kedua variasi konsep Darrieus ditunjukkan dalam gambar dibawah. Kincir angin Darrieus TASV mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudu bilah yang diatur relatif terhadap poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan Savonius, kincir angin Darrieus bergerak dengan memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.

**c. Type H-rotor**

Dikembangkan di Inggris melalui penelitian yang dilakukan selama 1970-1980an, diuraikan bahwa mekanisme yang digunakan pada pisau berbilah lurus (Straight-bladed) Darrieus TASV tidak diperlukan, ternyata ditemukan bahwa efek hambatan yang diciptakan oleh sebuah pisau akan membatasi kecepatan aliran angin. Oleh karena itu, H-rotor akan mengatur semua kecepatan angin untuk mencapai kecepatan putaran optimalnya.

## 2.10 Turbin Savonius

Turbin savonius memiliki *tip speed ratio* dan koefisien daya ( $C_p$ ) yang lebih rendah dibandingkan turbin angin lainnya. Kecepatan putar turbin angin Savonius tidak akan melebihi kecepatan angin karena turbin savonius memanfaatkan gaya hambat (*drag*) untuk berputar. Namun turbin Savonius memiliki banyak kelebihan diantaranya adalah memiliki konstruksi yang sederhana dan aman sehingga biaya produksinya rendah dan mudah dibangun, dapat menerima angin dari segala arah untuk dapat beroperasi, memiliki tingkat kebisingan yang rendah saat beroperasi, memiliki berbagai opsi konfigurasi rotor, momen statis dan dinamis yang tinggi, memiliki torsi awal yang tinggi sehingga memungkinkan turbin Savonius dapat mulai berputar pada kecepatan angin rendah dan dapat dioperasikan pada kecepatan angin yang sangat tinggi.

## 2.11 Daya Turbin

Dengan hasil pengukuran torsi mekanik ( $T$ ) dan kecepatan sudut turbin ( $\omega$ ) maka daya yang dihasilkan oleh turbin angin ( $P_T$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_T = \omega T \quad (2.4)$$

Kecepatan sudut turbin dinyatakan dalam persamaan:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.5)$$

Sehingga,

$$P_T = \frac{2\pi n T}{60} \quad (2.6)$$

Dimana:

$P_T$  = Daya turbin (Watt)

$n$  = Putaran turbin (rpm)

$\omega$  = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

$T$  = Torsi (N.m)

Daya yang dihasilkan turbin merupakan daya angin yang diekstrak oleh turbin angin menjadi daya mekanik. Secara aktual energi angin tidak dapat dikonversikan seluruhnya menjadi daya mekanik pada poros turbin. Berdasarkan

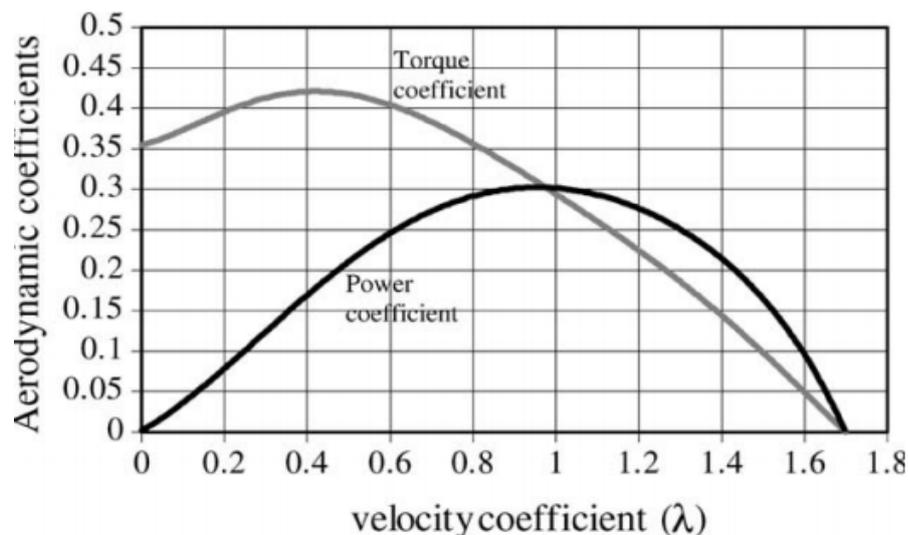
teori *Betz limit* energi angin maksimum yang dapat dikonversi oleh turbin angin hanya 59,3 persen (Koefisien daya,  $C_p = 0,593$ ). Sehingga daya turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_T = C_P P_W = C_P \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^3 \quad (2.7)$$

### 2.12 Koefisien Daya ( $C_p$ ) dan *Tip Speed Ratio* (TSR)

Koefisien daya ( $C_p$ ) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin angin ( $P_T$ ) terhadap daya maksimum atau daya angina ( $P_W$ ). Secara matematis koefisien daya dinyatakan pada persamaan:

$$C_P = \frac{P_T}{P_W} = \frac{\omega T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^3} \quad (2.8)$$



Gambar 2. 3 Grafik  $C_p$  sebagai fungsi  $\lambda$  (Menet, 2004)

Besar koefisien daya berbeda-beda pada masing masing turbin angin. Koefisien daya ( $C_p$ ) merupakan fungsi dari *tip Speed ratio* (TSR). *Tip speed ratio* (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan linear pada ujung rotor turbin angin dengan kecepatan angin sebelum melewati turbin angin. TSR secara matematis dinyatakan pada persamaan:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_w} = \frac{2\pi n R}{60 V_w} \quad (2.9)$$

Dengan,

$\lambda$  = Tip speed ratio (tsr)

R = Jari-jari turbin (m)

n = Putaran turbin (rpm)

$V_w$  = Kecepatan angin (m/s)

### 2.13 Daya Generator

Generator adalah suatu komponen yang dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari menggunakan teori medan elektromagnetik. Poros pada dinamo dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang berbentuk kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros mulai berputar maka terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Generator mempunyai dua bagian utama yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak).

Dari segi arus listrik yang dihasilkan, generator dibagi 2, yaitu generator arus bolak balik (AC) dan generator arus searah (DC). Pada generator arus searah (DC) terdapat rectifier yang berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi DC. Generator ini menghasilkan tegangan yang arahnya tetap dan bila dihubungkan dengan beban, akan menghasilkan arus yang searah pula. Pada umumnya generator arus searah dapat menghasilkan listrik pada putaran yang tinggi. Untuk digunakan pada turbin angin, jenis generator ini memerlukan transmisi untuk menaikkan putaran. Daya listrik yang dihasilkan generator DC didapatkan menggunakan rumus:

$$P_g = V \cdot I \quad (2.10)$$

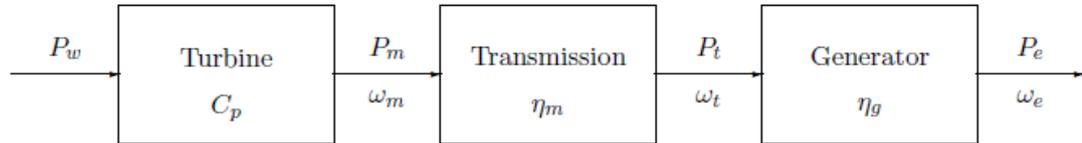
Dimana,

$P_g$  = Daya Listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

## 2.14 Efisiensi Keseluruhan



Gambar 2. 4 Konversi energi angin menjadi energi listrik (Johnson, 2006)

Daya turbin yang ditransmisikan ke generator adalah hasil dari efisiensi mekanik dikali daya turbin:

$$P_T = \eta_m P_m \quad (2.11)$$

Daya listrik yang dihasilkan oleh generator adalah hasil dari efisiensi generator dikali daya turbin yang ditransmisikan ke generator:

$$P_g = \eta_g P_T \quad (2.12)$$

Sehingga daya listrik output yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dinyatakan persamaan:

$$P_g = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.13)$$

Dimana:

$P_g$  = Daya listrik (W)

$P_T$  = Daya turbin yang ditransmisikan ke generator (W)

$C_p$  = Koefisien daya (%)

$\eta_m$  = Efisiensi mekanik (%)

$\eta_g$  = Efisiensi generator (%)

Maka efisiensi keseluruhan ( $\eta_o$ ) merupakan hasil perkalian antara koefisien daya, efisiensi mekanik dan efisiensi generator:

$$\eta_o = C_p \eta_m \eta_g \quad (2.14)$$

## 2.15 End Plate dan Overlap

*End plate* merupakan piringan bulat yang digunakan untuk menutupi kedua ujung sudu turbin Savonius agar angin terperangkap didalam sudu sehingga

memperbesar gaya drag pada turbin. *Overlap* adalah celah kosong pada pusat sudu sehingga angin yang menabrak sudu satu akan keluar dari celah tersebut dan mendorong sudu lainnya. Penggunaan *end plate*, desain *overlap* dan tanpa poros pusat antara *end plate* akan meningkatkan putaran dan efisiensi turbin Savonius. Rotor 2 sudu lebih efisien dari 3 dan 4 sudu (Mahmoud et al., 2012)

Patel, Patel, Prabhu, & Eldho (2013) melakukan penelitian tentang turbin Savonius dengan 3 variasi rasio *overlap* yang berbeda yaitu 0,0, 0,1 dan 0,2 pada kecepatan sudut rotor yang berbeda-beda. Rasio *overlap* adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi performansi turbin Savonius. Turbin didesain 3D menggunakan *software PRO-E CREO* dan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* kemudian di analisis menggunakan *ANSYS 12*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa torsi maksimum dihasilkan oleh turbin Savonius dengan rasio *overlap* 0,2.

Rasio *overlap* merupakan parameter penting yang mempengaruhi performansi turbin Savonius. Persamaan rasio *overlap* diberikan oleh:

$$\beta = \frac{e}{D} \quad (2.15)$$

Dimana,

$\beta$  = Rasio Overlap

e = Overlap (m)

D = Diameter rotor (m)