

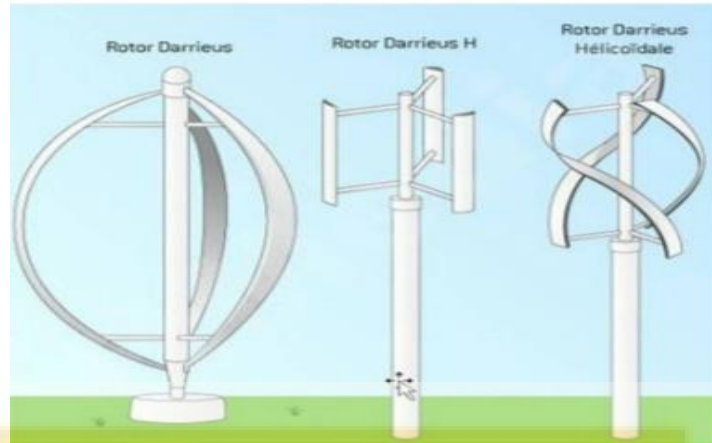
## BAB II

### TINJAUAN LITERATUR

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau sering juga disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang baik jika dibandingkan dengan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya. Prinsip kerja PLTB adalah dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling atau kincir angin, kemudian energi putar ini diteruskan ke generator untuk membangkitkan energi listrik. Kriteria yang harus dipenuhi untuk mendapatkan daya adalah dilihat dari kecepatan angin yang standarnya adalah membutuhkan sekitar 2 sampai 17 meter/detik dan konstan, serta kestabilan angin. Jika angin terlalu pelan, daya yang dihasilkan akan sedikit bahkan turbin tidak dapat berputar dan jika angin terlalu kencang maka dapat merusak turbin[1].

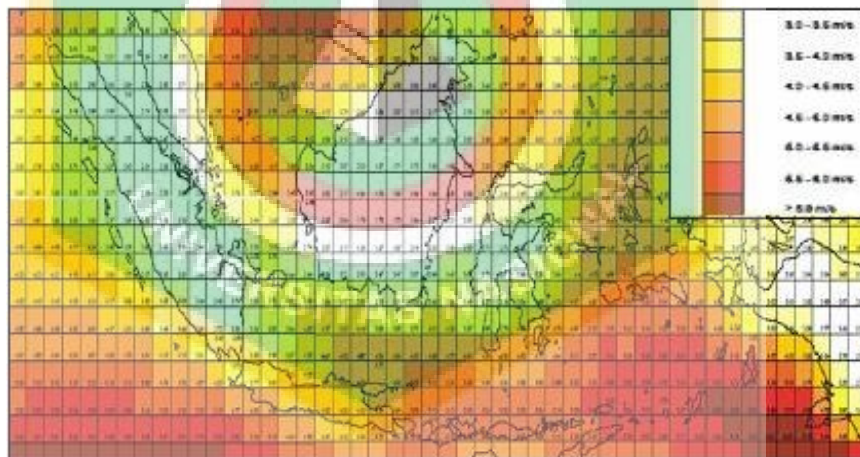
Pembangkit listrik tenaga angin, yang diberi nama *Wind Power System* memanfaatkan angin melalui kincir, untuk menghasilkan energi listrik. Alat ini sangat cocok sekali digunakan masyarakat yang tinggal di pulau-pulau kecil. Secara umum, sistem alat ini memanfaatkan tiupan angin untuk memutar motor. Hembusan angin ditangkap baling-baling, dan dari putaran baling-baling tersebut akan dihasilkan putaran motor yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin

## 2.2 Potensi Angin di Indonesia

Dari studi pada tempat yang berpotensi menunjukkan bahwa memungkinkan pengembangan PLTB di Indonesia dengan kapasitas skala sedang maupun besar. Berikut data dari hasil studi angin dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Potensi angin di Indonesia

Beberapa daerah di Indonesia mempunyai rata-rata kecepatan angin antara 3 m/s – 7 m/s. Secara keseluruhan potensi energi angin di Indonesia rata-rata tidak besar, tetapi berdasarkan survei dan pengukuran data angin yang telah dilakukan sejak 1979, banyak

daerah yang prospektif karena memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 3.4-4.5 m/s atau mempunyai energi antara 200 kWh/m sampai 1000 kWh/m. Potensi ini sudah dapat dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik skala kecil sampai 10 kW [4]. Pembagi kelas angin dapat dilihat pada tabel 2.1. [5]

TABEL KONDISI ANGIN			
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kecepatan Angin km/jam	Kecepatan Angin knot/jam
1	0.3 ~ 1.5	1 ~ 5.4	0.58 ~ 2.92
2	1.6 ~ 3.3	5.5 ~ 11.9	3.11 ~ 6.42
3	3.4 ~ 5.4	12.0 ~ 19.5	6.61 ~ 10.5
4	5.5 ~ 7.9	19.6 ~ 28.5	10.7 ~ 15.4
5	8.0 ~ 10.7	28.6 ~ 38.5	15.6 ~ 20.8
6	10.8 ~ 13.8	38.6 ~ 49.7	21 ~ 26.8
7	13.9 ~ 17.1	49.8 ~ 61.5	27 ~ 33.3
8	17.2 ~ 20.7	61.6 ~ 74.5	33.5 ~ 40.3
9	20.8 ~ 24.4	74.6 ~ 87.9	40.5 ~ 47.5
10	24.5 ~ 28.4	88.0 ~ 102.3	47.7 ~ 55.3
11	28.5 ~ 32.6	102.4 ~ 117.0	55.4 ~ 63.4
12	>32.6	>118	63.4

### 2.3 Energi Angin

Energi angin merupakan bentuk tidak langsung dari energi matahari karena angin terjadi akibat pemanasan yang tidak merata pada permukaan bumi oleh matahari sehingga terjadilah perbedaan tekanan pada atmosfer. Aliran angin bergerak dari daerah yang mempunyai tekanan tinggi ke daerah yang mempunyai tekanan rendah. Oleh karena itu energi angin juga merupakan suatu energi kinetik dari pergerakan massa udara. Sebuah turbin angin mendapatkan tenaga masukan dengan cara mengubah gaya angin menjadi torsi(gaya putar) yang beraksi pada sudu rotor. Jumlah energi yang ditransferkan angin ke rotor tergantung pada berat jenis angin, luasan rotor dan kecepatan angin[2]. Sistem PLTB memanfaatkan energi angin untuk memutar turbin,

sehingga dengan adanya putaran dari turbin tersebut dapat mengonversikan energi angin menjadi energi listrik. Adapun kekurangan dari pemanfaatan energi angin, yaitu [3] :

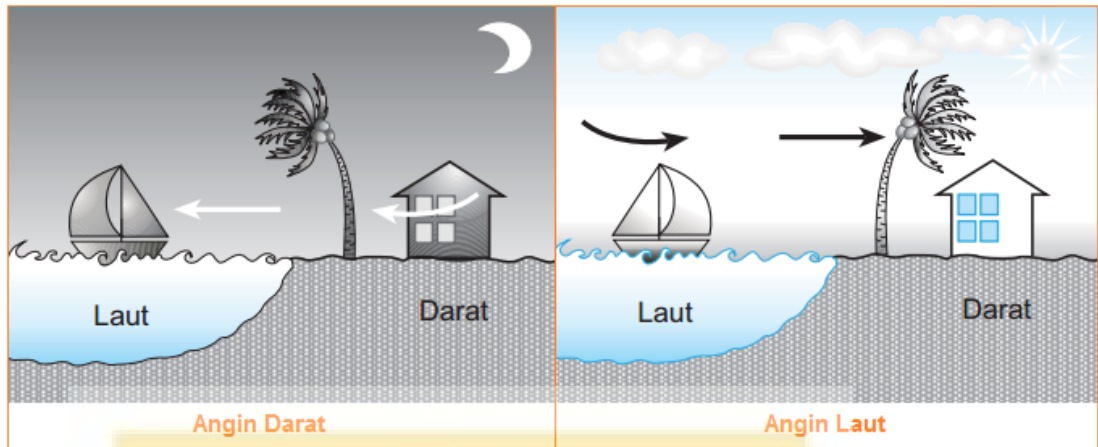
- a. Memerlukan sumber angin yang cukup
- b. Penyebaran angin yang tidak merata bisa menyebabkan produksi energi yang tidak konsisten
- c. Biaya modal yang tinggi
- d. Bising

## **2.4 Jenis – jenis angin**

Jenis-jenis angin terbagi menjadi dua, yakni jenis-jenis angin musim dan angin lokal. Angin darat laut, dan angin pegunungan merupakan beberapa jenis angin lokal. Berikut penjelasan mengenai angin darat-laut dan angin pegunungan[6].

### **2.4.1 Angin Darat-Laut**

Wilayah Indonesia merupakan daerah kepulauan dengan luas lautan lebih besar dari daratan. Angin darat-laut disebabkan karena daya serap panas yang berbeda antara daratan dan lautan. Perbedaan karakteristik laut dan darat tersebut menyebabkan angin di pantai akan bertiup secara kontinyu. Pada saat siang hari daratan lebih cepat panas daripada lautan, sementara itu pada malam hari daratan lebih cepat dingin dari lautan. Perbedaan suhu ini akan mempengaruhi tekanan udara antara darat dan laut. Pada siang hari tekanan udara daratan lebih rendah daripada lautan sehingga udara bergerak dari laut ke darat dan disebut angin laut. Sebaliknya, pada malam hari tekanan udara daratan lebih tinggi daripada lautan sehingga udara bergerak dari darat ke laut dan disebut angin darat. Berikut adalah gambar ilustrasi dari angin darat dan angin laut.

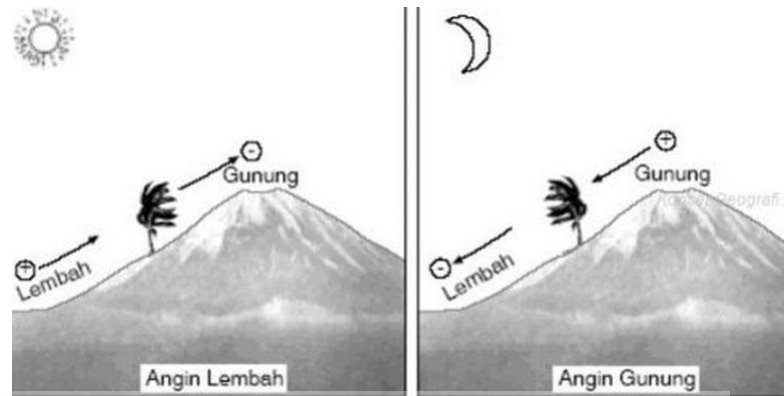


Gambar 2.3 Angin darat dan angin laut

#### 2.4.2 Angin Orografi

Angin orografi merupakan angin yang dipengaruhi oleh perbedaan tekanan antara permukaan tinggi dengan permukaan rendah (angin gunung dan angin lembah). Pada pagi sampai menjelang siang hari, bagian lereng atau punggung pegunungan lebih dahulu disinari matahari bila dibandingkan dengan wilayah lembah. Akibatnya, wilayah lereng lebih cepat panas dan mempunyai tekanan udara yang rendah, sedangkan suhu udara di daerah lembah masih relatif dingin sehingga mempunyai tekanan udara yang tinggi. Maka massa udara bergerak dari lembah ke lereng atau ke bagian punggung gunung. Massa udara yang bergerak ini disebut sebagai angin lembah.

Pada malam hari, suhu udara di wilayah gunung sudah sedemikian rendah sehingga terjadi pengendapan massa udara padat dari wilayah gunung ke lembah yang masih relatif lebih hangat. Gerakan udara inilah yang disebut angin gunung.



Gambar 2.4 Angin lembah dan angin gunung

Syarat – syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Tingkat Kecepatan Angin 10 Meter di atas Permukaan Tanah [7]

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan tanah		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0.00 ~0.02	
2	0.3 ~ 1.5	Angin Tenang, Asap lurus ke atas
3	1.6 ~ 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 ~ 5.4	Wajah terasa ada angin, daun – daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5 ~ 7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 ~ 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 ~ 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air plumpang berombak kecil
8	13.9 ~ 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17.2 ~ 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 ~ 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 ~ 28.4	Dapat merubuhkan Pohon, Menimbulkan kerusakan
12	28.5 ~ 32.6	Menimbulkan Kerusakan Parah
13	32.7 ~ 36.9	Tornado

Angin kelas 3 adalah batas minimum dan angin kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

## 2.5 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 generator 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 dengan persamaan sebagai berikut:[8]

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

Di mana :

$m$  = 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 ( $A$ ), di mana udara dengan kecepatan ( $v$ ) mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume ( $V$ ) dengan persamaan:

$$V = vA \quad (2.2)$$

Di mana :

$V$  = laju volume ( $m^3/s$ )

$v$  = kecepatan angin (m/s)

$A$  = luas sapuan rotor (m<sup>2</sup>)

Persamaan di atas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang ( $A$ ) sebagai energi ( $P_a$ ) yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) menjadi:[9]

$$P_a = \frac{pl}{k} \quad (2.3)$$

Di mana :

$P$  = Daya energi angin persatuan waktu (Watt)

$pl$  = Daya listrik yang ingin dihasilkan oleh turbin angin (Watt)

$K$  = Efisiensi sistem turbin angin

Sebuah sistem turbin angin memiliki efisiensi tersendiri untuk sistem yang dimilikinya, dikarenakan tiap masing-masing komponennya memiliki efisiensi yang berbeda-beda. Untuk mengetahui efisiensi dari sistem turbin angin, maka dapat diketahui dengan persamaan: [9]

$$K = \eta_b \times \eta_g \times \eta_t \times \eta_k \quad (2.4)$$

Di mana :

$K$  = efisiensi sistem untuk turbin angin.

$\eta_b$  = efisiensi bilah yang digunakan pada turbin angin.

$\eta_g$  = efisiensi generator yang digunakan pada turbin angin.

$\eta_t$  = efisiensi transmisi yang digunakan pada turbin angin.

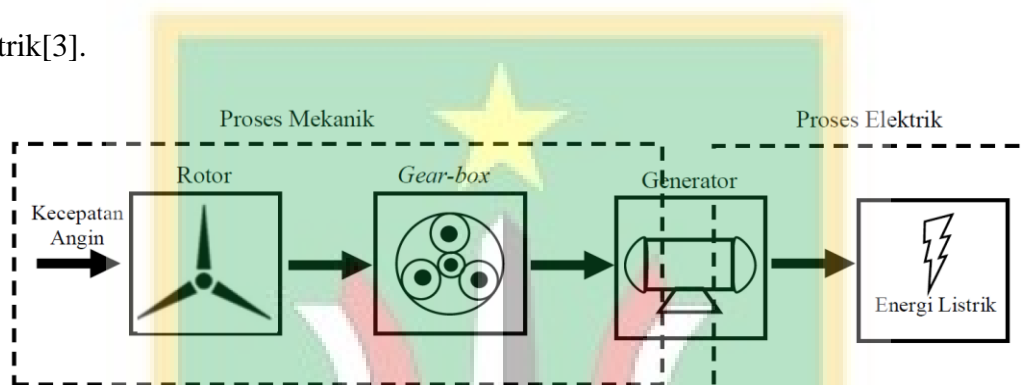
$\eta_k$  = efisiensi kontroller yang digunakan pada turbin angin

Karena setiap jenis turbin angin mempunyai karakteristik aerodinamika yang unik, maka faktor daya sebagai fungsi dari *tip speed ratio* untuk setiap jenis turbin angin juga berbeda-beda.



## 2.6 Tinjauan Teori

Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang mengonversikan suatu energi kinetik dari udara menjadi energi mekanik yang menyebabkan putaran yang terjadi pada generator sehingga menghasilkan arus listrik. Energi angin dimanfaatkan untuk memutar baling-baling sehingga rotor berputar. Ketika rotor berputar maka secara otomatis generator tersebut akan mengalirkan energi listrik[3].



Gambar 2.5 PLTB Secara Umum

## 2.7 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (TSR),  $\lambda$  adalah rasio ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Turbin angin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang lebih besar dibandingkan dengan turbin tipe drag. Besarnya tip speed ratio dapat dihitung dengan persamaan.[10]

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \quad (2.5)$$

Di mana :

$\lambda$  = tip speed ratio

D = diameter rotor (m)

$n$  = putaran rotor (rpm)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

## 2.8 Teori Betz

Menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energi yang maksimum dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 atau  $\frac{16}{27}$  dari energi yang tersedia. Sedangkan hal tersebut juga dapat dicapai dengan daun turbin yang dirancang dengan sangat baik serta dengan kecepatan keliling daun pada puncak daun sebesar 6 kali kecepatan angin. Pada dasarnya turbin angin untuk generator listrik hanya akan bekerja antara suatu kecepatan angin minimum, yaitu kecepatan star  $C_s$ , dan kecepatan nominalnya. Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya. [11]

Besarnya efisiensi teoritis atau maksimum dari turbin angin  $C_p$  adalah:

$$C_p = \frac{16}{27} = 0,593 \quad (2.6)$$

Dengan kata lain, turbin angin tidak memungkinkan untuk memiliki *coeffisien power*( $C_p$ ) di atas angka 59%. [12]. Hal ini dapat diartikan bahwa suatu turbin angin tipe apapun tidak akan mampu menyerap seluruh energi kinetik yang berada dalam aliran angin, dan kapasitas penyerapan maksimal hanya 59%. Nilai efisiensi 59% juga sering disebut sebagai Betz Limit. Untuk persamaan daya angin maksimum yang didapat dari Teori Betz ini secara matematis dihitung dengan menggunakan persamaan [12] :

$$Pr = \frac{16}{27} \times \frac{1}{2} \rho \times A \times v^3 \quad (2.7)$$

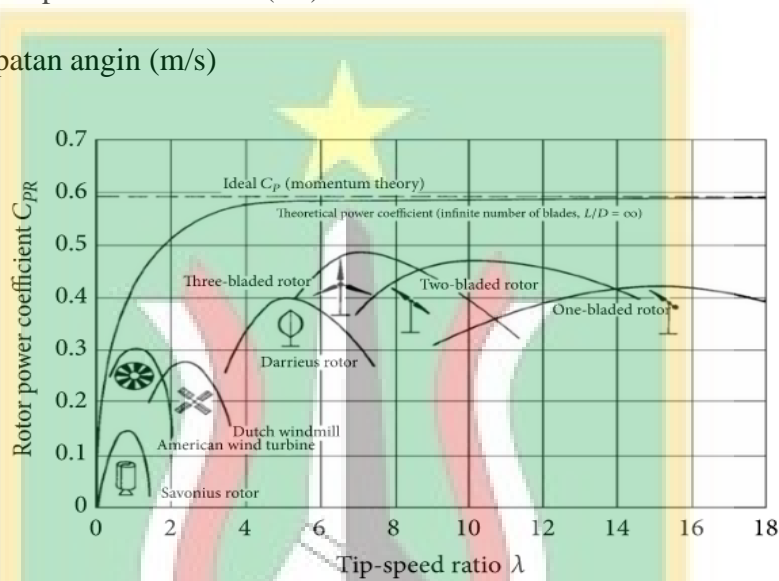
Di mana :

Pr = Daya angin maksimum dengan batas Betz

$\rho$  = Massa jenis angin (1,225 kg/m<sup>3</sup>)

A = Luasan pada sudu turbin (m<sup>2</sup>)

v = kecepatan angin (m/s)



Gambar 2.6 Betz Limit

power coefficient maximum ( $C_p$  max) didapat dari perbandingan antara daya rotor terhadap daya yang disediakan oleh angin dengan demikian persamaan dapat dituliskan sebagai

$$C_{Pmax} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Di mana :

$C_p$  = Koefisen Daya

$P_{in}$  = Daya yang tersedia oleh angin (Watt)

$P_{out}$  = Daya yang dihasilkan oleh kincir angin (Watt)

Untuk mencari P out bisa menggunakan persamaan berikut:

$$P_{out} = \tau \cdot \omega \quad (2.9)$$

## 2.9 Turbin Angin

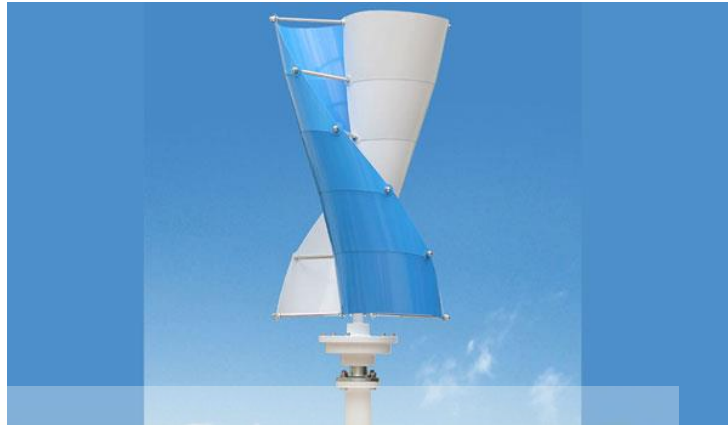
Turbin angin adalah bagian dari sistem PLTB yang mengubah energi angin menjadi energi mekanik. Perubahan energi ini terjadi karena bentuk dari turbin angin seperti baling-baling. Turbin angin ini dapat berputar ketika ada angin yang menyapu area turbin sebagai energi pendorong turbin. Pada umumnya bentuk turbin angin yang banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horizontal, walau demikian turbin angin sumbu vertikal menjadi alternatif untuk menghasilkan energi listrik disebabkan oleh beberapa keuntungan. Turbin angin vertikal memiliki Self Starting yang baik sehingga mampu memutar rotor walaupun kecepatan angin rendah, selain itu torsi yang dihasilkan relatif tinggi. [13]

Berikut pada gambar dibawah ini akan dijelaskan mengenai bagian-bagian penyusun dari turbin angin

### 2.9.1 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin

#### A. Turbin angin

Turbin angin adalah seperangkat alat teknologi yang mengubah energi angin menjadi energi kinetik atau energi listrik yang mana angin tersebut digunakan untuk menggerakkan blades.



Gambar 2.7 Turbin angin Darrieus

### **B. Gearbox**

Gear Box adalah roda gigi yang berfungsi menaikkan putaran dari rpm rendah ke rpm tinggi dimana berfungsi untuk mempercepat putaran poros ke generator.

### **C. Generator**

Generator DC merupakan suatu sistem listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi listrik. Prinsip generator adalah menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik.

Besar tegangan generator adalah sangat bergantung pada:

1. Kecepatan putaran (N)
2. Jumlah kawat pada kumparan yang memotong fluks (Z)
3. Banyaknya fluks magnet yang dibangkitkan oleh medan magnet (f)
4. Konstruksi Generator

Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

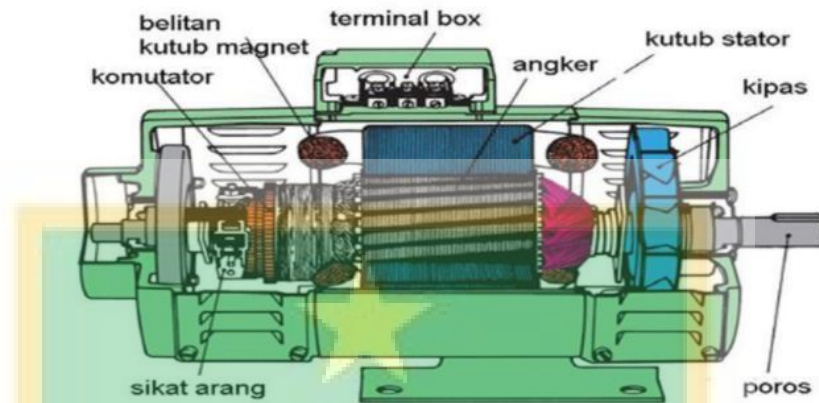
$$F = \frac{p.n}{120}$$

Keterangan:

$f$  = frekuensi tegangan (Hz)

$p$  = jumlah kutub pada rotor

$n$  = kecepatan rotor (rpm)



Gambar 2.8 Generator DC

#### D. Solar Charger Controller

SCC atau Solar Charge Controller juga dikenal sebagai Battery Charge Regulator, sehingga pengertian SCC solar Panel adalah komponen PLTB yang digunakan untuk mengoptimalkan pengisian baterai yang dicas dari listrik yang dihasilkan oleh generator. Komponen ini bekerja dengan cara mengatur tegangan dan arus pengisian menyesuaikan daya yang tersedia dari generator, sekaligus menampilkan informasi yang berisi status pengisian baterai.



Gambar 2.9 Solar Charger Controller

## E. Baterai

Aki yang disebut juga accumulator adalah komponen penyimpan arus listrik yang biasa digunakan untuk menyalakan sebuah rangkaian kelistrikan.

Di mana :

$$1 \text{ baterai} = \frac{P \text{ beban lampu } V}{\text{Baterai}}$$



Gambar 2.10 Aki 12 Volt

### 2.10 Jenis Turbin Angin

Turbin angin memanfaatkan energi kinetik dari angin dan mengkonversinya menjadi energi listrik. Ada dua jenis turbin angin yang utama:

- Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) / Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT)
- Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) / Vertical Axis Wind Turbin (VAWT).

#### 2.10.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

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 gear box 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).



Gambar 2.11 Turbin Angin Sumbu Horizontal

#### **A. Kelebihan TASH**

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%.

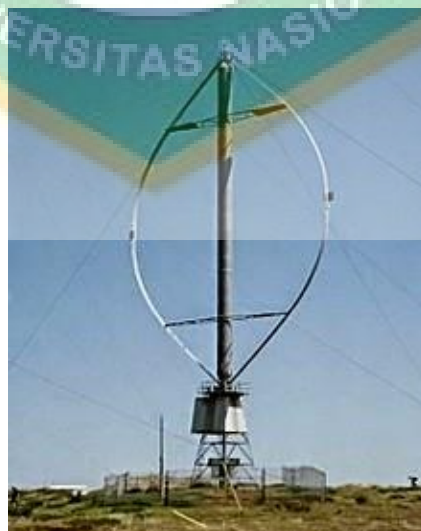


## B. Kekurangan TASH

- 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.
- TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang trampil.
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator
- TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.

### 2.10.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal memiliki bilah yang memanjang dari atas ke bawah. Turbin angin jenis ini yang paling umum adalah turbin angin Darrieus, dinamai sesuai dengan nama insinyur Perancis Georges Darrieus yang desainnya dipatenkan pada tahun 1931. Jenis turbin angin vertikal biasanya berdiri setinggi 100 meter dengan lebar 50 kaki.



Gambar 2.12 Turbin Angin Sumbu *Vertikal*

### **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.
- 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 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
- Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.

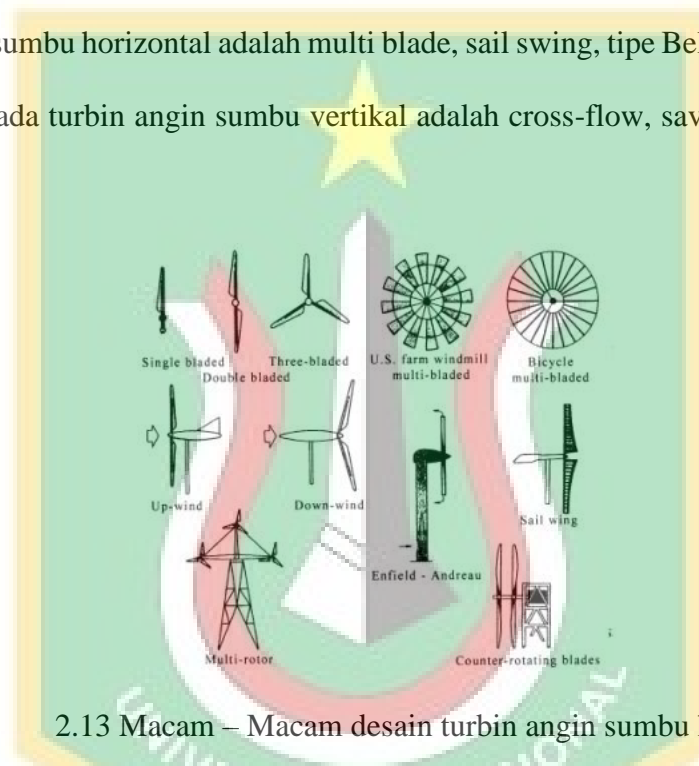
### **B. Kekurangan TASV**

- 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

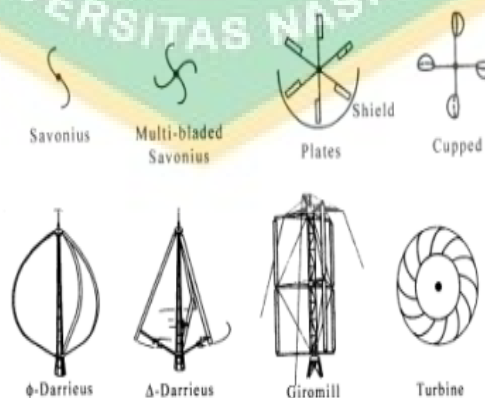
bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

## 2.11 Sudu atau Blade

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat berbagai macam bentuk sudu yang sesuai untuk turbin angin. Diantara beberapa bentuk sudu yang telah dibuat untuk turbin angin sumbu horizontal adalah multi blade, sail swing, tipe Belanda dan propeller. Sedangkan pada turbin angin sumbu vertikal adalah cross-flow, savonius, darrieus dan giromil[14].



2.13 Macam – Macam desain turbin angin sumbu horizontal



2.14 Macam – Macam desain turbin angin sumbu horizontal

a. luas area rotor (Swept Area)

Panjang bilah (R) atau jari-jari bilah merupakan parameter perancangan yang dapat mempengaruhi daya yang akan dihasilkan karena panjang blade rotor ini akan menentukan luas sapuan bilah. luas sapuan bilah dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan: [9]

$$A = \frac{2pa}{\rho \times v_{maks}^3} \quad (2.10)$$

Di mana :

$A$  = Luas Sapuan blade rotor ( $m^2$ )

$pa$  = Daya energi persatuan waktu (Watt)

$v_{maks}$  = Kecepatan angin maksimal (m/s)

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

Dari persamaan di atas, didapatkan persamaan untuk mencari panjang atau jari-jari bilah (R) dengan menggunakan persamaan:

$$R = \frac{\sqrt{A}}{\pi} \quad (2.11)$$

Di mana:

$R$  = Jari-jari blade rotor (m)

$A$  = Luas Sapuan blade rotor ( $m^2$ )

b. Menghitung Torsi

Turbin angin mempunyai poros yang bisa disebut benda tegar. Di mana benda tegar itu bisa menghasilkan nilai torsi pada turbin angin, perhitungan torsi pada benda tegar secara matematis adalah dengan menggunakan persamaan di bawah ini.[9]

$$\tau = \frac{v^2 \times r^3}{\lambda^2} \quad (2.12)$$

Di mana :

$\tau$  = Torsi

$v$  = kecepatan angin maks

$R$  = jari – jari blade rotor (m)

$\lambda$  = Tip Speed *Ratio* bilah

