

BAB II

Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

2.1. Tinjauan Pustaka

Serah (2004) dalam penelitiannya merancang kincir angin tipe horizontal HAWT dengan sudu berjumlah 3 buah. Diameter rotor adalah 2 m dengan menggunakan *airfoil* tipe NACA 4415. Dari hasil pengujian didapatkan arus terbesar adalah 0,42 A dengan tegangan 3,34 V, pada kecepatan angin 5,7 m/s.

Asy'ari dkk (2012) melakukan penelitian dengan membuat *prototipe* kincir angin HAWT bersudu 3 buah, material sudu (*blade*) terbuat dari *fibreglass* dengan panjang 75 cm. Pengujian dilakukan di daerah waduk Gajah Mungkur Wonogiri, menggunakan *gearbox* dengan perbandingan 1:1,2. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat bahwa kincir tersebut mampu menghasilkan tegangan 95 volt dan arus 4,5 mA pada kecepatan 5,6 m/s.

Herlambang (2014) melakukan penelitian dengan membuat kincir angin HAWT *multi blade* yang digunakan langsung untuk menggerakkan pompa torak kerja ganda. Jenis blade yang digunakan adalah tipe *flute plate* dengan sudu berjumlah 9 buah dengan perbandingan roda gigi pada gearbox adalah 1:2. Material *blade* terbuat dari plat galvanis dengan diameter rotor 90 cm dan panjang sudu 43 cm. Daya terbesar yang dapat dihasilkan oleh kincir tersebut adalah 206,08 watt pada kecepatan angin 13 m/s.

Sedangkan Arfarisi (2016) membuat rancang bangun kincir angin HAWT kapasitas 1000 watt dengan sudu berjumlah 3 buah. Diameter rotor kincir tersebut adalah 2,28 m dan *airfoil* yang dipakai adalah tipe NACA 4415. Material yang dipakai dalam pembuatan blade adalah *fibreglass*. Dari data pengujian yang dilakukan kincir tersebut dapat menghasilkan daya terendah pada kecepatan angin 2,67 m/s dengan daya sebesar 4,4 watt. Daya tertinggi dari kincir tersebut adalah sebesar 65,6 watt pada kecepatan angin 9,2 m/s.

Dari beberapa penelitian kincir angin tersebut dapat disimpulkan bahwa kincir yang dibuat untuk kecepatan angin 2,67-13 m/s adalah tipe HAWT dengan jumlah sudu optimal 3 buah. Tipe *airfoil* yang digunakan adalah tipe NACA 4412

dan NACA 4415. Beberapa penelitian menyebutkan daya *output* yang dihasilkan oleh kincir angin masih tergolong kecil berkisar 1,4–203 Watt. Besar kecilnya daya *output* yang dihasilkan oleh kincir dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: jenis dan bahan *blade* yang digunakan, tipe *airfoil*, perbandingan roda gigi pada *gearboxes*, diameter rotor, serta generator yang digunakan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Potensi Angin di Indonesia

Angin adalah massa udara yang bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Satuan yang biasa digunakan untuk menentukan kecepatan angin adalah km/jam atau dalam Knot (1 knot = 0,5148 m/det = 1.854 km/jam). Sistem penamaan angin biasanya dihubungkan dengan arah datangnya massa udara tersebut.

Tabel 2.1. Daerah yang berpotensi untuk pemanfaatan PLTB
(<http://www.getsttpln.com/2014>)

Kelas	Kecepatan angin (m/s)	Daya spesifik (W/m ²)	Kapasitas (kW)	Lokasi
Skala kecil	2,5 – 4,0	<75	s/d 10	Jawa, NTT, NTB, Maluku, Sulawesi
Skala sedang	4,0 – 5,0	75 – 100	10 – 100	NTT, NTB, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, selatan Jawa
Skala besar	>5,0	150	>100	Sulawesi Selatan, NTT, NTB, Selatan Jawa

2.2.2. Kincir Angin

Pada masa awal pembuatan, kincir angin dibuat untuk mengakomodir kebutuhan petani di Eropa. Kincir angin atau biasa dikenal dengan istilah *Windmill* banyak dibangun di wilayah Eropa seperti Belanda, Denmark dan wilayah Eropa lainnya yang potensi sumber daya anginnya cukup besar. Kincir angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan adanya prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam. Kincir angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik menjadi energi gerak, dimana energi penggerakannya berasal dari angin. Energi gerak selanjutnya diteruskan berupa putaran sudu dan poros generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Sesuai dengan namanya, kincir angin menggunakan energi kinetik dari angin sebagai tenaga pendorongnya. Angin menggerakkan bilah kincir yang berputar pada porosnya, pada gilirannya mendorong perangkat tertentu, misalnya generator untuk menghasilkan listrik. Kincir yang berputar ini terhubung ke generator, bisa juga melalui *gearbox* atau langsung. Menariknya, sebagian besar kincir modern yang berputar searah jarum jam.

Kincir angin bekerja dengan memanfaatkan energi angin yang diubah menjadi gerak putar oleh kincir angin. Kincir angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin yaitu bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan tiupan angin, melainkan menggunakan angin untuk menghasilkan listrik. Angin yang bergerak kemudian akan memutar sudu pada kincir, gerak putar inilah yang diteruskan oleh poros untuk memutar rotor pada generator. Generator mengubah energi gerak putar menjadi energi listrik dengan prinsip teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan *fluks* pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan *fluks* ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu.

Hal-hal yang dapat menentukan besarnya daya *output* dari sebuah kincir angin *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) adalah:

- a) Kecepatan angin
- b) Jumlah sudu (*blade*)
- c) Jenis dan bahan *blade*
- d) Besarnya sudut serang *blade* (*pitch*)

2.2.3. Jenis Kincir Angin

2.2.3.1. Kincir Angin Tipe *Horizontal* (HAWT)

Kincir angin sumbu *Horizontal* (HAWT) memiliki sudu yang berputar dalam bidang *vertikal*, seperti *propeler* pesawat terbang. Kincir angin tipe *horizontal* mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari pada aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi pada sisi depan sudu. Perbedaan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

Kincir Angin Sumbu Horizontal (HAWT) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Kincir berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan kincir berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang dihubungkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.



Gambar 2.1. Kincir Angin Tipe Horizontal
Sumber : <https://id.wikipedia.org>, 2016.

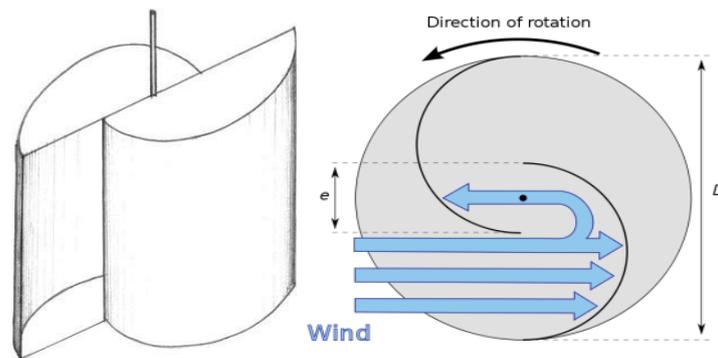
2.2.3.2. Kincir Angin Sumbu Vertikal (VAWT)

Kincir jenis ini memiliki bilah yang memanjang dari atas ke bawah. Kincir yang paling umum dijumpai dan sering digunakan adalah kincir angin Darrieus. Dinamai Darrieus karena sesuai dengan nama pembuatnya yaitu seorang insinyur dari Perancis yang bernama Georges Darrieus. Desain dari kincir jenis ini dipatenkan pada tahun 1931 oleh Georges Darrieus. Tinggi dari kincir angin sumbu Vertikal biasanya berdiri 100 meter dari permukaan tanah dengan lebar lebih kurang 15 Meter. Kincir jenis ini memiliki porsi yang masih kecil dalam penggunaannya di kalangan masyarakat. Ada berbagai jenis kincir angin tipe VAWT yang sering digunakan diantaranya adalah Tipe Savonius, Tipe Darrieus, dan Tipe H-Rotor. Berikut merupakan jenis kincir angin sumbu vertikal yang sering digunakan.

a. Kincir Angin Tipe Savonius

Kincir angin tipe ini diciptakan oleh seorang insinyur Finlandia SJ Savonius pada tahun 1929. Kincir ini merupakan jenis yang paling sederhana dan menjadi versi besar dari anemometer. Kincir Savonius dapat berputar karena adanya gaya dorong dari angin, sehingga putaran rotornya tidak akan melebihi

kecepatan angin. Meskipun daya koefisien untuk jenis kincir angin bervariasi antara 30% sampai 45%. Jenis kincir ini cocok untuk aplikasi daya yang rendah dan biasanya digunakan pada kecepatan angin yang berbeda.



Gambar 2.2. Skema dan prinsip kerja kincir angin VAWT tipe Savonius
Sumber: <http://www.getsttpln.com/2014>.

b. Kincir Angin Tipe *Darrieus*

Kincir angin jenis ini ditemukan oleh seorang insinyur Perancis George Jeans Maria Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Darrieus memiliki 2 bentuk kincir yang digunakan diantaranya adalah “*Eggbeater/Curved Bladed*” dan “*Straightbladed*”. Kincir angin tipe Darrieus mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri terhadap poros. Pengaturan ini dilakukan dengan tujuan agar kincir mampu menangkap angin lebih efektif. Berbeda dengan kincir jenis Savonius, kincir angin jenis Darrieus berputar dengan memanfaatkan gaya angkat yang ditimbulkan akibat dari tiupan angin.



Gambar 2.3. Kincir angin VAWT tipe Darrieus
Sumber: <http://www.getsttpln.com/2014>.

c. Kincir Angin Tipe H-Rotor

Kincir ini pertama kali dikembangkan di Inggris melalui penelitian yang dilakukan selama 1970-1980'an, diuraikan bahwa mekanisme yang digunakan pada *blade* berbilah lurus (*Straight-bladed*) ternyata pada kincir angin tipe Darrieus tidak diperlukan. Pada kincir angin jenis ini ditemukan bahwa efek hambatan yang diciptakan oleh sebuah pisau (*blade*) akan membatasi kecepatan aliran angin. Oleh karena itu, H-rotor akan mengatur semua kecepatan angin untuk mencapai kecepatan putaran optimalnya.



Gambar 2.4. Kincir angin VAWT tipe H-rotor
Sumber: <http://www.getsttpln.com/2014>.

2.2.4. Komponen Utama Kincir Angin

2.2.4.1. Sudu (*Blade*)

Blade atau rotor merupakan bagian dari kincir angin yang berfungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) pada poros penggerak. Rotor terdiri dari baling-baling/sudu dan hub. Hub merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu dengan poros utama. Sudu pada kincir merupakan bagian terpenting guna memindah daya pada poros yang selanjutnya diteruskan ke *gearbox* atau langsung ke generator. Pada sebuah kincir angin, jumlah baling-baling atau sudu bervariasi sebanyak 2,3, dan 4 buah atau lebih. Pada umumnya, sudu kincir angin propeller berjumlah 3 buah yang sering digunakan karena memiliki getaran yang tidak terlalu besar, jika lebih dari 3 buah sudu maka akan berpengaruh terhadap getaran sehingga mengakibatkan semakin besar pula torsi yang ditimbulkan. Desain sudu kincir angin dibuat seaerodinamis supaya mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi, mengingat efisiensi penyaluran daya sudu kincir angin masih rendah yang berkisar antara 20-30%.



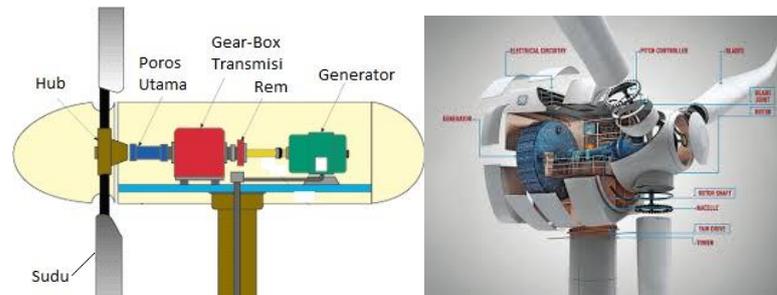
Gambar 2.5. Bilah (*Blade*)

Sumber : <http://www.getsttpln.com/2014>.

2.2.4.2. Transmisi (*Gearbox*)

Transmisi kincir angin berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator dengan dipercepat putarannya. Hal ini diperlukan karena umumnya putaran rotor berotasi pada putaran rendah, sementara generatornya bekerja pada

putaran tinggi. Poros termasuk transmisi pada bagian kincir angin yang berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi pada *gearboxes*.

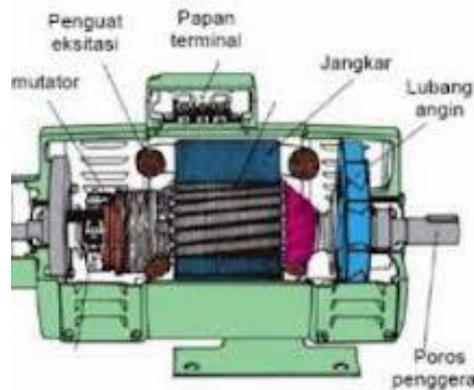


Gambar 2.6. Transmisi

Sumber : <http://www.getsttpln.com/2014>.

2.2.4.3. Generator

Generator merupakan sumber utama energi listrik yang dipakai sekarang ini dan merupakan converter terbesar di dunia. Pada prinsipnya tegangan yang dihasilkan bersifat bolak balik, sedangkan generator yang menghasilkan tegangan searah karena telah mengalami proses penyearahan. Generator adalah mesin listrik yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada kontaktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis garis gaya magnet. Prinsip dasar generator arus bolak balik menggunakan hukum faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang yang berubah-berubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik.

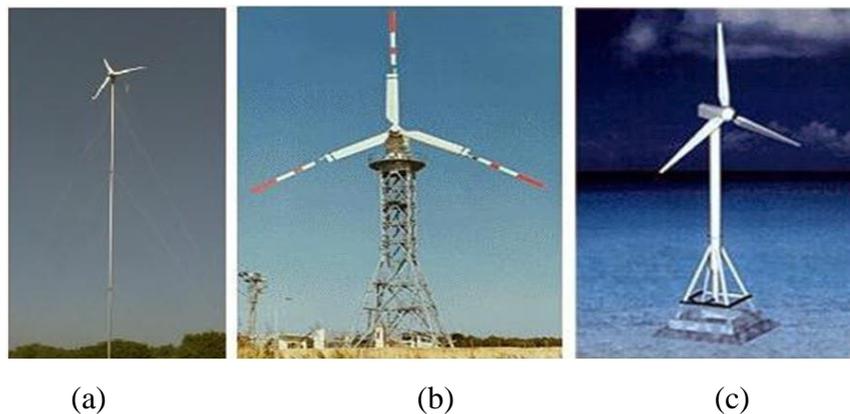


Gambar 2.7. Generator

Sumber: <http://www.getsttpln.com/2014>.

2.2.4.4. Menara (*Tower*)

Menara berfungsi menyangga kincir angin. Pada kincir angin modern, tinggi *tower* biasanya mencapai 40 – 60 meter. Menara dapat dibedakan menjadi bentuk *tubular* dan bentuk *lattice* seperti gambar di bawah. Keuntungan dari bentuk *tubular* yaitu aman, sedangkan *lattice* mempunyai biaya yang murah.



(a)

(b)

(c)

Gambar 2.8. Tower (a) Tipe *Tubular*, (b) Tipe *Guyed*, (c) Tipe *Lattice*

Sumber : <http://www.getsttpln.com/2014>.

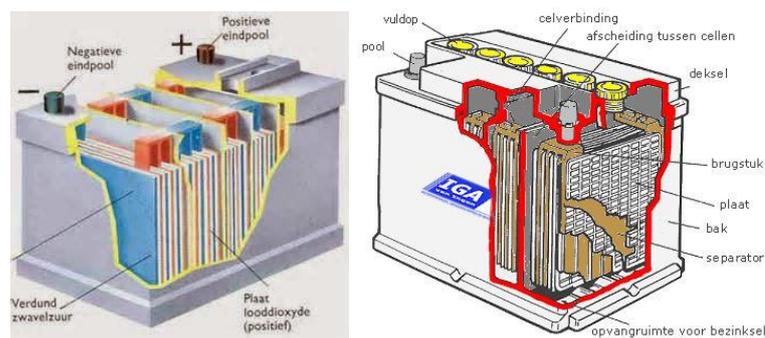
2.2.4.5. Penyimpan Daya (*Baterai*)

Kincir angin tidak selamanya beroperasi karena keterbatasan angin yang berhembus di waktu-waktu tertentu untuk dapat memutar rotor kincir. Maka dari itu, diperlukan penyimpan energi agar menghasilkan energi listrik secara kontinu. Jika arus listriknya terlalu besar, maka arus listrik akan disalurkan menuju jala-jala listrik setelah sebagian disimpan pada baterai.

Dalam pemilihan baterai harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- Mampu menyimpan daya dalam jumlah besar
- Dapat menyalurkan daya yang disimpan baik dalam jumlah yang kecil maupun besar tanpa mengalami kerusakan.
- Tahan lama (*reliable*)
- Output tegangan dari baterai harus bebas dari fluktuasi atau *noise*

Baterai dapat dibedakan berdasarkan tegangannya dan kapasitas penyimpanannya (*Ampere-jam/Ah*). Nilai Ah ditentukan berdasarkan kapasitas penggunaannya. Misalkan baterai dengan kapasitas penyimpanan 200 Ah dibebani selama 20 jam, maka kapasitas penggunaannya menjadi 10 A/jam ($200:20= 10$ A). Penggunaan yang lebih besar akan menyebabkan berkurangnya kapasitas Ah secara drastis.



Gambar 2.9. Baterai (Aki)

Sumber: <http://garagedebilt.nl>, 2016.

2.2.5. Parameter yang Berpengaruh Dalam Perancangan *Blade*

2.2.5.1. *Swept Area*

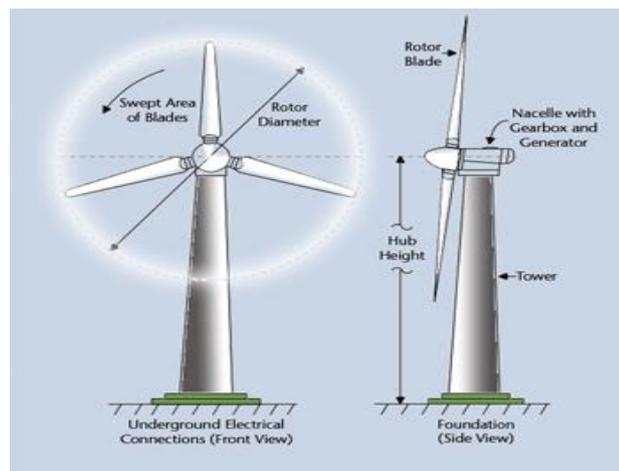
Swept area adalah luasan daerah dimana *blade* (rotor) kincir angin berputar. Daya keluaran dari kincir angin berpengaruh secara langsung terhadap luasan *swept area*. Semakin besar diameter rotor, semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh kincir angin.

$$\text{Swept area } (A) = \frac{\pi}{4} d^2 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

A = Luas *Area Swept*

d = Diameter Rotor



Gambar 2.10. *Swept Area*

Sumber: <http://www.daviddarling.info>, 2016.

2.2.5.2. Daya Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Peristiwa tersebutlah yang menyebabkan terjadinya hembusan angin. Terdapat energi yang ditimbulkan akibat peristiwa tersebut yang disebut energi kinetik. Energi kinetik inilah yang nantinya di ubah menjadi energi listrik oleh kincir angin.

Energi kinetik dengan masa angin sebesar m yang bergerak pada kecepatan sebesar v , nantinya akan diubah energinya oleh poros dapat dirumuskan

$$E = 0,5.m.v^2 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

$m =$ massa udara (kg)

$v =$ kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik inilah yang ditangkap oleh kincir angin yang nantinya diubah menjadi listrik oleh generator.

Dengan menganggap suatu luasan penampang melintang adalah A dengan kecepatan angin adalah v mengalami perpindahan volume setiap satuan waktu, maka akan muncul persamaan:

$$V = v \cdot A \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

$V =$ volume aliran udara (m^3/s)

$v =$ kecepatan angin (m/s)

$A =$ luas area swept rotor (m^2)

Karena udara bergerak dan memiliki massa, maka aliran massa udara dengan kecepatan v menjadi:

$$m = \rho \cdot A \cdot v \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

$\rho =$ massa jenis udara (pada tekanan 1 atm)

Dari persamaan-persamaan diatas menunjukkan bahwa energi kinetik dan aliran udara yang melewati suatu penampang melintang dengan luasan A sebagai energi P , maka persamaan energinya menjadi:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

$P =$ daya mekanik (W)

$\rho =$ densitas udara (kg/m^3)

$v =$ kecepatan udara (m/s)

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

$$P = C_p \cdot 0,5 \cdot P \cdot A \cdot v^3 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

C_p = koefisien daya (efisiensi kincir)

Nilai dari C_p tidak akan pernah melebihi 16/27 atau 0.59 dimana efisiensi kincir tidak mungkin lebih dari 60% (Bets Limit). Dengan mengacu pada penelitian sebelumnya bahwa nilai c_p untuk kincir angin adalah 25-35% (Pigott, 2003). Parameter yang mempengaruhi besar kecilnya nilai C_p adalah jumlah sudu, panjang *chord* sudu dan karakteristik aerodinamis sudu tersebut.

2.2.5.3. TSR (*Tip Speed Ratio*)

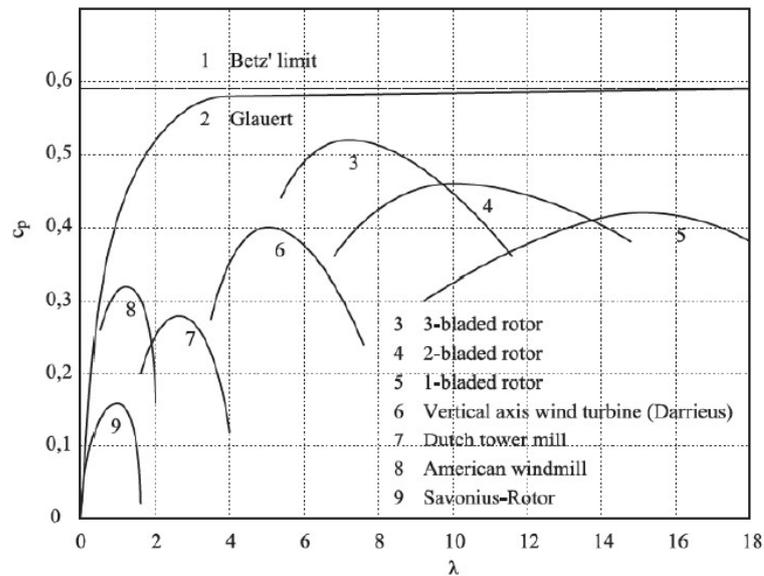
Tip Speed Ratio atau TSR untuk kincir angin adalah rasio antara kecepatan tangensial ujung *blade* dan kecepatan aktual angin. TSR berkaitan dengan efisiensi dan besar torsi yang dihasilkan oleh kincir angin. Semakin tinggi nilai dari TSR maka torsi yang diterima oleh kincir akan semakin kecil. Untuk menentukan nilai TSR dapat digunakan persamaan berikut:

$$TSR = \frac{\pi D n}{60 v} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana: D = Diameter rotor (m)

n = putaran rotor (rpm)

v = kecepatan angin (m/s)



Gambar 2.11 Hubungan nilai TSR terhadap C_p (coefficient power) kincir angin
 Sumber: <http://www.ebah.com>, 2016.

2.2.5.4. Rotor Solidity

Rotor solidity adalah perbandingan luas sudu dengan luas lintasan sudu kincir. Nilai solidity berpengaruh terhadap jika *solidity* tinggi maka torsi yang dihasilkan oleh kincir juga tinggi, hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh kincir angin. Nilai *solidity* untuk kincir angin tipe horisontal 3 *blade* biasanya adalah $\geq 0,014$ (Azad dan Kaysar, 2012)

$$\text{Solidity} = \frac{N \cdot C}{2\pi R} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

N = jumlah *blade*

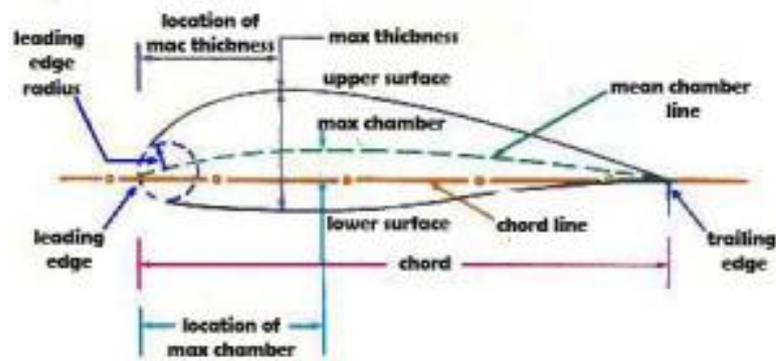
C = lebar *blade* (*chord*)

R = jari-jari rotor

2.2.6. Airfoil

Profil *airfoil* adalah elemen penting dalam konversi energi angin. Profil *airfoil* memberikan nilai koefisien *drag* yang kecil jika dibandingkan dengan *lift* yang diberikan. Terdapat beberapa variabel yang dinyatakan dalam menggambarkan bentuk *airfoil* diantaranya panjang profil *airfoil* (*chord*),

ketebalan (*thickness*), dan kelengkungan (*chamber*). Bentuk airfoil untuk kincir angin pada umumnya melengkung pada bagian atas dan lebih datar atau bahkan cekung pada bagian bawah, ujung tumpul pada bagian depan dan lancip pada bagian belakang. Bentuk *airfoil* yang demikian menyebabkan kecepatan udara yang melalui sisi atas akan lebih tinggi dari sisi bawah sehingga tekanan udara di bagian atas akan lebih kecil daripada kecepatan udara di bagian bawah.



Gambar 2.12. *Airfoil*

Sumber: <http://code7700.com/lift.html>.

Dari gambar terminologi *airfoil* diatas, dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Leading edge*, adalah bagian depan dari airfoil yang langsung terkena angin.
2. *Trailing edge*, adalah bagian *airfoil* yang terletak di ujung paling belakang pada profil *airfoil*.
3. *Mean chamber line*, merupakan tengah yang membagi antara permukaan atas dan permukaan bagian bawah dari *airfoil*.
4. *Chord line*, adalah suatu garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*.
5. *Chord*, merupakan perpanjangan dari *chord line*, dengan kata lain, *chord* adalah karakteristik dimensi panjang dari suatu *airfoil*.
6. *Maximum chamber*, merupakan jarak antara *mean chamber line* dengan *chord line*. *Maximum chamber* membantu mendefinisikan bentuk dari *mean chamber line*.

7. *Maximum thickness*, merupakan ketebalan maksimum dari suatu *airfoil*, dan menunjukkan persentase dari *chord*. *Maximum thickness* membantu mendefinisikan bentuk dari *airfoil* dan juga performa dari *airfoil* tersebut.

2.2.7. Sistem Transmisi

Sistem transmisi pada kincir angin digunakan untuk memindahkan daya yang diakibatkan oleh putaran kincir angin. Sistem transmisi terdiri atas poros, roda gigi, dan bantalan.

2.2.7.1. Poros

Poros merupakan salah satu komponen yang sangat penting pada suatu mesin untuk meneruskan daya dan putaran, hampir semua mesin meneruskan tenaga dengan putaran poros (Sularso dan Suga, 1997).

Untuk perencanaan poros diperlukan daya rencana (P_d), dimana daya yang ditransmisikan dikalikan dengan dengan faktor koreksi (f_c) yang berguna sebagai tindakan pengamanan.

$$P_d = f_c \cdot P \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

P_d = Daya rencana (W)

f_c = Faktor koreksi

P = Daya yang ditransmisikan (W)

Putaran (n) poros dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

n = Putaran (rpm)

v = Kecepatan keliling (m/s)

d = diameter poros (mm)

Momen puntir rencana yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$T = 9,74 \times 10 \frac{Pd}{n} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

f_c = Faktor koreksi

P_d = Daya rencana (kW)

n = Putaran poros (rpm)

Tegangan geser yang diizinkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1.Sf_2} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

σ_B = Kekuatan tarik bahan

$Sf_1.Sf_2$ = Faktor koreksi

Tegangan geser yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{5,1.T}{(d_s)^3} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana:

T = momen puntir (kg/mm)

d_s = diameter poros (mm)

2.2.7.2. Roda Gigi

Fungsi roda gigi adalah mentransmisikan daya dan putaran dari putaran tinggi ke putaran rendah ataupun dari putaran rendah ke putaran yang lebih tinggi, sehingga daya yang dihasilkan dari sudu rotor dapat ditransmisikan ke beban yang ingin di gerakkan. Berikut merupakan jenis-jenis roda gigi:

1. Menurut Letak Poros

Pembagian roda gigi menurut letak porosnya ada tiga macam yaitu:

a. Roda gigi poros sejajar

Disebut roda gigi poros sejajar karena giginya berjajar pada dua bidang silinder, kedua bidang silinder tersebut bersinggungan dan yang satu menggelinding pada yang lain dengan sumbu tetap sejajar. Berikut jenis roda gigi yang termasuk dalam poros sejajar antara lain adalah :

- a. Roda gigi lurus.
- b. Roda gigi luar.
- c. Roda gigi miring.
- d. Roda gigi pinyon.
- e. Roda miring ganda.

b. Roda gigi poros berpotongan

Roda gigi poros berpotongan adalah roda gigi di mana giginya berpotongan pada dua bidang silinder dan kedua bidang tersebut bersinggungan. Beberapa jenis roda gigi yang termasuk dalam jenis roda gigi poros berpotongan antara lain:

- a. Roda gigi kerucut lurus.
- b. Roda gigi kerucut miring.
- c. Roda gigi kerucut spiral.
- d. Roda gigi kerucut miring ganda.
- e. Roda gigi kerucut ZEROL.

c. Roda gigi poros silang

Roda gigi poros silang merupakan roda gigi yang kedua sumbunya saling bersilangan namun tidak saling berpotongan dan pemindahan gaya pada permukaan gigi berlangsung secara meluncur dan menggelinding. Berikut jenis roda gigi yang termasuk dalam poros silang antara lain:

1. Roda gigi cacing.
2. Roda gigi hiperboloid.
3. Roda gigi hipoid.
4. Roda gigi permukaan silang.

2. Roda Gigi Menurut Bentuk Alur Gigi

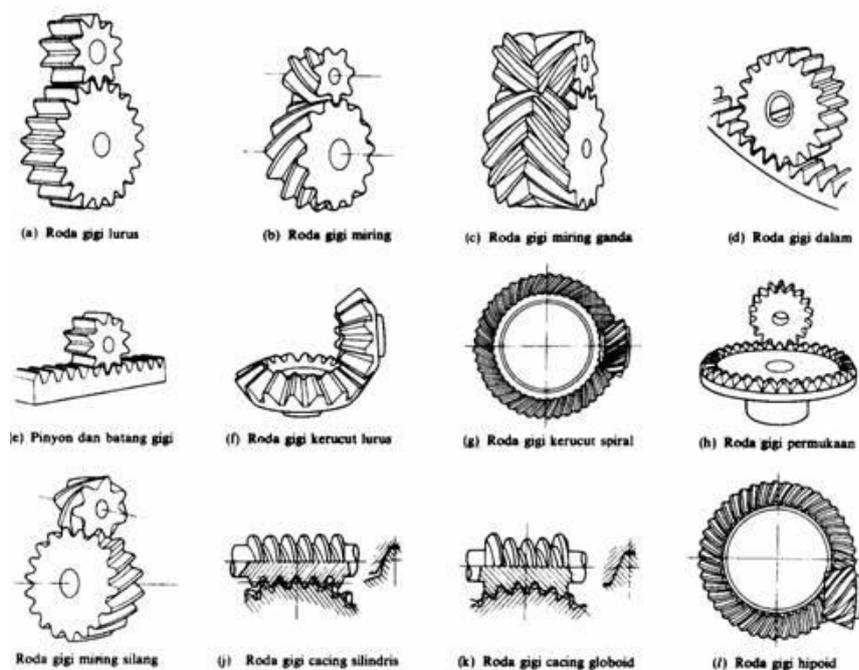
Roda gigi menurut bentuk alurnya terbagi atas tiga macam, berikut pembagian roda gigi menurut bentuk alurnya :

- Roda gigi lurus adalah roda gigi dengan bentuk alur giginya lurus dan sejajar dengan poros.
- Roda gigi miring merupakan roda gigi dengan bentuk alur giginya memiliki kemiringan tertentu.
- Roda gigi miring ganda dimana roda gigi dengan bentuk alur giginya memiliki dua kemiringan tertentu yang sama besarnya.

3. Roda Gigi Menurut Arah Putarannya

Roda gigi menurut arah putarannya terbagi atas dua macam, yaitu:

- Roda gigi yang mempunyai arah putaran berlawanan terhadap roda gigi yang digerakkannya.
- Roda gigi yang mempunyai arah putaran yang sama dengan roda gigi yang digerakkannya.



Gambar 2.14 Macam-macam roda gigi

Sumber: Sularso dan Suga, 1997.

Dalam perancangan roda gigi, khususnya roda gigi lurus dapat digunakan persamaan-persamaan di bawah ini:

Diameter jarak bagi sementara pinion dan roda gigi (d'_o) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d'_o = \frac{2a}{1+i} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:

i = jumlah gigi

a = jarak sumbu poros

Diameter jarak bagi sebenarnya (d_o) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d_o = m.z_1 \dots\dots\dots(16)$$

Dimana:

z = jumlah gigi

m = modul gigi

Diameter kepala (d_k) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$d_k = (z + 2)m \dots\dots\dots(17)$$

Dimana:

z = jumlah gigi

m = modul gigi

Diameter kaki roda gigi (df) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$df = (z - 2,5)m \dots\dots\dots(18)$$

Dimana:

z = jumlah gigi

m = modul gigi

Putaran (n) yang ditransmisikan roda gigi 1 adalah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{60000 \cdot V}{\pi d_0} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana:

v = kecepatan (m/s)

d_0 = diameter jarak bagi sebenarnya (mm)

Faktor koreksi terhadap kecepatan (f_v) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f_v = \frac{3}{3+V} \dots\dots\dots(20)$$

Dimana:

v = kecepatan (m/s)

Gaya tangensial yang terjadi pada roda gigi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_t = \frac{1000 \cdot P}{V} \dots\dots\dots(21)$$

Dimana:

P = daya yang ditransmisikan (W)

v = kecepatan (v)

Beban lentur yang diizinkan (F'_b) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F'_b = \sigma_2 \cdot m \cdot Y \cdot f_v \dots\dots\dots(22)$$

Dimana:

f_v = factor koreksi kecepatan

m = modul gigi

Y = faktor bentuk gigi

σ_2 = tegangan yang diizinkan

Lebar roda gigi (b) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$b = \frac{F_t}{F_{min}} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana F_t = gaya tangensial roda gigi

2.2.8. Pengelasan

Menurut DIN (Deutch Industrie Normen) las adalah menyambung dua buah logam dengan proses metalurgi pada logam yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa las adalah sambungan dua atau beberapa batang logam dengan menggunakan panas.

2.2.8.1. Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) atau biasa disebut Las Busur adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan logam dasar (logam induk) dan elektroda. Proses ini terjadi akibat dari loncatan ion listrik yang terjadi antara ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas (anoda dan katoda). Panas yang ditimbulkan dari lompatan ion ini dapat mencapai 4000 sampai 4500 derajat celcius. Terdapat dua sumber tegangan yang dapat digunakan yaitu AC (arus bolak balik) dan listrik DC (arus searah). Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek arus listrik sehingga menimbulkan panas. Panas inilah yang akan mencairkan elektroda dan material dasar sehingga cairan elektroda dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan. Berikut merupakan komponen utama las SMAW:

a. Mesin Las

Mesin las (transformator) berdasarkan tegangan terdibagi atas dua macam yaitu mesin las AC dan mesin las DC. Mesin las ac biasanya berupa trafo las, sedangkan mesin las DC biasanya dilengkapi dengan dioda atau rectifier (perubah arus bolak balik menjadi arus searah). Mesin las Dc biasanya dilengkapi dengan motor penggerak baik engine ataupun motor listrik.

b. Kabel

Kabel ini terbagi menjadi dua yaitu kabel masa dan kabel elektroda yang berfungsi untuk menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel harus cukuplah besar untuk mengalirkan arus listrik. Ukuran kabel yang tidak sesuai akan menimbulkan panas pada kabel

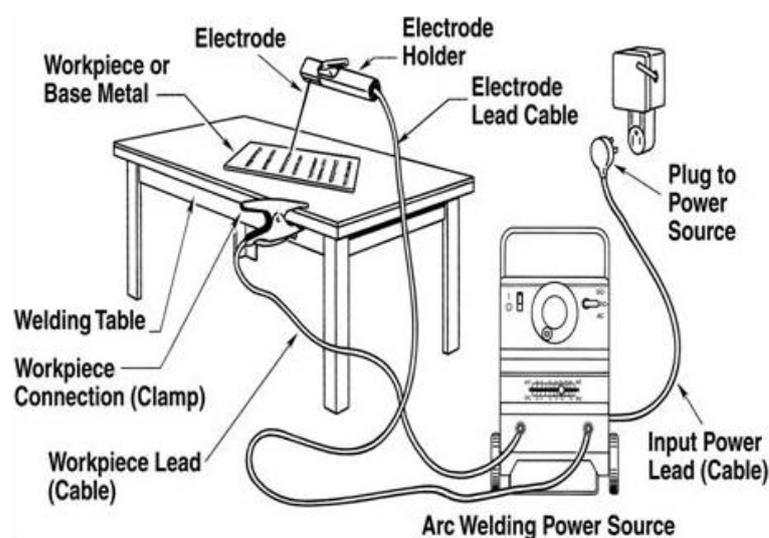
dan merusak isolasi kabel yang akhirnya membahayakan pada saat proses pengelasan.

c. Penjepit elektroda (*holder*) dan klem masa

Penjepit lektrode berguna untuk mengalirkan arus listrik dari kabel elektrode ke elektrode serta sebagai pegangan elektrode sehingga pengelas tidak merasa panas pada saat mengelas. Klem masa berfungsi menghubungkan kabel masa mesin las dengan benda kerja. Klem ini sangat penting karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil sehingga pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.

d. Elektroda

Elektroda berfungsi sebagai logam pengisi pada saat proses pengelasan SMAW. Sebagian besar elektrode las SMAW dilapisi oleh lapisan flux, yang berfungsi sebagai pembentuk gas yang melindungi cairan logam dari kontaminasi udara sekelilingnya. Selain itu fluk berguna juga untuk membentuk terak las yang juga berfungsi melindungi cairan las dari udara sekelilingnya. Lapisan elektroda ini merupakan campuran kimia yang komposisisnya sesuai dengan kebutuhan pengelasan.



Gambar 2.15 Komponen Las SMAW

Sumber: <http://hima-tl.ppns.ac.id/>

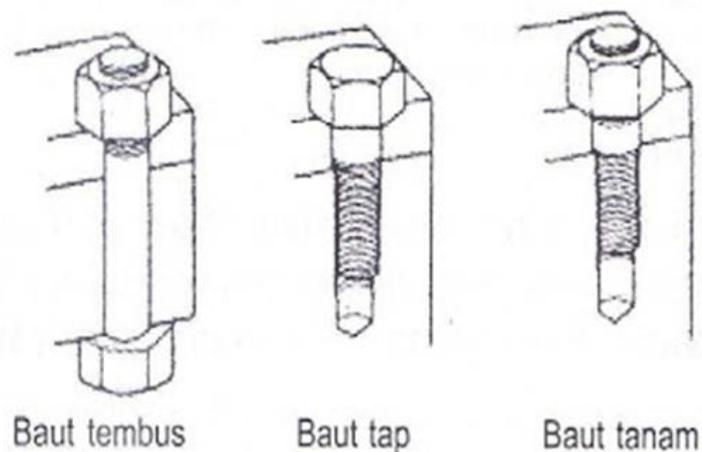
2.2.9. Mur dan Baut

Mur dan baut merupakan alat pengikat yang sangat penting untuk mencegah kecelakaan atau kerusakan pada komponen. Mur dan baut berfungsi untuk menyatukan atau menghubungkan beberapa komponen yang tidak perlu dilakukan proses pengelasan. Mur dan baut terbagi atas beberapa macam sesuai dengan fungsinya.

2.2.9.1. Jenis Baut

Dalam penggunaannya baut terbagi atas beberapa jenis berikut merupakan pembagian jenis baut berdasarkan penggunaannya:

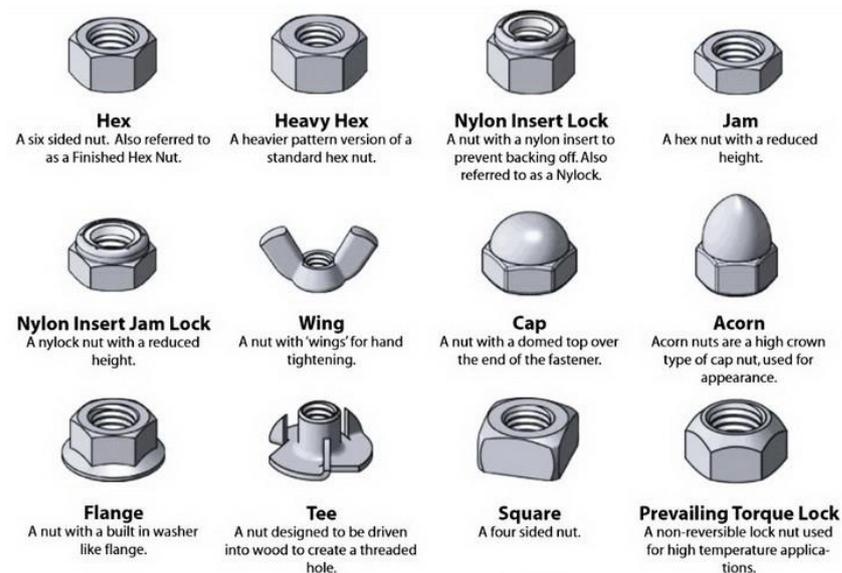
1. Baut tembus, digunakan untuk menjepit dua bagian melalui bidang tembus, dimana jepitan diketatkan dengan sebuah mur
2. Baut tanam, berguna untuk menjepit dua bagian , baut ditanam pada salah satu bagian yang mempunyai lubang berulir.
3. Baut tap, untuk menjepit dua bagian dimana jepitan diketatkan dengan ulir yang diletakan dalam salah satu bagian.



Gambar: 2.16 Jenis baut
Sumber: Sularso dan Suga, 1997

2.2.9.2. Jenis Mur

Pada umumnya mur memiliki bentuk segi enam. Tetapi untuk pemakaian khusus dapat dipakai mur dengan bentuk bermacam-macam seperti ditunjukkan pada gambar 2.15 berikut.



Gambar: 2.17 Jenis Mur

Sumber: <http://www.karyaagung.net>, 2016.

Untuk menentukan jenis dan ukuran mur harus memperhatikan berbagai faktor seperti sifat material, tempat penggunaan, serta kondisi material yang akan dibaut.