

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Potensi Energi Air

Energi air merupakan energi yang murah dan mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik pada air yang mengalir. Tenaga air (*hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air yang dimanfaatkan banyak digunakan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran sungai. Sejak awal abad 18 kincir banyak dimanfaatkan sebagai penggerak penggilingan gandum, penggergajian kayu dan mesin tekstil. Pada abad ke 19 turbin air mulai dikembangkan dan digunakan secara luas untuk tenaga industri sebelum adanya jaringan listrik dan sekarang turbin air digunakan untuk pembangkit tenaga listrik.

Besarnya tenaga yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air keluar dari kincir air atau turbin air. Energi yang tersimpan dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air yaitu :

$$E = mgh \dots\dots\dots(2.1) \text{ Lit 8. Hal 5}$$

(Sumber : Basyirun, Dkk. *Mesin Konversi Energi*. 2008)

dengan

$m$  = massa air (kg)

$h$  = head (m)

$g$  = percepatan gravitasi  $m/s^2$

Daya merupakan energi tiap satuan waktu  $\left(\frac{J}{s}\right)$ , sehingga persamaan (2.1)

dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{J}{s} = \frac{m}{s} gh$$

Dengan mensubstitusikan  $P$  terhadap  $\left(\frac{J}{s}\right)$  dan mensubstitusikan  $\rho Q$

terhadap  $\left(\frac{m}{s}\right)$  maka :

$$P = \rho Qgh \dots\dots\dots(2.2) \text{ Lit. 9. Hal 721}$$

(Sumber : Mikrajuddin Abdullah. *Fisika dasar 1*. 2016)

dengan

$P$  = Daya (Watt) yaitu

$$Q = \text{Kapasitas aliran} \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$\rho = \text{Densitas air} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Selain memanfaatkan air jatuh *hydropower* dapat diperoleh dari aliran air datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \dots\dots\dots(2.3) \text{ Lit 8. Hal 5}$$

(Sumber : Basyirun, Dkk. *Mesin Konversi Energi*. 2008)

dengan

$v =$  Kecepatan aliran air  $\left(\frac{m}{s}\right)$

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \dots\dots\dots(2.4) \text{ Lit. 9. Hal 721}$$

(Sumber : Mikrajuddin Abdullah. *Fisika dasar 1*. 2016)

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas  $Q = Av$  maka

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2.5) \text{ Lit. 9. Hal 721}$$

(Sumber : Mikrajuddin Abdullah. *Fisika dasar 1*. 2016)

dengan

$A =$  Adalah luas penampang aliran air  $(m^2)$

## 2.2. Mesin-Mesin Fluida

Mesin-mesin fluida adalah mesin-mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi fluida kerja (energi potensial dan energi kinetik) atau sebaliknya. Secara umum, mesin-mesin fluida dibagi dalam dua golongan utama yaitu :

### 1. Mesin Kerja

Merupakan mesin fluida yang mengubah energi mekanis menjadi energi fluida. Misalnya : pompa, kompresor, *blower*, *fan* dan lain-lain.

### 2. Mesin Tenaga

Merupakan mesin fluida yang mengubah energi fluida menjadi energi mekanis pada poros. Misalnya : turbin uap, turbin air, turbin gas, kincir air, dan lain-lain.

### 2.3. Kincir Air

Kincir air merupakan alat pertama terciptanya turbin air. Perbedaan utama antara kincir air dan turbin air adalah bahwa kincir air mengubah kecepatan aliran, sedangkan turbin air mengubah arah dan kecepatan aliran. Kincir dapat didefinisikan sebagai peralatan mekanis berbentuk roda (*wheel*), dengan sudu (*bucket* atau *vane*) pada sekeliling tepi-tepinya, yang di letakkan pada poros horizontal, kincir air merupakan sarana untuk mengubah energi air menjadi energi mekanik berupa torsi pada poros kincir.

Kincir air memanfaatkan selisih ketinggian alamiah dari permukaan sungai kecil. Air yang masuk kedalam dan keluar kincir tidak mempunyai tekanan lebih (*over pressure*), hanya tekanan atmosfer saja. Air itu menerjang sudu-sudu kincir yang kebanyakan langsung di hubungkan dengan mesin.

Pada saat sekarang penggunaan turbin air lebih banyak dibandingkan dengan kincir air. Hal ini menyebabkan kerana turbin air memiliki keuntungan-keuntungan bila dibandingkan dengan kincir air antara lain:

- 1) Mempunyai efisiensi yang lebih tinggi.
- 2) Mampu membangkitkan daya yang lebih besar.
- 3) Mampu memanfaatkan beda ketinggian permukaan air dari yang sangat rendah sampai yang paling tinggi.
- 4) Dapat bekerja terendam didalam air.
- 5) Dapat beroperasi dengan kecepatan tinggi.

Tetapi walaupun begitu, penggunaan kincir air samapai sekarang masih tetap ada, karena mempunyai kelebihan juga di bandingkan dengan

turbin air, yaitu konstruksinya yang sederhana dan murah serta mudah dan murah dalam perawatannya. Walaupun memiliki banyak kekurangan dibandingkan turbin air, teknologi ini yang sangat sederhana ini cocok digunakan didaerah perdesaan yang terpencil, asalkan daerah tersebut mempunyai potensi sumber tenaga air yang cukup terjamin.

Data sejarah menunjukkan bahwa prinsip konversi energi air menjadi energi mekanik telah dikenal sejak lebih 2.500 tahun yang lalu dengan di mulai digunakan kincir air sederhana yang terbuat dari kayu, sebagai mesin pembangkit tenaga. Penggunaan kincir air diawali di India, dan kemudian berkembang ke Mersir, dan berlanjut ke eropa dan seterusnya merambah ke Amerika, rancangan sistematik dari kincir dimulai abad ke 18, dimana banyak dilakukan riset untuk meningkatkan kinerja dari kincir air yang telah dibangun yang akhirnya menuju kekonstruksi turbin air. Kincir air yang dirancang secara teoritik, dikembangkan oleh poncelet dan banyak digunakan di Inggris pada awal abad 19. (Sumber : Kaprawi DEA, 2011)

#### **2.4. Prinsip Kerja Kincir Air**

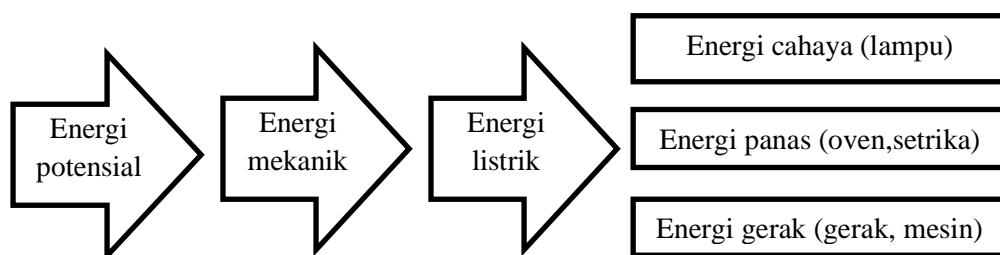
Kincir air merupakan suatu alat yang berputar karena adanya aliran air yang melewati kincir sehingga kincir berputar. Putaran kincir ini dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik. Dengan demikian, akan dihasilkan aliran listrik yang dapat dipakai untuk berbagai keperluan. Seperti ilustrasi pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Kincir Air

(Sumber : <http://www.finehomebuilding.com/2009/06/25/getting-off-the-grid>)

Pada proses kerja kincir air pembangkit listrik sampai pada pemakaian listrik terjadi beberapa perubahan energi. Pertama, adalah perubahan energi potensial yang ada di dalam aliran air menjadi energi mekanik (gerak) oleh kincir. Kedua, energi mekanik ini akan memutar generator. Akibat perputaran generator terjadilah lompatan elektron. Hal inilah yang menghasilkan arus listrik. Proses selanjutnya arus listrik di distribusikan ke rumah-rumah, pabrik-pabrik maupun apa saja yang membutuhkan listrik. Hal ini dapat dilihat pada skema berikut ini.

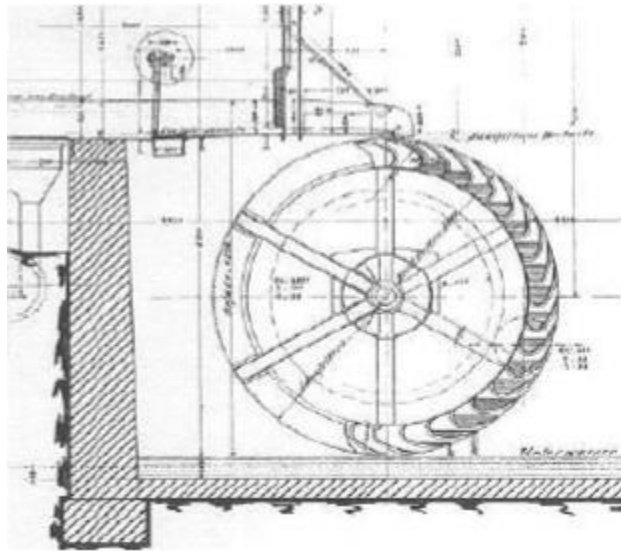


Gambar 2.2 Skema Perubahan Energi Pada Kincir Air

## 2.5. Jenis-Jenis Kincir Air

Ada beberapa jenis kincir air berdasarkan sistem aliran airnya, yaitu:

### a. Kincir Air *Overshot*



Gambar 2.2 Kincir *Overshot*

(Sumber : Morong, 2016)

Pada kincir air jenis *overshot* seperti pada gambar 2.3, air melalui bagian atas kincir dan kincir terletak dibawah aliran air. Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir jatuh kedalam sudu-sudu sisi bagian atas, sehingga kincir terdorong dan berputar, seperti terlihat pada gambar dibawah.

Kincir air jenis ini murni memanfaatkan gaya berat air untuk beroperasi. Kincir air tipe *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan jika di dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain, karena memiliki efesiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kincir air tipe yang lain. Rancangan kincir yang menghasilkan kinerja

yang baik antara lain dengan mengatur sudut gerak sehingga energi maksimum dari air dapat dimanfaatkan secara optimal. Kadang-kadang posisi kincir diatur agak kebawah agar pancaran air juga dapat dimanfaatkan. Pada kondisi ini, roda kincir digerakkan oleh gaya berat air dan dorongan air .

Keuntungan dari kincir air *overshot*, yaitu

1. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%.
2. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
3. Konstruksi sederhana.
4. Mudah dalam perawatan.
5. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian dari kincir air *overshot*, yaitu:

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya diperlukan reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.

1. Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
2. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
3. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

Data empirik dari kincir air jenis *overshot* dengan rancangan baik, seperti pada tabel 2.1 berikut:



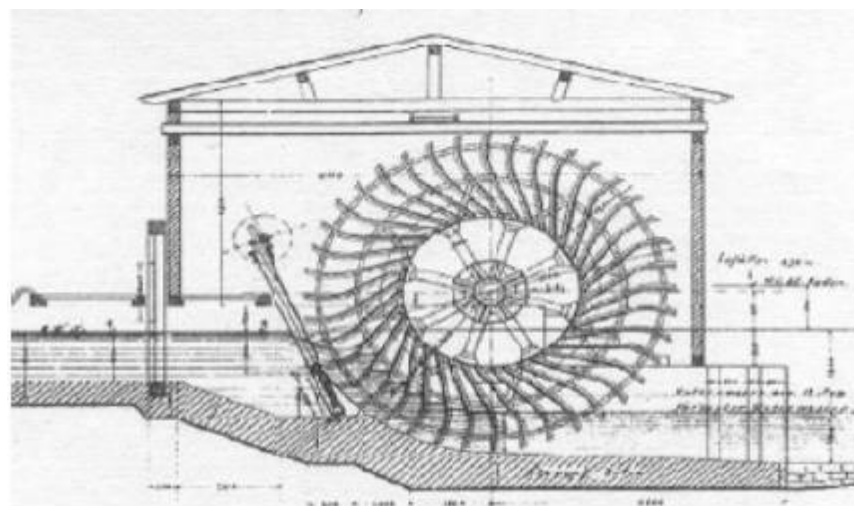
Tabel 2.1 Data Kincir Air Jenis *Overshot Wheel*

Parameter	Simbol	Satuan	Jumlah
Beda ketinggian permukaan air	$\Delta z$	m	10 - 25
Diameter nominal kincir	D	m	3 - 20
Jumlah sudu gerak ( <i>Bucket</i> )	$z_b$	Unit	8 - 10
Putaran kincir	$n$	rpm	4 - 8
Efisiensi total	$\eta$	%	60 - 80

Sumber : ( Sumber : Kaprawi DEA, 2011)

**b. Kincir Air *Undeshot***

Pada kincir air tipe *undershot* seperti pada gambar 2.4, posisi kincir air diletakkan agak keatas dan sedikit menyentuh air. Pada kincir air jenis *undershot* air menumbuk dinding sudu gerak dari kincir pada saat posisi roda kincir berada dibawah atau dasar permukaan air dan tidak memerlukan head. Kincir tipe *undershot* cocok dipasang pada perairan arus sungai datar.



Gambar 2.3 Kincir Air Jenis *Undershot*

(Sumber : Morong, 2016)

Keuntungan dari kincir air tipe *undershot*, yaitu:

1. Konstruksi yang sederhana.
2. Lebih ekonomis
3. Mudah untuk dipindahkan.

Kerugian dari kincir tipe *undershot*, yaitu:

1. Efisiensi kecil.
2. Daya yang dihasilkan relatif kecil

Data empirik dari kincir air jenis *overshot* dengan rancangan baik, seperti pada table 2.2 berikut:

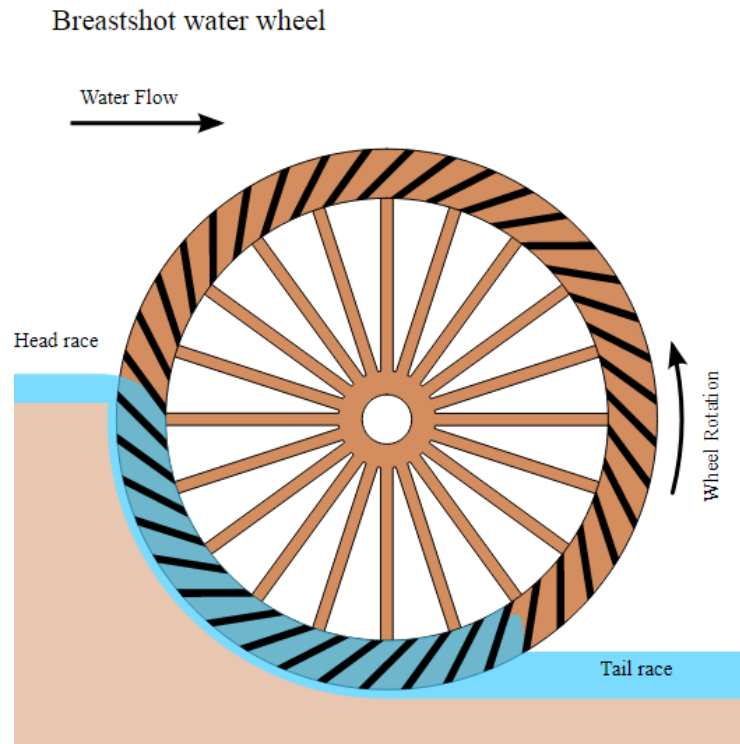
Tabel 2.2 Data Kincir Air Jenis *Undershot Wheel*

Parameter	Simbol	Satuan	Jumlah
Beda ketinggian permukaan air	$\Delta z$	m	< 5
Diameter nominal kincir	D	m	2 – 4
Putaran kincir	$n$	rpm	2 – 4
Efisiensi total	$\eta$	%	35 - 45

Sumber (Sumber : Kaprawi DEA, 2011)

**c. Kincir Air *Breastshot***

Pada kincir air jenis *breastshot* seperti pada gambar 2.5, kincir diletakkan sejajar dengan aliran air sehingga air mengalir melalui tengah-tengah kincir air. Kincir air tipe *breastshot* merupakan perpaduan antara kincir air tipe *overshot* dan *undershot* dilihat energi yang diterimanya. Kincir air tipe ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *undershot*.



Gambar 2.4 Kincir Air Tipe *Breastshot*

(Sumber: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/Breastshot\\_water\\_wheel\\_schematic.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/Breastshot_water_wheel_schematic.svg), 2018)

Beberapa hal khusus dari rancangan kincir air jenis *breastshot wheel* adalah sebagian dari bagian bawah roda kincir terendam atau berada dibawah permukaan air bawah dan diameter dari kincir tipe *breastshot wheel* lebih besar dari beda ketinggian permukaan yang ada.

Keuntungan dari kincir air *breastshot*, yaitu:

1. Tipe ini lebih efisien dari undershot
2. Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
3. Dapat diaplikasikan aliran datar

Kerugian kincir *breastshot*, yaitu:

1. Sudu-sudu dari turbin agak rumit

2. Diperlukan dam pada arus aliran datar
3. Efisiensi kecil dari pada tipe *overshot*.

Data empirik dari kincir air jenis *overshot* dengan rancangan baik, seperti pada tabel 2.3 berikut:

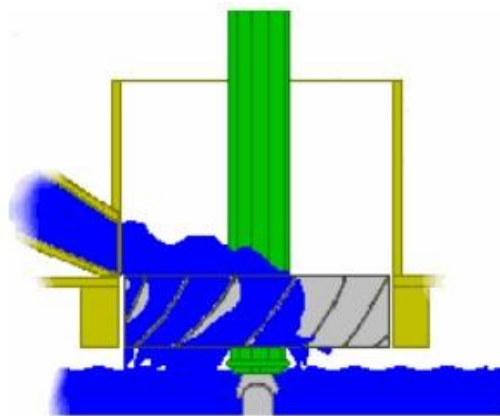
Tabel 2.3 Data Kincir Air Jenis *Breastshot*

Parameter	Simbol	Satuan	Jumlah
Beda ketinggian permukaan air	$\Delta z$	m	1 - 5
Diameter nominal kincir	D	m	4 - 8
Putaran kincir	$n$	rpm	3 - 7
Efisiensi total	$\eta$	%	50 - 65

(Sumber : Kaprawi DEA, 2011)

#### d. Kincir air *tub*

Kincir air *tub* merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horizontal dan sudu-sudunya terhadap garis vertikal, dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe *overshot* maupun *undershot*. Karena arah gaya dari pancuran air menyamping, maka energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik. Bentuk dari kincir air *tub* seperti pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.5 Kincir Air Tub

(Sumber : [https://www.slideshare.net/khairul\\_fadli/turbin-air-mesin-fluida-ajar](https://www.slideshare.net/khairul_fadli/turbin-air-mesin-fluida-ajar), 2018)

Keuntungan dari jenis kincir air *tub*, yaitu:

1. Memiliki konstruksi yang lebih ringkas.
2. Kecepatan putarannya lebih cepat

Kerugian dari jenis kincir air *tub*, yaitu:

1. Tidak menghasilkan daya yang besar.
2. Karena komponennya lebih kecil membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

## 2.6. Perhitungan Pada Kincir Air

### 2.6.1. Debit

Debit adalah banyaknya air yang mengalir dalam satu sekon satuannya meter kubik per sekon ( $\frac{m^3}{s}$ ). Dari ilmu mekanika fluida debit air yang mengalir dari suatu tempat penampungan ditentukan oleh kecepatan aliran dan luas penampang aliran. Maka dapat ditulis dengan persamaan (Frank, W., 1998) sebagai berikut:

$$Q = V \cdot A_a \dots \dots \dots (2.6) \text{ Lit 7. Hal 38}$$

(Sumber : Orianto dan Pratikto. *Mekanika Fluida I*. 1984)

Keterangan :

$Q$  = Debit Air ( $m^3/s$ )

$V$  = Kecepatan air pada saluran ( $m/s$ )

$A_a$  = Luas penampang aliran air ( $m^2$ )

### 2.6.2. Gaya

Gaya adalah besarnya usaha yang dibutuhkan tiap jarak yang ditempuh. Menghitung gaya untuk memutar kincir dipengaruhi oleh luas

penampang sudu dan kecepatan air pada saluran. Maka dapat dituliskan bentuk persamaan sebagai berikut : (Mirza Satriawan, 2012)

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots (2.7) \text{ Lit. 9 hal 238}$$

(Sumber : Mikrajuddin Abdullah. *Fisika dasar 1*. 2016)

Keterangan :

$F$  = Gaya untuk memutar kincir ( $N$ ).

$m$  = Massa ( $kg$ )

$g$  = Gaya gravitasi ( $m/s^2$ )

### 2.6.3. Torsi

Torsi adalah hasil kali gaya dengan lengan. Kincir air merupakan sarana untuk merubah tenaga air menjadi energi gerak putar berupa torsi pada poros kincir. Torsi yang dihasilkan oleh kincir dipengaruhi gaya untuk memutar kincir dan jari-jari kincir. Maka diperoleh persamaan torsi kincir (Mirza Satriawan, 2012)

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2.8) \text{ Lit 8. Hal 24}$$

(Sumber : Basyirun, Dkk. *Mesin Konversi Energi*. 2008)

Keterangan :

$T$  = Torsi kincir ( $Nm$ )

$F$  = Gaya ( $N$ )

$r$  = Jari-jari kincir ( $m$ )

### 2.6.4 Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut adalah besarnya sudut yang ditempuh persatuan waktu ( $rad/s$ ). Poros pada kincir air digunakan sebagai

penerus putaran dari kincir terhadap mekanisme lainnya misalnya penggerak untuk generator. Untuk menentukan besarnya daya kincir yang dihasilkan maka perlu kita ketahui nilai dari kecepatan sudut pada kincir itu sendiri. Persamaan yang digunakan dalam menentukan besarnya kecepatan sudut sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2\pi.n}{60} \dots\dots\dots (2.4)$$

**2.6.5 Daya Air**

Daya air adalah daya yang diberikan air terhadap sudu kincir atau daya yang tersedia pada air yang mengalir. Kincir air menggunakan energi air yang menghasilkan momen putar pada poros. Daya input yang dihasilkan oleh kincir tergantung pada kecepatan air dan debit air yang mengalir. Dari perhitungan kecepatan aliran dan debit air yang mengalir maka diperoleh persamaan daya input kincir yang dapat dituliskan sebagai berikut. (Rusman, 2017)

$$P_{air} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \dots\dots\dots (2.10) \text{ Lit. 9. Hal}$$

721

(Sumber : Mikrajuddin Abdullah. *Fisika dasar 1*. 2016

**2.6.6. Daya Kincir**

Daya kincir adalah daya yang dihasilkan oleh putaran kincir atau daya yang berguna dari kincir. Daya output yang dihasilkan oleh kincir tergantung pada kecepatan air, luas penampang, dan putaran kincir. Dari perhitungan torsi kincir dan kecepatan sudut kincir maka diperoleh

persamaan daya output kincir, yang dapat dituliskan sebagai berikut.

(Rusman, 2017)

$$P_{\text{kincir}} = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2.11) \text{ Lit 8. Hal 60}$$

(Sumber : Basyirun, Dkk. *Mesin Konversi Energi*. 2008)

### 2.6.7. Efisiensi

Dalam menentukan efisiensi daya dari suatu kincir tergantung pada daya input kincir dan daya output kincir, yang dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\eta = \frac{P_{\text{kincir}}}{P_{\text{air}}} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.12) \text{ Lit 8. Hal 54}$$

(Sumber : Basyirun, Dkk. *Mesin Konversi Energi*. 2008)

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{\text{kincir}}$  = Daya kincir (Watt)

$P_{\text{air}}$  = Daya air (Watt)

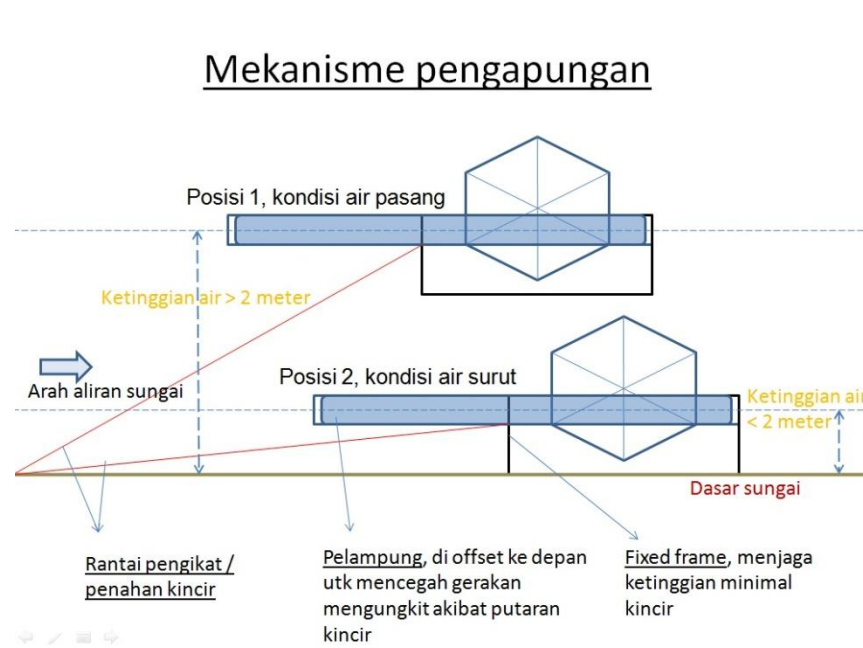
## 2.7. Bagian-Bagian Utama Kincir Air *Undershot*

### 2.7.1 Pelampung (*Pontoon*)

Pelampung (*Pontoon*) merupakan bagian tempat berlangsungnya suatu proses pembangkit listrik tenaga air. Pelampung (*pontoon*) juga berfungsi sebagai pondasi suatu peralatan yang menyangga komponen-komponen seperti bantalan poros kincir, puli, generator dan komponen-komponen mekanikal kincir. Pelampung dibuat sesuai dengan kondisi aliran air sungai dan ukuran kincir yang akan dibuat. Pelampung (*Pontoon*) tersebut harus mempunyai konstruksi dan bahan yang kuat agar



bisa menahan berat beban kincir dan peralatan lainnya dan juga sebagai penyeimbang dikala air pasang maupun surut, sehingga dapat tetap bekerja walaupun air sungai pasang atau pun surut.



Gambar. 2.6 Mekanisme *Pontoon*  
(mykincirismun, 2012)

- **Prinsip Archimedes (287-212 SM)**

Jika sebuah benda diam terendam seluruhnya di dalam sebuah fluida, atau mengapung sedemikian sehingga sebagian saja yang terendam, gaya fluida resultan yang bekerja pada benda itu disebut “*gaya apung (buoyant force)*”. Sebuah gaya yang bekerja pada netto kearah atas terjadi karena tekanan meningkat dengan kedalaman dan gaya-gaya tekan yang bekerja dari bawah lebih besar dari pada gaya-gaya yang bekerja dari atas. Gaya ini dapat ditentukan dengan pendekatan yang sama seperti yang

digunakan pada bagian sebelumnya mengenai gaya-gaya pada permukaan lengkung. Oleh karena itu, gaya apung mempunyai besar yang sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut dan mengarah vertical ke atas, hal ini disebut "*prinsip Archimedes*". Untuk menghormati Archimedes (287-212), seorang ahli mekanik dan matematika Yunani yang pertama kali mengemukakan gagasan-gagasan yang dasar berkaitan dengan hidrostatis. Letak garis dari gaya apung dapat ditentukan dengan menjumlahkan momen gaya-gaya terhadap suatu sumbu yang memudahkan. Misalnya dengan menjumlahkan momen terhadap sebuah sumbu tegak lurus terhadap permukaan kertas. Jadi dapat disimpulkan bahwa gaya apung melewati pusat massa apung dari volume yang dipindahkan. Titik yang dilalui gaya apung yang bekerja disebut pusat apung (*center of buoyancy*).

Hasil yang sama juga berlaku pada benda-benda yang terapung di mana hanya sebagian saja yang terendam. Jika berat jenis fluida di atas permukaan cairan sangat kecil dibandingkan dengan berat cairan di mana benda tersebut akan mengapung, karena fluida di atas permukaan biasanya udara. Namun demikian, gaya apung tersebut tidak melewati pusat massa tetapi akan melewati pusat gravitasi dari volume yang dipindahkan tersebut.

### **2.7.2 Poros**

Poros merupakan salah satu bagian terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran.

Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros. (Sularso, 2008)

a. Poros Transmisi

Poros macam ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli, sabuk atau *sprocket*, rantai, dan lain-lain.

b. *Spindel*

Poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran, disebut *spindel*. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

Ada beberapa hal-hal penting dalam perencanaan poros yang perlu diperhatikan, diantaranya :

a. Kekuatan Poros

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau beban lentur atau gabungan antara puntir dan lentur seperti telah diutarakan di atas. Kelelahan, tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil (poros bertangga) atau bila poros mempunyai alur dan pasak, harus diperhatikan. Sebuah poros harus direncanakan hingga cukup kuat menahan beban-beban diatas.

b. Kekakuan poros

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan

ketidak telitian (pada mesin perkakas) atau getaran dan suara (misalnya pada turbin atau kotak roda gigi).

c. Putaran Kritis

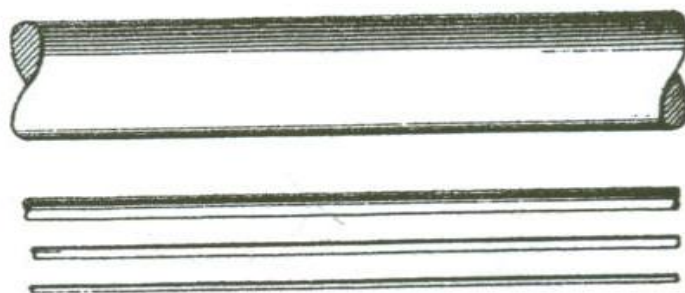
Bila putaran suatu mesin dinaikkan maka pada harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis, hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya.

d. Korosi

Bahan-bahan tahan korosi (termasuk plastis) harus dipilih untuk poros propeler dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif.

e. Bahan Poros

Poros untuk mesin biasanya menggunakan bahan dari baja batang yang ditarik, baja karbon konstruksi mesin (disebut bahan S-C) yang dihasilkan dari ingot yang di "kill" (baja yang dioksidasi dengan *ferro silicon* dan dicor, kadar karbon terjamin). Untuk lebih jelasnya gambar poros dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.7. Poros

( Sumber : Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008 )

Tabel 2.4 : Baja karbon untuk konstruksi mesin dan baja batang yang difinish dingin untuk poros.

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/ mm <sup>2</sup> )	Keterangan
Baja karbon konstruksi mesin (JIS G 4501)	S30C	Penormalan	48	
	S35C	Penormalan	52	
	S40C	Penormalan	55	
	S45C	Penormalan	58	
	S50C	Penormalan	62	
	S55C	Penormalan	66	
Batang baja yang di finis dingin	S35C-D	-	53	Ditarik dingin, digerinda, dibubut, atau gabungan antara hal-hal tersebut
	S45C-D	-	60	
	S55C-D	-	72	

( Sumber : Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008 )

Tabel 2.5 : Baja paduan untuk poros

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/ mm <sup>2</sup> )
Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SNC 2	-	85
	SNC 3	-	95
	SNC 21	Pengerasan kulit	80
	SNC 22	”	100
Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SNMC 1	-	85
	SNMC 2	-	95
	SNMC 7	-	100
	SNMC 8	-	105
	SNMC 22	Pengerasan kulit	90
	SNMC 23	”	100
	SNMC 25	”	120

Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SCr 3	-	90
	SCr 4	-	95
	SCr 5	-	100
	SCr 21	Pengerasan kulit	80
	SCr 22	”	85
Baja khrom nikel (JIS G 4502)	SCM 2	-	85
	SCM 3	-	95
	SCM 4	-	100
	SCM 5	-	105
	SCM 21	Pengerasan kulit	85
	SCM 22	”	95
	SCM 23	”	100

( Sumber : Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008 )

Rumus-rumus perencanaan poros:

Daya rencana dihitung menurut persamaan berikut :

$$p_d = f_c \times p \quad \dots\dots\dots 2.13 \text{ (Lit.4 hal.7)}$$

Dimana :

$P$  = Daya yang ditransmisikan (kW).

$f_c$  = Faktor koreksi.

$p_d$  = Daya rencana (kW).

Tabel 2.6 Faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan

Daya yang akan ditransmisikan	Fc
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	1,0 – 1,2

Daya normal	1,0 – 1,5
-------------	-----------

( Sumber : Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008 )

Sedangkan momen punter atau torsi yang terjadi dihitung menurut persamaan berikut:

Sedangkan faktor keamanan terbagi atas 2 macam yaitu :

1. Faktor keamanan 1 ( $Sf_1$ ) untuk baja karbon (SC) adalah : 6,0.
2. Faktor keamanan 2 ( $Sf_2$ ) untuk pengaruh kekasaran adalah : 1,3 – 3,0.

Maka tegangan geser yang terjadi dihitung menurut persamaan berikut :

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{Sf_1 \cdot Sf_2} \dots\dots\dots 2.15 \text{ (Lit.4 hal.8)}$$

Dimana :

$\tau_a$  = Tegangan geser ( $\text{kg/mm}^2$ ).

$\sigma_b$  = Tegangan tarik bahan ( $\text{kg/mm}^2$ ).

Dengan diperolehnya tegangan geser, maka diameter poros dapat dihitung sebagai berikut :

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{5,1 \cdot Kt \cdot Cb \cdot T}{Ta}} \dots\dots\dots 2.16 \text{ (Lit.4 hal.8)}$$

Dimana :

$D_s$  = Diameter poros (mm).

$Kt$  = Faktor koreksi momen puntir (1,0 – 1,5).

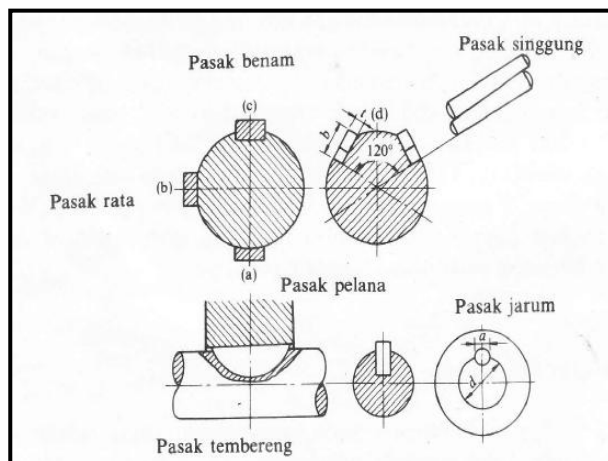
$Cb$  = Faktor koreksi akibat beban lentur (1,2 – 2,3)

### 2.7.3 Pasak

Pasak adalah bagian dari mesin yang berfungsi untuk menahan/pengikat benda yang berputar. Menurut letaknya pada poros, pasak dapat dibedakan menjadi beberapa macam yaitu:

1. Pasak pelana
2. Pasak rata
3. Pasak benam
4. Pasak senggung

Jenis pasak diatas penampangnya berbentuk segi empat. Dalam arah memanjang dapat berbentuk prismatic atau berbentuk tirus. Selain itu juga diketahui ada pasak lain, seperti pasak tembereng dan pasak jarum.



Gambar 2.8 Macam-Macam Jenis Pasak

( Sumber : Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Sularso, 2008 )

Rumus perhitungan perencanaan pasak :

1. Gaya Tangensial



$$F = \frac{T}{(ds/2)} \dots\dots\dots \text{pers.2.12 (Lit.1 hal.25)}$$

Dimana :

F = gaya tangensial (kg)

T = momen rencana poros (kg.mm)

ds= diameter poros (mm)

2. Tegangan geser

$$T_k = \frac{F}{b.l} \dots\dots\dots \text{pers.2.13 (Lit.1 hal.25)}$$

Dimana :

Tk = tegangan geser (kg/mm<sup>2</sup>)

b = lebar pasak (mm)

l = panjang pasak (mm)

3. Lebar dan panjang pasak

Lebar (b) = 25% x ds ..... pers.2.14 (Lit.1 hal.25)

Panjang (l) = 0,75 x ds ..... pers.2.15 (Lit.1 hal.25)

**2.7.4 Bantalan (*Bearing*)**

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban sehingga putaran atau gerakan bolak baliknya dapat belangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk menahana poros serta elemen mesin lainnya agar bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak bekerja dengan baik maka prestasi seluruh system akan menurun atau tidak bekerja dengan baik. (Sumber : Sularso, 2008)



Gambar 2.9 Macam-Macam Bantalan  
(L.Moot,R. 2004)

Seperti pada gambar 2.9 Macam-macam Bantalan, Untuk memilih bantalan yang akan digunakan harus diketahui beban yang akan di tumpu oleh bantalan merupakan factor yang sangat penting dalam pemilihan bantalan (Sularso, Kiyokatsu Sugo 2004)

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bantalan Luncur
2. Bantalan Gelinding
3. Bantalan Radial
4. Bantalan Aksial
5. Bantalan Gelinding Khusus
  - a. Perhitungan beban bantalan

1. Kecepatan keliling puli :

$$V = \frac{\pi \cdot D_p \cdot n_1}{60} \dots\dots\dots \text{pers.2.16 (Lit.1 hal. 230)}$$

dimana :

$$D_p = \text{diameter puli (mm)}$$

$n_1$  = putaran poros kincir (rpm)

2. Besarnya beban radial yang bekerja :

$$F_r = \frac{102.P}{V} \dots\dots\dots \text{pers.2.17 (Lit.1 hal. 238)}$$

dimana :

P : daya yang bekerja (kW)

3. Besarnya beban ekivalen dinamis :

$$P_r = x \cdot v \cdot F_r + y \cdot F_a \dots\dots\dots \text{pers.2.18 (Lit.1 hal.135)}$$

dimana :

$F_r$  = beban radial (kg)

$F_a$  = beban aksial (kg)

x = faktor beban radial

y = faktor beban aksial

v = pembebanan pada cincin dalam yang berputar

b. Perhitungan umur bantalan

1. Untuk bantalan gelinding.

a. faktor keamanan :

$$f_n = (33,3/n)^{1/3} \dots\dots\dots \text{pers.2.19 (Lit.1 hal.136)}$$

dimana :

n = putaran poros kincir (rpm)

b. faktor umur :

$$f_h = f_n \cdot C/P \dots\dots\dots \text{pers.2.20 (Lit.1 hal.135)}$$

dimana :

C = kapasitas nominal dinamis = 1000 kg

c. umur nominal bantalan :

$$L_n = 500 f_h^3 \dots\dots\dots \text{pers.2.21 (Lit.1 hal.136)}$$

d. Keandalan umur bantalan, jika mengambil 99 % :

$$L_n = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h \dots\dots\dots \text{pers.2.22 (Lit.1 hal.136)}$$

dimana :

$a_1$  = faktor keandalan 99%

$$= 0,21 \text{ (tabel 4.10 Lit 1 hal 137)}$$

$a_2$  = faktor bahan

$$= 1 \text{ (baja dicairkan secara terbuka)}$$

$a_3$  = faktor kerja = 1 (kondisi kerja normal)

e. Jika dalam satu hari bekerja selama 15 jam, maka umur bantalan tersebut :

$$L_b = \frac{L_h}{15 \times 365} \dots\dots\dots$$

### 2.7.5 Sudu (*Blade*)

Blade atau sudu-sudu kincir terbuat dari plat besi, namun kebanyakan dari kincir air terbuat dari kayu. Blade atau sudu-sudu kincir berfungsi untuk mendapatkan gaya akibat dari tumbukan air terhadap bidang atau dinding sudu kincir tersebut. Apabila dinding-dinding kincir tersebut dipasangkan pada keliling roda maka gaya-gaya tumbukan pada dinding kincir tersebut akan menimbulkan torsi yang akan menyebabkan roda berputar pada porosnya. Maka Energi kinetik sudah berubah menjadi Energi mekanik dalam bentuk putaran

Besarnya torsi yang ditimbulkan oleh putaran air berhubungan langsung dengan beberapa hal antara lain :

1. Kecepatan aliran air
2. Ukuran dinding atau bidang tumbukan
3. Diameter roda kincir
4. Debit air

### **2.7.6 Sistem Transmisi**

Pada kebanyakan pembangkit kecil, pada umumnya turbin atau kincir yang berputar akan dikopelkan langsung untuk memutar generator. Akan tetapi untuk mengkopelkannya ke generator, terlebih dahulu harus dipertimbangkan kecepatan putar turbin atau kincir tersebut dengan kecepatan generator, apabila kecepatannya berbeda dengan kecepatan putar generator, maka dalam pengkopelannya dapat digunakan sistem transmisi mekanik yang berupa puli (*pulley*) dan sabuk (*belt*) atau juga dapat digunakan garden (*differential*). Untuk perancangan ini dipilih sistem transmisi puli dan sabuk.

#### **2.7.6.1 Puli (Pulley)**

Puli merupakan bagian terpenting dari mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya seperti halnya sproket rantai dan roda gigi sehingga pembuatan puli perlu di pertimbangkan baik kekuatan puli, proses pengerjaan hingga nilai ekonomis bahan puli. Puli pada umumnya

terbuat dari besi cor kelabu FC 20 atau FC 30, dan ada pula terbuat dari baja. Pada dunia teknik khususnya konstruksi permesinan kita mengetahui ada berbagai macam jenis puli dan bahan yang bisa digunakan dalam konstruksi puli disesuaikan dengan penggunaan puli.

Keuntungan jika menggunakan puli :

1. Bidang kontak sabuk-puli luas, tegangan puli biasanya lebih kecil sehingga lebar puli bisa dikurangi.
2. Tidak menimbulkan suara yang bising dan lebih tenang



Gambar 2.10 Jenis Puli

(Sumber : [http://www.indiantradebird.com/admin/members/6571/images/0\\_72935988.jpg](http://www.indiantradebird.com/admin/members/6571/images/0_72935988.jpg))

#### **2.7.6.2 Sabuk**

Untuk mengantarkan atau mentransmisikan daya dan putaran yang di peroleh maka perlu direncanakan jenis transmisi yang dipakai. Dalam perancangan transmisi ini jenis transmisi yang dipakai adalah transmisi Puli dan sabuk. Transmisi ini mempunyai kelemahan yaitu sering terjadi

slip antara sabuk dan Puli padasaat mentransmisikan daya dan putaran.

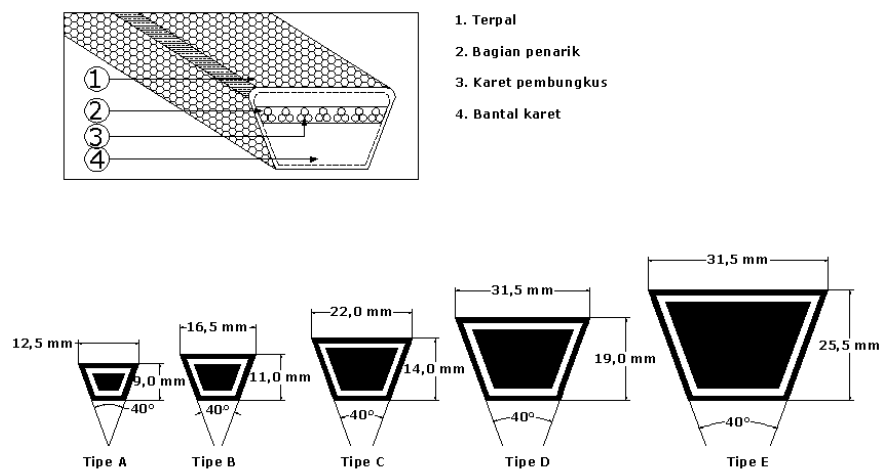
Tetapi kelebihan sabuk dan Puli ini adalah :

1. Pada saat terjadi *over load* (beban berlebihan) tidak termasuk transmisi
2. Pada saat terjadi kerusakan pada bagian lain atau bagian lain berhenti berputar maka sabuk akan slip dan tidak merusak bagian lain.
3. Dapat mentransmisikan daya dan putaran pada jarak yang jauh.
4. Tidak menimbulkan bunyi berisik.

Jenis-jenis sabuk.

- a. Sabuk rata (*flat belt*) adalah jenis paling sederhana, sering terbuat dari kulit atau berlapis karet. Permukaan pulinya juga rata dan halus, dan karena itu gaya ppengerakanya dibatasi oleh gesekan murni antara sabuk dan puli.
- b. Sabuk sinkron (*synchronous belt*) atau disebut juga sabuk gilir (*timing belt*) bergerak bersama puli (juga sproket) yang mempunyai alur-alur yang sesuai dengan gigi-gigi pada sisi dalam sabuk. Ini merupakan gerakan positif, hanya dibatasi oleh kekuatan tarik sabuk dan kekuatan geser-geser giginya.
- c. Sabuk bergigi digunakan pada puli standar V. Gigi-gigi ini menyebabkan sabuk mempunyai fleksibelbilitas dan efesiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sabuk-sabuk standar. Sabuk ini dapat beroperasi pada diameter puli yang kecil.

Jenis sabuk yang digunakan secara luas di dunia industri dan kendaraan adalah sabuk -V. Bentuk -V menyebabkan sabuk-V dapat terjepit alur dengan kencang, memperbesar gesekan dan memungkinkan torsi yang tinggi dapat ditransmisikan sebelum terjadi selip. Sebagian besar sabuk memiliki senar-senar serabut berkekuatan tarik tinggi yang ditempatkan pada diameter jarak bagi dari penampang melintang sabuk, yang berguna untuk meningkatkan kekuatan tarik pada sabuk. Senar-senar serabut ini, terbuat dari serat alami, serat sintetis, atau baja yang dibenamkan dalam campuran karet yang kuat untuk menghasilkan fleksibilitas yang diperlukan supaya sabuk dapat mengitari puli.



Gambar. 2.11 Konstruksi sabuk  
(Robert L. Mott, 2012)

a. Rumus dan Perhitungan

Pada perencanaan ini menggunakan sabuk-V sebagai penerus daya dari motor listrik ke poros, (dapat dihitung) dengan rumus perhitungan :



1. Perbandingan transmisi

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \dots\dots\dots \text{pers.2.24 (Lit.1 hal.166)}$$

Dimana :

$n_1$  = putaran poros pertama (rpm)

$n_2$  = Putaran poros kedua (rpm)

$d_1$  = diameter puli penggerak (mm)

$d_2$  = diameter puli yang digerakan (mm)

2. Sudut kontak sabuk

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(Dp-dp)}{C} \dots\dots\dots \text{pers.2.25 (Lit.1 hal.173)}$$

Dimana :

$\theta$  = sudut kontak puli besar ( $^\circ$ )

$Dp$  = diameter puli besar (m)

$dp$  = diameter puli kecil (m)

$C$  = jarak sumbu puli (m)

$$\beta = 360^\circ - \theta$$

Dimana :

$\beta$  = sudut kontak puli kecil ( $^\circ$ )

3. Panjang sabuk

$$L = 2C + (Dp-dp) + \frac{\pi}{2} (Dp-dp)^2 - \frac{C}{4C} (Dp-dp)^2 \dots\dots \text{pers. 2.26 (Lit. 1 hal. 170)}$$

Dimana :

$L$  = panjang sabuk (mm)

$C$  = jarak sumbu poros (mm)

$D_p$  = diameter puli penggerak (mm)

$d_p$  = diameter puli poros (mm)

### 2.7.7 Generator AC

Generator merupakan komponen listrik yang mengubah gerakan atau energi mekanik menjadi listrik. Hal ini terjadi karena adanya kumparan yang digerakkan memotong garis-garis medan magnet atau sebaliknya. Gerakan inilah yang menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) seperti pada gambar 2.10. Cara kerja generator ini berdasarkan prinsip kerja induksi yang ditemukan oleh *Faraday* yang berbunyi, bila sebuah konduktor digerakkan di dalam medan magnet, maka akan timbul arus induksi pada konduktor tersebut. Bagian utama generator AC terdiri atas magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser dan tetap. Pada generator perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan didalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang di timbulkan berupa arus AC. Adanya arus AC ini di tunjukan oleh menyala lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Sebagai percobaan Faraday, GGL induksi yang ditimbulkan oleh generator AC dapat di perbesar dengan cara:

1. Memperbanyak lilitan kumparan
2. Menggunakan magnet permanen yang lebih kuat.
3. Mempercepat perputaran kumparan, dan menyisipkan inti besi lunak kedalam kumparan (*Asy'ry, h.jatmiko & ardiyanto, A.2012*)



Gambar 2.12 Generator

### 2.7.8 Inverter

Inverter adalah Rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) ke suatu tegangan bolak-balik (AC). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak-balik (push-pull inverter) sampai yang sudah bisa menghasilkan tegangan sinus murni (tanpa harmonisa). Inverter satu fasa, tiga fasa sampai dengan multifasa dan ada juga yang namanya inverter multilevel (kapasitor split, diode clamped dan susunan kaskade). Gambar 2.11 merupakan salah satu contoh dari inverter.



Gambar 2.13 Inverter

### 2.7.9 Baterai

Baterai adalah alat elektro kimia yang dibuat untuk mensuplai listrik ke sistem starter mesin, sistem pengapian, lampu-lampu dan komponen kelistrikan lainnya. Alat ini menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia, yang dikeluarkannya bila diperlukan dan mensuplainya ke masing-masing sistem kelistrikan atau alat yang memerlukannya. Karena di dalam proses baterai kehilangan energi kimia, maka alternator mensuplainya kembali ke dalam baterai (yang disebut pengisian). Baterai menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia. Siklus pengisian dan pengeluaran ini terjadi berulang kali dan terus menerus.



Gambar 2.14 Baterai

### 2.7.10 Charge Automatic

Charge Automatic ini merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi untuk mengisi daya baterai dengan menggunakan daya yang dihasilkan oleh generator. Rangkaian ini merupakan buatan tangan (*Handmade*) sehingga ada penambahan-penambahan indikator yang sangat membantu dalam sistem kelistrikan kincir air, kebanyakannya sebagai berikut:

1. Mampu sebagai alat proteksi umur batrai lebih panjang
2. Dapat mengubah tegangan arus DC menjadi AC
3. Menstabilkan tegangan
4. Terdapat *Voltmeter* sehingga memudahkan pembacaan tegangan yang masuk dari generator
5. Terdapat *Amperemater* sehingga memudahkan pembacaan arus yang digunakan sebagai beban (*Load*).