

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Energi baru dan terbarukan adalah sumber energi yang cepat dipulihkan kembali secara alami, dan prosesnya berkelanjutan (Greenpeace, 2015). Energi terbarukan dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alami tidak akan habis bahkan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Energi baru dan terbarukan dibagi dari berbagai sumber energi yakni, energi surya, energi angin, energi biomassa, energi panas bumi, dan energi air.

Energi air adalah energi yang dimiliki oleh air yang bergerak menyimpan energi yang besar. Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat digunakan pada saluran irigasi dan sungai atau air terjun, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*, dalam m) dan jumlah debit airnya (m<sup>3</sup>/detik). (Muchlisin Riadi, 2016). Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

3.1 Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas (kW)
Mikro Hidro	< 100
Mini Hidro	101-2.000
Small Hidro	2.001-25.000
Large Hidro	>25.000

4.1 Sumber: Teacher Manual Diploma Hydro Power

PLTMH umumnya merupakan pembangkit listrik jenis *run of river* dimana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke satu sisi dari sungai tersebut selanjutnya

mengalirkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang diperlukan sudah diperoleh. Air dialirkan ke *power house* (rumah pembangkit) yang biasanya dibangun dipinggir sungai. Air akan memutar sudu turbin/kincir air (*runner*), kemudian air tersebut dikembalikan ke sungai asalnya. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. (Muchlisin Riadi, 2016)

## 2.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH tenaga Air Terjun umumnya merupakan pembangkit listrik jenis *run of natural waterfall hydropower* dengan prinsip memanfaatkan ketinggian air jatuh dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada air terjun (Henrylito, 2014). Energi ini selanjutnya menggerakkan turbin, kemudian turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (*belt*) ataupun sistem *gear box*. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt* sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pengaman. (Daniel, 2012).

Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan, jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada. Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \rho g Q H \eta \dots\dots\dots (Teacher Manual Diploma Hydro Power)$$

Dimana:

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

g = gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

Q = Debit aliran Air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

H = beda ketinggian (m)

$\eta$  = efisiensi sistem PLTMH, efisiensi sistem PLTMH umumnya 0,85

### 2.3 Nozel air

Nozel adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk meningkatkan kecepatan dan untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida saat keluar (atau memasuki) sebuah ruang tertutup atau pipa. Sebuah nozzle sering berbentuk pipa atau tabung dari berbagai variasi luas penampang, dan dapat digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran fluida (cairan atau gas). Nozel sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan / atau tekanan dari aliran yang muncul. Nozel memiliki perbedaan diameter di kedua bagian ujungnya yang bertujuan untuk menentukan kecepatan aliran yang akan keluar nozel yaitu berdiameter besar pada bagian inlet dan berdiameter kecil pada bagian outlet sehingga mengakibatkan perubahan kecepatan aliran fluida yang memalui nozel. Kecepatan nozzle dari fluida meningkat sesuai energi tekanannya. Prinsip utama penggunaan nozel untuk fluida air atau tak mampat menggunakan prinsip hukum kontinuitas yaitu kekekalan massa (wikipedia, 2017)

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam perhitungan nozel

#### 1. Luas Penampang Pipa

Untuk menghitung luas penampang pipa dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

A = Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

d = diameter dalam pipa (m)

#### 2. Debit Air

Untuk menghitung jumlah debit air yang mengalir dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Bernoulli):

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

Dimana:

Q = Debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

A = Luas penampang pipa yang dialiri air (m<sup>2</sup>)

v = kecepatan aliran air (m/s)

3. Perubahan kecepatan akibat pengecilan luas penampang (Persamaan kontinuitas)

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

$A_1$  = luas penampang ( $m^2$ ) pada bagian masuk

$v_1$  = kecepatan arus fluida (m/s) pada bagian masuk serta

$A_2$  = luas penampang ( $m^2$ ) pada bagian keluar

$v_2$  = kecepatan arus fluida (m/s) pada bagian keluar.

4. Kecepatan keliling kincir

Untuk menghitung kecepatan keliling kincir dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Nababan, 2012):

$$U = \frac{v \cdot \cos a}{2} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

$U$  = kecepatan keliling kincir (m/s)

$v$  = kecepatan aliran (m/s)

$a$  = kemiringan sudu

5. Jumlah putaran kincir

Untuk menghitung jumlah putaran kincir dapat digunakan persamaan sebagai berikut (*Ceri Steward Poea, 2013*):

$$n = \frac{60 U}{\pi D} \dots\dots\dots (6)$$

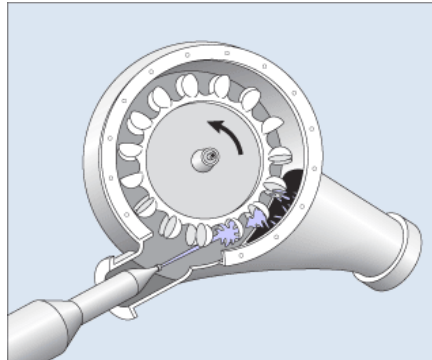
Dimana:

$n$  = jumlah putaran kincir (rpm)

$U$  = Kecepatan keliling (m/s)

$D$  = Diameter Luar kincir

Untuk lebih jelas mengenai nozel air dapat dilihat pada gambar 1 di halaman 8.



Gambar 1. Nozel Air  
(Sumber: Wikipedia, 2017)

Klasifikasi jenis-jenis nozel air sebagai berikut:

1. Nozel jet  
*Nozel jet* memiliki diameter yang lebih besar dan tekanan yang lebih rendah pada bagian input dari pada bagian output yang memiliki diameter lebih kecil dan tekanan yang lebih besar akibat pengecilan diameter.
2. Nosel Magnetik  
*Magnetic* nozel juga telah diusulkan untuk beberapa jenis penggerak, di mana aliran plasma diarahkan oleh medan magnet, bukan dinding yang terbuat dari materi padat.
3. Nosel *Spray*  
*Nozel spray* memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan nozel jet namun memiliki diameter yang lebih kecil dan terjadi perluasan aliran output fluida atau memecah aliran fluida (aerosol).

#### 2.4 Kincir Air

Kincir air didefinisikan sebagai peralatan mekanis berbentuk roda (*wheel*), dengan sudu (*bucket atau vane*) pada sekeliling tepi-tepinya yang diletakkan pada poros vertikal dengan fluida air sebagai fluida kerjanya (Juneidy Morong, 2016).

Air yang mengalir ke dalam dan ke luar kincir tidak mempunyai tekanan lebih, hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir haruslah besar, sebab bila kecepatannya besar maka dorongan pada sudu-sudu turbin semakin besar.

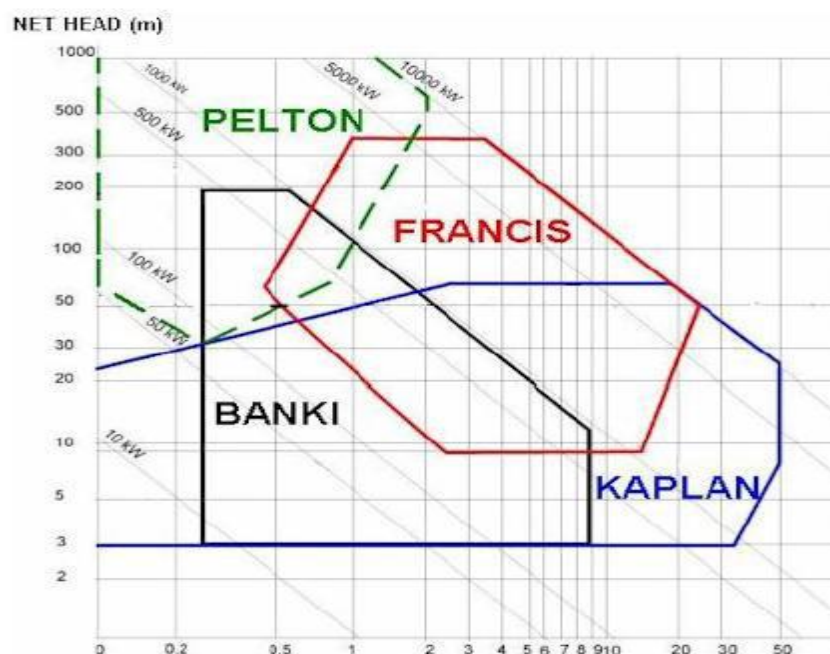
Menurut Junaedy Morong, tinggi air jatuh yang bisa digunakan kincir air berkisar antara 0,1 m sampai 12 m (roda kincir yang besar), dan kapasitas airnya

0,05 m<sup>3</sup>/s sampai 5 m<sup>3</sup>/s. Air yang menabrak sudu-sudu *runner* kincir air hanya mempunyai tekanan atmosfer.

Kincir air atau turbin air dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk sudu kincir dalam mengubah energi jatuh air menjadi energi mekanik dan dapat juga diklasifikasikan berdasarkan sistem aliran arah air pendorong yaitu titik darimana air akan mendorong sudu kincir.

Kincir air digerakkan oleh tenaga aliran air yang beraliran deras yang dapat menyebabkan terdorongnya sudu-sudu kincir sehingga kincir berputar pada porosnya, yang kemudian pada poros kincir dipasang puli. Dimana putaran dari *pulley* di teruskan ke generator menggunakan sabuk. Putaran tersebut memutar kumparan dari generator yang akan mendorong garis-garis medan magnetnya. Gerakan inilah yang menimbulkan gaya gerak listrik (GGL).

Secara umum hasil penelitian di lapangan mendapatkan potensi pengembangan PLTMH dengan tinggi jatuh (*head*) 6 – 60 m, yang dapat dikategorikan pada *head* rendah dan medium. Grafik pada gambar di bawah ini dapat membantu pemilihan turbin.



Gambar 2. Grafik Pemilihan Jenis Kincir

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam menentukan dimensi kincir :

1. Diameter dan Lebar *Runner* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$L = 210.6 Q / D_1 H^{1/2}$$

Dengan :

L : Lebar *Runner*

D : Diameter *Runner*

H : Tinggi Jatuh air

2. Putaran Turbin air :

$$N_t = \frac{862 H^{1/2}}{D_1}$$

3. Jarak Antar Sudu

Untuk menentukan jarak antar sudu dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut

$$t = \frac{K \times D_1}{\sin \beta_1}$$

Dengan :

t : Jarak antar sudu

$\beta_1$  : Sudut sudu = 290 50' atau kurang lebih 300

S1 : Penerima pancaran

k : koefisien kecepatan

4. Jumlah Sudu

Jumlah sudu yang tepat adalah sudu yang memiliki bentuk setipis dan semulus mungkin. Persamaan untuk memperoleh jumlah sudu adalah sebagai berikut :

$$N = \frac{\pi \times D_1}{t}$$

Dimana :

$N$  : Jumlah sudu

5. Lebar keliling Radial

Untuk menentukan lebar keliling radial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = 0,17 D_1$$

Dimana :

$\alpha$  : Lebar keliling radial

$D_1$  : Diameter luar *runner*

6. Kelengkungan Sudu

Untuk mengetahui kelengkungan sudu dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$P = 0,326 r_1 \quad (2-16)$$

Dimana :

$\rho$  : Kelengkungan sudu *runner*

$r_1$  : Jari-jari *runner*

7. Jarak Pancaran dari Pusat Poros

Untuk mengetahui jarak pancaran dari pusat poros dapat menggunakan persamaan dibawah ini

$$y_1 = (0.1986 - 0.945 k) D_1$$

dengan:

$y_1$  : Jarak pancar dari pusat poros

$k$  : Koefisien kecepatan = 0.087

$D_1$  : Diameter Luar *runner*

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam menentukan karakteristik kincir:



### 1. Faktor Kecepatan

Faktor kecepatan diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi = \frac{D \times N_t}{84,6\sqrt{H_n}}$$

Dimana :

$N_t$  : Banyaknya putaran per menit (put/mnt)

$D$  : Diameter (m)

### 2. Kecepatan Satuan

Kecepatan satuan adalah kecepatan turbin (bagian yang berputar) yang geometris serupa pada  $H_{netto} = 1$  meter dan  $D = 1$  meter. Kecepatan satuan dapat diketahui melalui persamaan sebagai berikut :

$$N_{11} = \frac{N \times D}{\sqrt{H_n}}$$

Dimana :

$N_{11}$  : Kecepatan satuan (rad/det)

$N$  : Banyaknya putaran per menit (put/mnt)

$D$  : Diameter (m)

$H_n$  : Perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi (m)

### 3. Debit Satuan

Debit satuan adalah debit turbin yang geometris serupa pada  $H_{netto} = 1$  meter dan  $D = 1$  meter. Debit satuan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut : [12]

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H_n}}$$

Dimana :

$Q_{11}$  : Debit satuan (m<sup>3</sup>/dt)

$D$  : Diameter (m)

$H_n$  : Perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi (m)

#### 4. Putaran Spesifik

Putaran spesifik adalah besarnya putaran turbin yang geometris serupa sehingga pada  $H_{netto} = 1$  meter menghasilkan daya sebesar 1 kW. Putaran spesifik ditentukan melalui persamaan sebagai berikut: [12]

$$Ns = \frac{Np^{0,5}}{Hn^{5/4}}$$

Dimana :

NS : Putaran spesifik (put/mnt)

N : Banyaknya putaran per menit (put/mnt)

P : Daya (kW)

Hn : Perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi (m)

Transmisi daya berperan untuk menyalurkan daya dari poros turbin ke poros generator.

##### a. Sistem Transmisi langsung

Pada sistem transmisi ini daya dari poros turbin (rotor) langsung ditransmisikan ke poros generator dengan sebuah kopling. Kontruksi sistem ini menjadilebih kompak, mudah perawatan, dan efisiensi tinggi.

##### b. Sistem Transmisi tidak langsung

Pada sistem ini sabuk digunakan untuk memindahkan dari 2 poros yang sejajar. Sabuk merupakan peran penting dalam menyerap beban kejut dan meredam pengaruh getaran. Sabuk yang digunakan umumnya flat belt dan V-belt. Flat belt digunakan pada sistem transmisi daya besar. Sedangkan V-belt digunakan pada PLTMH dengan daya di bawah 20 kW. Pada transmisi memerlukan komponen pendukung seperti *pully* dan bantalan.

Pada sistem transmisi puli (*pulley*) dan sabuk (*belt*) berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\frac{n1}{n2} = \frac{r2}{r1}$$

Dengan :

n1 : Kecepatan puli 1

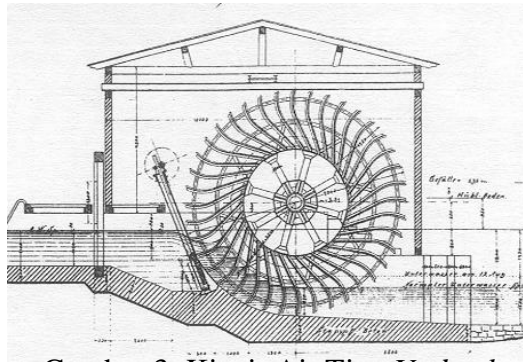
n2 : Kecepatan puli 2

$r_1$  : Jari-jari puli 1

$r_2$  : Jari-jari puli 2

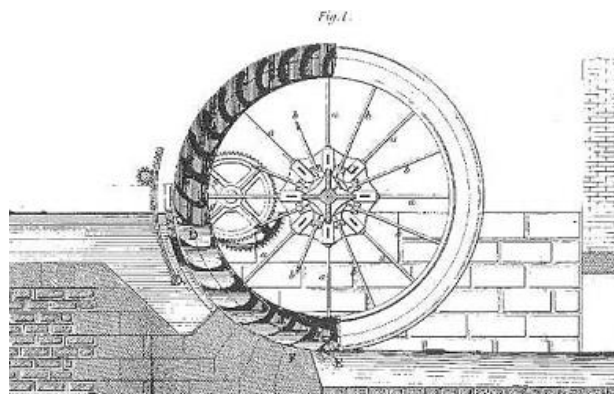
#### 2.4.1 Klasifikasi Kincir Berdasarkan Arah Air Pendorong

Klasifikasi kincir air berdasarkan aliran arah tembak fluida pada sudu kincir yakni, *Undershot*, *Overshoot*, dan *Breastshot* (Junaedy Morong, 2016). Tipe *undershot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Berikut adalah kincir air tipe *undershot* dapat dilihat pada Gambar 3.



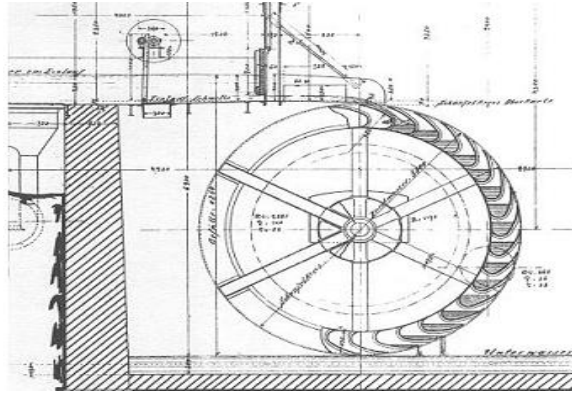
Gambar 3. Kincir Air Tipe *Undershot*  
(Sumber: Juneidy Morong, 2016)

Sedangkan kincir air tipe *Breastshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah kincir. Untuk melihat gambar kincir air tipe *Breastshot* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Kincir Air Tipe *Breastshot*  
(Sumber: Juneidy Morong, 2016)

Kemudian tipe *overshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir. Berikut adalah gambar kincir air tipe *overshot* (Gambar 5).



Gambar 5. Kincir Air Tipe *Overshot*  
(Sumber: Juneidy Morong, 2016)

Pembangkit listrik tipe kincir air sangat mudah untuk digunakan pada kondisi debit air ( $Q$ ) tertentu, dalam pemilihan kincir air yang efektif dapat dilihat dari keunggulan dan kerugian masing-masing kincir yang ada ialah sebagai berikut:

#### 1. Kincir Air *Undershot*

Kincir air *Undershot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan "*vitruvian*". Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.

Keuntungan:

- a. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- b. Konstruksi lebih sederhana
- c. Lebih ekonomis
- d. Mudah untuk dipindahkan

Kerugian:

- a. Efisiensi kecil (25%-70%)
- b. Daya yang dihasilkan relatif kecil

## 2. Kincir Air *Breastshot*

Kincir air *Breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya.

Keuntungan:

- a. Tipe ini lebih efisiensi dari tipe *undershot*
- b. Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek
- c. Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran rata

Kerugian:

- a. Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit)
- b. Diperlukan pada arus aliran rata
- c. Efisiensi lebih kecil daripada tipe *overshot* (20% - 75%)

## 3. Kincir air *Overshot*

Kincir air *Overshot* bekerja bila air yang mengalir ke dalam bagian sudu sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

Keuntungan:

- a. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85 %
- b. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- c. Konstruksi yang sederhana
- d. Mudah dalam perawatan
- e. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir

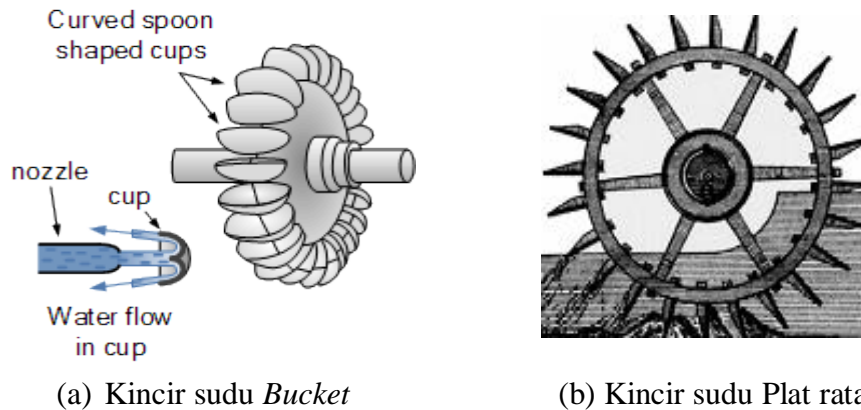
Kerugian:

- a. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air memerlukan investasi lebih banyak
- b. Tidak dapat untuk mesin putaran tinggi
- c. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.

### 2.4.2 Klasifikasi Kincir/Turbin Air berdasarkan Bentuk Sudu

Klasifikasi kincir atau turbin air berdasarkan bentuk sudu kincir dalam mengubah energi jatuh air menjadi energi mekanik yaitu bentuk sudu turbin

*bucket* dan bentuk sudu rata kincir. Untuk lebih jelas mengenai klasifikasi bentuk sudu dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



(a) Kincir sudu *Bucket*

(b) Kincir sudu Plat rata

Gambar 6. Klasifikasi Bentuk sudu turbin

(Sumber: Danillo Cappechi, 2013:13)

Bentuk sudu kincir *bucket* merupakan bentuk sudu kincir yang mengubah seluruh energi air yakni energi potensial dan kinetik menjadi energi mekanik putaran turbin, contoh dari jenis kincir atau turbin ini yaitu Pelton (Djoko Lunanto, 2012). Kincir Pelton merupakan kincir air yang memiliki sudu kincir berbentuk mangkok atau sendok.

Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ke tempat yang lebih rendah energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh turbin air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik (Dixon & Hall, 2010). Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya.

Fluida air ditransportasikan melalui nozel dengan kecepatan tertentu yang mana sudu tersebut dapat menampung sejumlah air yang telah ditabrakan kedalam sudu (Amazon, 2016). Adanya momentum pada sisi – sisi sudu akibat aliran air yang bergerak mengikuti kelengkungan sudu menyebabkan besarnya torsi pada sudu tipe ini meningkat. Air cenderung lebih lambat meninggalkan sudu akibat

kelengkungan sudu menyebabkan tipe sudu ini mempunyai putaran dan power yang lebih kecil dari pada tipe datar. Tipe sudu ini tidak menimbulkan reaksi berisik saat air menumbuk sudunya, air menumbuk sudu dengan lebih lembut sehingga umur sudu dapat bertahan lebih lama.

Kincir sudu rata merupakan kincir air yang memiliki sudu kincir berbentuk plat datar atau rata. Fluida air ditransportasikan melalui nozel dengan kecepatan tertentu yang mana fluida tersebut menabrak sudu kincir yang menyebabkan kincir berputar. gaya puntir yang diteruskan ke poros hanya didapatkan dari gaya dorong air pada nossel, jadi gaya puntir yang diteruskan ke poros akan sama dengan gaya dorong air pada nossel. Profil sudu datar akan menimbulkan suara berisik saat terjadi tumbukan pada air dan sudunya sehingga akan memperpendek umur sudu.

### **2.4.3 Kalsifikasi Kincir/Turbin Air Berdasarkan Cara Mengubah Energi Air Menjadi Energi Puntir**

Pada umumnya turbin air dapat diklasifikasi menjadi 2 jenis berdasarkan gerakan sudu-sudu dalam hal mengubah tinggi jatuh menjadi energi kinetik yaitu (PEDC Bandung, 2012) :

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

Pada turbin impuls air dengan tinggi jatuh tertentu dirubah menjadi energi kinetik melalui nosel. Keluar dari nosel, pancaran air menumbuk sudu dan memutar poros kemudian mengalir dengan tekanan konstan (Junaedy Morong, 2016). Beberapa jenis turbin yang termasuk turbin impuls adalah turbin turgo, turbin pelton dan turbin crossflow.

#### **2. Turbin Reaksi**

Turbin reaksi bekerja dengan memanfaatkan perbedaan tekanan masuk dan keluar turbin. Pada sisi masuknya energi tekanan sebanding dengan energi kinetik. Pada saat fluida melewati sudu turbin, energi tekanan dan energi kinetiknya dirubah menjadi energi mekanis dan secara bertahap tekanan yang keluar dari turbin berkurang (Junaedy Morong, 2016). Jenis-jenis turbin reaksi diantaranya adalah Turbin Francis dan Propeller.

Pada turbin impuls perubahan energi tekanan menjadi energi kinetik hampir seluruhnya terjadi pada sudu pengarah (*guide vane*), sedangkan pada sudu gerak tekanan dan kecepatan relatif fluida tidak berubah (Junaedy Morong, 2016). Pada sudu gerak kecepatan absolut fluida berkurang karena digunakan untuk memutar poros turbin (berubah menjadi energi mekanik). Sedangkan pada turbin reaksi perubahan energi tekanan menjadi energi kinetik terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak.

Pada turbin impuls ketika air melewati sudu pengarah (*nozzle*) kecepatan akan meningkat serta tekanannya akan turun. Ketika air melewati sudu pengarah tekanan dan kecepatan relatifnya tidak berubah. Sebaliknya pada turbin reaksi, ketika air melewati sudu pengarah (*nozzle*) tekanannya akan turun dan kecepatannya akan meningkat, demikian juga ketika air melewati sudu gerak (*runner*) tekanannya juga turun dan kecepatan relatif fluida meningkat, bagaimanapun juga kecepatan absolut fluida menurun karena ada perubahan dari energi kinetik menjadi energi mekanik pada poros turbin.

Berikut jenis-jenis turbin yang digunakan sesuai dengan head air jatuh yang dapat dilihat pada tabel 2 pada halaman 19.

Tabel 2. Jenis-jenis Turbin dengan Head Air Jatuh

Jenis Turbin	Head (m)
Kaplan	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1000$
Crossflow	$6 < H < 100$
Turgo	$50 < H < 250$

(Sumber: Veri Dwiyanto, 2016)

Adapun pengertian dan prinsip kerja turbin diantaranya sebagai berikut:

a. Turbin Pelton

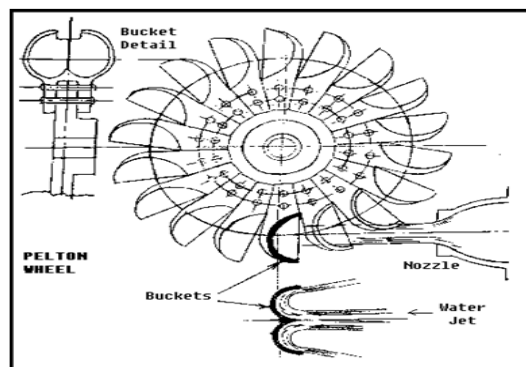
Turbin Pelton adalah turbin untuk tinggi terjun yang tinggi, yaitu diatas 300 meter, tetapi untuk skala mikro head 20 meter sudah mencukupi. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air



turbin dilakukan melalui proses impuls sehingga turbin Pelton juga disebut sebagai turbin impuls. Ilustrasi turbin pelton dapat dilihat pada gambar 7.

Bagian-bagian utama turbin Pelton :

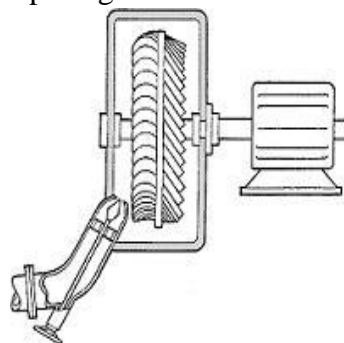
1. Pipa nozzle dan lain lain yang diperlukan untuk mengarahkan aliran jet air.
2. Runner yang menggunakan energi kinetis aliran jet (semburan) air.
3. Kotak Penutup untuk mengamankan runner dan nozzle.
4. Alat pengatur kecepatan (governor) agar kecepatan tetap sama pada beberapa bahan.



Gambar 7. Turbin Pelton,  
(Dixson 2010)

b. Turbin Turgo.

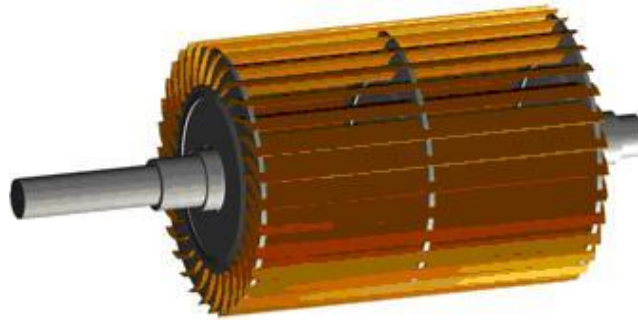
Dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda yakni memiliki konstruksi sudu yang disusun secara sinusoidal. Untuk lebih jelas mengenai ilustrasi turbin turgo dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Turbin Turgo  
(Dixson, 2010)

c. Turbin Crossflow.

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin crossflow. Turbin crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 L/sekon hingga 10000 L/sekon dan head antara 1 s/d 200 m. Untuk lebih jelas mengenai ilustrasi turbin Crossflow dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Turbin Crossflow

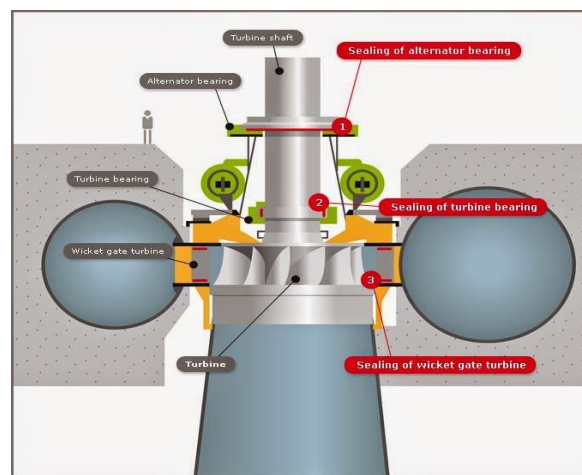
(Dixson, 2010)

d. Turbin Francis

Turbin Francis paling banyak digunakan di Indonesia. Turbin ini digunakan pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dengan tinggi terjun sedang, yaitu antara 20-400meter, Turbin Francis digunakan untuk memanfaatkan energi potensial pada ketinggian menengah (dari beberapa puluh meter sampai 100 m). Selain itu turbin Francis dapat menghasilkan kecepatan putaran poros tinggi yang biasanya digunakan untuk menggerakkan generator. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin Francis juga disebut sebagai turbin reaksi. Untuk lebih jelas mengenai ilustrasi turbin Francis dapat dilihat pada gambar 10.

Bagian-bagian utama turbin Francis :

1. Rumah spiral (scroll-case) yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin. Fungsi rumah spiral adalah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat sekeliling turbin.
2. Runner (sudu gerak) dan Sudu pengarah (*nozzle*) yang meneruskan air dari turbin kesaluran pembuangan. Dixson (2010:310)



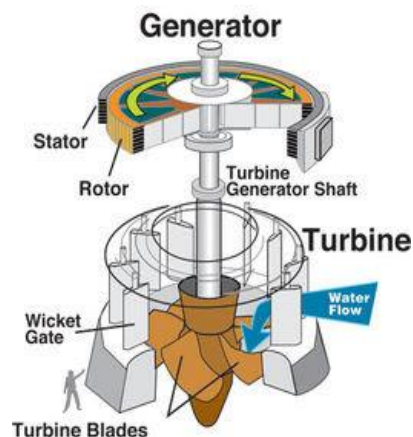
Gambar 10. Turbin Francis  
(Dixson, 2010)

e. Turbin Kaplan/Propeller

Disebut turbin Propeller apabila mangkok-mangkok turbinnya tetap, sedangkan turbin Kaplan memiliki mangkok-mangkok turbin yang dapat diatur. Turbin Kaplan/Propeller baik digunakan pada PLTA dengan tinggi terjun yang rendah, yaitu dibawah 20 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Untuk lebih jelas mengenai ilustrasi turbin turgo dapat dilihat pada gambar 11.

Bagian-bagian utama sama dengan turbin Francis yaitu :

1. Rumah spiral (scroll-case)
2. Runner
3. Pipa pelepas air (drafttube)



Gambar 11. Turbin Kaplan/Propeller

(Dixson, 2010)

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin untuk desain yang sangat spesifik. Tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan memperhitungkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Faktor tinggi jatuhnya efektif air (*tinggi jatuh net*) atau aliran air (kecepatan) dan debit air yang akan mempengaruhi pemilihan jenis turbin. Sebagai salah satu contoh turbin pelton, yang beroperasi pada *tinggi jatuh* yang tinggi, sedangkan pada turbin propeller sangat efektif beroperasi pada *tinggi jatuh* yang rendah (percepatan aliran air) dengan jumlah debit air yang besar.
2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan debit dan *tinggi jatuh* yang tersedia.
3. Faktor kecepatan putar turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh, untuk system transmisi *direct couple* antara generator dan turbin pada *tinggi jatuh* rendah, sebuah turbin reaksi (propeller) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan crossflow berputar sangat lambat (low speed) yang akan menyebabkan system tidak beroperasi.

Ketiga faktor diatas sering digunakan untuk menentukan (kecepatan spesifik turbin). Pemilihan jenis turbin dapat dilakukan dengan melihat grafik karakteristik hubungan antara *tinggi jauh net* (m) dan debit aliran ( $m^3/s$ ) agar didapatkan jenis turbin yang cocok sesuai dengan kondisi pengoperasiannya.

## 2.5 Konsep Dasar Pompa

### 2.5.1 fluida

Fluida didefinisikan sebagai zat atau substansi yang akan mengalami deformasi secara berkesinambungan apabila terkena gaya geser (gaya tangensial) sekecil apapun. Berdasarkan mampu mampatnya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Berdasarkan sifat alirannya fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, transisi dan turbulen, berdasarkan hubungan antara laju deformasi dan tegangan gesernya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *Newtonian fluid* dan *non-newtonian fluid*, sedangkan berdasarkan gaya yang bekerja pada fluida dan gerakannya, fluida dibagi 2 yaitu fluida statis dan dinamis. (Iskandar, 2013)

### 2.5.2 Debit

Debit/kapasitas merupakan volum fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu. Pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan venturimeter, *orifice*, *pitottube* dan lain-lain. Satuan dari kapasitas (Q) adalah  $\text{m}^3/\text{s}$ , liter/s, atau  $\text{ft}^3/\text{s}$ . (Sularso, 2006)

### 2.5.3 Head

*Head* didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida atau Joule/N. Satuan dari *head* (H) adalah meter atau feet fluida. Di dalam pompa, *head* diukur dengan cara menghitung beda tekanan total antara pipa isap dan pipa tekan, bila pengukuran dilakukan pada ketinggian yang sama.

Menurut persamaan Bernoulli, terdapat tiga macam *head* dari sistem instalasi aliran, yaitu *head* kecepatan, *head* potensial dan *head* tekanan, sebagai berikut: (Sularso, 2006)

- a. *Head* tekanan adalah perbedaan *head* yang disebabkan perbedaan tekanan statis (*head* tekanan) fluida pada sisi tekan dan sisi isap. *Head* tekanan dituliskan dengan rumus sebagai berikut:
- b. *Head* kecepatan adalah perbedaan antara *head* kecepatan zat cair pada sisi tekan dengan *head* kecepatan zat cair pada sisi isap. *Head* kecepatan dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

- c. *Head* potensial / elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap. *Head* elevasi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

#### 2.5.4 Pengertian Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Dalam menjalankan fungsinya tersebut, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida. Dalam suatu simulasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro, pompa digunakan untuk mensimulasikan aliran air terjun ataupun aliran air sungai.

Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu (kapasitas) dan energi angkat (*head*) dari pompa.

- a. Kapasitas (Q)

Merupakan volum fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Dalam pengujian ini pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan venturimeter. Satuan dari kapasitas (Q) adalah  $m^3/s$ , liter/s, atau  $ft^3/s$ .

- b. Putaran (n)

Putaran pada pompa disini adalah putaran poros (impeler) pompa, dinyatakan dalam satuan rpm. Putaran diukur dengan menggunakan tachometer.

- c. Torsi (T)

Torsi didapatkan dari pengukuran gaya dengan menggunakan dinamometer, kemudian hasilnya dikalikan dengan lengan pengukur momen (L). Satuan dari torsi adalah N.m.

- d. Daya (P)

Daya dibagi menjadi dua macam, yaitu daya poros yang merupakan daya dari motor listrik, serta daya air yang dihasilkan oleh pompa. Satuan daya adalah Watt.

- e. Efisiensi ( $\eta$ )

Merupakan perbandingan antara daya air yang dihasilkan dari pompa, dengan daya poros dari motor listrik.

### 2.5.5 Klasifikasi Pompa

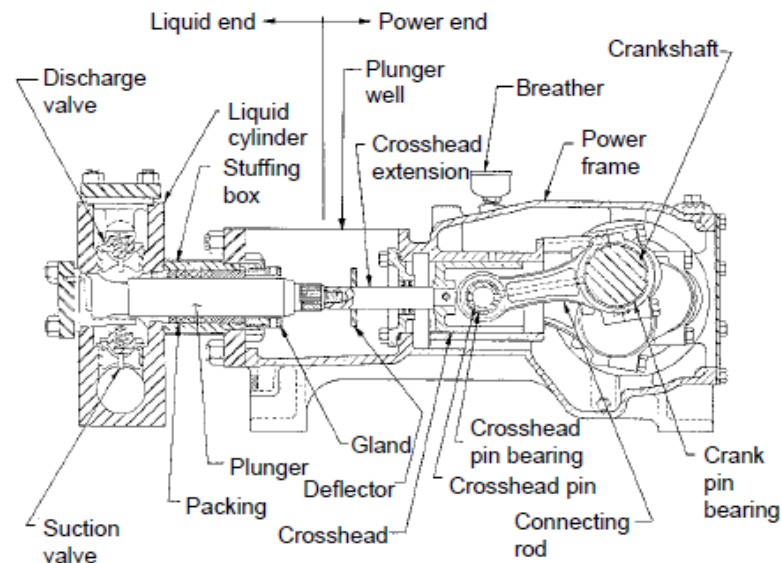
Menurut prinsip kerjanya, pompa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

#### a. *Positive Displacement Pump*

Merupakan pompa yang menghasilkan kapasitas yang *intermittent*, karena fluida ditekan di dalam elemen-elemen pompa dengan volume tertentu. Ketika fluida masuk, langsung dipindahkan ke sisi buang sehingga tidak ada kebocoran (aliran balik) dari sisi buang ke sisi masuk. Kapasitas dari pompa ini kurang lebih berbanding lurus dengan jumlah putaran atau banyaknya gerak bolak-balik pada tiap satuan waktu dari poros atau engkol yang menggerakkan. Pompa jenis ini menghasilkan *head* yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa ini dibagi lagi menjadi:

##### 1. *Reciprocating Pump* (pompa torak)

Pada pompa ini, tekanan dihasilkan oleh gerak bolak-balik translasi dari elemen-elemennya, dengan perantaran *crankshaft*, *camshaft*, dan lain-lainnya. Pompa jenis ini dilengkapi dengan katup masuk dan katup buang yang mengatur aliran fluida keluar atau masuk ruang kerja. Katup-katup ini bekerja secara otomatis dan derajat pembukaannya tergantung pada fluida yang dihasilkan. Tekanan yang dihasilkan sangat tinggi, yaitu lebih dari 10 atm. Kecepatan putar rendah yaitu 250 sampai 500 rpm. Oleh karena itu, dimensinya besar dan sangat berat. Pompa ini banyak dipakai pada pabrik minyak dan industri kimia untuk memompa cairan kental, dan untuk pompa air ketel pada PLTU. Skema pompa torak ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Skema pompa torak.

Sumber: Sularso, 2006

## 2. Rotary Pump

Tekanan yang dihasilkan dari pompa ini adalah akibat gerak putar dari elemen-elemennya atau gerak gabungan berputar. Prinsip kerjanya adalah fluida yang masuk ditekan oleh elemen-elemen yang memindahkannya ke sisi buang kemudian menekannya ke pipa tekan. Karena tidak memiliki katup-katup, maka pompa ini dapat bekerja terbalik, sebagai pompa maupun sebagai motor. Pompa ini bekerja pada putaran yang tinggi sampai dengan 5000 rpm atau lebih. Karena keuntungan tersebut, pompa ini banyak dipakai untuk pompa pelumas dan pada *hydraulic power transmission*.

### b. Dynamic Pump

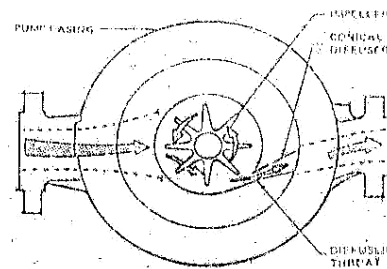
Merupakan pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Untuk merubah kenaikan tekanan, tidak harus mengubah volume aliran fluida. Dalam pompa ini terjadi perubahan energi, dari energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan suatu impeler yang berputar dengan



kecepatan tinggi. Yang termasuk di dalam jenis pompa ini adalah pompa aksial dan pompa sentrifugal, antara lain:

### 1. Pompa Aksial

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya impeler akan menghisap fluida yang dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan *head* rendah dan kapasitas tinggi, seperti pada sistem pengairan. Contoh pompa aksial terdapat pada gambar 13.



Gambar 13. Pompa aksial

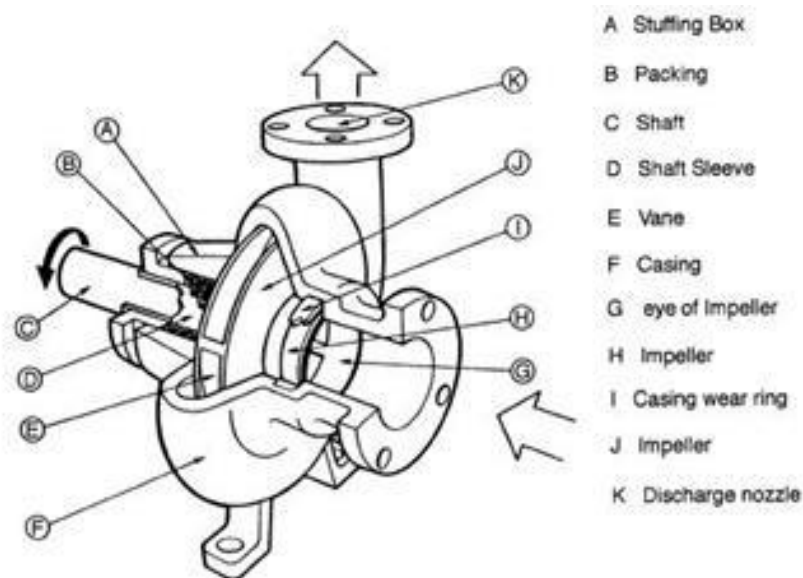
Sumber: Sularso, 2006

### 2. Pompa Sentrifugal

Elemen pokok dari pompa ini adalah sebuah rotor dengan sudu-sudu yang berputar pada kecepatan tinggi. Fluida yang masuk dipercepat oleh impeler yang menaikkan tekanan maupun kecepatannya, dan melempar fluida keluar melalui *volute* atau rumah siput. Pompa ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan *head* medium sampai tinggi dengan kapasitas aliran medium. Dalam aplikasinya, pompa sentrifugal banyak digunakan untuk proses pengisian air pada ketel dan pompa rumah tangga.

Secara garis besar, pompa bekerja dengan cara mengubah energi mekanik dari poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa, kemudian menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida. Demikian pula pada pompa sentrifugal, agar bisa bekerja pompa membutuhkan daya dari mesin penggerak pompa. Berputarnya impeler menyebabkan tekanan vakum pada sisi isap pompa, akibatnya fluida yang mengalir terhisap masuk ke dalam impeler. Di dalam impeler, fluida mendapatkan percepatan sedemikian rupa dan terkena gaya sentrifugal, sehingga fluida mengalir

keluar dari impeler dengan kecepatan tertentu. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi energi tekanan di dalam rumah pompa. Besarnya tekanan yang timbul tergantung pada besarnya kecepatan fluida. Bagian-bagian dari pompa sentrifugal dapat dilihat pada gambar 14 sebagai berikut:



Gambar 14. Penampang memanjang pompa sentrifugal

Sumber: Sularso, 2006

a. Impeler

Merupakan bagian yang berputar dari pompa dan memberikan daya pada air, sehingga air akan mendapatkan energi spesifik berupa kecepatan dan tekanan. Di dalam rumah siput, kecepatan air secara berangsur-angsur diubah menjadi tekanan statis.

b. Rumah Pompa

Rumah pompa memiliki beberapa fungsi, antara lain:

1. Berfungsi sebagai pengarah fluida yang dilemparkan impeler. Akibat gaya sentrifugal yang menuju pompa tekan, sebagian energi kinetik fluida diubah menjadi tekanan.
2. Menutup impeler pada penghisapan dan pengiriman pada ujung dan sehingga berbentuk tangki tekanan.

3. Memberikan media pendukung dan bantalan poros untuk batang torak dan impeler.

c. Poros Pompa

Sebagai penerus putaran penggerak kepada impeler dan pompa. Poros pompa dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Poros pompa datar atau horizontal
2. Poros pompa tegak atau vertical

d. Cincin Penahan Keausan atau Cincin Perapat (*Waring Ring*)

Untuk mencegah keausan rumah pompa dan impeler pada sambungan yang bergerak (*running joint*), maka dipasang cincin penahan keausan (*waring ring*) yang disebut juga cincin rumah pompa atau cincin perapat.

e. Bantalan Poros

Bantalan yang banyak dipakai pada pompa sentrifugal adalah bantalan anti gesek, selongsong, rol bola, dan bantalan *kingsbury*. Bantalan anti gesek dapat berupa baris tunggal atau ganda. Bantalan rol banyak dipakai untuk poros pompa berukuran besar.

f. Selongsong Poros

Berfungsi untuk mencegah kebocoran udara ke dalam pompa bila beroperasi dengan tinggi isap (*suction lift*) dan untuk mendistribusikan cairan perapat secara merata di sekeliling ruang cincin (*anular space*) antara lubang peti dan permukaan selongsong poros. Selongsong poros disebut juga sangkar perapat atau cincin *lantern*. Selongsong poros ini menerima cairan yang bertekanan dari pompa atau sumber tersendiri lainnya. Kadang-kadang digunakan minyak gemuk sebagai medium perapat apabila cairan yang bersih tidak tersedia atau tidak dapat dipakai (pompa air kotor).

g. Peti Gasket

Berfungsi untuk mencegah udara bocor ke dalam rumah pompa bila tekanan di dalamnya berada di bawah tekanan atmosfer.

h. Perapat Poros (Perapat Mekanis)

Digunakan untuk mencegah kebocoran di sekeliling poros. Perapat poros ini juga dipakai apabila peti gasket tidak dapat mencegah kebocoran secara maksimal. Permukaan perapat tegak lurus terhadap poros pompa dan biasanya terdiri dari dua bagian yang dihaluskan dan dilumasi. Perapat poros dibedakan menjadi dua, yaitu jenis dalam dan jenis luar. Jenis luar dipakai apabila cairan yang dipompa berpasir dan tidak diinginkan adanya kebocoran pada peti gasket. Jenis dalam digunakan untuk cairan yang mudah menguap.

## **2.6 Generator**

Generator digunakan sebagai alat untuk merubah energi putar mekanis menjadi energi listrik melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. Medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir dikumparan stator yang dialirkan melalui saluran transmisi sebagai arus listrik. Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarnya. Beban yang terpasang merupakan beban listrik yang digunakan sebagai media penerangan (Jasa, dkk, 2010).

Generator merupakan salah satu mesin listrik, untuk mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri atas dua bagian utama yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan yang ditempatkan pada stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak. (Nurhadi, dkk 2013).

Generator merupakan piranti atau peralatan listrik yang dapat digunakan untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik yang terdiri dari dua jenis yaitu generator arus searah DC dan generator arus bolak-balik AC (Wahab, 2009).

Dalam bentuknya yang sederhana sebuah generator listrik terdiri dari atas magnet dan kumparan. Bilamana terdapat suatu gerakan antara kedua komponen diatas, garis-garis gaya magnet memotong belitan-belitan kumparan dan suatu

gerak gaya listrik (ggl) akan dibangkitkan. Sebuah generator listrik atau alternator modern atas suatu sistim elektro magnet dan suatu alatur yang terdiri atas sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur (slot) inti besi berlaminasi.