

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)**

Mikrohidro atau biasa disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen yaitu air (sebagai sumber energi), kincir dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik (Gunawan, 2013 ).

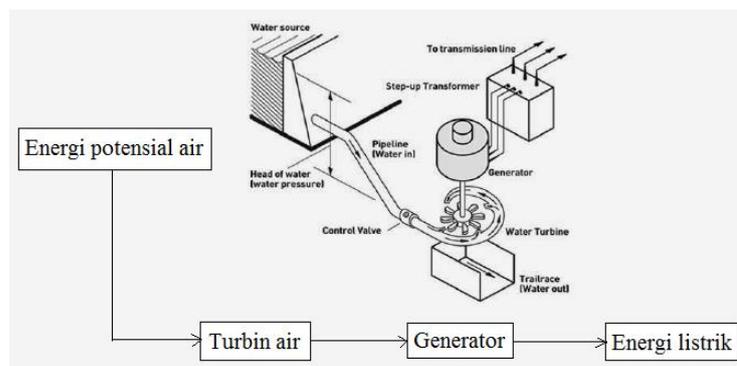
Berdasarkan besar daya *output*-nya, PLN mengklasifikasikan pembangkit listrik tenaga air menjadi 3 macam, yaitu: pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). PLTMH memiliki daya *output* kurang dari 100 kW, PLTM memiliki daya output 100-1000 kW dan PLTA memiliki daya *output* lebih dari 1000 kW (Ibrahim, 2006 dalam Arya, 2012).

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan tipe pembangkit tenaga air yang sesuai diterapkan di lokasi-lokasi yang memiliki tinggi jatuh rendah dan aliran air yang tidak terlalu banyak. Sebagai sumber energi terbarukan, PLTMH bisa menjadi salah satu alternatif penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan dan untuk menjangkau daerah-daerah yang sulit terlistriki melalui *gridline* (Harsarapama, 2012).

#### **2.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) menggunakan potensi daya yang dimiliki air untuk menghasilkan listrik. Potensi daya yang dimiliki air dipengaruhi oleh debit dan tinggi jatuh (*head*). Biasanya PLTMH menggunakan

debit dan tinggi jatuh air pada aliran sungai, air terjun dan saluran irigasi. Air yang bergerak (karena perbedaan ketinggian) akan menggerakkan kincir air dan memutar poros kincir. Poros kincir yang berputar juga akan memutar poros pada generator dan menghasilkan listrik.



**Gambar 1.** Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

(Sumber: <http://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>)

### 2.3 Potensi Daya Air

Potensi daya air merupakan sejumlah daya yang dimiliki air dengan pengaruh besarnya debit dan tinggi jatuh (*head*). Besarnya debit air yang melewati berbanding lurus terhadap daya yang dihasilkan. Begitu juga dengan tinggi jatuh (*head*), tekanan yang dihasilkan air terhadap sudu kincir akan besar bila tinggi jatuhnya besar. Hubungan potensi daya air terhadap debit dan tinggi jatuh dapat dilihat pada persamaan berikut (Sukamta, 2013):

$$P_a = g \rho Q H \quad (2.1)$$

dimana:

- $P_a$  = Potensi daya air (Watt)
- $g$  = Percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- $\rho$  = Densitas air pada suhu T (kg/m<sup>3</sup>)
- $Q$  = Debit air (m<sup>3</sup>/s)
- $H$  = Tinggi jatuh air (m)

Potensi daya air tersebut akan berkurang setelah melewati kincir dan generator yang diformulasikan sebagai berikut (Sukamta, 2013):

$$P_a = g \rho Q H \eta_t \eta_g \quad (2.2)$$

dimana:

$\eta_t$  = efisiensi kincir (0,8 – 0,95)

$\eta_g$  = efisiensi generator (0,8 – 0,95)

## 2.4 Perencanaan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

### 2.4.1 Kincir Air

#### 2.4.1.2 Pengertian Umum Kincir Air

Kincir air merupakan suatu pembangkit mula-mula yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda kincir. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ketempat yang lebih rendah, energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh kincir air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik (Harsarapama, 2012).

#### 2.4.1.3 Jenis-Jenis Kincir

Kincir air dapat dikelompokkan menjadi 2 tipe dilihat dari kerja kincir dalam hal mengubah tinggi jatuh, yaitu :

##### a. Kincir Reaksi

Kincir reaksi adalah kincir yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu kincir reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian kincir yang berputar) dapat berputar. Kincir yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai kincir reaksi. Kincir yang termasuk dalam kincir reaksi antara lain: turbin *francis*, turbin kaplan, dan turbin *propeller* (Susatyo, 2003).

##### b. Kincir Impuls

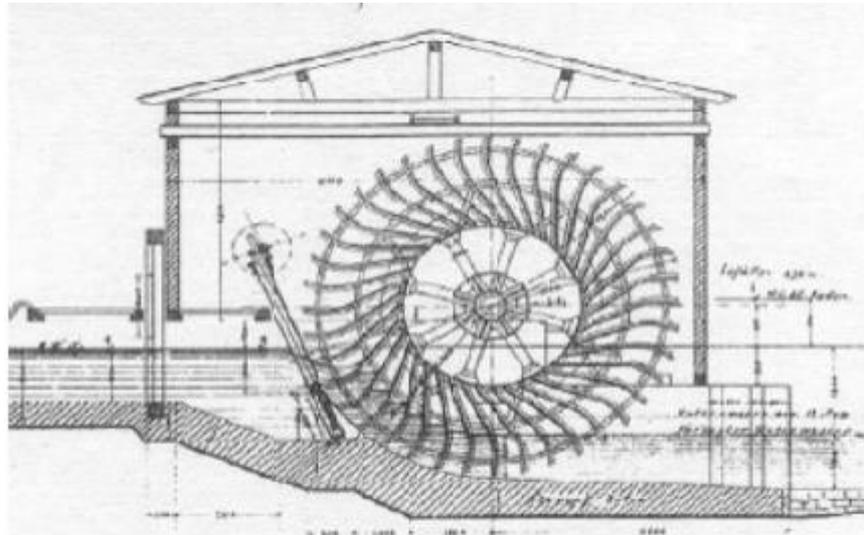
Kincir impuls adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial air yang diubah menjadi energi kinetik dengan *nozzle*. Air yang keluar dari *nozzle* mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu kincir. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls), akibatnya roda kincir akan berputar. Kincir impuls memiliki tekanan sama karena aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya sama dengan tekanan

atmosfir sekitarnya. Kincir yang termasuk dalam kincir impuls antara lain: turbin pelton, turbin turgo, dan turbin *michell-banki* (Susatyo, 2003).

Selain itu, kincir air dapat dikelompokkan berdasarkan aliran arah tembak fluida pada sudu kincir yaitu (Morong, 2016):

a. *Undershot*

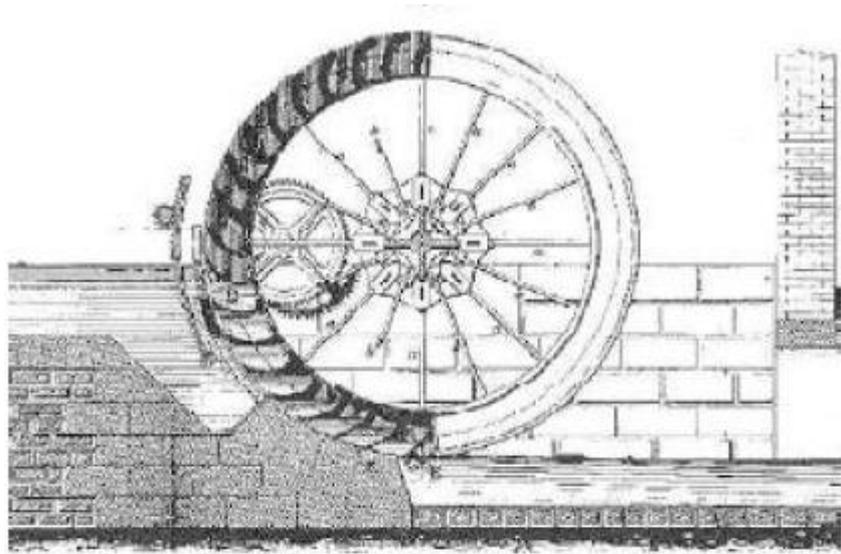
Kincir air tipe *undershot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Roda kincir berputar hanya karena tumbukan air yang berbentuk percikan air pada sudu roda, berbentuk lurus searah radial. *Head* potensial dari air mula-mula diubah menjadi *head* kecepatan, sebelum air menumbuk sudu kincir.



**Gambar 2.** Kincir *Undershot*  
(Sumber: Morong, 2016)

b. *Breastshot*

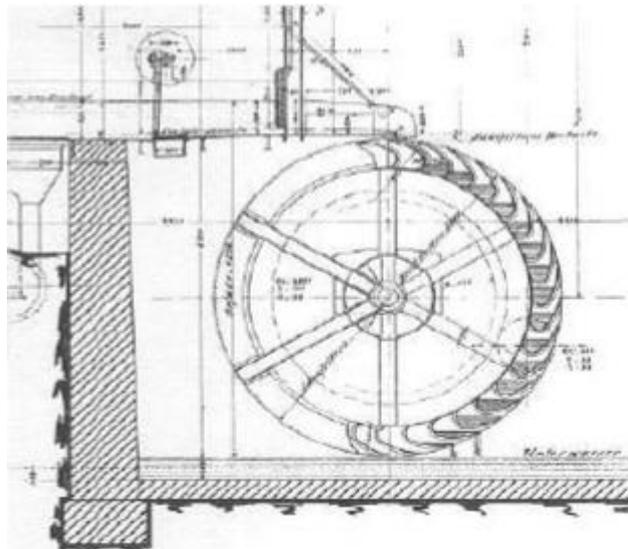
Kincir air tipe *breastshot* merupakan perpaduan antara kincir *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya. Kincir air *breastshot* juga memerlukan beda tinggi dengan pancaran air. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air (Budi, 2013).



**Gambar 3. Kincir *Breastshot***  
(Sumber: Morong, 2016)

c. *Overshot*

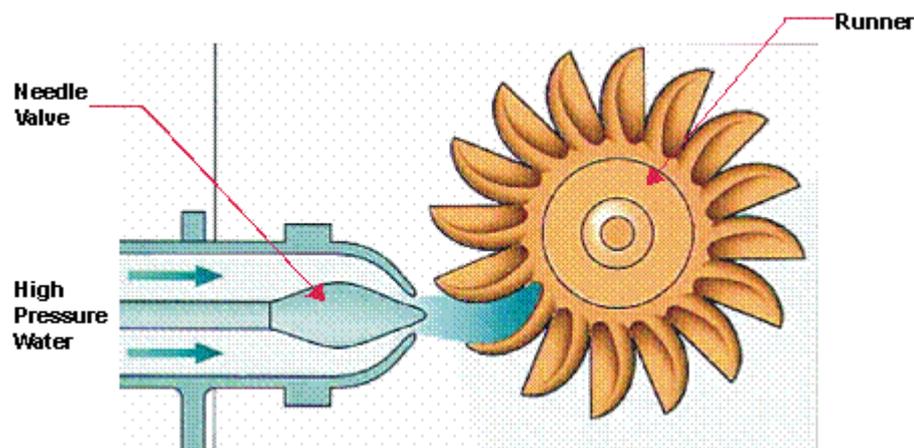
Kincir air tipe *overshot* adalah tipe kincir yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir dan karena gaya berat air kincir berputar. Kincir air *overshot* memerlukan beda tinggi dengan pancaran air. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir lain (Budi, 2013).



**Gambar 4. Kincir *Overshot***  
(Sumber: Morong, 2016)

### 2.4.1.4 Perencanaan Kincir Pelton

Kincir pelton adalah kincir 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 kincir dilakukan melalui porses impuls sehingga kincir pelton juga disebut sebagai kincir impuls (Morong, 2016).



**Gambar 5.** Kincir Pelton

(Sumber: <http://re.emsd.gov.hk/english/other/hydroelectric/images/image010.gif>)

Untuk menghitung perancangan desain kincir air dapat digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Menghitung Jarak Antar Sudu ( $t$ )

Untuk menghitung jarak antar sudu kincir pelton dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Morong, 2016):

$$t = \frac{D_{in} \times \pi}{n_{sd}} \quad (2.3)$$

dimana:

- $t$  = Jarak antar sudu (m)
- $D_{in}$  = Diameter dalam kincir (m)
- $n_{sd}$  = Jumlah sudu

2. Jumlah Sudu yang Aktif ( $i$ )

Untuk menghitung jumlah sudu yang aktif dapat digunakan persamaan berikut (Morong, 2016):

$$n \text{ (dalam rps)} = \frac{n \text{ (dalam rpm)}}{60 \text{ min/s}} \quad (2.4)$$

$$i = n \text{ (dalam rps)} \times n_{sd} \quad (2.5)$$

dimana:

$n_{sa}$  = Jumlah sudu yang aktif

$n_{sd}$  = Jumlah sudu

### 3. Kapasitas Air yang Diterima Tiap-Tiap Sudu ( $q$ )

Untuk menghitung kapasitas air yang diterima tiap-tiap sudu dapat digunakan persamaan (Morong, 2016):

$$q = \frac{Q}{i} \quad (2.6)$$

dimana:

$q$  = Kapasitas air yang diterima tiap-tiap sudu ( $m^3/s$ )

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

$i$  = Jumlah sudu yang aktif

### 4. Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati *Nozzle* ( $v$ )

Untuk menghitung kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* digunakan persamaan (Morong, 2016):

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi d_n^2} \quad (2.7)$$

dimana:

$v$  = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* ( $m/s$ )

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

$d_n$  = Diameter *nozzle*

### 5. Menghitung Kecepatan Tangensial Kincir ( $U$ )

Untuk menghitung kecepatan tangensial kincir dapat digunakan persamaan (Susatyo, 2003):

$$U = \frac{v}{2} \quad (2.8)$$

dimana:

$U$  = Kecepatan tangensial kincir ( $m/s$ )

$v$  = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

#### 6. Menghitung Jumlah Putaran Kincir ( $n$ )

Untuk menghitung jumlah putaran kincir dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Morong, 2016):

$$n = \frac{60 \frac{s}{\text{min}} \times U}{\pi D_{\text{out}}} \quad (2.9)$$

dimana:

$n$  = Jumlah putaran kincir (rpm)

$U$  = Kecepatan tangensial kincir (m/s)

$D_{\text{out}}$  = Diameter luar kincir (m)

#### 7. Menghitung Gaya Tangensial pada Kincir ( $F$ )

Untuk menghitung gaya tangensial pada kincir dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Bono dan Indarto, 2008):

$$F = \rho Q (v - U)(1 - k \cos\beta) \quad (2.10)$$

dimana:

$F$  = Gaya tangensial (N)

$\rho$  = Densitas air pada suhu  $T$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

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

$v$  = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

$U$  = Kecepatan tangensial kincir (m/s)

$k$  = Faktor gesek permukaan sudu (0,8 - 0,9)

$\beta$  = Sudut yang terbentuk ketika air meninggalkan sudu ( $165^\circ$ )

#### 8. Menghitung Daya Mekanik Kincir ( $P_{\text{mk}}$ )

Untuk menghitung daya mekanik kincir dapat menggunakan persamaan berikut (Yusri, 2004):

$$P_{\text{mk}} = F \cdot U \quad (2.11)$$

dimana:

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

F = Gaya tangensial kincir (N)

U = Kecepatan tangensial kincir (m/s)

#### 9. Menghitung Daya yang Dihasilkan Generator

Untuk menghitung daya yang dihasilkan generator dapat menggunakan persamaan berikut (Yusri, 2011):

$$P_{\text{gen}} = P_{\text{mk}} \times \eta_g \quad (2.12)$$

dimana:

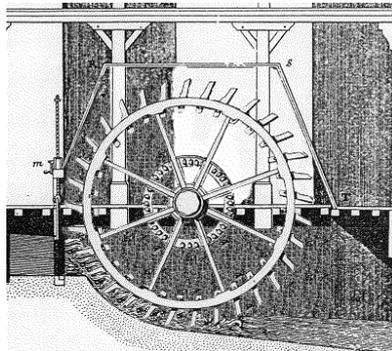
$P_{\text{gen}}$  = Daya yang dihasilkan generator (Watt)

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

$\eta_g$  = Efisiensi generator (0,8 – 0,95)

#### 2.4.1.5 Perencanaan Kincir Sudu Rata

Kincir sudu rata merupakan kincir air yang memiliki sudu kincir berbentuk *plat* datar atau rata. Fluida air ditransportasikan melalui *nozzle* dan menabrak sudu kincir yang menyebabkan kincir berputar. Gaya tangensial pada kincir didapatkan dari gaya dorong air pada *nozzle*.



**Gambar 6.** Kincir Sudu Rata

(<http://www.belajarduniaelektro11.ga/2016/07/energi-tenaga-air.html>)

Untuk menghitung perancangan desain kincir air dapat digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

#### 1. Menghitung Jarak Antar Sudu (t)

Untuk menghitung jarak antar sudu kincir sudu rata dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Morong, 2016):

$$t = \frac{D_{\text{in}} \times \pi}{n_{\text{sd}}} \quad (2.13)$$

dimana:

- t = Jarak antar sudu (m)  
 $D_{in}$  = Diameter dalam kincir (m)  
 $n_{sd}$  = Jumlah sudu

2. Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati *Nozzle* (v)

Untuk menghitung kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* digunakan persamaan (Morong, 2016):

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d_n^2} \quad (2.14)$$

dimana:

- v = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)  
 Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)  
 $d_n$  = Diameter *nozzle*

3. Menghitung Kecepatan Tangensial Kincir (U)

Untuk menghitung kecepatan tangensial kincir dapat digunakan persamaan (Susatyo, 2003):

$$U = \frac{v}{2} \quad (2.15)$$

dimana:

- U = Kecepatan tangensial kincir (m/s)  
 v = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

4. Menghitung Jumlah Putaran Kincir (n)

Untuk menghitung jumlah putaran kincir dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Morong, 2016):

$$n = \frac{60 \frac{\text{min}}{\text{s}} \times U}{\pi D_{out}} \quad (2.16)$$

dimana:

- n = Jumlah putaran kincir (rpm)  
 U = Kecepatan tangensial kincir (m/s)

$D_{out}$  = Diameter luar kincir (m)

5. Menghitung Gaya Tangensial pada Kincir (F)

Untuk menghitung gaya tangensial pada kincir dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Morong, 2016):

$$F = \rho Q v \quad (2.17)$$

dimana:

F = Gaya tangensial (N)

$\rho$  = Densitas air pada suhu T ( $\text{kg/m}^3$ )

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

v = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

6. Menghitung Daya Mekanik Kincir ( $P_{mk}$ )

Untuk menghitung daya mekanik kincir dapat menggunakan persamaan berikut (Yusri, 2004):

$$P_{mk} = F \cdot U \quad (2.18)$$

dimana:

$P_{mk}$  = Daya mekanik kincir (Watt)

F = Gaya tangensial kincir (N)

U = Kecepatan tangensial kincir (m/s)

7. Menghitung Daya yang Dihasilkan Generator

Untuk menghitung daya yang dihasilkan generator dapat menggunakan persamaan berikut (Yusri, 2011):

$$P_{gen} = P_{mk} \times \eta_g \quad (2.19)$$

dimana:

$P_{gen}$  = Daya yang dihasilkan generator (Watt)

$P_{mk}$  = Daya mekanik kincir (Watt)

$\eta_g$  = Efisiensi generator (0,8 – 0,95)

### 2.4.2 Nozzle

*Nozzle* adalah alat untuk mengekspansikan fluida sehingga kecepatannya bertambah. Untuk memudahkan pengaturan kecepatan fluida yang melalui *nozzle* tersebut biasanya pada *nozzle* dipasang sebuah *guide vane* (kran) yang berfungsi sebagai katub atau *valve* yang mengatur besar kecilnya lubang pada *nozzle* yang akan dilalui fluida.

Untuk menghitung perancangan *nozzle* dapat menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

#### 1. Menghitung Kecepatan Aliran Air Setelah Melewati *Nozzle*

Untuk menghitung kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* dapat menggunakan rumus berikut (Dandekar, 1991)

$$v = K_v \sqrt{2 g H} \quad (2.20)$$

dimana:

$v$  = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

$K_v$  = Koefisien kecepatan *nozzle* (0,98 – 0,985)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$H$  = Tinggi jatuh air (m)

#### 2. Menghitung Diameter *Nozzle*

Untuk menghitung diameter *nozzle* dapat menggunakan rumus berikut (Morong, 2016):

$$d_n = \sqrt{\frac{Q}{\frac{1}{4} \pi v}} \quad (2.21)$$

dimana:

$d_n$  = Diameter *nozzle* (m)

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

$v$  = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

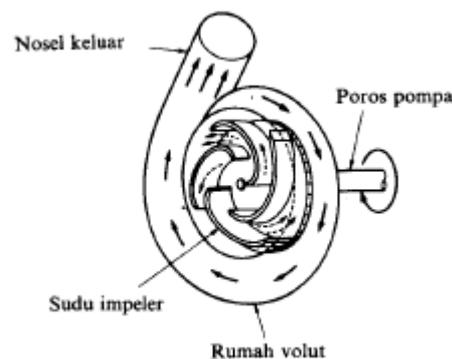
## 2.4.3 Pompa

### 2.4.3.1 Pengertian Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Dalam menjalankan fungsinya, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa mejadi energi kinetik dan tekanan pada fluida (Sularso, 2000).

### 2.4.3.2 Perencanaan Pompa

Pompa yang digunakan dalam simulasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini adalah dua buah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam gambar 7, mempunyai *impeller* (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi (Sularso, 2000).



**Gambar 7.** Bagan Aliran Fluida Didalam Pompa Sentrifugal

(Sumber: Sularso, 2000)

Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutarakan *impeller* didalam zat cair. Maka zat cair yang ada didalam *impeller*, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah *impeller* ke luar melalui saluran diantara sudu-sudu. Disini *head* tekanan zat cair menjadi lebih tinggi. Demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari *impeller* ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di keliling *impeller* dan disalurkan keluar pompa melalui *nozzle*. Didalam *nozzle* ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjad *head* tekanan (Sularso, 2000).

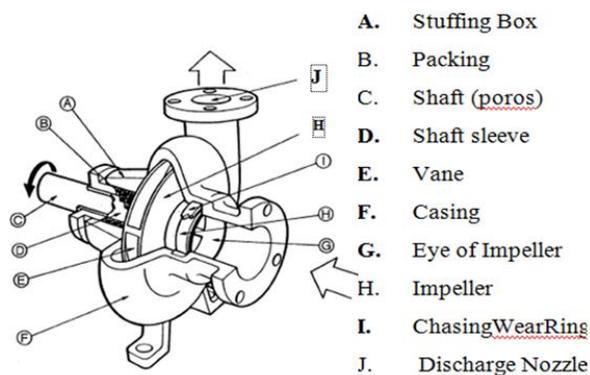
Spesifikasi pompa yang digunakan tertera pada pompa. Adapun spesifikasi pompa yang digunakan dapat dilihat pada gambar 8.



**Gambar 8.** Spesifikasi Pompa yang Digunakan

### 2.4.3.3 Bagian-Bagian Pompa Sentrifugal

Bagian-bagian dari pompa sentrifugal dapat dilihat pada gambar dibawah ini (Samudera, 2013):



**Gambar 9.** Komponen Utama Pompa Sentrifugal  
(Sumber: Samudera, 2013)

a. *Stuffing Box*

*Stuffing box* berfungsi untuk menerima kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus *casing*.

b. *Packing*

Digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari *casing* pompa melalui poros.

c. *Shaft (Poros)*

Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan *impeller* dan bagian-bagian berputar lainnya.

d. *Shaft Sleeve*

*Shaft sleeve* berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada *stuffing box*.

e. *Vane*

Sudu dari *impeller* sebagai tempat berlalunya cairan pada *impeller*.

f. *Casing*

Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan *diffuser (guide vane)*, *inlet* dan *outlet nozzle* serta tempat memberikan arah aliran dari *impeller* dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (*single stage*).

g. *Eye of Impeller*

Bagian sisi masuk pada arah isap *impeller*.

h. *Impeller*

*Impeller* berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.

i. *Chasing Wear Ring*

*Chasing wear ring* berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan *impeller* maupun bagian belakang *impeller*, dengan cara memperkecil celah antara casing dengan *impeller*.

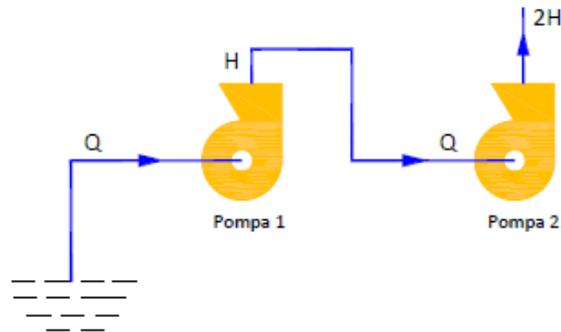
j. *Discharge Nozzle*

*Discharge nozzle* berfungsi untuk mengeluarkan cairan dari *impeller*.

#### 2.4.4 Operasi Pompa Seri dan Paralel

Jika *head* atau kapasitas yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan satu pompa saja, maka dapat digunakan dua pompa atau lebih yang disusun secara paralel atau seri (Sularso, 2000).

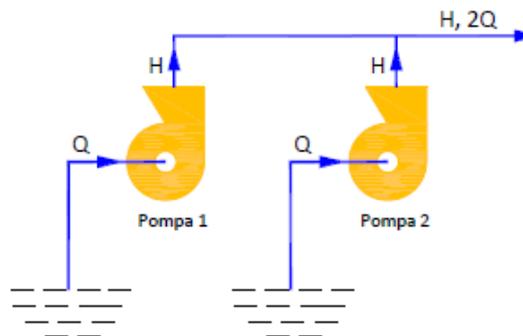
Bila *head* yang diperlukan besar dan tidak dapat dilayani oleh satu pompa, maka dapat digunakan lebih dari satu pompa yang disusun secara seri. Penyusunan pompa secara seri dapat dilihat pada gambar 10.



**Gambar 10.** Susunan Pompa Seri

(Sumber: Samudera, 2013)

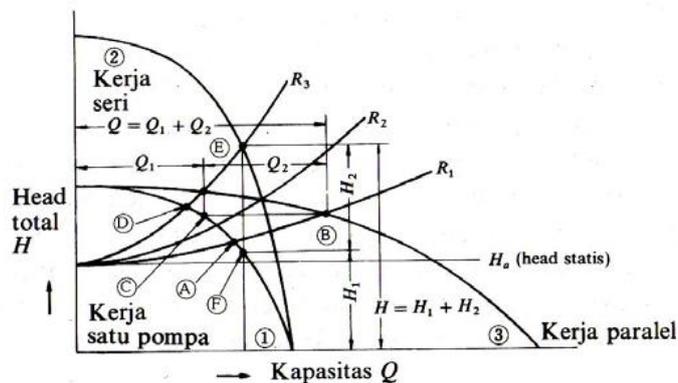
Susunan paralel dapat digunakan bila diperlukan kapasitas besar yang tidak dapat diatur oleh satu pompa saja, atau bila diperlukan pompa cadangan yang akan dipergunakan bila pompa utama rusak/diperbaiki. Penyusunan pompa secara paralel dapat dilihat pada gambar 11.



**Gambar 11.** Susunan Pompa Paralel

(Sumber: Samudera, 2013)

Pada gambar 12 dapat dilihat grafik operasi seri dan paralel dari pompa dengan karakteristik yang sama.



**Gambar 12.** Operasi Pompa Seri dan Paralel dari Pompa dengan Karakteristik yang Sama  
(Sumber: Sularso, 2000)

Gambar 12 menunjukkan kurva *head* – kapasitas dari pompa-pompa yang mempunyai karakteristik yang sama yang di pasang secara paralel atau seri. Dalam gambar ini kurva untuk pompa tunggal diberi tanda (1) dan untuk susunan seri yang terdiri dari dua buah pompa diberi tanda (2). Harga *head* kurva (2) diperoleh dari harga *head* kurva (1) dikalikan (2) untuk kapasitas (*Q*) yang sama. Kurva untuk susunan paralel yang terdiri dari dua buah pompa, diberi tanda (3). Harga kapasitas (*Q*) kurva (3) ini diperoleh dari harga kapasitas pada kurva (1) dikalikan (2) untuk *head* yang sama.

Dalam gambar ditunjukkan tiga buah kurva *head*-kapasitas sistem, yaitu  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $R_3$ . Kurva  $R_3$  menunjukkan tahanan yang lebih tinggi dibanding dengan  $R_2$  dan  $R_1$ . Jika sistem mempunyai kurva *head*-kapasitas  $R_3$ , maka titik kerja pompa 1 akan terletak di (D). Jika pompa ini disusun seri sehingga menghasilkan kurva (2) maka titik kerja akan pindah ke (E). Disini terlihat bahwa *head* titik (E) tidak sama dengan dua kali lipat *head* (D), karena ada perubahan (berupa kenaikan) kapasitas. Sekarang jika sistem mempunyai kurva *head*-kapasitas  $R_1$  maka titik kerja pompa (1) akan terletak di (A). Jika pompa ini disusun paralel sehingga menghasilkan kurva (3) maka titik kerjanya akan berpindah ke (B). Disini terlihat bahwa kapasitas dititik (B) tidak sama dengan dua kali lipat kapasitas dititik (A), karena ada perubahan (kenaikan) *head* sistem.

Jika sistem mempunyai kurva karakteristik seperti  $R_2$  maka laju aliran akan sama untuk susunan seri maupun paralel. Namun jika karakteristik sistem adalah seperti  $R_1$  dan  $R_3$  maka akan diperlukan pompa dalam susunan paralel atau seri.

Susunan paralel pada umumnya untuk laju aliran besar, dan susunan seri untuk *head* yang tinggi pada operasi. Untuk susunan seri, karena pompa kedua menghisap zat cair bertekanan dari pertama, maka perlu perhatian khusus dalam hal kekuatan konstruksi dan kerapatan terhadap kebocoran dari rumah pompa.

#### **2.4.5 Perencanaan 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, 2010).

Generator yang digunakan merupakan generator arus searah yang menghasilkan arus listrik DC karena pada konstruksi dilengkapi dengan komutator, biasanya berfungsi sebagai penguat pada generator utama di bengkel atau industri.

#### **2.4.6 Perencanaan *Pulley* dan Sabuk**

##### **2.4.6.1 *Pulley***

*Pulley* biasanya digunakan untuk mentransmisikan atau memindahkan tenaga dari poros yang satu ke poros yang lainnya dengan bantuan *belt* atau sabuk. Bahan *pulley* biasanya terbuat dari besi tuang, baja tuang atau baja *press*, aluminium, kayu dan kertas. *Pulley* yang terbuat dari baja dicetak atau di-*press* mempunyai koefisien yang rendah dan membutuhkan pengerjaan yang rumit. *Pulley* yang digunakan memiliki perbandingan 1:6 dengan diameter *pulley* kincir sebesar 30 cm dan *pulley* generator 5 cm.

##### **2.4.6.2 Sabuk (Belt)**

Sabuk atau belt biasanya digunakan untuk memindahkan daya dari poros yang satu ke poros yang lainnya dengan bantuan puli dimana puli berputar dengan

kecepatan yang sama atau pada kecepatan yang berbeda. Jumlah daya yang dipindahkan tergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- a. Kecepatan sabuk
- b. Tegangan di bawah sabuk dimana sabuk diletakkan di atas puli
- c. Sudut kotak antara sabuk dan puli yang lebih kecil

Material yang digunakan untuk bahan *belt* harus kuat, fleksibel dan mempunyai daya tahan yang lama. Material belt juga harus menggunakan koefisien tinggi terhadap gesekan.