

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu pembangkit listrik yang dipilih sebagai alternatif penyuplai energi listrik yang memiliki keunggulan, seperti ramah lingkungan, biaya operasi yang lebih kecil, dan mudah perawatannya (PURNAMA, 2018).

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada prinsipnya adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran, air yang mengalir melalui intake diteruskan oleh saluran pembawa hingga penstock, yang kemudian air akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi mekanik, turbin akan menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit jenis *run off river*, pemanfaatan arus sungai bagian permukaan. PLTMH mempunyai komponen sistem terdiri dari bendungan, saluran pelimpah, pipa pesat, rumah pembangkit.

Untuk membuat kincir air yang perlu diperhatikan yaitu tinggi sudut kincir untuk dapat menghasilkan efisiensi dan daya maksimum dan minimum, jumlah sirip kincir yang berpengaruh pada hasil daya gerak berputarnya kincir dari arus air, rasio kecepatan arus air dan kecepatan keliling sudut, pada titik optimal kincir (Zahir, K. 2010).

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan sistem pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan ketinggian dan aliran air untuk menghasilkan listrik. Contoh sumber tersebut antara lain sungai, saluran irigasi, dan air terjun alami. Tiga bagian utama PLTMH adalah generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, turbin yang mengubah energi potensial menjadi energi mekanik, dan air yang berfungsi sebagai sumber energi. (Muhammad Ihsan, 2022).

Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air skala besar, mikrohidro menghasilkan listrik dalam jumlah yang relatif kecil, sehingga berdampak pada peralatan yang relatif sederhana dan terbatasnya ruang yang diperlukan untuk instalasi dan pengoperasian.

Hasilnya, sistem pembangkit mikrohidro dapat digunakan untuk mengakses jaringan energi listrik di lokasi pedesaan dan terpencil. (Hendrik Sumaraw, et al, 2020).

Daya listrik yang dibangkitkan dapat dihitung menggunakan pendekatan rumus (Kriswanto, 2019) :

$$P = g \cdot H \cdot Q \cdot N_t \cdot N_g \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

P = Daya yang dihasilkan turbin (kW)

g = Percepatan gravitasi bumi  $\text{kg m/s}^2$

H = Tinggi jatuh air (m)

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

$N_t$  = Efisiensi turbin (%)

$N_g$  = Efisiensi generator (%)

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) terdiri dari beberapa bagian yaitu:

1. *Reservoir* (Bendungan)

Ketinggian jatuhnya air mempengaruhi besarnya energi potensial yang diterima turbin, maka waduk atau bendungan berfungsi untuk menyimpan dan menaikkan tinggi muka air.

2. *Penstock* (Kanal)

Tujuan dari *penstock* adalah untuk mengarahkan aliran air dari bendungan ke turbin. Bahan pondasi baja atau beton digunakan untuk membuat *penstock*.

3. Turbin

Aliran air menggerakkan pengoperasian turbin *impuls* dan turbin *reaksi*, seperti turbin jenis *Pelton*. Turbin *Pelton* adalah jenis turbin yang aliran airnya memutar sekumpulan sudu. Perangkat nosel digunakan untuk mengeluarkan air yang mengalir.

4. Generator

Energi mekanik pergerakan turbin diubah menjadi energi listrik oleh generator. Perangkat ini menghasilkan tegangan bolak-balik dengan frekuensi dan nilai tegangan yang disesuaikan dengan daya di masing-masing negara.

### 2.2.2 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Terdapat beberapa pembagian klasifikasi pembangkit listrik tenaga air. Berikut adalah penjelasannya :

1. Jenis-jenis PLTA:

A. Berdasarkan tinggi terjun PLTA

1. PLTA jenis terusan air (*water way*)

Saluran masuk air di hulu sungai dan saluran air dengan sedikit kemiringan atau kemiringan ke hilir merupakan ciri-ciri pusat kelistrikan.

2. PLTA jenis DAM (bendungan)

Pembangkit listrik yang dibangun bendungan di seberang sungai dirancang untuk meningkatkan jumlah energi potensial yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan cara menaikkan muka air

di bagian hulu sungai.

**3. PLTA jenis terusan dan DAM (campuran)**

Pusat kelistrikan mengubah energi potensial dari bendungan kanal menjadi dua energi potensial yang telah disebutkan sebelumnya.

**B. Berdasarkan aliran sungai PLTA :**

**1. PLTA jenis aliran sungai langsung (*run of river*)**

Jenis yang banyak dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga air saluran/kanal ini memanfaatkan aliran alami sungai untuk menghasilkan energi.

**2. Pusat listrik jenis waduk (*reservoir*)**

Pembuatannya dilakukan dengan membangun waduk di atas sungai, sehingga tampak seperti danau buatan atau danau asli untuk menampung curah hujan dan menyimpannya untuk musim kemarau.

**3. PLTA dengan kolam pengatur (*regulating pond*)**

Menggunakan kolam kontrol yang dibangun di seberang sungai, mengatur aliran sungai setiap hari dan menghasilkan listrik berdasarkan kebutuhan. Selain itu, kolam kendali dibangun di bagian hilir untuk digunakan pada saat permintaan tinggi. Dilengkapi dengan reservoir besar yang akan mengatur variasi air selama periode tersebut, memaksimalkan jumlah energi yang dihasilkan.

**4. Pembangkit listrik tenaga air menggunakan pompa (*pumped storage*)**

Penggunaan listrik yang berlebihan terjadi pada musim hujan, atau ketika listrik dikonsumsi, mati pada tengah malam. Pembangkit listrik ini menggunakan airnya kembali. dikonsumsi selama beban puncak dan memompa kembali setelah beban puncak berlalu karena beberapa turbin sekarang berfungsi sebagai pompa untuk memindahkan air dari hilir ke hulu.

A. Pembagian menurut kapasitas

- a) PLTA Mikro, kapasitas listrik yang dihasilkan < 100 kW.
- b) PLTA Mini, kapasitas listrik yang dihasilkan 100-999 kW .
- c) PLTA Kecil, kapasitas listrik yang dihasilkan 1000-10.000 kW.
- d) PLTA Besar, kapasitas listrik yang dihasilkan > 10.000 kW.

B. Pembagian menurut tinggi jatuh air

- a) PLTA dengan tekanan rendah;  $H < 15$  m
- b) PLTA dengan tekanan sedang;  $15 \text{ m} < H < 50$  m
- c) PLTA dengan tekanan tinggi;  $H = 50$  m

**2.2.3 Potensi Pembangkit Tenaga Listrik Mikro Hidro**

Perhitungan daya menggabungkan proses berikut: kecepatan putaran roda (n), gaya dorong roda (F), torsi (T), tenaga roda (PT), kecepatan air (v), laju aliran air (Q), dan tenaga air (PH).

1. Daya Hidrolis

Adapun metode yang digunakan dalam menghitung luas penampang dan kecepatan aliran sungai yaitu dengan menggunakan metode pelampung dimana metode ini dilakukan dengan cara membagi menjadi beberapa segmen kemudian nilai luas penampang dan kecepatan aliran dari setiap segmen akan dihitung dalam rumus berikut.

- Luas Penampang

$$A = L \times d \dots\dots\dots (2.2.)$$

Dimana :

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

L = lebar Sungai (m)

d = titik kedalaman sungai (m)

- Kecepatan aliran sungai

$$V = \frac{D}{t} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

V = Kecepatan Aliran (m/s)

D = panjang sungai (m)

t = waktu (s)

### 2. Debit air (Q)

Debit air adalah jumlah volume air yang mengalir persatuan waktu, dapat diperoleh dengan Persamaan:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

Q = Debit

V = Kecepatan air

A = Luas penampang pipa

### 3. Daya hidrolis $P_H$ diperoleh dengan Persamaan :

$$P_H = \rho \times g \times Q \times h \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$P_H$  = Daya hidrolis

$\rho$  = berat jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = grafitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

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

h = tinggi jatuh air (*head*)

### 2.2.4 Turbin Air

Secara umum, turbin dapat dianggap sebagai mesin penggerak utama yang mana energi dari fluida kerja—yang dapat berupa gas, uap, atau air—digunakan untuk memutar roda turbin secara langsung. Oleh karena itu, turbin air dapat dianggap sebagai mesin penggerak utama yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya.

### **2.2.5 Komponen-Komponen Turbin Air**

Turbin air terdiri dari dua bagian, yaitu:

- A. Komponen berputar dari sistem yang terdiri dari poros, bantalan, dan bilah disebut *rotor*. Tujuan dari bagian ini adalah sebagai berikut:
  - 1. Tujuan dari sudu-sudu adalah untuk menerima beban pancaran yang disemprotkan oleh *nosel*.
  - 2. Tujuan dari poros adalah untuk menjaga aliran daya yang dihasilkan sudu melalui gerak putar.
  - 3. Untuk menghentikan kebocoran pada sistem, bantalan berfungsi sebagai segel komponen.
- B. Terdiri dari rumah turbin dan pipa pemandu, stator merupakan komponen *stasioner* dari sistem. Tujuan dari bagian ini adalah sebagai berikut:
  - 1. Pipa pengarah menjaga agar fluida tetap mengalir sedemikian rupa sehingga tekanan dan kecepatan fluida tinggi.
  - 2. Komponen-komponen turbin ditempatkan pada rumah turbin.

### **2.2.6 Prinsip Kerja Turbin Air**

Air harus melalui beberapa tahapan sebelum dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Pertama, energi potensial air diubah menjadi energi kinetik. Energi potensial ada di air pada ketinggian tertentu; semakin tinggi ketinggiannya, semakin besar energi potensialnya. Energi potensial berubah menjadi energi kinetik ketika air mengalir ke bawah dari ketinggian tertentu. Energi kinetik diubah menjadi energi mekanik ketika air mengalir mengenai turbin. Terakhir, energi mekanik diubah menjadi energi listrik ketika turbin berputar dan menggerakkan rotor generator. (Muh. Akbar Ishak, 2023).

### 2.2.7 Jenis-Jenis Turbin Air

Ada dua jenis utama turbin tenaga air : *Impuls* dan *Reaksi*

#### A. Turbin *Impuls*

Turbin *impuls* memutar bilahnya dengan memanfaatkan energi kinetik air yang dihasilkan nosel. Ketika air mengalir melalui *penstock* turbin *impuls*, energi potensialnya diubah menjadi energi kinetik oleh nosel, yang kemudian mengarahkan aliran air untuk memutar turbin. Untuk fasilitas pembangkit listrik tenaga air dengan head tinggi dan debit rendah, turbin *impuls* sangat ideal. Turbin *pelton* dan turbin aliran silang merupakan jenis turbin yang merupakan bagian dari turbin *impuls*.

##### 1. Turbin *Pelton*

Turbin Pelton ditemukan oleh penemu Amerika Lester Allan Pelton pada tahun 1870-an. Roda Pelton memiliki satu atau lebih jet bebas yang membuang air ke ruang berventilasi dan mengenai *bucket runner*. Turbin *Pelton* umumnya digunakan untuk head yang sangat tinggi dan aliran rendah. Draft tube tidak diperlukan untuk turbin impuls karena runner harus ditempatkan di atas *tailwater* maksimum untuk memungkinkan operasi pada tekanan atmosfer.



Gambar 2. 1 Turbin Pelton

Sumber : (Dharmacakra Ramaputra, 2022)

## 2. Turbin *Crossflow*

Air mengalir secara melintang atau melintasi sudu turbin pada turbin aliran silang, yang berputar akibat aliran aksial atau radial. Dibandingkan dengan turbin pelton, turbin aliran silang dirancang untuk menangani aliran air yang lebih tinggi dan *head* yang lebih rendah. Dibandingkan memanfaatkan kincir air dengan material yang sama, pengguna turbin ini dapat menghemat hingga 50% biaya pembuatan penggerak dengan jumlah daya yang sama.



Gambar 2. 2 Turbin Crossflow

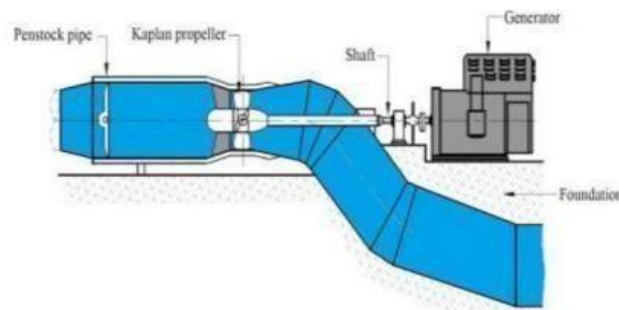
Sumber : (Ir. Zulkifli Saleh, M.Eng *et al.*, 2024)

## B. Turbin *reaksi*

Salah satu jenis turbin air adalah turbin *reaksi*, yang menggunakan debit air untuk menggerakkan turbin secara langsung, bukan melalui nosel. Setelah melewati *penstock*, air langsung masuk ke turbin, dimana energi kinetik dan potensialnya diubah menjadi energi mekanik. Oleh karena itu, turbin *reaksi* perlu direndam di bawah air. Turbin akan berputar semakin cepat jika semakin banyak air yang dikeluarkan. Fasilitas pembangkit listrik tenaga air dengan debit besar dan *head* rendah ideal untuk penggunaan turbin *impuls*. Turbin baling-baling, turbin *Francis*, dan Kaplan merupakan turbin yang merupakan bagian dari turbin *impuls*.

## 1. Turbin *Kaplan*

Tinggi tekanan keseluruhan turbin *Kaplan* yang merupakan turbin reaksi sama dengan jumlah energi yang masuk dan keluar turbin. Salah satu jenis turbin tekanan berlebih yang unik adalah turbin *Kaplan*. Kemurnian bilah jalan dan kelengkungan saluran bilah jalan sangat minim. Untuk membuat bilah jalan ideal untuk pusat pembangkit listrik tenaga air di aliran sungai, bilah jalan tersebut dapat dimodifikasi saat beroperasi, serta lokasi dan ketinggiannya dalam kaitannya dengan jatuhnya air. Turbin *Kaplan* ini dibuat untuk beroperasi pada laju aliran tinggi dan tekanan rendah.

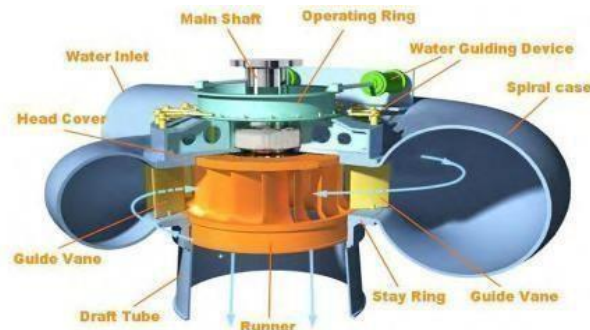


Gambar 2. 3 Instalasi Turbin Kaplan

Sumber : (Arif Rahman Saleh *et al.*, 2024)

## 2. Turbin *Francis*

Turbin *Francis* adalah turbin tenaga air modern pertama dan ditemukan oleh insinyur Inggris-Amerika James Francis pada tahun 1849. Turbin *Francis* memiliki *runner* dengan bilah tetap, biasanya sembilan atau lebih. Air dimasukkan tepat di atas *runner* dan di sekelilingnya yang kemudian jatuh, menyebabkan bilah berputar.

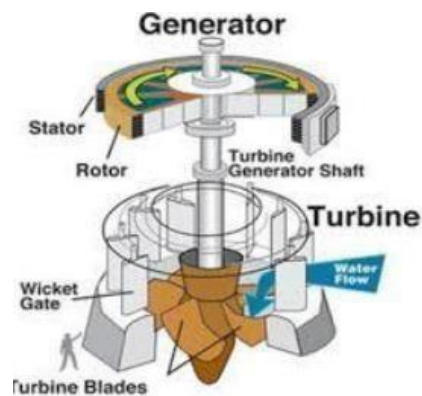


Gambar 2. 4 Turbin Francis

Sumber : (Enni Masuri Bancin, 2020)

### C. Turbin *Propeller*

Fasilitas pembangkit listrik tenaga air kecil menggunakan turbin baling-baling, yang memiliki jangkauan tekanan dua hingga dua ratus meter. Turbin khusus ini merupakan turbin respons, artinya mengubah 100% energi air menjadi energi puntir..



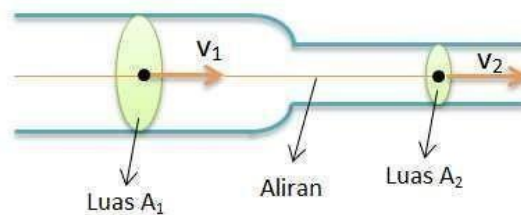
Gambar 2. 5 Turbin Propeller

Sumber : (Irpan Rahmawan, 2024).

### 2.2.8 Perencanaan Pipa Pesat

#### 1. Kecepatan Air ( $V$ )

Untuk tinggi jatuh air (*head*), dan diameter pipa dengan ujung pipa menggunakan hukum Bernoulli untuk fluida yaitu :



Gambar 2. 6 Prinsip Bernoulli fluida

Sumber(Kriswantoetal.,2019)

Dapat diperoleh dengan Persamaan:

$$V1 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\left(\frac{A1}{A2}\right)^2 - 1}} \text{ m/s} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

g = percepatan gravitasi bumi

h = tinggi jatuh air

A<sub>1</sub> = diameter pipa pertama

A<sub>2</sub> = diameter pipa kedua

2. Mencari luas penampang pipa dapat diperoleh dengan Persamaan:

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

D = diameter pipa kuadrat

### 2.2.9 Perencanaan Turbin dan Efisiensi

1. Gaya dorong kincir

Kemampuan roda untuk berputar ditentukan oleh tenaga yang dihasilkan oleh arus air. dapat diperoleh dengan Persamaan :

$$F = A \times \rho \times v^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

F: Gaya dorong kincir (N)

A: Debit air (Q)

ρ: berat jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

v<sup>2</sup>:Kecepatan air (m/s)

2. Torsi

Gaya fluida yang mendorong sudu turbin menghasilkan torsi yang kemudian ditransfer ke poros turbin. di tentukan dengan Persamaan:

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

F: Gaya dorong kincir (N)

r: Jari-jari kincir

### 3. Daya kincir ( $P_T$ )

Proses perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik akan membuat kincir berputar. Sehingga kincir akan bergerak secara berotasi, hal ini dinamakan dengan momen putar yang diterima poros kincir. diperoleh dengan Persamaan berikut :

$$P_T = T \times \omega \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

$P_T$  = Daya kincir

T = Torsi

$\Omega$  = putaran rotor (rad/detik)

### 4. Efisiensi Turbin

ukuran seberapa baik turbin dapat mengubah energi yang terkandung dalam fluida (air) menjadi energi mekanik, dapat diperoleh dengan Persamaan berikut :

$$\eta_t = \frac{p_t}{p_h} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

$\eta_t$  = Efisiensi turbin

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$P_H$  = Daya hidrolis (Watt)

### 5. Daya Output PLTMH dapat diperoleh dengan Persamaan:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \cdot \eta_t \cdot \eta_g \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

$\rho$  = berat jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

g: = gravitasi

Q = debit air

H = tinggi jatuh air

$\eta_t$  = Efisiensi Turbin

$\eta_g$  = Efisiensi Generator

### 2.2.10 . Generator

Generator adalah suatu alat yang mengubah energi gerak mekanik menjadi energi listrik. Generator beroperasi berdasarkan hukum *Faraday* yang menyatakan bahwa gaya gerak listrik (*GGL*) dengan satuan volt akan timbul pada ujung suatu penghantar jika diputar dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga memotong garis-garis gaya magnet.

#### A. Fungsi Generator

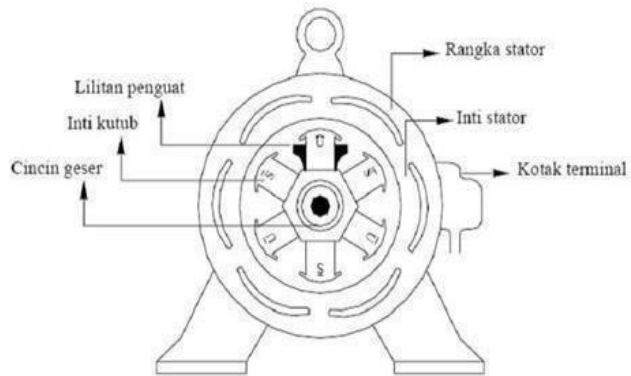
Alat listrik yang menghasilkan sumber arus listrik disebut generator. Motor listrik, tenaga listrik rumah tangga, dan peralatan listrik lainnya yang memerlukan arus listrik *AC* tiga fasa dapat dihidupkan oleh listrik yang dihasilkan.

#### B. Bagian-bagian Generator

Ada dua komponen utama pada generator, yaitu:

1. *Stator* (bagian yang diam)
  - a. Rumah (rangka) yang menahan inti jangkar generator disebut rangka *stator*.
  - b. Baja paduan khusus atau laminasi besi magnet digunakan untuk membuat inti *stator*, yang diikat ke rangka *stator*.
  - c. Kumparan *stator* diposisikan pada gigi dan alur (slot). Alur *stator* tersedia dalam tiga jenis berbeda: terbuka, setengah terbuka, dan tertutup.
  - d. Tembaga biasanya digunakan untuk membuat kumparan *stator*, juga dikenal sebagai kumparan jangkar. Gaya gerak listrik terinduksi (*GGL*) berasal dari kumparan ini.
2. Rotor bagian yang berputar
  - a. Cincin logam yang disebut *slip ring* mengelilingi poros rotor tetapi diisolasi oleh semacam isolasi. Sebuah sikat yang diikatkan pada *slip ring* menghubungkan terminal kumparan *rotor* ke sumber arus searah dan *slip ring*.

- b. Komponen yang paling berperan dalam terciptanya medan magnet adalah kumparan *rotor* yang disebut juga kumparan medan. Sumber *eksitasi* tertentu menyediakan arus searah ke kumparan ini.
- c. Pada poros *rotor* terdapat slot-slot yang dibuat sejajar dengan poros *rotor*, dimana kumparan *rotor* ditempatkan.



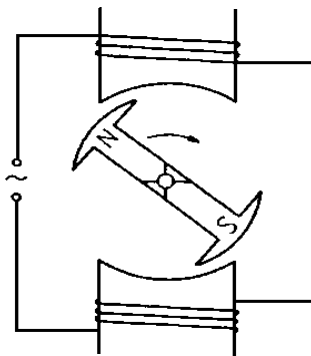
Gambar 2. 7 Bagian-bagian Generator

### C. Macam-macam Generator

#### 1. Berdasarkan *Pole*

##### a. *Internal Pole*

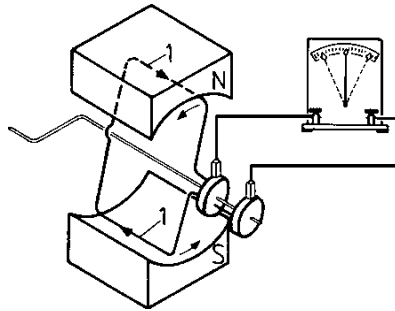
Stator menghasilkan tegangan AC sedangkan kutub rotor menciptakan medan magnet.



Gambar 2. 8 Internal Pole

b. *External Pole*

Pada kumparan motor dihasilkan energi listrik.. (Yanto, 2005)

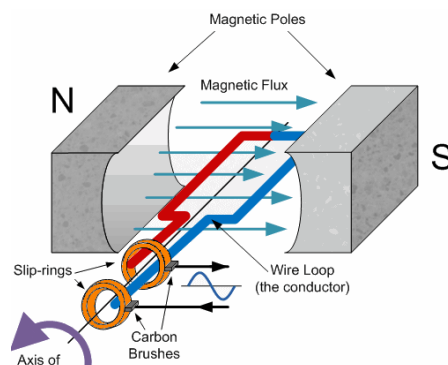


Gambar 2. 9 External Pole

2. Berdasarkan Arus yang dihasilkan

a. Generator Arus Bolak-balik (AC)

Generator arus bolak-balik adalah generator yang menghasilkan tegangan bolak-balik sebagai tegangan keluarannya. (Yanto, 2005)



Gambar 2. 10 Generator Arus Bolak-balik

b. Generator Arus Searah (DC)

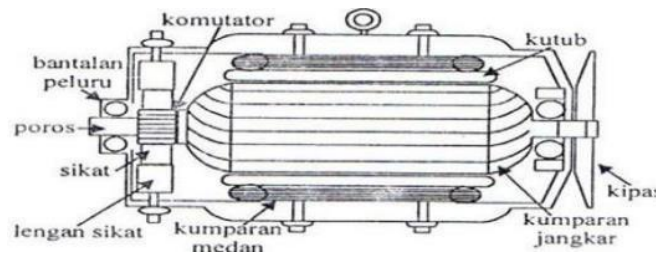
Salah satu alat listrik dinamis yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik adalah generator DC. Arus DC searah dihasilkan oleh generator DC. (Muhammad Ihsan, 2022).

• Konstruksi Generator DC

Pada dasarnya generator DC dibuat menggunakan dua jenis magnet penguat, yaitu :

1. Penguat elektromagnetik
2. Magnetpermanen/ magnet tetap

Dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban yang lebih, starter eksitasi, penyearah, bearing dan rumah generator atau *casis*, serta bagian rotor. Gambar 2.9 berikut ini menunjukkan konstruksi generator DC.



Gambar 2. 11 Kontruksi Generator DC

- Berikut adalah beberapa keuntungan menggunakan generator DC pada PLTMH:

- 1) Efisiensi pada Putaran rendah

Generator DC, terutama yang menggunakan magnet permanen, dapat beroperasi dengan efisien pada putaran yang lebih rendah. Hal ini sangat menguntungkan karena turbin pada PLTMH, terutama turbin *cross-flow*, seringkali bekerja pada putaran yang tidak terlalu tinggi.

- 2) Kemudahan dalam Pengaturan Tegangan

Generator DC memungkinkan pengaturan tegangan yang lebih mudah dan stabil, bahkan ketika debit air berubah-ubah. Ini penting untuk memastikan pasokan listrik yang stabil ke pengguna, terlepas dari fluktuasi aliran air.

- 3) Pembangkit Energi Alternatif

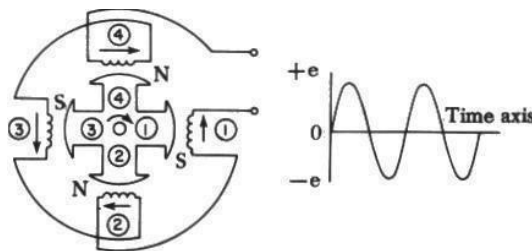
PLTMH dengan generator DC dapat menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, terutama di daerah terpencil yang memiliki potensi energi air.

Generator DC dibagi dua bagian, yang pertama stator bagian mesin DC yang diam dan yang kedua bagian rotor bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor (Muddin Martua et al., 2021).

### 3. Berdasarkan Fasa

#### a. Generator 1 Fasa

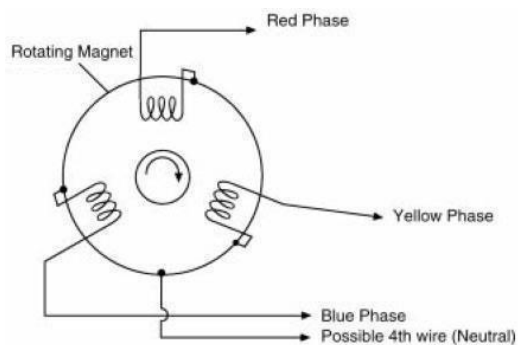
Jumlah belitan tidak diperhitungkan pada generator dengan sistem belitan yang hanya mempunyai satu set kumparan yang diwakili oleh satu saluran. Huruf kapital X digunakan untuk menunjuk salah satu ujung kumparan atau fasa, sedangkan huruf U digunakan untuk menunjukkan ujung lainnya. (Yanto, 2005)



Gambar 2. 12 Sistem Generator 1 phase

#### b. Generator 3 Fasa

Masing-masing dari tiga set kumparan yang membentuk sistem belitan generator disebut sebagai belitan fasa. Terdapat belitan fasa pada stator dengan huruf U–X di salah satu ujungnya, V–Y di dua ujung lainnya, dan W–Z di ujung belitan fasa ketiga.. (Yanto, 2005)



Gambar 2. 13 Komponen Generator 3 phase

### 4. Berdasarkan Bentuk Rotor

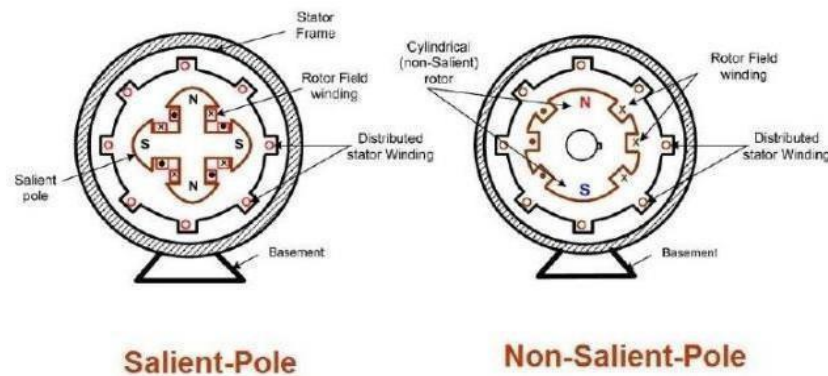
#### a. *Salient Pole* (Jenis Kutub Menonjol)

Permukaan rotor merupakan tempat menonjolnya kutub magnet jenis kutub menonjol. Ada hubungan seri antara belitan medan. Ketika eksiter digunakan untuk menyediakan belitan medan ini, kutub-kutub yang berdekatan akan menciptakan kutub-kutub yang berlawanan.

Pada generator dengan kecepatan putar rendah hingga sedang (120–400 rpm), rotor jenis ini biasanya digunakan. (Yanto, 2005)

b. *Non Salient Pole* (Jenis Kutub Menonjol)

Konstruksi kutub magnet jenis kutub non salient rata dengan permukaan rotor. Jenis ini berbentuk seperti silinder dengan lekukan di bagian luarnya dan terbuat dari baja yang ditempa halus. Exciter memasok belitan medan, yang digabungkan secara seri dan ditempatkan pada alur eksternal. Biasanya, generator dengan kecepatan putar tinggi (1500–3000 rpm) menggunakan rotor berbentuk silinder. (Yanto, 2005)



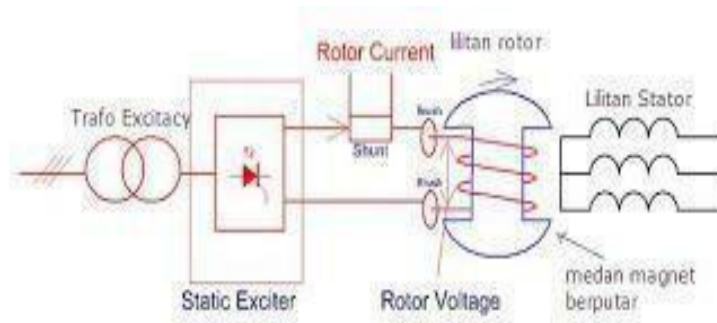
Gambar 2. 14 Perbedaan Jenis Salient Pole dan Non Salient Pole

5. Berdasarkan Sistem Eksitasi

a. Sistem Eksitasi dengan sikat

Catu daya listrik untuk sistem eksitasi berbasis sikat dapat berupa generator arus bolak-balik (AC) atau arus searah (DC) yang telah disearahkan terlebih dahulu dengan penyearah.

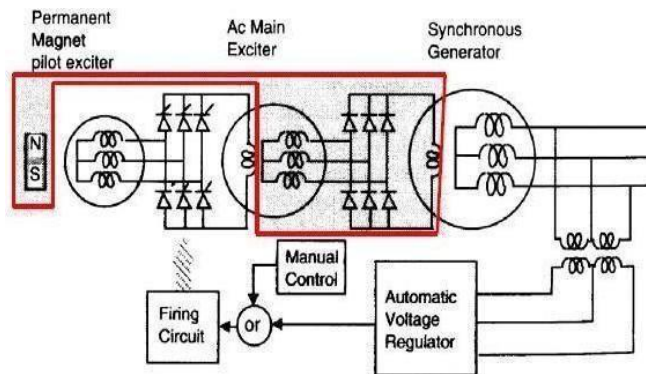
Medan magnet tersebut merupakan magnet permanen jika menggunakan Permanent Magnet Generator (PMG) atau generator AC sebagai sumber tenaga listrik Anda. Untuk mengatur kumparan medan eksiter primer, kabinet penyearah mengubah tegangan listrik arus bolak-balik menjadi tegangan arus searah. Selain untuk mengalihkan arus dari pilot eksiter ke eksiter utama, slip ring dan sikat arang digunakan untuk menyalurkan arus eksitasi dari eksitasi utama ke rotor generator. (Nurwidigdo, 2008)



Gambar 2. 15 Sistem Eksitasi Dengan Singkat

b. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (*brushless Excitation*)

Terbatasnya jumlah arus yang dapat dialirkan ke sikat arang membuat penggunaan sikat atau slip ring untuk menyalurkan arus eksitasi ke rotor generator menjadi lemah. Metode eksitasi tanpa sikat digunakan untuk mengatasi kelemahan sikat arang. (Nurwidigdo, 2008)



Gambar 2. 16 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat

AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

generator dengan metode untuk menstabilkan tegangan keluaran. berfungsi untuk menstabilkan tegangan listrik yang dihasilkan medan *eksiter*, sehingga tegangan listrik yang dipancarkan medan tetap stabil. Generator disimpan antara 400 dan 240 VAC.