

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Negara Indonesia memiliki banyak sumber daya alam, salah satunya adalah air, yang dapat dibuat berupa air terjun, dan peluang tersebut makin baik, karena negara Indonesia memiliki musim hujan 6 bulan dalam sekali setahun. Dengan adanya kekayaan alam tersebut maka sampai sekarang sudah banyak untuk memanfaatkan air sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). PLTA adalah suatu pembangkitan energi listrik dengan mengubah energi potensial air dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan aliran air menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator. Untuk membangun sebuah PLTA diperlukan adanya Reservoir, Dam, Saluran air (Water Way), Tangki pendatar (Surge Tank), Saluran Pembuang (Spill Way), Turbin air, Generator, Power House, jaringan transmisi dan lain-lain.

Salah satunya adalah PLTA Sigura-gura yang berada di PT. Indonesia Asahan Alumunium (INALUM). PLTA Sigura-gura ini memiliki kapasitas daya terpasang yaitu 4 x 71,5 atau sebesar 286 Megawatt (MW) yang berlokasi di PT. INALUM POWER PLANT, Paritohan kecamatan pintu pohan meranti kab.Tobasa, sumatera utara. Pembangunan PLTA ini tujuan utamanya adalah untuk digunakan di pabrik peleburan Alumunium yang berada di Kuala Tanjung.Selain untuk memenuhi kebutuhan listrik di pabrik Alumunium, manfaat PLTA ini adalah untuk kebutuhan listrik di perumahan karyawan dari PT. Indonesia Asahan Alumunium dan perkantoran dari perusahaan itu sendiri yang berada di Tanjung Gading dan Paritohan.

Dengan melihat besarnya potensi tersebut dan rasio elektrifikasi tiap daerah di Indonesia terutama di daerah Sumatera Utara yaitu PLTA Sigura-gura PT. Indonesia Asahan Alumunium (INALUM) yang berkapasitas 286 MW. Namun pada kenyataannya pembangkit tersebut hanya mampu mengeluarkan daya sebesar 285,019 MW. Maka ditemukan masalah apakah daya yang dikeluarkan oleh pembangkit tersebut masih dapat dinaikkan sampai 286 MW. Dengan menganalisa beberapa komponen dari pembangkit tersebut.

## **1.2. Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk dapat menjelaskan tentang pembangkitan listrik tenaga air (PLTA) di Sigura-gura. Tujuan utama adalah untuk membandingkan hasil pengamatan antara PLTA Sigura-gura dengan yang ada di teori umum pembangkitan PLTA dan juga untuk menguraikan hal-hal apa yang mempengaruhi efisiensi pembangkitan energi listrik pada PLTA.

## **1.3. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang sudah di uraikan, rumusan masalah yang dibuat dalam tugas akhir ini adalah menguraikan tentang pembangkitan PLTA Sigura-gura secara umum kerja PLTA, antara lain memperjelas teori-teori tentang PLTA sesuai dengan referensi yang sudah ada, selanjutnya merancang suatu PLTA dalam bentuk teori dan yang terakhir meninjau lokasi PLTA Sigura-gura kemudian melakukan analisis perbandingan. Sehingga akan diperoleh perbandingannya dengan teori umum PLTA, dan membahas apa saja yang di butuhkan untuk membangun PLTA dalam hal perbaikan efisiensi sistem.

## **1.4. Batasan Masalah**

Mengingat pembahasan pada suatu PLTA sangat luas, maka di perlukan adanya pembatasan masalah pada penulisan tugas akhir ini. Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini antara lain, hanya membahas hal-hal yang berkaitan dengan perencanaan pembangkitan listrik tenaga air (PLTA) Sigura-gura seperti :

1. Perhitungan debit air.
2. Membahas komponen-komponen atau peralatan terpasang di PLTA Sigura-gura secara umum.

3. Membahas tentang efisiensi daya generator pembangkit pada PLTA Sigura-gura.
4. Tidak membahas fasilitas teknik sipil, pengujian pada PLTA Sigura-gura secara detail.

### **1.5. Metode Penelitian**

Didalam memenuhi dan melengkapi data-data yang diperlukan untuk memperkuat penulisan tugas akhir tentang “STUDY PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) SIGURA-GURA”, maka akan dilakukan Study literatur, yaitu dengan mengkaji dan mempelajari beberapa buku-buku pustaka tentang pembangkit listrik tenaga air (PLTA), mencari informasi dari media cetak, internet dan bahan kuliah yang mendukung tentang judul yang akan diteliti. Dan juga akan melakukan diskusi interaktif dalam bentuk tanya jawab dengan pihak perusahaan yang menyangkut hal hal yang berkaitan dengan PLTA Sigura-gura.

Lalu melakukan study bimbingan dengan dosen pembimbing yang telah ditunjuk dan dosen-dosen jurusan elektro yang berkaitan dengan judul yang diteliti untuk membantu selama penelitian skripsi ini berlangsung Setelah itu, pengamatan lapangan langsung ke PLTA Sigura-gura, seperti melakukan survey lapangan, penelitian dan pengambilan data pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Sigura-gura. Kemudian melakukan analisa data hasil pengamatan yang telah di peroleh selama penelitian dari PLTA Sigura-gura dan membandingkannya dengan buku-buku teori umum yang telah dikaji dan dipelajari sebelumnya untuk memperoleh kesimpulan dari penelitian tersebut.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Di dalam penulisan tugas akhir ini dan untuk memudahkan pembahasan sesuai dengan judul yang telah dibuat, maka sistematika penulisannya diatur dalam 5 (lima) bab antara lain, pada bab I dijelaskan tentang pendahuluan, meliputi latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah,

metodologi penelitian, dan sistematika penulisan untuk bisa melanjutkan penelitian ke bab selanjutnya. Pada bab II akan diuraikan mengenai teori suatu pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Disini akan dijelaskan berupa prinsip kerja PLTA, komponen utama PLTA seperti reservoir, dam, saluran air (Water Way), tangki pendatar (surge tank), saluran pembuang (spill way). Berikutnya komponen pada power house seperti turbin air, generator, transformator, panel pengontrol (switch board) dan instrumentasi, kemudian jenis-jenis PLTA, dan kelebihan dan kekurangan PLTA. Pada bab III berisi deskripsi lokasi dan survey lapangan PLTA Sigura-gura. Menjelaskan PLTA Sigura-gura dan membahas komponen-komponen dan peralatan yang terpasang di PLTA Sigura-gura. Dan juga melakukan pengambilan data yang berkaitan dengan PLTA tersebut.

Dan pada bab IV akan diuraikan pokok permasalahan dari penulisan tugas akhir ini yaitu, Analisis perbandingan antara pembangunan PLTA Sigura-gura dengan teori umum pembangunan PLTA, yaitu dengan cara mengolah data-data yang di peroleh dari pihak perusahaan PLTA Sigura-gura. Setelah mengolah data-data tersebut maka akan di bandingkan dengan yang ada di buku-buku teori umum PLTA, sehingga akan diperoleh hasil perbandingannya. Dan pada bab yang terakhir yaitu bab V, berisikan tentang kesimpulan dan saran. Setelah mengolah dan menganalisis perbandingan data-data seperti pada bab IV, maka bisa diambil kesimpulan, dan serta memberikan saran yang merupakan rangkuman dari seluruh pembahasan pada tugas akhir ini dalam hal perbaikan efisiensi system pada PLTA Sigura-gura.

## **BAB II**

### **PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA)**

#### **2.1. Teori Umum**

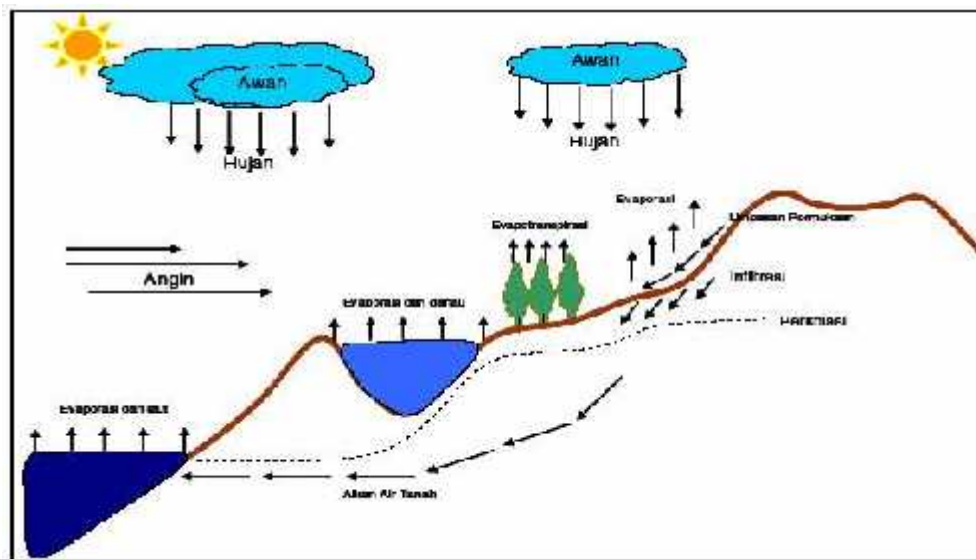
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu sistem pembangkit energi listrik dengan cara memanfaatkan aliran dari air yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui putaran turbin dan generator. Sistem yang sangat mudah, dan yang penting adalah ramah terhadap lingkungan.

Pembangkit listrik adalah suatu rangkaian alat atau mesin yang mengubah energi mekanikal untuk menghasilkan energi listrik, biasanya rangkaian alat itu terdiri dari turbin dan generator listrik. Fungsi dari turbin adalah memutar rotor dari generator listrik, sehingga dari putaran rotor itu mengeluarkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan dinaikkan dulu voltasenya menjadi 150 KV s/d 500 KV melalui Trafo Step Up. Peningkatan tegangan ini berfungsi untuk mengurangi kerugian akibat hambatan pada kawat penghantar dalam proses transmisi. Dengan tegangan yang ekstra tinggi maka arus yang mengalir pada kawat penghantar menjadi kecil.



**Gambar 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Air merupakan sumber daya energi yang mempunyai energi ekonomis. Ketersediaan air di dunia ini terbatas. Jumlah yang membutuhkan semakin meningkat, sehingga perlu berhati-hati dalam pemanfaatannya. Kandungan air di dalam bumi pada dasarnya berlimpah, volume seluruhnya mencapai 1.400.000.000 km<sup>3</sup>, lebih kurang 97% merupakan air laut (air asin) yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dalam kehidupan manusia. Dari 3% sisanya, 2% berupa gunung-gunung es di kedua kutub bumi, 0,75% merupakan air tawar yang mendukung kehidupan makhluk hidup di darat, baik berupa mata air, air sungai, danau maupun air tanah dan selebihnya berupa uap air. Makin bertambah jumlah penduduk di muka bumi ini, makin banyak air yang dibutuhkan, sedangkan ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan di alam ini jumlahnya terbatas. Air tawar tersebut berasal dari siklus air (Daur Hidrologi) secara alami. Keberadaan air di alam ini mengalami suatu putaran / yang disebut siklus air/ daur hidrologi (Gambar 2.2).



**Gambar 2.2. Daur Hidrologi**

Orang memanfaatkan air untuk berbagai keperluan, seperti untuk kebutuhan rumah tangga (minum, masak, mandi dan mencuci), pengairan atau irigasi sawah, peternakan, sarana transportasi, pembangkit tenaga listrik, industri, peternakan, rekreasi dan lain-lain. Sebagian besar air dikembalikan ke lingkungan perairan sebagai air buangan/ air limbah dan sedikit saja yang benar-benar dikonsumsi. Air yang dimanfaatkan tersebut, sebagian dikonsumsi dan selebihnya dikembalikan ke lingkungan.

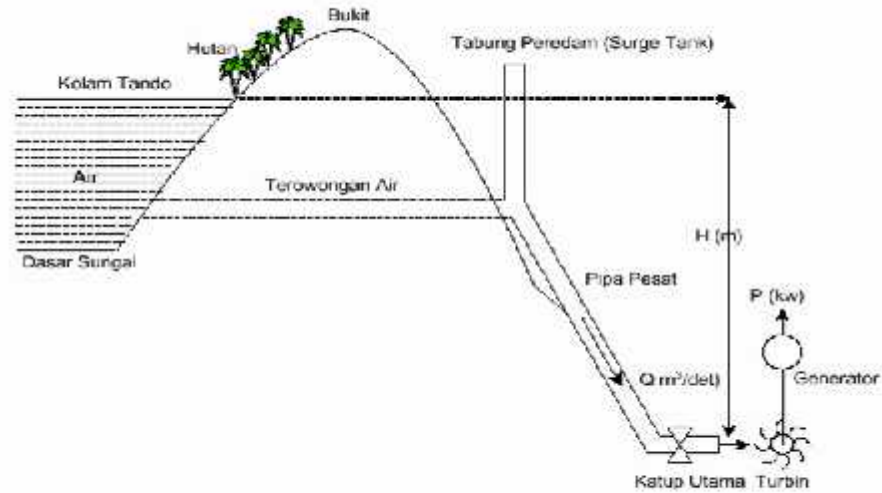
## 2.2. Prinsip Kerja PLTA

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan cara mengubah energi potensial (dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). PLTA adalah pembangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan dari ini biasa disebut sebagai hidroelektrik.

Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Namun, secara luas, PLTA tidak hanya terbatas pada air dari sebuah waduk atau air terjun, tetapi juga meliputi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dalam bentuk lain seperti tenaga ombak.

Pembangkit tenaga listrik yang banyak dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapatkan tenaga listrik arus bolak-balik tiga fase, tenaga mekanik yang dipakai memutar generator listrik didapat dari mesin penggerak generator listrik atau biasa disebut penggerak mula (prime over). Mesin penggerak generator listrik yang banyak digunakan adalah mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas. Mesin penggerak generator melakukan konversi tenaga primer menjadi tenaga mekanik penggerak generator. Proses konversi energi primer menjadi energi mekanik menimbulkan produk sampingan berupa limbah dan kebisingan yang perlu dikendalikan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan. Proses pembangkitan tenaga listrik adalah proses konversi energi primer (bahan bakar atau potensi tenaga air) menjadi tenaga mekanik sebagai penggerak generator listrik dan selanjutnya generator listrik menghasilkan tenaga listrik.

Dalam PLTA, potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air. Kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik.



**Proses konversi energi dalam Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA).**

**Gambar 2.3. Proses Konversi Energi pada Pusat Listrik Tenaga Air**

Daya yang dibangkitkan oleh generator yang diputar oleh turbin adalah:

$$P = k \cdot \eta \cdot H \cdot Q \text{ [kW]} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- P = daya [kW]
- H = tinggi terjun air [meter]
- Q = debit air [m<sup>3</sup>/ detik]
- η = efisiensi turbin bersama generator
- k = konstanta.

### 2.3. Komponen Utama PLTA

Komponen utama dari PLTA terdiri dari elemen-elemen Essensial dan komponen pada power house. Adapun elemen essensial pada suatu PLTA adalah :

1. Reservoir
2. Dam
3. Saluran air/Water Way
4. Tangki pendatar /Surge Tank
5. Turbin air
6. Generator



7. Transformator Daya
8. Saluran Pembuang /Spill Way

### 2.3.1. Reservoir

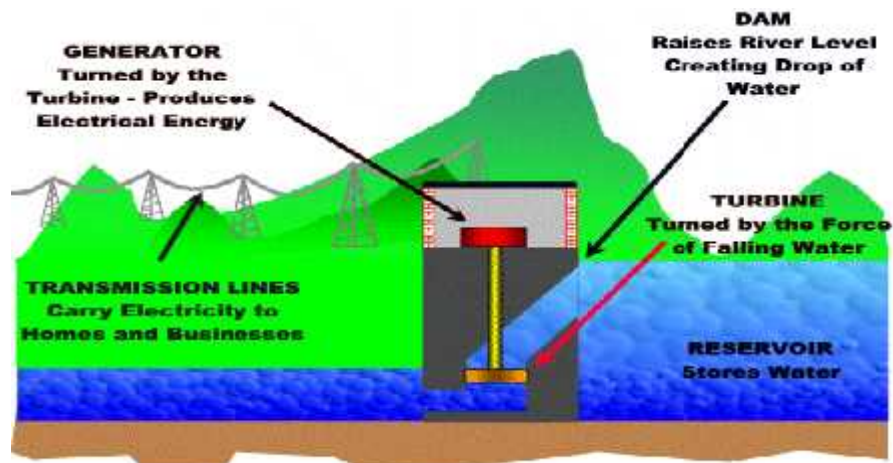
Reservoir adalah tempat penyimpanan air dari semua sumber air yang dapat diperoleh. Reservoir ini dapat berupa waduk/ danau buatan/ dapat juga yang alamiah.



**Gambar 2.4. Reservoir Alamiah**

### 2.3.2. DAM

DAM adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk mengendalikan air masuk ke saluran (Intake) untuk memperoleh head dari air. Pengaturan debit air dapat dilakukan melalui DAM sehingga akan diperoleh debit air yang stabil dalam semua kondisi.



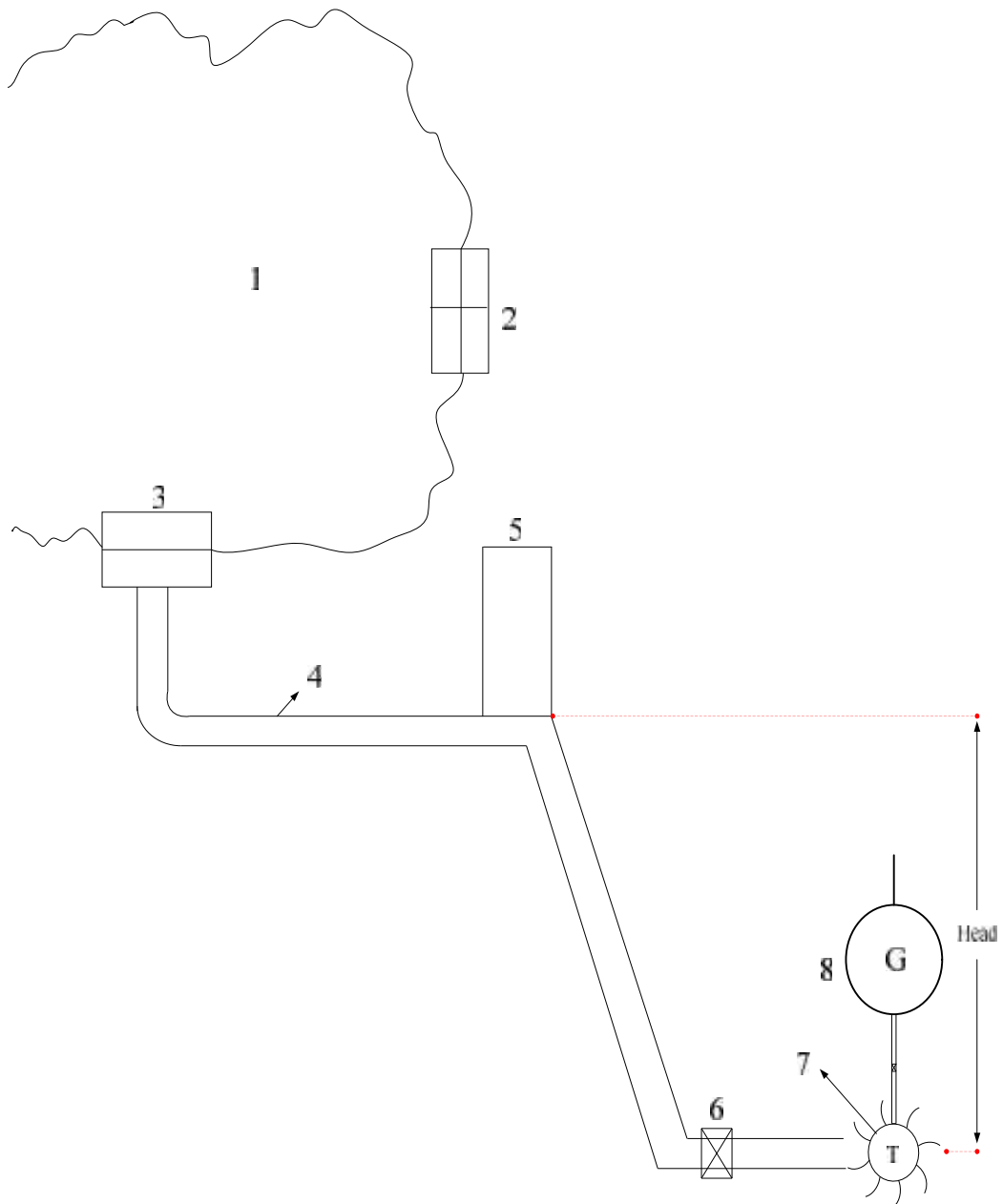
**Gambar 2.5. DAM Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Air**

### 2.3.3. Tangki Pendatar/ Surge Tank

Tangki pendatar adalah suatu tabung/pipa (konstruksi) yang bertujuan jika air dari DAM tidak seluruhnya digunakan, maka air tersebut akan terisi ke tangki pendatar dan jika beban dinaikkan air tersebut akan dilepas.

### 2.3.4. Saluran Air

Saluran air dapat berupa terowongan/ tunnel/kanal dan penstock/pipa pesat/ parit yang berfungsi untuk mengalirkan air dari DAM ke turbin.



**Gambar 2.6. Skema Pembangkitan Listrik Tenaga Air**

Keterangan gambar 2.6 :

1. DAM
2. Saluran pembuang
3. Intake
4. Pipa pesat/ saluran air
5. Tangki peredam
6. Katup pipa pesat
7. Turbin air
8. Generator

### **2.3.5. Turbin Air**

Turbin air berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin berputar. Perputaran turbin ini dihubungkan ke generator.

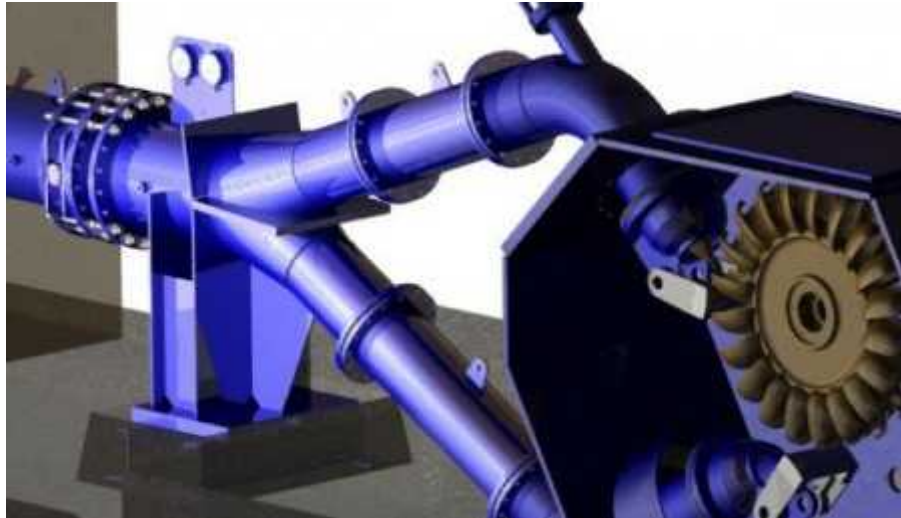
#### **2.3.5.1. Turbin Impuls**

Turbin ini dibuat sedemikian sehingga rotor (runner) bekerja karena aliran air; disini beda tinggi diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi. Yang khas dari turbin ini adalah turbin pelton.

##### **a. Turbin Pelton**

Turbin Pelton adalah turbin untuk tinggi terjun yang tinggi, yaitu diatas 300 meter. Teknik pengkonversian energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses impuls sehingga turbin Pelton juga disebut turbin impuls. Untuk semua macam turbin air, ada katup yang mengatur banyaknya air yang akan dialirkan ke roda air. Dengan pengaturan ini, daya turbin dapat diatur.

Di depan katup pengatur terdapat katup utama yang harus ditutup apabila turbin air dihentikan untuk melaksanakan pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan pada turbin. Apabila terjadi gangguan listrik yang menyebabkan PMT generator *trip*, maka untuk mencegah turbin berputar terlalu cepat karena hilangnya beban generator yang diputar oleh turbin, katup pengatur air yang menuju ke turbin harus ditutup.



**Gambar 2.7. Turbin Pelton**

#### **2.3.5.2. Turbin Reaksi**

Turbin jenis ini dibuat sedemikian sehingga rotor bekerja karena aliran air dengan tinggi terjun karena tekanan. Yang termasuk jenis ini adalah turbin francis, kaplan. Turbin Kaplan

##### **a. Turbin Francis**

Turbin Francis paling banyak digunakan di Indonesia. Turbin ini digunakan untuk tinggi terjun sedang, yaitu antara 20-400 meter. Teknik pengkonversian energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin Francis juga disebut turbin reaksi.



**Gambar 2.8. Turbin Francis**

b. Turbin Kaplan

Turbin kaplan digunakan untuk tinggi terjun yang rendah, yaitu dibawah 20 meter. Teknik pengkonversian energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Roda air turbin kaplan menyerupai baling-baling dari kipas angin.



**Gambar 2.9. Turbin Kaplan**

**Tabel 2.1. Jenis-jenis Turbin Air Berdasarkan Head**

Berdasarkan Head	Jenis Turbin	Head (m)
Turbin head tinggi	Pelton	150-300
Turbin head medium	Francis	60-150
Turbin head rendah	Kaplan	60

Berdasarkan kecepatan Spesifik/  $N_s$  (Specific Speed)

Kecepatan spesifik adalah jumlah putaran permenit (ppm) dari turbin untuk menghasilkan 1 daya kuda pada head 1 meter.

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$N_s$  : Kecepatan Spesifik

$N$  : Putaran per menit pada keadaan katup terbuka penuh

$H$  : Tinggi terjun

$P$  : Daya keluar rotor

### **2.3.5.3. Pemilihan Turbin**

Dalam pemilihan turbin biasanya faktor-faktor yang ditinjau adalah :

1. Head
2. Kecepatan spesifik
3. Sifat beban
4. Output

Output dari turbin dapat dihitung berdasarkan formulasi :

$$HP = \frac{\omega \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{75} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

H = Head (m)

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

$\eta$  = Overall efisiensi

$\omega$  = Massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

### 2.3.6. Generator

Untuk pembangkit tenaga listrik yang lazim dipakai adalah generator sinkron. Generator sinkron dengan definisi sinkronnya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkannya sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut. Rotor generator sinkron yang diputar dengan penggerak mula (prime mover) yang terdiri dari belitan medan dengan suplai arus searah akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan dan arah putar yang sama dengan putaran rotor tersebut. Hubungan antara medan magnet pada mesin dengan frekuensi listrik pada stator ditunjukkan pada Persamaan 2.4 dibawah ini:

$$f = \frac{p \cdot n_s}{120} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

f = Frekuensi listrik (Hz)

$n_s$  = Kecepatan putar medan magnet atau kecepatan putar rotor (rpm)

p = Jumlah kutub

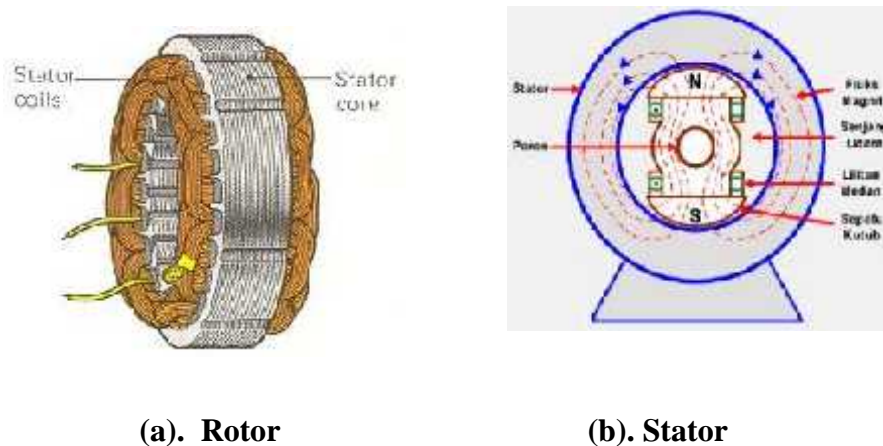
Generator sinkron sering kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik (dengan kapasitas yang relatif besar). Misalnya, pada PLTA, PLTU, PLTD dan lain-lain. Selain generator dengan kapasitas besar, kita mengenal juga

generator dengan kapasitas yang relatif kecil, misalnya generator yang digunakan untuk penerangan darurat yang sering disebut Generator Set atau generator cadangan.

### 2.3.6.1. Komponen Generator Sinkron

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator.

Pada Gambar 2.12 dapat dilihat bentuk penampang sederhana dari sebuah generator sinkron.



**Gambar 2.10. Konstruksi Generator (a). Rotor (b). Stator**

### 2.3.6.2. Prinsip Dasar Generator Sinkron

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Generator sinkron mempunyai belitan jangkar yang merupakan elemen diam pada stator dan belitan eksitasi itu dimagnetisasikan oleh arus searah yang dipasok oleh sumber arus searah dari luar atau dari generator itu sendiri dengan jalan mengambil sebagian arus yang keluar dari stator lalu diserahkan sebagai penguat. Jika stator generator sinkron diputar pada suatu kecepatan tertentu yang disebut dengan putaran sinkron, belitan medan magnet pada rotor tersebut dialiri arus searah,



sehingga menghasilkan fluksi yang turut berputar dan memotong belitan jangkar yang terdapat pada bagian stator. Akibat adanya perubahan fluksi persatuan waktu yang dirasakan oleh belitan jangkar, maka pada belitan jangkar akan terjadi tegangan induksi.

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula (prime mover), dengan demikian kutub-kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis-garis gaya fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub. Garis-garis gaya fluks yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar di stator, sehingga menimbulkan *EMF* atau *GGL* atau tegangan induksi.

### 2.3.6.3. Daya Generator Sinkron

Generator untuk pembangkit listrik tenaga air menggunakan generator sinkron. Daya yang dihasilkan oleh generator 1 phasa dihitung dengan persamaan :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

P = Daya yang dihasilkan generator (Watt)

V = Tegangan terminal generator (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos = Faktor daya

### 2.3.7. Transformator

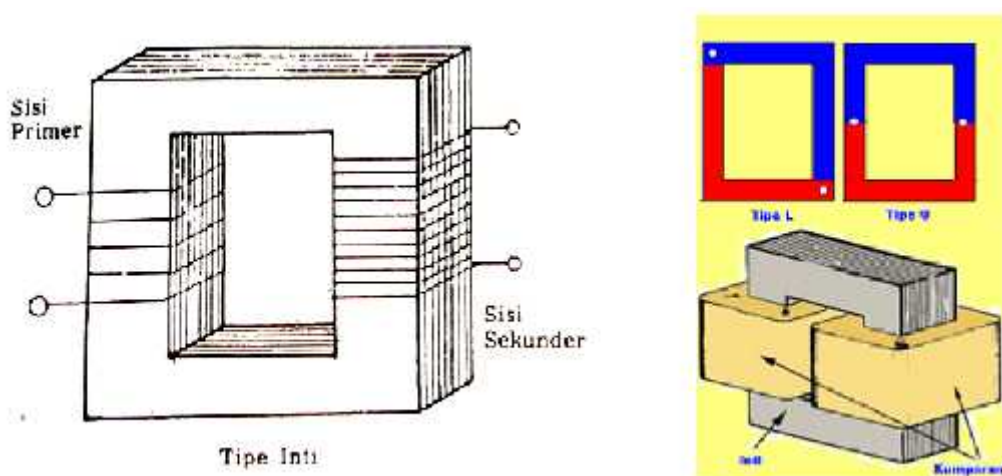
Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

#### 2.3.7.1. Konstruksi Transformator

Pada dasarnya transformator terdiri dari kumparan primer dan sekunder yang dibelitkan pada inti ferromagnetik. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti, transformator terdiri dari dua macam konstruksi yaitu tipe inti ( core type) dan tipe cangkang ( shell type). Kedua tipe ini menggunakan inti yang berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi dan arus eddy.

##### a. Tipe Inti

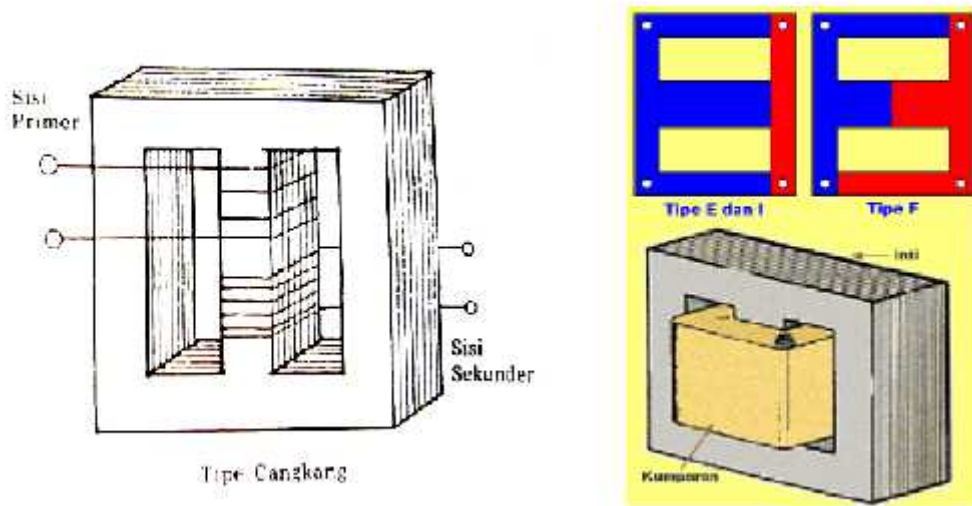
Tipe inti ini dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi dan kumparan transformatornya dibelitkan pada dua sisi persegi. Pada konstruksi tipe inti, lilitan mengelilingi inti besi yang disebut dengan kumparan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.11. Konstruksi Tipe Inti

b. Tipe Cangkang (Shell From)

Jenis konstruksi yang kedua ini yaitu tipe cangkang yang dibentuk dari lapisan inti berisolasi, dan kumparan dibelitkan di pusat inti, dapat dilihat pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.12. Konstruksi Tipe Cangkang (Shell From)**

### 2.3.7.2. Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).

Perlu diingat bahwa hanya tegangan listrik arus bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronika, transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

Tujuan utama menggunakan inti pada transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) dari rangkaian magnetis (*common magnetic circuit*).

### **2.3.8. Saluran Pembuang**

Saluran buang merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air yang keluar setelah memutar sudu turbin dan kembali ke aliran sungai. Air yang keluar dari saluran buang tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai irigasi.



**Gambar 2.13 . Saluran Pembuang Bendungan**

## 2.4. Jenis-jenis PLTA

Pembangkit listrik tenaga air diperagakan secara besar-besaran dalam berbagai jenis. Hampir setiap proyek air mempunyai sesuatu yang sangat menarik perhatian, yang tidak sebagaimana biasanya didapati diproyek-proyek lain yang sama tipenya. Dengan demikian suatu klasifikasi dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada aspek istimewa yang ditinjau klasifikasinya. Jadi, pembangkit tenaga air dapat diklasifikasikan atas dasar lokasi, keadaan topografi, dan tidak adanya kolam penampungan, tingkatan pengoperasian tinggi jatuhnya air, keadaan hidrolis pembangkitnya sendiri, dan sebagainya. Sistem pengoperasian pembangkit ditentukan oleh sifat-sifat lainnya, sama seperti ada dan tidak adanya kolam penampungan.

### 1. Klasifikasi Berdasarkan Tujuan

Secara normal biasanya proyek direncanakan mempunyai tujuan bermacam-macam. Jadi suatu proyek tunggal boleh dipertimbangkan mempunyai fungsi yang berbeda-beda, misalnya untuk suplai air, irigasi, kontrol banjir dan sebagainya, disamping produksi utamanya yaitu tenaga listrik. *Bhakara Project Complex* (India) adalah suatu proyek tenaga listrik tetapi juga berfungsi untuk irigasi. *The Tennessee Valley Scheme*, juga berfungsi sebagai pengontrol banjir di samping memproduksi tenaga listrik. Proyek dengan tujuan yang bermacam-macam ini merupakan ciri-ciri khusus dalam perencanaan proyek tersebut. Misalnya dalam perencanaan pada alur pelayaran sungai, pembangunan sebuah bendungan harus mempertimbangkan agar lalu lintas pelayaran kapal tidak terganggu.

### 2. Klasifikasi Berdasarkan Keadaan Hidraulis

Suatu dasar klasifikasi pada pembangkit listrik tenaga air adalah memperhatikan pengaruh prinsip dasar hidraulika saat perencanaannya. Ada empat jenis pembangkit listrik tenaga air yang menggunakan prinsip dasar ini, yaitu:

a) Pembangkit listrik tenaga air konvensional.

Pembangkit listrik ini menggunakan kekuatan air secara wajar yang diperoleh dari pengaliran air dan sungai. Dengan demikian dapat disebut sebagai pembangkit air tenaga air tradisional.

b) Pembangkit listrik dengan pemompaan kembali ke air penampungan.

Dengan demikian pembangkit mempergunakan konsep perputaran kembali air yang sama dengan mempergunakan pompa, yang dilakukan saat pembangkit melayani permintaan tenaga listrik yang tidak begitu berat. Setiap pembangkit dibangun diatas tanah yang luas.

c) Pembangkit listrik tenaga air pasang surut.

Hanya sedikit pembangkit jenis ini, seperti La Rance di Prancis yang telah menggunakan tenaga air pasang surut yang luar biasa besarnya.

d) Pembangkit listrik tenaga air yang ditekan.

Pembangkit jenis ini merupakan jenis yang jarang dijumpai diantara jenis-jenis PLTA. Di sini tenaga air yang digunakan secara umum, dengan mengalihkan air dari sebuah sumber air yang besar, seperti air laut yang masuk ke sebuah penurunan topografis yang alamiah, yang didistribusikan dalam pengoperasian ketinggian tekana air untuk pembangkitan tenaga listrik. Tingkatan ketinggian air diakibatkan penurunan dikontrol terhadap proses penguapan alam.

### 3. Klasifikasi Dasar Sistem Pengoperasian

Pembangkit listrik tenaga air dapat juga diklasifikasikan atas dasar permintaan. Pengoperasian itu bekerja dalam hubungan penyediaan tenaga listrik oleh pembangkit sesuai dengan permintaan, atau pengoperasian itu dapat berbentuk suatu kesatuan sistem kisi-kisi yang dapat mempunyai banyak unit, tidak hanya dari tenaga air tetapi juga dari sumber panas atau tenaga nuklir. Pada jaman sekarang, sistem pembangkit listrik dengan kebutuhan yang terpisah-pisah tidaklah bisa. Sudah tentu pembangkit listrik dapat dibangun untuk konsumsi sendiri-sendiri, walaupun di berbagai negara hal tersebut tidak diijinkan.

### 4. Klasifikasi Dasar Lokasi Kolam Penyimpanan dan Pengatur

Instalasi pembangkit listrik tenaga air dapat juga diklasifikasikan atas pertimbangan mengenai cuaca dimana instalasi itu dapat dilengkapi dengan sebuah kolam penyimpanan cadangan atau tidak. Kolam itu dilengkapi dengan konstruksi bendungan/tanggul. Kolam penyimpanan tersebut sangat diperlukan ketika terjadinya pengaliran tidak sama untuk kurun waktu lebih dari satu tahun. Tanpa kolam penyimpanan, pembangkit /instalasi dipergunakan hanya dalam pengaliran yang benar-benar dalam keadaan normal. Dengan demikian jika hanya ada sebuah kolam cadangan yang kecil, maka sebuah kolam pengatur yang akan dibuat dengan hati-hati karena naik turunnya air dari hari ke hari, mungkin sangat diperlukan. Bangunannya terdiri atas sebuah bendungan /tanggul yang merupakan tuntutan berat bagi pengeluaran dan penambahan investasi yang besar dan dibutuhkan oleh proyek tersebut.

#### 5. Klasifikasi Dasar Mengenai Lokasi dan Topografi

Instalasi pembangkit listrik tenaga air dapat berlokasi di daerah pegunungan atau dataran. Biasanya pembangkit listrik di daerah pegunungan bangunan utamanya berupa bendungan, sedang pembangkit listrik di daerah datar bangunan utamanya berupa tanggul. Di daerah dataran, biasanya sungai lebar, dengan banjir besar di daerah yang datar, dan mungkin membutuhkan pengerjaan perubahan sungai yang lama. Pembangkit yang lokasinya jauh di pedalaman berarti jauh dari beban utama di pusat, berarti biaya pengiriman muatan listrik relatif lebih mahal daripada proyek-proyek di dekat kota.

#### 6. Klasifikasi Dasar Tentang Kapasitas PLTA

Mengingat bahwa besarnya kekuatan pembangkit-pembangkit listrik di dunia mempunyai kesanggupan dengan kapasitas berkisar 5000 MW, maka klasifikasi atas dasar kapasitas atas dasar PLTA adalah sebagai berikut:

- a) Pembangkit listrik yang terkecil  $< 5$  MW.
- b) Pembangkit listrik kapasitas menengah 5-100 MW.

- c) Pembangkit listrik kapasitas tinggi 101-1000 MW.
- d) Pembangkit listrik kapasitas tertinggi di atas 1000 MW.

#### 7. Klasifikasi Dasar Mengenai Ketinggian Tekanan Air

Sepintas lalu dari klasifikasi di atas dapat dipergunakan untuk memilih suatu kekuatan pembangkit listrik, adapun yang paling menarik dan memudahkan adalah pengklasifikasian atas dasar ketinggian tekanan air, yaitu:

- a) PLTA dengan tekanan air rendah kurang dari 15 m.
- b) PLTA dengan tekanan air menengah 15-70 m.
- c) PLTA dengan tekanan air tinggi 71-250 m.
- d) PLTA dengan tekanan air sangat tinggi diatas 250 m.

#### 8. Klasifikasi Berdasarkan Bangunan/ Konstruksi Utama

Cara lain dari klasifikasi pembangkit listrik atas dasar lokasi pembangunan pembangkit, sebagai berikut:

- a) Pembangkit listrik pada aliran sungai, pemilihan lokasi utama itu harus menjamin bahan pengalirannya tetap normal, atau tepatnya aliran dari sungai tidak mengganggu bahan-bahan material konstruksi pembangkit listrik itu. Dengan demikian, pembangkit listrik walaupun mempunyai sebuah kolam cadangan untuk penyimpanan air yang besar, juga mempunyai sebuah saluran pengatur jalannya air dari kolam penyimpanan.
- b) Pembangkit listrik dengan bendungan yang terletak dilembah, maka bendungan itu merupakan lokasi yang utama dalam menciptakan sebuah kolam penampung cadangan air, dan konstruksi bangunan terletak pada sisi tanggul.
- c) Pembangkit listrik dengan pengalihan terusan, aliran sungai dialihkan melalui sebuah terusan ke konstruksi bangunan yang lokasinya cukup jauh dari kolam penyimpanan. Air dari lokasi bangunan itu dikeringkan kembali ke dalam sungai semula, dengan suatu pengalihan aliran air saat ini hari.
- d) Pembangkit listrik dengan pengalihan ketinggian, tekanan air dialirkan melalui sebuah sistem terowongan dan terusan yang menuju kolam



cadangan, atau aliran arus lain melalui lokasi bangunan. Yang perlu diperhitungkan adalah adanya sistem pemberitahuan yang lengkap, dan sebuah ketinggian tekanan air yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air dengan pengalihan terusan aliran air.

## **2.5. Kelebihan dan kekurangan PLTA**

### **1. Kelebihan PLTA**

- a. Air tidak perlu dibeli karena air disediakan oleh alam sehingga biaya pembangkit relatif murah.
- b. Tidak menimbulkan polusi.
- c. Tidak menimbulkan kebisingan karena jauh dari pemukiman.
- d. Mempunyai useful life yang lama.
- e. Dapat meningkatkan perekonomian masyarakat karena dengan pembangunan PLTA ini akan membutuhkan tenaga kerja.

### **2. Kekurangan PLTA**

- a. Pengoperasian PLTA tergantung pada curah hujan. Kalau curah hujan rendah, maka PLTA tidak dapat beroperasi secara normal.
- b. Jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan biaya transmisi yang besar.
- c. Biaya pembangunan PLTA relatif besar.
- d. Masa pembangunan PLTA cukup lama
- e. Membutuhkan tempat yang besar.

## **BAB III**

### **PLTA SIGURA-GURA**

#### **3.1. PLTA Sigura-gura**

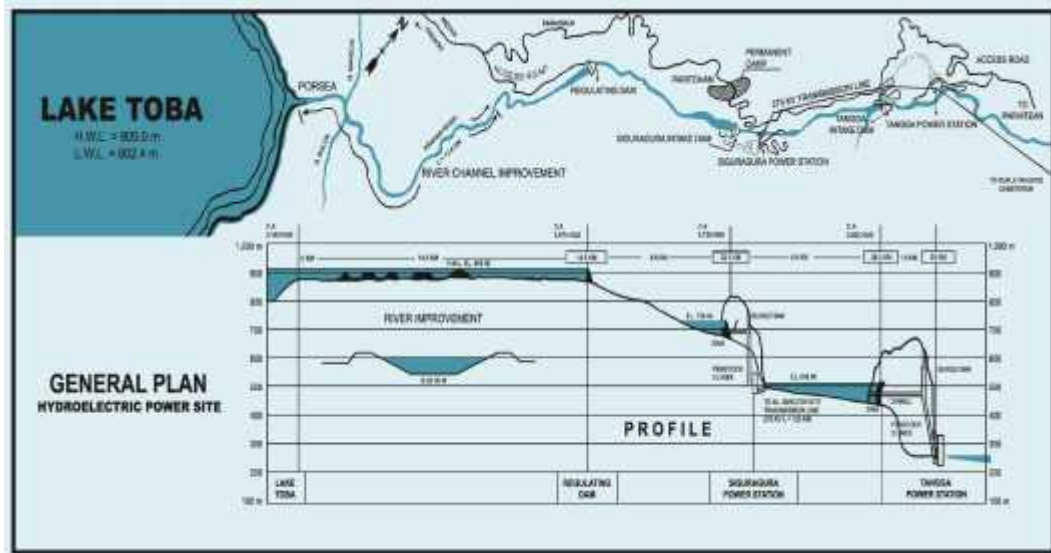
PLTA Sigura-gura adalah upaya memanfaatkan potensi Sungai Asahan yang mengalir dari Danau Toba untuk menghasilkan tenaga listrik. PLTA Sigura-gura & Tangga terletak di sepanjang Sungai Asahan, satu-satunya sungai yang mengalirkan air Danau Toba ke Selat Malaka. PLTA Sigura-gura memiliki 3 bendungan. Yang pertama adalah bendungan pengatur di Siruar, sekitar 14,5 KM dari Danau Toba. Bendungan ini berfungsi untuk mengatur kestabilan air keluar dari Danau Toba ke Sungai Asahan dan untuk mensuplai air ke stasiun pembangkit listrik secara konstan. Yang kedua adalah bendungan Penadah air Siguragura di Simorea, 9 km dari Bendungan Pengatur. bendungan ini berfungsi sebagai sumber air yang stabil untuk stasiun pembangkit listrik Siguragura. Pembangkit listrik Siguragura terletak 200 m di bawah permukaan tanah dengan 4 unit generator, dengan total kapasitas 286 MW. Bendungan ketiga adalah Bendungan Tangga, 4 KM di bawah stasiun pembangkit Siguragura. Bendungan ini berfungsi untuk memanfaatkan kembali air dari stasiun pembangkit Siguragura dan menyuplai air ke stasiun pembangkit Tangga. Stasiun pembangkit listrik Tangga memiliki 4 unit generator dengan total kapasitas 317 MW.

Pembangunan PLTA ini tujuan utamanya adalah untuk digunakan di pabrik peleburan Alumunium yang berada di Kuala Tanjung. Selain untuk memenuhi kebutuhan listrik di pabrik Alumunium, manfaat PLTA ini adalah untuk kebutuhan listrik di perumahan karyawan dari P.T Indonesia Asahan Alumunium dan perkantoran dari perusahaan itu sendiri yang berada di Tanjung Gading dan Paritohan.

#### **3.2. Lokasi PLTA Sigura gura**

Di dalam pembangunan sebuah pembangkit, banyak hal yang harus dipertimbangkan demi kelangsungan pembangkit itu sendiri. Hal-hal yang diperhatikan salah satunya adalah denah dan lokasi pembangunan. Lokasi dari pembangkit itu sendiri harus dekat dengan sumber air karena memanfaatkan

energi air untuk menggerakkan turbin. Pembangunan PLTA Sigura-gura sangat strategis terhadap air, dimana sumber air yang digunakan PLTA tersebut adalah aliran Danau Toba yang terletak di Sungai Asahan.



**Gambar 3.1. Lokasi PLTA Sigura-Gura**

Data teknik PLTA Sigura-gura dapat dilihat pada tabel 3.1. dibawah.

**Tabel 3.1. Data Teknik PLTA Sigura-Gura**

No	Unit	Satuan
1	Generator daya terpasang 4 unit	286 MW
	a. Daya tetap	203 MW
	b. Daya puncak	244 MW
	c. Daya setiap unit	71,5 MW
2	Tegangan	11000 V
3	Frekuensi	50 Hz
4	Putaran	333 Rpm
5	Buatan	Thosiba
6	Turbin daya per unit	
	a. Max	73,2 kW
	b. Normal	73,2 kW
	c. Min	71 kW
7	Tinggi netto	
	a. Max	230,9 m
	b. Normal	218 m
	c. Min	214,2
8	Debit Max	37,6 m <sup>3</sup> /s
9	Bangunan PLTA	
	a. Panjang	93 m
	b. Lebar	17,9 m

	c. Tinggi	35,9 m
10	Volume galian	53800 m <sup>3</sup>
	Volume beton	20000 m <sup>3</sup>
11	Terowongan saluran atas	983 m
	Terowongan diameter	6 m
	Terowongan masuk PLTA	908 m
12	Jumlah jalur pipa pesat 2-4	
	a. Panjang	261 m
	b. Diameter	4-2 m
13	Trafo 4 unit	317,6 MVA
	a. Tegangan tapping trafo	10,5/275-261,25- 285,5 KV
	b. Panjang medan saklar	285 m
	c. Lebar medan saklar	82 m

### 3.3. Komponen Utama PLTA Sigura-gura

Untuk menghasilkan energi listrik yang baik, PLTA Sigura-gura memerlukan komponen Essensial maupun komponen pada Power House. Dari hasil pengamatan dan penelitian pada PLTA Sigura-gura, beberapa komponen utama yang dibutuhkan antara lain:

- a. Bendungan/Reservoir
- b. Pintu pengatur/Gate a valve
- c. Tangki peredam/Surge Tank
- d. Pintu pelimpah/Pintu penguras
- e. Pipa pesat/Penstock
- f. Rumah pembangkit/Power House
- g. Turbin air
- h. Saluran pembuang
- i. Generator
- j. Transformator

### 3.3.1. Bendungan/Reservoir

Bendungan merupakan komponen utama yang dibutuhkan dalam sebuah pembangkitan tenaga listrik. Bendungan ini berfungsi sebagai tempat penampungan air dari sumber air untuk memutar turbin. Dari hasil penelitian di PLTA Sigura-gura, PLTA Sigura-gura memiliki 2 bendungan yaitu:

a. Bendungan Pengatur (Regulating Dam)

Bendungan Pengatur (Regulating Dam), yang terletak di Siruar kurang lebih 14,5 km dari Danau Toba. Bendungan ini berfungsi untuk mengatur permukaan air Danau Toba dan kestabilan air keluar dari Danau Toba ke sungai Asahan untuk mensuplai air ke stasiun pembangkit listrik secara konstan. Tipe bendungan ini adalah beton massa dengan ketinggian 39 meter.



**Gambar 3.2. Bendungan Pengatur (Regulating Dam)**

b. Bendungan Penadah Sigura-gura

Bendungan Penadah Air Siguragura (Siguragura Intake Dam) yang terletak di Simorea ini berfungsi sebagai sumber air yang stabil untuk stasiun pembangkit listrik Siguragura. Air yang ditampung di bendungan ini dipergunakan di Stasiun pembangkit listrik Siguragura (Siguragura

Power Station) yang berada 200 m di dalam perut bumi dengan 4 unit generator dan total kapasitas tetap dari keempat generator tersebut adalah 203 MW dan merupakan PLTA bawah tanah pertama di Indonesia. Tipe bendungan ini adalah beton massa dengan ketinggian 46 meter.



**Gambar 3.3. Bendungan Penadah Sigura-gura**

### **3.3.2. Pintu pengatur/Gate**

PLTA Sigura-gura dilengkapi dengan pintu pengatur, karena pintu ini mempunyai fungsi yang sangat vital. Pintu pengatur berfungsi untuk mengatur air yang masuk ke turbin melalui pipa pesat.

**Tabel 3.2 Spesifikasi Pintu Pengatur Air**

No	Tinggi	Lebar
1	7 meter	6 meter



**Gambar 3.4. Pintu pengatur**

### **3.3.3. Tangki Pendatar/Surge Tank**

Tangki pendatar adalah suatu tabung/ pipa yang bertujuan jika air dari DAM tidak seluruhnya digunakan, maka air tersebut akan terisi ke tangki pendatar dan jika beban dinaikkan air tersebut akan dilepas. Tinggi dari tangki pendatar ini adalah 56,4 meter, diameter 12 meter, dengan typenya Restricted orifice type.



**Gambar 3.5. Tangki Peredam/Surge Tank**

### 3.3.4. Pipa Pesat/Penstock

Pipa pesat (Penstock) adalah penyalur air dari bendungan ke turbin. Pipa pesat menuju turbin ini dilengkapi dengan pipa pernafasan udara yang gunanya agar udara yang terjebak dalam pipa pesat dapat keluar dan tidak menghantam sudu-sudu turbin. Pipa pesat pada PLTA sigura-gura terletak dibawah permukaan tanah dengan kata lain pipa pesat yang dimaksud adalah berupa terowongan air. Dalam pipa ini energi potensial air diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar turbin, karena pada PLTA sigura-gura ada 4 unit turbin yang beroperasi, maka terdapat 2 sampai 4 buah pipa pesat dengan ukuran diameter yang berbeda-beda yakni 4 meter di mulai dari head tank sampai dipintu katup turbin dengan ukuran 2 meter dengan panjang 261 meter. Pipa pesat tersebut terbuat dari baja dan air yang melewati pipa pesat akan jatuh ke arah sudu – sudu turbin dan memutarnya.



**Gambar 3.6. Pintu Pipa Pesat**

### 3.3.5. Rumah Pembangkit/Power House

PLTA Sigura-gura memiliki rumah pembangkit (Power House) dengan luas 1710 m<sup>2</sup>. Dalam ruangan Power House ini berisi peralatan utama pengubah energi potensial menjadi energi listrik seperti turbin, generator, panel-panel listriknya seperti sistem kontrol pembangkit itu sendiri. Bangunan ini menyerupai



rumah yang fungsinya untuk melindungi peralatan dari hujan dan gangguan-gangguan lainnya.



**Gambar 3.7. Power House**

### 3.3.6. Turbin Air

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

1. Faktor tinggi jatuh air efektif dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin.
2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Ketiga factor diatas seringkali diekspresikan sebagai “kecepatan spesifik,  $N_s$ ”, yang didefenisikan dengan formula :

$$N_s = N \times P \times H \dots\dots\dots (8)$$

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan :

N = kecepatan putaran turbin

P = maksimum turbin output

H = head efektif

Output turbin dapat dihitung dengan formula :

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Dengan :

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

H = tinggi jatuh air (m)

$\eta$  = efisiensi turbin = 0,8-0,85 untuk turbin pelton  
= 0,8-0,9 untuk turbin francis  
= 0,7-0,8 untuk turbin crossflow  
= 0,8-0,9 untuk turbin propeller kaplan

Jenis turbin yang digunakan pada PLTA Sigura-gura yaitu turbin Francis, seperti gambar 3.8. dibawah ini.



**Gambar 3.8. Turbin Francis**

### 3.3.7. Generator

Generator merupakan salah satu komponen utama yang digunakan oleh PLTA. Oleh karena itu, pemilihan generator harus disesuaikan dengan penggerak mula dari PLTA itu sendiri. Secara umum generator yang sering digunakan adalah generator sinkron. Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang berfungsi untuk merubah energi mekanik dalam bentuk putaran menjadi energi listrik arus bolak-balik. Generator sinkron mempunyai dua bagian pokok, yaitu bagian stator atau bagian dari generator sinkron yang tidak bergerak dan bagian rotor atau bagian generator sinkron yang berputar atau bergerak. Pada generator sinkron yang berukuran besar, bagian stator dipergunakan sebagai tempat belitan medan magnet.

Kecepatan putaran suatu generator sinkron tergantung kepada penggerak mulanya, Seperti pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA), penggerak mulanya berupa turbin. Jadi apabila putaran turbinnya tinggi, maka putaran pada generator juga akan tinggi. Dan jika sebaliknya, jika putaran turbin rendah maka putaran pada generator juga akan rendah. Putaran pada generator selalu dijaga konstan agar frekuensi dan tegangan yang dihasilkan generator sinkron tetap konstan.



**Gambar 3.9. Generator Unit 2 Pada PLTA Sigura-gura**

### 3.3.8. Transformator Daya

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. Pada PLTA Sigura-gura trafo yang digunakan sebanyak 2 buah, yaitu trafo step Up dan trafo step Down. Trafo step Up berfungsi untuk menaikkan tegangan output dari generator dari 11 KV menjadi 275 KV yang salurkan ke sistem jaringan 275 KV dan trafo step Down berfungsi menurunkan tegangan dari 11 KV menjadi 380/220 Volt yang digunakan untuk pemakaian sendiri (PS).

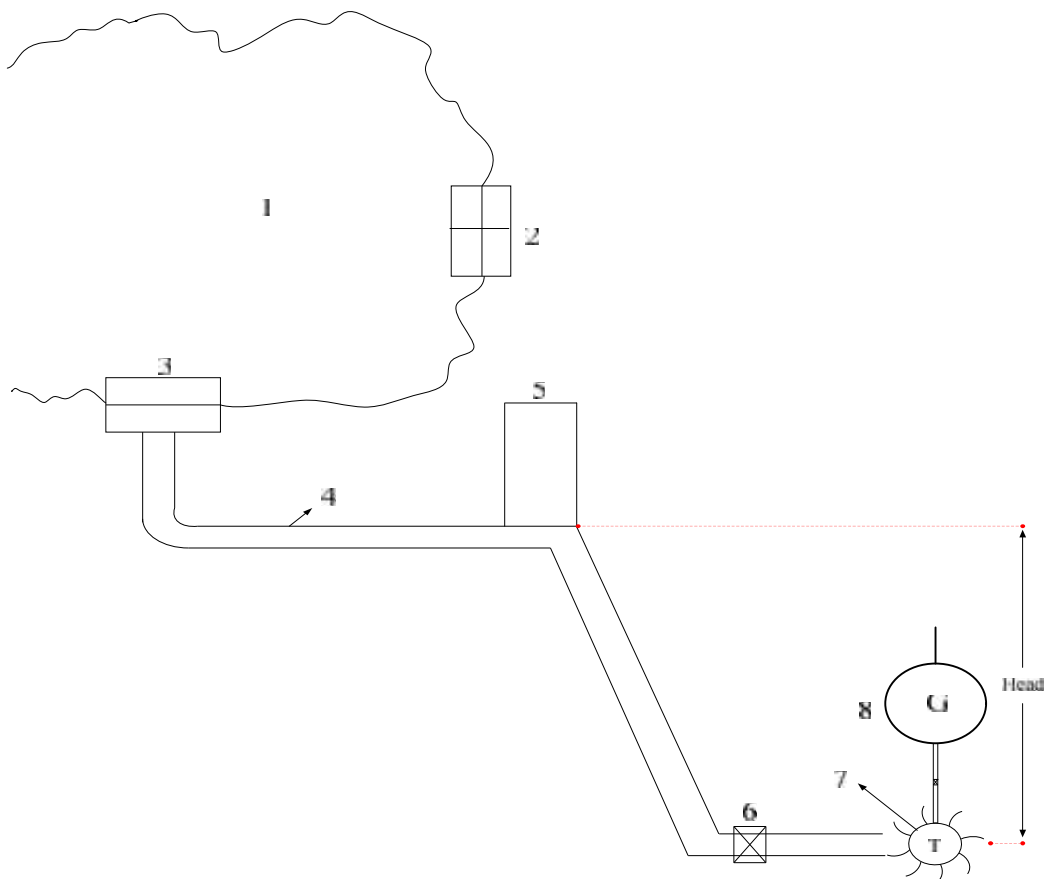


**Gambar 3.10. Trafo Step Up 11 kV ke 275 kV di PLTA Sigura-gura**

### 3.4. Prinsip Pembangkitan PLTA Sigura-gura

Proses konversi energi dari potensi tenaga air menjadi tenaga listrik sering juga disebut prinsip pembangkitan energi listrik. Prinsip pembangkitan energi listrik PLTA Sigura-gura dapat dijelaskan melalui gambar 3.11 berikut ini.

Air mengalir dari bendungan dengan ketinggian  $h$  menuju tempat yang lebih rendah sehingga mempunyai energi potensial. Dalam proses aliran air dalam pipa energi tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik dan energi kinetik tersebut akan diubah menjadi energi mekanik di dalam turbin air, selanjutnya poros dari turbin akan berputar. Perputaran turbin inilah yang digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 3.11. Prinsip Pembangkitan PLTA Sigura-gura

Keterangan gambar 3.12 :

1. DAM
2. Saluran pembuang
3. Intake
4. Pipa pesat/ saluran air
5. Tangki peredam
6. Katup pipa pesat
7. Turbin air
8. Generator

### **3.5. Sinkronisasi Pada Sistem Pembangkit Listrik**

Operasi paralel pusat-pusat tenaga listrik pada dasarnya merupakan perluasan bekerja paralel satu generator dengan generator lain, dengan tambahan resistansi dan reaktansi saluran-saluran interkoneksi. Proses menghubungkan paralel satu generator dengan generator lainnya dinamakan sinkronisasi, atau dapat juga dikatakan bahwa sinkronisasi pada generator adalah memparalelkan kerja dua buah generator atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah generator tersebut dengan syarat syarat yang telah ditentukan.

#### **3.5.1. Syarat-Syarat Proses Sinkronisasi**

Sinkronisasi atau menghubungkan paralel atau sejajar perlu dipenuhi tiga syarat untuk tegangan system-sistem yang akan diparalelkan yaitu:

1. Mempunyai tegangan kerja yang sama.
2. Frekuensi sama.
3. Sefasa.
4. Mempunyai sudut phase yang sama.

#### **3.5.2. Penjabaran Syarat Sinkronisasi**

Penjabaran syarat sinkronisasi dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Mempunyai tegangan kerja yang sama

Dengan adanya tegangan kerja yang sama diharapkan pada saat diparalel dengan beban kosong power faktornya 1. Dengan power factor 1 berarti tegangan antara 2 generator persis sama .jika 2 sumber tegangan itu berasal dari dua sumber yang sifatnya statis misal dari battery atau transformator maka tidak akan ada arus antara keduanya. Namun karena dua sumber merupakan sumber tegangan yang dinamis (generator) Maka power faktornya akan terjadi deviasi naik dan turun secara periodic bergantian dan berlawanan. Hal ini terjadi karena adanya sedikit perbedaan sudut phase yang sesekali bergeser karena factor gerak dinamis dari penggerak.Itu bisa dibuktikan dengan membaca secara bersamaan Rpm dari misal dua Generator dalam keadaan sinkron Generator 1 mempunyai kecepatan putar 1500 dan generator 2. mempunyai kecepatan putar 1501 maka terdapat selisih 1 putaran / menit Dengan perhitungan  $1/1500 \times 360$  derajat maka terdapat beda fase 0,24 derajat dan jika dihitung selisih tegangan sebesar  $\cos \phi$  0,24 derajat x tegangan nominal (400 V) tegangan nominal (400 V) dan selisihnya sekitar V dan selisih tegangan yang kecil cukup mengakibatkan timbulnya arus sirkulasi antara 2 buah generator tersebut dan sifatnya tarik menarik. Dan itu tidak membahayakan. Dan pada saat dibebani bersama sama maka power faktornya akan relative sama sesuai dengan power faktor beban. Memang sebaiknya dan idealnya masing masing generator menunjukkan power factor yang sama. Namun jika terjadi power factor yang berbeda dengan selisih tidak terlalu banyak tidak terjadi akibat apa apa. Akibatnya salah satu generator yang mempunyai nilai power.

Faktor rendah akan mempunyai nilai arus yang sedikit lebih tinggi. Yang penting diperhatikan adalah tidak melebihi arus nominal dan daya nominal dari generator. Pada generator yang akan diparalel biasanya didalam alternatornya ditambahkan peralatan yang dinamakan Droop kit . Droop kit ini berupa current transformer yang dipasang. disebagian lilitan dan outputnya disambungkan ke AVR. Droop kit ini berfungsi untuk mengatur power factor berdasarkan besarnya arus beban, sehingga pembagian beban KVAR diharapkan sama pada KW yang sama.

2. Mempunyai urutan phase yang sama

Yang dimaksud urutan phase adalah arah putaran dari ketiga phase. Arah urutan ini dalam dunia industri dikenal dengan nama CW (clock wise) yang artinya searah jarum jam dan CCW (counter clock wise) yang artinya berlawanan dengan jarum jam. Hal ini dapat diukur dengan alat phase sequence type jarum. Dimana jika pada saat mengukur jarum bergerak berputar kekanan dinamakan CW dan jika berputar ke kiri dinamakan CCW. Disamping itu dikenal juga urutan phase ABC dan CBA. ABC identik dengan CW sedangkan CBA identik dengan CCW.

### 3. Mempunyai frekuensi kerja yang sama

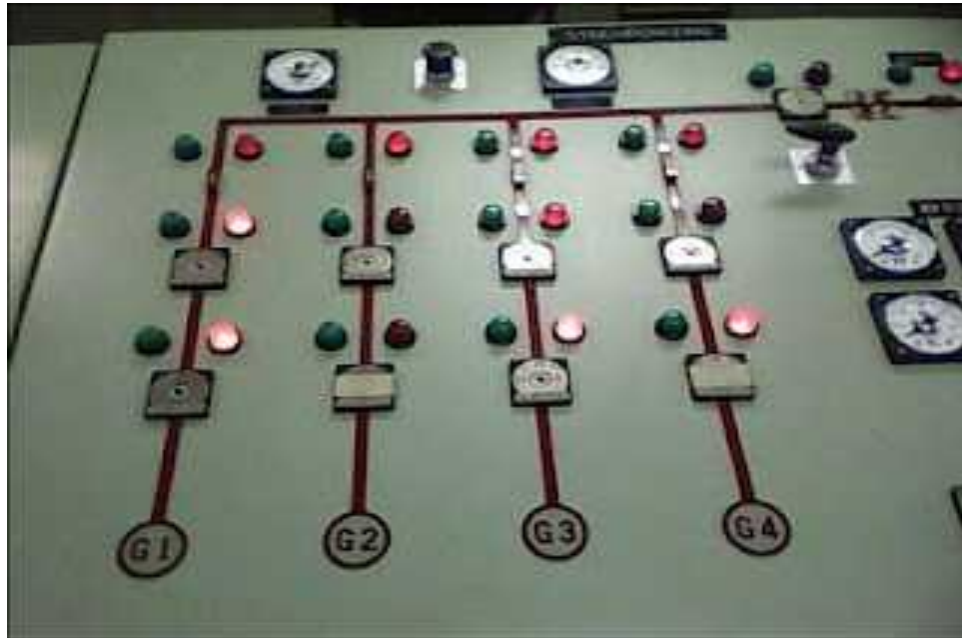
Didalam dunia industri dikenal 2 buah system frekuensi yaitu 50 hz dan 60 hz Dalam operasionalnya sebuah generator bisa saja mempunyai frekuensi yang fluktuatif (berubah ubah) karena factor factor tertentu. Pada jaringan distribusi dipasang alat pembatas frekuensi yang membatasi frekuensi pada minimal 48,5 hz dan maksimal 51,5 Hz. Namun pada Generator pabrik over frekuensi dibatasi sampai 55 Hz sebagai over speed. Pada saat hendak paralel, dua buah generator tentu tidak mempunyai frekuensi yang sama persis. Jika mempunyai frekuensi yang sama persis maka generator tidak akan bisa paralel karena sudut phasanya belum sesuai, salah satu harus dikurang sedikit atau dilebihi sedikit untuk mendapatkan sudut phase yang tepat. Setelah dapat disinkron dan berhasil sinkron baru kedua generator mempunyai frekuensi yang sama-sama persis.

### 4. Mempunyai sudut phase yang sama

Mempunyai sudut phase yang sama bisa diartikan , kedua phase dari 2 generator mempunyai sudut phase yang berhimpit sama atau 0 derajat. Dalam kenyataannya tidak memungkinkan mempunyai sudut yang berhimpit karena genset yang berputar meskipun dilihat dari parameternya mempunyai frekuensi yang sama namun jika dilihat menggunakan synchroscope pasti bergerak labil. ke kiri dan kekanan, dengan kecepatan sudut radian yang ada sangat sulit untuk mendapatkan sudut berhimpit dalam jangka waktu 0,5 detik. Breaker butuh waktu tidak kurang dari 0,3 detik untuk close pada saat ada perintah close pada proses sinkron masih diperkenankan perbedaan sudut maksimal 10 derajat. Dengan perbedaan sudut maksimal 10 derajat selisih tegangan yang terjadi berkisar 4 Volt.



Peralatan modul untuk mengakomodasi kebutuhan synchrone Generator, yaitu Load sharing, Synchronizing, Dependent start stop, dan lain lain.



**Gambar 3.12: Panel Sinkronisasi Generator**