



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

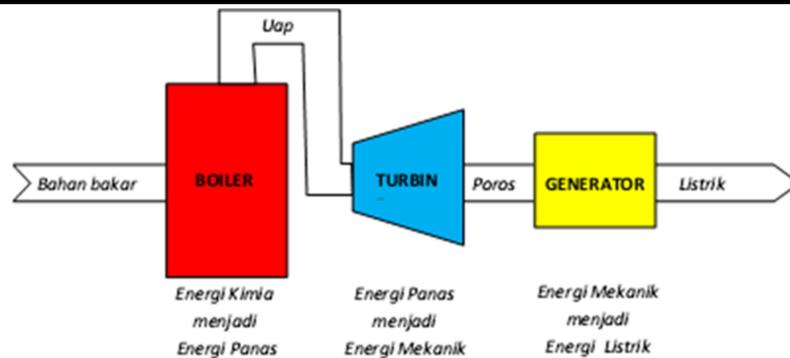
#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

##### 2.1.1 Pengertian PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang memanfaatkan energi dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Penggerak utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana hasil keluarannya akan memutar turbin yang berupa energi kinetik dari uap panas atau kering. Pembangkit Listrik Tenaga Uap menggunakan berbagai macam bahan bakar seperti batu bara ataupun arang kayu dan solar guna bahan bakar untuk start awal. Kelebihan PLTU adalah daya yang dihasilkan relatif besar untuk memasok daya yang diperlukan.

PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan baling-baling turbin yang akan menggerakkan generator dan berujung pada dibangkitkannya energi listrik. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

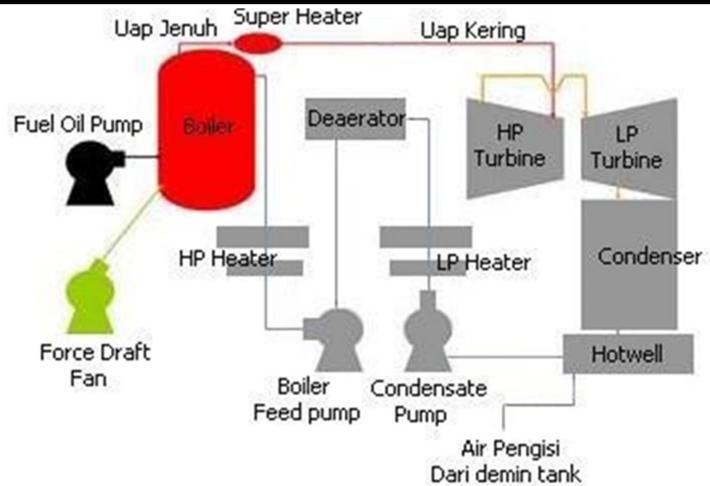


Gambar 2.1 Proses Konversi Energi pada PLTU

### 2.1.2 Prinsip Kerja PLTU

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut:

1. Air diisi ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energilistrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketikaturbine berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.
4. Uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang- ulang.



Gambar 2.2 Siklus fluida kerja sederhana pada PLTU

### 2.1.3 Komponen Utama PLTU

PLTU merupakan mesin pembangkit termal yang terdiri dari komponen utama dan komponen bantu (sistem penunjang) serta sistem-sistem lainnya. Komponen utama terdiri dari empat komponen, yaitu:

#### 1. Boiler (ketel uap)



Gambar 2.3 Boiler

Boiler atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan boiler adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi.



Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. Boiler yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler*.

## 2. Turbin uap

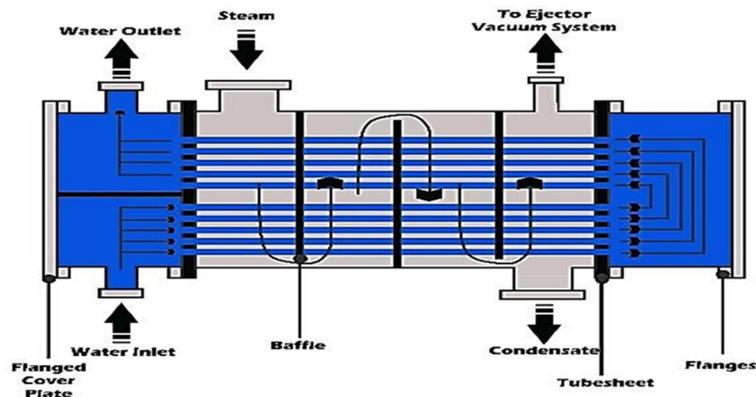


Gambar 2.4 Turbin

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik. Turbin uap terdiri dari sebuah cakram yang dikelilingi oleh daun-daun cakram yang disebut sudu-sudu. Sudu-sudu ini berputar karena tiupan dari uap bertekanan yang berasal dari ketel uap, yang telah dipanasi terdahulu dengan menggunakan bahan bakar padat, cair dan gas. Uap tersebut kemudian dibagi dengan menggunakan control valve yang akan dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan pompa dan juga sama halnya dikopel dengan sebuah generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik.



### 3. Kondensor



Gambar 2.5 Kondensor

Kondensor adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). Dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensor diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan. Proses perubahan uap menjadi air dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa pendingin (tubes). Uap mengalir diluar pipa-pipa sedangkan air sebagai pendingin mengalir didalam pipa-pipa.

### 4. Generator



Gambar 2.6 Generator



Generator merupakan mesin listrik yang difungsikan untuk menghasilkan listrik yang berjenis AC atau arus listrik bolak-balik yang mana arus listrik bolak-balik ini bekerja dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Energi mekanik diperoleh dari putaran rotor yang dikopel dengan turbin sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan kumparan rotor yang kemudian motor tersebut telah diinduksi sebelumnya dengan tegangan DC atau tegangan listrik agar putaran turbin mencapai 3000 RPM.

Prinsip kerja generator listrik secara umum adalah :

1. Kumparan Medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber tegangan eksitasi atau singkatnya dari tegangan eksitasi ini generator dapat menghasilkan daya dan juga rotor akan dikopel dengan turbin yang ada. Dengan adanya penginjeksian tegangan DC atau tegangan searah tertentu pada rotor yang akan masuk, arus searah atau arus DC akan mengalir melalui kumparan medan dan kemudian akan menimbulkan fluks yang besarnya berpengaruh terhadap waktu. Besar injeksi tegangan eksitasi berkisar kurang-lebih 6500 Volt yang akan terlihat pada unitrol ABB dimana pengaturan tegangan ekstasi ini bisa dikatakan berjenis Automatic Voltage Regulator atau AVR.
2. Turbin yang telah dikopel dengan rotor akan berputar sesuai dengan kecepatan dari turbin yang ada.
3. Perputaran tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan yang kemudian medan putar stator dan rotor akan diinduksikan pada kumparan sehingga kumparan pada stator akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya. Adanya perubahan fluks magnetik pada akhirnya akan mengakibatkan adanya daya listrik oleh generator itu sendiri.



## 2.2 Jam Kerja Pembangkit

Berikut ini adalah faktor-faktor yang dapat mempengaruhi jam kerja suatu pembangkit yakni sebagai berikut.

### 1. *Period Hours (P.H)*

*Period Hours* adalah jam kerja unit operasional dalam waktu tertentu yang sedang diamati. Dalam hal ini waktu pengamatan adalah tahun 2020.

Persamaan :

$$P.H = \text{Jumlah jam kerja} \times \text{jumlah hari dalam satu tahun} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$$P.H = \text{Period Hours (Jam)}$$

### 2. *Planned Outage Hours (P.O.H)*

*Planned Outage Hours* adalah jumlah jam pemeliharaan yang direncanakan dalam satu tahun.

### 3. *Forced Outage Hours (F.O.H)*

*Forced Outage Hours* adalah jumlah jam unit keluar karena adanya gangguan secara tiba-tiba.

### 4. *Maintenance Outage Hours (M.O.H)*

*Maintenance Outage Hours* adalah jumlah jam unit keluar karena adanya pemeliharaan yang terjadi diluar Unit Inspection.

### 5. *Reserve Shutdown Hours (R.S.H)*

*Reserve Shutdown Hours* adalah jumlah jam unit keluar dalam keadaan standby, karena kebutuhan listrik konsumen menurun.

### 6. *Available Hours (A.H)*

*Available Hours* adalah jumlah jam dari kesiapan unit untuk beroperasi.

Persamaan :

$$A.H = P.H - P.O.H - F.O.H - M.O.H \dots\dots\dots(2.2)$$



Dimana :

A.H = *Available Hours* (Jam)

P.H = *Period Hours* (Jam)

P.O.H = *Planned Outage Hours* (Jam)

F.O.H = *Forced Outage Hours* (Jam)

M.O.H = *Maintenance Outage Hours* (Jam)

### 7. *Service Hours* (S.H)

*Service Hours* adalah jumlah jam unit beroperasi dengan kondisi unit siap untuk menyalurkan tenaga listrik.

Persamaan :

$$S.H = P.H - P.O.H - F.O.H - M.O.H - R.S.H \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

A.H = *Available Hours* (Jam)

P.H = *Period Hours* (Jam)

P.O.H = *Planned Outage Hours* (Jam)

F.O.H = *Forced Outage Hours* (Jam)

M.O.H = *Maintenance Outage Hours* (Jam)

R.S.H = *Reserve Shutdown Hours* (Jam)

## 2.3 Indeks Kinerja Pembangkit

Fungsi perencanaan sistem menggunakan Indeks Kinerja Pembangkit sebagai dasar perhitungan tingkat keandalan sistem. Sesuai Protap DKP-IKP tahun 2007, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi naik turunnya produksi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh suatu pembangkit yakni sebagai berikut.

### 1. *Planned Outage Factor* (P.O.F)

*Planned Outage Factor* adalah faktor unit yang keluar karena terdapat Unit Inspection.



Persamaan :

$$P.O.F = \frac{P.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

P.O.F = *Planned Outage Factor*

P.O.H = *Planned Outage Hours (Jam)*

P.H = *Period Hours (Jam)*

## 2. **Forced Outage Factor (F.O.F)**

*Forced Outage Factor* adalah faktor unit keluar karena terdapat gangguan.

Persamaan :

$$F.O.F = \frac{F.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

F.O.F = *Forced Outage Factor*

F.O.H = *Forced Outage Hours (Jam)*

P.H = *Period Hours (Jam)*

## 3. **Maintenance Outage Factor (M.O.F)**

*Maintenance Outage Factor* adalah faktor unit keluar karena adanya pemeliharaan.

Persamaan :

$$M.O.F = \frac{M.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

M.O.F = *Maintenance Outage Factor*

M.O.H = *Maintenance Outage Hours (Jam)*

P.H = *Period Hours (Jam)*



#### 4. *Reserve Shutdown Factor (R.S.F)*

*Reserve Shutdown Factor* adalah faktor unit keluar karena kebutuhan listrik turun

$$R.S.F = \frac{R.S.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

R.S.F = *Reserve Shutdown Factor*

R.S.H = *Reserve Shutdown Hours* (Jam)

P.H = *Period Hours* (Jam)

#### 5. *Operating Availability Factor (O.A.F)*

*Operating Availability Factor* adalah faktor kesiapan unit untuk membangkitkan tenaga listrik.

Persamaan :

$$O.A.F = \frac{A.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

O.A.F = *Operating Availability Factor*

A.H = *Available Hours* (Jam)

P.H = *Period Hours* (Jam)

#### 6. *Capacity Factor (C.F)*

*Capacity Factor* adalah faktor kapasitas unit dalam beroperasi.

Persamaan :

$$C.F = \frac{\text{Produksi}}{P.H \times \text{daya terpasang}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

C.F = *Capacity Factor*

Produksi Gross = (KWh)

P.H = *Period Hours* (Jam)

Daya Terpasang = (MW)



### 7. *Service Factor (S.F)*

*Service Factor* adalah faktor service (kesiapan) operasional suatu unit.

Persamaan :

$$S.F = \frac{S.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

S.F = *Service Factor*

S.H = *Service Hours* (Jam)

P.H = *Period Hours* (Jam)

### 8. *Cos phi/Output Factor*

*Cos phi/Output Factor* adalah faktor daya pembebanan unit.

## 2.4 **Produksi Energi Listrik**

Adapun perhitungan produksi dari energi listrik pembangkit :

### 1. **Produksi Gross**

Produksi Gross adalah produksi kotor yang dihasilkan.

Persamaan :

$$\text{Produksi Gross} = S.H \times \text{Daya Terpasang} \times \text{Cos } \varphi \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

Produksi Gross = (MWh)

S.H = *Service Hours* (Jam)

Daya Terpasang = (MW)

Cos  $\varphi$  = *Cos phi/Output Factor*