

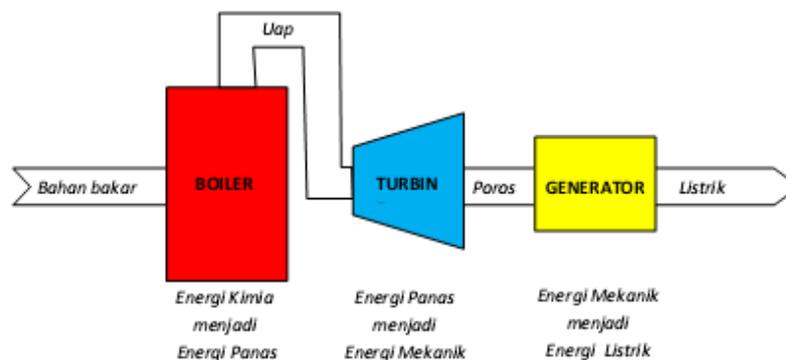
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian PLTU¹

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. PLTU merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi 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.



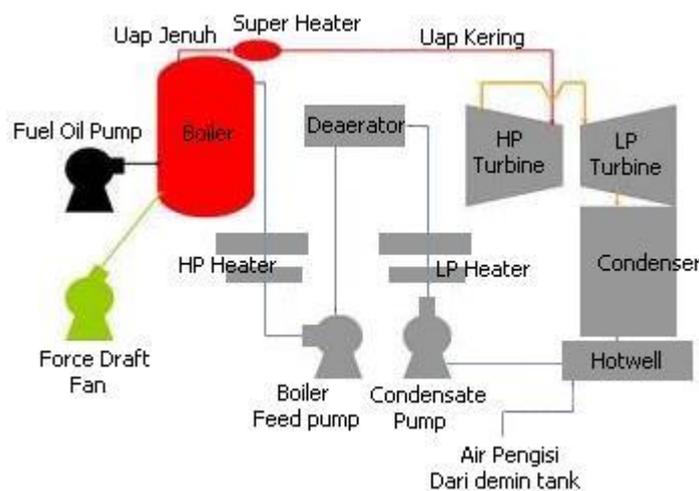
Gambar 2.1 Proses Konversi Energi pada PLTU

2.2 Prinsip kerja PLTU

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

¹ Djiteng marsudi penerbit erlangga “pembangkitan energi listrik” jakarta tahun 2011

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 energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin 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

2.3 Komponen Utama PLTU²

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:

- Boiler (ketel uap)
- Turbin Uap
- Kondensor
- Generator

2.3.1 Boiler (ketel uap)

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*.

2.3.2 Turbin uap

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.

2.3.3 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

² Djiteng marsudi penerbit erlangga “pembangkitan energi listrik” jakarta tahun 2011

supaya panas yang keluar saat pengoperasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.

2.3.4 Generator

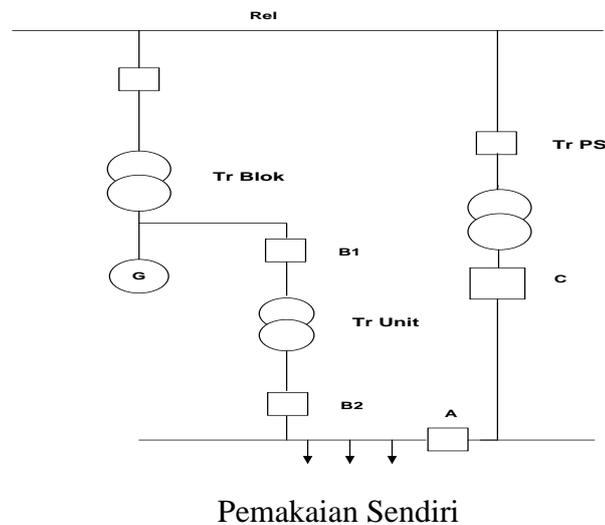
Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang bergerak (rotor). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat stator. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal dari turbin, baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik.

2.4 Trafo Pemakaian Sendiri³

Pada pusat pembangkit listrik memerlukan tenaga listrik untuk pemakaian di dalam pusat pembangkit listrik. Tenaga listrik untuk pemakaian di dalam pusat pembangkit listrik digunakan untuk :

1. Lampu penerangan
2. Penyejuk udara
3. Menjalankan alat-alat bantu unit pembangkit, seperti: pompa air pendingin, pompa minyak pelumas, pompa transfer bahan bakar minyak, mesin perangkat, dan lain-lain.
4. Pengisian batre aku yang merupakan sumber arus searah bagi pusat pembangkit listrik.

³ Djiteng marsudi penerbit erlangga “pembangkitan energi listrik” jakarta tahun 2011



Gambar 2.3 Pusat Listrik besar

Instalasi sendiri pada pusat listrik dengan kapasitas di atas 15MW keterangan:

G : Generator

Tr ps: Trafo pemakaian sendiri

Tr Blok: transformator blok

Tr Unit: Transformator unit

Pada unit pembangkit besar, setiap unit pembangkit memiliki transformator pemakaian sendiri (Tr PS) yang dipasok langsung oleh generator (G). Tetapi pada saat start, generator (G) belum berputar sehingga belum menghasilkan tegangan. Sedangkan padahal pada saat itu sudah diperlukan daya untuk menjalankan alat-alat bantu, maka daya terlebih dahulu di ambil dari transformator pemakaian sendiri bersama. Setelah generator (G) berputar dan menghasilkan tegangan, PMT B ditutup. Kemudian disusul dengan pembukaan PMT A sehingga pasokan daya alat-alat bantu berpindah ke generator (G).

Pada saat PMT B ditutup dan sebelum PMT A dibuka, terjadi penutupan rangkaian ring. Perlu di perhatikan bahwa transformator-transformator yang ada di dalam ring tidak menimbulkan pergeseran fasa tegangan sehingga tidak terjadi gangguan.

Besarnya energi yang di perlukan untuk pemakaian sendiri berkisar antara 1-10% dari produksi energi yang di hasilkan oleh pusat listrik. Hal ini sangat tergantung kepada jenis pusat listriknya, dimana yang paling kecil umumnya



PLTA dan paling besar umumnya PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara. Apabila terjadi gangguan besar dan semua unit pembangkit trip, maka tidak tersedia tegangan untuk menjalankan alat-alat bantu dalam rangka start kembali. Dalam keadaan demikian diperlukan pengiriman tegangan diluar pusat listrik, dimana seharusnya ada unit pembangkit yang dapat start sendiri (black start) tanpa ada tegangan dari luar.

Umumnya yang bisa melakukan black start kebanyakan adalah unit pembangkit listrik tenaga air (PLTA) atau unit pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD).

2.5 Macam-macam Daya Listrik⁴

Sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri dari tiga elemen yaitu pusat pembangkit, Transmisi dan pusat beban.

Jarak antar pusat pembangkit dan pusat beban tergantung dari lokasi daerah dan macam pusat pembangkit yang digunakan. Sebagai contoh, Pusat Tenaga Listrik Air (PLTA) lokasinya sudah tertentu menurut letak tenaga air yang tersedia. Sedangkan pusat listrik tenaga uap (PLTU) lokasinya harus dekat air dan biasanya fleksibel (dekat) jaraknya dibandingkan PLTA.

Karena jaraknya berbeda-beda antara pusat listrik dan pusat beban diatas, maka daya listrik yang akan dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat (saluran-saluran) transmisi dengan panjang yang berbeda-beda pula menurut kebutuhan.

Seperti yang telah diketahui bahwa daya listrik dibagi menjadi tiga macam daya, yaitu :

1. Daya Aktif
2. Daya Semu
3. Daya Reaktif

Namun untuk pengertian daya dapat dikatakan adalah hasil perkalian antara

⁴ Cekmas Cekdin & Taufik Barlian, 2013." *Rangkaian Listrik*" Hal 69. Jakarta : Penerbit Andi



tegangan dengan arus serta dipengaruhi oleh faktor kerja ($\text{Cos } \emptyset$). Untuk lebih jelas mengenai macam-macam daya ini dapat dilihat pada penjelasan berikut ini :

2.5.1 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya, dimana dalam persamaannya dapat dituliskan seperti dibawah ini:

$$P_{1\phi} = V_p \times I_p \times \text{Cos } \emptyset \dots\dots\dots(2.1)$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \text{Cos } \emptyset \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- P = Daya Aktif
- I = Arus
- V_p = Tegangan Phasa
- V_L = Tegangan Line
- $\text{Cos } \emptyset$ = Faktor Daya

2.5.2 Daya Semu

Daya semu adalah daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi, diimana daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dibawah ini :

$$S_{1\phi} = V_p \times I_p \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- S = Daya Semu
- I = Arus yang mengalir pada penghantar
- V_p = Tegangan Phasa
- V_L = Tegangan Line



2.5.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, yang mana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali besarnya arus dikalikan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor kerja $\sin \phi$.

Daya reaktif ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_1\phi = V_p \times I_p \times \sin \phi \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Q_3\phi = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \phi \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif

I = Arus

V_p = Tegangan Phasa

V_L = Tegangan Line

$\sin \phi$ = Faktor Daya Reaktif



2.6 Perhitungan Jam Kerja Unit⁵

Adapun bagian dari perhitungan jam kerja unit, yaitu :

- Period Hours (P.H).....(2.7)
- Planned Outage Hours (P.O.H).....(2.8)
- Forced Outage Hours (F.O.H).....(2.9)
- Maintenance Outage Hours (M.O.H).....(2.10)
- Reserve Shutdown Hours (R.S.H).....(2.11)
- Available Hours (A.H).....(2.12)
- Service Hours (S.H).....(2.13)

2.6.1 Period Hours (P.H)

Period Hours adalah jumlah jam kerja unit dalam satu tahun.

Contoh untuk tahun 2015 :

Jumlah hari kalender = 365 hari,

Maka jumlah jam kerja unit adalah $24 \times 365 = 8760$ jam

Rumus :

$$P.H = \text{jumlah jam kerja unit} \times \text{jumlah hari dalam satu tahun}$$

2.6.2 Planned Outage Hours (P.O.H)

Planned Outage Hours adalah jumlah jam pemeliharaan yang direncanakan.

2.6.3 Forced Outage Hours (F.O.H)

Forced Outage Hours adalah jumlah jam unit keluar karena adanya gangguan.

⁵ PT.PLN (Persero) Sektor Suralaya.1996."Buku Panduan Perencanaan Operasi Dan Pemeliharaan".



2.6.4 Maintenance Outage Hours (M.O.H)

Maintenance Outage Hours adalah jumlah jam unit keluar karena adanya pemeliharaan (diluar Unit Inspection).

Misalnya :

- Pemberihan slagging di boiler.
- Pembersihan isolator.

2.6.5 Reserve Shutdown Hours (R.S.H)

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

2.6.6 Available Hours (A.H)

Available Hours adalah jumlah jam kesiapan unit beroperasi.

Rumus :

$$A.H = PH - POH - FOH - MOH \dots \dots \dots (2.14)$$

2.6.7 Service Hours (S.H)

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

Rumus :

$$S.H = PH - POH - FOH - MOH - RSH \dots \dots \dots (2.15)$$

2.7 Faktor-faktor Produksi⁶

⁶ PT.PLN (Persero) Sektor Suralaya.1996.”Buku Panduan Perencanaan Operasi Dan



Adapun bagian dari faktor-faktor produksi, yaitu :

- Planned Outage Factor (P.O.F)
- Maintenance Outage Factor (M.O.F)
- Forced Outage Factor (F.O.F)
- Reserve Shutdown Factor (R.S.F)
- Output Factor (O.F)
- Output Availability Factor (O.A.F)
- Capacity Factor (C.F)
- Service Factor (S.F)

2.7.1 Planned Outage Factor (P.O.F)

Planned Outage Factor adalah faktor unit keluar karena adanya unit inspection.

Rumus :

$$P.O.F = \frac{P.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$

2.7.2 Maintenance Outage Factor (M.O.F)

Maintenance Outage Factor adalah faktor unit keluar karena adanya pemeliharaan.

Rumus :

$$M.O.F = \frac{M.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

2.7.3 Forced Outage Factor (F.O.F)

Forced Outage Factor adalah faktor unit keluar karena adanya gangguan.

Rumus :

$$F.O.F = \frac{F.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.18)$$



2.7.4 Reserve Shutdown Factor (R.S.F)

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

Rumus :

$$R.S.F = \frac{R.S.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.19)$$

2.7.5 Output Factor (O.F)

Output Factor adalah faktor pembebanan unit.

2.7.6 Output Availability Factor (O.A.F)

Output Availability Factor adalah factor kesiapan unit untuk membangkitkan tenaga listrik.

Rumus :

$$O.A.F = \frac{A.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

2.7.7 Capacity Factor (C.F)

Capacity Factor adalah faktor kapasitas unit.

Rumus :

$$C.F = \frac{Produksi}{P.H \times Daya \text{ terpasang}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.21)$$

2.7.8 Service Factor (S.F)

Service Factor adalah faktor service (kesiapan) Unit.

Rumus :

$$S.F = \frac{S.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(2.22)$$

2.8 Perhitungan Produksi Energi Listrik

Adapun perhitungan produksi, yaitu :



- Produksi Gross
- Produksi Net

2.8.1 Produksi Gross

Rumus :

$$\text{Produksi Gross} = S.H \times \text{Daya Terpasang} \times O.F \dots\dots\dots(2.23)$$

2.8.2 Produksi Net

Rumus:

$$\text{Pemakaian Sendiri (PS)} = 7,4\% \times \text{Produksi Gross} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$\text{Produksi Net} = \text{Produksi Gross} - \text{Pemakaian Sendiri} \dots\dots\dots(2.25)$$