

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

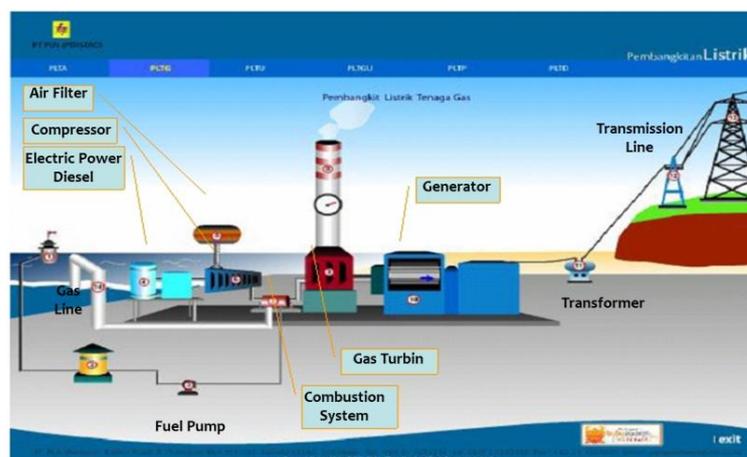
2.1 Pengertian PLTG

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) adalah pembangkit listrik yang menggunakan gas alam untuk menggerakkan turbin gas yang dikopel langsung dengan generator, sehingga generator tersebut dapat menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja ini sama dengan prinsip kerja PLTU. Yang membedakan adalah pada PLTU, untuk memutar turbin digunakan uap air yang diperoleh dengan mendidihkan air. Sehingga dibutuhkan suatu *boiler* untuk mendidihkan air tersebut. Sedangkan pada PLTG tidak ditemukan adanya *boiler*.

2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Turbin gas suatu PLTG berfungsi untuk mengubah energi yang terkandung di dalam bahan bakar, menjadi mekanis. Fluida kerja untuk memutar turbin gas adalah gas panas yang diperoleh dari proses pembakaran. Proses pembakaran memerlukan tiga unsur utama yaitu:

1. Bahan Bakar
2. Udara
3. Panas

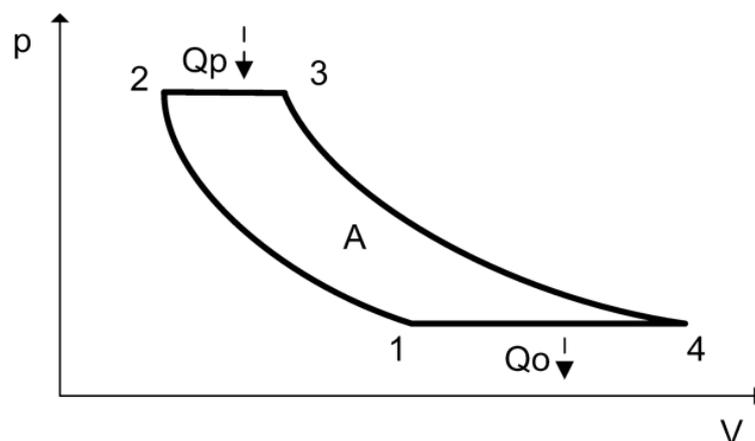


Gambar 2.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Pada awalnya, udara dimasukkan ke dalam kompresor untuk ditekan hingga temperatur dan tekanannya naik. Proses ini disebut dengan proses kompresi. Udara yang dihasilkan dari kompresor akan digunakan sebagai udara pembakaran dan juga untuk mendinginkan bagian-bagian turbin gas.

Setelah dikompresi, udara tersebut dialirkan ke ruang bakar. Dalam ruang bakar, udara bertekanan 13 kg/cm^2 ini dicampur dengan bahan bakar dan dibakar. Apabila digunakan bahan bakar gas (BBG), maka gas dapat langsung di campur dengan udara untuk dibakar, tetapi apabila digunakan bahan bakar minyak (BBM), maka BBM ini harus dijadikan kabut terlebih dahulu kemudian baru dicampur dengan udara untuk dibakar. Teknik mencampur bahan bakar dengan udara dalam ruang bakar sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran.

Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar menghasilkan gas bersuhu tinggi sampai kira-kira 1.300°C dengan tekanan 13 kg/cm^2 . Gas hasil pembakaran ini kemudian dialirkan menuju turbin untuk disemprotkan kepada sudu-sudu turbin sehingga energi (*enthalpy*) gas ini dikonversikan menjadi energy mekanik dalam turbin penggerak generator (dan kompresor udara) dan akhirnya generator menghasilkan tenaga listrik.

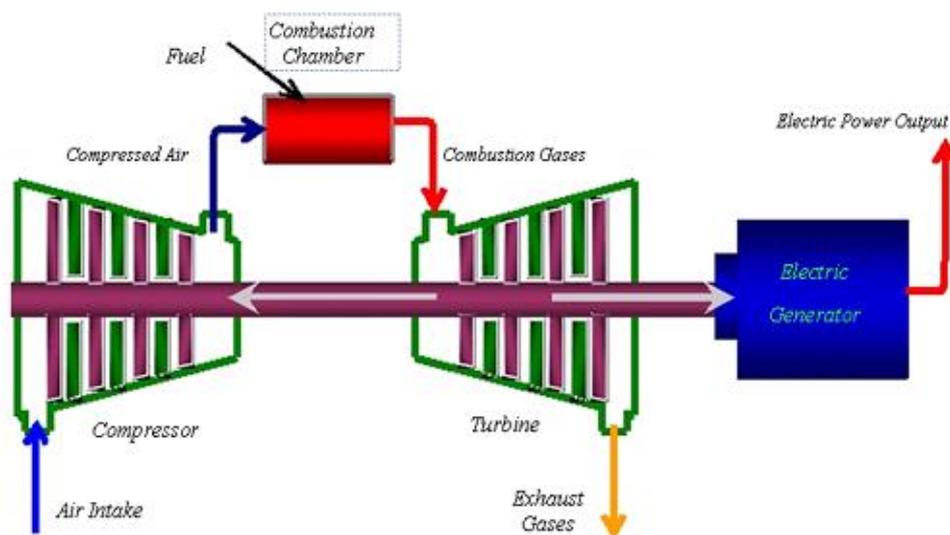


Gambar 2.2 Siklus Brayton

2.3 Siklus PLTG

Siklus PLTG berurut sebagai berikut:

1. Pertama-tama udara ditekan dengan kompresor ke ruang bakar.
2. Di Ruang bakar udara dibakar dengan bahan bakar gas alam.
3. Udara yang dibakar akan menghasilkan gas dengan tekanan dan temperatur yang sangat tinggi.
4. Selanjutnya gas dialirkan ke turbin untuk memutar turbin, generator dikoppel secara langsung dengan turbin, dengan demikian bila turbin berputar maka generator berputar. Kompresor juga seporos dengan turbin. Jadi tekanan gas yang dihasilkan dari ruang bakar selain memutar turbin juga untuk memutar *compressor*.
5. Selanjutnya gas dari turbin dibuang kembali ke udara.



Gambar 2.3 Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

2.4 Komponen Utama Dan Komponen Bantu PLTG

PLTG merupakan mesin pembangkit termal yang terdiri dari komponen utama dan komponen bantu (sistem penunjang) serta sistem-sistem lainnya.

Komponen utama terdiri dari tiga , yaitu:

1. Turbin gas (*Gas turbine*)
2. Kompresor (*Compressor*)
3. Ruang Bakar

Sedangkan Komponen bantu terdiri dari tujuh, yaitu:

1. *Air intake*
2. *Blow off valve*
3. *Vigv (Variable inlet guide fan)*
4. *Ignitor*
5. *Hydraulic rotor barring*
6. *Power oil system*
7. *Jacking oil system*

2.4.1 Turbin gas (*Gas Turbine*)

Turbin gas berfungsi untuk mengubah energi gerak gas menjadi energi putar.



Gambar 2.4 Turbin Gas

2.4.2 Kompresor utama (Compressor)

Kompresor utama berfungsi untuk meningkatkan temperatur dan tekanan udara.

2.4.3 Ruang bakar (*Combustor*)

Ruang bakar berfungsi untuk membakar bahan bakar dengan menghembuskan udara yang telah dinaikan temperatur dan tekanannya di kompresor.

2.4.4 Air intake

Air intake berfungsi mensuplai udara bersih ke dalam kompresor.

2.4.5 Blow off valve

Blow off valve berfungsi mengurangi besarnya aliran udara yang masuk ke dalam kompresor utama atau membuang sebagian udara dari tingkat tertentu untuk menghindari terjadinya stall (tekanan udara yang besar dan tiba-tiba terhadap sudu kompresor yang menyebabkan patahnya sudu kompresor).

2.4.6 Vign (Variable inlet guide fan)

Vign berfungsi untuk mengatur jumlah volume udara yang akan dikomperasikan sesuai kebutuhan.

2.4.7 Ignitor

Ignitor berfungsi penyalaan awal atau *star up*. Campuran bahan bakar dengan udara dapat menyala oleh percikan bunga api dari ignitor yang terpasang di dekat *fule nozzle burner* dan campuran bahan bakar menggunakan bahan bakar propane atau lpg.

2.4.8 Lube oil system

Lube oil system berfungsi memberikan pelumasan dan juga sebagai pendingin bearing-bearing seperti bearing turbin, *compressor*, generator, memberikan minyak pelumas ke *jacking oil system*. Memberikan suplai minyak

² Aritonang, J. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap

pelumas ke *power oil system*. System pelumas di dinginkan oleh air pendingin siklus tertutup.

2.4.9 Hydraulic rotor barring

Rotor bearing system terdiri dari; DC pump, Manual Pump, *Constant pressure, valve, pilot valve, hydraulic piston rotor barring*. *Rotor barring* beroperasi pada saat unit *stand by* dan unit *shutdown* (selesai operasi). *Rotor barring on* < 1 rpm. Akibat yang timbul apabila *rotor barring* bermasalah ialah *rotor* bengkok dan saat *star up* akan timbul vibrasi yang tinggi dan dapat menyebabkan gas turbin trip.

2.4.10 Exhaust fan oil vapor

Exhaust fan oil vapor berfungsi utama membuang gas-gas yang tidak terpakai yang terbawa oleh minyak pelumas setelah melumasi bearing-bearing turbin, kompresor dan generator. Fungsi lain adalah membuat *vacuum* di *lube oil tank* yang tujuannya agar proses minyak kembali lebih cepat dan untuk menjaga kerapatan minyak pelumas di bearing-bearing (*seal oil*) sehingga tidak terjadi kebocoran minyak pelumas di sisi bearing

2.4.11 Power oil system

Power oil system berfungsi mensuplai minyak pelumas ke:

1. *Hydraulic piston* untuk menggerakkan *Vigv*
2. *Control-control valve* (Cv untuk bahan bakar dan cv untuk air)
3. *Protecion* dan *safety system* (*trip valve staging valve*) terdiri dari 2 buah pompa yang di gerakan oleh motor AC

2.4.12 Jacking oil system

Jacking oil system berfungsi mensuplai minyak ke journal bearing saat unit down atau stand by dengan tekanan yang tinggi dan membentuk lapisan film di bearing. Terdiri dari 6 *cylinder* piston-piston yang mensuplai ke line-line:

1. Dua line mensuplai minyak pelumas ke journal bearing.
2. Dua line mensuplai minyak pelumas ke compressor journal bearing.

3. Satu line mensuplai minyak ke drive end generator journal bearing.
4. Satu line mensuplai minyak pelumas ke non drive end generator journal bearing.

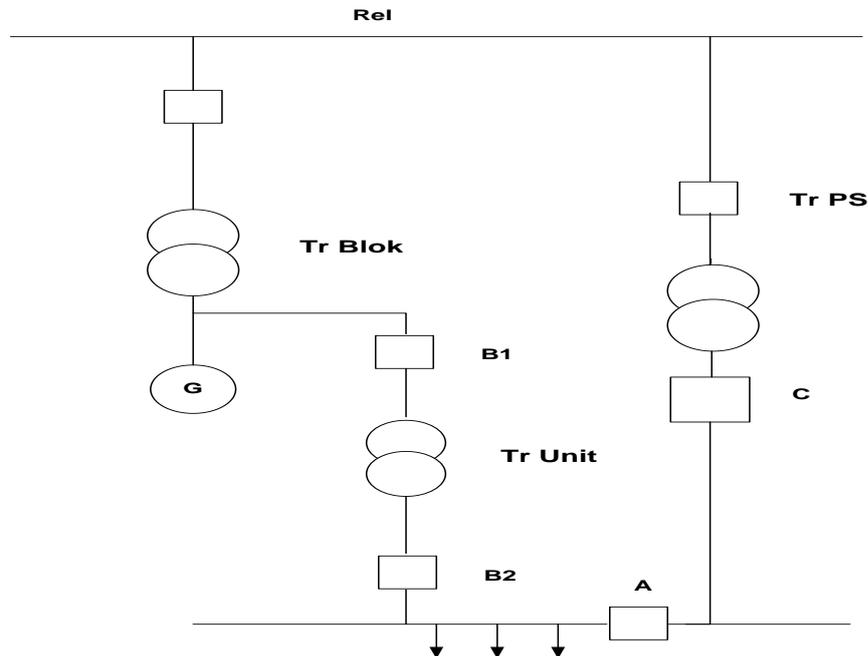
2.5 Exhaust Section

Exhaust section adalah bagian akhir turbin gas yang berfungsi sebagai saluran pembuangan gas panas sisa yang keluar dari turbin gas. *Exhaust section* terdiri dari beberapa bagian yaitu: *Exhaust frame assembly*, dan *exhaust* gas keluar dari turbin gas melalui *exhaust diffuser* pada *exhaust frame assembly*, lalu mengalir ke *exhaust plenum* dan kemudian didifusikan dan dibuang ke atmosfer melalui *exhaust stack*, sebelum dibuang ke atmosfer gas panas sisa tersebut diukur dengan *exhaust thermocouple* dimana hasil pengukuran ini digunakan juga untuk data pengontrolan temperatur dan proteksi temperatur trip. Pada exhaust area terdapat 18 buah termokopel yaitu, 12 buah untuk temperatur kontrol dan 6 buah untuk temperatur trip.

2.6 Trafo Pemakaian Sendiri

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 baterai yang merupakan sumber arus searah bagi pusat pembangkit listrik.



Gambar 2.5 Pusat Listrik Besar di PLTG

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 dipasang 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 dihasilkan oleh pusat listrik. Hal ini sangat tergantung kepada jenis pusat listriknya, dimana yang paling kecil umumnya PLTA dan paling besar umumnya PLTG yang menggunakan bahan bakar Gas. 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).

2.7 Macam-macam Daya Listrik

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.

³ Cekmas Cekdin & Taufik Berlian, 2013 "Rangkaian Listrik" Hal 69. Jakarta: Penerbit Andi

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:

5. Daya Aktif

6. Daya Semu

7. Daya Reaktif

Namun untuk pengertian daya dapat dikatakan adalah hasil perkalian antara tegangan dengan arus serta dipengaruhi oleh faktor kerja ($\cos \theta$). Untuk lebih jelas mengenai macam-macam daya ini dapat dilihat pada penjelasan berikut ini:

2.7.1 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:

$$P_{1\phi} = V_p \times I_p \times \cos \theta \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \theta \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

P = Daya Aktif

I = Arus

V_p = Tegangan Phasa

V_L = Tegangan Line

$\cos \theta$ = Faktor Daya

2.7.2 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:

$$S_1\varphi = V_p \times I_p \dots\dots\dots(3)$$

$$S_3\varphi = \sqrt{3} \times V_L \times I \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

S = Daya Semu

I = Arus yang mengalir pada penghantar

V_p = Tegangan Phasa

V_L = Tegangan Line

2.7.3 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 $\sin \emptyset$.

Daya raktif ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Q_1\varphi = V_p \times I_p \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_3\varphi = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

Q = Daya Reaktif

I = Arus

V_p = Tegangan Phasa

V_L = Tegangan Line

$\sin \phi$ = Faktor Daya Reaktif

2.8 Perhitungan Jam Kerja Unit

Adapun bagian dari perhitungan jam kerja unit, yaitu:

1. *Period Hours* (P.H)
2. *Planned Outage Hours* (P.O.H)
3. *Forced Outage Hours* (F.O.H)
4. *Maintenance Outage Hours* (M.O.H)
5. *Reserve Shutdown Hours* (R.S.H)
6. *Available Hours* (A.H)
7. *Service Hours* (S.H)

2.8.1 *Period Hours* (P.H)

Period Hours adalah jumlah jam kerja unit dalam satu tahun.

Contoh untuk tahun 2017:

Jumlah hari kalender = 365 hari,

Maka jumlah jam kerja unit adalah $24 \times 365 = 8.760$ jam

Rumus:

$P.H = \text{Jumlah jam kerja unit} \times \text{Jumlah hari dalam satu tahun} \dots\dots\dots(7)$

⁴ PT.PLN (Persero) (2019) "Kinerja utama pembangkit" Unit Pendidikan dan Pelatihan Updk Keramasan

2.8.2 Planned Outage Hours (P.O.H)

Planned Outage Hours adalah jumlah jam pemeliharaan yang direncanakan.

2.8.3 Forced Outage Hours (F.O.H)

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

2.8.4 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.

2.8.5 Reserve Shutdown Hours (R.S.H)

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

2.8.6 Available Hours (A.H)

Available Hours adalah jumlah jam kesiapan unit beroperasi.

Rumus:

$$A.H = PH - POH - FOH - MOH \dots\dots\dots(8)$$

2.8.7 Service Hours (S.H)

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

Rumus:

$$S.H = PH - POH - FOH - MOH - RSH \dots\dots\dots(9)$$

2.9 Faktor-faktor Produksi

Adapun bagian dari faktor-faktor produksi, yaitu:

1. *Planned Outage Factor* (P.O.F)
2. *Maintenance Outage Factor* (M.O.F)
3. *Forced Outage Factor* (F.O.F)
4. *Reserve Shutdown Factor* (R.S.F)
5. *Output Factor* (O.F)
6. *Output Availability Factor* (O.A.F)
7. *Capacity Factor* (C.F)
8. *Service Factor* (S.F)

2.9.1 Planned Outage Factor (P.O.F)

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

Rumus:

$$P.O.F = \frac{P.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

2.9.2 Maintenance Outage Factor (M.O.F)

Maintenance Outage Factor adalah faktor unit keluar karena adanya pemeliharaan.

Rumus:

$$M.O.F = \frac{M.O.H}{P.H} 100\% \dots\dots\dots(11)$$

2.9.3 Forced Outage Factor (F.O.F)

Forced Outage Factor adalah faktor unit keluar karena adanya gangguan.

⁵ PT.PLN (Persero) Sektor Suralaya. 1996 “Buku panduan perencanaan operasi dan pemeliharaan”

Rumus:

$$F.O.F = \frac{F.O.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(12)$$

2.9.4 Reserve Shutdown Factor (R.S.F)

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

Rumus:

$$R.S.F = \frac{R.S.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

2.9.5 Output Factor (O.F)

Output Factor adalah faktor pembebanan unit.(14)

2.9.6 Output Availability Factor (O.A.F)

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

Rumus:

$$O.A.F = \frac{A.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(15)$$

2.9.7 Capacity Factor (C.F)

Capacity Factor adalah faktor kapasitas unit.

Rumus:

$$C.F = \frac{\text{Produksi}}{P.H \times \text{Daya terpasang}} \times 100\% \dots\dots\dots(16)$$

2.9.8 Service Factor (S.F)

Service Factor adalah faktor service (kesiapan) Unit.

Rumus:

$$S.F = \frac{S.H}{P.H} \times 100\% \dots\dots\dots(17)$$

2.10 Perhitungan Produksi Energi Listrik

Adapun perhitungan produksi, yaitu:

- a. Produksi Gross
- b. Produksi Pemakaian Sendiri
- c. Produksi Net

2.10.1 Produksi Gross

Rumus:

$$\text{Produksi Gross} = S.H \times \text{Daya Terpasang} \times O.F \dots\dots\dots(18)$$

2.10.2 Pemakaian Sendiri

Rumus:

$$\text{Pemakaian Sendiri (PS)} = 7,4\% \times \text{Produksi Gross} \dots\dots\dots(19)$$

2.10.3 Produksi Net

Rumus:

$$\text{Produksi Net} = \text{Produksi Gross} - \text{Pemakaian Sendiri} \dots\dots\dots(20)$$