

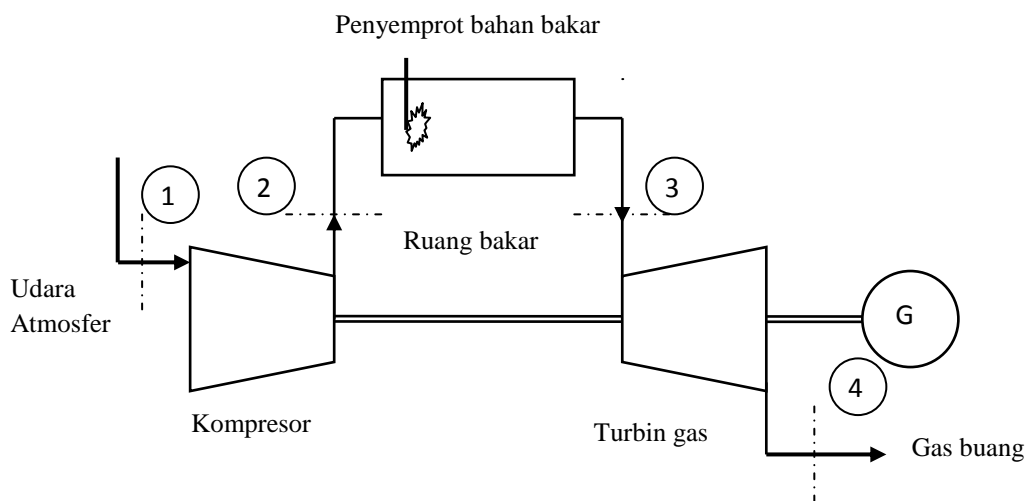
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Gas

Pembangkit listrik tenaga gas adalah pembangkit yang memanfaatkan gas (campuran udara dan bahan bakar) hasil dari pembakaran bahan bakar minyak (BBM) atau bahan bakar gas (BBG) untuk memutar turbin yang telah dikopel dengan generator sehingga akan dihasilkan energi listrik. Sistem pembangkit listrik tenaga gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen yaitu:

1. Kompresor
2. Ruang bakar
3. Turbin gas

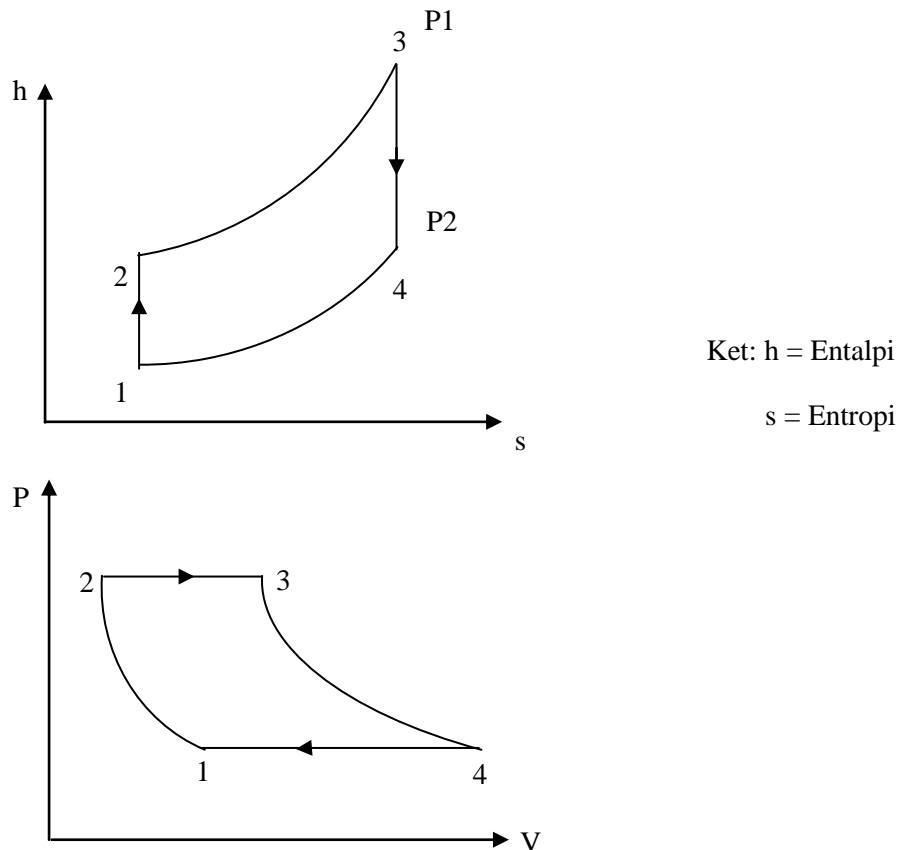


Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTG

Secara sederhana sistem PLTG dapat dilihat pada gambar 2.1 mekanisme dari sistem PLTG adalah udara atmosfer masuk ke dalam kompresor, udara akan di kompresi sehingga tekanan dan temperatur udara akan naik, udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi ini akan mengalir menuju ruang bakar. Di dalam ruang bakar akan disemprotkan bahan bakar sehingga akan terjadi pembakaran. Setelah itu, gas pembakaran yang bertemperatur tinggi akan mengalir menuju turbin gas dan akan memutar roda turbin yang satu poros dengan poros kompresor dan generator. Setelah

memutar turbin gas, gas akan di buang ke udara atmosfer. Generator yang dikopel dengan turbin akan ikut berputar, setelah dialirkan arus eksitasi maka pada generator akan terbentuk gaya gerak listrik (ggl).

Siklus ideal dalam sistem PLTG adalah siklus brayton, siklus brayton dapat di gambarkan pada diagram h-s dan diagram P-V, seperti dibawah ini



Gambar 2.2 Siklus Brayton h – s dan P - V

Siklus brayton terdiri dari proses:

- 1-2 : Proses kompresi isentropik yang terjadi didalam kompresor
- 2-3 : Proses pemasukan kalor pada tekanan konstan ( isobar ) terjadi didalam ruang bakar atau alat pemindah kalor ( pemanas )
- 3-4 : Proses ekspansi isentropik terjadi didalam turbin
- 4-1 : Proses pembuangan kalor pada tekanan tetap terjadi didalam alat pemindah kalor (pendingin), proses ini terjadi pada sistem tertutup.

## 2.2 Tinjauan Udara Pembakaran

### 2.2.1 Susunan Udara

Udara merupakan fluida kerja yang digunakan didalam pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), udara yang digunakan untuk pembakaran harus bersih dan bebas dari kotoran supaya tidak mengganggu kerja dari kompresor dan turbin gas. Udara ini akan diambil dari udara lingkungan di sekitar PLTG, melalui filter terlebih dahulu sebelum masuk ke kompresor untuk disaring dari kotoran yang terkandung didalam udara tersebut. Udara terdiri dari campuran beberapa gas dengan susunan seperti terlihat pada tabel 1.1 dibawah ini:

Tabel - 2.1 daftar komposisi udara

Komposisi udara	Nitrogen (N <sub>2</sub> )	Oksigen (O <sub>2</sub> )	Argon (Ar)	Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	Uap air, debu minyak dll
Perbandingan Volume (%)	78,07	20,75	0,93	0,19	kecil
Perbandingan Berat (%)	75,53	23,14	1,28	0,03	kecil

### 2.2.2 Panas jenis udara

Panas jenis udara merupakan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg udara sebesar 1° C. Satuan panas jenis yang dipakai adalah Kcal / Kg °C, dalam satuan SI adalah KJoule/ Kg °C. Pada fluida gas terdapat 2 jenis panas jenis yaitu panas jenis pada tekanan tetap dan panas jenis pada volume tetap.

#### A. Panas jenis pada tekanan tetap

Panas jenis ini merupakan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg gas sebesar 1°C pada tekanan tetap. Panas jenis ini biasanya diberi lambang  $C_p$ , untuk udara nilainya adalah sebesar  $C_p = 0,24 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} = 1,005 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$

#### B. Panas jenis pada volume tetap

Panas jenis ini merupakan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg gas sebesar 1°C pada volume tetap. Panas jenis ini biasanya diberi lambang  $C_v$ , untuk udara nilainya adalah sebesar  $C_v = 0,17 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} = 0,712 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$ . Perbandingan antara panas jenis pada tekanan tetap dan panas jenis pada

volume tetap disebut rasio panas jenis yang diberi lambang  $k$ .  $k = C_p / C_v$ . Harga  $k$  untuk udara kering adalah  $k = 1,401$

### 2.2.3 Kelembaban udara

Sejumlah uap air selalu terdapat didalam atmosfer. Derajat kekeringan atau kebasahan udara di atmosfer disebut dengan kelembaban. Kelembaban biasanya dinyatakan menurut dua cara yaitu:

#### A. Kelembaban mutlak

Kelembaban mutlak adalah berat uap air (dalam kg atau g) di dalam  $1 \text{ m}^3$  udara lembab / udara yang mengandung air.

#### B. Kelembaban relatif

Kelembaban relatif adalah perbandingan antara kelembaban mutlak udara lembab dan kelembaban mutlak udara jenuh pada temperatur yang sama, dinyatakan dalam %.

$$\text{Kelembaban mutlak} = \frac{\text{Kelembaban mutlak udara lembab}}{\text{kelembaban mutlak udara jenuh pada temperatur yang sama}} \times 100\%$$

### 2.2.4 Hubungan antara temperatur dan volume

Seperti halnya pada zat padat dan zat cair, gas akan mengembang apabila dipanaskan pada tekanan tetap. Gas mempunyai koefisien muai yang lebih besar. Dari pengukuran koefisien muai berbagai gas diperoleh kesimpulan: “Semua macam gas apabila dinaikkan temperaturnya sebesar  $1^\circ\text{C}$  pada tekanan tetap, maka akan mengalami pertambahan volume sebesar  $1/273$  dari volume pada temperature  $0^\circ\text{C}$ , dan sebaliknya apabila diturunkan sebesar  $1^\circ\text{C}$  akan mengalami penurunan volume dengan proporsi yang sama”.

$$V_x = V_0 + \frac{1}{273} \times t_x \times V_0 = V_0 \left( 1 + \frac{t_x}{273} \right)$$

Ket:  $V_x$  = Volume pada temperatur x

$V_0$  = Volume pada temperatur awal

$t_x$  = Temperatur pada temperatur x

## 2.3 Kompresor

Kompresor merupakan mesin yang berfungsi untuk menaikkan tekanan udara atau fluida gas lainnya, dengan cara memampatkan udara atau fluida gas lainnya tersebut. Kompresor biasanya menghisap udara atmosfer, namun ada juga yang menghisap udara atau gas yang bertekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer, dalam hal ini kompresor bekerja sebagai penguat (*booster*). Sebaliknya, adapula kompresor yang menghisap gas bertekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer, dalam hal ini kompresor sebagai pompa vakum. Kompresi dapat dilakukan menurut tiga cara yaitu:

### 2.3.1 Kompresi isothermal

Apabila suatu fluida gas dikompresikan, maka ini berarti ada energi mekanik yang diberikan dari luar kepada gas. Energi ini diubah menjadi energi panas sehingga temperatur gas akan naik jika tekanan semakin tinggi. Namun jika proses kompresi dibarengi dengan pendinginan untuk mengeluarkan energi panas yang terjadi, temperatur dapat dijaga tetap. Kompresi seperti ini disebut kompresi *isothermal* (temperatur tetap). Hubungan antara P dan V dapat diperoleh dari persamaan:

$$P \cdot V = R \cdot T$$

$T = P \cdot V \rightarrow P \cdot V = \text{tetap}$ , persamaan ini dapat ditulis menjadi:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

### 2.3.2 Kompresi adiabatik

Jika silinder diisolasi dengan sempurna terhadap panas, maka kompresi akan berlangsung tanpa adanya panas yang keluar dari gas ataupun masuk kedalam gas. Proses kompresi seperti ini disebut kompresi adiabatik. Hubungan antara tekanan dan volume dalam proses adiabatik dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$P \cdot V = \text{tetap atau}$$

$$P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k = \text{tetap}$$

Dimana  $k = C_p/C_v$

### 2.3.3 Kompresi politropik

Kompresi yang sesungguhnya pada kompresor adalah kompresi politropik. Kompresi politropik berada diantara kompresi isothermal dan kompresi adiabatik. Hubungan antara tekanan dan volume pada proses politropik ini dapat dirumuskan:

$$P \cdot V^n = \text{tetap, atau}$$

$$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n = \text{tetap}$$

$n$  merupakan indeks politropik, harganya antara 1 dan  $k$  (proses adiabatik)

Kompresor terdapat dalam berbagai jenis dan model tergantung pada volume dan tekanannya. Sebutan kompresor dipakai untuk jenis yang bertekanan tinggi sekitar 98 kPa. Blower (peniup) untuk jenis yang bertekanan agak rendah sekitar 9800 Pa sampai 98 kPa, sedangkan fan (kipas) untuk jenis yang bertekanan sangat rendah kurang dari 9800 Pa. Secara garis besar kompresor diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel – 2.2 klasifikasi kompresor

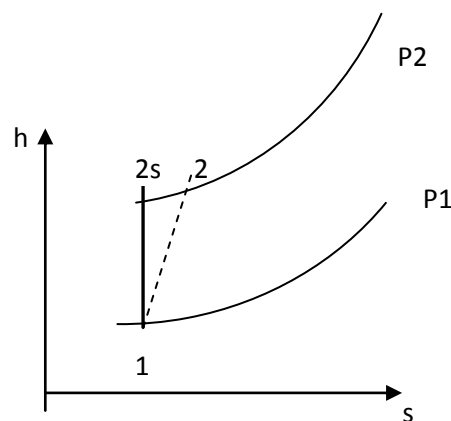
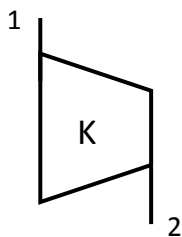
Jenis perpindahan (displacement)				Jenis turbo			
Jenis Bolak-balik	Jenis putar Rotari			Jenis sentrifugal			Jenis Aksial
Bolak-balik	Sekrup	Sudu Luncur	Roots	Turbo	Radial	Sudu banyak	Aksial

Untuk mencari kerja yang dibutuhkan oleh kompresor adalah sebagai berikut:

$$W_{ks} = m (h_{2s} - h_1) \rightarrow (\text{kerja isentropis kompresor})$$

$$W_k = m (h_2 - h_1) \rightarrow (\text{kerja aktual kompresor}), \text{ atau}$$

$$\frac{W_k}{m} = C_p (T_2 - T_1)$$



## 2.4 Turbin Gas

Turbin gas merupakan salah satu mesin fluida yang dapat mengubah aliran fluida (gas) menjadi kerja berupa putaran pada roda turbin. Energi kinetik gas yang mengalir akan diubah menjadi energi mekanik berupa putaran didalam *runner* turbin. Pada turbin ada 2 bagian utama yaitu bagian turbin yang berputar yang disebut rotor atau roda turbin, sedangkan bagian turbin yang diam disebut stator atau rumah turbin. Roda turbin akan memutar poros yang menggerakkan atau memutar bebannya (generator, pompa, kompresor, dan mesin lainnya). Didalam turbin terjadi proses ekspansi, dimana tekanan fluida akan turun sampai stage terakhir dari turbin tersebut. Turbin dibuat dengan konstruksi sesuai dengan kebutuhannya supaya turbin dapat beroperasi dengan optimal dan energi yang terbuang dalam bentuk kerugian (losses) lebih kecil.

Daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$W_{ts} = m ( h_3 - h_{4s} ) \rightarrow (\text{kerja isentropis turbin})$$

$$W_t = m ( h_3 - h_4 ) \rightarrow (\text{kerja aktual turbin}), \text{ atau}$$

$$\frac{W_t}{m} = C_p ( T_3 - T_4 )$$

