

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Turbin Gas

Turbin gas adalah turbin gas sebagai fluida kerjanya gas diperoleh dari pembakaran bahan bakar yang mudah terbakar. Sistem turbin gas yang paling sederhana terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin, yang disusun menjadi sistem yang kompak.

Pada Saat ini perkembangan penggunaan turbin gas sudah sangat maju, dimana penggunaan turbin gas sebagai mesin penghasil daya dorong pada pesawat terbang. Di industri turbin gas digunakan untuk menggerakkan bermacam macam peralatan mekanik, misalnya pompa dan kompresor atau generator listrik kecil. Turbin gas juga digunakan untuk memutar generator listrik pada instalasi pembangkit listrik tenaga gas .

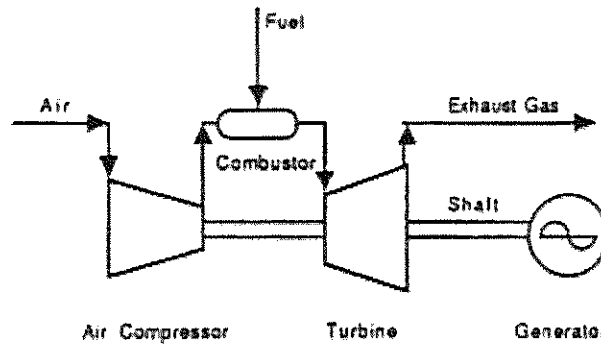
2.2 Prinsip Kerja Turbin Gas

Proses kerja dari turbin gas dimulai dari udara yang dihisap ke dalam *inlet house* yang memiliki saringan udara. Saringan udara ini berfungsi untuk menahan kotoran atau debu agar tidak ikut ke dalam kompresor. Udara yang sudah di saring tersebut kemudian masuk ke dalam bagian kompresor untuk dimampatkan. Udara yang telah di mampatkandan bertekanan tinggi tersebut dialirkan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Di dalam ruang bakar tersebut bahan bakar kerja di campur dengan udara murni. Di dalam ruang bakar, campuran bahan bakar dan udara tersebut terbakar dengan bantuan *spark plug* dan menimbulkan panas yang

tinggi dan kecepatan yang tinggi pula. Gas hasil pembakaran dengan kecepatan tinggi tersebut mengalir melewati *transition piece* menuju *turbine section*. Bahan bakar tersebut di arahkan oleh *first stage nozzle* menumbuk *first stage turbine* sehingga menambah kecepatan putar rotor. Bahan bakar yang telah keluar dari *first stage turbine* tersebut masih memiliki kecepatan putar yang tinggi, sehingga bias di manfaatkan lagi untuk menambah kecepatan putar rotor dengan mengalirkan bahan bakar tersebut menumbuk *second stage turbine*. Jadi energi kinetik yang dihasilkan di manfaatkan semaksimal mungkin. Setelah keluar dari *turbine section*, udara tersebut dibuang ke atmosfer melalui *exhaust section*.

Secara umum proses yang terjadi pada suatu sistem Turbin Gas adalah sebagai berikut:

1. Pemampatan (*compression*) udara di hisap dan dimampatkan.
2. Pembakaran (*combustion*) bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
3. Pemuaian (*expansion*) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nosel (*nozzle*).
4. Pembuangan gas (*exhaust*) gas hasil pembakaran di keluarkan lewat saluran pembuangan.



Gambar 2.1 Prinsip kerja sederhana Turbin Gas

2.3 Klasifikasi Turbin Gas

Turbin gas di klasifikasikan sebagai berikut :

- Berdasarkan Siklus kerja
- Berdasarkan Konstruksi
- Berdasarkan Aliran Fluida

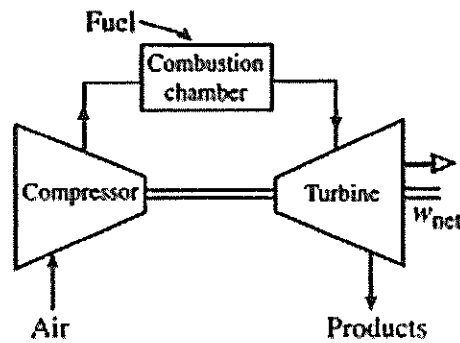
2.3.1 Berdasarkan Siklus Kerja

Berdasarkan siklus kerja Turbin gas terdiri dari :

a. Turbin Gas Siklus Terbuka (*Open Cycle Gas Turbine*)

Pada Siklus ini gas hasil pembakaran langsung di buang ke udara bebas setelah diekspansikan di dalam turbin. Instalasi ini memiliki struktur yang sederhana yaitu kompresor, ruang bakar dan turbin yang berfungsi sebagai penggerak kompresor dan beban.

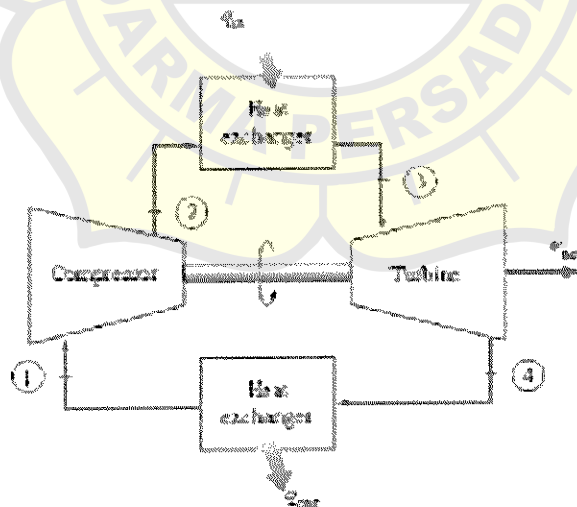
Skema instalasi turbin gas siklus ini ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



Gambar 2.2 Turbin Siklus Gas Terbuka

b. Turbin Gas Siklus Tertutup (*Close Cycle Gas Turbine*)

Seperti halnya pada turbin uap, turbin gas dapat pula dirancang dengan sistem siklus tertutup yaitu fluida kerjanya tidak berhubungan dengan atmosfer sekitarnya. Dengan demikian dapat dijaga kemurniannya. Hal ini sangat menguntungkan dari segi pencegahan kerusakan yang disebabkan oleh erosi dan korosi.

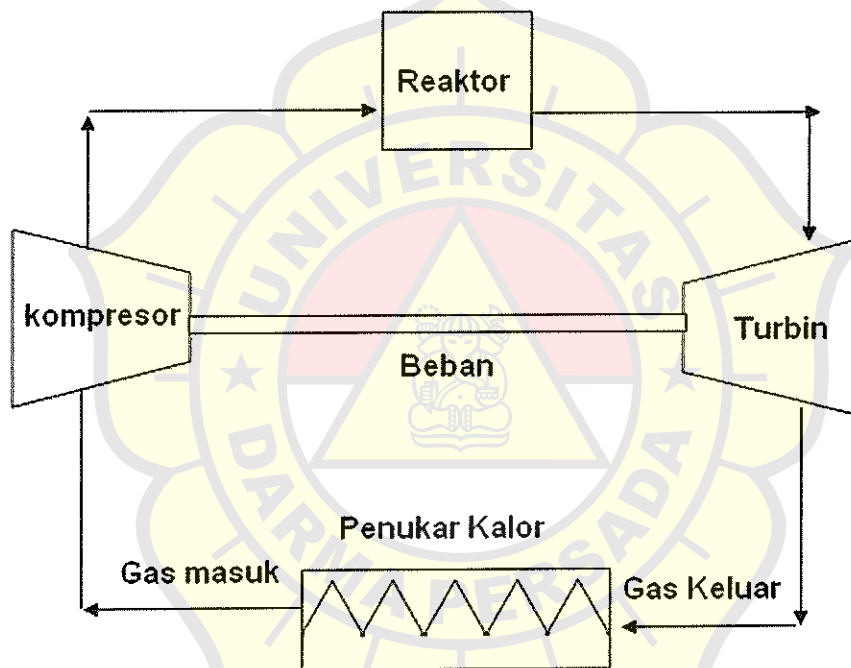


Gambar 2.3 Turbin Siklus Gas Tertutup

Pada turbin gas siklus tertutup terbagi atas dua jenis yaitu :

- **Turbin Gas Siklus Tertutup Langsung (*Direct Closed cycle*)**

Pada turbin gas dengan siklus tertutup langsung (*Direct Closed cycle*), gas pendingin dipanaskan di dalam reaktor dan berekspansi melalui turbin, didinginkan di dalam penukar kalor dan dikompresi kembali ke reaktor. Siklus ini dapat juga menggunakan gas lain yang bukan hanya udara. Tidak ada buangan gas radio aktif yang dibuang ke atmosfer dalam operasi normal. Fluida yang paling cocok untuk ini adalah helium.

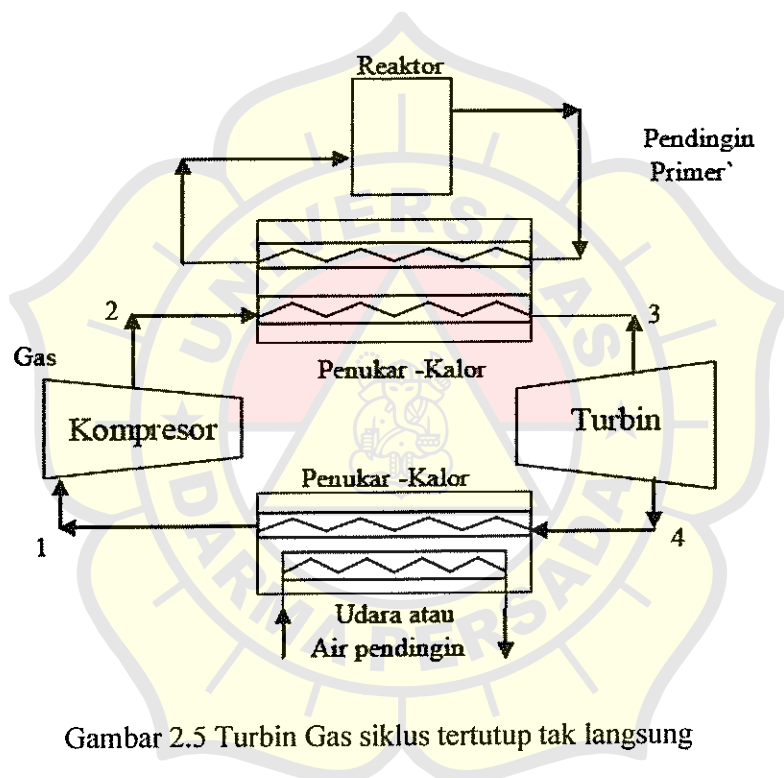


Gambar 2.4 Turbin Gas siklus tertutup langsung

▪ **Turbin Gas Siklus Tertutup Tak Langsung (*Indirect Closed cycle*)**

Turbin gas Turbin Gas siklus tertutup tak langsung merupakan gabungan antara turbin dengan siklus terbuka tak langsung dan turbin dengan siklus tertutup langsung, karena reaktornya terpisah dari fluida kerja oleh suatu penukar kalor bahan pendingin primer biasanya air atau gas helium.

Hal ini sangat menguntungkan dari segi pencegahan kerusakan yang disebabkan oleh erosi dan korosi.



Gambar 2.5 Turbin Gas siklus tertutup tak langsung

c. **Siklus Kombinasi (*Combined Cycle*)**

Siklus kombinasi pada umumnya adalah usaha untuk mendapatkan gas buang dengan cara menambahkan beberapa alat sehingga energi yang seharusnya terbuang dapat dimanfaatkan lagi untuk suatu proses tertentu yang pada akhirnya proses tersebut akan meningkatkan efisiensi sistem. Turbin gas

dengan siklus ini akan bermanfaat jika dijalankan dengan *base load* (beban dasar atau utama) dan secara kontinyu .

2.3.2 Berdasarkan Konstruksi

Berdasarkan Konstruksi Turbin gas terdiri dari :

a. Turbin Gas Poros Tunggal

Turbin gas mempunyai kompresor, turbin dan beban pada satu poros yang berputar pada kecepatan tetap. Konfigurasi ini digunakan untuk menggerakkan generator kecil dan generator besar untuk utilitas.

b. Turbin Gas Poros Ganda

Turbin ini digunakan untuk menahan beban dan torsi yang bervariasi dimana poros pertama turbin dikopel langsung dengan poros aksial. Pada jenis ini turbin terdiri dari dua buah yaitu turbin tekanan tinggi dan turbin tekanan rendah. Turbin dengan tekanan tinggi berfungsi menggerakkan kompresor dan mensuplai gas panas untuk turbin bertekanan rendah. Turbin berporos ganda ini juga digunakan untuk sentral listrik dan industri. Turbin ini direncanakan beroperasi pada putaran yang berbeda tanpa menggunakan *reduction gear*.

2.3.3 Berdasarkan Aliran Fluida

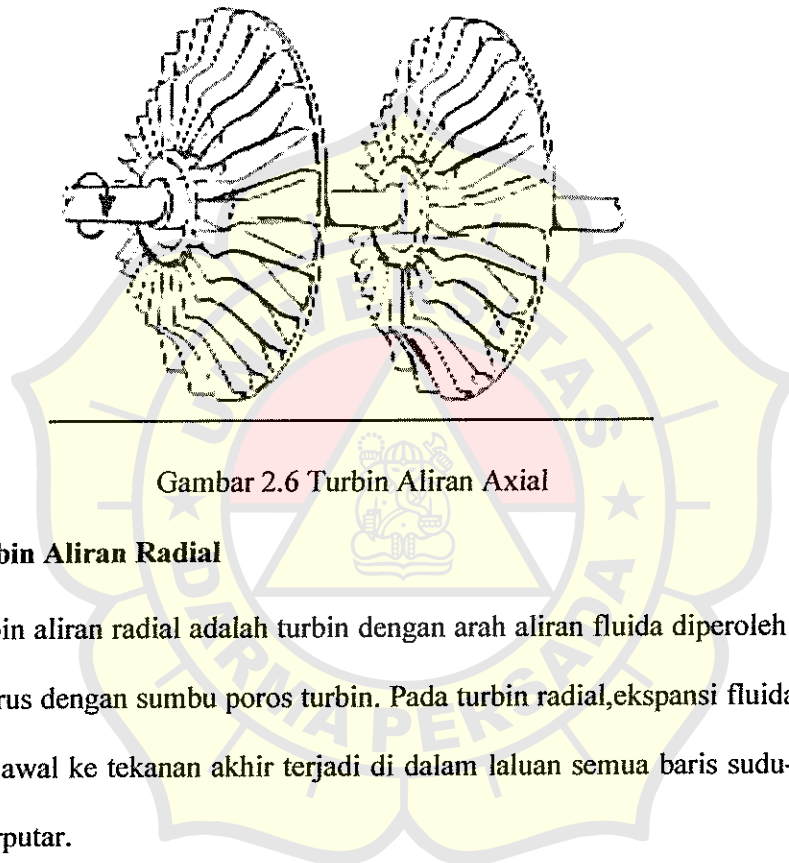
Berdasarkan Aliran Fluida turbin gas terdiri dari :

a. Turbin Aliran Axial

Turbin aliran axial adalah turbin dengan arah aliran fluida diperoleh pada arah sejajar dengan sumbu poros turbin. Turbin aksial umumnya sering

digunakan untuk kapasitas dan daya besar karena mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan turbin jenis radial antara lain :

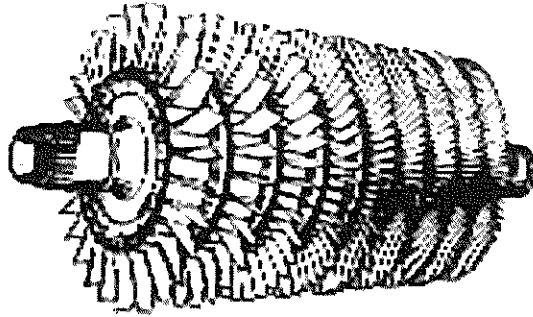
- Efisiensinya lebih baik.
- Perbandingan tekanan (rp) dapat dibuat lebih tinggi.
- Konstruksinya lebih ringan serta tidak membutuhkan ruangan yang besar.



Gambar 2.6 Turbin Aliran Axial

b. Turbin Aliran Radial

Turbin aliran radial adalah turbin dengan arah aliran fluida diperoleh pada tegak lurus dengan sumbu poros turbin. Pada turbin radial, ekspansi fluida dari tekanan awal ke tekanan akhir terjadi di dalam laluan semua baris sudu-sudu yang berputar.



Gambar 2.7 Turbin Aliran Radial

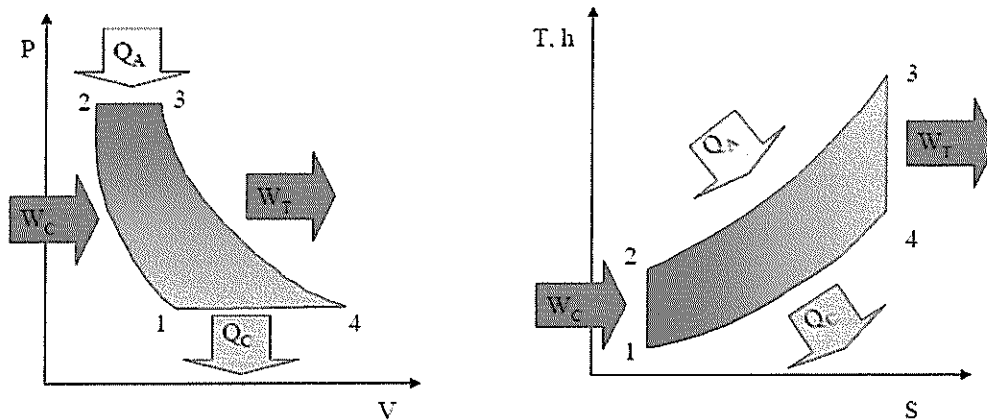
2.4 Siklus Kerja

Turbin gas secara termodinamika bekerja dengan siklus *Brayton* (*Brayton cycle*). Siklus ini merupakan siklus ideal untuk sistem turbin gas sederhana dengan siklus terbuka. Siklus ini terdiri dari dua proses isobar dan dua proses adiabatik isentropik

Siklus ideal adalah siklus dengan asumsi sebagai berikut :

- Proses kompresi dan ekspansi secara *isentropic*.
- Perubahan energi kinetik dari fluida kerja antara sisi masuk dan sisi keluar kompresor diabaikan.
- Tidak ada kerugian tekanan pada sisi masuk dan sisi keluar ruang bakar.
- Laju aliran massa dianggap konstan.

Gambar di bawah ini menunjukkan siklus ideal



Gambar 2.8 Siklus brayton

Pada gambar diagram T-s tersebut, proses yang terjadi adalah.

Proses 1-2 : Proses kompresi isentropic pada kompresor.

Proses ini merupakan proses kerja kompresor. Kerja spesifik kompresor itu sendiri adalah kalor spesifik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor pada kondisi ideal.

Proses 2-3 : Proses pemasukkan kalor.

Proses pemasukkan kalor terjadi dalam ruang bakar pada tekanan konstan (*isobar*).

Proses 3-4 : Kerja Turbin

Proses ini merupakan proses ekspansi secara actual pada turbin.

Proses diatas merupakan proses secara teoritis. Pada kenyataannya terjadi penyimpangan dari proses tersebut dimana proses inilah yang disebut proses actual. Proses *actual* ini diakibatkan oleh :

- Fluida kerja bukan merupakan gas ideal dengan panas spesifik konstan.

- Laju aliran massa fluida tidak konstan.
- Proses yang terjadi disetiap komponen *adiabatic*.
- Proses kompresi didalam kompresor tidak berlangsung *isentropic*
- Proses ekspansi didalam turbin tidak berlangsung secara *isentropis*.
- Proses pembakaran tidak berlangsung secara *adiabatic* serta tidak menjamin terjadinya proses pembakaran sempurna.
- Terjadinya penurunan tekanan pada ruang bakar dan turbin.

Dari kerja spesifik yang terjadi pada setiap proses diatas maka diperoleh:

1. Laju Aliran Massa Bahan Bakar:

$$\dot{m} = \frac{w}{t} \quad (2.1)$$

Dimana :

\dot{m} = Laju aliran bahan bakar (kg/s)

w = Bahan bakar (gr)

t = Waktu (s)

2. Nilai (Q_{gas}) Kalor Bahan Bakar:

$$Q_{gas} = \dot{m} \times LHV \quad (2.2)$$

Dimana :

Q_{gas} = Nilai kalor bahan bakar (kj/s)

\dot{m} = Laju massa bahan bakar (kg/s)

LHV = Nilai kalor bahan bakar gas elpiji 46607 (kj/kg)

3. Kerja Kompresor

$$w_k = m_u (h_2 - h_1) \quad (2.3)$$

Dimana :

w_k = Kerja Kompresor (kW)

m_u = Massa jenis udara (kg/s)

h_2 = Entalpi gas keluar kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi udara masuk kompresor (kJ/kg)

4. Panas yang diberikan oleh ruang bakar Kerja Kompresor

$$Q_{tb} = m_u (h_3 - h_2) \quad (2.4)$$

Dimana :

Q_{tb} = Kalor ruang bakar (kW)

m_u = Massa jenis udara (kg/s)

h_3 = Entalpi gas keluar ruang bakar (kJ/kg)

h_2 = Entalpi gas masuk ruang bakar (kJ/kg)

5. Kerja Turbin

$$w_t = m_u(h_3 - h_4) \quad (2.5)$$

Dimana :

w_t = Kerja Turbin (kW)

m_u = Massa jenis udara (kg/s)

h_3 = Entalpi gas keluar ruang bakar (kJ/kg)

h_4 = Entalpi gas keluar turbin (kJ/kg)

6. Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{W_t}{Q_{rb}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dimana :

η = Efisiensi turbin (%)

W_t = Kerja turbin (kW)

Q_{rb} = Kalor ruang bakar (kW)

7. Efisiensi Ruang Bakar

$$\eta_{rb} = \frac{Q_{rb}}{Q_{gas}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana :

η_{rb} = Efisiensi Ruang Bakar

Q_{gas} = Kalor Bahan Bakar

Q_{rb} = Nilai kalor Ruang Bakar