

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Termodinamika digunakan untuk menganalisa sembarang sistem yang melibatkan perpindahan energi; berbagai pemakaian termodinamika yang praktis dan lazim dalam rekayasa adalah untuk menganalisa berbagai sistem yang mengandung suatu zat kerja, biasanya dalam fase cair atau gas, yang mengalir didalam peralatan. Berbagai sistem yang menjadi pusat perhatian disini adalah sistem-sistem yang menghasilkan suatu konversi energi. Dalam berbagai sistem yang membangkitkan daya, perhatian difokuskan pada pengkonversian energi dalam dari molekul-molekul bahan bakar hidrokarbon menjadi energi listrik atau mekanis (Reynolds dan Perkins, 1977:257).

#### **2.1 Energi Dalam**

Energi total dari suatu sistem disebut sebagai energi dalam. Nilai mutlak energi dalam sistem manapun tidak mungkin diketahui, tetapi dalam termodinamika kita banyak berhadapan dengan perubahan pada energi dalam. Energi dalam adalah sifat keadaan. Artinya nilai energi dalam bergantung hanya pada keadaan akhir sistem dan tidak bergantung pada cara pencapaian keadaan itu. Energi dalam adalah sifat ekstensif; sifat yang bergantung pada ukuran (luas) sistem. Jadi, energi dalam 2 kg air adalah dua kali dari energi dalam 1 kg air pada temperatur dan tekanan yang sama. Contoh lain sifat ekstensif yaitu massa dan volume. Sebaliknya, temperatur adalah sifat intensif, karena tidak bergantung pada ukuran sistem, dan 2 kg air mempunyai temperatur yang sama dengan 1 kg air yang diambil dari sumber yang sama.

Eksperimen membuktikan dua sifat lebih lanjut dari energi dalam, yaitu :

1. Energi dalam sistem yang terisolasi adalah tetap. Pengamatan ini sering diringkas dengan ucapan bahwa energi bersifat kekal. Bukti kekekalan energi adalah kemustahilan untuk membuat mesin yang bergerak terus menerus, yang bekerja tanpa bahan bakar; mustahil untuk menciptakan atau menghancurkan energi.

2. Sifat kedua dari energi dalam adalah kita bisa tahu cara perpindahan energi (karena kita dapat melihat apakah beban dinaikkan atau diturunkan dalam lingkungannya, atau apakah es sudah meleleh). Kalor dan kerja adalah cara dalam mengubah energi sistem. Energi adalah energi, bagaimanapun cara memperolehnya atau menghabiskannya.

Kedua sifat energi ini diringkaskan dalam sebuah pernyataan yang disebut hukum pertama termodinamika yaitu energi dalam suatu besarnya tetap kecuali jika diubah dengan melakukan kerja atau dengan pemanasan. Bentuk matematis Hukum Pertama adalah :

$$\Delta U = q + w \quad \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan energi dalam sistem tertutup sama dengan energi yang lewat melalui batasnya sebagai kalor dan kerja (Atkins, 1999 : 33).

## 2.2 Entropi

Hukum kedua termodinamika dinyatakan dengan entropi. Pada hukum pertama, energi dalam digunakan untuk mengenali perubahan yang diperbolehkan sedangkan pada hukum kedua entropi digunakan mengenali perubahan spontan di antara perubahan – perubahan yang diperbolehkan ini. Hukum kedua berbunyi entropi suatu sistem bertambah selama ada perubahan spontan.

$$\Delta S_{\text{tot}} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Proses irreversibel (seperti pendinginan hingga mencapai temperatur yang sama dengan lingkungan dan pemuaiian bebas dari gas) adalah proses spontan, sehingga proses itu disertai dengan kenaikan entropi. Proses irreversibel menghasilkan entropi, sedangkan proses reversibel adalah perubahan yang sangat seimbang, dengan sistem dalam keseimbangan dengan lingkungannya pada setiap tahap. Setiap langkah yang sangat kecil di sepanjang jalannya bersifat reversibel, dan terjadi tanpa menyebarkan energi secara kacau, sehingga juga tanpa kenaikan entropi. Proses reversibel tidak menghasilkan entropi, melainkan hanya memindahkan entropi dari suatu bagian sistem terisolasi ke bagian lainnya.

Sifat atau keadaan perilaku partikel dinyatakan dalam besaran entropi, entropi didefinisikan sebagai bentuk ketidakteraturan perilaku partikel dalam sistem. Entropi didasarkan pada perubahan setiap keadaan yang dialami partikel dari keadaan awal hingga keadaan akhirnya.

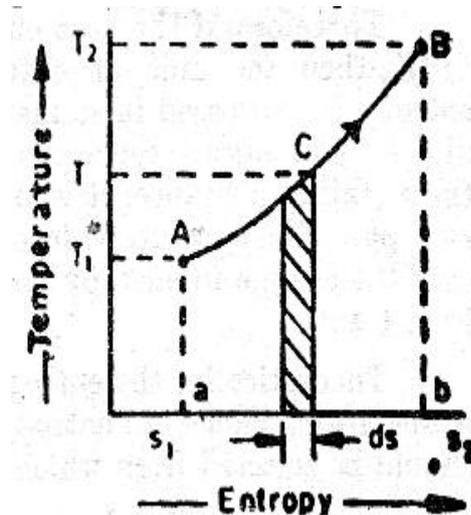
Semakin tinggi entropi suatu sistem, semakin tidak teratur pula sistem tersebut, sistem menjadi lebih rumit, kompleks, dan sulit diprediksi. Untuk mengetahui konsep keteraturan, mula-mula kita perlu membahas hukum kedua termodinamika yang dikenal sebagai ketidaksamaan Clausius dan dapat diterapkan pada setiap siklus tanpa memperhatikan dari benda mana siklus itu mendapatkan energi melalui perpindahan kalor. Ketidaksamaan Clausius mendasari dua hal yang digunakan untuk menganalisis sistem tertutup dan volume tetap berdasarkan hukum kedua termodinamika yaitu sifat entropi dan neraca entropi. Ketidaksamaan Clausius menyatakan bahwa:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (3)$$

dimana  $dQ$  mewakili perpindahan kalor pada batas sistem selama terjadinya siklus,  $T$  adalah temperatur absolut pada daerah batas tersebut. Sedangkan  $dS$  dapat mewakili tingkat ketidaksamaan atau nilai perubahan entropi entropi. Perubahan besar dalam entropi terjadi jika gerakan termal banyak dihasilkan pada temperatur rendah. Jika terbentuk tempat panas, energi yang terlokalisasi akan menyebar secara spontan dan menghasilkan entropi (Atkins, 1999 : 93).

Istilah entropi secara literatur berarti transformasi, dan diperkenalkan oleh Clausius. Entropi adalah sifat termodinamika yang penting dari sebuah zat, dimana harganya akan meningkat ketika ada penambahan kalor dan menurun ketika terjadi pengurangan kalor. Adalah sulit untuk mengukur entropi, tetapi akan mudah untuk mencari perubahan entropi dari suatu zat. Pada jangkauan kecil temperature, kenaikan atau penurunan entropi jika dikalikan dengan temperature akan menghasilkan jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan oleh suatu zat.

Para ahli teknik dan ilmuwan menggunakan entropi untuk memberikan jawaban cepat terhadap permasalahan yang berkaitan dengan ekspansi adiabatik. Gambar 1 menunjukkan kurva hubungan antara kalor dengan entropi.



Gambar 1. Kurva Temperatur-Entropi.  
(Asyari Daryus, 2006)

pemanasan suatu zat ditunjukkan oleh kurva dari A ke B pada gambar 1, dimana sumbu-x merupakan entropi dan sumbu-y adalah temperatur mutlak. Grafik ini dikenal dengan diagram temperatur-entropi ( $T$ - $s$ ). Pada titik C, ada sejumlah kecil kalor ( $dQ$ ) yang diberikan ke zat, yang akan menaikkan entropi sebesar  $ds$ . Temperatur absolut pada titik ini  $T$ .

Daerah dibawah diagram  $T$ - $s$  pada proses termodinamika merupakan jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan selama proses. Karena  $TdQ$  adalah sama untuk semua jalur reversibel antara A dan B, sehingga disimpulkan bahwa harga ini tidak bergantung pada jalur/lintasan dan hanya merupakan fungsi keadaan. Entropi bisa dinyatakan sebagai fungsi sifat termodinamika yang lain dari sistem, seperti tekanan atau temperatur dan volume (Daryus, 2006 : 43).

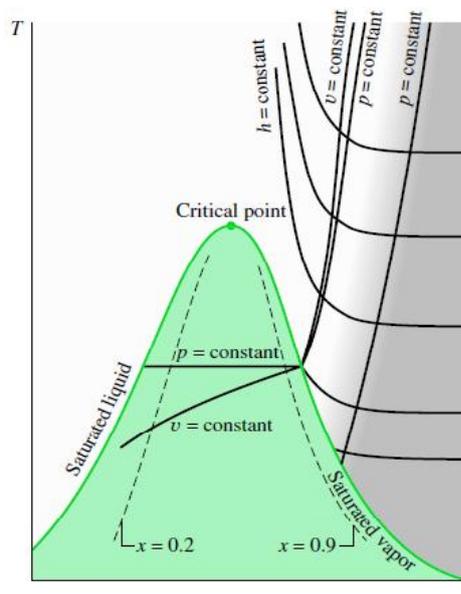
Pada saat hukum kedua termodinamika diterapkan, diagram entropi sangat membantu untuk menentukan lokasi dan menggambarkan proses pada diagram dimana koordinatnya adalah nilai entropi. Diagram dengan salah satu sumbu koordinat berupa entropi yang sering digunakan adalah diagram temperatur-entropi ( $T$ - $s$ ) dan diagram entalpi-entropi ( $h$ - $s$ ).

### 2.2.1 Diagram T-s

Bentuk umum dari diagram entropi dapat dilihat pada Gambar 2. Pada daerah uap panas lanjut, garis-garis volume spesifik konstan, kemiringannya lebih

curam dari garis-garis tekanan konstan. Garis-garis kualitas tetap ditunjukkan dalam daerah dua fase cair-uap. Pada beberapa gambar, garis kualitas uap tetap ditandai sebagai garis-garis persen uap yang merupakan rasio massa cairan dengan massa total.

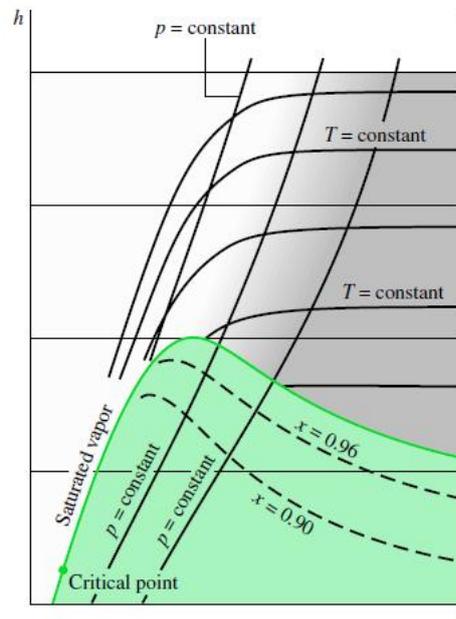
Pada daerah uap panas lanjut dalam diagram T-s, garis-garis entalpi spesifik konstan hampir membentuk garis lurus pada saat tekanan berkurang. Keadaan ini ditunjukkan pada daerah terarsir pada Gambar 2. Untuk keadaan pada daerah ini, entropi ditentukan hanya dengan temperatur. Variasi tekanan antara beberapa keadaan tidak berpengaruh besar.



Gambar 2. Diagram temperatur-entropi  
(Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2006)

### 2.2.2 Diagram h-s

Diagram entalpi-entropi ini disebut juga dengan diagram Mollier, seperti tampak pada Gambar 3. Garis-garis kualitas konstan ditunjukkan pada daerah campuran dua fase cair-uap. Grafik ini digunakan untuk mendapatkan nilai sifat pada keadaan uap panas lanjut dan untuk campuran dua fase cair-uap. Data cairan umumnya jarang tersedia. Pada daerah uap panas lanjut, garis temperatur konstan mendekati horizontal pada saat tekanan berkurang yang ditunjukkan pada daerah terarsir pada Gambar 3 (Moran dan Shapiro, 2006 : 211).



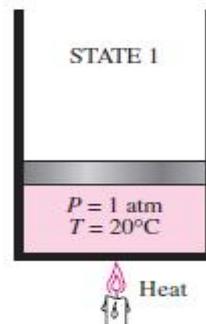
Gambar 3. Diagram entalpi-entropi  
(Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2006)

## 2.3 Perubahan Fase Pada Zat Murni

Air dapat berada pada keadaan campuran antara cair dan uap, contohnya yaitu pada boiler dan kondenser dari suatu sistem pembangkit listrik tenaga uap. Dibawah ini akan dijelaskan secara lebih rinci mengenai perubahan fase pada zat murni, contohnya air.

### 2.3.1 Cair Tekan (*Compressed Liquid*)

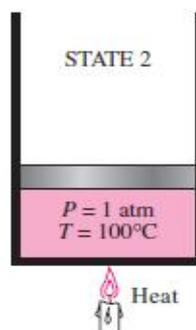
Untuk memudahkan dalam menjelaskan proses ini maka lihat pada Gambar 4 dimana sebuah alat berupa torak dan silinder yang berisi air pada  $20^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1 atm. Pada kondisi ini, air berada pada fase cair tekan karena temperatur dari air tersebut masih dibawah temperatur *saturated* pada saat tekanan 1 atm. Kemudian kalor mulai ditambahkan kedalam air sehingga terjadi kenaikan temperatur tersebut maka air secara perlahan berekspansi dan volume spesifiknya meningkat, karena ekspansi ini maka piston juga secara perlahan mulai bergerak naik. Tekanan didalam silinder konstan selama proses karena didasarkan pada tekanan atmosfer dari luar dan berat dari torak.



Gambar 4. Air pada fase cair tekan (*Compressed Liquid*)  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

### 2.3.2 Cair Jenuh (*Saturated Liquid*)

Dengan semakin bertambahnya jumlah kalor yang dimasukkan kedalam silinder maka temperatur akan naik hingga mencapai  $100^{\circ}\text{C}$ . Pada titik ini air masih dalam fase cair, tetapi sedikit saja ada penambahan kalor maka sebagian air tersebut akan berubah menjadi uap. Kondisi ini disebut dengan cair jenuh seperti digambarkan pada Gambar 5.

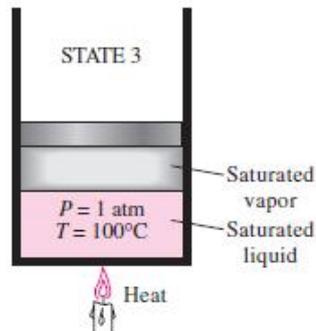


Gambar 5. Air pada fase cair jenuh  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

### 2.3.3 Campuran Air-Uap (*Liquid-Steam Mixture*)

Saat pendidihan berlangsung, tidak terjadi kenaikan temperatur sampai cairan seluruhnya berubah menjadi uap. Temperatur akan tetap konstan selama proses perubahan fase jika temperatur juga dijaga konstan. Pada proses ini volume fluida didalam silinder meningkat karena perubahan fase yang terjadi, volume

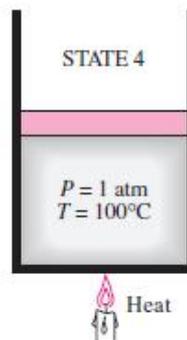
spesifik uap lebih besar daripada cairan sehingga menyebabkan torak terdorong keatas. Untuk lebih jelasnya, campuran air-uap dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Campuran air dan uap  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

#### 2.3.4 Uap Jenuh (*Saturated Steam*)

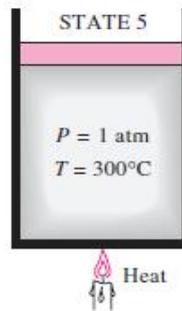
Jika kalor terus ditambahkan, maka proses penguapan akan terus berlangsung sampai seluruh cairan berubah menjadi uap, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Sedangkan jika sedikit saja terjadi pengurangan kalor maka akan menyebabkan uap terkondensasi.



Gambar 7. Uap jenuh  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

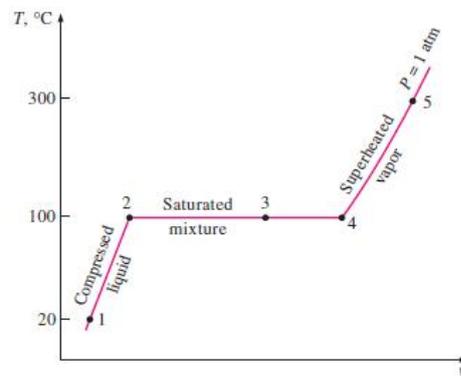
#### 2.3.5 Uap Panas Lanjut (*Superheated Steam*)

Setelah fluida didalam silinder dalam kondisi uap jenuh maka jika kalor kembali ditambahkan dan tekanan dijaga konstan pada 1 atm, temperatur uap akan meningkat seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Kondisi tersebut dinamakan uap panas lanjut karena temperatur uap didalam silinder diatas temperatur saturasi dari uap jenuh pada tekanan 1 atm yaitu 100<sup>0</sup>C (Cengel dan Boles, 1994 : 114).



Gambar 8. Uap *Superheated*  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

Proses diatas digambarkan pada suatu diagram T-v seperti pada Gambar 9.

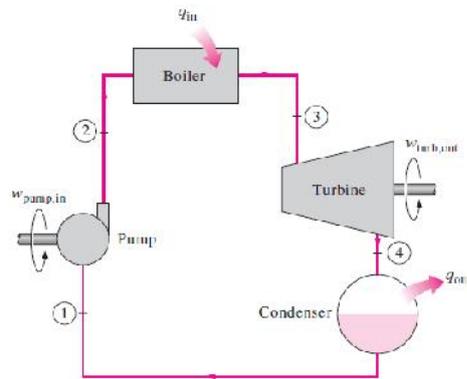


Gambar 9. Diagram T-v pemanasan air pada tekanan konstan  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

## 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Uap

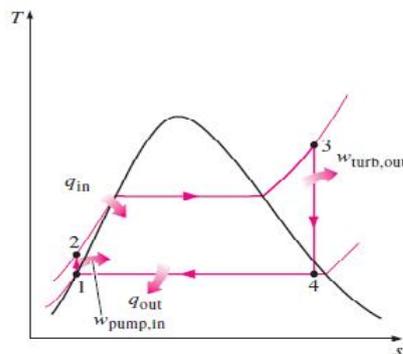
Dalam pembangkit listrik tenaga uap, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair), dan gas.

Konversi energi tingkat yang pertama yang terjadi di pembangkit listrik tenaga uap adalah konversi energi primer menjadi energi panas (Kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam steam drum. Uap dari steam drum dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Secara skematis proses pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Skematik pembangkit listrik tenaga uap  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

Siklus ideal yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap adalah siklus Rankine. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi. Perbedaan lainnya secara termodinamika, siklus uap dibandingkan dengan siklus gas adalah bahwa perpindahan kalor pada siklus uap dapat terjadi secara isothermal. Proses perpindahan kalor yang sama dengan proses perpindahan kalor pada siklus Carnot dapat dicapai pada daerah uap basah dimana perubahan entalpi fluida kerja akan menghasilkan penguapan atau kondensasi, tetapi tidak pada perubahan temperatur. Temperatur hanya diatur oleh tekanan uap fluida. Kerja pompa pada siklus Rankine untuk menaikkan tekanan fluida kerja dalam fase cair akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan pemampatan untuk campuran uap dalam tekanan yang sama pada siklus Carnot. Siklus Rankine ideal dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Siklus Rankine Sederhana  
(Yunus A. Cengel dan Michael A. Boles, 1994)

Siklus Rankine ideal terdiri dari 4 tahapan proses :

- 1-2 kompresi isentropik dengan pompa
- 2-3 penambahan panas dalam boiler secara isobar
- 3-4 ekspansi isentropik pada turbin
- 4-1 pelepasan panas pada kondenser secara isobar dan isothermal

Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh dan dikompresi sampai tekanan operasi boiler. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropik karena menurunnya volume spesifik air. Air memasuki boiler sebagai cairan terkompresi (*compressed liquid*) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap superheated pada kondisi 3. Dimana panas diberikan ke boiler pada tekanan yang tetap. Boiler dan seluruh bagian yang menghasilkan steam ini disebut *steam generator*. Uap superheated pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin untuk diekspansi secara isentropik dan akan menghasilkan kerja untuk memutar shaft yang terhubung dengan generator listrik sehingga dapat dihasilkan listrik. Tekanan dan temperatur dari *steam* akan turun selama proses ini menuju keadaan 4 dimana *steam* akan masuk kondenser dan biasanya sudah berupa uap jenuh. *Steam* ini akan dicairkan pada tekanan konstan didalam kondenser dan akan meninggalkan kondenser sebagai cairan jenuh yang akan masuk pompa untuk melengkapi siklus ini (Cengel dan Boles, 1994 : 553).

Untuk mempermudah penganalisaan termodinamika siklus ini, proses-proses diatas dapat di sederhanakan yaitu:

(Cengel dan Boles, 1994 : 553)

$$1) \text{ Kerja pompa } (W_p) = h_2 - h_1 = v (P_2 - P_1) \dots\dots\dots (4)$$

$$2) \text{ Penambahan kalor pada ketel } (Q_{in}) = h_3 - h_2 \dots\dots\dots (5)$$

$$3) \text{ Kerja turbin } (W_T) = h_3 - h_4 \dots\dots\dots (6)$$

$$4) \text{ Kalor yang di lepaskan dalam kondensor } (Q_{out}) = h_4 - h_1 \dots\dots (7)$$

## 2.5 Efisiensi Termal Siklus

Efisiensi termal mengukur seberapa banyak energi yang masuk kedalam fluida kerja di boiler yang di konversi menjadi keluaran kerja netto.

$$= \frac{W_{net}}{Q_H} \dots\dots\dots (8)$$

$Q_H$  merupakan kalor masukan yang dikonversikan menjadi kerja berguna plus kalor yang keluar pada suhu rendah.

$$Q_H = W + Q_C \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{Jadi } W = Q_H - Q_C \quad \dots\dots\dots (10)$$

Dari persamaan (8) dan (10) diperoleh efisiensi siklus seperti pada persamaan (11) dan (12).

$$= \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$= 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \quad \dots\dots\dots (12)$$

atau

$$= 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad \dots\dots\dots (13)$$

berbagai efisiensi tertinggi akan dicapai apabila  $Q_C$  atau  $T_C$  dapat dibuat kecil. Jadi yang diinginkan adalah untuk memasukkan energi sebagai panas pada temperatur setinggi mungkin dan membuang energi sebagai panas pada temperatur serendah mungkin (Giancoli, 1997 : 530 ; reynolds dan perkins, 1977 : 260).

## 2.6 Komponen-komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap

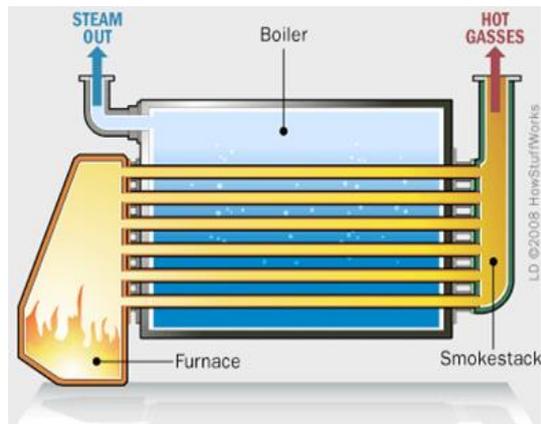
### 2.6.1 Boiler

Boiler adalah bejana yang terbuat dari baja untuk memindahkan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar ke air dalam menghasilkan uap. Berikut ini beberapa klasifikasi boiler.

#### 1. Berdasarkan isi tube/pipa

##### a. Pipa api

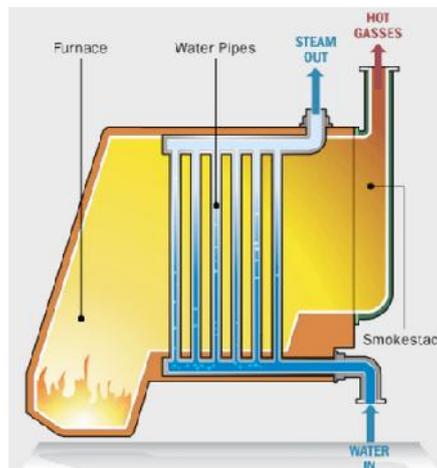
Pada ketel pipa api, nyala api dan gas panas yang dihasilkan pembakaran, mengalir melalui pipa yang dikelilingi oleh air. Panas dikonduksikan melalui dinding pipa dari gas panas ke air di sekeliling pipa tersebut. Contoh boiler pipa api sederhana, yaitu boiler vertikal sederhana, boiler Cochran, dan boiler Lanchashire. Untuk lebih jelasnya, boiler pipa api dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Boiler pipa api  
(science.howstuffworks.com)

b. Pipa air

Pada ketel pipa air, air dimasukkan ke dalam pipa dimana pipa dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar. Untuk lebih jelasnya, boiler pipa air dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Boiler pipa air  
(science.howstuffworks.com)

Contoh boiler jenis ini, yaitu boiler Stirling, boiler La-Mont, dan boiler Benson.

2. Berdasarkan posisi dapur pembakar

a. Pembakaran dalam

Pada boiler pembakaran dalam, dapur diletakkan di dalam *shell*/kulit boiler. Sebagian besar ini merupakan jenis boiler pipa api.

- b. Pembakaran luar
  - Pada ketel uap pembakaran luar, dapur disusun dibawah susunan bata.
  - Pipa air termasuk dalam kategori ini.
- 3. Berdasarkan sumbu *shell*
  - a. Vertikal
  - b. Horizontal
- 4. Berdasarkan jumlah pipa
  - a. Pipa tunggal
    - Pada boiler pipa tunggal, hanya ada satu buah pipa api atau pipa air.
    - Contoh jenis ini adalah boiler Cornish dan boiler vertikal sederhana
  - b. Pipa banyak
    - Pada boiler pipa banyak, ada dua atau lebih pipa api atau pipa air (Yunus, 2010 : 29)

## 2.6.2 Turbin

Penggunaan turbin uap untuk keperluan pembangkit tenaga listrik merupakan pilihan yang cukup menguntungkan karena mempunyai efisiensi yang relatif lebih tinggi dan bahan bakar yang digunakan untuk pembangkit uap dapat bervariasi. Turbin uap adalah suatu penggerak mula-mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik kemudian energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Poros turbin dihubungkan dengan generator.

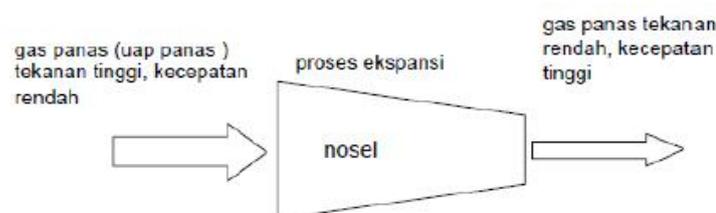
Turbin merupakan mesin rotari yang bekerja karena terjadi perubahan energi kinetik menjadi putaran poros turbin. Proses perubahan itu terjadi pada sudu-sudu turbin. Fluida gas dengan energi potensial yang besar berekspansi sehingga mempunyai energi kinetik tinggi yang akan mendorong torak atau sudu, karena dorongan atau tumbukan tersebut, torak atau sudu kemudian bergerak. Proses tumbukan ini dinamakan dengan impuls.

### 1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin yang mempunyai roda jalan atau rotor dimana terdapat sudu-sudu impuls. Bentuk turbin impuls pendek dengan penampang yang

konstan. Ciri yang lain adalah secara termodinamika penurunan energi terbanyak pada nosel, dimana pada nosel terjadi proses ekspansi atau penurunan tekanan. Sudu-sudu turbin uap terdiri dari sudu tetap dan sudu gerak. Sudu tetap berfungsi sebagai nosel dengan energi kinetik yang naik, sedangkan pada sudu bergerak tekanannya konstan. Proses perubahan atau konversi energi pada turbin mulai terjadi pada nosel, yaitu ekspansi fluida gas pada nosel. Pada proses ekspansi di nosel, energi fluida dan tekanan mengalami penurunan. Berbarengan dengan penurunan energi dan tekanan, kecepatan fluida gas naik karena proses ekspansi. Kemudian, fluida gas dengan energi kinetik tinggi menumbuk sudu turbin dan memberikan sebagian energinya ke sudu, sehingga sudu pun bergerak. Perubahan energi dengan tumbukan fluida di sudu adalah azas impuls.

Perubahan energi dengan azas reaksi, sudu turbin reaksi berfungsi seperti nosel. Hal ini berarti, pada sudu turbin reaksi terjadi proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan fluida gas dengan dengan dibarengi kenaikan kecepatan. Prinsip reaksi adalah gerakan melawan aksi, jadi dapat dipahami dengan kenaikan kecepatan fluida gas pada sudu turbin reaksi, sudu turbin pun akan bergerak sebesar nilai kecepatan tersebut dengan arah yang berlawanan. Proses ekspansi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses ekspansi pada nosel  
(Masagus S Rizal, 2013)

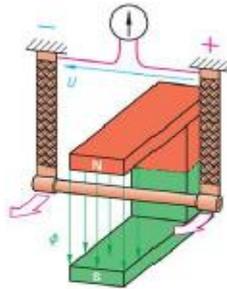
## 2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi pertama kali dikenalkan oleh Parson. Turbin reaksi tiga tahap, terdiri dari 3 baris sudu tetap dan 3 baris sudu bergerak. Sudu tetap dibuat sedemikian rupa sehingga fungsinya sama dengan nosel. Sedangkan sudu bergerak dapat dibedakan dengan jelas dengan sudu impuls karena tidak simetris. Sudu bergerak pun difungsikan sebagai nosel, karena fungsinya yang sama dengan sudu tetap, tetapi arah lengkungnya berlawanan. Penurunan tekanan

adalah sinambung dari tahap satu ke tahap berikutnya, dari sudu tetap dan sudu bergerak. Kecepatan absolutnya setiap melewati sudu tetap akan naik dan setelah melewati sudu bergerak akan turun, selanjutnya akan berulang sampai akhir tahap (Rizal, 2013:104).

### 2.6.3 Generator

Generator merupakan sebuah perangkat yang merubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator dikenalan Michael Faraday 1832, sebuah kawat penghantar digantung dua ujungnya ditempatkan diantara kutub magnet permanen utara-selatan. Antara kutub utara dan selatan terjadi garis medan magnet. Prinsip generator dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Prinsip generator  
(Masagus S Rizal, 2013)

Kawat penghantar digerakkan dengan arah panah, maka terjadi di kedua ujung kawat terukur tegangan induksi oleh Voltmeter.

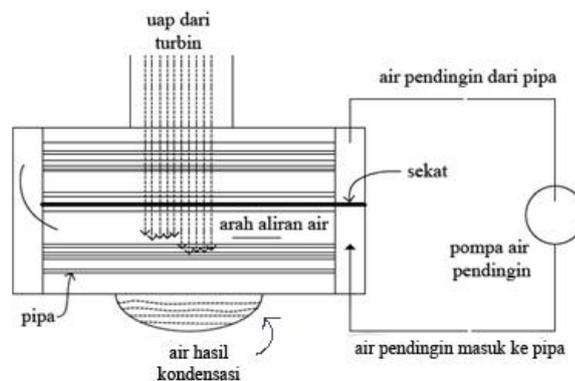
Pada umumnya generator dibuat dengan menggunakan magnet permanen dengan 4 kutub rotor. Gambar 16 menunjukkan potongan melintang konstruksi generator DC. Generator DC terdiri dari dua bagian, yaitu stator yang merupakan bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor merupakan bagian mesin DC yang berputar (Rizal, 2013:156).



Gambar 16. Kontruksi generator  
(Masagus S Rizal, 2013)

## 2.6.4 Kondenser

Kondenser merupakan peralatan untuk mengembunkan kembali uap yang telah dimanfaatkan untuk memutar turbin uap. Hal ini diperlukan untuk menghemat sumber air yang ada disekitarnya serta menjamin kemurnian air yang digunakan dalam sistem turbin uap agar tidak terjadi pengendapan maupun kotoran-kotoran yang dapat merusak. Sebagai pendingin kondenser biasanya menggunakan air dingin (Sianturi, 2008:32). Untuk lebih jelasnya, sistem kondenser dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Sistem Kondenser  
(Ronny Samuel Sianturi, 2008)

## 2.7 Bahan Bakar

### 2.7.1 Solar

Bahan bakar solar adalah bahan bakar minyak hasil sulingan dari minyak bumi mentah, bahan bakar ini umumnya berwarna coklat yang jernih. Penggunaan solar umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih. Minyak solar ini biasa juga disebut *Gas Oil*, *Automotive Diesel Oil*, *High Speed Diesel* (Pertamina, 2005). Bahan bakar solar mempunyai sifat-sifat utama yaitu :

- Warna sedikit kekuningan dan berbau
- Encer dan tidak mudah menguap pada suhu normal
- Mempunyai titik nyala yang tinggi (40 °C sampai 100°C)

- d. Terbakar secara spontan pada suhu 350°C
- e. Mempunyai berat jenis sekitar 0,82 – 0,86
- f. Mampu menimbulkan panas yang besar (10.500 kcal/kg)
- g. Mempunyai kandungan sulfur yang lebih besar daripada bensin.

Adapun spesifikasi bahan bakar solar adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Bakar Solar

Parameter	Limit	
	Min	maks
Sulfur Content (% wt)	-	0,5
Specific Gravity at 60°F	0,82	0,87
Cetane Number	45	48
Viscosity Kinematic	1,6	5,8
Residu Carbon % wt	-	0,1
Water Content % vol	-	0,05
Ash Content %wt	-	0,01
Flash Point °F	150	-
Calorific Value (kcal/kg)	10500	10667

Sumber : Pertamina 2005

### 2.7.2 Gas

LPG (*liquified petroleum gas*) adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam atau kilang *crude oil*. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ). Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana ( $C_2H_6$ ) dan pentana ( $C_5H_{12}$ ).

Sebagai bahan bakar, gas LPG mudah terbakar apabila terjadi persenyawaan di udara. Untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan perlu diketahui beberapa sifat umumnya: (PT. Aptogas Indonesia, 2015)

1. Tekanan gas LPG cukup besar, sehingga bila terjadi kebocoran LPG akan membentuk gas secara cepat, memuai dan sangat mudah terbakar
2. LPG menghambur di udara secara perlahan sehingga sukar mengetahuinya secara dini

3. Berat jenis LPG lebih besar dari pada udara sehingga cenderung bergerak kebawah
4. LPG tidak mengandung racun
5. Daya pemanasannya cukup tinggi, namun tidak meninggalkan debu dan abu (sisa pembakaran)
6. Cara penggunaannya cukup mudah dan praktis.

Analisa sifat fisika-kimia LPG di beberapa Depot di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisa Sifat Fisika-Kimia LPG di Beberapa Depot di Indonesia

Sifat fisika-kimia LPG	Depot A	Depot B	Terminal C	Terminal D
Vapor Pressure 100°F	92	110	105	95
Weathering Test 360°F	99	99	98	99
Copper Strip Corrosion 100°F	1b	1a	1b	1b
Total Sulfur	0,87	1,01	2,38	4,07
Water Content	No Free Water	No Free Water	No Free Water	No Free Water
Specific Gravity 60/60°F	0,57	0,54	0,54	0,53

Keterangan :

Depot A di Palembang, Sumatera Selatan

Depot B di Indramayu, Jawa Tengah

Depot C di Semarang, Jawa Tengah

Depot D di Denpasar, Bali

Sumber : Lambaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi Volumee 46, Nomor 2 (2012)