

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Boiler

##### 2.1.1 Pengertian Boiler

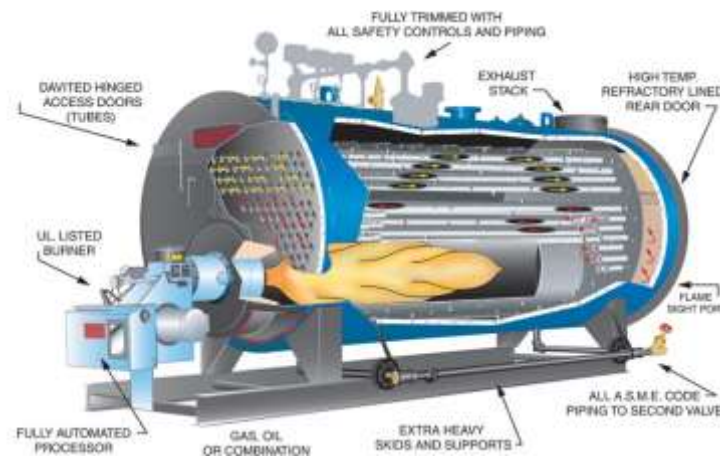
*Boiler* atau ketel uap adalah suatu bejana/wadah yang di dalamnya berisi air atau fluida lain untuk dipanaskan. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Secara proses konversi energi, *boiler* memiliki fungsi untuk mengkonversi energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar menjadi energi panas yang tertransfer ke fluida kerja. (Suprianto, 2015).

##### 2.1.2 Jenis-jenis Boiler

Berdasarkan tipe *tube*, boiler dibedakan menjadi dua yaitu:

###### 1. Boiler Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

*Boiler* ini memiliki dua bagian didalamnya yaitu bagian pipa yang merupakan tempat terjadinya pembakaran dan bagian *barrel* yang berisi fluida. Tipe ini memiliki karakteristik yaitu menghasilkan jumlah *steam* yang rendah serta kapasitas yang terbatas. Proses pengapian terjadi didalam pipa dan panas yang dihasilkan dihantarkan langsung kedalam *boiler* yang berisi air.

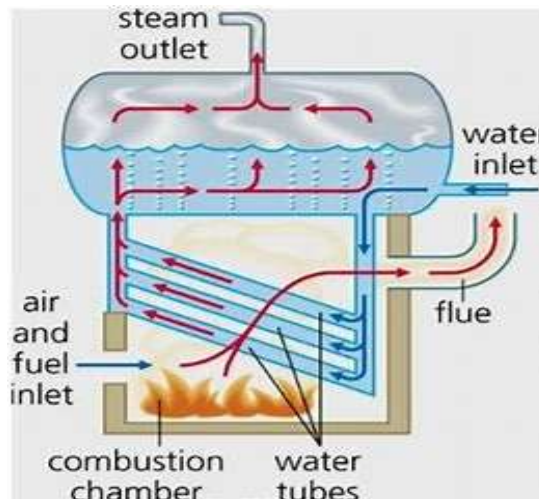


**Gambar 2.1** *Fire Tube Boiler*

(sumber: Murni, Buku ajar ketel uap, 2012)

## 2. Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

*Boiler* ini memiliki konstruksi yang hampir sama dengan jenis pipa api, jenis ini juga terdiri dari pipa dan *barrel*, yang membedakan hanya sisi pipa yang diisi oleh air sedangkan sisi *barrel* merupakan tempat terjadinya pembakaran. Pada *boiler* pipa air, air umpan mengalir melalui bagian dalam pipa yang selanjutnya masuk ke dalam *drum*. Proses pengapian terjadi pada sisi luar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa berisi air. *Steam* yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan didalam sebuah *steam drum* yang memiliki tekanan dan temperatur tertentu dimana *steam* yang dihasilkan tersebut merupakan *saturated steam*. Kemudian *saturated steam* tersebut akan dipanaskan kembali oleh *superheater* untuk menghasilkan *superheated steam* melalui pipa distribusi.



**Gambar 2.2** *Water Tube Boiler*

(sumber: Murni, Buku ajar ketel uap, 2012)

### 2.2 Prinsip Kerja Boiler

Air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar, sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air, yang mengakibatkan air tersebut menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin. Sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis lebih tinggi akan turun ke dasar (Djokosetyardjo, 1990).

Sistem yang dimiliki *boiler* untuk memenuhi kebutuhan *steam* terbagi menjadi beberapa sistem yaitu sistem air umpan (*feed water system*), sistem *steam* (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*) (UNEP, 2006).

- a. Sistem air umpan (*feed water system*) merupakan sistem yang berguna untuk memenuhi kebutuhan *steam* dengan cara mengalirkan air umpan ke dalam *boiler*.
- b. Sistem *steam* (*steam system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses produksi *steam* dan mengumpulkan berbagai data dalam *boiler* dengan cara mengalirkan uap ke titik pengguna dengan menggunakan sistem pemipaan.
- c. Sistem bahan bakar (*fuel system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses pembakaran dengan cara menyuplai bahan bakar ke ruang pembakaran untuk menghasilkan panas.

### 2.3 Hukum Termodinamika

Termodinamika adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi ketika suatu sistem mengalami proses termodinamika dari suatu keadaan ke keadaan lain. Berbagai aplikasi teknik menunjukkan pentingnya prinsip-prinsip termodinamika teknik seperti pada sistem energi alternatif, pembangkit listrik, sistem pendingin, pompa kalor merupakan sistem-sistem yang menghasilkan suatu konversi energi.

#### 1. Hukum Termodinamika I

Hukum Termodinamika I merupakan penerapan kekekalan energi, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Meskipun energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya dengan total energinya sama. Bila diberikan panas ( $dQ$ ) pada suatu sistem, maka sistem akan berekspansi dan melakukan kerja sebesar ( $dW$ ) dan menimbulkan penambahan kecepatan molekul dari sistem serta penambahan jarak antara molekul-molekul dari sistem karena sistem berekspansi. Energi total dari suatu sistem disebut sebagai energi dalam ( $U$ ). 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 mempunyai dua sifat lebih lanjut, yaitu:

- a. 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.
- b. Sifat kedua energi dalam adalah perpindahan energi. Kalor dan kerja adalah cara dalam mengubah energi sistem. Energi adalah energi, bagaimanapun cara memperolehnya atau menghabiskannya.

Kedua sifat energi ini diringkas menjadi pernyataan yang disebut hukum pertama termodinamika yaitu energi dalam suatu besarnya tetap kecuali jika diubah dengan melakukan kerja atau pemanasan (Atkins, 1999). Sesuai dengan hukum ini, energi yang diberikan oleh kalor mesti sama dengan kerja eksternal yang dilakukan ditambah dengan perolehan energi dalam karena kenaikan temperatur. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan (Daryus, 2007):

$$Q = \Delta U + W$$

Keterangan:

- Q : Kalor yang dipindahkan  
 $\Delta U$  : Perubahan energi dalam  
 W : Kerja yang dilakukan dalam satuan kalor

## 2. Hukum Termodinamika II

Hukum termodinamika II timbul berdasarkan pernyataan oleh:

- a. Clausius, bahwa: “adalah tidak mungkin bagi sistem apapun untuk beroperasi sedemikian rupa sehingga hasil tunggalnya akan berupa suatu perpindahan energi dalam bentuk kalor dari benda yang lebih dingin ke benda yang lebih panas”.
- b. Kelvin Planck, bahwa: “tidak mungkin menggunakan proses siklus untuk memindahkan panas dari benda panas dan mengubahnya menjadi kerja tanpa memindahkan sebagian panasnya kepada benda dingin pada saat yang sama”.

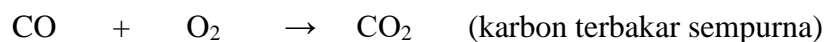
- c. Weber, bahwa: “adalah panas tidak dapat mengalir dari benda yang suhunya rendah ke suhu yang tinggi, kecuali ditambah energi dari luar sistem untuk mengubah benda tersebut”.

Sehingga dapat dinyatakan bahwa bunyi Hukum Termodinamika II yaitu “kalor mengalir secara alami dari benda yang panas ke benda yang dingin; kalor tidak akan mengalir secara spontan dari benda dingin ke benda panas tanpa dilakukan usaha. Hukum termodinamika II mendefinisikan konsep termodinamika entropi. Entropi suatu sistem bertambah selama ada perubahan spontan. 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.

## 2.4 Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar yang disertai dengan adanya produksi panas dan cahaya. Pembakaran sempurna terjadi jika perbandingan bahan bakar dan pasokan oksigen yang tepat. Bila oksigen terlalu banyak, pembakaran akan menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya jika bahan bakar terlalu banyak, pembakaran akan menghasilkan api reduksi.

Dalam proses suatu pembakaran jika tidak ada cukup oksigen, maka karbon tidak akan terbakar seluruhnya, contohnya sebagai berikut:



Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “Tiga T”, yaitu:

### 1. *Temperature*

*Temperature* yang digunakan untuk pembakaran yang baik adalah dengan menggunakan *temperature* yang tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia.

## 2. Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan oksidator. Oksigen didalam udara yang dialirkan ke ruang bakar ada kemungkinan dapat langsung mengalir ke cerobong tanpa kontak dengan bahan bakar. Turbulensi udara akan membentuk pencampuran yang baik antara udara bahan bakar sehingga akan diperoleh proses pembakaran yang sempurna.

## 3. *Time*

Waktu harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia. Setiap reaksi kimia memerlukan waktu tertentu untuk pembakaran.

## 2.5 Proses Perpindahan Panas

Proses perpindahan panas dari sumber panas ke penerima panas dibedakan atas tiga cara, yaitu perpindahan panas secara konveksi, konduksi, dan radiasi. (Mc. Cabe, 1999).

### 1. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya rendah dengan media penghantar panas tetap. Perpindahan panas konduksi terjadi pada benda padat. Tetapi molekul-molekul benda padat yang satu tidak berpindah ke benda padat yang lain. Di dalam *boiler* pada pipa-pipa air, panas dirambatkan oleh molekul-molekul pipa air bagian dalam yang berbatasan langsung dengan air ataupun *steam drum* dan *water drum*.

### 2. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi/aliran adalah proses perpindahan panas melalui molekul-molekul fluida cair atau gas. Bila suatu pipa panas dialiri fluida tersebut akan menghantarkan panas ke seluruh bagian fluida lainnya. Perpindahan panas secara konveksi dibagi menjadi dua jenis yaitu:

#### a. Konveksi Alami

Konveksi alami merupakan perpindahan panas melalui fluida secara alami, misalnya dengan memanaskan sebatang pipa kemudian dibiarkan

pipa tersebut menjadi dingin, fluida yang menghantar kalor adalah udara terbuka. Jadi perpindahan panas yang terjadi disini adalah perpindahan panas secara konveksi alami adalah antara dinding pipa dengan udara luar. Sementara pada *boiler*, konveksi alami terjadi pada antar molekul air didalam pipa air yang mendapatkan panas dari dinding pipa serta air panas dari pipa air yang menghantarkan panas ke fluida yang berada di *steam drum* dan sebagainya.

b. Konveksi Paksa

Konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi karena disengaja. Atau perpindahan panas yang mana alirannya tersebut berasal dari luar, seperti dari blower atau kran dan pompa.

3. Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan panas dari suatu sumber panas ke penerima panas secara memancar (tanpa media), melalui suatu gelombang elektromagnetik. Saat sumber panas memancarkan panas sebagian energinya akan diserap oleh penerima dan sebagian akan dipantulkan.

## 2.6 *Saturated Steam dan Superheated Steam*

Pada dasarnya, *steam* (uap air) itu dibuat dari air yang dipanaskan. *Steam* dihasilkan dari ketel uap atau *boiler*, dimana air yang sudah dibebas mineralkan atau *demin water* dipompakan ke dalam *boiler* yang terdiri dari susunan *tube* atau pipa yang saling sambung dan dipanaskan pada suhu tertentu. *Saturated steam* atau *steam* basah adalah *steam* yang dihasilkan dari proses pembuatan *steam* tingkat pertama di *boiler*, dimana biasanya suhunya berkisar antara 150-300°C. Namun, pada intinya adalah *saturated steam* merupakan *steam* yang dihasilkan dari pemanasan air. *Saturated steam* ini masih banyak mengandung air sehingga mudah membentuk air kembali akibat kondensasi karena penurunan suhu akibat pipa distribusi *steam* yang terlalu jauh.

*Superheated steam* sendiri merupakan *steam* yang terbuat dari *saturated steam* yang dipanaskan kembali dalam *boiler* sampai suhu  $\pm 700^\circ\text{C}$ . *Steam* ini betul-betul sangat kering.

## 2.7 Rasio Udara Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio*)

Prosedur ini merupakan prosedur yang paling sering digunakan untuk mendefinisikan pencampuran udara dengan bahan bakar. *Air Fuel Ratio* (AFR) merupakan rasio perbandingan antara massa bahan bakar dengan udara yang terjadi pada suatu reaksi pembakaran. Pada reaksi pembakaran, AFR memegang peran penting dalam menentukan jalannya proses pembakaran tersebut, selain itu AFR juga berperan dalam pembentukan nyala api dan hasil gas buang dari suatu proses pembakaran. Persamaan AFR pada campuran stoikiometri dituliskan dalam rumus:

$$AFR_{stoikiometri} = \frac{n_{udara}}{n_{bahan\ bakar}}$$

Dimana:

$AFR_{stoikiometri}$  : Rasio udara dan bahan bakar dalam keadaan stoikiometri

$n_{udara}$  : Jumlah mol udara

$n_{bahan\ bakar}$  : Jumlah mol bahan bakar

**Tabel 2.1** *Excess Air* dan O<sub>2</sub> Optimum pada gas buang berbagai Bahan Bakar

Bahan Bakar	Optimum Excess Air (%)	Optimum O <sub>2</sub> pada Stack Gas (%)
Batubara	20-25	4-4,5
Biomassa	20-40	4-6
Stoker Firing	25-40	4,5-6,5
BBM	5-25	1-3
Gas Bumi/LPG	5-10	1-2
Black Liquor	5-10	1-2

(Sumber: *The Engineering ToolBox*, 2003)

## 2.8 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah segala sesuatu yang dapat diubah menjadi energi. Bahan bakar memiliki kandungan zat/energi bersifat panas dan dapat dilepaskan serta dimanipulasi. Undang-undang No. 22 Tahun 2001 Pasal 1 ayat 11 menyebutkan “Bahan Bakar Minyak adalah bahan bakar yang berasal dan/atau diolah dari Minyak Bumi”. Menurut wujudnya, bahan bakar dibedakan ke dalam tiga bentuk, yaitu:



### 1. Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat memiliki bentuk padat. Sebagian besar bahan bakar padat menjadi sumber panas, contohnya: kayu dan batubara. Energi panas yang dihasilkan dari bahan bakar ini berubah menjadi uap yang kemudian menggerakkan peralatan dan menyediakan energi.

### 2. Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan bahan bakar yang memiliki sifat struktur tidak rapat. Bila dibandingkan dengan bahan bakar padat, molekul pada bahan bakar cair dapat bergerak bebas. Bensin, solar, dan minyak tanah adalah contoh dari bahan bakar cair yang biasa dipakai pada kendaraan, rumah tangga, dan industri. Minyak mentah jika disuling akan menghasilkan berbagai macam jenis bahan bakar cair, seperti bensin, minyak tanah/kerosen, solar, dan sebagainya.

### 3. Bahan Bakar Gas

Terdapat dua jenis bahan bakar gas yang biasa digunakan, yaitu *Compressed Natural Gas* (CNG) dan *Liquid Petroleum Gas* (LPG). CNG terdiri dari kandungan unsur metana, sementara LPG merupakan campuran dari unsur butana, propana dan bahan kimia lainnya. LPG banyak digunakan sebagai bahan bakar kompor pada rumah tangga, dan juga digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yang menggunakan gas sebagai energinya.

## 2.9 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

*Liquified Petroleum Gas* (LPG) merupakan gas hidrokarbon produksi dari kilang minyak dan kilang gas dengan komponen utama gas propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ). Di Indonesia, LPG digunakan terutama sebagai bahan bakar untuk memasak. Konsumen LPG bervariasi, mulai dari rumah tangga, kalangan komersial hingga industri. Di kalangan industri, LPG digunakan sebagai bahan bakar industri makanan, keramik, dan gelas. Selain itu, LPG juga dapat digunakan sebagai bahan baku industri *aerosol* serta *refrigerant* ramah lingkungan. Tabung LPG terdiri dari beberapa ukuran, mulai dari ukuran tabung gas 3 kg sampai 50 kg. ([www.pertamina.com](http://www.pertamina.com)).

Sifat produk LPG (*Liquified Petroleum Gas*) adalah sebagai berikut:

1. Tidak berwarna, untuk dapat melihat fluida tersebut maka perlu ditambah zat warna
2. Tidak berbau, untuk menjamin faktor keselamatan diberi zat odor, sehingga apabila terjadi kebocoran akan tercium
3. Tidak berasa
4. Tidak (sangat sedikit) beracun, apabila terjadi kebocoran diudara dalam konsentrasi sekitar (2-3%) dapat mengakibatkan pusing dan selanjutnya pingsan. Apabila terjadi kebocoran di ruang tertutup, dapat menggantikan oksigen di ruangan tersebut dan akan dapat mengakibatkan gangguan saluran pernapasan (sesak napas) pada orang yang ada di dalamnya.
5. Mudah terbakar, secara umum bahwa persyaratan mutu LPG adalah LPG harus dapat menguap dengan sempurna dan terbakar dengan baik pada saat pemakaian tanpa menyebabkan korosi atau meninggalkan deposit didalam sistem.

**Tabel 2.2** Jenis LPG Menurut Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2009 tentang Penyediaan dan Pendistribusian LPG

Jenis	Keterangan	Contoh
LPG Tertentu	LPG yang merupakan bahan bakar yang mempunyai kekhususan karena kondisi tertentu seperti pengguna/penggunaannya, kemasannya, volume dan/atau harganya yang masih harus diberikan subsidi	5 Kg
LPG Umum	LPG yang merupakan bahan bakar pengguna/penggunaannya, kemasannya, volumenya dan harganya yang tidak diberikan subsidi	12 Kg, 50 Kg, <i>bulk</i>

(Sumber: Syukur, Hasan.M. *Penggunaan Liquified Petroleum Gases (LPG): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat LPG*)

## 2.10 Efisiensi Termal Boiler

Efisiensi *boiler* adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara supply energi masuk ke dalam *boiler* dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh *boiler*. Efisiensi pembakaran boiler secara umum menjelaskan kemampuan sebuah *burner* untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar (*furnace*) *boiler*. Efisiensi *boiler* dihitung dari jumlah bahan bakar yang tidak terbakar bersamaan dengan jumlah udara sisa pembakaran (*excess air*). Pembakaran *boiler* dapat dikatakan efisien apabila tidak ada bahan bakar yang tersisa di ujung keluaran ruang bakar *boiler*, begitu pula dengan jumlah udara sisa.

Untuk mendapatkan efisiensi pembakaran yang tinggi, *burner* dan ruang bakar *boiler* harus didesain seoptimum mungkin. Di sisi lain perbedaan penggunaan jenis bahan bakar juga mempengaruhi efisiensi pembakaran. Diketahui bahwa bahan bakar cair (seperti solar dan residu) dan gas (seperti LNG dan LPG) menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi jika dibandingkan bahan bakar padat seperti batubara.

Satu-satunya yang sulit dari efisiensi pembakaran adalah bagaimana mengejar angka yang paling optimal. Efisiensi pembakaran ditandai dengan terbakarnya keseluruhan bahan bakar di ruang bakar. Sedangkan parameter kontrol yang digunakan untuk memastikan keseluruhan bahan bakar tersebut adalah jumlah udara sisa pembakaran (*excess air*) yang keluar melalui *stack*. Semakin banyak jumlah *excess air* yang keluar melewati cerobong asap, maka semakin kecil pula kemungkinan jumlah bahan bakar yang belum terbakar bisa melewati cerobong asap. Namun juga, semakin banyak jumlah *excess air* yang lolos melewati cerobong asap, jumlah energi panas yang lolos terbawa oleh udara sisa tersebut juga semakin banyak. Maka dari itu ada angka optimum dari besaran *excess air*, sehingga didapatkan efisiensi pembakaran *boiler* yang paling optimal.

Ada dua metode untuk menghitung efisiensi bahan bakar pada *boiler*, yaitu metode langsung dan metode tak langsung. Metode langsung atau dikenal juga sebagai metode *input-output*, dilakukan dengan jalan membandingkan secara langsung energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap air (energi *output*), dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar *boiler* (energi *input*).

Efisiensi ketel uap dinyatakan sebagai perbandingan panas sebenarnya yang digunakan untuk memanaskan air dan pembentukan uap terhadap panas hasil pembakaran bahan bakar di dalam dapur. Untuk mengetahui kinerja sebuah *boiler* tidak cukup hanya dengan mengetahui efisiensinya saja. Dengan mengetahui efisiensi *boiler* saja kita hanya dapat menyatakan bahwa ketel yang dievaluasi masih dapat bekerja dengan baik atau tidak, atau dapat juga dikatakan jika *boiler* mengalami penurunan efisiensi, masih dalam batas kewajaran atau tidak. Jadi jelas bahwa efisiensi menunjukkan kemampuan untuk menyerap panas dari hasil pembakaran.

Rumusan sederhana dari perhitungan metode langsung adalah sebagai berikut:

$$\eta_{fuel} = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel}} \times 100\%$$

$$\eta_{fuel} = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

Dimana:

$\eta_{fuel}$  : Efisiensi bahan bakar *boiler* (%)

$Q_{steam}$  : Energi panas total yang diserap uap air (kalori; Joule)

$Q$  : Debit uap air keluar *boiler* (kg/jam)

$h_g$  : Entalpi uap keluar *boiler* (Kcal/kg)

$h_f$  : Entalpi air masuk *boiler* (kcal/kg)

$Q_{fuel}$  : Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar (kalori; Joule)

$q$  : Debit kebutuhan bahan bakar (kg/jam)

$GCV$  : *Gross Calorific Value* atau nilai kalor spesifik bahan bakar (kcal/kg)  
(Sugiharto Agus, 2020, PPSDM MIGAS, Cepu)

Pada metode langsung, ada beberapa parameter yang harus diukur secara presisi agar didapatkan hasil perhitungan yang akurat. Parameter-parameter tersebut adalah:

- a. Debit air (*feedwater*) masuk ke *boiler*
- b. Tekanan dan temperatur keseluruhan aliran fluida air umpan (*feedwater*) yang masuk ke *boiler*

- c. Debit kebutuhan bahan bakar yang digunakan (kg/jam)
- d. Nilai kalor (*heating value*) bahan bakar (kcal/kg)

Metode tidak langsung merupakan perbedaan antara energi yang masuk dan energi yang keluar. Rumusan sederhana dari perhitungan metode tidak langsung:

$$\eta = \frac{Q_4}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \times 100\%$$

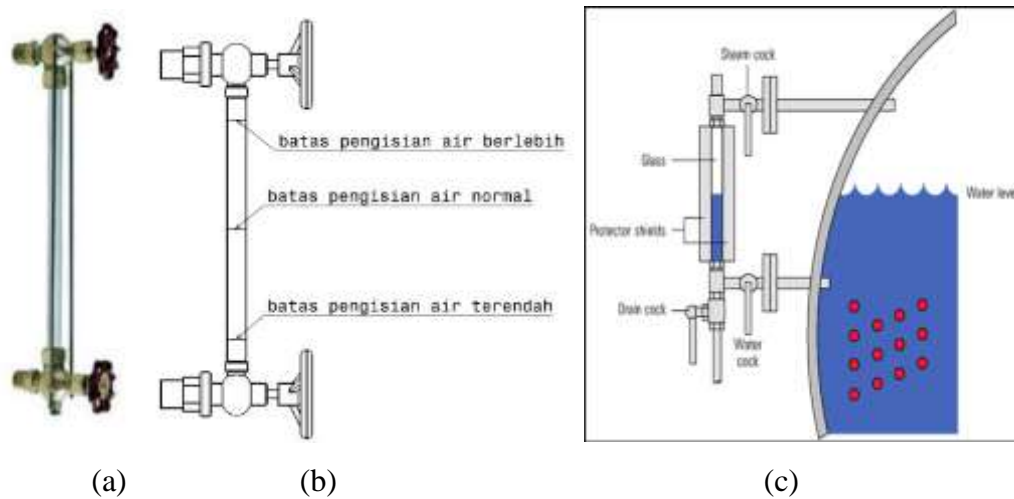
### 2.11 Level Ketinggian Air

Level ketinggian air pada *boiler* mengindikasikan volume air yang terisi di dalam *drum*. *Pressure steam* yang dihasilkan *boiler* dikendalikan dengan menjaga kestabilan level air yang masuk ke *boiler*. Jika terlalu banyak air di *boiler* maka *steam* yang dihasilkan tidak maksimal menyebabkan adanya kandungan air pada *steam* dan temperatur keluaran *boiler* turun, sedangkan jika air di *boiler* terlalu sedikit menyebabkan *steam* kering dan temperatur keluaran *boiler* naik sehingga dalam keadaan darurat perlu untuk menurunkan *pressure* dengan membuang *steam* melalui *drain* atau *safety valve* hingga kebutuhan proses tetap terpenuhi. (Decy Natalian dkk, 2012).

Pengaruh ketinggian level air pada *drum boiler* terhadap variabel lainnya, yaitu:

1. Level ketinggian air dipengaruhi oleh temperatur gas sebagai bahan bakar yang masuk ke pipa pada *boiler*. Jika temperatur tinggi akan menyebabkan proses penguapan air pada *drum boiler* semakin tinggi
2. Level ketinggian air yang tinggi akan menyebabkan *steam* yang dihasilkan mengandung uap air, jika level terlalu rendah maka akan menghasilkan *steam* yang terlalu kering dan akan menyebabkan kerusakan pipa-pipa pada *boiler*
3. Level ketinggian air yang terlalu rendah dapat menyebabkan *drum boiler* akan rusak karena terlalu panas
4. Level ketinggian air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pemisahan uap tidak berfungsi dengan baik, kontrol suhu akan sulit dan pipa *steam* dan *superheater* bisa rusak oleh kelembaban atau akumulasi kimia pengolahan air.

Level ketinggian air di dalam *drum boiler* dapat diketahui melalui instrumen *water level gauge*. Jenis *water level gauge* yang dapat digunakan yaitu *reflex glass* dengan mengetahui level air dari tabung kaca.



**Gambar 2.3** (a) *Reflex Glass*. (b) Indikator Pengisian Air. (c) Komponen *Water Level Gauge*.