

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Boiler**

Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan *steam* (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud 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 yang lebih tinggi akan turun ke dasar (MF Syahputra.2018).

Fungsi dari boiler adalah menghasilkan uap yang digunakan untuk kebutuhan proses pabrik, dan membangkitkan listrik untuk kebutuhan pabrik maupun perumahan karyawan di sekitar pabrik. Adanya pengaruh pengotoran baik yang ditimbulkan dari bahan bakar maupun air umpan sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler (Asmudi, 2017).

Klasifikasi Boiler secara umum dibagi dua yaitu, Boiler pipa api dan Boiler pipa air. Jenis Boiler pipa api banyak digunakan oleh industri yang memerlukan tekanan uap yang relatif rendah, misalnya pabrik-pabrik gula. Sedangkan jenis pipa air digunakan oleh industri/pembangkit listrik yang memerlukan tekanan uap yang tinggi, misalnya pada pusat-pusat listrik tenaga uap.

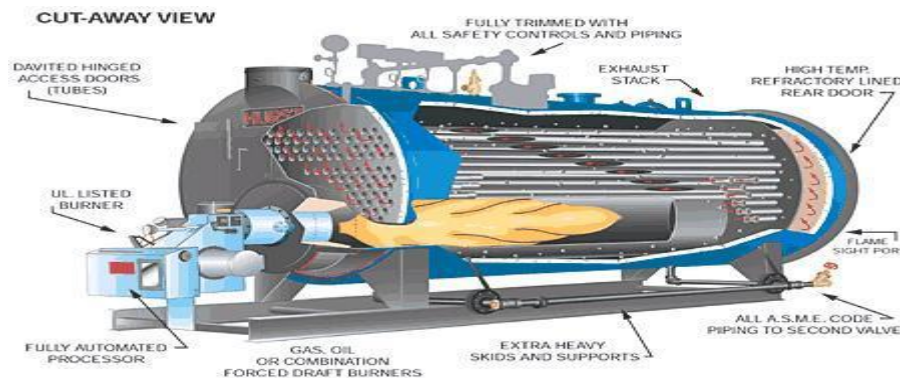
### **2.2 Jenis-Jenis Boiler**

#### **2.2.1 Boiler Pipa Api ( *Fire tube boiler* )**

Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa-pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa –pipa api tersebut.

Dalam perancangan boiler ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar boiler yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai

dengan yang dibutuhkan. Untuk lebih jelas boiler pipa api tipe vertikal dapat dilihat pada gambar 1.



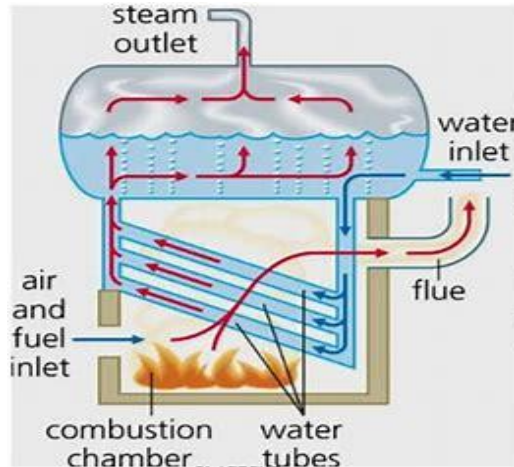
**Gambar 1. Boiler Pipa Api**

(sumber: Okifianti.2015.Boiler dan Jenisnya)

Boiler yang tergolong dalam jenis *fire tube boiler* adalah jenis boiler kecil yang sederhana dan pada umumnya memiliki kapasitas 10 Ton/jam dengan tekanan 16 kg/cm<sup>2</sup>, jadi tergolong ke dalam boiler bertekanan rendah. Karena kapasitas, tekanan, dan temperature uap yang dihasilkan rendah maka *fire tube boiler* jarang digunakan untuk pengolahan modern. Kekurangannya adalah lambat dalam mencapai tekanan operasi pada awal operasi, dan keuntungan menggunakan boiler ini adalah fleksibel terhadap perubahan beban secara cepat (Dalimunthe, 2016).

### 2.2.2 Ketel Pipa Air (*Water tube boiler*)

Ketel pipa air, yaitu ketel uap dengan air atau uap berada di dalam pipa - pipa atau tabung dengan pipa api atau asap berada diluarnya. Di dalam *water tube boiler*, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. *Steam* terbentuk karena sirkulasi air yang dipanaskan oleh gas pembakar yang terjadi di daerah uap di dalam drum. Sebagai ketel yang sudah sangat modern, *water tube boiler* biasanya dirancang dengan tekanan sangat tinggi dan memiliki kapasitas *steam* antara 4.500-12.000 kg/jam (UNEP, 2016).



**Gambar 2. Water tube boiler**

(sumber: Okifianti, 2015. Boiler dan Jenisnya)

Umumnya *water tube boiler* terdiri dari beberapa drum (biasanya 2 atau 4 buah) dengan eksternal *tubes*. Biasanya ujung-ujung *tubes* disambung atau dihubungkan langsung dengan drum-drum dengan cara di roll atau di ekspansi, kadang kala sambungan antara *tubes* dengan drum selain di roll juga diperkuat dengan las atau seal welded.<sup>13</sup> Apabila kapasitas boiler lebih besar dari 20 MW atau tekanan operasi boiler lebih besar dari 24 bar. Maka boiler dianggap cocok untuk produksi uap dalam jumlah besar dengan skala industri dengan uap yang dihasilkan yaitu superheated (Dalimunthe, 2016). Penggunaan *water tube boiler* diakui memiliki keuntungan yang lebih karena memiliki reaksi yang cepat terhadap beban, dan kelembapan panas termal yang dapat dikatakan kecil. Unit pengolahan yang sudah modern banyak menggunakan *water tube boiler* sebagai pilihan, karena dapat menghasilkan uap air dengan kapasitas, temperatur, dan tekanan yang tinggi sesuai kebutuhan.

### 2.2.3 Keuntungan dan Kerugian Ketel Pipa Air

Keuntungan-keuntungan ketel pipa air:

1. Menghasilkan uap dengan tekanan lebih tinggi dari pada ketel pipa api.
2. Untuk daya yang sama, menempati ruang/tempat yang lebih kecil daripada ketel pipa api.
3. Laju aliran uap lebih tinggi.

Kerugian-kerugian ketel pipa air :

1. Air umpan mensyaratkan mempunyai kemurnian tinggi untuk mencegah endapan kerak di dalam pipa. Jika terbentuk kerak di dalam pipa bisa menimbulkan panas yang berlebihan dan pecah.
2. Ketel pipa air memerlukan perhatian yang lebih hati-hati bagi penguapannya, karena itu akan menimbulkan biaya operasi yang lebih tinggi.
3. Pembersihan pipa air tidak mudah dilakukan.

#### **2.2.4 Keuntungan dan Kerugian Ketel Pipa Api**

Keuntungan-keuntungan ketel pipa api:

1. Tidak membutuhkan setting khusus, sehingga proses pemasangannya mudah dan cepat.
2. Investasi awal untuk boiler pipa api ini murah.
3. Bentuknya lebih compact dan portable.
4. Untuk 1 HP boiler tidak memerlukan area yang besar.

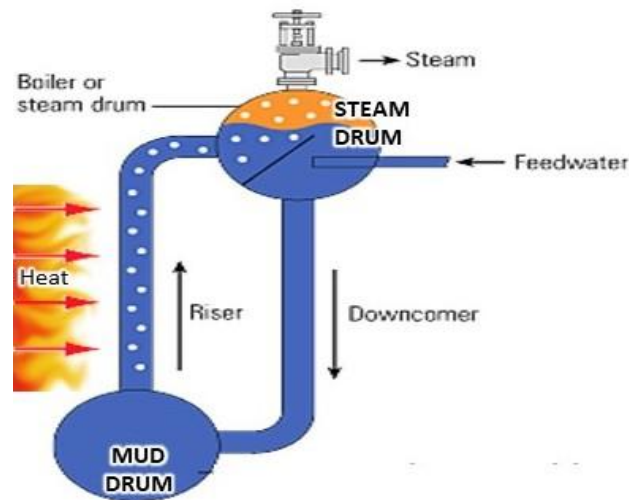
Kerugian-kerugian ketel pipa api :

1. Tekanan operasi *steam* terbatas untuk tekanan rendah 18 bar.
2. Jika dibandingkan dengan water tube, kapasitas *steam*nya relative kecil (13.5 TPH).
3. Tempat pembakarannya sulit dijangkau sehingga susah untuk dibersihkan, diperbaiki, dan diperiksa kondisinya.
4. Banyak energi kalor yang terbuang langsung menuju stack sehingga nilai effisiensinya rendah.

### **2.3 Steam Drum**

*Double Drum Water Tube Boiler* yang artinya menggunakan 2 drum dan tube pada boiler tersusun secara berlawanan arah dengan *steam drum* dengan tujuan memperluas *area tube* sehingga luas area perpindahan panas pada boiler menjadi lebih besar. Unit yang paling utama adalah dua buah drum (*steam drum* dan *water drum*) yang terhubung dengan water tube dan super heater sebagai tempat terjadinya proses pemanasan air dan uap air. *Steam drum* Merupakan tempat

pemisahan uap basah dan uap kering. Uap kering akan langsung disalurkan menuju turbin sehingga *energy kinetic* uap tersebut digunakan untuk memutar turbin, sedangkan uap basah akan disalurkan menuju superheater untuk menciptakan uap kering dan kemudian disalurkan kembali pada *steam drum*.  
(sumber: Okifianti.2015.Boiler dan Jenisnya)



**Gambar 3. Steam Drum**

(sumber: Okifianti.2015.Boiler dan Jenisnya)

#### 2.4 Sistem Boiler

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, 2016).

1. Sistem air umpan (*feed water system*) merupakan sistem yang berguna untuk memenuhi kebutuhan *steam* dengan cara mengalirkan air umpan ke dalam boiler.
2. 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.
3. Sistem bahan bakar (*fuel system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses pembakaran dengan cara mensuplai bahan bakar ke dalam dapur pembakaran untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

## 2.5 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 yang lebih tinggi akan turun ke dasar. Prinsip kerja boiler yaitu mengubah dan memindahkan energi yang dimiliki bahan bakar menjadi energi yang dimiliki uap air. Berdasarkan bahan bakar yang digunakan, boiler dapat diklasifikasikan menjadi boiler bahan bakar padat, boiler bahan bakar cair, dan boiler bahan bakar gas. Pemanas ruangan juga merupakan salah satu aplikasi dari boiler. Prinsip kerja pemanas ruangan dikembangkan berdasarkan Hukum Termodinamika I dan II. (UNEP,2006).

## 2.6 Steam

Uap atau *steam* merupakan gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan *steam* adalah air bersih. Air dari *water treatment* yang telah diproses dialirkan menggunakan pompa ke *deaerator tank* hingga pada level yang telah ditentukan. Dengan meningkatnya suhu dan air telah mendekati kondisi didihnya, beberapa molekul mendapatkan energi kinetik yang cukup untuk mencapai kecepatan yang membuat sewaktu-waktu lepas dari cairan ke ruang di atas permukaan, sebelum jatuh kembali ke cairan. Pemanasan lebih lanjut menyebabkan eksitasi lebih besar dan sejumlah molekul dengan energi cukup untuk meninggalkan cairan jadi meningkat. Dalam hal ini pembakaran air dalam boiler adalah air yang melalui deaerator yang telah melalui pemanasan didalamnya yang dialirkan ke drum *boiler* (penampung *steam*) dan kemudian disuplai kedalam boiler untuk dipanaskan lebih lanjut sehingga menjadi *steam* basah.

Jika jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan lebih besar dari yang masuk kembali, maka air akan menguap dengan bebas. Pada keadaan ini air telah mencapai titik didihnya atau suhu jenuhnya, yang dijenuhkan oleh energi panas. Jika tekanannya tetap penambahan lebih banyak panas tidak mengakibatkan

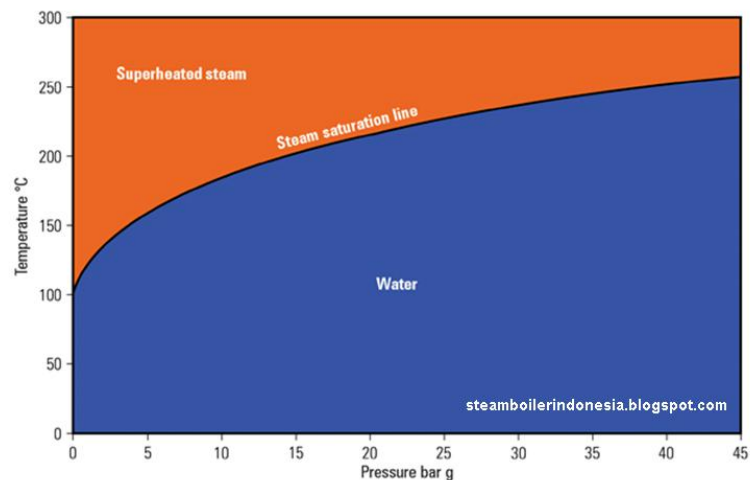
kenaikan suhu lebih lanjut namun menyebabkan air akan membentuk *steam* jenuh. Pada tekanan atmosfer suhu jenuh air adalah 100 °C, tetapi jika tekanannya bertambah maka akan ada penambahan lebih banyak panas dan peningkatan suhu tanpa perubahan fase. Oleh karena itu, kenaikan tekanan secara efektif akan meningkatkan entalpi air dan suhu jenuhnya. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva *steam* jenuh. Air dan *steam* dapat berada secara bersamaan pada berbagai tekanan dalam kurva ini, keduanya akan berada pada suhu jenuh. *Steam* pada kondisi diatas kurva jenuh dikenal dengan *superheated steam* (*steam* lewat jenuh). Adapun gambar *steam* grafik boiler dapat dilihat pada gambar 4.

### **2.6.1 Saturated steam**

Sebuah kondisi dimana uap air berada pada ekuilibrium tekanan dan temperatur yang sama dengan air fase cair (liquid). Uap saturasi menjadi fase transisi antara air fase cair dengan air fase gas murni, atau yang biasa kita kenal dengan uap panas lanjut (*superheated steam*). Pada saat air berada dalam fase transisi ini, terjadi pencampuran antara air fase cair (di kenal dengan istilah saturated water) dengan air fase gas (di kenal dengan istilah *saturated steam*) dalam proporsi yang sesuai dengan jumlah panas laten yang diserap fluida. *Saturated steam* adalah energi panas yang dihasilkan dari Boiler berupa uap panas/*steam* basah yang mengandung unsur air dengan suhu bisa mencapai 250°C jika diimbangi dengan tekanan yang tinggi pada boiler. Namun pada kondisi lapangan, rata-rata pabrik hanya menggunakan tekanan maksimal sampai 10 Bar. Sehingga saturated steamnya pun hanya masih di bawah kisaran 200°C.

### **2.6.2 Superheated steam**

*Superheated steam* adalah uap basah atau uap *saturated steam* yang di panaskan lagi. sehingga *steam* yang dihasilkan nilai kalorinya lebih tinggi, bisa mencapai 300°C. *Steam* ini sangat panas karena sudah dipanaskan lagi dan sudah tidak mengandung air lagi.



**Gambar 4. Steam grafik boiler**

(Sumber:Farhanelwajidi.2017)

## 2.7 Komponen- komponen Boiler

### 1. *Furnace* (Ruang bakar)

*Furnace* (ruang bakar) berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran.

### 2. *Burner*

Prinsipnya *burner* adalah transduser yang berguna untuk membakar bahan bakar seefisien mungkin dan menghasilkan *heat flux* yang optimum.

### 3. *Steam drum*

*Steam drum* merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan *steam*. *Steam* masih bersifat jenuh (*saturated*).

### 4. *Superheater*

*Superheater* merupakan tempat pengeringan *steam* dan siap dikirim melalui main *steam pipe* dan siap untuk menggerakkan turbin *steam* atau menjalankan proses industri.

### 5. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan *steam* dari turbin (*steam* yang telah digunakan untuk memutar turbin).

### 6. *Safety valve*



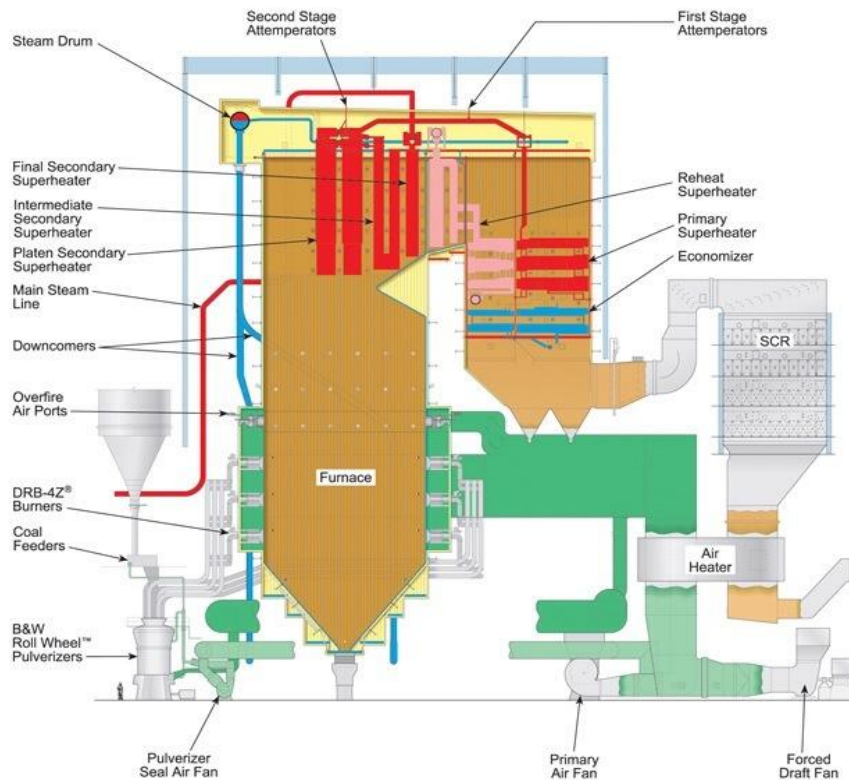
Komponen ini merupakan saluran buang *steam* jika terjadi keadaan dimana tekanan *steam* melebihi kemampuan boiler menahan tekanan *steam*.

#### 7. *Blowdown valve*

Komponen ini merupakan saluran yang berfungsi membuang endapan yang berada di dalam pipa *steam*.

#### 8. Drum Water

*Drum* bawah berfungsi sebagai tempat pemanasan air *ketel* yang didalamnya dipasang plat-plat pengumpul endapan lumpur untuk memudahkan pembuangan keluar (*Blowdown*). Selain itu, *water drum* juga berfungsi sebagai tempat pengendapan kotoran-kotoran air dalam *ketel*, yang tidak menempel pada dinding *ketel*, melainkan terlarut dan mengendap.



**Gambar 5. Komponen boiler**

(sumber:farhanelwajidi.2017)

## 2.8 Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan suatu proses dari reaksi kimia antara suatu bahan bakar dengan oksigen, yang memerlukan sumber panas sebagai media penyalanya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang

cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah *karbon*, *hidrogen* dan *sulfur*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6. Segitiga Api**

Untuk mendukung terjadinya pembakaran diperlukan tiga kondisi yang harus dipenuhi secara bersamaan, yaitu :

a) Adanya Oksigen

Didalam kimia pembakaran diperlukan percampuran antara bahan bakar dengan oksigen. Tanpa oksigen pembakaran tidak akan terjadi. Oksigen disini dapat diperoleh dari udara sekitar.

b) Bahan Bakar

Bahan bakar hanya akan menyala jika temperaturnya naik sesuai mendekati temperatur oksigen. Hal ini disebut sebagai "temperatur penyalaan" (*ignition temperature*). *Material combustible* memiliki titik temperatur penyalaan sendiri-sendiri.

c) Sumber Penyalaan

Proses pembakaran dapat terjadi jika bahan bakar dan oksigen bereaksi pada temperatur penyalannya. Sumber ini dapat berupa percikan api, api, bara atau metal yang membara.

Pembakaran bertujuan untuk melepaskan seluruh panas yang terdapat pada bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan "Tiga T" yaitu:

1) T- Temperatur

Temperatur yang digunakan untuk pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia. Supaya proses pembakaran suatu zat terjadi, maka temperatur dari zat tersebut harus berada pada suatu harga tertentu yang cukup untuk memulai terjadinya reaksi.

2) T- *Turbulensi*

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan oksidator. Oksigen di dalam udara yang dialirkan ke ruang bakar ada kemungkinan dapat langsung mengalir ke cerobong tanpa kontak dengan bahan bakar. Hal semacam ini dapat dihindari dengan cara memusarkan aliran udara. Turbulensi udara akan membentuk pencampuran yang baik antara udara bahan bakar sehingga akan diperoleh proses pembakaran yang sempurna.

### 3) *T- Time*

Waktu harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia. Setiap reaksi kimia memerlukan waktu tertentu untuk pembakaran. Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari penyalaan yaitu sebuah keadaan transisi dari tidak reaktif ke reaktif karena rangsangan atau dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi termal yang merupakan transfer energi termal ke reaktan oleh *konduksi*, *konveksi*, *radiasi* atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

## 2.8.1 Kebutuhan Udara Pembakaran

Dalam sistem pembakaran di *boiler*, perbandingan antara udara dan bahan bakar memiliki peranan yang penting dalam kualitas pembakaran. Jumlah udara yang terlalu sedikit, akan menyebabkan terlalu sedikit oksigen yang digunakan untuk mengubah bahan bakar *hidrokarbon* menjadi *karbon dioksida* dan air. Jumlah udara terlalu sedikit juga berarti pemborosan bahan bakar, karena tidak semua bahan bakar yang digunakan terbakar dan menjadi energi. Selain itu jumlah udara yang terlalu banyak juga akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Hal ini disebabkan karena kelebihan oksigen dan nitrogen akan menyebabkan terserapnya energi dalam pembakaran dan sisa gas buang ini akan dibuang melewati *stack*, sehingga sebagian energi yang dihasilkan akan terbuang dan menyebabkan tekanan operasi menurun.

Untuk menjaga perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada nilai yang optimal dengan menggunakan *air fuel ratio control* (ratio antara udara/bahan

bakar). Rasio udara-bahan bakar (*Air Fuel Ratio/AFR*) adalah rasio massa udara terhadap bahan bakar padat, cair, atau gas yang ada dalam proses pembakaran. Rasio ini merupakan parameter yang paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbolis, *AFR* dihitung sebagai perbandingan jumlah massa udara dengan jumlah massa bahan bakar.

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

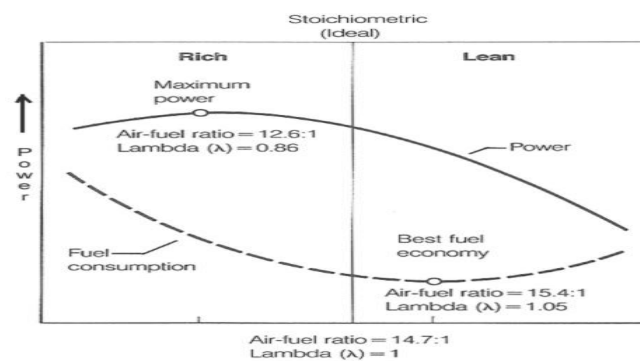
(Powers, 2014)

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

udara = Jumlah mol udara

bahan bakar = Jumlah mol bahan bakar

Untuk diagram stoikiometri dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7. Diagram Stoikiometri**

**Tabel 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 – 15	1 – 3
Gas Bumi/ LPG	5 – 10	1 – 2
Black Liquor	5 – 10	1 – 2

Sumber : Sonden winarto

## 2.9 Bahan Bakar LPG( *liquified petroleum 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 (PT. Aptogas Indonesia, 2015)

Berdasarkan cara pencairannya, LPG dibedakan menjadi dua, yaitu LPG *Refrigerated* dan *LPG Pressurized*. LPG *pressurized* adalah LPG yang dicairkan dengan cara ditekan ( $4-5 \text{ kg/cm}^2$ ). LPG jenis ini disimpan dalam tabung atau tangki khusus bertekanan. LPG jenis inilah yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di rumah tangga dan industri, karena penyimpanan dan penggunaannya tidak memerlukan penanganan khusus seperti LPG *Refrigerated*. (Cahyono, 2017)

LPG *refrigerated* yaitu LPG yang dicairkan dengan cara didinginkan. LPG jenis ini umum digunakan untuk mengapalkan LPG dalam jumlah besar (misalnya, mengirim LPG dari negara Arab ke Indonesia). Dibutuhkan tangki penyimpanan khusus yang harus didinginkan agar LPG tetap dapat berbentuk cair serta dibutuhkan proses khusus untuk mengubah LPG *refrigerated* menjadi LPG *pressurized*. Elpiji yang dipasarkan Pertamina dalam kemasan tabung dan curah adalah LPG *pressurized*. (Cahyono, 2017)

### 2.9.1 Sifat Fisik LPG

Tabel 2. Sifat Fisik dan Komponen Utama LPG

Komponen	Titik Didih (°C)	Tekanan Uap	Densitas Cairan ( $\text{kg/m}^3$ )	Nilai Kalor (kJ/kg)
<i>Propana</i>	-42,1	1310	506,0	50.014
<i>Propena</i>	-47,7	1561	520,4	48.954
<i>n-butana</i>	-0,5	356	583,0	49.155
<i>Isobutana</i>	-11,8	498	561,5	49.051
<i>i-butena</i>	-6,3	435	599,6	48.092

<i>cis-2-butena</i>	3,7	314	625,4	47.941
<i>trans-2-butena</i>	0,9	343	608,2	47.878
<i>Isobutena</i>	-6,9	435	600,5	47.786

### 2.9.2 Sifat Kimia LPG

1. Cairan dan gasnya sangat mudah terbakar
2. Gas tidak beracun, tidak berwarna, dan tidak berbau.
3. Berbentuk cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
4. Cairan dapat menguap jika dilepas dan menyebar dengan cepat.
5. Berat jenis lebih besar dibanding udara sehingga cenderung menempati daerah yang rendah (bergerak ke bawah).
6. Gas yang dicairkan adalah gas Propana dan Butana (C<sub>3</sub> dan C<sub>4</sub>)

### 2.10 Rasio Udara dan Udara Berlebih

Pada suatu reaksi pembakaran berlangsung dapat diketahui dari angka perbandingan antara jumlah udara actual dengan jumlah udara teoritisnya atau melihat seberapa besar kelebihan udara actual dari kebutuhan udara teoritisnya (dalam %), hal ini bertujuan untuk menilai efisiensi dari suatu proses pembakaran.

Untuk mengetahui jumlah udara actual harus diketahui kandungan O atau CO<sub>2</sub> dalam gas buang (% volume, basis kering) melalui pengukuran, sedangkan udara teoritis tergantung bahan bakar yang digunakan.

Jumlah udara actual tergantung pada beberapa faktor antara lain :

1. Jenis bahan bakar dan komposisinya
2. Desain ruang bakar (*Furnace*)
3. Kapasitas pembakaran (*Firing rate*) Optimum 70 – 90 %
4. Desain dan pengaturan burner

**Tabel 3. Rasio Udara Bahan Bakar**

No	Rasio Udara/BB	Udara Excess (%)
1	129.32	5
2	264.93	14
3	341.27	20
4	361.48	21
5	441.81	26

