

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Boiler

2.1.1 Pengertian Boiler

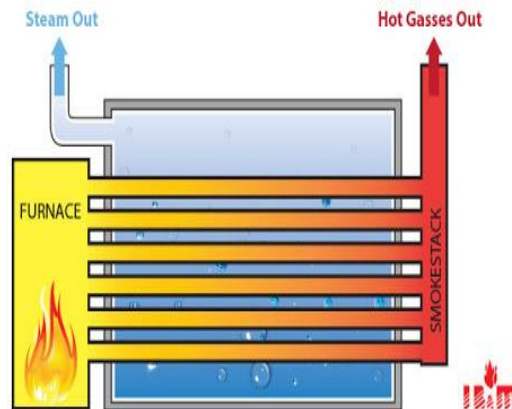
Boiler merupakan bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan, dimana uap bertekanan yang dihasilkan dipergunakan diluar boiler itu sendiri. Uap yang dihasilkan dari boiler ini pada umumnya berasal dari proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar gas, cair maupun bahan bakar padat. (Sugiharto Agus 2020). *Boiler* mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain unntuk menghasilkan kerja .Air yang ada didalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi. Uap yang disirkulasikan dari boiler digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti untuk penggerak, pemanas, dan lain-lain. (Fatimura Murinsyah, 2015)

2.1.2 Klasifikasi Boiler

Berbagai bentuk *boiler* telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evalusai dari produk-prodek *boiler* sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang boiler yang mempengaruhi lingkungan dan produk steam seperti apa yang akan dihasilkan. Berdasarkan fluida yang mengalir di dalam *tube*, *boiler* terbagi menjadi :

1. Fire tube boiler

Pada *fire tube boiler*, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan *boiler* ada di dalam *shell* untuk dirubah menjadi *steam*. *Fire tube boiler* biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relatif kecil dengan tekanan *steam* rendah dan sedang. Sebagai pedoman, *fire tube boiler* kompetitif untuk kecepatan *steam* sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm². *Fire tube boiler* dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas atau bahan bakar .

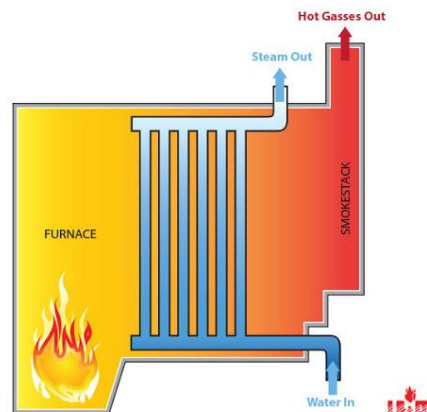


Gambar 2.1 *Fire Tube Boiler*

(Sumber: <http://www.industrialboiler.com/Boilers/Firetube-Boilers>)

2. Water Tube Boiler

Pada *water tube boiler*, air umpan *boiler* mengalir melalui pipa-pipa (*tube*) masuk ke dalam *steam drum*. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk *steam* pada daerah uap dalam *steam drum*. *Boiler* ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga listrik



Gambar 2.2 *Water Tube Boiler*

(Sumber: <http://www.industrialboiler.com/Boilers/Watertube-Boilers>)

2.1.3 Komponen-Komponen Boiler

1. Furnace (Ruang Bakar)

Furnace (Ruang Bakar) memiliki fungsi untuk sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam ruang bakar (*furnace*) sehingga terjadilah pembakaran. Di dalam ruang bakar terdapat pipa-pipa air yang mengalami kontak dengan api sehingga terjadi proses pemanasan. Ruang bakar terisolasi penuh menggunakan batu bata dan diplester dengan semen jenis PCC untuk mengurangi panas yang hilang.

2. Burner

Pada *Boiler*, *Burner* ini berfungsi untuk mengubah energi kimia yang terdapat dalam bahan bakar, menjadi energi panas didalam *furnace* melalui suatu reaksi kimia nyala api.

3. Steam Drum

Steam Drum Merupakan bagian satu komponen pada *boiler* pipa air yang mempunyai fungsi untuk *reservoir* campuran air dan uap air, dan juga berfungsi untuk memisahkan uap air dengan air pada proses pembentukan uap *superheater*.

4. Feed Water Drum

Feed Water Drum adalah bagian penting dari operasi *boiler*, ialah sebagai tempat penampungan air umpan *boiler*. Air umpan dimasukkan ke dalam *feed water drum* dari pompa umpan, kemudian air dialirkan ke seluruh *water tube* yang ada di *boiler*.

5. Water Tube

Water tube berfungsi sebagai tempat pemanasan air umpan *boiler* yang akan dikonversi menjadi *steam*. Selain itu , *water tube* juga sebagai penghubung antara *steam drum* dengan *feed water drum* untuk mengalirkan air dalam sistem.

6. Super Heater Tube

Super heater tube adalah *tube* yang berfungsi untuk menyerap panas secara konveksi dan radiasi dari gas buang pembakaran, sehingga *saturated steam* dapat semakin mengering dan menjadi *superheated steam*.

7. Safety Valve

Safety valve adalah alat yang berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. *Valve* ini terdiri dari *valve* pengaman *saturated steam* dan *valve* pengaman *superheated steam*.

8. *Pressure Indicator*

Pressure instrument adalah alat yang berfungsi untuk mengukur tekanan *steam* yang dihasilkan dalam *steam drum* pada *boiler*.

9. *Temperature Indicator*

Temperature instrument adalah alat yang berfungsi untuk mengukur temperatur *steam* yang dihasilkan dalam *steam drum* pada *boiler*.

10. *Water Level Volume*

Water level volume adalah alat yang berfungsi untuk mendeteksi volume air, ketinggian air, dan kualitas air didalam *drum*.

11. *Valve*

Valve adalah alat yang berfungsi untuk mengatur jumlah dan tekanan uap yang akan disuplai, selain itu berfungsi untuk menghentikan aliran uap untuk disuplai.

12. *Blowdown Valve*

Blowdown valve merupakan *valve* pembuangan sebagian dari air dalam *boiler*

2.2 *Steam*

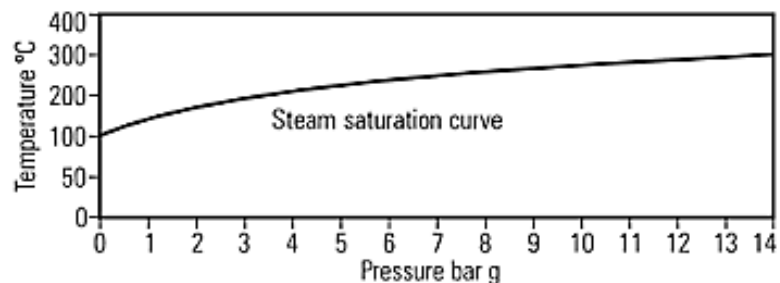
Uap atau *steam* merupakan gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan *steam* adalah air bersih. Air dari *water treatment* yang telah diproses dialirkan menggunakan pompa ke *deaerator tank* hingga pada level yang telah ditentukan. Pemanasan dalam *deaerator* adalah dengan menggunakan *steam* sisa yang berasal dari hasil pemutar turbin. 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 diatas permukaan, sebelum jatuh kembali ke cairan.

Pemanasan lebih lanjut menyebabkan eksitasi lebih besar dan sejumlah molekul dengan energi cukup untuk meninggalkan cairan jadi meningkat. Dengan

mempertimbangkan struktur molekul cairan dan uap, dapat diambil kesimpulan bahwa densitas *steam* lebih kecil dari air, sebab molekul *steam* terpisah jauh satu dengan yang lain. Ruang yang secara tiba-tiba terjadi diatas permukaan air menjadi terisi dengan molekul *steam* yang padat.

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. Suhu didalam *boiler* ini adalah sekitar 400°C - 459°C . Setelah proses yang terjadi di dalam *boiler* ini, aliran *steam* dilanjutkan ke *superheater* untuk menjadikan uap kering, suhu *steam* saat itu sekitar 520°C – 600°C dan siap disalurkan untuk memutar turbin.

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 tekananya 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 tekananya 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.



Gambar 2.3 Kurva *Steam* Jenuh

(Sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/4137/3/BAB%20II.pdf>)

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), sedangkan air yang berada pada kondisi dibawah kurva disebut air sub-jenuh.

Jika *steam* mengalir dari *boiler* pada kecepatan yang sama dengan yang dihasilkannya, penambahan panas lebih lanjut akan meningkatkan laju produksinya. Jika *steam* yang sama tertahan tidak meninggalkan *boiler*, dan jumlah panas yang masuk dijaga tetap, energi yang mengalir ke *boiler* akan lebih besar daripada energi yang mengalir keluar. Energi yang berlebih ini akan menaikkan tekanan, yang pada gilirannya akan menyebabkan suhu jenuh meningkat, karena suhu *steam* jenuh berhubungan dengan tekanannya.

2.3 Dasar Termodinamika

Termodinamika sangat berperan penting untuk menganalisis 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 di dalam peralatan. Berbagai sistem yang menjadi pusat perhatian disini merupakan 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).

2.3.1 Hukum Pertama Termodinamika

Hukum termodinamika pertama dikenal dengan prinsip konservasi energi yang menyatakan bahwa energi itu lestari. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, disebut juga Hukum Kekekalan Energi. Walaupun energi terdapat dalam berbagai bentuk, jumlah energi total adalah konstan, dan bila energi hilang dalam satu bentuk, energi ini timbul dalam bentuk lain secara bersama-sama. Dalam bentuk dasar, hukum pertama mensyaratkan:

$$\Delta (\text{Energi sistem}) + \Delta (\text{Energi sekeliling}) = 0 \dots \dots \dots (2.1)$$

(Sumber: Pudjarso dan Nursuhud, 2006)

Energi total dari suatu sistem disebut sebagai energi dalam (U). 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. 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 perpindahan energi. 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 (Atkins, 1999). Menurut Daryus dalam Febriani Rizki (2017), 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 berikut:

$$Q = \Delta U + W \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

Q = kalor yang dipindahkan

ΔU = perubahan energi dalam

W = kerja yang dilakukan dalam satuan kalor

2.3.2 Hukum Kedua Termodinamika

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

$$\Delta S_{\text{tot}} \geq 0 \dots\dots\dots(2.3)$$

Proses irreversibel (seperti pendinginan hingga mencapai temperatur yang sama dengan lingkungan dan pemuai 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 menaikkan entropi. Proses reversibel tidak menghasilkan entropi, melainkan hanya memindahkan entropi dari suatu bagian sistem terisolasi ke bagian lainnya (Atkins, 1999). 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:

$$dS = \frac{dQ}{T} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana dQ mewakili perpindahan kalor pada batas sistem selama terjadinya siklus, T merupakan temperatur absolut pada daerah batas tersebut. Sedangkan dS dapat mewakili tingkat ketidaksamaan atau nilai entropi. Pada saat hukum kedua termodinamika diterapkan, diagram entropi sangat membantu untuk menentukan lokasi dan menggambarkan proses pada diagram dimana koordinatnya merupakan 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).

2.4 Bahan Bakar

Bahan bakar Merupakan 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 angka 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, Sebagai Berikut:

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/korosen, solar, dan sebagainya.

3. Bahan Bakar Gas

Terdapat dua jenis bahan bakar gas yang biasa digunakan, adalah *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.

2.4.1 Pembakaran

Proses pembakaran merupakan rangkaian suatu reaksi kimia yang terjadi antara zat pengoksidasi berupa oksigen dan bahan bakar, dimana dalam proses pembakaran tersebut menghasilkan energi berupa panas dan perubahan senyawa kimia. Pelepasan energi panas tersebut menimbulkan cahaya dalam bentuk api. Reaksi pembakaran terjadi ketika suatu zat mampu bereaksi cepat dengan oksidator dan mendapat suhu yang cukup untuk memulai awal proses pembakaran atau yang disebut dengan energi aktivasi.

Energi aktivasi yang digunakan pada proses pembakaran umumnya berupa panas, panas tersebut akan mengaktifkan molekul penyusun dari bahan bakar, sehingga pada kulit terluar molekul bahan bakar akan melepas elektron dan berikatan membentuk suatu molekul baru dengan oksidator. (Electro, Systems, Generator, & Power, 2016). Berdasarkan sifat reaksinya, pembakaran terbagi menjadi:

1. *Complete Combustion* (Pembakaran Sempurna)

Pada pembakaran sempurna, reaktan akan terbakar dengan oksigen, menghasilkan sejumlah produk yang terbatas. Ketika hidrokarbon yang terbakar dengan oksigen, maka hanya akan dihasilkan gas karbon dioksida dan uap air. Namun kadang kala akan dihasilkan senyawa nitrogen di dalam udara. Pembakaran sempurna hampir tidak mungkin tercapai pada kehidupan nyata.

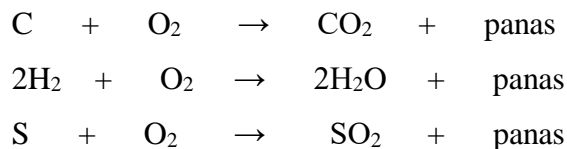
2. *Incomplete combustion* (Pembakaran Tidak Sempurna)

Pembakaran tidak sempurna umumnya terjadi ketika tidak tersedianya oksigen dalam jumlah yang cukup untuk membakar bahan bakar sehingga dihasilkannya karbon dioksida dan air. Pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan zat-zat seperti karbon dioksida, karbon monoksida, uap air dan karbon. Pembakaran yang tidak sempurna sangat sering terjadi dan merupakan pembakaran yang tidak diinginkan,

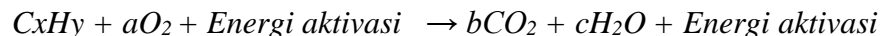
karena karbon monoksida merupakan zat yang sangat berbahaya bagi manusia. Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan perancangan media pembakaran yang lebih baik dan optimasi proses.

2.5 Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran

Reaksi pembakaran merupakan reaksi kimia bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara yang akan menghasilkan panas dan gas sisa pembakaran yang berlangsung dalam waktu yang sangat cepat. Reaksi pembakaran tersebut akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi. Dalam pembakaran, proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi pembakaran baik bahan bakar cair maupun bahan bakar gas merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen sehingga dihasilkan produk berupa karbon dioksida, uap air, oksida nitrogen atau produk lainnya tergantung pada kualitas pembakaran. Secara sederhana rumus reaksi pembakaran senyawa hidrokarbon dituliskan sebagai berikut:



Persamaan diatas adalah rumus reaksi pembakaran ideal, namun pada faktanya pembakaran sempurna sangat sulit terjadi, karena kebanyakan reaksi pembakaran yang terjadi menggunakan oksigen (oksidator) dari udara bebas. Kandungan udara bebas tidak hanya oksigen saja, melainkan banyak gas lainnya yang terkandung didalam udara bebas tersebut.

2.5.1 Rasio Udara dan 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 sebagai berikut.:

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

(Powers, 2014)

Keterangan:

$AFR_{stoikiometri}$ = 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 O₂ optimum pada gas buang berbagai Bahan Bakar

Bahan Bakar	Optimum Excess Air %	Optimum O₂ 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

2.6 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

Liquified Petroleum Gas (LPG) yaitu campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀). Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C₂H₆) dan pentana (C₅H₁₂).

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	3kg
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 Liquefied Petroleum Gases (Lpg): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat LPG*).

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, 2011)

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, 2011)

LPG merupakan sumber daya alam yang sangat berlimpah di Indonesia. Dewasa ini, telah banyak manfaat dari gas LPG yang digunakan untuk membantu kebutuhan kita dalam kehidupan sehari-hari. Dalam era modern sekarang ini dimana peralatan

sudah semakin canggih, gas LPG juga dimanfaatkan dalam berbagai hal, misalnya dalam bidang perindustrian, otomotif, bahkan rumah tangga. (Tarigan, 2010).

2.5.1 Sifat Fisik LPG

Sifat fisik komponen utama LPG terdapat dalam Tabel 2.1 (Handbook of Gas Engineer, 1965). Selain komponen utama tersebut, terdapat komponen lain dalam jumlah kecil seperti senyawa sulfat, air, dan sisa minyak serta tar.

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Komponen Utama LPG

Komponen	Titik Didih	Tekanan	Densitas	Nilai Kalor
	(°C)	Uap	Cairan (kg/m ³)	(kJ/kg)
Propana	-42,1	1310	506,0	50.014
Propena	-47,7	1561	520,4	48.954
n-butana	-0,5	356	583,0	49.155
Isobutana	-11,8	498	561,5	49.051
i-butena	-6,3	435	599,6	48.092
cis-2-butena	3,7	314	625,4	47.941
trans-2-butena	0,9	343	608,2	47.878
Isobutena	-6,9	435	600,5	47.786

(Sumber : Yatun, Isma (2013) *Studi Pemanfaatan Gas Suar Bakar untuk Umpan Kilang LPG di Tambun Bekasi*).

2.5.2 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 (C₃ dan C₄)

2.5.3 Spesifikasi LPG di Indonesia

Spesifikasi LPG berdasarkan komponen-komponen yang terdapat di dalamnya menurut klasifikasi Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009. Klasifikasi tersebut terdapat dalam Tabel 2.3

Tabel 2.4 Spesifikasi LPG di Indonesia

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Minimum	Maksimum	ASTM	Lain
1	Berat jenis relatif pada 60/60°F	-	Dilaporkan		D-1657	-
2	Tekanan uap pada 100°F	Psig	-	145	D-1267	-
3	<i>Weathering test</i> pada 36°F	% Vol	95	-	D-1837	-
4	Korosi bilah tembaga	1 jam / 100°F	-		D-1838	-
5	Kandungan sulfur total	Grains/100 cuft	-		D-2784	-
6	Kandungan air	-	Tidak ada kandungan air bebas		-	Visual
7	Komposisi:					
	C ₂	% Vol				
	C ₃ dan C ₄	% Vol	-	0,8		
	C ₅ (C ₅ dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	% Vol	97	-	D-2163	-
8	Etil atau butil merkaftan	MI/1000A G	50	-	-	-

(Sumber: Dirjen Migas, 2009)

2.5.4 Kegunaan LPG

Menurut Demansour dalam Trylidia Ningrum (2015) Elpiji sekarang ini memiliki banyak manfaat sebagai buah dari perkembangan teknologi menggantikan posisi minyak tanah, meski demikian gas cair ini memiliki resiko cukup tinggi pada penggunaannya yaitu kebocoran pada tabung bisa mengakibatkan ledakan karena salah satu sifatnya yang mudah terbakar. Berikut adalah beberapa manfaat teknologi gas LPG:

1. Pada umumnya elpiji digunakan sebagai alat bahan bakar untuk keperluan memasak rumah tangga.
2. LPG juga sering digunakan sebagai bahan baku khusus untuk keperluan industri.
3. Bisa digunakan untuk mandi hangat sebagai bahan bakar pemanas air gas (Demansour, 2014)

2.6 Flame Temperature

Temperatur Nyala Api (*Flame Temperatures*) suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas ke sekelilingnya. Suhu nyala adibatik diperlukan untuk mngetahui berapa besar panas yang yang terjadi ketika bahan bakar tersebut dibakar. Hal ini merupakan salah satu parameter karakteristik termal dari bahan bakar, seperti halnya bahan bakar solar yang dipakai sebagai bahan bakar. Perhitungan suhu nyala adibatik didasarkan atas persentase massa dari kandungan carbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen di dalam bahan bakar. Dalam pembakaran, semua kalor yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi kalor produk + kalor sensibel (Patabang, Daud 2009). *Flame temperature* adalah temperatur dimana suatu zat atau material melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada sehingga terbakar. walaupun banyak orang yang mengatakan bahwa temperatur nyala tidak dapat di tentukan secara nyata. Karena hal itulah para ahli mencari metode untuk menentukan nilainya secara teori. Temperatur nyala api ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu tergantung pada jenis bahan bakar dan oksida yang digunakan. Untuk api konvensional yang digunakan dalam *fotometri* nyala,

temperatur nyala yang lebih tinggi diperoleh dengan oksigen digunakan sebagai oksida bukan udara, karena di dalam udara terdapat nitrogen yang dapat menurunkan suhu nyala api (Melisa, 2015).

Flame temperatur juga bervariasi sesuai dengan rasio masing-masing komponen dalam campuran yang mudah terbakar. Jika campuran tidak masuk pembakar dalam komposisi optimal, bahan bakar kelebihan atau oksidan tidak berpartisipasi dalam reaksi dan gas inert seperti komponen berlebih menurunkan suhu nyala api. Temperatur yang di dapat secara *adiabatik*, dimana tidak ada panas yang masuk dan panas yang keluar pada saat terjadinya pembakaran. Sedangkan, suhu pembakaran disebut dengan *flame temperatur*.

Faktor-faktor yang mempengaruhi flame temperatur:

1. Temperatur Adiabatik
2. Tekanan *Atmosfir*
3. Bahan bakar yang terbakar
4. Ada tidaknya pengoksidasi dalam bahan bakar
5. Bagaimana *stokiometri* pembakaran yang terjadi

2.7 Perhitungan Efisiensi Dengan Metode Langsung

Dikenal 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 hanya 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:

η_{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.)