

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Suhaili Siti (2016), melakukan simulasi terhadap penggunaa boiler dalam industri, Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi permodelan berupa Ansys untuk mengetahui design ruang bakar yang cocok pada boiler, menggunakan berbagai jenis bahan bakar yang memberikan karakteristik yang berbeda terhadap reaksi pembakaran dan kinerja bahan bakar, hasil simulasi menunjukkan bahwa design dengan water tube yang terkena suplai panas api langsung merupakan design yang optimal untuk menghasilkan laju perpindahan panas ke *steam drum* boiler

John R., dkk, (2019), telah melakukan penelitian terhadap paket boiler dengan sistem *double drum* terhubung bersama dengan *baffle* untuk mengoptimalkan perpindahan panas. Unit ini dibuat untuk menghasilkan operasi pada kapasitas lebih tinggi dan tekanan lebih tinggi daripada unit konvensional serta memiliki waktu respon yang cepat.

Produksi steam boiler saat ini sudah dapat dilihat dari Henan Kaifeng Swet Boiler Co. Ltd China pada tahun 2016, yang menggunakan sistem double drum vertical dengan efisiensi thermal sebesar 61.1% dan nilai penguapan mencapai 10 ton/hour. Dua buah *drum* diletakkan secara berseberangan atau *cross section* yang dihubungkan oleh *water tube*. Kelebihan *boiler* ini ialah perpindahan panas yang terjadi dari *water tube* ke *steam drum* terjadi secara merata. Ini sudah bisa dikatakan bagus, namun masih ada sedikit kekurangan, yaitu *water tube* yang menghubungkan dua buah *drum* terpasang 90° tegak lurus terhadap permukaan mengakibatkan pergerakan molekul air dari *water drum* ke *steam drum* melawan gaya gravitasi sehingga laju penguapan terhambat., kemudian yang harus di perbaiki adalah dengan mengubah arah tube menjadi 65°. bertujuan untuk mengurangi gaya gravitasi sehingga kecepatan penguapannya akan lebih baik dibandingkan dengan vertical tube. Boiler yang diproduksi perusahaan ini mempunyai konfigurasi yang mirip dengan boiler-boiler yang diteliti oleh para peneliti sebelumnya.



Gambar 2.1. Produk Boiler dari Henan Kaifeng Sweet Boiler Co. Ltd
China pada tahun 2016

2.2 Pengertian *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.2010).

Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

2.3 Prinsip Kerja dan Sistem 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 (Djokosetyardjo, 1990).

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai kebutuhan uapnya. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Sistem bahan bakar merupakan semua alat yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar agar menghasilkan panas yang dibutuhkan. Prinsip kerja boiler yaitu mengubah dan memindahkan energi yang dimiliki bahan bakar menjadi energi yang dimiliki uap air. Pemanas ruangan juga merupakan salah satu aplikasi dari 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, 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.

2.4 Pengertian dan Jenis Boiler

Boiler atau ketel uap adalah salah satu mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi uap (Iskandar, 2015). Energi uap ini sangat diperlukan di industri-industri tekstil, kertas dan untuk makanan serta untuk berbagai keperluan, misalnya pemanas dan pembangkit listrik.

Air adalah media yang berguna untuk mengalirkan panas ke suatu proses dalam bidang industri. Jika air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

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, 2008).

2.4.1 Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

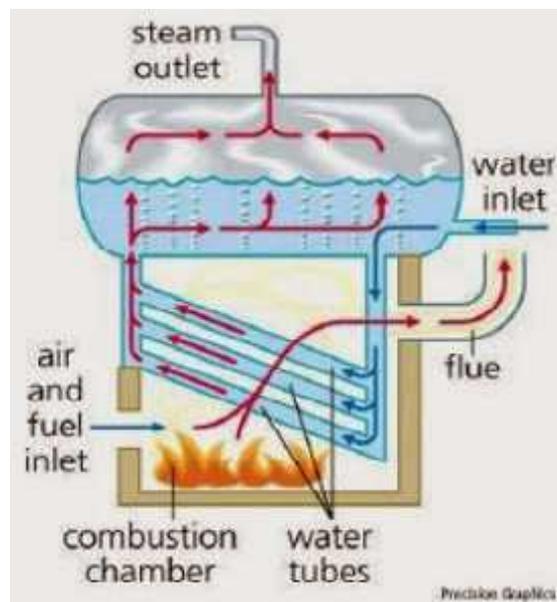
Berbagai bentuk *boiler* telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari produk-produk *boiler* sebelumnya. Evaluasi-evaluasi berdasarkan efisiensi, dampak terhadap lingkungan dan produk *steam* yang dihasilkan. Berdasarkan fluida yang mengalir di dalam pipa, *boiler* terbagi menjadi pipa api dan pipa air.

Pada *boiler* pipa air, air umpan mengalir melalui bagian dalam pipa yang selanjutnya masuk ke dalam *drum*. *Boiler* ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi. Karakteristik pada jenis ini ialah dapat menghasilkan *steam* dengan jumlah yang relatif banyak. *Boiler* pipa air umumnya terdiri dari beberapa *drum* dengan eksternal *tubes*. *Tubes* terhubung langsung dengan *drum* dengan cara diroll juga diperkuat dengan las atau *seal welded*.

Prinsip kerjanya yaitu proses pengapian terjadi di luar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa berisi air. *Steam* yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah *steam drum*. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, *saturated steam* dipanaskan lagi oleh *superheater* untuk

menghasilkan *superheated steam* hingga mengalir ke *outlet* sistem sebagai *superheated steam* melalui pipa distribusi. Bahan bakar yang banyak digunakan pada *boiler* jenis ini adalah minyak solar dan gas.

Penggunaan *water tube boiler* diakui memiliki keuntungan yang lebih karena reaksi konversi air menjadi uap dan transfer panas yang terjadi lebih cepat. *Boiler* jenis ini menjadi pilihan yang digunakan oleh unit pengolahan yang sudah modern karena dapat menghasilkan uap dengan kapasitas, temperatur dan tekanan yang tinggi sesuai dengan kebutuhan. Tekanan operasi *boiler* jenis ini mencapai 100 bar serta nilai efisiensinya lebih tinggi dibandingkan jenis *fire tube boiler*. Selain itu, pemeliharaan *water tube boiler* ini juga lebih mudah.



Gambar 2.2. Konfigurasi *Water Tube Boiler*

Sumber: <http://pembangkit-uap.blogspot.com/2015/03/fire-tube-boiler-dan-water-tube-boiler.html>)

2.4.2 Boiler Pipa Api

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. Pipa - pipa api berada atau terendam didalam air yang akan diuapkan. Volume air kira – kira $\frac{3}{4}$ dari tangki ketel.

Jumlah pass dari boiler tergantung dari jumlah laluan vertikal dari pembakaran diantara furnace dan pipa – pipa api. Laluan gas pembakaran pada

furnace dihitung sebagai pass pertama boiler jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo 2008: 180). Dalam perancangan boiler ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar boiler yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang dibutuhkan.

Faktor yang mendasari pemilihan jenis boiler adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas yang digunakan
- b. Kondisi steam yang dibutuhkan
- c. Bahan bakar yang dibutuhkan
- d. Konstruksi yang sederhana dan perawatan mudah
- e. Tidak perlu air isian yang berkualitas tinggi

Kerugian ketel pipa api :

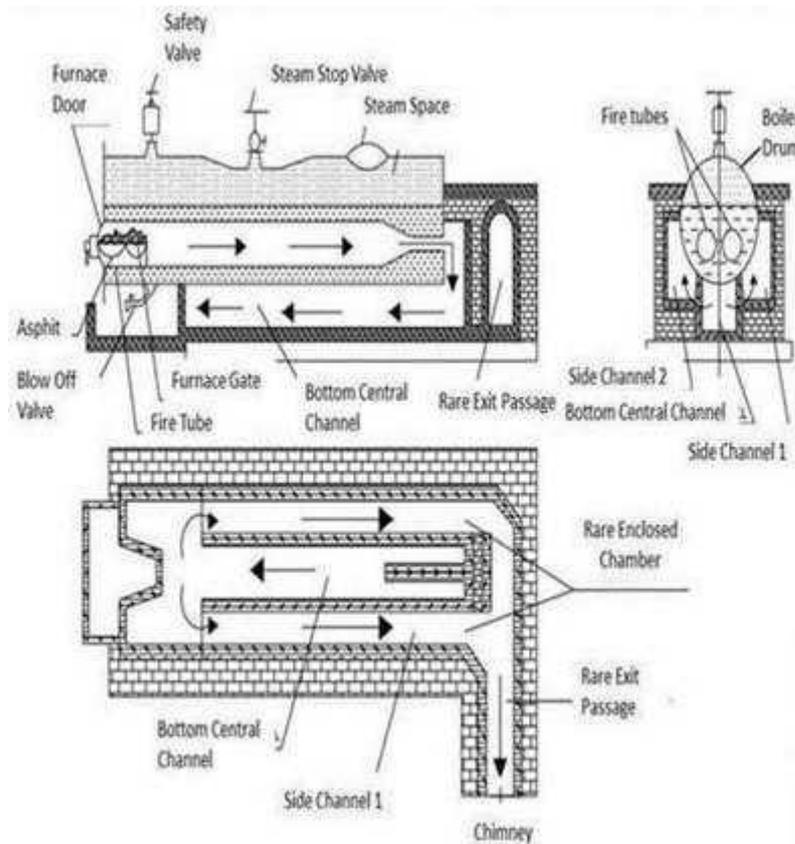
1. Tekanan steam hasil rendah
2. Kapasitas kecil
3. Pemanasan relatif lama

Prinsip aliran gas dalam ketel steam pipa api ada 3 macam :

1. Konstruksi dua laluan (pass) Konstruksi ini merupakan konstruksi ketel scotch yang mula – mula lorong api yang besar dibutuhkan untuk mendapatkan bidang – bidang pemanas yang luas.
2. Konstruksi tiga laluan (pass) Konstruksi ini gas asap melewati jalan yang lebih panjang sebelum meninggalkan cerobong, sehingga dapat menaikkan efisiensi kalor, akan tetapi tenaga yang dibutuhkan draft fan akan membesar akibat kerugian tekanan gas asap.
3. Konstruksi empat laluan (pass) Konstruksi ini merupakan unit yang mempunyai efisiensi yang lebih tinggi, karena jalan asap menjadi lebih panjang, maka tenaga draft fan menjadi lebih besar pula. Agar gas asap lebih tinggi dibuat ukuran pipa – pipa untuk pass – pass berikut yang lebih kecil.

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/cm² , jadi tergolong ke dalam boiler bertekanan rendah. Sering disebut ketel-ketel tanki, karena tempat air yang akan dipanaskan biasanya

berbentuk tanki. Karena kapasitas, tekanan, dan temperature uap yang dihasilkan rendah maka fire tube boiler jarang digunakan untuk pengolahan modern. Fire tube boiler memiliki konstruksi yang relatif sederhana, kokoh, dan mudah dijangkau harganya. Kekurangannya adalah lambat dalam mencapai tekanan operasi pada awal operasi, dan keuntungan menggunakan boiler ini adalah fleksibel terhadap perubahan beban secara cepat (Dalimunthe, 2006).



Gambar 2.3. Konfigurasi *Fire Tube Boiler*

2.5 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. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas dan nyala api/gas asap.

2. *Steam Drum*

Steam drum merupakan tempat penampungan air panas yang bercampur dengan uap air jenuh. Steam pada steam drum masih bersifat jenuh (saturated) dan akan diteruskan ke superheater untuk dijadikan steam superheated

3. *Feed Water Drum*

Feed water drum merupakan bagian penting dari operasi *boiler* yaitu tempat penampungan air umpan. Air umpan dimasukkan kedalam drum dari pompa umpan, di dalam drum air umpan kemudian di ubah mejadi uap dari panas yang dihasilkan.

4. Burner

Burner pada *boiler* berfungsi untuk mengubah energi kimia yang terdapat dalam bahan bakar, menjadi energi panas di dalam furnace melalui suatu reaksi kimia dalam nyala api.

5. *Water Drum*

Feed water drum merupakan bagian dari operasi *boiler*, yaitu sebagai tempat penampungan air umpan *boiler*. Air umpan dimasukkan ke dalam *feed water drum* dari pompa umpan, kemudian air memenuhi ruang *tube hingga steam drum dengan batas* yang telah di tentukan dalam pengoperasian *boiler*.

6. *Water Tube*

Water tube berfungsi sebagai tempat pemanasan air umpan *boiler* yg dibuat sebanyak mungkin hingga penyerapan panas lebih merata dengan efisiensi tinggi.

7. *Superheater*

Super heater tube merupakan sebuah komponen boiler yang berfungsi untuk memanaskan kembali uap saturated, pada tekanan kerja konstan, sehingga menjadi uap superheated.

8. *Safety Valve*

Safety Valve merupakan saluran buang steam jika terjadi keadaan di mana tekanan steam melebihi kemampuan boiler menahan tekanan steam.

9. *Blowdown Valve*

Blowdown valve adalah *valve* pembuangan air melalui water drum setelah temperature air dalam *boiler* dalam keadaan normal.

10. *Pressure Indicator*

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

11. *Temperature Indicator*

Temperature indicator berfungsi untuk mengukur temperatur steam yang dihasilkan dalam steam drum *boiler*.

12. *Water Level Gauge*

Water level gauge berfungsi untuk mendeteksi ketinggian air di dalam *steam drum*. Titik pembacaan *water level gauge* diatur dari 10% hingga 100% dengan melihat dari *glass tube FBG*.

13. *Drain Valve*

Drain valve adalah *valve* pembuangan sebagian dari air dalam *boiler* yang telah tinggi konsentrasinya, dan menggantikannya dengan air umpan *boiler* yang baru sehingga akan menurunkan konsentrasi air dalam *boiler*.

14. *Pompa*

suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut.

15. *Kompresor*

sebuah mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan atau memampatkan fluida gas atau udara.

16. *Valve*

sebuah perangkat yang terpasang pada sistem perpipaan, yang berfungsi untuk mengatur, mengontrol dan mengarahkan laju aliran fluida dengan cara membuka, menutup atau menutup sebagian aliran fluida.

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. 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.

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.

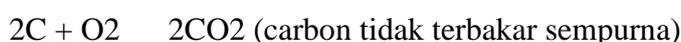
2.7 Pembakaran

Proses pembakaran yaitu merupakan rangkaian suatu reaksi kimia yang terjadi antara zat pengoksida 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.

2.8 Reaksi Kimia pada Proses Pembakaran

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. 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. 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 3 pengontrolan yaitu:

a. T- Temperatur

Temperatur yang digunakan untuk pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia.

b. T- Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi.

c. T- Time

Waktu harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

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 thermal yang merupakan transfer energi thermal ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut, Kimia yaitu dengan memasukan bahan kimia reaktif.

Temperatur adiabatik merupakan temperatur teoritis maksimum yang dicapai oleh produk-produk pembakaran bahan bakar dengan oksigen atau udara. Temperatur adiabatik terjadi pada udara lebih sama dengan nol (kondisi stokiometrik). Namun temperatur adiabatik juga bisa tidak tercapai hal ini disebabkan oleh kehilangan panas. Pembakaran yang cepat akan mereduksi kehilangan panas. Akan tetapi jika pembakaran berjalan lambat maka gas terdinginkan dan akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Terjadinya diasosiasi CO₂ dan H₂O pada temperatur diatas 300 0F, CO₂ dan H₂O terdisosiasi dengan menyerap panas. Jika gas mendingin produk disosiasi berekombinasi dan melepas energi disosiasinya. Jadi panasnya tidak hilang akan tetapi temperatur nyala aktual lebih rendah. (hidayat: 2004).

2.9 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 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, 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 adalah 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/korosol, 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 adalah 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.

2.10 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

Liquified Petroleum Gas (LPG) merupakan campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan

menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Elpiji jugamengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

Tabel 2. 1 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>

2.10.1 Sifat Fisik LPG

Sifat fisik komponen utama LPG terdapat dalam Tabel 2.2 (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. 2 Sifat Fisik dan Komponen Utama LPG

Komponen	Titik Didih ($^{\circ}C$)	Tekanan Uap	Densitas Cairan (kg/m^3)	Nilai Kalor (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

2.10.2 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)

2.10.3 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. 3 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	-	0,8		
	C ₃ dan C ₄	%Vol	97	-	D-2163	-
	C ₅ (C ₅ dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	%Vol	-	2,0		
8	Etil atau butil merkaftan	MI/1000AG	50	-	-	-

(Sumber: Dirjen Migas, 2009)

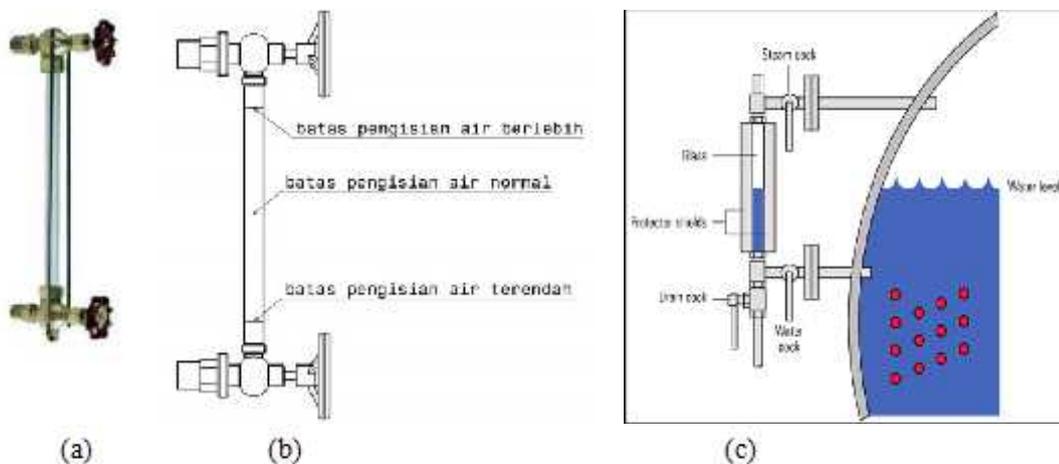
2.11 Level Ketinggian Air

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 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 akan 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 Nataliana dkk, 2012).

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

- 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
- 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 pada pipa-pipa pada *boiler*.

Level ketinggian air di dalam *drum boiler* dapat diketahui melalui instrumen *water level gauge*. Penunjukkan *water level gauge* tidak boleh berada di bawah dari level air yang aman pada saat terjadi perubahan naik turunnya level air secara berkala terhadap kenaikan suhu air pada *boiler*. Jenis *water level gauge* yang dapat digunakan yaitu *reflex glass* dengan mengetahui level air dari tabung kaca.

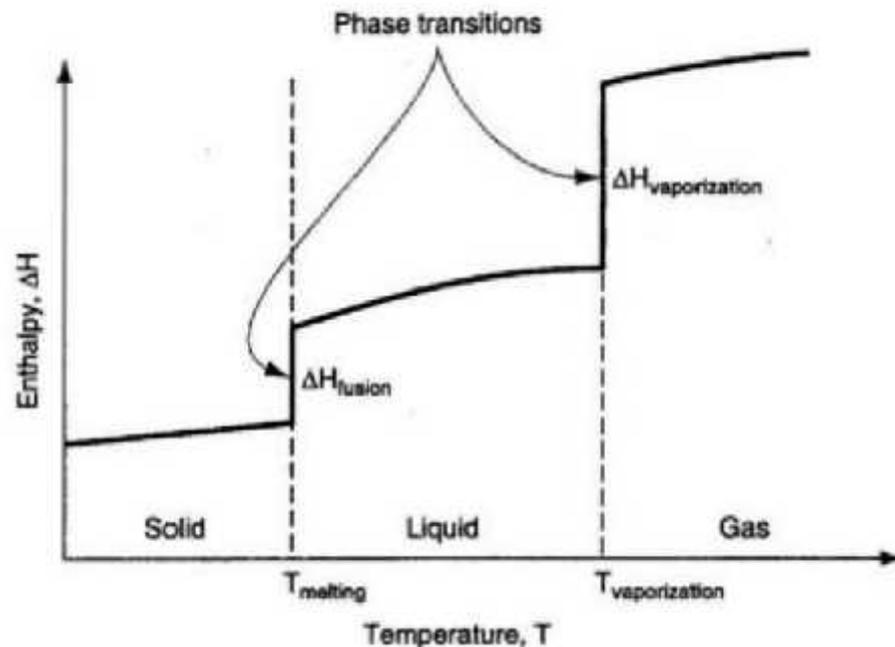


Gambar 2.4. (a) *Reflex Glass*. (b) indikator pengisian air. (c) komponen *water level gauge*

2.12 Entalpi

Entalpi adalah energi yang terkandung dalam sistem pada keadaan tekanan konstan. Dalam persamaan energi untuk kedua proses aliran dan non-aliran dapat terlihat bahwa istilah $(U+pV)$ berulang kali terjadi. Istilah ini dinamakan entalpi dengan simbol H . Dalam sistem aliran simbol pV merupakan aliran energi, tetapi dalam sebuah sistem non-aliran merupakan tekanan dan volume, memiliki satuan energi tetapi tidak mewakili energi.

Perubahan entalpi terjadi dari fasa padat ke cair hingga menjadi gas dan sebaliknya. Pada proses perubahan entalpi yang terjadi pada temperatur tetap disebut panas laten. Perubahan entalpi pada fasa yang sama disebut panas sensibel. Hubungan temperatur terhadap entalpi dapat dilihat pada Gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.5. Diagram Temperatur-Entalpi pada Perubahan Fasa

Transisi Fasa terjadi dari fasa padat menjadi fasa cair, dari fasa cair menjadi fasa gas dan sebaliknya. Pada proses transisi ini terjadi perubahan entalpi (dan energi dalam) dimana terjadi pada temperatur tetap yang disebut panas laten. Perubahan entalpi pada fasa yang sama disebut dengan panas sensibel.

Jenis-jenis panas laten:

- a) Panas peleburan (*Heat of Fusion*) (H_{fusion})
Terjadi pada perubahan fasa dari padat ke cair
- b) Panas Pemadatan
Terjadi pada perubahan fasa dari cair ke padat
- c) Panas Penguapan (*Heat of Vaporization*) (H_v)
Terjadi pada perubahan fasa dari cair ke gas
- d) Panas Kondensasi (*Heat of Condensation*)
Terjadi pada perubahan fasa dari gas ke cair

Contoh :

Tentukan entalpi air dalam fasa liquid pada suhu 307 K dan 500 kPa dan air dalam fasa liquid pada suhu dengan persamaan !

T K	Press. kPa	Volume, m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		
		V _l	V _g	H _l	H _{vap}	H _g
273.16	0.6113	0.001000	206.1	0.0	2500.9	2500.9
275	0.6980	0.001000	181.7	7.5	2496.8	2504.3
280	0.9912	0.001000	130.3	28.1	2485.4	2513.5
285	1.388	0.001001	94.67	48.8	2473.9	2522.7
290	1.919	0.001001	69.67	69.7	2462.2	2531.9
295	2.620	0.001002	51.90	90.7	2450.3	2541.0
300	3.536	0.001004	39.10	111.7	2438.4	2550.1
305	4.718	0.001005	29.78	132.8	2426.3	2559.1
310	6.230	0.001007	22.91	153.9	2414.3	2568.2
315	8.143	0.001009	17.80	175.1	2402.0	2577.1
320	10.54	0.001011	13.96	196.2	2389.8	2586.0
325	13.53	0.001013	11.04	217.3	2377.6	2594.9
330	17.21	0.001015	8.809	238.4	2365.3	2603.7
335	21.71	0.001018	7.083	259.4	2353.0	2612.4
340	27.18	0.001021	5.737	280.5	2340.5	2621.0

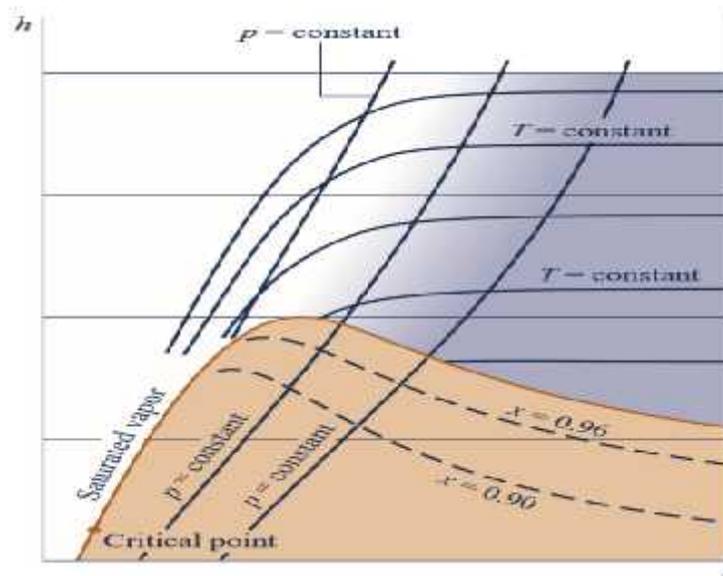
Berdasarkan tabel, maka untuk mendapatkan nilai entalpi pada suhu T = 307 K dilakukan interpolasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{X-X_1}{X_2-X_1} (Y_2-Y_1) + Y_1 = \frac{307^\circ\text{K} - 305^\circ\text{K}}{310^\circ\text{K} - 305^\circ\text{K}} (2568,2 \text{ KJ/kg} - 2559,1 \text{ KJ/kg}) + 2559,1 \text{ KJ/kg} \\
 &= 2531,8 \text{ KJ/kg}^\circ\text{K}
 \end{aligned}$$

2.13 Hubungan Entalpi-Entropi

Entropi adalah sifat keadaan sistem yang menyatakan tingkat ketidakteraturan. Entropi juga dapat didefinisikan sebagai kecenderungan sistem

untuk berproses ke arah tertentu. Entropi dapat dihasilkan, tetapi tidak dapat dimusnahkan. Hubungan antara entalpi-entropi ditunjukkan oleh diagram H-S atau disebut juga dengan diagram Mollier yang terlihat pada Gambar 2.8. Garis-garis kualitas konstan ditunjukkan pada daerah campuran 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 tearsir di Gambar 2.8 (Moran & Shapiro, 2006).



Gambar 2.6. Diagram Entalpi dan Entropi

Contoh :

Fluida yang telah tercapai titik saturasinya, kemudian dipanaskan kembali. Temperatur akhir uap panas lanjut tersebut sebesar 200°C dengan tekanan 3 bar. Hitunglah nilai entropinya.

	$p = 3 \text{ bar} = 0.3 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 133.52^\circ\text{C}$)				$p = 30 \text{ bar} = 3.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 212.35^\circ\text{C}$)			
Sat.	1.159	2519.7	1693.6	7.2233	0.606	2543.6	2725.3	6.9519
120	1.188	2533.3	2711.4	7.2693				
160	1.317	2595.2	2792.8	7.4665	0.651	2587.1	2782.3	7.1276
200	1.444	2656.2	2872.9	7.6433	0.716	2650.7	2865.5	7.3115
240	1.570	2717.2	2952.7	7.8052	0.781	2713.1	2947.3	7.4774
280	1.695	2778.5	3032.8	7.9555	0.844	2775.4	3028.6	7.6299
320	1.819	2840.6	3113.5	8.0964	0.907	2838.1	3110.1	7.7722
360	1.943	2903.5	3195.0	8.2293	0.969	2901.4	3192.2	7.9061
400	2.067	2967.3	3277.4	8.3555	1.032	2965.6	3275.0	8.0330
440	2.191	3032.1	3360.7	8.4757	1.094	3030.6	3358.7	8.1538
500	2.376	3131.2	3487.6	8.6466	1.187	3130.0	3486.0	8.3251
600	2.685	3301.7	3701.3	8.9101	1.341	3300.8	3703.7	8.5892

Berdasarkan tabel uap air panas lanjut, maka untuk mendapatkan nilai entropi pada suhu $T = 200^{\circ}\text{C}$ dan $P = 3 \text{ bar}$, nilai entropi (S) yaitu $7,3115 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{K}$