

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Aluminium merupakan material non-fero yang paling umum dan banyak digunakan dalam masyarakat, bahkan penggunaan Aluminium setiap tahunnya adalah pada urutan kedua setelah besi dan baja. Aluminium merupakan logam ringan mempunyai sifat tahan korosi yang bagus. Keistimewaan logam ini adalah dapat ditingkatkan kekuatan mekaniknya dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, sehingga akan meningkatkan performa dari material itu sendiri.

Dalam industri peleburan logam skala rumah tangga hingga skala kecil umumnya menggunakan dapur yang dilengkapi dengan alat bakar (*burner*). Bahan bakar yang sering digunakan seperti bahan bakar cair dan gas, dan jarang yang menggunakan bahan bakar padat seperti briket batubara, arang kayu, dan lain-lain. Di karenakan penggunaan bahan bakar padat kurang praktis dan memerlukan waktu peleburan yang relatif lama. Adapun bahan bakar cair yang umum digunakan adalah minyak tanah (*kerosene*). Namun setelah Pemerintah melakukan kebijakan konversi energi yaitu dari minyak tanah ke gas LPG pada pertengahan 2007, banyak industri rumah tangga hingga industri kecil, termasuk industri pengecoran aluminium, yang selama ini menggunakan minyak tanah beralih ke bahan bakar alternatif yang harganya lebih terjangkau.

Menurut laporan asosiasi Aluminium pada tahun 1998 sebanyak 1/3 suplai aluminium di USA adalah hasil daur ulang. Produksi Aluminium daur ulang juga

dapat menghemat 95% energi yang dibutuhkan dari pada memproduksi Aluminium dari bijih bauksit.

Pada penelitian sebelumnya yang mengkaji pembakaran menggunakan gas (asetelin) yang menggunakan perbandingan udara *Sub Stoikiometri*, maka pada penelitian ini mengkaji analisa pengaruh perbandingan udara lebih dan bahan bakar gas (LPG) pada dapur peleburan. Penggunaan gas (LPG) sebagai bahan bakar karena mudah ditemui dan juga memiliki harga yang terjangkau dibandingkan dengan gas yang beredar di pasaran . Adapun Nilai kalor bersih yang didapatkan dari gas (LPG) yaitu 11.254,61 Kcal/Kg.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian latar belakang diatas dapat di tarik beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana efisiensi terhadap pembakaran menggunakan udara lebih.
2. Bagaimana pengaruh perbandingan udara lebih dan bahan bakar gas (LPG).

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian yang dilakukan adalah :

1. Bahan bakar yang digunakan gas LPG.
2. *Burner* dengan pengaturan perbandingan udara dan bahan bakar gas.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa temperatur material cair ( $T_m$ ) pada perbandingan udara dan bahan bakar gas (LPG).
2. Menganalisa temperatur api ( $T_f$ ) pada perbandingan udara dan bahan bakar gas (LPG).
3. Menganalisa waktu peleburan pada perbandingan udara dan bahan bakar gas (LPG).

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan temperatur yang sesuai berdasarkan perbandingan udara lebih dan bahan bakar gas (LPG).
2. Mencari nilai aktual dari pengaruh perbandingan udara lebih dan bahan bakar gas.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan sejumlah gas-gas dan melepas sejumlah energi dalam bentuk panas (ini merupakan reaksi eksotermik). Karakteristik yang paling jelas dari suatu proses pembakaran adalah daerah reaksi, yang biasanya tampak sebagai nyala api; radiasi yang dipancarkan dari nyala api, sebagai contoh karakteristik warna kuning dari suatu pembakaran kayu atau warna ungu dari proses pembakaran bahan bakar gas.

Secara sederhana dapat dijelaskan bahwa reaksi kimia atau proses pembakaran dapat terjadi akibat adanya tiga hal yang sangat dominan yaitu bahan bakar, udara dan tercapainya temperatur lingkungan yang sama dengan titik nyala dari bahan bakar itu sendiri. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Segitiga Pembakaran.

Secara umum suatu proses pembakaran biasanya dapat dikelompokkan ke dalam beberapa tahap yaitu :

1. Sebelum pembakaran terjadi misalnya, penyediaan bahan bakar dan pencampuran bahan bakar dengan udara (reaktan) dalam suatu jumlah yang sesuai.
2. Selama pembakaran misalnya menyalakan reaktan, pastikan bahwa pengapian dalam keadaan stabil dan pengambilan panas yang bermanfaat dari hasil pembakaran secara optimal.
3. Setelah pembakaran terjadi misalnya mengelola hasil pembakaran seperti abu dan gas asap secara aman.

Pembakaran yang baik akan selalu membutuhkan kombinasi yang tepat antara bahan bakar dan oksigen untuk menghasilkan produk berupa energi panas, karbon dioksida, uap air, nitrogen dan gas-gas lain (selain oksigen). Menurut teori terdapat pengaturan proses pembakaran yang spesifik untuk menentukan perbandingan antara oksigen dengan bahan bakar sehingga terjadi proses pembakaran yang sempurna, namun aktualnya hal tersebut tidak akan pernah terjadi secara ideal.

Tujuan dari pembakaran yang sempurna yaitu melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “3T” yaitu:

a. T-Temperatur

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

b. T-Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menghasilkan pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi.

c. T-Time (Waktu)

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

Pada tahap awal proses pembakaran yaitu penyalaan dimana keadaan transisi dari tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Terjadinya penyalaan apabila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Pada 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.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu diperhatikan sesuai dengan karakteristiknya sehingga homogenitas campuran bahan bakar dengan udara dapat terjadi secara sempurna agar terjadi pembakaran yang sempurna. Viskositas bahan bakar adalah salah satu karakteristik bahan bakar yang sangat menentukan kesempurnaan proses pembakaran. Viskositas yang tinggi menyebabkan aliran solar terlalu lambat. Tingginya viskositas

menyebabkan beban pada pompa injeksi menjadi lebih besar dan pengkabutan saat injeksi kurang sempurna sehingga bahan bakar sulit terbakar.

Energi panas yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran senyawa hidrokarbon merupakan kebutuhan energi yang paling dominan dalam *refinery*. Pengelolaan energi yang tepat dan efisien merupakan langkah penting dalam upaya penghematan biaya produksi secara menyeluruh. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang bersifat eksotermis dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dengan oksigen serta menghasilkan panas. Proses pembakaran memerlukan udara, namun jumlah udara yang dibutuhkan tidak diberikan dalam jumlah yang tepat secara stoikiometri, namun dlebihkan. Hal ini bertujuan supaya pembakaran berlangsung sempurna. Kelebihan udara ini disebut *excess air* (udara yang berlebih).

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan jumlah panas yang maksimum. Pembakaran dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif dengan reaksi kimia. Jumlah panas yang dihasilkan bahan bakar dinyatakan sebagai nilai kalori pembakaran (*Calorific Value*). Reaksi kimia terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, hidrogen dan sulfur yang ada dalam bahan bakar. Reaksi ini umumnya menghasilkan nyala api. Terdapat dua istilah pembakaran yang berhubungan dengan *excess air*, yaitu :

1. *Neutral combustion* merupakan pembakaran tanpa *excess air* atau defisit udara dan tanpa bahan bakar yang tidak terbakar.
2. *Oxidizing Combustion* merupakan pembakaran dengan *excess air*.

Pembakaran dengan udara berlebih tidak menjamin terjadinya pembakaran yang sempurna.

## **2.2 Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah suatu zat yang jika dipanaskan akan mengalami reaksi kimia dengan oksidator (biasanya oksigen dalam udara) untuk melepaskan panas. Bahan bakar komersial mengandung karbon, hidrogen dan senyawa-senyawanya (sehingga sering disebut bahan bakar hidrokarbon) yang akan menghasilkan suatu nilai kalor (*heating value*).

### **2.2.1 Bahan Bakar Gas**

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni *Compressed Natural Gas* (CNG) dan *Liquified Petroleum Gas* (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan bahan bakar gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor.

Bahan bakar gas yang biasa digunakan adalah *Liquified Petroleum Gas* (LPG), gas alam, gas hasil produksi, gas blast furnace, gas dari pembuatan kokas, dan lain-lain. Nilai kalor bahan bakar gas dinyatakan dalam (kKal/Nm<sup>3</sup>) ditentukan pada suhu normal (20°C) dan tekanan normal (760 mm Hg).

Gas alam merupakan bahan bakar dengan nilai kalor tinggi yang tidak memerlukan fasilitas penyimpanan. Gas ini bercampur dengan udara dan tidak menghasilkan asap atau jelaga. Gas ini tidak juga mengandung sulfur, lebih ringan dari udara dan menyebar ke udara dengan mudahnya jika terjadi kebocoran.



Metan merupakan kandungan utama gas alam yang mencapai jumlah sekitar 95% dari volume total. Komponen lainnya adalah: Etan, Propan, Pentan, Nitrogen, Karbon dioksida, dan gas-gas lainnya dalam jumlah kecil. Sulfur dalam jumlah yang sangat sedikit juga ada. Karena metan merupakan komponen terbesar dari gas alam, biasanya sifat metan digunakan untuk membandingkan sifat-sifat gas alam terhadap bahan bakar lainnya.

### **2.3 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)**

Pada mulanya, suatu industri gas alam memiliki masalah terkait senyawa yang terkandung di dalam gas tersebut. Masalah tersebut tak lain karena senyawa propana dan butana. Hal ini karena kedua senyawa tersebut tidak stabil, mudah menguap, dan membentuk tekanan uap ketika proses distribusi dan penyimpanan gas alam.

Pada tahun 1910, Dr. Walter Snelling selaku ilmuwan dan peneliti yang bekerja di United State Geological Survey mulai melakukan sebuah eksperimen terkait kedua senyawa tersebut. Tak membutuhkan waktu lama, pada tahun 1911, Snelling berhasil membuat sampel propana dan butana. Dia juga mulai mendapatkan gambaran terkait cara distribusi dan penyimpanan kedua senyawa tersebut. Oleh karena itu, Snelling mendapatkan hak paten terkait metode yang ia gunakan dalam membuat elpiji.

Pada 1920an, proses produksi gas minyak cair belum mulai. Akan tetapi, penjualan gas ini mencapai 223 ribu galon di Amerika Serikat pada tahun 1922 dan meningkat hingga mencapai 400 ribu galon pada 3 tahun berikutnya. Pada

tahun 1918, gas minyak ini digunakan pertama kali sebagai bahan bakar mesin (pada truk). Pada tahun 1929, tingkat penjualan bahan bakar meningkat hingga 10 juta galon di Amerika Serikat. Sejak saat itu, penggunaan elpiji terus mengalami peningkatan.

Berdasarkan spesifikasinya, elpiji terbagi menjadi tiga jenis yaitu LPG campuran, propana, dan butana. Hal tersebut tercantum dalam Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi Nomor: 25K/36/DDJM/1990. Berikut ini adalah penjelasan terkait masing-masing jenis elpiji, antara lain:

#### 1. Elpiji Campuran

Sesuai dengan namanya, gas minyak ini terdiri dari senyawa campuran yaitu propana dan butana. Untuk elpiji yang dipasarkan oleh Pertamina tergolong ke dalam elpiji campuran. Elpiji jenis ini biasanya digunakan untuk kepentingan rumah tangga, seperti memasak.

#### 2. Propana

Propana adalah salah satu senyawa hidrokarbon yang terdiri dari 3 atom C (karbon) dan 8 atom H (hidrogen). Senyawa ini memiliki titik didih yang sangat rendah yaitu  $-42^{\circ}\text{C}$ . Biasanya, propana digunakan untuk kepentingan di luar ruangan. Selain itu, propana juga biasa digunakan untuk kepentingan komersial, seperti pemanas sentral, memasak, dan transportasi.

#### 3. Butana

Komponen utama lainnya dari elpiji adalah butana. Butana sendiri memiliki struktur kimia dengan 4 atom C dan 10 atom H ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Titik didih butana lebih tinggi daripada propana yaitu  $-20^{\circ}\text{C}$  sehingga butana cocok untuk

digunakan sebagai bahan bakar portable. Selain itu, butana menghasilkan energi yang lebih banyak daripada propana. Butana juga dapat digunakan sebagai propellant dan refrigerant.

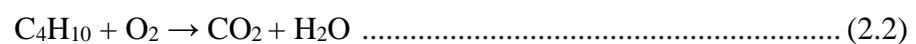


Gambar 2.2 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

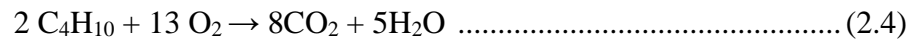
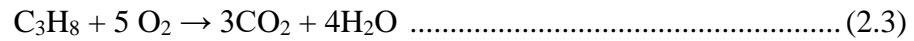
Selain itu, LPG juga dapat digunakan sebagai bahan baku pada industri aerosol serta refrigerant ramah lingkungan. Tabung LPG terdiri dari beberapa ukuran, mulai dari ukuran tabung gas 3 kg sampai 50 kg.

Dalam penggunaan suatu produk, tentunya terdapat risiko bahaya yang mungkin terjadi selama menggunakannya. Pada LPG, terdapat kemungkinan terjadinya kebocoran tabung atau instalasi terkait. Apabila terdapat api di tempat tersebut, maka akan terjadi kebakaran. Tekanan gas elpiji cukup tinggi sehingga akan segera menyebar luas ketika terjadi kebocoran.

Pembakaran sempurna gas (LPG) propana  $C_3H_8$  dan butana  $C_4H_{10}$  gas karbon dioksida dan uap air.



Lalu disetarakan lagi menjadi persamaan reaksi:



## 2.4 Udara

Udara adalah campuran dari berbagai gas secara mekanis dan bukan merupakan senyawa kimia. Udara merupakan komponen yang membentuk atmosfer bumi, yang membentuk zona kehidupan pada permukaan bumi. Udara terdiri dari berbagai gas dalam kadar yang tetap pada permukaan bumi, kecuali gas metana, ammonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida dan nitrooksida mempunyai kadar yang berbeda-beda tergantung daerah atau lokasi. Umumnya konsentrasi metana dan nitrooksida sangat tinggi di areal rawa-rawa atau industri kimia.

### 2.4.1 Udara Pembakaran

Dalam suatu proses pembakaran bahan bakar dengan oksigen, dibutuhkan oksigen murni untuk proses pembakaran di dalam ruang bakar. Namun hal ini merupakan hal yang tidak efisien karena harga oksigen murni yang sangat mahal. Namun hal ini dapat diatasi dengan menggunakan oksigen yang cukup banyak tersedia yaitu udara. Jika mengabaikan kandungan kecil dari gas-gas mulia yang ada di dalam udara seperti neon, xenon, dan sebagainya, maka dapat menganggap udara kering sebagai campuran dari gas nitrogen dan oksigen.

Udara mengandung banyak gas, dan kebanyakan konsentrasi gas ini berubah terhadap waktu. Contoh zat yang berubah adalah karbon dioksida, hidrokarbon dan senyawa nitrogen. Jika kita mengabaikan komponen yang ada dalam tingkat ppm, udara mengandung sekitar 0.9% volume argon, 78.1% nitrogen dan 20.9% oksigen, karbon dioksida berada pada 0.034%. Argon merupakan gas inert dan untuk tujuan perhitungan pembakaran/komposisi udara dapat disederhanakan menjadi campuran nitrogen yaitu sebesar 79% dan oksigen sebesar 21% volume. Proporsi oksigen dan nitrogen dapat diatur dalam udara, dalam satuan volume maupun satuan berat. Dalam bentuk persentase, proporsinya adalah:

Berdasarkan berat : Oksigen = 23,2 %  
 : Nitrogen = 76,8 %  
 Berdasarkan volume : Oksigen = 21 %  
 : Nitrogen = 79 %

Jumlah udara yang diberikan terdiri dari 21% volume oksigen. Ini berarti bahwa 21% dari molekul gas pada kasus ini adalah molekul oksigen, tiap molekul memiliki berat molekul (M) 32. Dan cara yang sama, mengingat 79% molekul adalah nitrogen dengan berat molekul 28. Kita dapat menyederhanakan transformasi basis volume ke basis massa menjadi:

Tabel 2.2 Transformasi Basis Volume Ke Basis Massa.

<i>Komponen</i>	<i>Fraksi volume (vf)</i>	<i>vf x M</i>	<i>Fraksi massa</i>
Oksigen	0.21	6.27	$\frac{6.72}{28.84} = 0.233$

Nitrogen	0.79	22.12	$\frac{22.12}{28.84} = 0.767$
----------	------	-------	-------------------------------

Catatan bahwa berat total pada bagian atas kolom ketiga menunjukkan “berat molekul rata-rata udara”.

#### 2.4.2 Kebutuhan Udara Teoritis

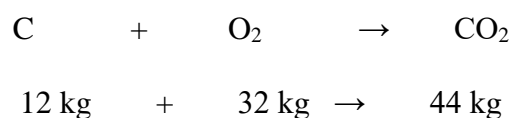
Analisis pembakaran untuk menghitung kebutuhan udara teoritis dapat dilakukan dengan dua cara:

- a. Berdasarkan pada satuan berat
- b. Berdasarkan pada satuan volume

Pada suatu analisis pembakaran selalu diperlukan data-data berat molekul dan berat atom dari unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar.

##### a. Analisis Pembakaran Berdasarkan Berat

Analisis ini digunakan untuk menghitung kebutuhan teoritis pada pembakaran sempurna sejumlah bahan bakar tertentu. Sebagai contoh:



Ini berarti bahwa setiap kg karbon memerlukan 32 kg oksigen secara teoritis untuk membakar sempurna karbon menjadi karbondioksida. Apabila oksigen yang dibutuhkan untuk membakar masing-masing unsur pokok dalam bahan bakar dihitung lalu dijumlahkan, maka akan ditemukan kebutuhan oksigen teoritis yang dibutuhkan untuk membakar sempurna seluruh bahan bakar. Oleh karena itu untuk memperoleh harga kebutuhan oksigen teoritis yang sebenarnya maka

dibutuhkan oksigen yang telah dihitung berdasarkan persamaan reaksi pembakaran kemudian dikurangi dengan oksigen yang terkandung dalam bahan bakar.

#### b. Analisis Pembakaran Berdasarkan Volume

Apabila dalam suatu analisis bahan bakar dinyatakan dalam persentase berdasar volume, maka suatu perhitungan yang serupa dengan perhitungan berdasarkan berat bisa digunakan untuk menentukan volume dari udara teoritis yang dibutuhkan. Untuk menentukan udara teoritis harus memahami hukum avogadro yaitu “gas-gas dengan volume yang sama pada suhu dan tekanan standar (0°C dan tekanan sebesar 1 bar) berisikan molekul dalam jumlah yang sama.”

#### 2.4.3 Udara Lebih (*Excess Air*)

Udara lebih (*excess air*) dinyatakan sebagai persen kelebihan dari keperluan stoikiometrik, jadi jika karbon yang dibakar dengan 20% udara lebih, udara yang harus diberikan menjadi 5.71 (1.2 x 4.76) volume dari udara per volume bahan bakar karbon. Sangat mudah untuk menunjukkan bahwa *excess air* dapat didefinisikan seperti persamaan berikut:

$$\frac{\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{Sebenarnya}} - \left(\frac{A}{F}\right)_{\text{Stoikiometri}}}{\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{Stoikiometri}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Jumlah udara lebih, bagaimanapun harus dibatasi seminimum mungkin dari yang diperlukan untuk memastikan pembakaran bahan bakar yang sempurna. Udara lebih yang disuplai untuk proses pembakaran melewati alat bakar sebagai penumpang saja dan akan meninggalkan ruang bakar dengan temperaturnya

melebihi temperatur sebelumnya. Udara lebih akan selalu mengurangi efisiensi dari sistem pembakaran. Kadang-kadang perlu untuk menggunakan bentuk perbandingan udara biasa, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\frac{\left(\frac{A}{F}\right)_{Aktual}}{\left(\frac{A}{F}\right)_{Stoikiometri}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Yang sama dengan (1 + udara lebih), diekspresikan sebagai suatu bagian.

#### 2.4.4 Pembakaran Sempurna

Pembakaran stoikiometri terjadi apabila udara dan bahan bakar bercampur dengan komposisi yang tepat untuk bereaksi menyeluruh. Pada pembakaran hidrokarbon, keadaan ini dapat tercapai jika semua atom C dan H pada hidrokarbon berikatan semuanya dengan O<sub>2</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Berdasarkan pada perhitungan di atas maka rumus stoikiometri pembakaran hidrokarbon dan udara dapat di tuliskan sebagai berikut.

### 2.5 Titik Nyala Api

Titik nyala (flash point) ialah temperatur terendah dari suatu bahan untuk dapat diubah bentuk menjadi uap, dan akan menyala bila tersentuh api (menyala sekejap). Makin rendah titik nyala suatu bahan, maka bahan tersebut akan makin mudah terbakar; sebaliknya makin tinggi titik nyalanya, maka bahan tersebut akan makin sulit terbakar. Bahan yang titik nyalanya rendah digolongkan sebagai bahan yang mudah terbakar. Contohnya :

A. Benda padat: Batubara, kokas, kayu, dan lain-lain.



B. Benda cair: Minyak, oli, dan lain-lain.

C. Benda gas: LPG, LNG, asetilin, dan lain-lain.

## 2.6 Temperatur Nyala Api

Temperatur nyala (*Flame Temperatures*) adalah suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas ke sekelilingnya. Suhu nyala adibatik diperlukan untuk mengetahui berapa besar panas 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 karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen di dalam bahan bakar. Dalam pembakaran, semua kalor yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi kalor produk + kalor sensibel. *Flame* temperatur 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 ditentukan 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.

*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 didapat secara adiabatik, dimana tidak ada panas yang masuk dan panas yang keluar pada saat terjadinya pembakaran. Sedangkan, suhu pembakaran disebut dengan *flame* temperatur. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi *flame* temperatur sebagai berikut:

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

## **2.7 Indeks Pembakaran**

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain bahan-bakar, udara (oksigen), kalor, dan reaksi kimia. Selain itu, perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting pula dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (pokok) proses pembakaran.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung rasio campuran bahan bakar dan udara antara lain AFR (*Air – Fuel Ratio*), FAR (*Fuel – Air Ratio*), dan rasio ekivalen ( $\phi$ ).

### 2.7.1 *Air - Fuel Ratio* (AFR)

Metode ini merupakan metode 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:

$$AFR = \frac{M_{air}}{M_{Fuel}} = \frac{V_{air}}{V_{Fuel}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dinyatakan kaya bahan bakar.

### 2.7.2 *Fuel - Air Ratio* (FAR)

Adapun metode *Fuel – Air Ratio* (FAR) merupakan kebalikan dari metode *Air – Fuel Ratio* (AFR) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$AFR = \frac{M_{fuel}}{M_{air}} = \frac{V_{fuel}}{V_{air}} \dots\dots\dots (2.8)$$

### 2.7.3 *Equivalent Ratio*, $\phi$

Metode ini termasuk juga metode yang umum digunakan. Rasio ekivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara – bahan bakar (AFR)

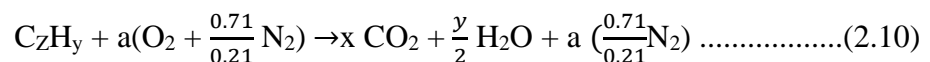
stoikiometrik dengan rasio udara – bahan bakar (AFR) aktual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar – udara (FAR) aktual dengan rasio bahan bakar – udara (FAR) stoikiometrik.

$$\phi = \frac{AFR_{sto}}{AFR_{akt}} = \frac{FAR_{akt}}{FAR_{sto}} \dots\dots\dots (2.9)$$

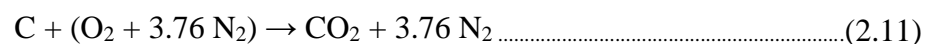
- a.  $\phi > 1$  terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)
- b.  $\phi < 1$  campurannya disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- c.  $\phi = 1$  merupakan campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna).

## 2.8 Reaksi Pembakaran

Adapun rumus umum reaksi pembakaran yang menggunakan udara kering adalah sebagai berikut:



Adapun persamaan yang lengkap untuk pembakaran stoikiometrik yaitu sebagai berikut:



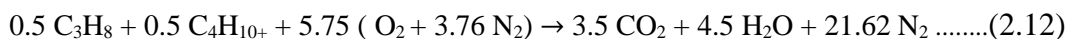
karbon + udara → karbon dioksida + nitrogen

(dimana volume nitrogen akan menjadi  $0.79 : 0.21 = 3.76$ ) Nitrogen dalam udara bersifat *inert* dan mengalir melewati proses pembakaran menjadi produk pembakaran saja. Pada kenyataannya sedikit sekali jumlah yang teroksidasi untuk

menghasilkan oksida nitrogen (biasanya diketahui sebagai NO<sub>x</sub>), oleh karena itu dapat diabaikan pada bagian ini. Oksida nitrogen dalam jumlah yang tinggi akan mengakibatkan polusi di atmosfer.

Ini secara langsung dapat menunjukkan bahwa pembakaran sempurna dari satu volume karbon akan memerlukan ( $1 + 3.76 = 4.76$ ) volume udara, sehingga perbandingan stoikiometrik udara terhadap bahan bakar (AFR) untuk karbon adalah 4.76. Perbandingan ini menunjukkan titik awal pada perhitungan pembakaran, sebab dalam prakteknya jumlah udara yang disuplai harus lebih banyak dari udara stoikiometrik. Hal ini disebabkan karena tidak mungkin memperoleh pembakaran yang sempurna di bawah kondisi stoikiometrik. Pembakaran tidak sempurna merupakan pembuangan energi thermal, dan hasilnya akan terbentuknya karbon monoksida, dimana gas CO tersebut merupakan gas beracun di dalam produk pembakaran.

Jika terbakar sempurna, reaksi teoritis pembakaran bahan bakar gas (LPG) dengan oksigen murni adalah sebagai berikut:



## 2.9 Dapur Peleburan Logam

Dapur adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengecoran (*casting*) atau untuk memanaskan bahan dalam proses perlakuan panas (*heat treatmet*). Karena gas buang dari bahan bakar berkontak langsung dengan bahan baku, maka jenis bahan bakar yang dipilih menjadi penting.

Idealnya dapur harus memanaskan bahan sebanyak mungkin sampai mencapai suhu yang seragam dengan bahan bakar dan tenaga kerja sesedikit mungkin. Kunci dari operasi dapur yang efisien terletak pada pembakaran bahan bakar yang sempurna dengan udara lebih (*excess air*) yang minimum. Dapur beroperasi dengan efisiensi yang relatif rendah (dibawah 70%) dibandingkan dengan peralatan pembakaran lainnya seperti boiler (dengan efisiensi lebih dari 90%). Hal ini disebabkan oleh suhu operasi yang tinggi di dalam dapur. Sebagai contoh, sebuah dapur yang memanaskan bahan sampai suhu 1200°C akan mengemisikan gas buang pada suhu 1200°C atau lebih yang mengakibatkan kehilangan panas yang cukup signifikan.

### 2.9.1 Pemilihan Dapur

Pemilihan dapur peleburan yang akan digunakan untuk mencairkan logam harus sesuai dengan bahan baku yang akan dilebur. Paduan aluminium, paduan tembaga, paduan timah hitam, dan paduan ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan dapur peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor menggunakan tungku induksi frekuensi rendah atau kupola. Tungku induksi frekuensi tinggi biasanya digunakan untuk melebur baja dan material tahan temperatur tinggi.

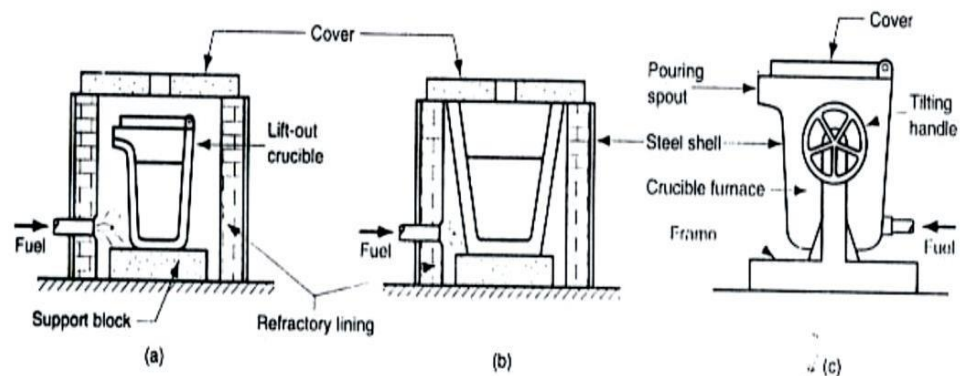
Menurut Groover, pemilihan dapur tergantung pada beberapa faktor, yaitu sebagai berikut :

1. Paduan logam yang akan dicor
2. Temperatur lebur dan temperatur penuangan
3. Kapasitas dapur yang dibutuhkan

4. Biaya operasi
5. Pengoperasian
6. Pemeliharaan
7. Polusi terhadap lingkungan.

### 2.9.2 Jenis - Jenis Dapur

Jenis dapur yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam ada lima jenis yaitu; Dapur jenis kupola, dapur pengapian langsung, dapur krusibel, dapur busur listrik, dan dapur induksi. Dalam memproduksi besi cor dapur yang paling banyak digunakan industri pengecoran adalah krusibel dan dapur induksi, jenis kupola sudah mulai jarang digunakan karena pertimbangan tertentu. Berikut ini uraian tentang dapur peleburan. Pada unit ini memperkenalkan dapur dan refraktori dan menjelaskan berbagai aspek perancangan dan operasinya.



Gambar 2.3 Tiga Jenis Dapur Krusibel

Dalam gambar 2.3 ditunjukkan tiga jenis dapur krusibel yang biasa digunakan:

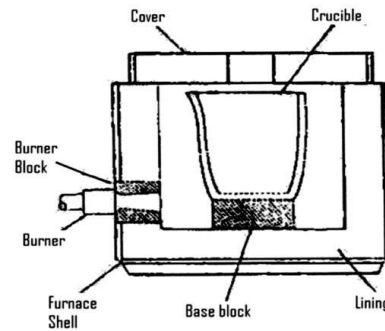
- a. Krusibel angkat (*lift-out krusibel*),

- b. Pot tetap (*stationary pot*),
- c. Dapur tukik (*tilting-pot furnace*).

Krusibel angkat yaitu krusibel ditempatkan di dalam dapur dan dipanaskan hingga logam mencair. Sebagai bahan bakar digunakan minyak, gas, dan serbuk batubara. Bila logam telah melebur, krusibel diangkat dari dapur dan digunakan sebagai ladle penuangan. Dapur pot tetap yaitu dapur yang tidak dapat dipindah, logam cair diambil dari kontainer dengan ladle. Dapur tukik yaitu dapur yang dapat ditukik untuk menuangkan logam cair.

Dapur krusibel digunakan untuk peleburan logam non-besi seperti perunggu, kuningan, paduan seng dan aluminium. Kapasitas dapur umumnya terbatas hanya beberapa ratus pound saja. Dapur krusibel adalah dapur yang paling tua yang digunakan dalam peleburan logam. Dapur ini mempunyai konstruksi paling sederhana. Dapur ini ada yang menggunakan kedudukan tetap dimana pengambilan logam cair dengan memakai gayung. Dapur ini sangat fleksibel dan serba guna untuk peleburan yang skala kecil dan sedang. Bahan bakar dapur krusibel ini adalah gas atau bahan bakar minyak karena akan mudah mengawasi operasinya. Ada pula dapur yang dapat dimiringkan sehingga pengambilan logam dengan menampung di bawahnya. Dapur ini biasanya dipakai untuk skala sedang dan skala besar. Dapur Krusibel jenis ini ada yang dioperasikan dengan tenaga listrik sebagai alat pemanasnya yaitu dengan induksi listrik frekuensi rendah dan juga dapat dengan bahan bakar gas atau minyak, sedangkan dapur krusibel yang memakai burner sebagai alat pemanas dengan kedudukan tetap terlihat seperti gambar 2.4 .





Gambar 2.4 Dapur Kedudukan Tetap

Dapur udara terbuka adalah dapur yang bentuknya seperti dapur yang agak rendah dan logam cair akan akan melebur dan dangkal. Pada bagian bawah dapur dipasang 4 buah ruang pemanas (*regenerator*). Dapur juga disangga oleh dua buah rol yang memungkinkan untuk dimiringkan pada saat pengeluaran terak atau logam cair. *Burner* diletakkan pada kedua sisi dapur dan dioperasikan secara periodik untuk mendapatkan panas yang merata. Bahan bakar yang digunakan adalah gas atau minyak. Udara pembakaran dan bahan bakar biasanya dipanaskan mula dengan melewati pada ruang pemanas di bawah dapur. Pemanasan ini bertujuan untuk mempercepat terjadinya pembakaran dan menjaga agar tidak terjadi perubahan suhu yang mencolok di dalam dapur. Pintu pengisian terletak di sisi depannya. Dapur udara terbuka biasanya digunakan untuk peleburan baja.

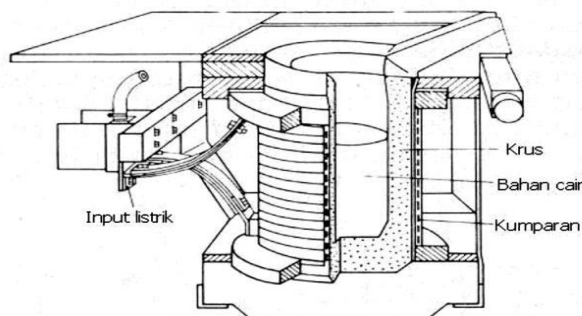
Dapur udara adalah bentuk yang dimodifikasi dari dapur udara terbuka. Bentuknya hampir sama dengan dapur udara terbuka, penampang tempat logam cair berbentuk lebar dan dangkal. Dapur dipanaskan dengan alat pemanas dengan bahan bakar minyak. *Burner* dan udara pembakaran ditempatkan pada salah satu ujung dapur dan udara sisa pembakaran akan keluar dari ujung yang lain. Komposisi kimia dapat dikontrol lebih baik pada dapur ini dibanding dengan

dapur kupola. Bila ingin melakukan penambahan dilakukan dengan membuka tutup dapur dan menuangkannya dari atas.

Dapur ini biasanya digunakan untuk melebur besi cor putih dan besi cor mampu tempa, dan kadang juga digunakan untuk peleburan logam non besi. Biaya operasi dapur ini lebih tinggi dibandingkan dengan kupola. Sering juga dapur ini dikombinasikan dengan kupola dalam operasinya. Mula-mula peleburan dilakukan dengan kupola kemudian cairan dipindahkan ke dapur udara untuk diatur komposisinya.

Dapur induksi listrik adalah dapur yang melebur logam dengan medan elektromagnet yang dihasilkan oleh induksi listrik, baik yang berfrekuensi rendah maupun yang berfrekuensi tinggi. Dapur induksi biasanya berbentuk krusibel yang dapat dimiringkan. Dapur ini dipakai untuk melebur baja paduan tinggi, baja perkakas, baja untuk cetakan, baja tahan karat, dan baja tahan panas yang tinggi.

Tanur ini bekerja berdasarkan arus induksi yang timbul dalam muatan yang menimbulkan panas sehingga memanasi krusibel dan mencairkan logam di dalam krusibel. Bentuk dari dapur induksi listrik dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Potongan Melintang Dapur Induksi Jenis Saluran 2

## 2.10 *Burner*

*Burner* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengatur percampuran bahan bakar dan udara untuk proses pembakaran. Berdasarkan dari jenis bahan bakar yang digunakan, *burner* diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

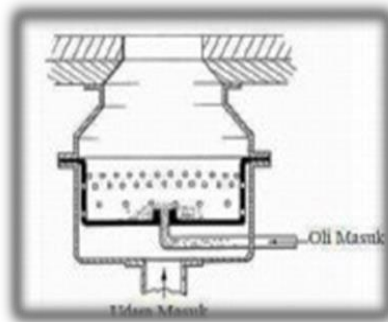
1. *Burner* untuk bahan bakar cair.
2. *Burner* untuk bahan bakar gas.
3. *Burner* untuk bahan bakar padat.

### 2.10.1 *Burner* Bahan Bakar Cair

*Burner* dengan berbahan bakar cair mempunyai permasalahan khusus yaitu proses mixing antara bahan bakar cair dan udara. Untuk memperbaiki pencampuran bahan bakar udara, proses pengkabutan harus menjamin terjadi atomisasi yang bagus dari bahan bakar sehingga udara dapat berdifusi dengan mudah masuk ke bahan bakar. Dari proses tersebut akan tercapai campuran yang lebih homogen. Proses pembakaran akan berlangsung menjadi lebih sempurna. Ada beberapa macam tipe dari burner berbahan bakar cair yaitu sebagai berikut :

#### a. *Vaporising Burner*

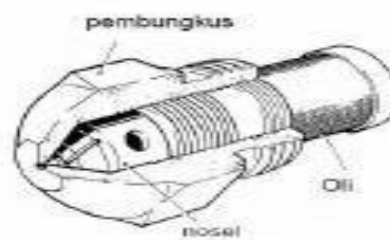
*Burner* jenis ini menggunakan bahan bakar cair seperti kerosen dan premium. Bahan bakar diuapkan terlebih dahulu sebelum bercampur dengan udara. Udara didifusikan ke uap bahan bakar secara alamiah atau dipaksa dengan *fan*. *Burner* tipe ini digunakan pada industri-industri skala kecil.



Gambar 2.6 Vaporising Burner

*b. Pressure Jet Burner*

Bahan bakar cair bertekanan tinggi dimasukkan melalui lubang-lubang dengan posisi tangensial terhadap sumbu nosel, sehingga menghasilkan aliran radial. Di dalam nosel terjadi aliran sehingga diharapkan terjadi atomisasi dengan sempurna, setelah ke luar nosel bahan bakar cair menjadi *droplet-droplet* yang lebih mudah bercampur dengan udara.

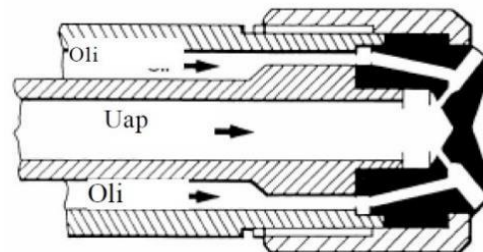


Gambar 2.7 Pressure Jet Burner

*c. Twin Fluid Atomizer Burner*

Proses pengkabutan dari *burner* model ini dibantu dengan fluida bertekanan, dimana pada waktu proses pengkabutan fluida mempunyai energi kinetik tinggi ke luar dari nosel. Fluida yang sering dipakai adalah udara atau uap bertekanan. Penggunaan uap dianggap lebih menguntungkan. Bahan bakar disemprotkan

dengan tekanan tinggi, uap dengan tekanan sedang akan membantu proses pemecahan bahan bakar menjadi *droplet*, sehingga pengkabutan lebih bagus.



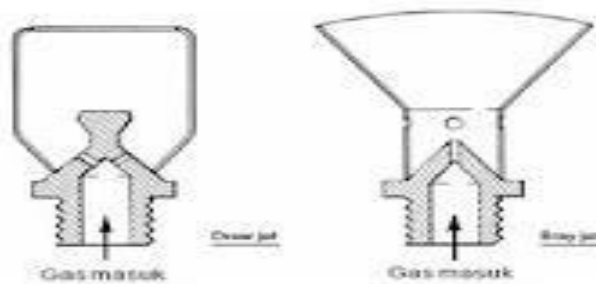
Gambar 2.8 *Twin Fluid Atomizer Burner*.

### 2.10.2 *Burner* Bahan Bakar Gas

*Burner* dengan bahan bakar gas merupakan proses pembakaran menggunakan bahan bakar gas yang tidak memerlukan proses pengkabutan atau atomisasi, bahan bakar langsung berdifusi dengan udara. Ada dua tipe yaitu :

#### a. *Non-Aerated Burner*

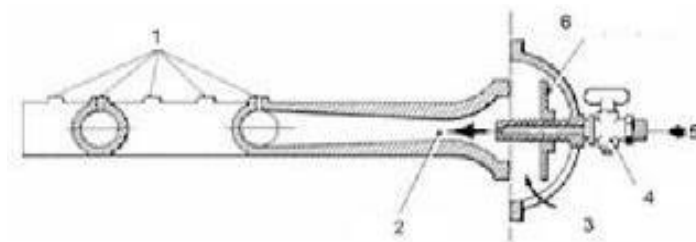
Tipe ini bahan bakar gas dan udara tidak dicampur dulu sebelum terjadi proses pembakaran. Bahan bakar gas bertekanan dilewatkan melalui nosel, udara akan berdifusi secara alami dengan bahan-bakar. Proses pembakaran dengan burner tipe ini dinamakan pembakaran difusi.



Gambar 2.9 *Non-Aerated Burner*

b. *Aerated Burner*

Bahan bakar gas dan udara dicampur dulu sebelum terjadi proses pembakaran. Pada burner tipe ini selalu ada pengaman untuk mencegah nyala balik ke sumber campuran bahan bakar udara. Jenis burner ini yang paling umum adalah model Bunsen.



No	Nama komponen
1	lubang burner
2	venturi
3	udara masuk
4	katup kontrol
5	gas (bahan bakar) masuk
6	plat pengatur pengkabutan

Gambar 2.10 *Aerated Burner*

2.10.3 *Burner* Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar yang sangat belimpah di alam. Bahan bakar ini harus melalui proses yang lebih rumit daripada jenis bahan bakar lainnya untuk terbakar. Bahan bakar padat mengandung air, zat terbang, arang karbon dan abu. Air dan gas terbang yang mudah terbakar harus diuapkan dulu melalui proses pemanasan, sebelum arang karbon terbakar.

Bahan bakar padat banyak dipakai sebagai sumber energi pada mesin tenaga uap. Bahan bakar tersebut dibakar di *furnace* dengan *stoker* atau dengan *burner*. Ada beberapa tipe *burner* atau *stoker* yang dipasang di *furnace* seperti berikut ini:

a. *Pulvizer Fuel Burner*

Bahan bakar padat akan dihancurkan lebih dahulu dengan alat *pulvizer* sampai ukuran tertentu sebelum dicampur dengan udara. Selanjutnya campuran serbuk batubara dan udara diberi tekanan kemudian disemprotkan menggunakan *difuser*. Proses pembakaran dibantu dengan penyalaan dengan bahan bakar gas atau cair untuk menguapkan air dan zat terbang. Udara tambahan diperlukan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.

b. *Underfeed Stoker*

*Stoker* jenis ini banyak dipakai untuk industri skala kecil, konstruksinya sederhana. Bahan bakar di dalam berupa batubara dimasukan ke perapian dengan dengan *srew* pengumpan. Proses pembakaran terjadi di dalam *retort*, batubara akan dipanaskan untuk menguapkan air dan zat terbang kemudian arang terbakar. Sisa pembakaran berupa abu akan digeser ke luar karena desakan batubara baru yang belum terbakar. Udara tambahan digunakan untuk membantu proses pembakaran sehingga lebih efisien.

c. *Fixed Grate Burner*

Tempat pembakaran berbentuk plat yang memungkinkan udara utama dapat mengalir dari bawah. Serbuk batubara dari *pulvizer* dipindahkan menuju *burner* dengan udara berkecepatan sedang dengan pipa pengumpan. Proses pembakaran dibantu dengan udara tambahan dari saluran saluran udara sekunder. Ada dua tipe yang umum dipakai yaitu *front feed* dan *top feed fixed grate burner*. Sisa pembakaran yang berupa abu dibersihkan secara manual atau dirancang secara otomatis.

#### d. *Chain Grate Stoker*

Serbuk batubara diumpankan dari *hopper* dengan katup rotari ke *grate* berjalan, kapasitasnya dibatasi dengan menggunakan plat geloutin. *Rotari vane* juga digunakan untuk mencegah nyala balik dari *grate* berjalan ke *hopper*. *Grate* berjalan dapat divariasikan kecepataannya. Udara pembakaran dilewatkan dari sela-sela *grate* dan udara tambahan dilewatkan melalui permukaan atas lapisan serbuk batubara pada *grate*.

#### e. *Fluidized Bed Stoker*

Bahan bakar berupa serbuk batubara dikondisikan seperti fluida. Serbuk batubara terangkat-angkat dari *grate* karena desakan dari udara bertekanan dari bagian bawah *grate*. Udara bertekanan disuplai dari kompresor. Proses pembakaran terjadi sangat cepat, dibantu dengan penyalaan dengan bahan bakar gas atau cair. Temperatur pembakaran tidak boleh melebihi dari temperatur leleh dari abu, sehingga tidak terjadi penyumbatan di *grate* oleh lelehan dari abu. Abu akan turun ke penampung abu di bagian bawah. Serbuk batubara diumpankan dari *feeder*. Untuk mencegah emisi gas ke luar ditambahkan *limestone* atau zat lainnya untuk menetralkan zat polusi seperti sulfat dan nitrat.

## 2.11 Aluminium

*Aluminium* adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm<sup>3</sup> setelah Magnesium (1.7 gram/cm<sup>3</sup>) dan Berilium (1.85 gram/cm<sup>3</sup>) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listriknya 60% lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki



sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dan lain sebagainya.

Aluminium memiliki titik lebur 660°C, jenis logam lain yang dapat dileburkan dengan dapur ini titik lebur dibawah 1000°C adalah tembaga (962°C), kuningan (940°C), timah (327°C), *magnesium-lead* (630°C), Sn-Bi (232°C), dan sebagainya.

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan membuatnya tahan korosi yang baik.

Tabel 2.3 Karakteristik Aluminium

Sifat-sifat	Aluminium murni tinggi
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 103 kg/m <sup>3</sup> )	2.698
Titik cair (°C)	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20°~100°C (10-6/K)	23.9
Konduktifitas panas 20°~400°C (W/(m_K)	238
Tahanan listrik 20°C (10-8 KW_m)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0