

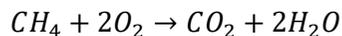
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi proses pembakaran

Pembakaran, menurut bahasa Latin ialah combustion merupakan suatu reaksi kimia eksotermik yang cepat dari oksidasi bahan bakar, yang dapat memunculkan energy besardan dapat digunakan untuk berbagai tujuan (Mahallawy, Dkk, 2002). Pembakaran adalah salah satu teknologi yang telah digunakan pada berbagai bidang, seperti : dalam hal pemanasan, pemrosesan bahan atau material, pembangkit listrik, transportasi darat, laut maupun udara, propulsi untuk pesawat ruang angkasa, dan teknologi lainnya. Pembakaran terjadi juga pada tungku industry, kompor domestic dan boiler, oven, mesin pembakaran (Law ,Dkk, 2006).

Intensitas pembakaran antara bahan bakar dengan oksidator tergantung pada konsentrasinya. Ketika rasio konsentrasi secara kimia sudah benar dalam semua reaktan maka reaktan tersebut dapat berreaksi secara total, maka intensitas pembakarannya telah dekat dengan nilai yang tertinggi, keadaan seperti ini disebut mode pembakaran stoikiometrik (Law ,Dkk, 2006). Sebuah contoh reaksi antara metana dengan oksigen, hasil dari reaksi tersebut menghasilkan air dan karbon dioksida :



2.2 Metode pembakaran

Metode pembakaran dibagi menjadi dua jenis yaitu api yang sudah dicampur, dikenal dengan *premixed flame*, selanjutnya api yang belum tercampur yang artinya proses pembakaran, dimana bahan bakar dan oksidator dipisahkan sebelum masuk dalam ruang reaksi tempat kedua zat tersebut bercampur dan terbakar, api ini disebut *Non-premixed flame* atau *Diffusion flame*.

Premixed flame. Sesuai dengan namanya, api yang sudah dicampur sebelumnya adalah salah satu mode pembakaran yang terjadi pada suatu ruang, dimana bahan bakar dan oksidator telah bercampur sebelum terbakar. Nyala api ini sudah banyak digunakan pada perangkat pembakaran sederhana. Dua aplikasi dari nyala api ini, yaitu pada tungku pemanas rumah dan pada perangkat "*can combustor*" dalam turbin gas pembangkit listrik. Pada pembakaran *premixed*, bahan bakar dengan oksidator dicampur terlebih dahulu secara menyeluruh sebelum masuk ke dalam ruang bakar. Pembakaran terjadi baik dengan cara pengapian dari percikan atau yang lainnya.

Pembakaran dimana bahan bakar dan oksidator dipisahkan sebelum masuk ruang reaksi tempat kedua zat tersebut bercampur dan terbakar. Metode pembakaran dalam kondisi tersebut dinamakan "api *non-premixed*," secara tradisional dapat disebut "api difusi" karena yang membawa bahan bakar dengan oksidator ke dalam ruang reaksi terjadi terutama oleh difusi.

Salah satu contoh yang paling umum dari non-premixed (difusi) api adalah nyala lilin. Banyak pembakaran yang beroperasi menggunakan metode pembakaran *non-premixed*. Karena bahan bakar dengan oksidator belum dicampur terlebih dahulu, risiko tiba-tiba yang terjadi adalah ledakan dapat dieliminasi dengan metode ini. Akibatnya, nyala menjadi lebih besar dan stabilitasnya mampu dijaga dengan baik. Karakteristik yang stabil dari api difusi memiliki banyak aplikasi, terutama digunakan di mesin turbin gas pada pesawat terbang (Sara, Dkk, 2011).

2.3 Bahan bakar

Bahan bakar dan pengoksidasi merupakan dua bahan utama dalam proses pembakaran. Bahan bakar dapat disebut sebagai zat yang dapat membebaskan panas pada waktu bereaksi secara kimia dengan pengoksidasi. Penerapan bahan bakar secara sederhana membutuhkan bahan bakar, dimana bahan bakar tersebut yang mudah didapat dan biayanya murah, akan tetapi dalam penggunaannya harus mematuhi peraturan perlindungan lingkungan. Sebagian besar sistem pembakaran menggunakan bahan bakar yang berasal dari sumber fosil yang belum terbarukan. Jika menggunakan bahan bakar yang berasal dari fosil, dapat berkontribusi terhadap efek pemanasan global dikarenakan jumlah bersih emisi karbon dioksida yang melekat pada penggunaannya. Bahan bakar yang terbuat dari biomassa atau dari energi terbarukan lainnya merupakan salah satu alternatif yang dapat berpotensi mengganti bahan bakar fosil.

Bahan bakar saat ini banyak diaplikasikan pada transportasi dan pembangkit listrik dapat berupa: padat, cair, dan gas. Bahan bakar berwujud padat yang terbentuk secara alami, seperti : kayu dan bentuk biomassa lainnya, gambut, dan batubara. Untuk bahan bakar cair dapat berwujud minyak mentah. Bila dilakukan proses pemurnian secara distilasi fraksional dan proses pemurnian lainnya, hal ini dapat menghasilkan banyak produk, : seperti bensin, bahan bakar diesel, bahan bakar pesawat, bahan bakar minyak dan aspal (Sara, Dkk, 2011).

Bahan bakar gas (BBG) memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan bahan bakar lain yang wujud padat dan cair. Keuntungan BBG antara lain, mudah terbakar dalam keadaan jumlah udara luar yang sedikit, dan hasil pembakarannya mampu meminimalisir abu dan asap, mudah dalam mengontrol nyala

api. Sedangkan untuk kekurangannya adalah sulit dalam proses penyimpanan apabila volume bahan bakar gas tersebut berkapasitas besar.

Bahan bakar gas (BBG) dapat dibagi menjadi dua macam yaitu bahan bakar gas buatan dan bahan bakar gas alam (*Natural gas*). Bahan bakar gas buatan biasanya didapat dari gasifikasi di area kusus pemrosesan gas. Sedangkan Bahan bakar gas alam (*Natural gas*) dapat dikombinasikan dengan unsur hidrogen untuk membentuk suatu campuran yang disebut HCNG (*Hydrogen Compressed Natural Gas*).

Macam – macam jenis gas buatan diantaranya adalah :

- *Wood gas*
- *Bio gas*
- *Refinery oil gas*
- *Producer gas*
- *Water gas*
- *Blast furnace gas*
- *Peat gas*
- *Cool gas*
- *Cake oven gas*

Pada bahan bakar gas alami dan minyak bumi, ada beberapa bahan bakar tambahan yang didapat hasil dari proses pemurnian, seperti :

- LPG (*Liquified Petroleum Gas*)
- Butana
- Propana

Liquified petroleum gas (LPG) adalah hasil produksi dari kilang gas dan BBM yang memiliki unsur utama propana, butana sekitar 96% dan unsur lainnya ialah gas pentana yang telah dicairkan. Pada dasarnya LPG tidak berwarna dan bau akan tetapi pada LPG jenis komersial yang terdapat di pasaran masyarakat, diberi zat tambahan yaitu etil mekraptan yang bersifat bau yang menyengat, hal ini memiliki fungsi untuk memudahkan penggunaannya dalam mengenali dengan cepat jika ada kebocoran gas.

Sifat-sifat yang dimiliki LPG menurut sifat komponen utamanya yaitu propana dan butana antara lain :

1. Nilai kalor (*Calor Value*), Jumlah panas yang dibebaskan dari proses pembakaran suatu zat dikenal dengan Nilai kalor atau CV. Hal ini dinyatakan

dalam *megajoule* per kg (MJ/kg). *Calor Value* untuk LPG adalah $49,6 MJ/kg$.

2. Densitas LPG merupakan massa per satuan volume (kg/ltr) pada temperatur tertentu. LPG Cair memiliki densitas $0,54 kg/ltr$ pada temperatur $15^{\circ}C$ atau setengah berat jenis air. Untuk uap LPG memiliki densitas 1,9 lebih besar dari udara.
3. Tekanan uap dalam 1 liter LPG cair akan menguap secara cepat pada kondisi tekanan atmosfer $100 kPa$, untuk membentuk uap sekitar 275 liter pada temperatur $15^{\circ}C$. Dalam ruang silinder tertutup yang berisi LPG cair, dengan jumlah yang kecil akan menguap dalam kondisi volume terbatas silinder, untuk dapat menghasilkan tekanan pada silinder mencapai $250 kPa$ dengan temperatur $0^{\circ}C$. Tekanan pada ruang silinder tertutup ini kondisinya sama dengan tekanan uap, dan tekanan itu dapat meningkat secara drastis hingga mencapai $500 kPa$ pada temperatur $20^{\circ}C$ dan $1550 kPa$ pada temperature $60^{\circ}C$. Sebuah kebocoran cairan menimbulkan masalah jauh lebih serius dibandingkan kebocoran gas karena terbentuk dari volume tinggi gas. Inilah alasan dasar jika tabung gas harus selalu disimpan ditempat yang kering, diangkat dan digunakan dalam posisi katup diatas. Jika kebocoran gas terjadi di udara terbuka, hal ini dapat membentuk suatu campuran yang mudah terbakar sekitar 10000 liter dari 1 liter LPG yang cair (Fauzi, 2019).

2.4 Campuran Udara Dan Bahan Bakar

Suatu sistem proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh bahan bakar, kalor, udara yang berperan sebagai oksidator, dan reaksi kimia. Perbandingan antara udara dan bahan bakar paling memegang peranan terhadap hasil reaksi kimia dan keluaran produk dari proses pembakaran. Ada beberapa metode yang secara umum sering digunakan dalam menghitung rasio pencampuran antara bahan bakar dan udara diantaranya adalah *fuel air ratio* (FAR), *air fuel ratio* (AFR), rasio ekivalen (Φ).

2.4.1 Rasio Udara Dan Bahan Bakar (Air Fuel Ratio)

Metode ini digunakan untuk mendefinisikan suatu campuran yang merupakan perbandingan antara massa dari suatu udara dengan bahan bakar dalam suatu titik tinjau. Secara simbol AFR dapat dihitung dengan:

$$AFR = \frac{M_a}{M_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f}$$

Apabila nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka jumlah udara lebih dominan dibandingkan jumlah bahan bakar, sebaliknya apabila nilai aktual lebih kecil

dari AFR stoikiometri maka jumlah bahan bakar yang lebih dominan dari pada jumlah udara.

2.4.2 Rasio Bahan Bakar Dan Udara (*Fuel Air Ratio*)

Kebalikan dari AFR dapat didefinisikan sebagai Rasio bahan bakar dan udara (FAR) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$FAR = \frac{Mf}{Ma} = \frac{MfNf}{MaNa}$$

2.4.3 Rasio Ekuivalen (*Equivalent Ratio, Φ*)

Rasio ekuivalen merupakan perbandingan antara nilai rasio udara - bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) stoikiometrik dengan nilai rasio udara – bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) aktual, dan dapat juga sebagai pembandingan antara rasio bahan bakar – udara (*Fuel Air Ratio*) stoikiometrik dengan rasio bahan bakar – udara (*Fuel Air Ratio*) aktual.

$$\Phi = \frac{AFR_{stoi}}{AFR_{act}}$$

- Jika $\Phi > 1$ menunjukkan kelebihan bahan bakar dari pada campurannya maka dapat disebut sebagai campuran kaya bahan bakar (*fuel rich mixture*)
- Jika $\Phi < 1$ menunjukkan kelebihan campuran dari pada bahan bakar maka dapat disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)
- Jika $\Phi = 1$ menunjukkan campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna).

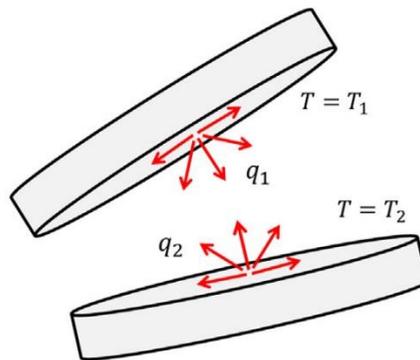
2.5 Perpindahan panas secara radiasi

Radiasi merupakan proses perpindahan panas dimana panas merambat dari benda yang memiliki temperatur tinggi ke benda yang memiliki temperatur rendah dan benda tersebut memiliki jarak antara benda satu ke benda yang lain, bahkan dalam kondisi ruang hampa. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk *batch* yang menjadi kumpulan energy yang terbatas. Didalam ilmu perpindahan panas yang perlu diperhatikan ialah hal-hal yang diakibatkan oleh temperatur dan yang dapat mendistribusikan energi melalui medium tertentu yang tembus cahaya atau melalui suatu ruang (Frank, 1973) .

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4)$$

Dimana:

- q = laju perpindahan panas (W)
 - σ = konstanta bolztman ($5,669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}$)
 - A = luas penampang (m^2)
 - T_1, T_2 = temperatur permukaan (K)
-



Gambar 2. 1 Perpindahan panas secara radiasi antara dua bodi

Gambar dari D Domairry Ganji, dkk, *Chapter 3 – Radiation Heat Transfer*,
(*ScienceDirect : Nonlinear system in heat transfer, pages 105-151*)

Penjelasan lebih lanjut tentang perpindahan panas radiasi dapat digambarkan dengan dua bodi yang mempunyai temperatur (T_1) dan (T_2) berbentuk sembarang. Dua bodi tersebut mengemisikan aliran-aliran dari *radial thermal* pada seluruh arah. Setiap titik (elemen luas) dari setiap bodi mengemisikan radiasi kesegala arah. Hanya sebuah fraksi dari aliran emisi, oleh (T_1) yang diterima dan diserap oleh bodi (T_2) fraksi ini tergantung tidak hanya pada bentuk dan ukuran dari dua bodi tersebut melainkan tergantung pula terhadap posisi *relative*, yaitu kondisi permukaan bodi (seperti kekerasan, kebersihannya) dan juga tergantung dari sekelilingnya). Dengan demikian masalah perpindahan panas mengurangi pada perhitungan :

- Laju perpindahan radiasi panas yang meninggalkan permukaan bodi. (yaitu radiasi diemisikan oleh permukaan, ditambah bagian radiasi yang direfleksikan)
- Laju perpindahan radiasi panas yang mengenai permukaan (yaitu bagian radiasi yang diserap oleh permukaan).

2.6 Fenomena dalam proses pembakaran

2.6.1 Fenomena flickering flame

Fenomena flicker dalam nyala api difusi adalah terkait erat dengan kondisi aliran yang berlaku dalam aliran gas. Nyala api tampaknya mulai berkedip ketika puncak kerucut turbulen di yang terakhir masuk dalam zona pembakaran aktif, atau dengan kata lain, saat ketinggian hingga turbulensi dalam aliran gas yang dinyalakan menjadi sama atau sedikit kurang dari nyala api tinggi. Harus diingat bahwa tingginya turbulensi dalam aliran yang dinyalakan lebih besar dari dalam aliran yang tidak dinyalakan dengan laju aliran yang sama karena efek suhu (Scholefield, Dkk, 1948).

2.6.2 *Fenomena flash back*

Flashback merupakan salah satu fenomena api yang terjadi ketika nyala api penetrasi atau merambat masuk ke dalam *burner* atau saluran pencampur bahan bakar dengan udara. Hal ini dapat terjadi ledakan apabila api terus merambat masuk ke dalam tabung penyimpanan bahan bakar (Mandala, Dkk, 2013) .

2.6.3 *Fenomena lifted flame*

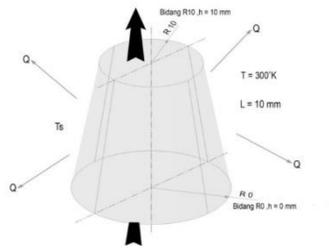
Lifted flame merupakan keadaan dimana nyala api tidak menyentuh ujung bibir saluran pencampur bahan bakar / *burner*. Fenomena nyala api terangkat ini dipengaruhi oleh 2 komponen yaitu, nyala api lokal dan aliran bahan bakar - udara yang terdapat pada daerah ujung bibir saluran pencampur (*burner*). Jika aliran bahan bakar - udara yang keluar pada kecepatan yang rendah, maka yang terjadi pangkal nyala api akan berada sangat dekat bibir *burner*.

2.6.4 *Fenomena blow off*

Blow off merupakan fenomena yang kemungkinan muncul pada proses pembakaran (*combustion*) dan terjadi ketika kecepatan pembakaran atau laju nyala lebih rendah dari batas kecepatan aliran, dimana hal ini dapat menyebabkan nyala api menjadi padam atau mati . Fenomena api *blow off* ini perlu kita hindari karena dapat memicu ledakan berbahaya, serta dapat menaikkan konsumsi bahan bakar, bila fenomena ini terjadi secara terus menerus akan berakibat *nozzle burner* menjadi rusak. Untuk menghindari terjadinya fenomena tersebut ada beberapa cara yang dapat dilakukan, salah satunya ialah dengan mengetahui batas laju aliran bahan bakar yang aman. Hal Ini bermaksud untuk mengurangi panas api yang merambat pada nosel sehingga penggunaanya mampu lebih lama.

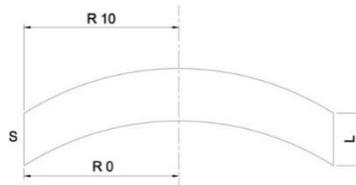
2.7 **Luasan selimut api**

Emisi dari bahan bakar gas yang terbentuk pada proses pembakaran dapat memunculkan perpindahan panas secara radiasi. Pada tahap analisa data, untuk mempermudah dalam perhitungan data, di asumsikan ada perpindahan panas secara radiasi pada setiap titik ketinggian api yang berupa luasan selimut berbentuk kerucut terpancung.



Gambar 2. 2 Bidang luas penampang selimut api pada titik ketinggian 0-10 mm dengan $L = 10$ mm

Luas kerucut terpancang pada selimut api seperti digambar atas, apabila dibelah dan direntangkan menjadi sebuah bidang atau bentuk, maka akan menjadi seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2. 3 Luas penampang selimut kerucut terpancang

Selimut Kerucut :

$$S = \sqrt{((r_0 - r_1)^2) + L^2}$$

Jadi, akan didapatkan luasan selimut tabung pada ketinggian 0 sampai 10 mm, sebagai berikut :

$$A_s = 2\pi r s$$

$$A_s = 2\pi \left(\frac{r_0 - r_1}{2} \right) s$$

Maka untuk selanjutnya akan dapat mencari perpindahan panas atau radiasi dari selimut api pada *burner co axial* contoh di ketinggian 0 – 10 mm, seperti berikut ini :

$$q_{0-1} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_{\infty}^4)$$

Dimana :

q = Laju perpindahan panas secara radiasi

ε = Emisivitas gas panas (black body)

σ = Konstanta boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

A_s = Luas selimut api (m^2)

T_s = Temperatur permukaan selimut api (K)

T_{∞} = Temperatur sekeliling ruangan (K)