

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

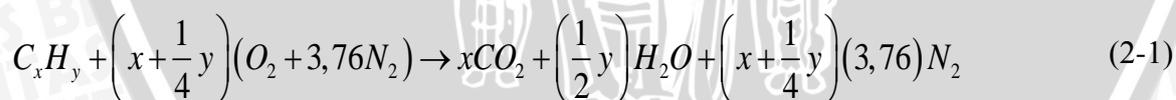
2.1 Proses dan Reaksi Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi oksidasi yang terjadi antara bahan bakar dengan udara (oksigen) dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (Turns, 1996). Energi tersebut berfungsi sebagai pemutus ikatan-ikatan bahan bakar menjadi radikal (ion) dan sangat reaktif. Ion-ion akan bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan yang lebih kuat dan kelebihan-kelebihan energi ikatan akan dilepas kedalam sistem, sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang tinggi.

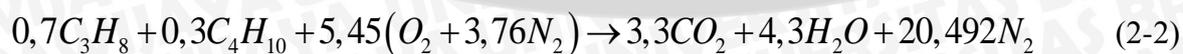
Pembakaran ideal adalah pembakaran yang dapat menghasilkan produk pembakaran secara sempurna. Kondisi ini disebut dengan kondisi stoikiometri dimana produk pembakaran untuk senyawa hidrokarbon adalah CO_2 , H_2O , dan N_2 sebagai inert gas, dimana N_2 merupakan unsur *inert gas* yaitu tidak ikut bereaksi baik dengan bahan bakar maupun dengan oksigen.

Dalam proses pembakaran fenomena-fenomena yang terjadi antara lain interaksi proses-proses kimia dan fisika, pelepasan panas yang berasal dari energi ikatan-ikatan kimia, proses perpindahan panas, proses perpindahan massa, dan gerakan fluida.

Untuk memenuhi pembakaran sempurna, semua C bereaksi mejadi CO_2 dan semua H_2 akan bereaksi menjadi H_2O . Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_xH_y) dengan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut (Wardhana, 1995:21):

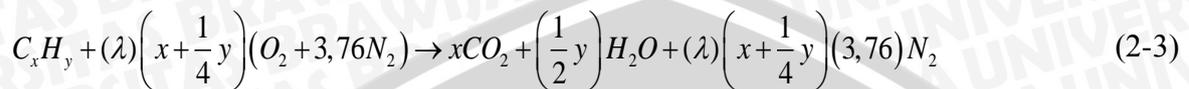


Dalam penelitian ini menggunakan LPG dengan kandungan 70% propana dan 30% butana, sehingga dapat ditulis persamaan stoikiometri sebagai berikut:



Dalam persamaan tersebut digunakan jumlah udara minimum yang biasa disebut dengan udara teoritis. Akan tetapi dalam kondisi awal pembakaran sempurna hampir tidak pernah terjadi karena pembakaran berlangsung secara kompleks. Pembakaran tidak hanya tergantung dari model ruang bakarnya tetapi juga tergantung kondisi bahan bakar, udara

dan temperatur pembakarannya. Salah satu cara untuk memperbesar kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna adalah dengan menggunakan udara lebih. Udara lebih (*excess air*) didefinisikan sebagai udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah teoritis yang dibutuhkan bahan bakar. Reaksi pembakaran bahan bakar (C_xH_y) dengan menggunakan udara berlebih dituliskan sebagai berikut:



dengan:

λ = Faktor kelebihan udara

$\lambda = 1$, apabila dipergunakan udara teoritis

$\lambda > 1$, apabila dipergunakan udara berlebih

$\lambda < 1$, apabila kekurangan udara

Penggunaan udara berlebih tersebut memerlukan sebuah parameter untuk menyatakan banyaknya udara pembakaran tiap satuan kuantitas bahan bakar. Parameter tersebut antara lain *air-to-fuel-ratio* (AFR). AFR dapat dinyatakan dalam mol udara per mol bahan bakar atau massa udara per massa bahan bakar, seperti terlihat dalam persamaan berikut:

$$(AFR)_{teoritis} = \left(\frac{m_{udara}}{m_{bahan\ bakar}} \right)_{teoritis} \left(\frac{kg\ udara}{kg\ bahan\ bakar} \right) \quad (\text{Turns, 1996: 19})(2-4)$$

Perbandingan antara (AFR) teoritis dengan (AFR) aktual dapat dinyatakan dengan equivalence-ratio (Φ), sebagai berikut:

$$\phi = \frac{\left(\frac{A}{F} \right)_{teoritis}}{\left(\frac{A}{F} \right)_{aktual}} = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{Turns, 1996: 19})(2-5)$$

dengan:

$\Phi = 1$, apabila campuran stoikiometri

$\Phi < 1$, apabila campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixtures*)

$\Phi > 1$, apabila campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixtures*)

Ada 5 syarat yang harus dipenuhi untuk mengusahakan terjadinya pembakaran sempurna sesuai dengan aturan MATTp (Culp, 1996:108), yakni:

1. M, mixing atau pencampuran bahan bakar dan udara yang baik
2. A, air atau udara pembakaran yang cukup

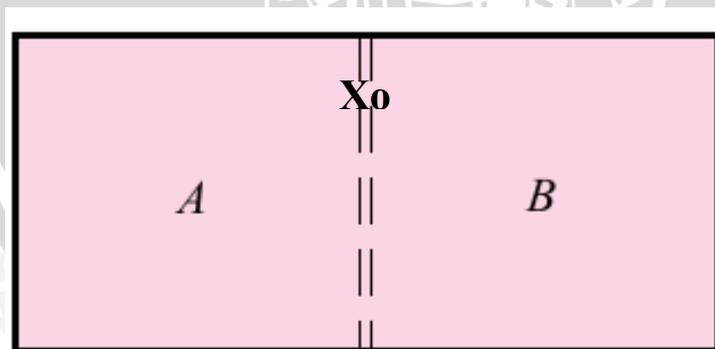
3. T , time atau waktu harus mencukupi untuk proses reaksi
4. T , temperature atau suhu pembakaran yang cukup tinggi
5. ρ , massa jenis yang cukup untuk proses difusi

Salah satu keuntungan dari proses pembakaran adalah dapat memperoleh energi yang cepat dengan adanya reaksi kimia pembakaran yang berlangsung sangat cepat. Oleh karena itu, peningkatan kecepatan reaksi pembakaran merupakan faktor penting di dalam pembakaran. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan reaksi pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan intensitas turbulensi untuk proses pencampuran reaktan.
2. Memperluas daerah kontak reaksi antara bahan bakar dan udara.
3. Meningkatkan temperatur pembakaran (pemanasan awal).

2.2. Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran yang tidak memerlukan proses pencampuran bahan bakar dan udara secara mekanik sebelum terjadinya proses pembakaran, melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi. Pembakaran difusi akan berlangsung bila pencampuran udara (oksigen) dan bahan bakar melalui proses difusi massa mencapai kondisi mendekati stoikiometri dan panas yang dilepas oleh api di daerah pencampuran tersebut sudah cukup maka pembakaran akan berlangsung. Pembakaran difusi bisa kita jumpai pada berbagai proses seperti nyala lilin, api kebakaran, pembakaran di turbin gas dan lain sebagainya.

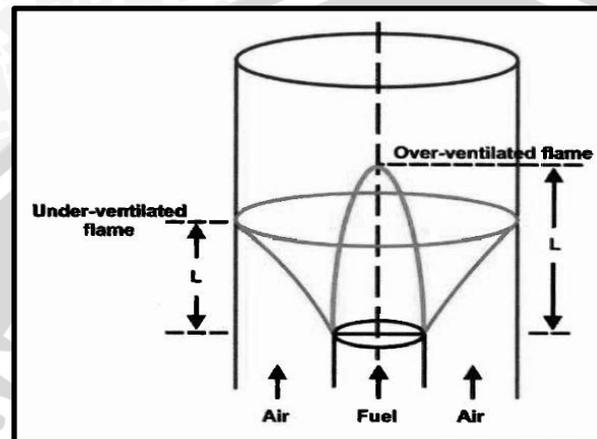


Gambar 2.1 Difusi komponen A ke dalam komponen B
Sumber: Holman (2010:588)

Misalkan terdapat suatu ruangan tertutup yang disekat oleh bidang khayal X_o (Gambar 2.1). Bagian di sebelah kiri X_o berisi partikel gas A, sedangkan bagian sebelah kanan X_o berisi partikel gas B pada tekanan yang sama, sehingga tidak ada potensial aliran. Sesaat setelah bidang X_o dibuka, partikel gas A bergerak secara acak ke dua arah,

demikian pula partikel gas B, sehingga dalam ruangan tercapai konsentrasi gas A dan gas B.

Sebuah model pembakaran yang umum digunakan untuk menganalisis nyala api difusi pertama kali diperkenalkan oleh Burke dan Schumann pada tahun 1979. Model tersebut adalah sistem pembakaran dimana bahan bakar dan udara mengalir sejajar dalam tabung pembakaran silinder koaksial.



Gambar 2.2 Bentuk api difusi
Sumber: Nordin (2003:5)

Model Burke dan Schumann (Gambar 2.2) dapat digunakan untuk menganalisis bentuk nyala api difusi sehingga dengan model tersebut dapat diklasifikasikan menjadi dua bentuk, yaitu:

1. Nyala api menguncup ke sumbu tabung pembakaran

Kondisi ini terjadi jika perbandingan diameter tabung pembakaran terhadap diameter nosel bahan bakar sedemikian rupa sehingga udara yang masuk ke tabung pembakaran lebih banyak daripada yang diperlukan untuk proses pembakaran sempurna (*overventilated*).

2. Nyala api melebur ke dinding tabung pembakaran

Kondisi ini terjadi jika perbandingan diameter tabung pembakaran terhadap diameter nosel sedemikian rupa sehingga udara yang masuk ke tabung pembakaran lebih sedikit daripada yang diperlukan untuk proses pembakaran sempurna (*underventilated*).

Dalam pembakaran difusi, jika gradien konsentrasi reaktan besar akan menyebabkan pembakaran semakin cepat. Tetapi jika gradien konsentrasi reaktan terlalu besar maka kecepatan pembakaran tidak bisa mengimbangi kecepatan difusi. Akibat gradien yang terlalu besar transfer massa bahan bakar dan udara ke daerah reaksi menjadi

sangat besar dan mendinginkan daerah reaksi sehingga reaksi tidak bisa berlangsung dengan baik.

Dari kedua hal diatas, bisa disimpulkan bahwa kestabilan api difusi bisa diperoleh dari kesesuaian antara kecepatan reaksi di daerah reaksi dan kecepatan aliran massa akibat difusi menuju daerah reaksi. Dengan kata lain kestabilan api ditentukan oleh bilangan *Damkohler*, seperti terlihat pada persamaan berikut:

$$Da = \frac{\tau_f}{\tau_{ch}} \quad (2-6)$$

dengan:

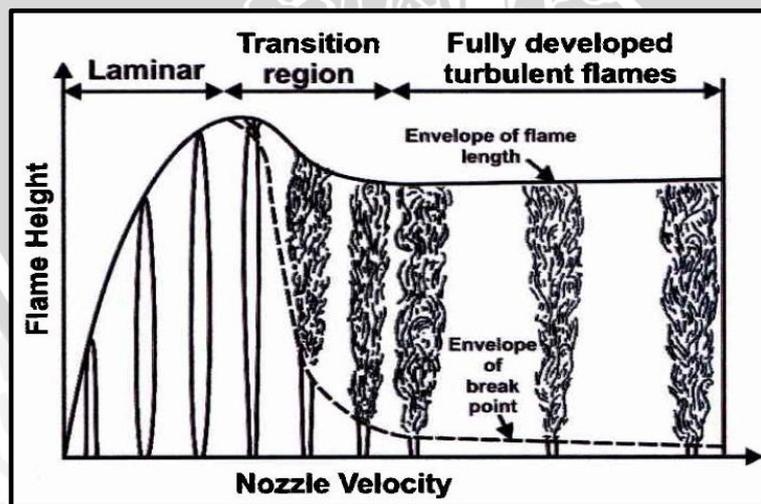
Da = *Damkohler number*

τ_f = *characteristic flow time (s)*

τ_{ch} = *characteristic chemical time (s)*

Jika laju reaksi kimia reaktan lebih cepat daripada laju reaktan, maka $Da > 1$, sebaliknya jika laju aliran reaktan lebih cepat daripada laju reaksi kimia reaktan, maka $Da < 1$, karena laju berbanding terbalik dengan waktu.

Salah satu jenis api akibat dari pembakaran difusi adalah api difusi *jet*. Api difusi *jet* adalah api difusi yang terjadi karena aliran *jet* bahan bakar dari nosel ke dalam aliran udara pada *burner*. Nyala api difusi *jet* terdiri dari api difusi *jet* laminar dan api *jet* difusi turbulen.



Gambar 2.3 Perubahan aliran dan struktur api
Sumber: Kuo (2000:359)

Gambar 2.3 menjelaskan perubahan aliran api difusi jet laminar ke api difusi jet turbulen. Perubahan api tersebut disebabkan oleh peningkatan kecepatan aliran jet bahan

bakar. Pada kecepatan jet bahan bakar yang rendah, laju pencampuran terjadi secara lambat dan struktur api adalah laminer. Panjang api laminer tersebut akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan jet bahan bakar sampai pada satu batas aliran api turbulen. Pada kondisi transisi terjadi perubahan dari aliran laminer menjadi turbulen. Panjang api laminer akan mengalami penurunan dan panjang api turbulen akan mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kecepatan jet bahan bakar, kemudian panjang api total akan menurun karena kecepatan pengadukan api turbulen.

2.3 Karakteristik Nyala

2.3.1 Batas Mampu Nyala (*Limits of Flammability*)

Dalam kenyataannya terjadinya nyala api dapat tercapai jika terjadi campuran antara oksidator dan bahan bakar mendukung. Ada kisaran campuran bahan bakar dan oksidator yang dapat menyebabkan nyala api. Kisaran itu yaitu kisaran batas bawah mampu nyala dan batas atas mampu nyala atau yang lebih dikenal sebagai *lower and upper flammability limits*.

Nyala api adalah daerah tempat terjadinya reaksi pembakaran. Nyala api dibatasi oleh permukaan nyala (*flame front*), yaitu permukaan yang membatasi gas yang terbakar dan tidak terbakar. Pada proses pembakaran difusi, kestabilan nyala memegang peranan yang sangat penting. Api dikatakan stabil bila terjadi api stasioner pada kedudukan tertentu saat kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan produk, dalam hal ini rambatan api. Disamping itu api juga mempunyai ketinggian nyala, yakni dapat didefinisikan sebagai suatu jarak aksial nyala api dari mulut nosel sampai kepada suatu titik tertentu dimana ujung nyala api tersebut mencapai garis sumbunya (vertikal).

2.3.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Nyala

Faktor fisika dan kimia diketahui dapat mempengaruhi karakteristik nyala api. Faktor fisika diantaranya adalah temperatur dan tekanan, sedangkan faktor kimia diantaranya adalah rasio campuran dan struktur hidrokarbon.

Pengaruh komposisi campuran sangat penting bagi kecepatan pembakaran. Nyala hanya akan merambat pada konsentrasi campuran tertentu. Konsentrasi bahan bakar minimum dalam campuran yang sudah dapat menyala dinamakan batas nyala terbawah, dan biasanya konsentrasi bahan bakar dan udara dikondisikan pada keadaan standar yaitu campuran stoikiometri. Dengan penambahan konsentrasi bahan bakar pada campuran,

maka campuran akan kaya dan oksigen berkurang, kecepatan pembakaran turun dan api akan padam, hal ini juga berkaitan dengan batas nyala yang dinamakan batas nyala atas.

2.4 Kestabilan Nyala Api

Pergerakan perambatan api dan bentuk dari kestabilan nyala api selalu dipengaruhi oleh kesetimbangan antara laju aliran massa dinamik gas yang melibatkan perhitungan kekekalan massa, kekekalan momentum, dan kekekalan energi.

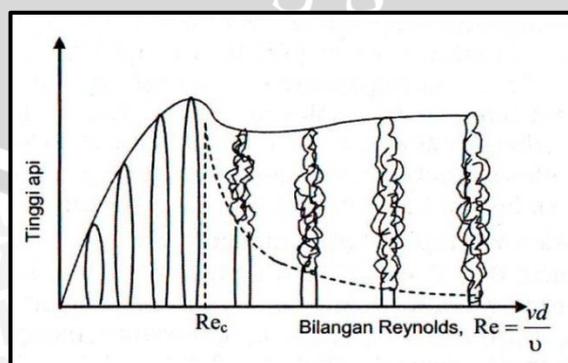
Batas kestabilan api umumnya menjelaskan batas operasional dari sistem pembakaran. Batas kestabilan nyala berhubungan erat dengan fenomena *flashback*, *lift off*, *blow off*, dan warna nyala pada tabung pembakar (*burner*).

Pada penelitian ini terdapat dua kondisi aliran batas yang berhubungan dengan api difusi, yaitu fenomena *lift off* dan *blow off*.

Tinggi api mencapai nilai tertinggi pada kondisi stokiometri, dan semakin memendek jika campuran reaktan semakin jauh dari stokiometri. Pada api campuran miskin ujung api cenderung tertutup (menguncup) sedangkan pada campuran kaya ujung api cenderung terbuka.

Metode penentuan panjang api ditentukan oleh berbagai macam faktor, misalnya: Melalui pengamatan secara visual oleh peneliti, penentuan nilai rata-rata dari panjang api yang tampak pada hasil foto, pengukuran letak temperatur maksimum sepanjang sumbu api menggunakan termokopel, serta mencari posisi sepanjang sumbu nyala api yang memiliki fraksi campuran rata-rata sama dengan fraksi stoikiometri nya dengan menggunakan gas sampling.

2.4.1 Api Difusi Turbulen



Gambar 2.4 Perubahan panjang dan struktur api difusi dengan bilangan *Reynolds*
Sumber: Wardana (2008: 190)

Gambar 2.4 menjelaskan tentang jika pada api difusi laminar transfer bahan bakar dan pengoksidasi menuju ke daerah reaksi adalah karena difusi molekuler, maka pada api difusi turbulen gerak reaktan tersebut disebabkan oleh vorteks atau *turn flow* yang dikenal dengan difusi turbulen. Umumnya dalam kebanyakan alat pembakar, bahan bakar dipancarkan ke lingkungan udara sehingga api yang terbentuk disebut api difusi *jet*.

Pada saat kecepatan pancaran bahan bakar rendah api difusi *jet* adalah laminar. Panjang api laminar tersebut akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan bahan bakar sampai pada suatu batas aliran api menjadi turbulen. Pada kondisi transisi akan terjadi perubahan dari aliran laminar menjadi turbulen. Panjang api laminar akan mengalami penurunan dan panjang api turbulen akan mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan kecepatan *jet* bahan bakar.

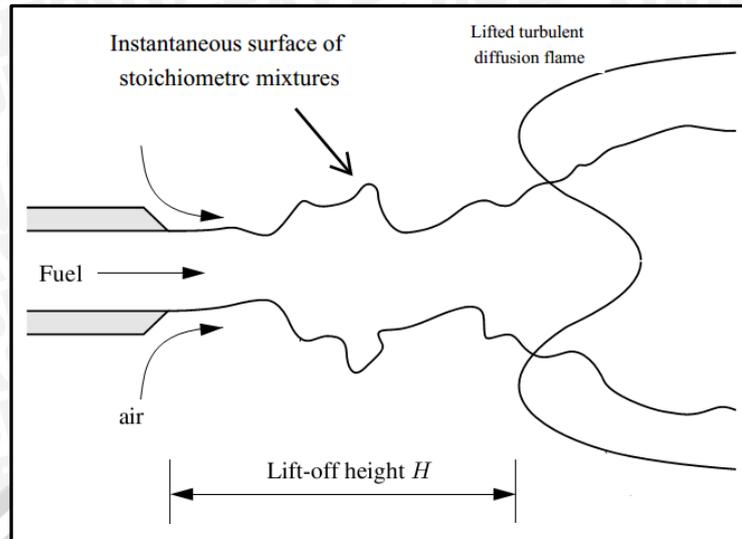
Dengan adanya variasi sudut *central fuel tube* (nosel) maka diharapkan akan didapatkan sudut saluran nosel yang optimal yang dapat menghasilkan pergeseran zona reaksi yang semakin luas. Pergeseran zona reaksi ini akan mengakibatkan bertambahnya radikal bebas yang merupakan atom tidak stabil, yang mana radikal bebas tersebut bertindak sebagai agen yang menyebabkan molekul lain yang masih stabil menjadi tidak stabil. Radikal bebas ini bekerja secara terus menerus, sehingga bahan bakar habis terbakar. Semakin banyak radikal bebas, maka reaksi kimia antara bahan bakar dan udara juga akan semakin cepat sehingga menghasilkan pembakaran yang semakin mendekati sempurna.

2.4.2 Fenomena *Lift Off* dan *Blow Off*

Fenomena *Lift off* merupakan kondisi di mana nyala api tidak menempel pada mulut nosel (Gambar 2.5). Hal ini dikarenakan karena kecepatan reaksi lebih kecil daripada kecepatan gas reaktan, sehingga api bergerak untuk menjauhi mulut nosel.

Dengan meningkatkan kecepatan aliran hingga tercapai kecepatan kritis, ujung nyala akan meloncat ke posisi jauh dari ujung (mulut) pembakar dan nyala dikatakan terangkat. Kondisi nyala terangkat inilah yang dinamakan sebagai *lift off*.

Pada aliran *jet* bahan bakar berkecepatan rendah, kondisi api adalah laminar, kemudian bila kecepatan aliran ditingkatkan, aliran akan berada pada kondisi turbulen.

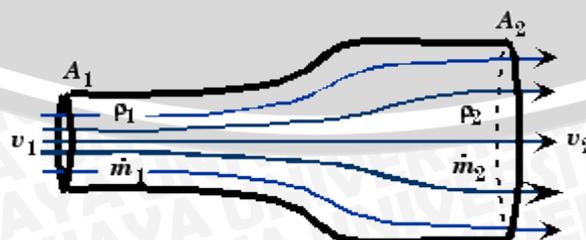


Gambar 2.5 Skema *lift off* pada api difusi jet
 Sumber: Peters (2000:239)

Panjang *lift off* adalah jarak antara mulut nosel dan pangkal api. Panjang *lift off* akan meningkat seiring dengan penambahan kecepatan jet bahan bakar sampai api mengalami *blow off*. Fenomena *Blow off* merupakan suatu keadaan di mana nyala api padam akibat dari batas kecepatan aliran lebih besar dari laju nyala atau kecepatan pembakaran. *Blow off* dapat terjadi bila api difusi telah melewati batas kritis *lift off*. Baik *lift off* maupun *blow off* merupakan kondisi yang harus dihindari dalam proses pembakaran.

2.5 Persamaan Kontinuitas

Jika suatu fluida bergerak atau mengalir didalam suatu pipa, maka massa alir dari fluida yang masuk ke dalam pipa akan sama dengan fluida yang keluar dari pipa dalam waktu tertentu.



Gambar 2.6 Skema persamaan kontinuitas
 Sumber: Anonymous 1, 2013

Sehingga dirumuskan:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 \cdot Q_1 = Q_2 \cdot \rho_2$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2 \quad (\text{Djojodihardjo, 1983}) (2-7)$$

Dimana:

\dot{m} = Massa alir fluida (kg/s)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

Q = Debit fluida (m³/s)

A = Luas penampang (m²)

v = Kecepatan aliran (m/s)

2.6 Bahan Bakar Gas

Dalam setiap pembakaran baik difusi maupun premix dibutuhkan bahan bakar. Bahan bakar inilah yang menjadi sumber energi pada proses pembakaran. Wujud bahan bakar terdiri dari gas, cair, dan udara dalam kacamata keadaan atau wujudnya, namun jika ditinjau dari aspek lain seperti proses pembentukannya bahan bakar terbentuk secara alamiah dan buatan.

Bahan bakar alami adalah bahan bakar yang telah tersedia di alam dan tanpa ada campur tangan manusia dalam meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar tersebut. Bahan bakar padat alami seperti: kayu, batubara, lignit, antrasit, dedaunan, dan sebagainya.

Bahan bakar cair umumnya merupakan bahan bakar nonalamiah walaupun saat ini sedang hangat-hangatnya isu bahan bakar dari air (H₂O) namun masih dalam penelitian, sedangkan bahan bakar gas alami seperti gas alam. Bahan bakar buatan adalah bahan bakar yang telah melalui berbagai macam proses kimia maupun fisika untuk menambah nilai kalornya. Bahan bakar padat buatan seperti: kokas, briket batubara, arang dan bris. Bahan bakar cair buatan seperti olahan dari minyak bumi berupa kerosene, pertamax, premium, solar dan lain sebagainya. Sedangkan bahan bakar gas buatan misalnya LPG.

Penggunaan bahan bakar tergantung pada kebutuhan akan efisiensi dan keekonomisannya, Pada beberapa tahun silam, kebutuhan energi ntuk rumah tangga di indonesia disuplai dari bahan bakar cair, berupa kerosin namun dengan kebijakan menggunakan bahan bakar gas dari pemerintah penggunaan bahan bakar kerosin menjadi berkurang. Hal ini perlu diterapkan guna menyelamatkan keadaan ekonomi negara dari isu

Internasional kenaikan harga bahan bakar minyak dunia. Bahan bakar gas memang sedikit lebih mahal dari bahan bakar cair namun dalam penanganannya mudah dan lebih sederhana serta kebutuhan akan udara lebih rendah dari bahan bakar lain.

2.6.1. LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yang populer di Indonesia dengan nama Elpiji didapat dari proses pengolahan gas alam atau dari minyak mentah. Dari gas alam selain dihasilkan LNG juga didapat LPG, sedangkan dari pengolahan minyak mentah sebagian besar produk ringan dapat menghasilkan LPG dengan berbagai proses. Proses produksi LPG diawali dengan pembersihan gas alam dari berbagai kotoran. Selanjutnya gas yang sudah bersih dikeringkan, lalu didinginkan hingga menjadi cair. Gas yang sudah cair ini dipisahkan dengan proses fisika-kimia di instalasi pemisahan berturut-turut untuk mengeluarkan senyawa metana (CH_4), etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), dan lain sebagainya. LPG bisa dibuat dari senyawa propana (*propane*), butana (*butane*) atau campuran keduanya dengan perbandingan tertentu.

Elpiji yang diproduksi dan dipasarkan di Indonesia oleh PT. Pertamina terdapat tiga jenis yaitu:

1. LPG Campuran

Bahan bakar gas elpiji untuk kebutuhan rumah tangga, industri dan komersial yaitu elpiji campuran propana dan butana. Terdiri atas 70% volume propana dan 30% volume butana serta ditambahkan *mercaptant* yang berbau menyengat.

2. LPG Propana

Bahan bakar gas elpiji untuk kebutuhan khusus yaitu bahan bakar elpiji propana. Terdiri dari 95% propana dan ditambahkan *mercaptant* yang berbau menyengat.

3. LPG Butana

Bahan bakar gas elpiji untuk kebutuhan industri yaitu bahan bakar elpiji butana. Terdiri dari 97,5% butana dan ditambahkan *mercaptant* yang berbau menyengat.

2.7 Temperatur Nyala

Salah satu parameter penting dalam pembakaran adalah temperatur nyala. Temperatur nyala ditentukan oleh kesetimbangan energi antara reaktan, produk, dan kesetimbangan lingkungan. Jika zona reaksi sangat tipis dalam pembanding dengan bidang yang lainnya, maka umumnya asumsi untuk penunjukan temperatur maksimum dalam zona reaksi adalah menjadi temperatur nyalanya (Zhang, 1996:21). Jika pembakaran terjadi

secara adiabatik dan tidak ada kerja atau perubahan energi kinetik dan potensial, maka temperatur nyala menunjuk sebagai temperatur nyala adiabatik. Ini adalah temperatur nyala maksimum yang dapat dicapai oleh reaktan, tetapi dengan adanya perpindahan panas dari zona reaksi dan pembakaran yang tidak sempurna akan cenderung menghasilkan temperatur produk yang rendah. Rumus sederhana untuk temperatur nyala adalah:

$$\frac{\text{Nilai kalor bersih bahan bakar--efek disosiasi}}{(\text{Berat produk pembakaran}) \times (\text{panas spesifik produk pembakaran})} \quad (\text{Zhang, 1996;21}) (2-10)$$

Pada dasarnya, temperatur nyala aktual lebih rendah daripada temperatur udara adiabatik disebabkan perpindahan panas, pembakaran tidak sempurna, dan kerja lingkungan selama proses pembakaran.

Pengetahuan distribusi temperatur dalam ruang pembakaran dapat menunjukkan permasalahan yang pada akhirnya dapat memberikan data yang digunakan dalam optimasi konstruksi peralatan. Diagnosis temperatur secara sederhana biasanya menggunakan termokopel, namun sifatnya instruktif karena peralatan tersebut dimasukkan kedalam nyala sehingga merubah karakteristik aliran.

2.8 Hipotesis

Dari uraian di atas dapat diambil suatu hipotesis bahwa semakin besar sudut *central fuel tube* yang digunakan, maka resirkulasi pada aliran udara yang dihasilkan *blower* semakin besar, campuran antara bahan bakar dan udara akan semakin homogen, sehingga akan menghasilkan pembakaran yang semakin baik, akibatnya kestabilan nyala dan distribusi temperatur pada api difusi *double concentric jet flow* akan meningkat.