

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Zulkarnaen (2014) meneliti pengaruh *perforated burner* terhadap karakteristik pada pembakaran *premixed* dengan menggunakan variabel bebas *equivalance ratio* antara campuran gas *liquefied petroleum gas* dan air. Hasil dari penelitian kecepatan api laminer dari *bunsen burner* dipengaruhi dengan kecepatan api dan sudut api. Pada penelitian ini tinggi api memiliki kecenderungan api untuk naik dari ekuivalen rasio kecil ke ekuivalen rasio besar.

Buffam dan Cox (2008) meneliti tentang pengukuran kecepatan api laminer campuran metana dan udara dengan *slot burner* dan *bunsen burner*. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dua apparatus pembakaran untuk mengevaluasi kecepatan api laminer dengan macam macam ukuran api dengan burner yang berbeda. *Slot burner* digunakan dengan ukuran yang berbeda beda sebanyak 4 jenis. Dalam *bunsen burner* paling tertinggi pada *equivalence ratio* hampir mendekati stoikiometrinya.

Pranoto (2012) penelitian yang dilakukan adalah pengaruh variasi *Air Fuel Rasio* (AFR) terhadap karakteristik api dengan cara pembarakan *premixed* minyak kapuk pada burner. Pada penelitian ini mempunyai kesimpulan bahwa pola api pada pembakaran *premixed* dipengaruhi oleh AFR. Pada penelitian ini massa alir dari bahan bakar tetap dan pada massa alir udara dilakukan penambahan sehingga mempengaruhi AFR yang akan mempengaruhi stabilisasi dan struktur api pada *bunsen burner*.

Wirawan (2013) menganalisa pengaruh dari pengujian menggunakan *bunsen burner* dan *perforated burner*, dengan cara bervariasi jumlah lubang pada *perforated burner* dari percobaan itu digunakan untuk mengetahui nilai dari kecepatan api laminer, tinggi api, dan temperatur pembakaran dari masing masing variasi *burner*.

Janwar Chris (2016) penelitian yang dilakukan adalah pengujian karakteristik nyala api pada *Bunsen burner* dan *slot burner* dengan bahan bakar LPG. Pada penelitian ini mempunyai kesimpulan bahwa Kecepatan api laminer ( $S_L$ ) pada *slot burner* lebih besar daripada *bunsen burner* hal ini di karenakan bentuk dari mulut burner yang berbeda menghasilkan sudut api yang berbeda.

## 2.2 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) di mana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara.

Bahan bakar dibagi menjadi dua jenis, yaitu bahan bakar primer dan bahan bakar sekunder. Bahan bakar primer adalah bahan bakar yang dapat digunakan langsung seperti kayu dan gas alam, bahan bakar sekunder adalah bahan bakar yang bila digunakan harus diolah lebih lanjut. Contoh bahan bakar sekunder adalah bensin, solar kerosin atau golongan bahan bakar minyak yang berupa minyak. Karbon (C) dan hidrogen (H) merupakan kandungan utama. Sedangkan nitrogen (N), sulphur (S), oksigen (O<sub>2</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O) merupakan kandungan yang minoritas didalam bahan bakar.

Berdasarkan bentuk dan wujudnya bahan bakar dibedakan menjadi bahan bakar padat, bahan bakar cair dan bahan bakar gas. Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat, dan kebanyakan menjadi sumber energi panas. Misalnya kayu dan batubara. Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Bensin/ gasolin/ premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni *compressed natural gas* (CNG) dan *liquid petroleum gas* (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya.

### 2.2.1 LPG

LPG diperoleh dari hidrokarbon yang dihasilkan selama penyulingan minyak mentah dan dari komponen gas alam. Komponen LPG didominasi *propane* (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dan *butane* (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) dan pentana (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>). Temperatur penguapan dari jenis ini adalah lebih kecil atau sama dengan 15<sup>0</sup>C dan Tekanan uapnya antara 11,5 sampai 19,3 bar gauge pada 50<sup>0</sup>C dan bentuk yang lainnya adalah *liquified petroleum gas butane* komersial. Sebagian dari komposisi gas didominasi *butane* dan *butene*. Sedangkan *propylene* dan *propane* mengandung kurang dari 19%. Pada suhu 50<sup>0</sup>C tekanan uapnya kurang dari atau sama

dengan 6.9 bar gauge. Temperatur penguapan LPG jenis ini kurang dari atau sama dengan 1°C.

LPG lebih berat dari udara dengan berat jenis sekitar 2,01 (dibandingkan dengan udara), tekanan uap LPG cair dalam tabung sekitar 5,0–6,2 kg/cm<sup>2</sup>. Zat markaptan ditambah pada LPG dimaksudkan untuk keselamatan dengan memberikan bau yang khas, sehingga kebocoran gas mudah diketahui dengan cepat.

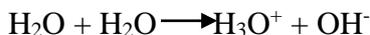
### 2.2.1 Uap Air (H<sub>2</sub>O)

Air (H<sub>2</sub>O) adalah senyawa oksigen yang paling dikenal. Air (H<sub>2</sub>O) adalah oksidasi hidrogen dan merupakan senyawa oksigen yang paling dikenal. Atom hidrogen secara kovalen berikatan dengan oksigen. Selain itu atom hydrogen juga berinteraksi dengan atom oksigen dari molekul air lainnya.

Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Air terionisasi menghasilkan sebuah ion hidrogen (H<sup>+</sup>) dan sebuah ion hidroksida (OH<sup>-</sup>), seperti persamaan reaksi di bawah ini.



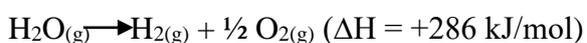
Untuk interaksi dua molekul air dituliskan dalam persamaan:



Beberapa sifat uap air pada pembakaran:

1. Viskositas yang tinggi dapat memperlambat laju pembakaran
2. Difusivitas termal uap air dapat meningkatkan seiring meningkatnya temperatur
3. Uap air memiliki tegangan permukaan yang cukup tinggi

Pada pembakaran H<sub>2</sub>O dapat diuraikan dan dapat dibentuk. Penguraian H<sub>2</sub>O membutuhkan kalor sebesar 286 kJ/mol untuk membentuk H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Berikut reaksi pembakaran H<sub>2</sub>O.



### 2.3 Pembakaran

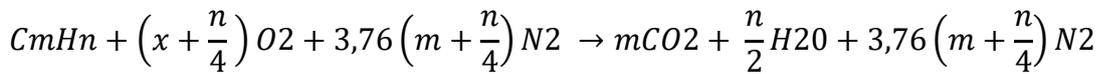
Pembakaran adalah proses/ reaksi oksidasi cepat bahan bakar dengan oksidator yang akan menimbulkan panas dan nyala. Pembakaran akan berlangsung jika mempunyai.

1. Bahan Bakar
2. Pengoksidasi (oksigen atau udara)
3. Panas atau Energi Aktivasi

Ketika dioksidasi bahan bakar akan melepas panas. Bahan bakar secara umum mengandung unsur unsur Hidrogen (H), karbon (C), oksigen (O), sulfur (S), dan nitrogen (N). Sementara oksigen (Udara) akan bereaksi terhadap udara yang berfungsi sebagai oksidator.

Fenomena fenomena yang terjadi di pembakaran adalah proses proses fisika dan kimia, pelepasan panas dari energi kimia, perpindahan panas, gerakan fluida dan proses perpindahan massa.

Oksidasi eksotermis adalah menghasilkan panas yang terjadi di pembakaran. Oksigen untuk pembakaran didapat dari udara kering, udara kering terdiri 21% oksigen dan 78% nitrogen. Maka  $C_mH_n$  merupakan reaksi Stoikiometrik pembakaran Hidrokarbon dengan persamaan:



Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan di atas  $CO_2$  dan  $H_2O$  tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa CO,  $CO_2$ , dan  $H_2O$ . Juga sering terbentuk hidrokarbon tak jenuh, formaldehida dan kadang-kadang terdapat juga karbon.

Dalam penelitian menggunakan bahan bakar LPG dimana menggunakan LPG dengan kandungan 50% butana dan 50% propana sehingga persamaan dalam pembakaran untuk LPG adalah:



### 2.3.1 Reaksi Kimia Pembakaran

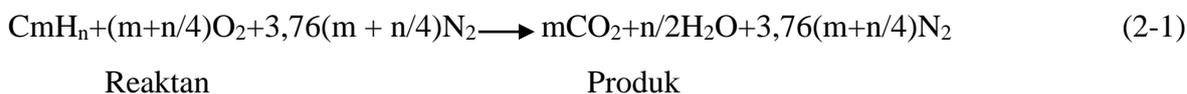
Keadaan terjadinya pembakaran sempurna pada campuran udara dan bahan bakar pada jumlah yang tepat disebut pembakaran stoikiometrik. Pembakaran akan menghasilkan air dan karbondioksida jika terjadi secara stokiometrik.

Tabel 2.1  
Komposisi Udara Kering

Udara	Proporsi Volume %		Proporsi massa%	
	Aktual	Penggunaan	Aktual	Penggunaan
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oksigen	20,99	21	23,20	23,2
Argon	0,94	0	1,30	0
CO <sub>2</sub>	0,03	0	0,05	0
Gas lainnya	0,01	0	-	0

Sumber: Wardana (2008)

Dari Tabel 2.1 apabila gas-gas argon, CO<sub>2</sub> dan gas lainnya diabaikan maka prosentase komposisi gas di udara bebas adalah 21% oksigen dan 79% nitrogen. Dengan demikian maka ketika setiap penggunaan 1 mol O<sub>2</sub> yang terkandung di udara pada suatu reaksi pembakaran, secara otomatis akan mencakup penggunaan  $\left(\frac{79}{21}\right) = 3,76$  mol N<sub>2</sub>. Maka reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> dapat di tulis dengan persamaan (2-1):



Reaktan

Produk

Sumber: Wardana (2008)

Dari persamaan reaksi pembakaran stokiometrik, maka pembakaran untuk bahan bakar LPG yang dengan komposisi 50% propana dan 50% butana dapat ditulis dengan persamaan (2-2).



Reaktan

Produk

Sumber: Wardana (2008)

Persamaan kaya udara:



Reaktan

Produk

Sumber: Wardana (2008)

Persamaan kaya bahan bakar:



Reaktan

Produk

Sumber: Wardana (2008)

### 2.3.2 Air Fuel Ratio (AFR)

Merupakan perbandingan antara bahan bakar dengan mol udara atau massa. Percampuran antara bahan bakar dan udara sangat berpengaruh terhadap hasil pembakarannya. Campuran stokiometrik dalam persamaan AFR.

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} \quad (2-5)$$

Sumber: Wardana (2008:58-59)

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \quad (2-6)$$

Sumber: Wardana (2008:58-59)

Keterangan:

AFR = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometrik

$N_{bahan\ bakar}$  = Jumlah mol bahan bakar (mol)

$N_{udara}$  = Jumlah mol udara (mol)

$M_{bahan\ bakar}$  = Massa bahan bakar (kg)

$M_{udara}$  = Massa udara (kg)

Sehingga nilai AFR berdasarkan mol untuk LPG (50% butana dan 50% propana) dari persamaan reaksi pembakaran (2-2).

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}$$

$$AFR = \frac{5,75 \times (1+3,76)}{(0,5+0,5)} = 27,37$$

Perhitungan AFR stokiometri LPG berdasarkan massa.

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}}$$

$$AFR = \frac{5,75(2 \times 16 + 3,76 \times 14 \times 2)}{(0,5(12 \times 3 + 8)) + 0,5(12 \times 4 + 10)} = \frac{789,36}{51} = 15,47$$

Dengan diketahuinya massa dari LPG dan massa udara, maka kita dapat menghitung AFR stoikiometri LPG bila dinyatakan dalam perbandingan *volume*, berdasarkan densitasnya.

Diketahui:

- Massa jenis udara pada 27°C adalah 0,0012 gr/cm<sup>3</sup>
- Massa jenis LPG (50% propana dan 50% butana) adalah 0,002155 gr/cm<sup>3</sup>
- menghitung *volume* udara dan LPG menggunakan persamaan:

$$V = \frac{m}{\rho} \tag{2-7}$$

$$V_{udara} = \frac{m}{\rho} \qquad V_{LPG} = \frac{m}{\rho}$$

Sumber: Wardana (2008)

$$= \frac{789,36}{0,0012} = 657.800 \text{ cm}^3 \qquad = \frac{51}{0,002155} = 23.665,89 \text{ cm}^3$$

- Sehingga perbandingan *volume* antara LPG dan udara dituliskan sebagai berikut.

$V_{udara}$  :  $V_{bahan\ bakar}$

657.800 cm<sup>3</sup> : 23.665,89 cm<sup>3</sup>

27,57 mL : 1 mL

## 2.4 Klasifikasi Pembakaran

Ada tiga jenis pembakaran, salah satu jenis pembakaran yang di tentukan oleh reaktan terbakar di dalam zona reaksi. Pembakaran jenis ini dibedakan menjadi 2 yaitu pembakaran difusi dan pembakaran *premixed*.

### 2.4.1 Pembakaran Difusi

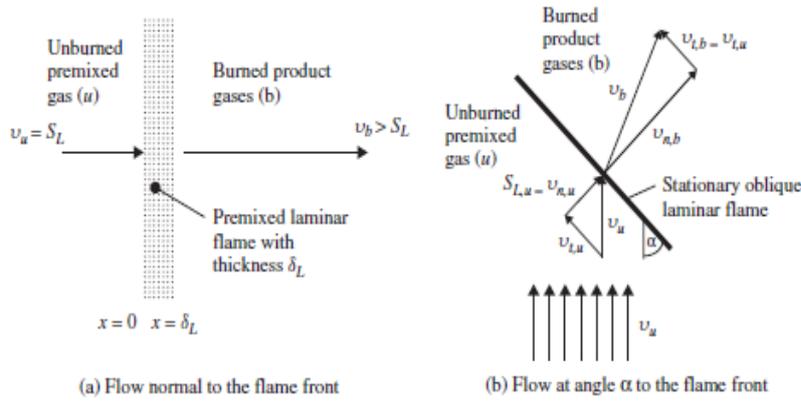
Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi dalam ruang bakar/ proses pembakaran (Wardana, 2008). Contoh dari non premix adalah lilin.

### 2.4.2 Pembakaran *Premixed*

Pembakaran secara *premixed* adalah pembakaran dimana bahan bakar dan udara sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran (wardana, 2008). Pembakaran secara *premixed* ini membutuhkan perbandingan antara udara dan bahan bakar (AFR) dalam jumlah tertentu. Api yang ditimbulkan oleh pembakaran *premixed* sangatlah besar sebab terdapat dua api yaitu api *premixed* sendiri dan terdapat juga api difusi. Namun kelemahan dari api *premixed* ini sering terjadi *flash back* yang mana api akan merambat ke dalam ruang pencampuran mekanik yang menyebabkan kebakaran. Sehingga tipe api ini rawan terjadi kebakaran, apabila terjadi kebakaran pada api tipe ini lebih susah untuk dipadamkan. AFR adalah perbandingan jumlah mol udara terhadap jumlah mol bahan bakar. Nilai ini sangat berpengaruh pada jumlah udara yang akan disuplai untuk mereaksikan jumlah tertentu dari bahan bakar. Apabila bahan bakar dan udara bercampur secara seimbang atau dengan kata lain udara yang di sediakan untuk membakar semua bahan bakar sehingga bahan bakar tidak ada lagi yang tidak terbakar.

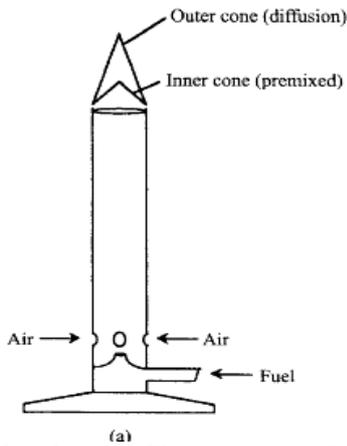
### 2.5 Kecepatan Api Laminer

Kecepatan api laminer bisa didefinisikan sebagai kecepatan normal reaktan *premixed* yang mengalir ke dalam zona api ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a), dimana arah aliran reaktan tegak lurus dengan bagian *flame front*. Kecepatan api merupakan nilai yang bisa diukur dari perluasan api dalam reaksi pembakaran.



Gambar 2.1 (a) Aliran normal pada arah depan api, (b) Aliran pada sudut  $\alpha$  pada bagian depan api  
 Sumber: Keneth (2005:46)

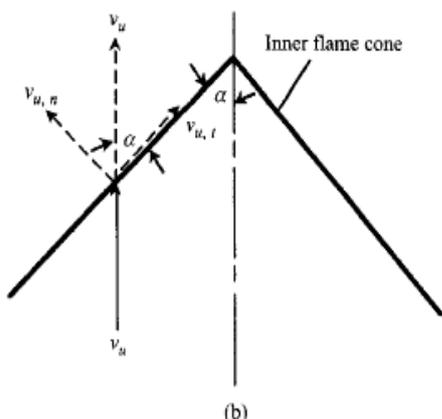
Kecepatan api laminar didefinisikan sebagai kecepatan gas yang tidak terbakar melalui gelombang pembakaran dengan arah normal menuju ke permukaan (K.Keneth, 2005).



Gambar 2.2 Skema *Bunsen Burner* dan nyala api  
 Sumber: Turn (2010:257)

Pada *bunsen burner* dapat dihasilkan nyala api laminar yang dapat diamati lebih lanjut. Dimana pada *bunsen burner* yang muncul tidak hanya api *premixed* melainkan juga terdapat api difusi di sekitar api laminar.

Gambar 2.3 menunjukkan skema dan bagaimana nyala api dihasilkan. Jenis nyala *bunsen burner* merupakan *dual-flame*, dimana bagian yang kaya akan bahan bakar akan dikelilingi oleh api difusi. Api difusi sendiri dihasilkan ketika Karbon Monoksida dan Hidrogen dihasilkan dari bagian dalam api yang bersentuhan langsung dengan udara sekitar. Agar api yang dihasilkan; tetap stasionaris, kecepatan api harus sama dengan kecepatan normal komponen dari gas yang tidak terbakar pada tiap tiap bagiannya. Hal ini dapat dijelaskan dengan penggambaran vektor diagram.



Gambar 2.3 Vektor diagram kecepatan nyala api laminar  
Sumber: Turn (2010:257)

Sehingga didapatkan kecepatan api laminar pada metode *bunsen burner* dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha \quad (2-8)$$

Sumber: Turn (2010:257)

dengan:

$S_L$  = kecepatan api laminar (cm/s)

$v$  = kecepatan reaktan (cm/s)

$\alpha$  = sudut api yang terbentuk ( $^\circ$ )

Nilai dari kecepatan reaktan/kecepatan pembakaran sendiri dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{A_b} \quad (2-9)$$

Sumber: Turn (2010:257)

Dengan:

$Q_{fuel}$  = debit aliran bahan bakar ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$Q_{air}$  = debit aliran udara ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$A_b$  = luas bagian melintang *burner* ( $\text{cm}^2$ )

## 2.6 Klasifikasi Nyala Api

Nyala api oleh hasil dari pembakaran diklasifikasikan menjadi beberapa bagian. *Non premix*, *partially premixed* dan *fully premixed* merupakan golongan yang dibagi berdasarkan bahan bakar dan oksidator mencapai daerah reaksi. Sedangkan nyala laminar dan nyala turbulen berdasarkan aliran reaktan yang masuk.

Pembakaran *premixed* rasio antara bahan bakar dan udara merupakan faktor yang mempengaruhi hasil dari pembakaran. Rasio dari campuran bahan bakar dan udara dapat dinyatakan dalam beberapa parameter yaitu *air fuel ratio* (AFR) dan Rasio Ekuivalen ( $\Phi$ )

## 2.7 Equivalence Ratio ( $\Phi$ )

Rasio ekuivalen adalah perbandingan antara *air fuel ratio* (AFR) stoikiometrik dengan *air fuel ratio* (AFR) aktual.

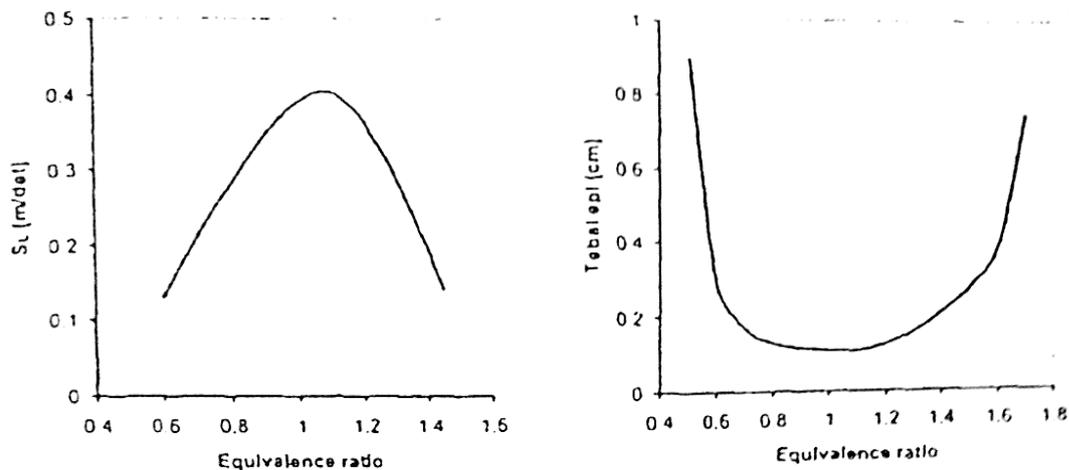
$$\Phi = \frac{\text{AFR(stoikiometri)}}{\text{AFR(aktual)}} = \frac{\text{FARa}}{\text{FARs}}$$

- Jika  $\Phi > 1$  kelebihan bahan bakar sehingga campuran kaya akan bahan bakar
- Jika  $\Phi =$  merupakan campuran stokiometrik
- Jika  $\Phi <$  merupakan campuran yang miskin akan bahan bakar

## 2.8 Faktor yang Mempengaruhi Tebal dan Kecepatan Api

### 2.8.1 Rasio Ekuivalen

Kecepatan api maksimum terjadi pada campuran yang sedikit kaya, kecepatannya akan menurun saat campuran lebih kaya maupun lebih miskin. Sedangkan tebal api menghasilkan kebalikan dari kecepatan api dimana ketebalan api akan minimum saat campuran stokiometri.



Gambar 2.4 Hubungan kecepatan api laminar dan tebal api terhadap rasio ekuivalen untuk  $\text{CH}_4$  dengan tekanan udara 1 atm dan suhu 300 K

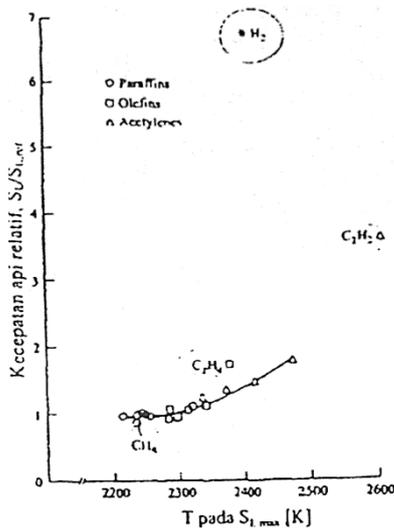
Sumber: Wardana (2008:165)

### 2.8.2 Jenis Bahan Bakar

Kecepatan api hidrokarbon  $\text{C}_3\text{-C}_6$  dapat dikatakan memiliki garis temperatur sama karena hanya berbeda sangat kecil. Sedangkan  $\text{C}_2\text{H}_4$  dan  $\text{C}_2\text{H}_2$  memiliki kecepatan api lebih tinggi dibandingkan  $\text{C}_3\text{-C}_6$ .  $\text{CH}_4$  memiliki kecepatan sedikit lebih rendah dari hidrokarbon  $\text{C}_3\text{-C}_6$ .

$H_2$  memiliki kecepatan yang sangat tinggi dibanding  $C_3H_6$  disebabkan oleh:

1. Difusivitas thermal  $H_2$  jauh lebih besar dibandingkan bahan bakar hidrokarbon
2. Difusivitas massa  $H_2$  juga jauh lebih besar dibanding  $C_3H_6$
3. Tahapan reaksi  $CO \rightarrow CO_2$  yang relatif sangat lambat yang terdapat pada setiap pembakaran hidrokarbon tidak terdapat pada pembakaran  $H_2$ .



Gambar 2.5 Kecepatan api pada berbagai jenis bahan bakar  
Sumber: Wardana (2008:165)

## 2.9 Stabilitas Nyala Api

Stabilitas atau kestabilan nyala api dapat dinyatakan dari berbagai macam parameter, seperti batas mampu nyala, gradien kecepatan nyala, kerugian kalor dan stabilitasnya.

Ada beberapa kesetidakstabilan dalam *bunsen* dan slot *bunsen* adalah:

1. Ketidakstabilan akustik adalah interaksi gelombang suara dalam proses pembakaran.
2. Ketidakstabilan Taylor adalah percepatan pada fluida dengan densitas yang berubah.
3. Ketidakstabilan sistem adalah interaksi aliran dalam komposisi reaksi sistem yang tidak sama.
4. Ketidakstabilan difusivitas termal adalah gubungan reaksi difusi dan energi kalor dengan nyala primer.
5. Ketidakstabilan Landau, ketidakstabilan bentuk proses pembakaran yang tidak meliputi *bouyancy* maupun akustik tetapi meliputi penurunan kerapatan yang di hasilkan oleh proses pembakaran aliran yang tidak termampatkan.

Jika kecepatan api lebih besar dibanding dengan kecepatan gas reaktan maka api akan semakin dekat dengan mulut nosel, sedangkan jika keadaan kecepatan api lebih kecil dibanding dengan kecepatan gas maka api akan menjauhi mulut nosel.

Disamping poin-poin diatas, ada hal yang penting dalam perencanaan pembakaran gas adalah mencegah terjadinya *lift-off* dan *flashback*. Ketidakstabilan nyala api mempunyai batas yang berhubungan dengan peristiwa *lift-off*, *blow-off*, *flashback*, dan warna nyala api pada bibir *burner*.

### **2.9.1 Flashback**

*Flashback* adalah ketika kecepatan pembakaran lebih cepat dari campuran udara dan bahan bakar, sehingga nyala api kembali masuk dan merambat kedalam tabung pembakarannya. Peristiwa ini kadang disebut peristiwa *light back* atau *back fire*.

Peristiwa *flashback* bisa mengganggu dan juga berbahaya. Biasanya flashback terjadi akibat aliran bahan bakar yang dikurangi atau langsung ditutup. Ketika kecepatan nyala api melebihi kecepatan aliran, perambatannya menyala menjahui api. Sehingga saat aliran bahan bakar dikurangi atau dihentikan nyala akan merambat ke selang dan menuju tabung. Saat aliran bahan bakar dihentikan, nyala akan membalik atau *flashback*.

### **2.9.2 Lift off**

*Lift off* merupakan peristiwa keadaan nyala api tidak bersetuhan dengan permukaan ujung tabung pembakaran, tetapi api akan stabil di jarak tertentu dari tabung pembakar. Fenomena dari *lift off* berhubungan dengan nyala api laminar dan kecepatan api yang sebanding.

Fenomena nyala api terangkat (*lift off*) tergantung pada nyala api dan sifat alirannya dekat dengan ujung (mulut) tabung pembakaran. Apabila kecepatan aliran rendah, ujung bawah nyala api berada sangat dekat dengan ujung tabung pembakaran dan ini dikatakan menempel.

Dengan meningkatkan kecepatan alirannya hingga tercapai kecepatan kritis, ujung nyala api akan menjauh dari ujung (mulut) pembakaran dan nyala dikatakan terangkat. Dan jika aliran terus dinaikkan maka nyala secara kasar akan padam dan kondisi ini tidak diinginkan.

### **2.9.3 Blow off**

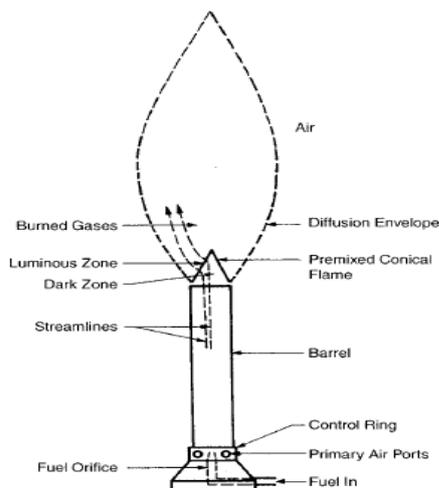
*Blow off* adalah suatu keadaan dimana keadaan nyala api akan padam akibat dari kecepatan aliran yang besar dari laju nyala api atau kecepatan pembakaran. Kondisi ini sangat perlu dihindari.

## 2.10 Bunsen Burner

Pembakaran api *premixed* yang dikenal dengan *bunsen* baru dikenal sekitar tahun 1855. Api difusi sebelumnya sudah digunakan sebelum adanya *bunsen*. Efektifitas Termal pada api difusi lebih rendah jika dibandingkan dengan api premix dengan cara pembarakan *bunsen*. Pengembang dari *bunsen burner* adalah Robert Bunsen (1811-1899) dengan menggunakan sistem kerja pengaturan bahan bakar dan campuran udara secara kontinyu.

Ketika bahan bakar dan campuran udara diberi energi panas yang cukup, maka akan terjadi reaksi pembakaran diikuti dengan nyala api. Nyala api akan tetap stabil selama laju bahan bakar dan aliran udara serta laju perubahan reaksi (*red of reaction*) dipertahankan secara konstan.

Ujung burner ini langsung bersentuhan dengan lidah api sehingga sering terjadi korosi dan terjadi pengitoran pada bagian ini. Dengan adanya kerusakan seperti ini menjadikan kualitas nyala api yang dihasilkan tidak bagus sehingga proses pembakaran menjadi kurang baik.



Gambar 2.6 Bunsen Burner

Sumber: Dougal Drysdale, *An Introductin to Fire Dynamic*, England

## 2.11 Bilangan Reynold

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ( $v\rho$ ) terhadap gaya viskos ( $\mu/L$ ) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar, turbulen atau transisi. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883.

Bilangan Reynold merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain,

untuk memberikan kriteria untuk menentukan *dynamic similitude*. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis.

Rumus bilangan Reynolds umumnya sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{viskositas}}$$

Dimana:

Re = Bilangan reynold

u = Kecepatan fluida (m/s)

d = Diameter pipa (m)

$\mu$  = Viskositas absolut fluida dinamis (kg/m.s)

$\rho$  = Kerapatan (densitas) fluida (kg/m<sup>3</sup>)

Misalnya pada aliran dalam pipa, panjang karakteristik adalah diameter pipa, jika penampang pipa bulat, atau diameter hidraulik, untuk penampang tak bulat.

Dilihat dari kecepatan aliran, dapat diasumsikan/ dikategorikan adalah:

- Aliran laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan Re kurang dari 2000.
- Aliran transisi berada pada pada bilangan Re (2000 - 4000) biasa juga disebut sebagai bilangan Reynolds kritis.
- Aliran turbulen mempunyai bilangan Re lebih dari 4000.

## 2.12 Hipotesis

Dengan menambahkan (uap air) kedalam campuran bahan bakar dan udara (reaktan) akan menyebabkan kecepatan api laminar menurun dikarenakan uap air mampu memperlambat laju pembakaran. Disamping itu temperatur akan terus meningkat hingga batas kadar uap air yang dapat diterima nyala api.