

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Terdapat banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian, diantaranya

Karim (1998), melakukan penelitian tentang konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di dalam campuran gas CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>. Dari penelitian menunjukkan gas CO<sub>2</sub> dapat menurunkan nilai kalor pembakaran yang akan menyebabkan nilai kalor pembakaran yang turun. Gas CO<sub>2</sub> juga mempengaruhi lama waktu pembakaran dan juga pada saat penyalaan. Kandungan gas CO<sub>2</sub> yang menyerap energi pembakaran akan ikut meningkat seiring kenaikan temperatur pembakaran.

Tsuji (1982) melakukan penelitian tentang metode *counterflow burner* yang merupakan salah satu metode penelitian pembakaran. Didapatkan dari penelitiannya jika *counterflow burner* merupakan metode yang tepat untuk meneliti tentang struktur api, yang menggunakan jenis bahan bakar, massa alir bahan bakar, AFR dan karakteristik reaktan bahan bakar dan oksidator dalam proses penelitian

Mika (2014) meneliti tentang kondisi *extinction* pada pembakaran difusi CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> didapatkan jika penambahan konsentrasi CO<sub>2</sub> menyebabkan api akan lebih cepat padam, hal ini karena terjadi penurunan batas mampu nyala dari campuran bahan bakar, meskipun bahan bakar tersebut tergolong campuran kaya ataupun bahan bakar tersebut tergolong campuran miskin.

Hangga (2014) meneliti tentang pengaruh kandungan CO<sub>2</sub> terhadap distribusi temperatur pembakaran premiks CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> pada *counterflow burner*. Dari hasil penelitian menunjukkan pengaruh dari *equivalent ratio* cukup signifikan terhadap temperatur maksimal yang dihasilkan dan kecepatan rambat api yang semakin cepat pada *equivalent ratio* mendekati 1. Penambahan prosentase CO<sub>2</sub> pada bahan bakar mengakibatkan distribusi temperatur yang terjadi semakin kecil atau sempit dan juga rata-rata temperatur api yang dihasilkan semakin rendah atau menurun

## 2.2 Pengertian Biogas

Biogas adalah gas yang didapatkan dari hasil fermentasi atau aktifitas anaerobik dari beberapa bahan organik seperti kotoran manusia dan hewan, limbah rumah tangga, sampah atau setiap limbah organik yang mudah dicerna dalam kondisi anaerobik. Proses penguraian bahan organik secara anaerob in disebut *anaerobic digestion* sedangkan peralatan yang memfasilitasi proses ini disebut digester (Anguilar, 2011).

Sumber bahan yang dipakai dalam proses pembentukan biogas sangat mempengaruhi komposisi gas yang dihasilkan. Salah satu kriteria pemilihan bahan pembuatan biogas adalah banyaknya kandungan gas metana pada hasil proses *anaerobic digesting*. Semakin tinggi kandungan gas metana yang terbentuk dari proses *anaerobic digesting* semakin bagus pula potensi biogas untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Kandungan terbesar dalam biogas adalah metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Lebih lengkap lagi dapat dilihat pada tabel dibawah berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Biogas

No	Komponen	Simbol Kimia	Komposisi
1	Metana	CH <sub>4</sub>	50-75 %
2	Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>	25-45%
3	Uap air	H <sub>2</sub> O	2%(20 <sup>0</sup> C) – 7% (40 <sup>0</sup> C)
4	Oksigen	O <sub>2</sub>	<2%
5	Nitrogen	N <sub>2</sub>	<2%
6	Amonia	NH <sub>3</sub>	<1%
7	Hidrogen	H <sub>2</sub>	<1%
8	Hidrogen sulfide	H <sub>2</sub> S	<1%

Sumber : AS. Teodorita dan R. Dominik (2008)

Tabel 2.2 Nilai Kesetaraan Energi Biogas dengan Sumber Bahan bakar lain

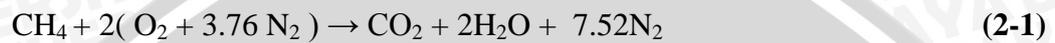
Biogas	1 m <sup>3</sup> biogas setara dengan
1 m <sup>3</sup> Biogas	Elpiji 0,46 kg
	Minyak tanah 0,62 liter
	Minyak solar 0,52 liter
	Kayu bakar 3,5 kg

Sumber : Wahyuni (2008)

### 2.2.1 Komposisi Gas dalam Biogas dan Karakteristiknya

#### a. Metana (CH<sub>4</sub>)

Metana adalah senyawa hidrokarbon paling sederhana dengan satu atom karbon terpasang oleh ikatan tunggal empat atom hidrogen. Metana murni tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun. Metana mudah terbakar sehingga dalam penggunaan komersil, diberi bau-bauan agar mudah terdeteksi jika terjadi kebocoran. Reaksi pembakaran metana dengan oksidator udara dapat dilihat dalam persamaan berikut ini:



Adapun sifat dari metana adalah sebagai berikut:

Densitas pada 25°C	:	0.6604 kg/m <sup>3</sup>
Cv	:	2.2537 kJ/kg.K
Cp	:	1.7354 kJ/kg.K

#### b. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

Gas karbondioksida terbentuk dari dua kombinasi dua elemen: karbon dan oksigen. Pada suhu kamar gas karbondioksida akan berbentuk gas, selain itu gas karbondioksida tidak berwarna dan tidak berbau, tetapi ketika dihirup pada konsentrasi yang lebih tinggi dari konsentrasi karbondioksida di atmosfer akan terasa asam di mulut. Salah satu manfaat gas karbondioksida adalah untuk memadamkan api karena gas karbondioksida merupakan bahan untuk memadamkan api. Berikut sifat dari gas karbondioksida:

Densitas pada 25°C	:	1.6658 kg/m <sup>3</sup>
Cv	:	0.846 kJ/kg.K
Cp	:	0.657 kJ/kg.K

#### c. Nitrogen (N<sub>2</sub>)

Gas nitrogen merupakan unsur gas yang menyusun 78,09% volume udara. Gas nitrogen tidak berwarna, tidak beracun, tidak berbau, tidak berasa tidak mudah terbakar dan tidak memperbesar pembakaran. Gas nitrogen termasuk dalam gas yang inert (tidak reaktif) sehingga sering dimanfaatkan pada proses pemanasan logam agar

selama proses tidak ada oksigen yang masuk yang dapat mengakibatkan korosif terhadap logam. Berikut merupakan sifat dari Nitrogen:

Densitas pada 25°C	:	1.1513 kg/m <sup>3</sup>
Cv	:	0.74 kJ/kg.K
Cp	:	1.040 kJ/kg.K

#### d. Oksigen (O<sub>2</sub>)

Gas oksigen merupakan unsur gas, menyusun 21% volume atmosfer. Gas oksigen tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Gas oksigen sangat berperan dalam kehidupan manusia, karena sebagai penunjang pernafasan. Gas oksigen membantu pembakaran, dalam konsentrasi tinggi akan mengaktifkan pembakaran, menyebabkan suhu naik atau bahkan meledak. Beberapa manfaat lain gas oksigen adalah dalam proses pembuatan baja dan pada saat dicampur dengan bahan bakar, digunakan untuk pengelasan, pemotongan, pemanasan dan penyepuhan. Berikut sifat dari oksigen:

Densitas pada 25°C	:	1.31725 kg/m <sup>3</sup>
Cv	:	0.661 kJ/kg.K
Cp	:	0.918 kJ/kg.K

### 2.3 Pembakaran Premiks

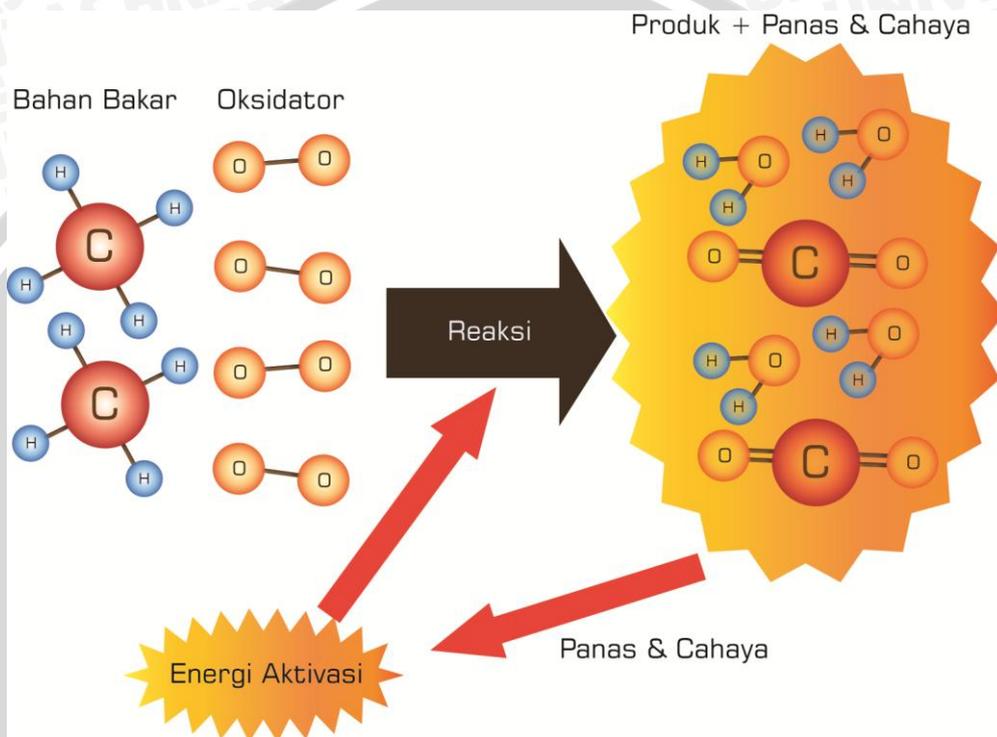
Pembakaran adalah suatu proses reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dengan oksidator yang diikuti timbulnya cahaya dan menghasilkan panas, yang hasil pembakarannya disebut produk. Menurut Wardana (2008) pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen lalu membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar.

Syarat terjadinya pembakaran ada 3, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Pengoksidasi (oksigen atau udara)
3. Energi aktivasi

Menurut Syamsir (1988) untuk menghasilkan reaksi pembakaran yang baik diperlukan syarat-syarat tertentu, antara lain

1. Pencampuran reaktan secara murni
2. Suplai udara yang cukup
3. Temperatur yang cukup untuk memulai pembakaran
4. Waktu yang cukup
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api



Gambar 2.1 Proses terjadinya pembakaran  
Sumber : Wardana (2008:1)

Pembakaran diklasifikasikan menjadi 2 yaitu pembakaran difusi dan pembakaran premiks. Pada pembakaran difusi tidak ada proses pencampuran oksidator dan bahan bakar sebelum terjadi pembakaran sedangkan untuk pembakaran premiks terjadi proses pencampuran oksidator dan bahan bakar sebelum pembakaran, sehingga oksidator dan bahan bakar akan tercampur sebelum terjadi pembakaran. .

### 2.3.1 Pembakaran Stoikiometri

Pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana semua atom dari pengoksidasian bereaksi secara kimia untuk menjadi berbagai produk. Dalam proses pembakaran selalu membutuhkan oksigen yang digunakan sebagai oksidator. Oksigen dalam proses pembakaran biasanya didapat dari udara. Udara terdiri dari Oksigen,

Nitrogen, Argon, Karbon dioksida, Uap air dan sejumlah gas dalam bagian yang cukup kecil.

Dalam perhitungan proses pembakaran Oksigen diasumsikan sebesar 21% dan 79% untuk Nitrogen. Sehingga pada pembakaran dengan menggunakan udara, penggunaan 1 mol  $O_2$  berarti  $\left(\frac{79,0}{21,0}\right) = 3,76$  mol  $N_2$ . Agar terjadi pembakaran sempurna, semua atom C harus dapat terbakar menjadi  $CO_2$  dan semua atom  $H_2$  dapat terbakar menjadi  $H_2O$ . Dibawah ini merupakan reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar ( $C_mH_n$ ) secara matematis:



Persamaan diatas menggunakan jumlah udara yang sesuai atau biasa disebut udara stoikiometri. Akan tetapi pembakaran sempurna sangat sulit terjadi, karena pembakaran berlangsung secara kompleks dan banyak faktor yang mempengaruhi, tidak hanya tergantung pada model ruang bakarnya tetapi juga harus memperhatikan kondisi bahan bakar, kondisi udara dan temperatur pembakarannya.

### 2.3.2 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air-fuel Ratio/AFR*)

Dalam suatu proses pembakaran salah satu hal yang penting untuk diperhatikan adalah perhitungan campuran antara udara dan bahan bakar. Rasio udara-bahan bakar atau AFR, merupakan metode yang paling sering digunakan untuk menentukan jumlah udara dan bahan bakar dalam suatu campuran. Rasio udara-bahan bakar atau AFR merupakan campuran dan perbandingan massa udara dengan bahan bakar sehingga terjadi proses pembakaran. Rasio udara-bahan bakar atau AFR dapat dinyatakan dalam persamaan berikut, dimana dapat dalam bentuk massa molekul udara per massa molekul bahan bakar atau jumlah mol udara per jumlah mol bahan bakar.

$$(AFR)_{\text{stoik}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}}\right)_{\text{stoik}} \quad (2-3)$$

$$(AFR)_{\text{stoik}} = \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}}\right)_{\text{stoik}} \quad (2-4)$$

### 2.3.3 Udara berlebih dan Udara Teoritis

Suatu proses pembakaran hampir tidak pernah terjadi pembakaran secara sempurna karena pembakaran berlangsung secara kompleks dan terdapat banyak faktor yang mempengaruhi. Salah satu cara yang digunakan untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna yaitu memasukkan udara tambahan ke dalam ruang bakarnya.

Persen udara berlebih dilambangkan dengan  $\lambda$ . Dimana secara matematis persen udara berlebih dapat dirumuskan sebagai berikut :

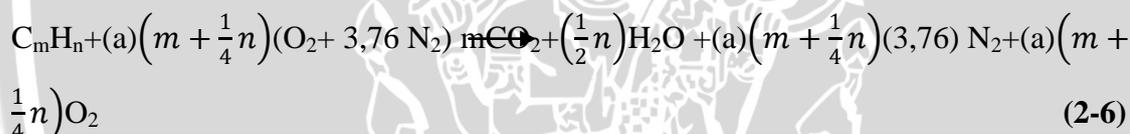
$$\lambda = \frac{AFR_{aktual} - AFR_{stoik}}{AFR_{stoik}} \times 100 \% \quad (2-5)$$

$AFR_{aktual}$  atau  $AFR_{stoik}$  bisa dalam perbandingan mol atau berat.

Udara berlebih (*excess Air*) didefinisikan sebagai udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah lebih besar dari jumlah yang dibutuhkan bahan bakar. Dari sinilah juga muncul istilah lain yaitu udara teoritis. Hubungan antara udara teoritis dengan udara lebih adalah sebagai berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Udara teoritis} &= 100 \% + \text{persen udara lebih} \\ &= (100 + \lambda) \% \\ \lambda &= \text{udara teoritis} - 100\% \end{aligned}$$

Untuk mengetahui lebih lanjut dimana letak dari persen udara lebih, dapat dilihat dari persamaan reaksi dibawah ini:



Keterangan :

$a$  = Jumlah udara teoritis

$a = 1$  apabila dipergunakan udara stoikiometri

$a > 1$  apabila dipergunakan udara berlebih

$a < 1$  apabila kekurangan udara

### 2.3.4 Rasio Ekuivalen (*Equivalent Ratio, $\Phi$* )

Rasio ekuivalen merupakan perbandingan antara rasio udara-bahan bakar ( $AFR$ ) stoikiometrik dengan rasio bahan bakar-udara ( $AFR$ ) aktual, persamaanya adalah sebagai berikut:

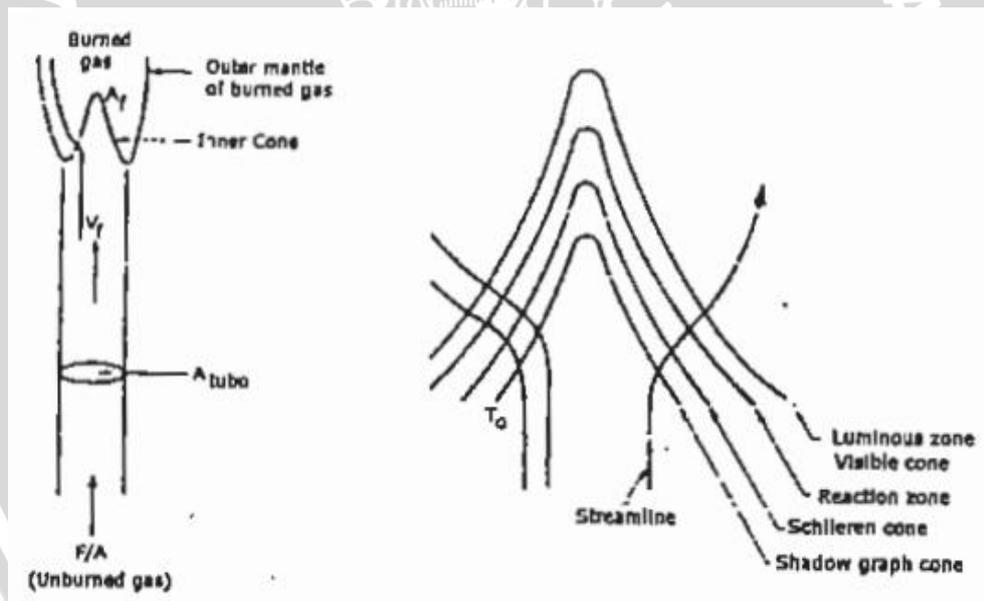
$$\Phi = \frac{AFR_{stoik}}{AFR_{aktual}} \quad (2-7)$$

Rasio ekuivalen sering digunakan untuk menentukan campuran udara dengan bahan bakar, apakah campuran udara dengan bahan bakar tersebut merupakan campuran kaya, miskin, atau stoikiometri.

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

#### 2.4. Nyala Api Premiks

Nyala api premiks terjadi jika bahan bakar dan oksidator (udara) sudah tercampur sebelum masuk ke dalam daerah reaksi atau ruang bakar. Nyala api premiks terdiri dari beberapa bagian yaitu daerah terang (*luminescent zone*). Di daerah ini merupakan tempat terjadinya reaksi dan tempat terjadinya pelepasan panas dari daerah reaksi. Daerah schlieren (*schlieren zone*) dan daerah gelap (*dark zone*), merupakan daerah transisi molekul gas menjadi gas yang akan bereaksi dengan daerah pemanasan awal (*preheating zone*).

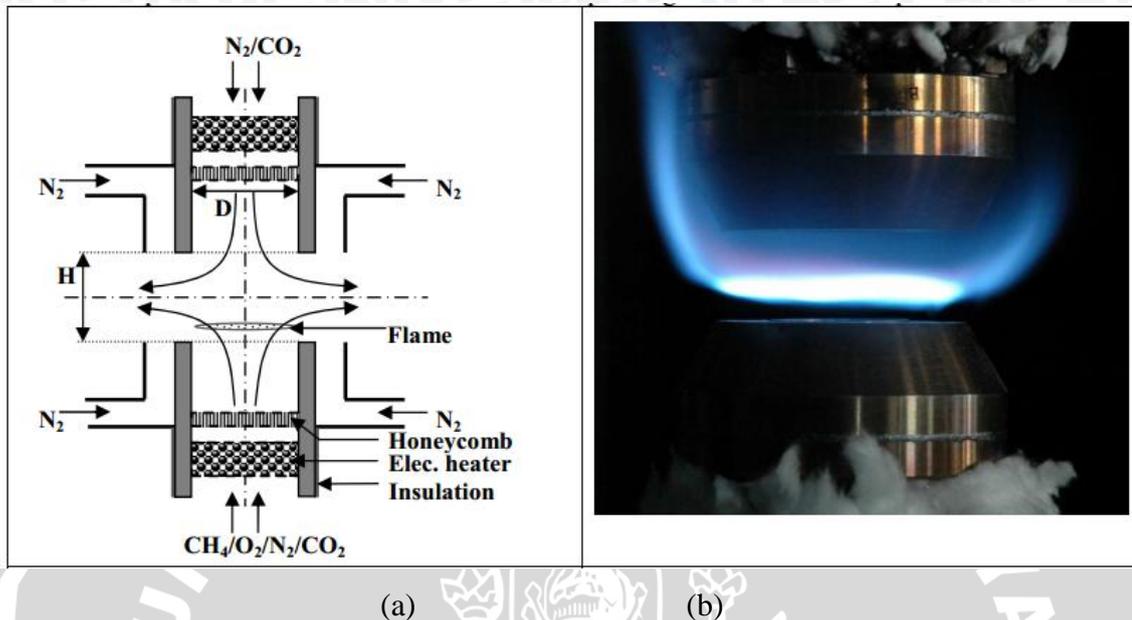


Gambar 2.2 Struktur nyala api premiks  
Sumber: Kuo and Kenneth (1986)

#### 2.5 Counterflow Premixed Burner

Salah satu instalasi yang sangat cocok untuk mempelajari karakteristik pembakaran adalah *counterflow burner*, karena pada instalasi ini menghasilkan nyala api yang sederhana di mana antara daerah *flame front* dan daerah bayangan api terlihat dengan sangat jelas (Powling J. 1949). Dalam instalasi *counterflow burner* terdapat dua

aliran dalam pipa yang saling berlawanan dan mempunyai debit aliran yang sama sehingga akan terbentuk nyala api yang hampir datar atau rata.



Gambar 2.3 (a) Skematik aliran pada *Counterflow Burner* (b) *Counterflow premix flame*  
Sumber : Most J-M et al (2012)

Pada penelitian ini bahan bakar dan oksidator dialirkan secara bersamaan pada saluran pipa instalasi *counterflow burner*. Bahan bakar yang terdiri dari  $CH_4$  dan  $CO_2$  dialirkan melalui pipa bagian bawah sedangkan untuk oksidator yang terdiri dari  $O_2$  dan  $N_2$  dialirkan melalui pipa bagian atas sehingga akan terbentuk api pada bagian tengah.

## 2.6 Stabilitas Nyala Api

Kestabilan nyala api dipengaruhi oleh beberapa macam parameter antara lain batas mampu nyala, gradient kecepatan nyala, kerugian kalor, stabilitas nyala. Selain itu untuk menjaga penjalaran api dan kestabilan api juga perlu diperhatikan kesetimbangan antara laju aliran massa dinamik gas yang melibatkan perhitungan kekekalan massa, kekekalan momentum dan kekekalan energi. Hal yang sangat penting dalam perencanaan pembakaran gas adalah mencegah terjadinya *flashback* dan *liftoff*. Batas kestabilan api sangat berhubungan dengan terjadinya fenomena *flashback* dan *liftoff*.

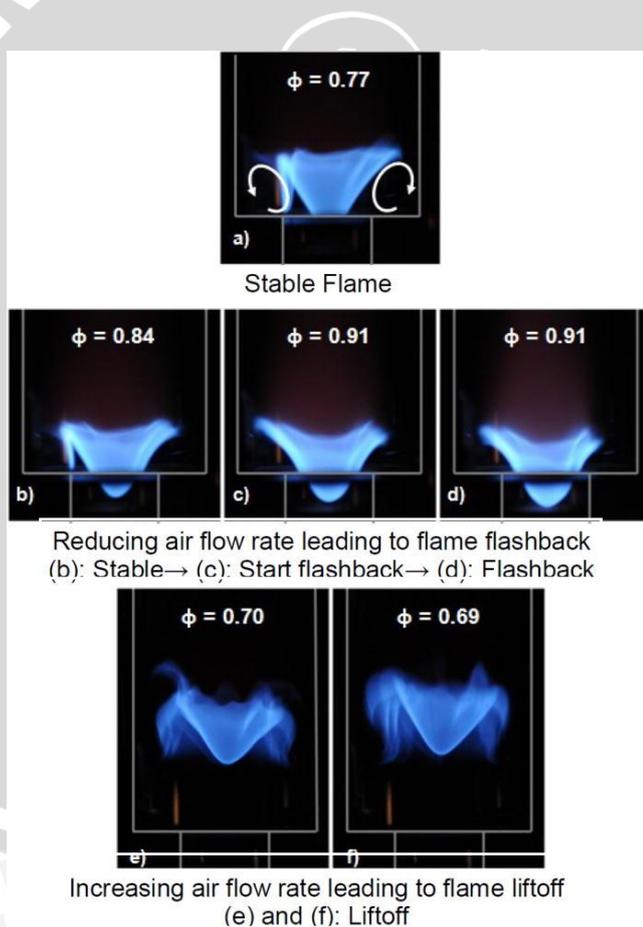
### 2.6.1 Fenomena *Flashback* dan *Liftoff*

Fenomena *flashback* terjadi ketika kecepatan pembakaran lebih cepat dari pada kecepatan campuran udara-bahan bakar sehingga nyala api akan masuk balik dan

merambat kembali ke saluran pembakaran. Fenomena *Flashback* berbahaya dari segi keamanan.

Secara umum *flashback* merupakan kejadian sesaat dimana apabila terjadi, aliran bahan bakar dikurangi dan ditutup. Toleransi minimum terjadinya *flashback* adalah ketika campuran reaktan dalam kondisi stoikiometri yang agak kaya, di mana terjadi kecepatan api laminar maksimum. Kestabilan *flashback* pada  $\text{CH}_4$  lebih tinggi dari pada gas lainnya diakibatkan oleh kecepatan rambat dari  $\text{CH}_4$  sendiri yang lebih kecil.

Sedangkan fenomena *liftoff* adalah keadaan di mana nyala api yang terjadi tidak menyentuh mulut nosel, akan tetapi stabil pada jarak tertentu dari mulut nosel. Keadaan ini sangat bergantung pada kondisi api setempat dan sifat aliran di dekat mulut nosel. Peningkatan kecepatan reaktan yang lebih lanjut menyebabkan meningginya bagian hulu api ke posisi hilir yang menjauh dari mulut nosel dan kemudian padam (*blowoff*).



Gambar 2.4 Proses terjadinya *flashback*  
Sumber: Philippe, Versailles (2011)

## 2.7 Karakteristik Nyala Api

### 2.7.1 Batas Mampu Nyala (*Flammability Limits*)

Nyala api hanya dapat terjadi ketika terdapat campuran antara bahan bakar dengan oksidator dengan batas kisaran tertentu (*flammability range*). Kisaran kemampunyaalaan api dibatasi oleh kisaran batas atas (*upper flammability limit*) dan kisaran batas bawah (*lower flammability limit*).

Kisaran batas bawah mampu nyala merupakan konsentrasi bahan bakar terendah yang akan mendukung terjadinya api untuk menyebarkan diri ketika dicampur dengan oksidator. Jika konsentrasi suatu bahan bakar berada pada level di bawah kisaran batas bawah mampu nyala, maka kandungan bahan bakar tersebut tidak akan cukup untuk mendukung proses pembakaran. Sedangkan kisaran batas atas mampu nyala merupakan konsentrasi tertinggi bahan bakar yang akan mendukung api untuk menyebarkan diri ketika dicampur dengan oksidator. Apabila konsentrasi suatu bahan bakar berada pada level di atas kisaran batas atas mampu nyala, maka kandungan bahan bakar tersebut juga tidak akan mendukung proses pembakaran. Hal ini dikarenakan oleh oksigen yang tidak cukup untuk melakukan proses pembakaran.

Tabel 2.3 Kisaran kemampunyaalaan dari bahan bakar di udara

Jenis Bahan Bakar	Batas Bawah (% volumetris)	Batas Atas (% volumetris)	Stoikiometri (% volumetris)
Metana	5	15	9.47
Heptana	1	6.7	1.87
Hidrogen	4	75	29.2
Karbon monoksida	12.5	74.2	29.5
Acetaldehyde	4.0	60	7.7
Asetilen	2.5	100	7.7
Carbon disulfide	1.3	50	7.7
Ethylene oxide	3.6	100	7.7

Sumber: Irvin Glassman (2008: 193)

### 2.7.2 Warna Api

Dalam pembakaran perbedaan warna api merupakan suatu fenomena yang sering terjadi, salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya perbedaan warna api adalah campuran udara dan bahan bakar. Campuran udara dan bahan bakar sangat menentukan bagaimana nyala api terbentuk. Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan *equivalent ratio* udara-bahan bakar ( $\Phi$ ), dimana jika  $\Phi < 1$  maka akan terbentuk api campuran miskin, ketika  $\phi = 1$  terbentuk api stokiometri dan saat  $\Phi > 1$  akan terbentuk api campuran kaya. Pada pembakaran api campuran miskin, bahan bakar akan habis terbakar di mana kelebihan oksidator membuat semua kandungan bahan bakar bereaksi dan terbakar. Sedangkan pada api campuran kaya, bahan bakar yang berlebih akan terbuang karena tidak semua bahan bakar dapat bereaksi dan terbakar dikarenakan oksidator yang kurang memenuhi. Pada campuran kaya, api terlihat berwarna biru atau lebih terang, ketika campuran miskin, api terlihat berwarna merah atau lebih redup. Menurut Putranto (2014) tingkat kecerahan api dipengaruhi oleh konsentrasi  $\text{CO}_2$ , semakin besar  $\text{CO}_2$  warna api yang dihasilkan akan semakin gelap dari yang sebelumnya.

### 2.7.3 Lebar Api

Lebar api dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu laju aliran dari reaktan dan konsentrasi bahan bakar. Semakin besar laju aliran akan mengakibatkan lebar api akan semakin besar. Sedangkan pada konsentrasi bahan bakar juga akan membuat api semakin lebar, hal ini karena semakin besar konsentrasi bahan bakar akan semakin banyak reaksi pembakaran yang terjadi, semakin besar reaksi pembakaran akan mengakibatkan daerah pembakaran akan semakin banyak dan lebar, daerah pembakaran yang semakin lebar ini akan mengakibatkan api juga akan semakin lebar. Menurut Mika (2014) ketika konsentrasi  $\text{CO}_2$  ditambah api biru akan semakin terlihat lebar.

## 2.8 *Inhibitor*

*Inhibitor* merupakan zat penghambat atau zat yang bersifat menurunkan laju reaksi kimia, dalam hal ini reaksi kimia pembakaran. Pada saat proses reaksi pembakaran molekul-molekul *inhibitor* akan terurai dan bekerja dengan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran akan terhambat. Makin tinggi tingkat penguraian molekul *inhibitor* dan konsentrasi *inhibitor* akan makin memperlambat laju reaksi pembakaran (Karim, G.A. 1998). Menurut Mika (2014)

Penambahan konsentrasi CO<sub>2</sub> mempengaruhi karakteristik api, semakin meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap.

Dampak penambahan CO<sub>2</sub> yang diamati oleh Chaineux J. (2011) pada pembakaran CH<sub>4</sub> dan oksigen dalam penelitiannya tentang karakteristik ledakan pada tangki bulat, mendapati penambahan konsentrasi dari CO<sub>2</sub> berpengaruh secara signifikan dalam mereduksi dampak dari ledakan yang terjadi.

## 2.9 Kondisi *Extinction* (api padam)

Kondisi *extinction* (api padam) merupakan kondisi minimal oksigen yang dibutuhkan untuk menjaga nyala api pada proses pembakaran. Kondisi ini terjadi jika jumlah asupan oksigen semakin berkurang, hal ini disebabkan karena pada proses pembakaran membutuhkan oksigen sebagai oksidator, hal ini yang menyebabkan api dapat menyala, jika hal tersebut terus dikurangi maka akan terjadi kondisi *extinction* (api padam). Menurut Mika (2014) yang meneliti tentang kondisi *extinction* pada pembakaran difusi CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> didapatkan jika penambahan konsentrasi CO<sub>2</sub> menyebabkan api akan lebih cepat padam, hal ini karena terjadi penurunan batas mampu nyala dari campuran bahan bakar, meskipun bahan bakar tersebut tergolong campuran kaya ataupun bahan bakar tersebut tergolong campuran miskin.

## 2.10 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah semakin besar konsentrasi CO<sub>2</sub> pada bahan bakar maka karakteristik yang terjadi pada api adalah api akan berwarna semakin gelap. Hal ini karena dengan penambahan konsentrasi CO<sub>2</sub> maka akan terbentuk api yang miskin yang menyebabkan warna api akan semakin gelap. Pada karakteristik lebar api, lebar api akan semakin besar dipengaruhi oleh konsentrasi bahan bakar di daerah pembakaran, semakin besar konsentrasi bahan bakar maka akan terjadi reaksi pembakaran yang semakin besar sehingga daerah reaksi pembakaran akan semakin lebar hal ini mengakibatkan api akan semakin lebar.

Sedangkan pengaruh konsentrasi CO<sub>2</sub> terhadap distribusi temperatur ketika konsentrasi CO<sub>2</sub> semakin besar maka temperatur rata-rata dari distribusi temperatur akan semakin turun. Hal ini karena CO<sub>2</sub> yang bersifat inhibitor sehingga akan menghambat dan mengganggu reaksi kimia pembakaran yang mengakibatkan terganggunya rantai pembakaran sehingga nilai kalor dari pembakaran juga akan menurun dan mengakibatkan temperatur akan turun..

Untuk kondisi *extinction* (api padam) terjadi jika jumlah asupan oksigen semakin berkurang, hal ini disebabkan karena pada proses pembakaran membutuhkan oksigen sebagai oksidator, hal ini yang menyebabkan api dapat menyala, jika hal tersebut terus dikurangi maka akan terjadi kondisi *extinction* (api padam).

