

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Buffam dan Cox (2008) melakukan penelitian yang berkaitan dengan kecepatan pembakaran, dimana campuran metana – udara dibakar pada *Bunsen burner* dengan beberapa nilai *equivalence ratio* yang berbeda. Didapatkan data berupa gambar nyala api yang kemudian dihitung kecepatan pembakarannya dengan mengalikan kecepatan reaktan dengan sinus sudut api. Hasilnya bahwa kecepatan pembakaran *premixed* metana – udara memiliki nilai tertinggi pada keadaan *equivalence ratio* = 1, dimana campuran bahan bakar dengan udara pada kondisi stoikiometri.

Dharma (2013) meneliti tentang pengaruh variasi *equivalence ratio* terhadap karakteristik pembakaran *premixed* minyak jarak pada *perforated burner*. Didapatkan bahwa variasi *equivalence ratio* mempengaruhi pola api pembakaran *premixed* minyak jarak dan udara. Dengan massa alir bahan bakar yang konstan, penambahan massa alir udara mempengaruhi perubahan *equivalence ratio*. Penambahan massa alir udara yang semakin besar akan menyebabkan kecepatan reaktan lebih besar daripada kecepatan pembakaran, sehingga api akan mengalami *lift off* sampai pada akhirnya akan padam. Di samping itu, pola warna api memberikan informasi pembakaran mendekati sempurna atau tidak. Warna biru mengindikasikan bahwa pembakarannya mendekati sempurna, sedangkan warna kuning mengindikasikan banyak terdapat bahan bakar yang belum terbakar secara difusi dengan udara.

Prawira (2013) meneliti tentang pengaruh kecepatan reaktan terhadap *air fuel ratio* dan karakteristik api pada pembakaran *premixed* minyak kelapa pada *perforated burner*. Didapatkan bahwa variasi kecepatan reaktan mempengaruhi pola api pembakaran *premixed* minyak kelapa dan udara. Dengan massa alir bahan bakar yang tetap, penambahan massa alir udara mempengaruhi kecepatan reaktan yang juga berpengaruh pada stabilitas api. Penambahan massa alir udara yang lebih besar menyebabkan kecepatan reaktan lebih besar dari kecepatan pembakaran yang menimbulkan *lift off* hingga akhirnya api akan padam (*blow off*). Selain itu juga, kecepatan reaktan berpengaruh pada temperatur api. Dimana api pada tepi *burner* memiliki temperatur yang lebih tinggi dari api pada bagian tengah *burner* yang dikarenakan zona reaksi berada pada tepi *nozzle* menuju ke tengah *nozzle*. Kondisi ini terus berlangsung seiring peningkatan kecepatan reaktan.

## 2.2. Bahan Bakar

### 2.2.1. *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

Komponen dari LPG biasanya terdiri dari gas propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ). Gas tersebut diperoleh dari destilasi minyak mentah. Dalam kondisi atmosferik, LPG berbentuk gas, akan tetapi dengan meningkatkan tekanan dan menurunkan temperatur, gas tersebut akan berubah fasa menjadi fasa cair. Gas dalam bentuk cair memiliki volume yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan volume gas dalam bentuk gas. Perbandingan volume gas dalam bentuk gas dibandingkan dalam bentuk cair adalah 250 : 1. Oleh karena itu, bahan bakar gas pada umumnya dipasarkan dalam bentuk cair di dalam tabung – tabung logam bertekanan, sehingga lebih dikenal dengan sebutan *liquefied petroleum gas (LPG)*.

Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandung di dalam tabung logam, tabung LPG tidak diisi secara penuh, melainkan hanya terisi sekitar 80 – 85% dari kapasitasnya. Tekanan dimana LPG berbentuk cair dinamakan sebagai tekanan uap. Tekanan uap dari LPG bergantung pada komposisi dan temperatur. Butana murni membutuhkan tekanan sekitar 2.2 bar (220 kPa) pada temperatur 20°C. Propana murni membutuhkan tekanan sekitar 2 bar (200 kPa) pada suhu sekitar 55°C.

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 50% volume propana dan 50% 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% butane dan ditambahkan *mercaptant* yang berbau menyengat.

Secara umum LPG bersifat :

1. Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
2. Tidak berwarna baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.

3. Tidak berbau sehingga untuk keselamatan, elpiji komersial perlu ditambah zat odor, yaitu *mercaptant* yang berbau menyengat seperti petai.
4. Tidak mengandung racun.

Sebagai sumber energi (bahan bakar), digunakan oleh rumah tangga untuk memasak, penerangan, *water heater*, *gas stoves*, *rice cookers*, setrika dan sebagainya. Secara umum, elpiji digunakan oleh restoran, rumah makan, rumah sakit, laboratorium. Industri yang menggunakan elpiji sebagai bahan bakar adalah pabrik – pabrik, penyulingan, perusahaan keramik, dok perkapalan, bengkel dan sebagainya. Selain digunakan sebagai bahan bakar, gas elpiji digunakan pula sebagai bahan penekan. Digunakan untuk hasil produksi yang berjenis *spray*, seperti deodorant, minyak wangi *spray*, cat *pylox* dan kosmetik sejenisnya.

Secara garis besar, fungsi LPG adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan untuk rumah tangga meliputi kompor, pemanas air dan lampu penerangan.
2. Sebagai bahan bakar industri, meliputi industri makanan, kertas, tekstil, percetakan, cat keramik, gelas, industri logam dan sebagainya.
3. Berguna pula sebagai bahan penekan atau zat penyemprotan seperti pada obat nyamuk *spray*, cat *spray (pylox)* dan deodorant.

Untuk mengetahui kebocoran pada tabung gas, bahan bakar ini diberikan aroma khusus (gas *mercaptane*) yang berbau seperti petai. Bau ini amat menusuk hidung, sehingga bila tabung bocor dapat segera terdeteksi dan dapat ditanggulangi secepatnya. Penggunaan yang tepat bahan bakar ini dapat menghemat waktu karena memudahkan saat memasak. Kompor elpiji berpemantik api otomatis sehingga tidak perlu menyediakan korek api setiap hari. Karakteristik LPG dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Karakteristik LPG

Parameter	Satuan	Nilai	Sumber
Density at STP	(kg/m <sup>3</sup> )	2.125	www.engineeringtoolbox.com
Ratio of HHV to LHV energy content		1.077±0.008	Iain Staffell, University of Birmingham, UK
Higher Heating Value (HHV)	(MJ/kg)	49.84±0.80	Iain Staffell, University of Birmingham, UK
Lower Heating Value (LHV)	(MJ/kg)	46.28±0.74	Iain Staffell, University of Birmingham, UK
Carbon Intensity	(g CO <sub>2</sub> -eq/MJ LHV)	63.9±2.1	Iain Staffell, University of Birmingham, UK

### 2.2.2. Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linneaus)

Jarak pagar termasuk divisi *Spermatophta*, sub-divisi *Angiospermae*, kelas *Dicotyledonae*, ordo *Euphorbiales*, famili *Euphorbiaceae*, genus *Jatropha* dan spesies *Jatropha curcas* L. Habitus jarak pagar berbentuk semak besar dengan tinggi dapat mencapai lebih dari 5 meter dengan sistem percabangan tidak teratur. Batangnya berkayu, berbentuk silindris dan bergetah. Jarak pagar memiliki daun tunggal, berwarna hijau muda sampai hijau tua, permukaan bawah lebih pucat daripada bagian atasnya. Bentuk daun agak menjari dengan jumlah lekukan berkisar 5-7 dengan panjang 6-15 cm yang tersusun secara berselang – seling. Daunnya dilengkapi tangkai daun dengan panjang antara 4-15 cm. Tanaman jarak pagar dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tanaman jarak pagar  
Sumber : *Anonymous* 1, 2007

Bunga tanaman jarak berwarna kuning kehijauan, berupa bunga majemuk berbentuk malai, berumah satu. Bunga jantan dan bunga betina tersusun dalam rangkaian berbentuk cawan, muncul di ujung batang atau ketiak daun. Buah berupa buah kotak berbentuk bulat telur, diameter 2-4 cm, berwarna hijau ketika masih muda dan kuning jika masak. Buah jarak terbagi 3 ruang yang masing – masing diisi 3 biji. Biji berbentuk bulat lonjong, warna coklat kehitaman. Biji inilah yang banyak mengandung minyak dengan rendemen sekitar 30 – 40 % ([www.ristek.go.id](http://www.ristek.go.id), 2005). Buah dan biji jarak pagar dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Buah dan biji jarak pagar  
Sumber : *Anonymous* 2, 2013

Di Indonesia minyak jarak pagar sering digunakan untuk lampu, sedangkan daun, batang atau getahnya digunakan sebagai obat tradisional. Bijinya mengandung minyak sekitar 25 – 45 %. Sehingga pada saat ini, tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas Linneaus*) adalah merupakan salah satu tanaman sumber alternatif bahan bakar. Sebelum dikembangkan sebagai tanaman perkebunan sumber bahan bakar alternatif, di Indonesia tanaman ini tumbuh di berbagai daerah sebagai pagar pembatas halaman maupun kebun. Namun, pada akhir-akhir ini jarak pagar banyak mendapat perhatian, karena minyaknya dapat diproses menjadi biodiesel sebagai substitusi bahan bakar fosil yang persediaannya makin menipis (Santoso, 2010).

Semua bagian tanaman ini berguna. Daunnya untuk makanan ulat sutera, antiseptik, dan anti radang, sedangkan getahnya untuk penyembuh luka dan pengobatan lain. Yang paling tinggi manfaatnya adalah buahnya. Daging buahnya dapat digunakan untuk pupuk hijau dan produksi gas, sementara bijinya untuk pakan ternak (dari varietas tak beracun). Sedangkan manfaatnya yang sudah terbukti adalah untuk bahan bakar pengganti minyak diesel (solar) dan minyak tanah. Minyak jarak dapat menggantikan minyak diesel untuk menggerakkan generator pembangkit listrik. Karena pohon jarak dapat ditanam di hampir seluruh wilayah di Indonesia, maka minyak jarak sangat membantu membangkitkan energi listrik daerah terpencil dan minyak ini dapat diproduksi sendiri oleh komunitas yang membutuhkan listrik.

Minyak jarak pagar mempunyai warna kuning terang dan mempunyai bilangan iodin yang tinggi yaitu 101,7 (Wardana, 2008:43), yang menunjukkan tingginya hidrokarbon tak jenuh. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil uji komposisi asam lemak minyak jarak pagar. Komposisi asam lemak minyak jarak pada setiap daerah berbeda – beda, tergantung dari geologi daerah tersebut. Penulis menggunakan minyak jarak pagar

yang berasal dari BALITAS Malang, Jawa Timur. Tabel 2.2 menunjukkan asam lemak serta kadar komposisi kimia yang terkandung dalam tanaman jarak pagar.

Tabel 2.2 Jenis dan komposisi asam lemak pada minyak jarak

Asam Lemak	Rumus Kimia	Mr	Massa molekul (gr)	Mol (n)
Asam miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	228	0.06	0.000263
Asam 7-heksadekenoat	$C_{16}H_{30}O_2$	254	0.04	0.000157
Asam palmitoleat	$C_{16}H_{30}O_2$	254	0.75	0.0029
Asam palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	256	16.04	0.062
Asam heptadekanoat	$C_{17}H_{34}O_2$	258	0.08	0.00031
Asam linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	268	28.71	0.1071
Asam oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	282	43.8	0.155
Asam 7-oktadekenoat	$C_{18}H_{34}O_2$	282	1.7	0.006
Asam stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	284	8.64	0.0304
Asam eikosanoat	$C_{20}H_{40}O_2$	312	0.18	0.00057

Berat molekul total = 100 gram

Sumber : Hasil tes laboratorium UNAIR

Karakteristik minyak jarak pagar tidak jauh beda dengan minyak diesel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Karakteristik minyak jarak pagar dibandingkan dengan minyak diesel

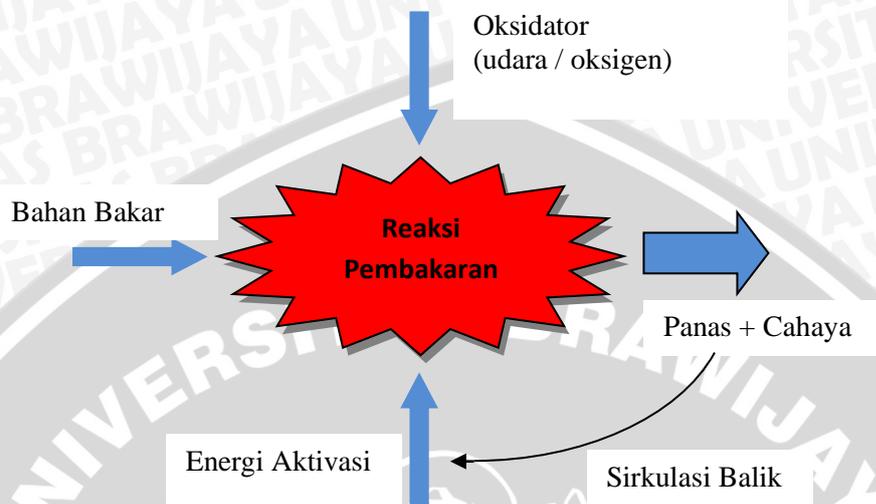
Parameter	Minyak Jarak Pagar	Minyak Diesel
Densitas 15°C ( $g/m^3$ )	0.917	0.84
Viskositas 30°C (cSt)	50.73	>2.7
Bilangan setana	51	>50
Flash point (°C)	240	50
Nilai Kalor (kcal/kg)	9.47	10.17
Kandungan Sulfur	0.13	<1.2
Nilai Iodium	97	-

Sumber : Dr.Ir. Drs. H. Iskandar Muda P.,MT (2009)

### 2.3. Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidator (oksigen atau udara) (Wardana, 2008:3). Syarat terjadinya proses pembakaran ada 3 unsur, yaitu :

1. Bahan bakar.
2. Oksidator.
3. Panas atau energi aktivasi.



Gambar 2.3 Ilustrasi proses pembakaran  
Sumber : Wardana (2008:3)

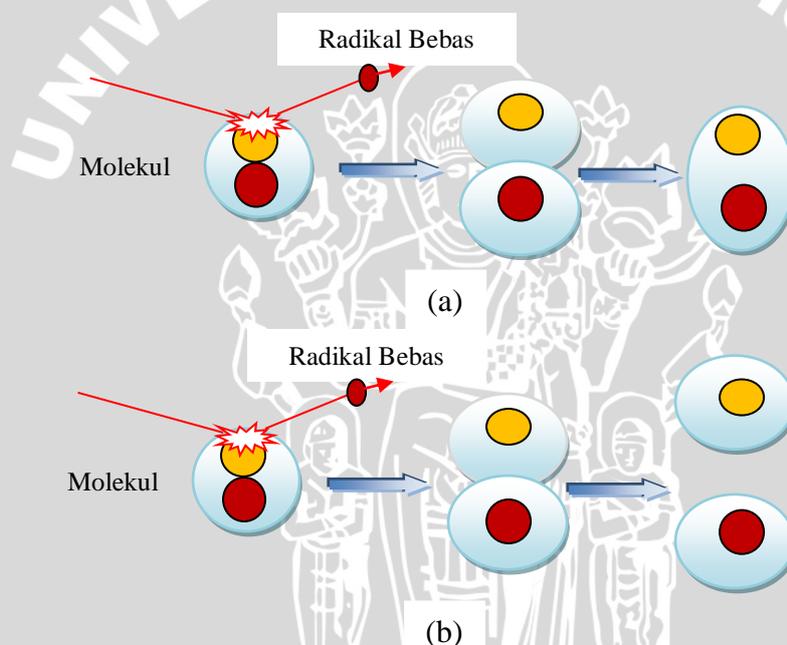
Energi aktivasi adalah panas atau energi yang digunakan untuk mengaktifkan molekul – molekul. Pada proses pembakaran kontinyu, umumnya energi aktivasi didapatkan dari hasil pembakaran yang berupa panas dengan cara radiasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 atau dengan cara konveksi (sirkulasi balik) (Wardana, 2008:3). Proses tersebut berlangsung secara terus – menerus hingga bahan bakar habis sehingga tidak lagi terjadi proses pembakaran.

### 2.3.1. Reaksi Pembakaran

Pada proses pembakaran terjadi reaksi kimia yang kompleks antara bahan bakar dan oksidator. Pembakaran stoikiometri adalah kondisi dimana proses pembakaran terjadi secara sempurna. Pembakaran stoikiometri dapat pula dikatakan pembakaran yang mana semua atom dari bahan bakar dan oksidator bereaksi seluruhnya (sempurna) menghasilkan berbagai produk  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{N}_2$ .

Reaksi pembakaran bisa berlangsung apabila terdapat molekul aktif. Molekul aktif adalah molekul – molekul yang bermuatan atau umumnya disebut dengan ion. Ada banyak cara yang digunakan untuk membentuk ion yaitu dengan pemanasan, menggunakan katalis dan medan magnet. Pada penelitian ini, penulis menggunakan cara pemanasan untuk membentuk molekul bermuatan. Karena ketidakstabilan muatannya,

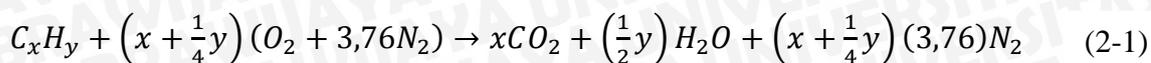
molekul bermuatan tersebut sangat mudah bereaksi sehingga ia akan mudah tertarik oleh molekul – molekul yang muatannya berlawanan. Jadi, reaksi pembakaran dapat berlangsung apabila molekul – molekul bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara memutus ikatan rantai molekul. Molekul atau atom bermuatan akibat pemutusan ikatan molekul – molekul disebut radikal bebas. Jika radikal bebas menghantam (menumbuk) molekul atau atom lainnya akan menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang dan mengkerut secara periodik seperti terlihat pada Gambar 2.4. Dengan tambahan sedikit energi dari luar pada saat jarak ikatan atom dalam keadaan merenggang akan menyebabkan atom-atom dalam molekul terputus dan bermuatan. Jadi, radikal bebas sangat berperan membantu proses reaksi di dalam pembakaran (Wardana, 2008:4).



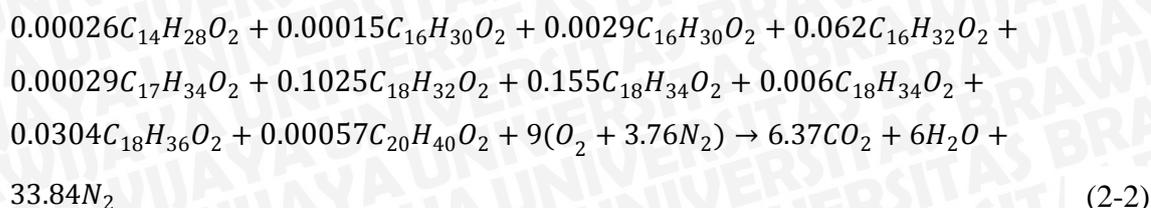
Gambar 2.4 (a) Keadaan molekul ketika tertabrak radikal bebas dengan energi yang kecil.  
(b) Keadaan molekul ketika tertabrak radikal bebas dengan energi yang besar.

Sumber : Wardana (2008:5)

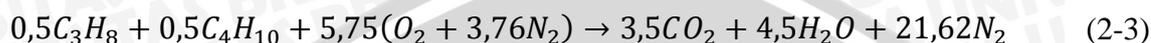
Pembakaran stoikiometri antara bahan bakar ( $C_xH_y$ ) dengan udara secara matematis dituliskan sebagai berikut :



Pembakaran stoikiometri dari 100 gram minyak jarak pagar adalah

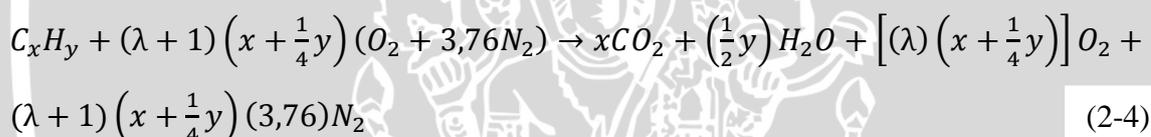


Pada penelitian ini menggunakan LPG dengan komposisi 50% propana dan 50% butana. Pembakaran stoikiometri dari LPG (*liquified petroleum gas*) tersebut adalah



Selain pembakaran stoikiometri, ada juga pembakaran dengan udara berlebih. Udara lebih (*excess air*) didefinisikan sebagai udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah teoritis yang dibutuhkan bahan bakar. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terjadinya pembakaran secara sempurna sehingga seluruh bahan bakar yang ada akan habis terbakar.

Reaksi pembakaran bahan bakar ( $C_xH_y$ ) dengan menggunakan udara berlebih dituliskan sebagai berikut :



dengan:

$\lambda$  = persen udara lebih

Dimana :

$\lambda$  = udara teoritis – 100%

### 2.3.2. Perbandingan Jumlah Udara-Bahan Bakar

#### a. Rasio udara – bahan bakar (*Air – Fuel Ratio / AFR*)

Rasio udara dan bahan bakar dari suatu reaksi dapat dinyatakan dalam bentuk jumlah mol (N) dan massa molekul (M). Secara matematis, AFR dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$AFR_{stoic} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}\right) \left(\frac{mol_{udara}}{mol_{bahan\ bakar}}\right)$$

$$AFR_{stoic} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}}\right) \left(\frac{mol_{udara}}{mol_{bahan\ bakar}}\right)$$

b. Rasio ekivalen (*Equivalence Ratio*,  $\Phi$ )

Rasio ekivalen adalah perbandingan antara rasio udara – bahan bakar (AFR) stoikiometri dengan rasio udara – bahan bakar (AFR) aktual. Pada umumnya, *equivalence ratio* digunakan untuk menentukan apakah campuran udara dan bahan bakar merupakan campuran kaya, miskin atau stoikiometri. *Equivalence ratio* dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini :

$$\Phi = \left( \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{aktual}} \right)$$

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*)

Hubungan antara persen udara lebih dengan *equivalence ratio* adalah sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{1 - \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{aktual}}}{\frac{AFR_{stoic}}{AFR_{aktual}}} \times 100\%$$

$$\lambda = \frac{1 - \Phi}{\Phi} \times 100\%$$

$$\lambda = \frac{1}{\Phi} \times 100\% - 100\%$$

Dimana :

$1/\Phi \times 100\%$  = udara teoritis

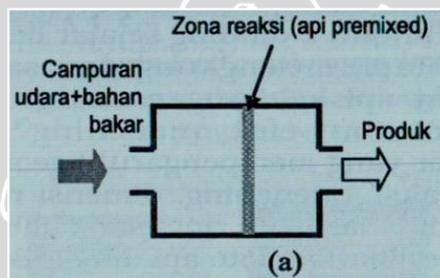
Pada persamaan di atas menunjukkan bahwa semakin miskin campuran ( $\Phi < 1$ ) maka semakin tinggi persen kelebihan udaranya dan udara teoritisnya begitu pula sebaliknya. *Equivalence ratio* sangat berpengaruh terhadap kecepatan pembakaran. Kecepatan pembakaran tercepat terjadi pada  $\Phi = 1$  (Wardana, 2008:66).

#### 2.4. Pembakaran *Premixed*

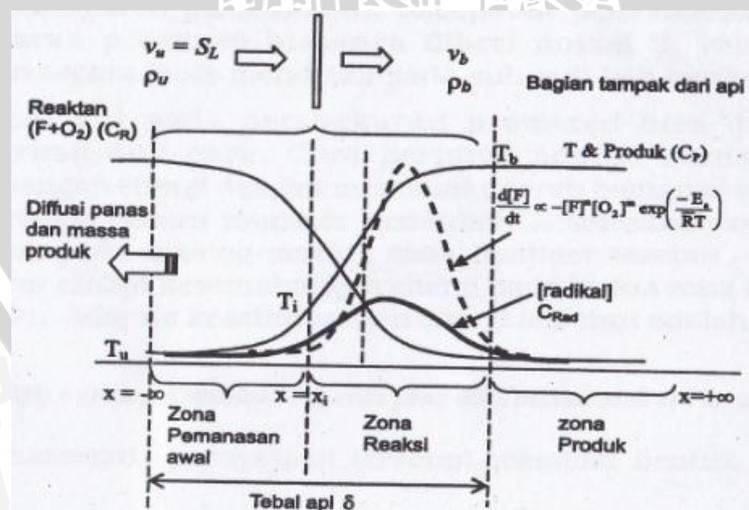
Pembakaran dapat dilakukan secara *premixed* maupun secara difusi. Pembakaran dimana bahan bakar (*fuel*) bercampur secara sempurna di dalam *burner* sebelum dialirkan ke mulut *burner* dan mulai dibakar disebut pembakaran secara *premixed*. Sedangkan proses pembakaran difusi merupakan proses pembakaran yang terjadi

dimana bahan bakar yang dialirkan melalui *burner* belum tercampur dengan udara, namun pencampuran tersebut terjadi pada saat di ujung *burner* dan menyala di tempat yang sama. Dalam hal ini, penulis menggunakan pembakaran *premixed*.

Pada pembakaran *premixed* terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame front*. Gelombang pembakaran merambat ke arah reaktan, dibelakang gelombang pembakaran terbentuk produk pembakaran. Pada Gambar 2.5 reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona reaksi. Proses reaksinya berlangsung sangat cepat biasanya pada tekanan tetap. Setelah melewati zona reaksi, reaktan menjadi produk. Zona reaksi sangat tipis yang disebut api *premixed*. Api *premixed* akan merambat menuju ke arah reaktan dengan kecepatan unik. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api (zona reaksi) akan stasioner (Wardana, 2008:149).



Gambar 2.5 Cara reaktan terbakar pada pembakaran *premixed*  
Sumber: Wardana (2008:149)



Gambar 2.6 Detail struktur di dalam api *premixed*  
Sumber: Wardana (2008:155)

Keterangan gambar :

$C_R$  = konsentrasi reaktan

$C_P$  = konsentrasi produk

$T_b$  = temperatur produk

$T$  = distribusi temperatur

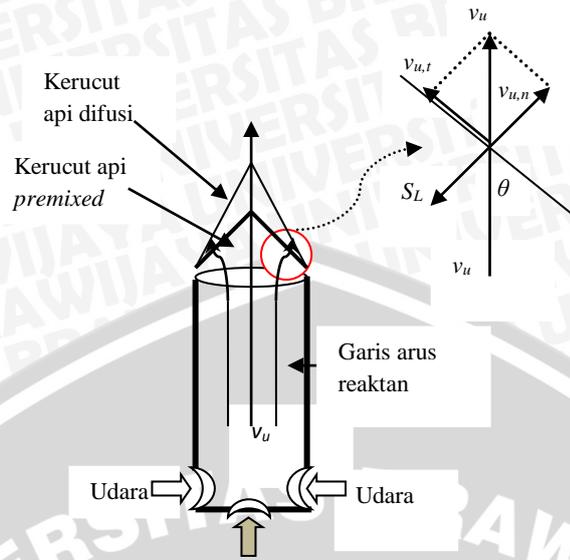
$T_u$  = temperatur reaktan

$T_i$  = temperatur penyalaan

Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa gelombang pembakaran terdapat dua zona yaitu zona pemanasan awal (*preheat zone*) dan zona reaksi (*reaction zone*). Dimana zona pemanasan awal adalah daerah dimana sedikit panas dilepaskan dan masih banyak bahan bakar yang belum terbakar (*unburn fuel*) dan zona reaksi adalah daerah dimana sebagian besar energi kimia dilepaskan. Gambar 2.6 juga menjelaskan bahwa temperatur produk lebih tinggi daripada temperatur reaktan yang memicu transfer panas dari produk ke reaktan. Karena distribusi produk bersuhu tinggi juga sama dengan distribusi temperatur maka transfer panas juga disertai difusi massa produk. Transfer panas yang terus menerus tersebut akan meningkatkan temperatur reaktan, sehingga zona pemanasan awal temperaturnya akan menjadi lebih tinggi dan terjadi pembakaran. Peristiwa ini terjadi secara kontinyu, sehingga api akan merambat ke arah reaktan. Sebaliknya karena massa reaktan habis saat bereaksi maka perbedaan konsentrasi reaktan akan memicu difusi massa reaktan terus menerus menuju zona reaksi.

### 2.5. Kecepatan Pembakaran

Kecepatan pembakaran merupakan gelombang pembakaran (api) menuju reaktan yang terjadi karena adanya gradien temperatur antara produk yang memiliki temperatur tinggi dan reaktan yang memiliki temperatur rendah sehingga terjadi transfer panas dari produk ke reaktan.



Gambar 2.7 Struktur api *premixed* pada nosel *Bunsen*  
 Sumber : Wardhana (2008:152)

Pada api *premixed Bunsen*, garis arus reaktan membelok di dekat api akibat perubahan densitas gas dan mengalir ke luar tegak lurus dengan permukaan api. Densitas gas reaktan menurun sekitar 10 kali akibat kenaikan suhu api yang mencapai 3000 K. Karena sifat fluida yang cenderung mengalir ke kerapatan lebih rendah maka gas berbelok menuju api secara tegak lurus. Dengan demikian maka penguraian komponen vektor kecepatan gas reaktan  $v_u$  pada api adalah seperti nampak pada detail Gambar 2.7.

Untuk api yang stasioner pada api *Bunsen*, kecepatan api ( $S_L$ ) sama dengan komponen normal kecepatan gas reaktan pada setiap lokasi seperti diilustrasikan pada Gambar 2.7. Dengan demikian

$$S_L = v_u \sin \theta$$

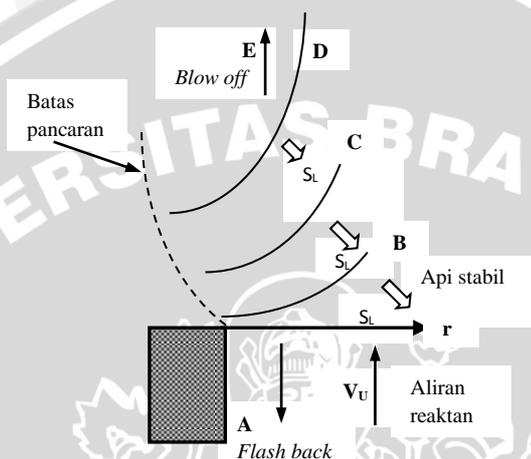
Rumus ini adalah dasar untuk menghitung kecepatan api *premixed* pada nosel *Bunsen*.  $\theta$  adalah sudut antara api dengan sumbu nosel. Kecepatan reaktan bisa dihitung dengan rumus berikut:

$$v_u = \frac{\dot{m}}{\rho_u A}$$

Dimana  $\dot{m}$  adalah massa alir reaktan di dalam nosel,  $\rho_u$  adalah densitas reaktan, dan A adalah luas penampang lintang nosel.

## 2.6. Kestabilan Nyala Api

Di dalam proses pembakaran, kestabilan memegang peranan yang sangat besar. Api dikatakan stabil jika tetap stasioner pada posisi tertentu. Peristiwa ini bisa terjadi apabila kecepatan gas reaktan sama dengan kecepatan perambatan api. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8, nosel dibelah dua dan ditempatkan pada posisi rebah sehingga terlihat berbagai kondisi pada distribusi kecepatan dan gelombang pembakaran.



Gambar 2.8 Mekanisme kestabilan api *premixed*  
Sumber : Wardana (2008:171)

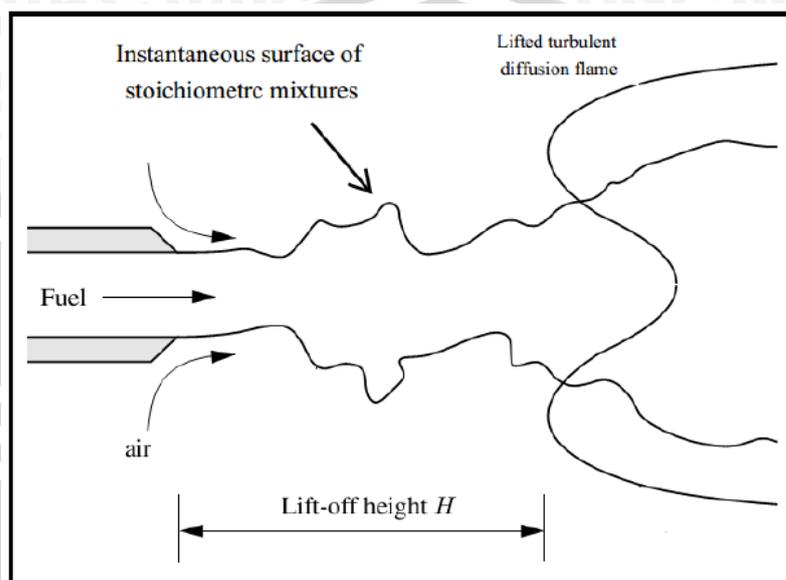
Dari gambar terlihat bahwa jika kecepatan api lebih besar dari kecepatan gas reaktan maka api akan bergerak mendekati mulut nosel sedangkan kecepatan api lebih kecil dari kecepatan gas reaktan maka api akan bergerak meninggalkan mulut nosel. Kestabilan nyala api berhubungan erat dengan fenomena *flashback*, *lift off*, *blow off* dan warna nyala pada tabung pembakar (*burner*).

### 2.6.1. Flashback

*Flashback* terjadi ketika kecepatan pembakaran lebih cepat daripada kecepatan reaktan sehingga nyala api akan merambat kembali ke dalam tabung pembakar. Fenomena ini dinamakan *back fire* atau *light back*. *Flashback* tidak hanya mengganggu tetapi juga dari sisi keamanan bisa menjadi berbahaya. Oleh karena itu, fenomena *flashback* harus dihindari (Mahandari, 2010).

### 2.6.2. *Lift Off*

Fenomena *Lift off* merupakan kondisi di mana nyala api tidak menempel pada mulut nosel (Gambar 2.9). Hal ini dikarenakan karena kecepatan pembakaran lebih kecil daripada kecepatan gas reaktan, sehingga api bergerak untuk menjauhi mulut nosel.



Gambar 2.9 Fenomena *lift off*  
Sumber : Peters (2000:239)

Dengan meningkatkan kecepatan reaktan 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*.

### 2.6.3. *Blow Off*

Fenomena *Blow off* merupakan suatu keadaan di mana nyala api padam akibat dari batas kecepatan reaktan lebih besar dari laju nyala atau kecepatan pembakaran. Kondisi ini juga sangat dihindari. Penelitian tentang *blow off* yang dilakukan bersamaan dengan kondisi *lift off* menunjukkan fraksi massa bahan bakar yang rendah maka kecepatan *blow off* juga menurun secara linier menjadi lebih rendah dari kecepatan reaktan saat *lift off*. Hal ini yang mengakibatkan pada fraksi massa bahan bakar yang rendah tidak dapat terjadi *lift off* karena nyala langsung *blow off* tanpa sempat mengalami *lift off* (Mahandari, 2010).

## 2.7. Hipotesis

Pencampuran uap minyak jarak pagar dan LPG akan mempengaruhi karakteristik pembakarannya. Dengan debit uap minyak jarak pagar yang tetap dan memvariasikan prosentase LPG serta debit udara maka semakin besar prosentase LPG semakin besar pula temperatur api dan kecepatan pembakarannya. Warna api akan semakin biru hingga mencapai keadaan stoikiometri tetapi tinggi api akan semakin rendah.

