

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Berbagai macam penelitian tentang pembakaran yang mendukung penelitian ini, diantaranya :

Chen, et al, (2009) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran difusi etanol pada *burner mini tube*. Pada penelitian ini digunakan *burner* dengan variasi diameter dalam berbeda dan diameter luar yang sama. Dalam salah satu hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tinggi api meningkat seiring dengan penambahan diameter dalam *burner*.

Buffan dan Cox (2008) dalam penelitiannya tentang kecepatan pembakaran pada bahan bakar campuran metana dan udara menyatakan bahwa kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh diameter dari *burner*. *Burner* dengan diameter yang lebih kecil memiliki api yang mudah *blow off*. Selain itu juga menyimpulkan bahwa kecepatan pembakaran tertinggi didapat pada *equivalence ratio* = 1, dimana campuran metana – udara berada pada kondisi stoikometri.

Pada pembakaran difusi, Takahashi, et al, (1990) dalam penelitiannya tentang api difusi menyimpulkan bahwa batas stabilitas api pada dasarnya dipengaruhi oleh besarnya debit reaktan dimana hal ini nantinya berhubungan erat dengan fenomena *lift off* (api terangkat menjauhi mulut *burner*) dan *blow off* (kondisi dimana api padam).

Longhua, et al, (2013) pada penelitiannya tentang fenomena *lift off* dan ketinggian api pembakaran difusi pada tekanan berbeda menyatakan bahwa perbedaan diameter *burner* mempengaruhi ketinggian api dan kondisi *lift off* api pada kondisi tekanan udara sekitar yang sama.

Pada pembakaran *premixed* minyak jarak, Dharma (2013) meneliti tentang pengaruh *equivalence ratio* terhadap karakteristik api pembakaran *premixed* minyak jarak. 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*. Perubahan nilai *equivalence ratio* akan mempengaruhi stabilitas nyala api. 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 api akan padam.

2.2 Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linneaus)

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* Linneaus) yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, dikenal sebagai jarak pagar dan merupakan tanaman semak yang tumbuh dengan cepat hingga mencapai ketinggian 3-5 meter. Tanaman ini tahan kekeringan dan dapat tumbuh di tempat dengan curah hujan 200 mm hingga 1500 mm per tahun. Daerah penyebaran tanaman terletak antara 40° LS sampai 50° LU dengan ketinggian optimal 0 – 800 meter di atas permukaan laut (Departemen Pertanian UNSU, 2005).



Gambar 2.1 Tanaman jarak pagar
Sumber: Departemen Pertanian RI (2012)

Tanaman jarak memerlukan iklim yang kering dan panas terutama pada saat berbuah. Suhu yang rendah pada saat penanaman dan pembungaan akan sangat merugikan karena mudah terserang jamur. Tanaman jarak pagar tumbuh di daerah tropis dan subtropis, dengan suhu optimum 20 – 35° C. Kelembaban yang tinggi akan mendorong perkembangan jamur sehingga akan menurunkan produktivitas. Tanaman jarak pagar tergolong tanaman hari panjang, yaitu tanaman yang memerlukan sinar matahari langsung dan terus menerus sepanjang hari. Tanaman tidak boleh terlindung dari tanaman lainnya, yang berakibat akan menghambat pertumbuhannya.

Proses pengolahan minyak biji jarak dari biji buah jarak meliputi : pengeringan buah jarak untuk mengeluarkan biji dari buah jarak, pengeringan biji, pemisahan kulit

biji (cangkang) dengan daging biji yang dapat dilakukan secara manual atau menggunakan mesin pemisah biji jarak, proses pemanasan daging biji (*steam*) pada suhu 170° C selama 30 menit, penghancuran daging biji, pengepresan minyak dengan menggunakan mesin pengepres, dan penyaringan minyak (Trubus, 2005). Alasan minyak jarak dipilih sebagai bahan bakar alternatif adalah:

1. Tanaman jarak mudah tumbuh dan dikembangkan sebagai sumber tanaman penghasil BBM alternatif.
2. Tanaman jarak merupakan tanaman non pangan.
3. Tanaman jarak dapat dipanen relatif cepat (6 bulan sekali).
4. Minyak jarak adalah sumber bahan bakar yang terbarukan (*renewable fuel*).
5. Emisi yang dihasilkan minyak jarak lebih baik daripada bahan bakar minyak lainnya.
6. Secara agronomis tanaman jarak bisa tumbuh di daerah terpencil yang sulit mendapatkan bahan bakar minyak.
7. Tanaman jarak tidak membutuhkan banyak air serta pupuk sehingga mudah dalam budidayanya.

Untuk sifat kimia dan fisika minyak jarak dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini. Komposisi asam lemak minyak jarak pada setiap daerah berbeda – beda, tergantung dari geologi daerah tersebut. Dalam penelitian ini, penulis mengambil komposisi asam lemak minyak jarak yang ada di daerah Malang dimana merupakan minyak jarak produksi BALITAS. Tabel 2.2 menunjukkan komposisi asam lemak yang terkandung dalam minyak jarak pagar.

Tabel 2.1 Sifat kimia dan fisika minyak jarak pagar

Karakteristik	Nilai
Densitas 15° C (g/m ³)	0,92
Viskositas 30° C (cst)	52,6
Bilangan setana	51
Flash point (°C)	240
Nilai Kalor (kkal/kg)	9,470
Karbon (C) per molekul	16 – 18

Sumber: Wardhana (2009: 43)

Tabel 2.2 Jenis dan komposisi asam lemak pada minyak jarak

Asam lemak	Rumus kimia	% (Massa)
Asam Miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	0,06
Asam 7-heksadekenoat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,04
Asam Palmitoleat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,75
Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	16,04
Asam Heptadekanoat	$C_{17}H_{34}O_2$	0,08
Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	28,71
Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	43,8
Asam 7-oktadekenoat	$C_{18}H_{34}O_2$	1,7
Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	8,64
Asam Eikosoat	$C_{20}H_{40}O_2$	0,18

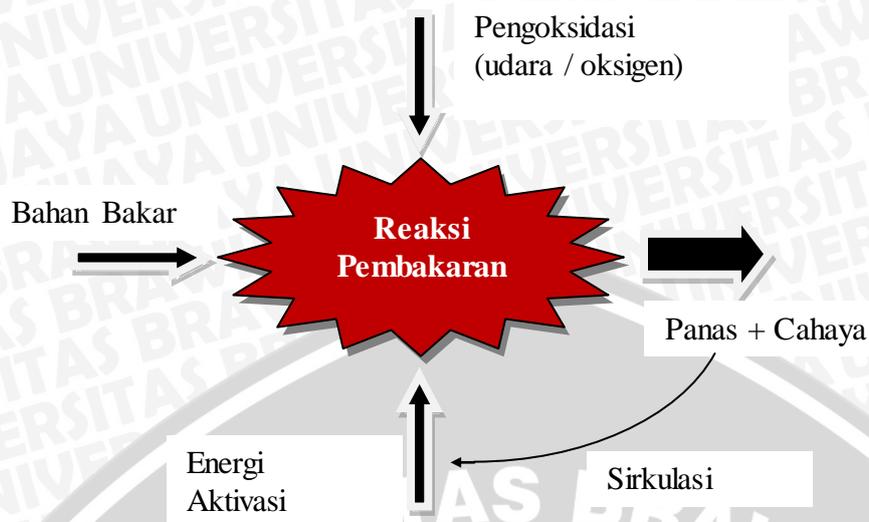
Sumber: Laboratorium Penelitian Jurusan Farmasi UNAIR (2014)

2.3 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya (Wardana, 2008:7). Menurut Turns, pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan bakar yang dapat terbakar dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai dengan timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (Turns, 1996:12). Proses pembakaran bisa berlangsung jika terdapat:

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

Pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa untuk mengaktifkan molekul bahan bakar diperlukan adanya panas atau energi. Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Pada proses pembakaran kontinyu, umumnya energi aktivasi diambil dari panas hasil pembakaran lewat cara radiasi atau lewat cara konveksi (sirkulasi balik).



Gambar 2.2 Ilustrasi proses pembakaran
Sumber: Wardana (2008:3)

Berdasarkan pada proses pencampuran bahan bakar dan udara, pembakaran dibedakan menjadi dua. Jika reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona reaksi maka pembakaran tersebut adalah pembakaran *premixed*. Jika reaktan tidak bercampur sebelum terbakar maka pembakaran termasuk jenis pembakaran difusi karena pencampuran bahan bakar dan udara yang berlangsung di zona reaksi adalah akibat difusi molekul.

2.3.1 Reaksi pada Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia eksotermis. Dengan demikian secara lebih fundamental bisa didefinisikan bahwa pembakaran merupakan 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 sehingga membentuk ikatan molekul – molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008:7).

Ada banyak cara yang dipakai untuk memutus ikatan atom dalam molekul atau membuat molekul bermuatan yaitu:

1. Dengan pemanasan, gerakan molekul-molekul bahan bakar dan pengoksidasi menjadi lebih cepat dan tumbukan molekul menjadi sangat keras. Akibatnya beberapa atom dengan ikatan lemah lepas.

2. Merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis sehingga ikatan atom akan putus atau elektron dirangsang oleh katalis supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan.
3. Mengganggu elektron dengan medan magnet sehingga tidak lagi mengorbit pada inti atom dan meninggalkan molekul sehingga ikatan atom dalam molekul lepas dan molekul menjadi bermuatan.

Cara-cara ini akan secara langsung mengganggu elektron yang merupakan pengikat molekul. Jika elektron-elektron meninggalkan molekul maka molekul tersebut akan bermuatan atau bahkan pecah menjadi beberapa molekul atau atom yang bermuatan.

Ada dua hal yang sangat penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung yaitu kesetimbangan energi dan kesetimbangan massa. Kesetimbangan energi yang diterapkan ketika proses pembakaran berlangsung diturunkan dari prinsip-prinsip termokimia. Sedangkan kesetimbangan massa yang diperlukan tersebut oleh para ahli kimia disebut stoikiometri dimana kata ini berasal dari bahasa Yunani *stoichon* yang berarti elemen atau prinsip utama.

Pembakaran stoikiometri adalah pembakaran dimana semua atom dari bahan bakar dan pengoksidasi bereaksi seluruhnya menghasilkan produk. Pada proses pembakaran selalu membutuhkan O_2 sebagai oksidatornya, sedangkan O_2 sendiri didapat dari udara, dimana udara terdiri dari O_2 , N_2 , Ar, CO_2 , H_2O dan sejumlah gas yang cukup kecil. Komposisi dari udara dapat dilihat pada Tabel 2.3.

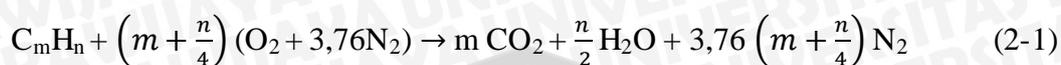
Tabel 2.3 Komposisi udara

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_2	0,03	0	0,05	0
Gas lainnya	0,01	0	-	0

Sumber: Wardhana (2008)

Untuk memudahkan perhitungan dalam reaksi pembakaran, maka untuk O_2 dapat diasumsikan terdiri dari 21% dan 79% untuk N_2 (fraksi mol atau volume). Oleh karena itu, pada reaksi pembakaran dengan udara, penggunaan 1 mol O_2 akan

melibatkan penggunaan $\left(\frac{79,0}{21,0}\right) = 3,76$ mol N_2 . Untuk dapat mencapai pembakaran yang sempurna semua atom C diharapkan dapat terbakar menjadi CO_2 dan semua atom H_2 dapat terbakar menjadi H_2O . Reaksi pembakaran sempurna antara bahan bakar (C_mH_n) secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

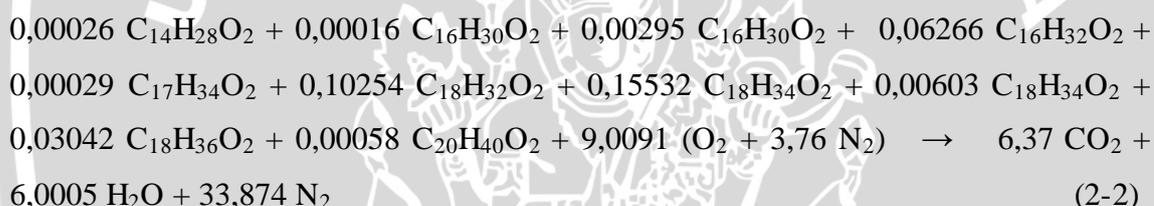


Reaktan

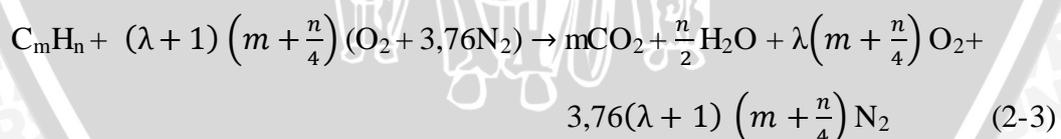
Produk

Persamaan diatas menggunakan jumlah udara yang sesuai atau biasa disebut udara stoikiometri. Akan tetapi, dalam kondisi sebenarnya pembakaran sempurna hampir tidak dapat terjadi. Hal ini dikarenakan pembakaran berlangsung secara kompleks, tidak hanya bergantung pada model ruang bakarnya tetapi juga bergantung pada kondisi bahan bakar, udara, bahkan temperatur pembakarannya.

Dari Tabel 2.2 persamaan reaksi pembakaran stoikiometri dari 100 gr minyak jarak pagar dengan udara di dapat:



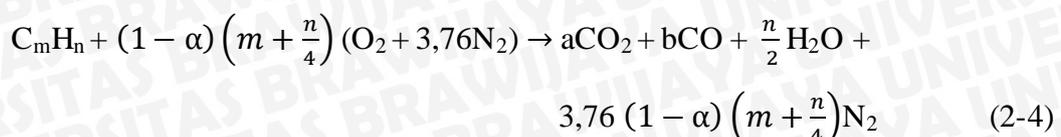
Pada saat proses pembakaran dimana terdapat kelebihan udara (miskin bahan bakar), gas hasil pembakaran akan mengandung O_2 . maka reaksi pembakaran pada persamaan (2-1) diatas akan berubah menjadi:



Dimana:

 λ = persen udara lebih

Pada kondisi kekurangan udara (kaya bahan bakar) akan membuat reaksi pembakaran berlangsung tidak sempurna. Akibat kekurangan ini akan terbentuk gas CO. Reaksi ini dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Dimana:

α = persen kekurangan udara

$a+b = m$

$$(1 - \alpha)\left(m + \frac{n}{4}\right) = a + \frac{b}{2} + \frac{n}{4}$$

Jumlah mol dari masing-masing gas buang tersebut dapat diketahui melalui pengukuran dan analisa gas buang. Nitrogen tidak berperan pada proses pembakaran, namun pada temperatur yang tinggi nitrogen akan bereaksi membentuk senyawa NO. setelah proses pembakaran, NO ini masih bereaksi dengan oksigen membentuk NO₂.

2.3.2 Perbandingan Udara – Bahan Bakar

a. Rasio udara – bahan bakar (*air – fuel ratio / AFR*)

Rasio udara – bahan bakar merupakan perbandingan campuran antara udara dan bahan bakar baik dalam mol maupun massa. Rasio udara - bahan bakar (*air-fuel ratio*) dapat dilihat pada persamaan berikut, dimana N adalah jumlah mol sedangkan M adalah massa molekul :

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

(Wardhana, 2008: 58)

Dengan:

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

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

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

(Wardhana, 2008: 59)

Dengan:

M_{udara} = Jumlah massa total udara (gram)

$M_{bahan\ bakar}$ = Jumlah massa total bahan bakar (gram)

Pada pembakaran stoikiometri minyak jarak pada persamaan (2-2) dan Tabel 2.2 didapatkan,

- Massa udara = 9,0091 ($M_r O_2 + 3,76 M_r N_2$)
= 9,0091(16x2+3,76x14x2) = 1236,769 gram
- Massa bahan bakar = 100 gram

$$(AFR) = \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right) = \frac{1236,769 \text{ gram udara}}{100 \text{ gram bahan bakar}} = 12,36769 \frac{\text{gram udara}}{\text{gram bahan bakar}}$$

b. *Equivalence ratio*

Equivalence ratio (Φ) merupakan perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometrik dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual sebagai berikut :

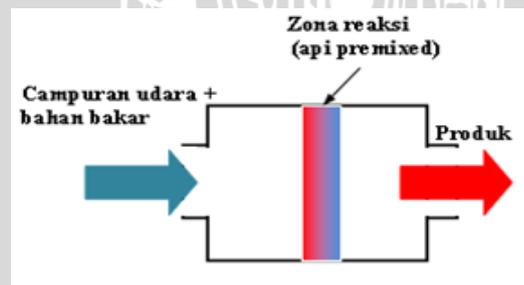
$$\Phi = \frac{AFR \text{ Stoikiometri}}{AFR \text{ aktual}} \quad (2-7)$$

(Wardhana, 2008: 65)

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

2.4 Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah pembakaran dimana bahan bakar dan udara sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran. Pada Gambar 2.3 terdapat dua zona pada pembakaran *premixed* yaitu *preheat zone* (warna merah) dan *reaction zone* (warna biru). Contoh pembakaran jenis ini bisa dilihat pada proses pembakaran motor bensin dan las karbit.



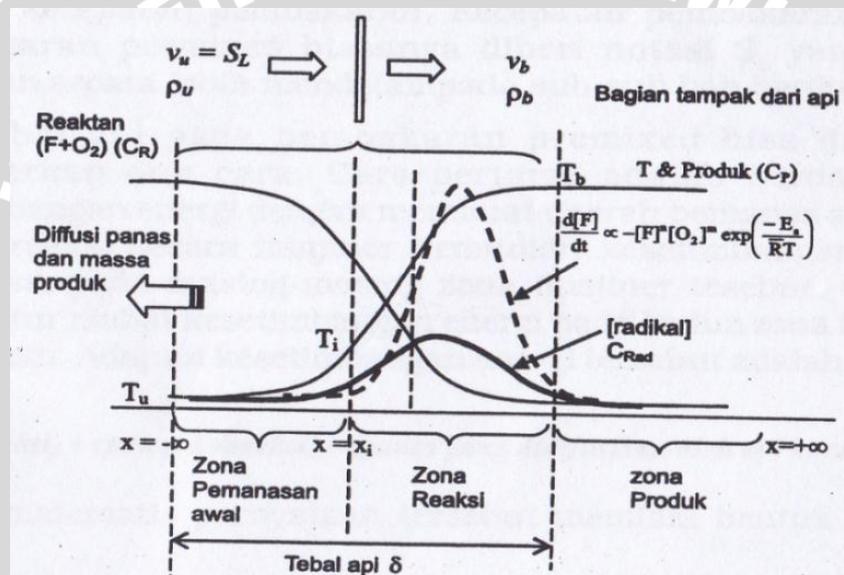
Gambar 2.3 Pembakaran *premixed*

Sumber: Wardana (2008:149)

Pada pembakaran *premixed* terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame* (api). Gelombang pembakaran merambat ke arah reaktan, di belakang gelombang pembakaran terbentuk produk pembakaran. Pada pembakaran *premixed*, reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona reaksi.

Proses reaksinya berlangsung sangat cepat biasanya terjadi pada tekanan tetap. Setelah melewati zona reaksi reaktan menjadi produk. Zona reaksi sangat tipis yang disebut api *premixed*. Api *premixed* akan merambat menuju kearah reaktan dengan kecepatan unik. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambatan api maka api (zona reaksi) akan stasioner. Jadi karakter api *premixed* adalah merambat.

Seperti tampak pada Gambar 2.4, Zona dimana masih banyak bahan bakar yang belum terbakar (*unburn fuel*) dan sedikit panas dilepaskan disebut zona pemanasan awal. Sedangkan zona reaksi merupakan daerah dimana sebagian besar reaksi kimia terjadi akibat pemanasan di zona pemanasan awal dan sebagian besar energi kimia dilepaskan.



Gambar 2.4 Detail struktur di dalam api *premixed*
Sumber: Wardana (2008:155)

Keterangan:

C_R = konsentrasi reaktan (%)

C_{Rad} = konsentrasi radikal (%)

T_i = temperatur penyalaan ($^{\circ}C$)

C_P = konsentrasi produk (%)

T_b = temperatur produk ($^{\circ}C$)

T = distribusi temperatur ($^{\circ}C$)

T_u = temperatur reaktan ($^{\circ}C$)

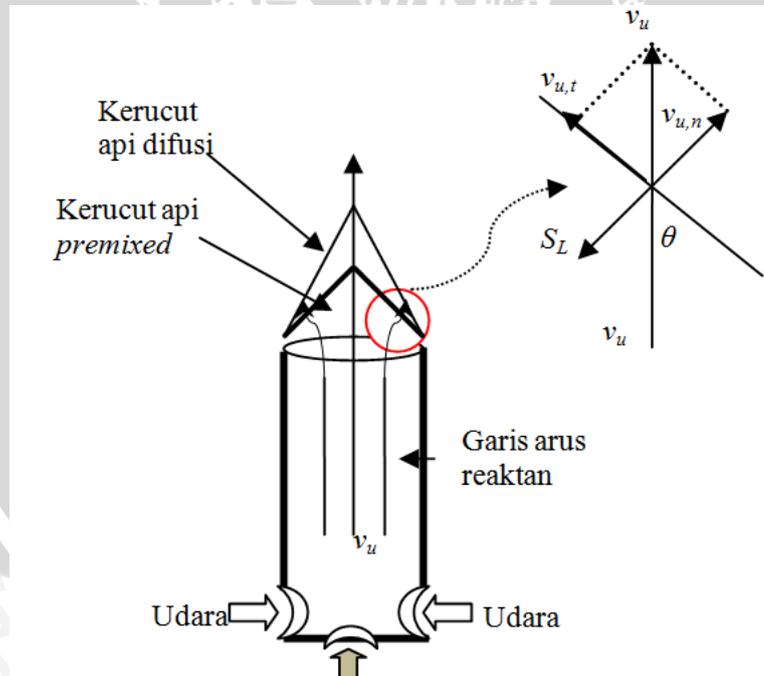
U = distribusi kecepatan gas (cm/detik)

dF/dt = gradien bahan bakar terhadap temperatur (%/ $^{\circ}C$)

Distribusi konsentrasi reaktan, konsentrasi produk, konsentrasi radikal, temperatur dan kecepatan gas pada proses pembakaran *premixed* terlihat pada Gambar 2.4. Radikal akan selalu muncul pada zona reaksi sebagai konsekuensi dari reaksi berantai. Dalam api terjadi gradien temperatur yaitu kondisi dimana temperatur produk lebih tinggi dari temperatur reaktan. Karena hal tersebut berdasarkan hukum termodinamika maka akan terjadi transfer panas dari produk ke reaktan. Transfer panas yang terus menerus tersebut akan meningkatkan temperatur reaktan, jika temperatur reaktan meningkat maka pemanasan awal akan bergeser ke kiri, sedangkan zona yang terjadi menjadi zona pemanasan awal temperaturnya akan lebih tinggi sehingga terjadi pembakaran. Peristiwa ini terjadi secara kontinyu sehingga api merambat ke arah reaktan. Kecepatan rambatan api tersebut disebut kecepatan pembakaran.

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 2.5 Struktur api *premixed* pada *burner* bunsen
Sumber: Wardhana (2008:152)

Pada api 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 2.5.

Untuk api yang stasioner pada api bunsen, kecepatan api pembakaran sama dengan komponen normal kecepatan gas reaktan pada setiap lokasi seperti diilustrasikan pada Gambar 2.5. Dengan demikian dapat dirumuskan,

$$S_L = v_u \sin \theta \quad (2-8)$$

(Wardhana, 2008: 154)

Dengan:

S_L = kecepatan pembakaran (cm/detik)

v_u = kecepatan reaktan (cm/detik)

θ = sudut antara api dengan sumbu *burner* ($^\circ$)

Rumus ini adalah dasar untuk menghitung kecepatan api *premixed* pada *burner* bunsen. Kecepatan reaktan bisa dihitung dengan rumus berikut:

$$v_u = \frac{\dot{m}}{\rho_u A} = \frac{Q}{A} \quad (2-9)$$

(Wardhana, 2008: 154)

Dengan:

\dot{m} = massa alir reaktan di dalam *burner* (gram/detik)

ρ_u = adalah densitas reaktan (gram/cm³)

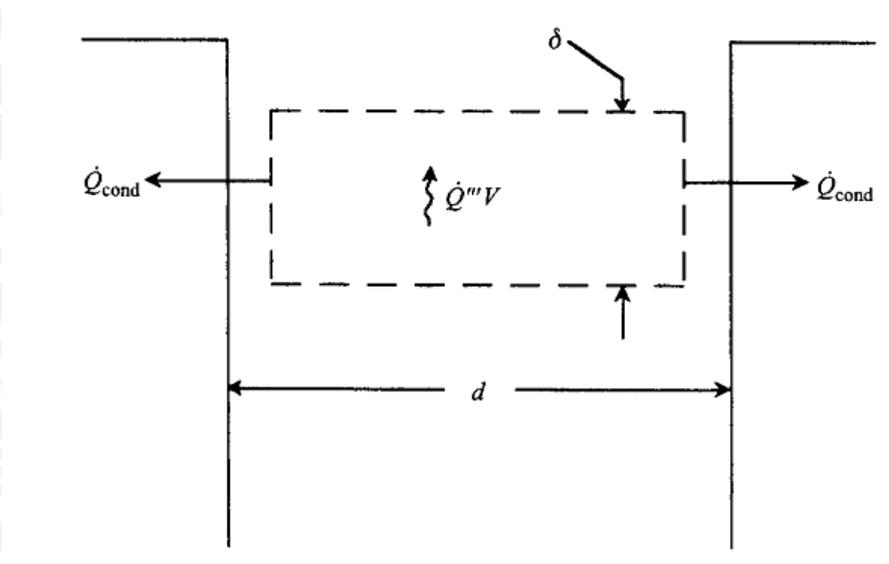
Q = adalah debit reaktan (cm³/detik)

A = luas penampang lintang *burner* (cm²)

Kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh faktor fisika dan kimia. Faktor fisika diantaranya adalah temperatur dan tekanan, sedangkan faktor kimia diantaranya adalah rasio campuran dan struktur hidrokarbon.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran adalah bentuk dari *burner*. Buffan dan Cox (2008) dalam penelitiannya tentang kecepatan pembakaran pada bahan bakar campuran metana dan udara menyatakan bahwa kecepatan pembakaran dipengaruhi oleh diameter dari *burner*.

Selain diameter *burner*, ketebalan *burner* akan mempengaruhi kecepatan pembakaran seperti terlihat pada Gambar 2.6 dan persamaan (2-10).



Gambar 2.6 Skema perpindahan panas secara konduksi pada burner
 Sumber : Turns (1996:256)

$$q = kA \frac{dT}{dx} \tag{2-10}$$

(Turns, 1996: 257)

Dengan:

q = laju perpindahan kalor (W)

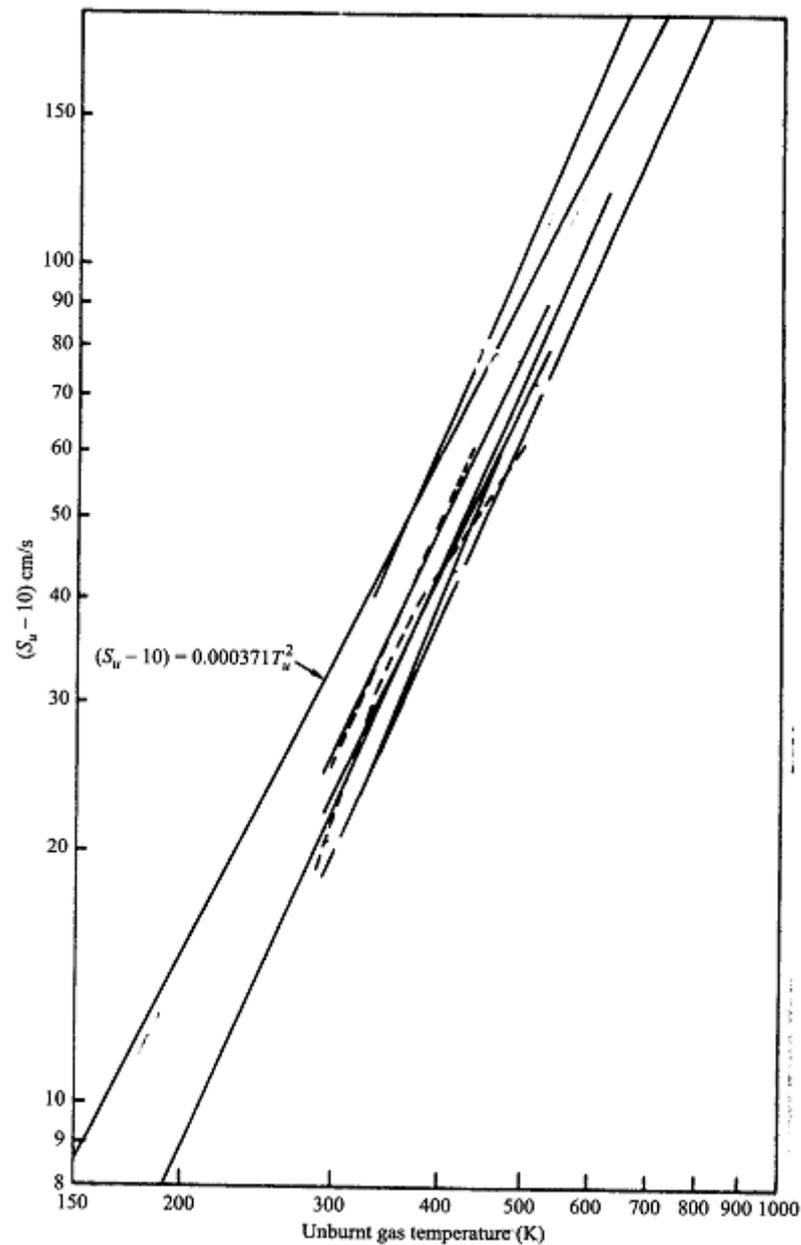
k = konduktivitas termal (W/m.°C)

A = luas permukaan (m²)

dT/dx = gradient suhu dalam arah perpindahan kalor (°C/m)

Salah satu fenomena yang mempengaruhi kecepatan pembakaran adalah resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan. Dimana seperti terlihat pada persamaan (2-10) terlihat bahwa luas permukaan (A) berbanding lurus dengan laju perpindahan kalor. Dimana pada burner yang lebih tebal akan menyebabkan perpindahan panas antara nyala api dan burner secara konduksi lebih besar. Panas ini kemudian akan dikonduksikan ke arah *upstream burner*, selanjutnya dikonveksikan dari dinding burner ke lingkungan (merupakan *heat loss*) dan ke aliran reaktan (untuk pemanasan awal reaktan). Seperti kita ketahui perpindahan panas yang terjadi dari dinding burner ke reaktan merupakan konveksi paksa sedangkan perpindahan panas dari dinding burner bagian luar ke udara sekitar merupakan konveksi alami, dimana konveksi paksa

pengaruhnya lebih besar daripada konveksi alami. Konveksi paksa akan menyebabkan resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan akan lebih besar. Resirkulasi panas ini akan menyebabkan temperatur dari reaktan dalam tabung akan berubah. Pada Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara temperatur reaktan dan kecepatan pembakaran dimana temperatur reaktan akan mempengaruhi kecepatan pembakaran. Resirkulasi panas ini diharapkan akan menyebabkan peningkatan temperatur reaktan. Karena hal tersebut diharapkan kecepatan pembakaran akan bertambah.

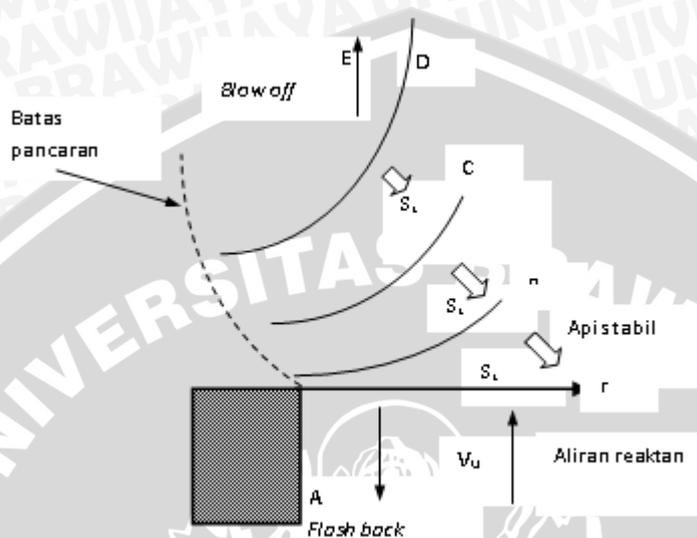


Gambar 2.7 Pengaruh temperatur reaktan campuran metana – udara stoikiometri terhadap kecepatan api pada tekanan 1 atm

Sumber: Turns (2009: 276)

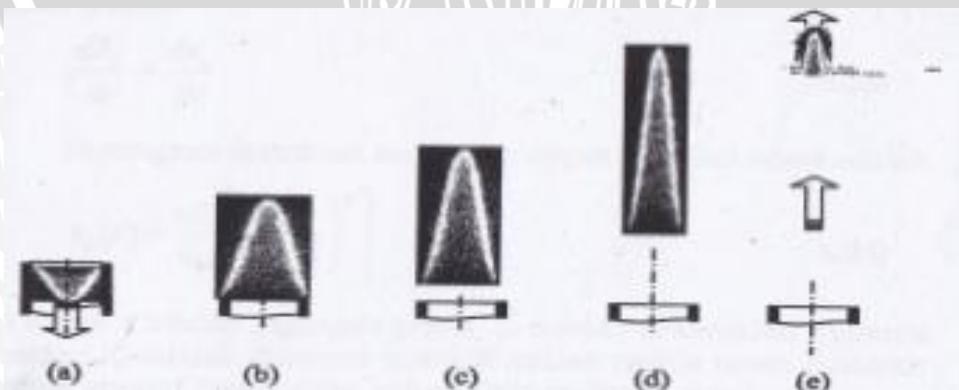
2.6 Kestabilan Nyala Api (*Flame Stability*)

Dalam proses pembakaran, kestabilan nyala api memegang peranan yang sangat penting. Api dikatakan stabil jika tetap stasioner pada posisi tertentu. Kestabilan nyala api bisa terjadi apabila kecepatan reaktan (v_u) sama dengan kecepatan pembakaran (S_L).



Gambar 2.8 Mekanisme kestabilan api *premixed*
Sumber : Wardana (2008:152)

Tingkat kestabilan nyala api sangat berhubungan dengan fenomena seperti *flash back*, *lift off*, dan *blow off* seperti terlihat pada Gambar 2.8 dimana mekanisme kestabilan api juga berkaitan erat dengan kecepatan reaktan dan kecepatan pembakaran. Oleh karena itu, perencanaan dalam proses pembakaran gas menjadi sangat penting.



Gambar 2.9 Kestabilan api. a. *flashback*, b. stabil, c. *lift off*, d. *lifted*, e. *blow off*
Sumber: Wardana (2008:169)

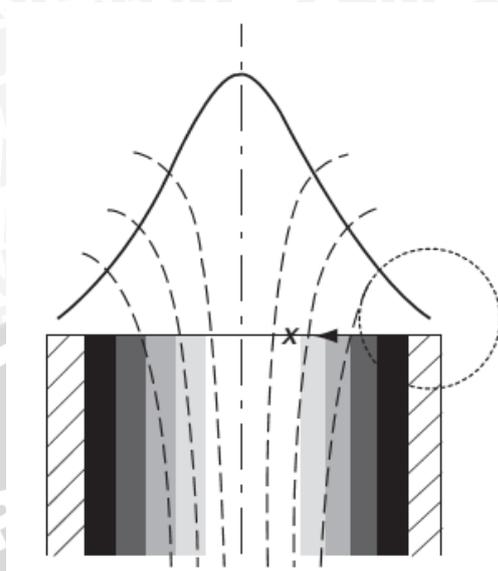
Flashback adalah fenomena api masuk dan merambat kembali ke dalam tabung pembakar seperti terlihat pada Gambar 2.9 a. *Flashback* terjadi ketika kecepatan pembakaran lebih cepat daripada kecepatan campuran udara – bahan bakar ($S_L > v_u$) sehingga nyala api merambat kembali ke dalam tabung pembakar. Fenomena ini dinamakan *back fire* atau *light back*. *Flashback* tidak hanya mengganggu tetapi juga dari sisi keamanan bisa menjadi berbahaya.

Lift off adalah api tidak menyentuh mulut *burner* pembakar, tapi stabil pada beberapa jarak dari mulut *burner* seperti terlihat pada Gambar 2.9 c. Kondisi ini sangat tergantung pada keadaan api setempat dan sifat aliran di dekat mulut *burner*. Pada kecepatan rendah, api mendekati mulut *burner* dan menyentuhnya. Peningkatan kecepatan reaktan lebih lanjut menyebabkan meningginya bagian hulu api ke posisi hilir yang jauh dari mulut *burner* yang disebut terangkat (*lifted*) dan kemudian padam tertiuip (*blow off*).

Blow off adalah suatu keadaan dimana nyala api padam akibat dari batas kecepatan aliran lebih besar dari laju nyala atau kecepatan pembakaran ($S_L < v_u$). Kondisi seperti ini pada kenyataan di lapangan harus dihindari, karena untuk bahan bakar tertentu, kecepatan *blow off* meningkat seiring dengan bertambahnya diameter pancarannya.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan api adalah bentuk dari *burner*. Menurut Saediameri, et al, (2013) dalam penelitiannya tentang pembakaran biogas, pada diameter *burner* yang berbeda akan mempengaruhi kestabilan api dimana pada diameter yang lebih kecil akan lebih cepat terjadi *blow off*.

Selain diameter *burner*, ketebalan *burner* akan mempengaruhi kestabilan api seperti terlihat pada Gambar 2.10. Jika *burner* lebih tebal maka bidang kontak yang tercipta antara permukaan *burner* semakin besar. Diameter dan ketebalan *burner* akan mempengaruhi kestabilan api. Posisi api sangat dekat pada tepi *burner* dan dalam kenyataannya kecepatan reaktan akan dipengaruhi oleh *heat loss* pada dinding *burner*. Saat kecepatan reaktan meningkat, tepi api akan bergerak menjauh pada *burner* seperti terlihat pada Gambar 2.10, *heat loss* pada tepi lubang *burner* akan berkurang dan kecepatan api akan bertambah sehingga akan tercipta kestabilan api (Glassman, 2009: 202). Dengan kata lain pada saat api bergerak menjauhi *burner*, jika *burner* semakin tebal maka diharapkan akan mempengaruhi kestabilan api karena luas daerah kontak antara api dan *burner* semakin besar.



Gambar 2.10 Aliran reaktan keluar mulut *burner*
 Sumber: Glassman (2008:202)

Salah satu fenomena yang mempengaruhi kestabilan api adalah resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan. Dimana seperti terlihat pada persamaan (2-10) terlihat bahwa luas permukaan (A) berbanding lurus dengan laju perpindahan kalor. Ketebalan *burner* akan mempengaruhi laju perpindahan panas antara nyala api dan *burner* secara konduksi. Seperti kita ketahui perpindahan panas yang terjadi dalam reaktan merupakan konveksi paksa sedangkan perpindahan panas dari dinding *burner* bagian luar ke udara sekitar merupakan konveksi alami, dimana konveksi paksa pengaruhnya lebih besar daripada konveksi alami. Konveksi paksa diharapkan akan menyebabkan resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan akan lebih besar. Hal ini akan menyebabkan kecepatan pembakaran yang lebih tinggi. Kecepatan pembakaran yang bertambah akan mempengaruhi kestabilan api.

2.7 Hipotesis

Semakin tebal *circular tube burner* maka luas daerah kontak antara api dan *burner* semakin besar, dengan bertambah tebalnya *burner* maka resirkulasi panas dari nyala api ke reaktan menjadi lebih besar, sehingga kecepatan pembakarannya semakin bertambah. Dengan bertambah besarnya kecepatan pembakaran maka akan menyebabkan kestabilan api semakin besar.