

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dimas Aditya (2016), melakukan penelitian tentang karakteristik nyala api pada *bunsen burner* dan *slot burner* dengan bahan bakar metana. Variabel bebas pada penelitian ini adalah rasio ekuivalen (Φ) antara campuran udara atau oksigen (O_2) dan bahan bakar metana (CH_4). Jika rasio ekuivalen semakin kecil maka nilai kecepatan api laminer akan meningkat yang diikuti dengan kenaikan tinggi api, disamping itu temperatur nyala api akan relatif naik hingga rasio ekuivalen mendekati 1.

Bayu Pranoto (2012), meneliti pengaruh variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) terhadap karakteristik api pembakaran premixed minyak kapuk pada burner. Penelitian ini menyimpulkan bahwa AFR dapat mempengaruhi panjang api yang berhubungan dengan difusivitas massa. Variasi AFR juga mempengaruhi temperatur api pada tepi *burner* dan *center burner* dimana terdapat temperatur lebih tinggi pada tepi *burner* dibandingkan *center burner*. Variasi AFR juga dapat mempengaruhi pola api dan struktur nyala api pada *bunsen burner* yang mengakibatkan ketidak stabilan pada struktur nyala api dan dapat menimbulkan *flame cells*.

Zulkarnaen (2014), menganalisis pengaruh *perforated burner* terhadap kecepatan api laminer dan karakteristik pembakaran lainnya. Dalam penelitian ini dilakukan variasi terhadap rasio ekuivalen dan hasilnya kecepatan api laminer pada *perforated burner* lebih tinggi dibandingkan pada *bunsen burner* karena pada *perforated burner* temperaturnya dipengaruhi oleh dinding burner dan juga *perforated plate*, sehingga nilai kecepatan api laminer lebih tinggi. Disamping itu penelitian ini juga menyimpulkan bahwa nilai nyala api *perforated burner* memiliki kestabilan lebih tinggi dibandingkan pada *bunsen burner* dan temperatur juga terdistribusi merata pada setiap lubang.

Gio Girsang (2014) meneliti pengaruh *equivalence ratio* dan jumlah lubang pada *perforated burner* terhadap karakter api pembakaran *premixed*. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa *equivalence ratio* dan jumlah lubang dapat mempengaruhi kecepatan pembakaran api laminer, tinggi api dan pola api. Pada *Bunsen burner* memiliki kecepatan api laminer dan nilai tinggi api terendah dibandingkan terhadap *perforated burner* 7 lubang, 19 lubang dan 37 lubang. Hal tersebut dikarenakan pada *bunsen burner* reaktan hanya melewati dinding *burner* untuk sampai ke mulut *burner* sedangkan pada *perforated*

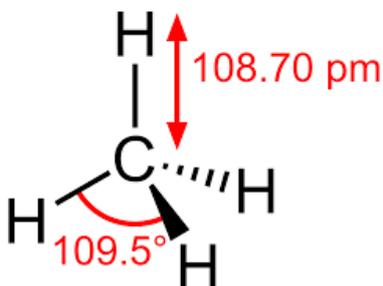
burner reaktan harus melewati dinding *burner* dan *perforated plate*. *Perforated plate* sendiri lah yang meningkatkan kecepatan api laminer karena reaktan akan menerima kalor tambahan dari *perforated plate* sehingga memudahkan terjadinya pembakaran. Disamping itu *perforated plate* menghasilkan aliran reaktan yang lebih turbulen yang mengakibatkan kecepatan pembakaran laminer lebih besar.

2.2 Bahan Bakar

Secara umum bahan bakar dibagi menjadi dua jenis, bahan bakar primer dan bahan bakar sekunder. Pengertian bahan bakar primer adalah bahan bakar yang langsung bisa digunakan sedangkan bahan bakar sekunder adalah bahan bakar olahan sebelum dapat digunakan sebagai bahan pembakaran. Bahan bakar sekunder memiliki contoh seperti bensin, solar dan golongan bahan bakar berbentuk minyak. Unsur utama penyusun bahan bakar adalah berupa Karbon (C) dan Hidrogen (H), sedangkan unsur tambahan bahan bakar yang umum adalah Nitroge (N), Sulfur (S), Karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O).

2.3 Metana

Metana adalah gas hidrokarbon yang paling sederhana dengan rumus kimia CH₄. Metana merupakan komponen dengan persentase terbanyak pada gas alam yang memiliki sifat mudah terbakar. Hasil pembakaran metana menghasilkan karbon dioksida yang sangat rendah dibandingkan jenis gas alam lainnya sehingga metana sangat ramah lingkungan dan sering dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Metana memiliki ciri-ciri tidak berbau dan tidak berwarna, sehingga jika digunakan untuk keperluan komersial metana biasanya ditambah sedikit bau belerang untuk mengetahui apabila terjadi kebocoran.



Gambar 2.1 Struktur kimia metana

Sumber: Wikipedia.org/wiki/methane

Satu molekul metana dengan oksigen jika dilakukan proses pembakaran menghasilkan dua molekul air (H₂O) dan satu karbondioksida (CO₂), dengan reaksi sebagai berikut.

$\text{CH}_{4(g)} + 2\text{O}_{2(g)} \longrightarrow \text{CO}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ ($\Delta H = -891 \text{ kJ/mol}$ dengan kondisi temperatur dan tekanan standar).

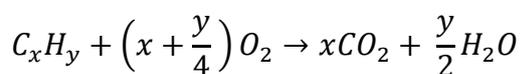
Dengan nilai kalor sebesar 891 kJ/mol maka metana adalah hidrokarbon paling sederhana dengan massa molekul sebesar 16,0 g/mol yang mampu menghasilkan panas lebih banyak per satuan massa yaitu 55,7 kJ/g dibandingkan dari hidrokarbon kompleks lainnya.

2.4 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu runutan reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang disertai dengan produksi panas dan adanya cahaya sehingga disebut juga dengan proses oksidasi eksotermis. Pembakaran dapat berlangsung jika mempunyai komponen bahan bakar, pengoksidasi (berupa oksigen atau udara) dan panas sebagai energi aktivasi.

Bahan bakar yang umumnya mengandung unsur-unsur Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N) dan Sulfur (S) akan bereaksi dengan oksidator yang mengandung oksigen (seperti udara). Campuran bahan bakar dan senyawa oksidan tadi harus diaktivasi dengan tambahan panas (sesuai dengan panas penyalaan) yang sering disebut sebagai energi aktivasi. Disamping itu faktor konsentrasi campuran juga harus disesuaikan antara konsentrasi bahan bakar dan konsentrasi senyawa oksidan.

Pada umumnya pembakaran hidrokarbon dan oksigen sebagai oksidator memiliki persamaan reaksi seperti berikut.



Persamaan reaksi diatas adalah jenis persamaan pembakaran yang sempurna karena disaat hidrokarbon terbakar dengan oksigen menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O). Pada pembakaran sempurna biasanya reaktan mengeluarkan hasil pembakaran berupa oksida.

2.5 Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran menghasilkan banyak jenis dan bentuk yang bermacam-macam. Namun, terdapat dua hal yang pasti terjadi saat pembakaran berlangsung. Dua hal tersebut adalah:

1. Komposisi campuran berubah terhadap waktu, dan perubahan ini disebabkan oleh terjadinya proses pada tingkat molekul.
2. Ikatan-ikatan molekul yang lemah lepas kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikatan dilepas kedalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat tinggi.

Kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi adalah hal yang sangat penting agar reaksi pembakaran dapat terjadi. Kesetimbangan massa atau disebut dengan stoikiometri yang diambil dari bahasa Yunani *stoicheion* memiliki arti elemen atau prinsip utama. Sedangkan kesetimbangan energi diturunkan dari prinsip-prinsip termokimia dalam proses pembakaran.

2.6 Klasifikasi Nyala Api

Nyala api dapat diklasifikasikan dari aspek berdasarkan keadaan oksidator dan bahan bakar yang mencapai daerah reaksi dan aspek alirannya. Berdasarkan keadaan oksidator dan bahan bakar yang mencapai daerah reaksinya nyala api diklasifikasikan menjadi nyala non *premix*, *partially premixed*, dan *fully premixed*. Berdasarkan alirannya nyala api dibagi menjadi dua yaitu nyala api laminar dan nyala api turbulen.

Dalam pembakaran *premixed* hal yang paling berpengaruh adalah perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara untuk menentukan hasil pembakaran. Perbandingan campuran bahan bakar dan udara dapat dihitung melalui parameter yang sering digunakan yaitu *Air Fuel Ratio* (AFR), *Fuel Air Ratio* (FAR), dan Rasio Ekuivalen (Φ).

2.6.1 AFR (*Air Fuel Ratio*)

AFR adalah tolak ukur yang digunakan dalam menghitung nilai perbandingan antara massa udara dan bahan bakar pada titik tertentu. Nilai AFR dalam kondisi stoikiometri dapat dihitung dengan rumus:

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} \quad (2-1)$$

Sumber: Wardana (2008)

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

Sumber: Wardana (2008)

Dimana:

AFR = Rasio udara dan bahan bakar

N_{udara} = Jumlah mol udara (mol)

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

M_{udara} = Massa udara (kg)

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

Dengan persamaan 2-1 dapat dihitung nilai AFR berdasarkan mol bahan bakar metana (CH_4) sebesar.

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} = \frac{2(1+3,7)}{1} = 9.52 \frac{mol_{udara}}{mol_{bahan\ bakar}}$$

Diketahui massa udara = 28.97 kg/kgmol dan massa metana (CH₄) = 16 kg/kgmol, maka nilai AFR sebesar rumus (2-2).

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} = 9.52 \frac{28.97}{16} = 17.2 \frac{kg_{udara}}{kg_{bahan\ bakar}}$$

Tabel 2.1
Massa Molar Unsur

Atom/molekul	Massa molekul	Massa molar
C	12.01 sma	12.01 g
H	1.01 sma	1.01 g
O ₂	32 sma	32 g
N ₂	28.02 sma	28.02 g

Sumber: Wardhana (2008)

Menggunakan tabel diatas dapat dihitung perbandingan udara dan bahan bakar yang dibutuhkan untuk membakar metana (CH₄) dengan sempurna:

$$AFR_{CH_4} = \frac{\text{massa molar } 2(O_2+3.76N_2)}{\text{massa molar } CH_4}$$

$$AFR_{CH_4} = 2 \frac{\left(32 + \frac{79}{21} \times 28\right)}{12 + 4 \times 1} \frac{gram_{udara}}{gram_{bahan\ bakar}}$$

$$AFR_{CH_4} = \frac{274.56}{16} = 17.17 \frac{gram_{udara}}{gram_{bahan\ bakar}}$$

Diketahui:

- Massa jenis udara pada temperature 27⁰C adalah 0.0012 gr/cm³ = 0.12 kg/m³
- Massa jenis metana sebesar 0.000716 gr/cm³ = 0.0716 kg/m³

1. Menghitung volume udara dan metana (CH₄) menggunakan persamaan $V = \frac{m}{\rho}$

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

$$V_{metana} = \frac{m}{\rho}$$

$$V_{udara} = \frac{274.56}{0.00012} = 232600 \text{ cm}^3$$

$$V_{metana} = \frac{16}{0.000716} = 22346.36 \text{ cm}^3$$

2. Untuk perbandingan volume antara metana dan udara adalah sebesar

$$V_{udara} \quad : \quad V_{metana}$$

$$232600 \text{ cm}^3 \quad : \quad 22346.36 \text{ cm}^3$$

$$10.4 \text{ mL} \quad : \quad 1 \text{ mL}$$

2.6.2 FAR (Fuel Air Ratio)

Besar FAR adalah kebalikan dari nilai AFR sendiri dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$FAR = \frac{m_{\text{bahan bakar}}}{m_{\text{udara}}} \text{ atau } \frac{1}{AFR} \quad (2-3)$$

Sumber: Wardana (2008)

2.6.3 Rasio Ekuivalen (Φ)

Besar Rasio Ekuivalen sesuai dengan perbandingan antara AFR stokiometri dan AFR aktualnya. Rasio ekuivalen juga dapat dihitung melalui perbandingan FAR aktual dengan FAR stokiometri. Sehingga rasio ekuivalen dapat dirumuskan dengan:

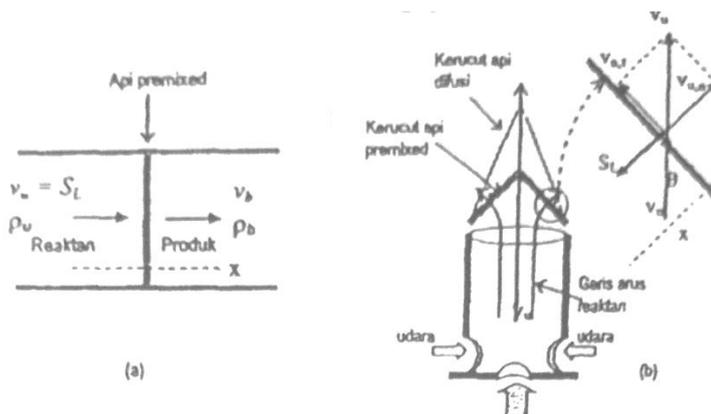
$$\Phi = \frac{AFR_{\text{stoikiometri}}}{AFR_{\text{aktual}}} = \frac{FAR_{\text{aktual}}}{FAR_{\text{stoikiometri}}} \quad (2-4)$$

Sumber: Wardana (2008)

- Disaat $\Phi > 1$ mengindikasikan terdapat kelebihan bahan bakar pada campuran (*Fuel rich mixture*).
- Disaat $\Phi < 1$ maka terdapat kekurangan bahan bakar pada campuran (*Fuel lean mixture*).
- Disaat $\Phi = 1$ maka campuran disebut stoikiometri.

2.7 Api Premixed Laminer

Pembakaran *premixed* merupakan pembakaran yang bahan bakar dan oksidator tercampur sempurna dan kemudian terbakar di zona reaksi. Pembakaran *premixed* bereaksi secara cepat dan terjadi biasanya pada tekanan yang tetap. Contohnya dapat dilihat saat proses pembakaran merambat ke arah reaktannya.



Gambar 2.2 Api *premixed* (a) dalam tabung pembakaran (b) pada *bunsen*
Sumber: Wardana (2008:152)

Api *premixed* laminar biasanya dapat ditemukan pada api *bunsen* dan api *premixed* yang merambat pada tabung pembakaran. Dalam tabung dimasukkan campuran bahan bakar dan oksidator. Saat ujung tabung diberikan aktivator (penyala) maka api akan

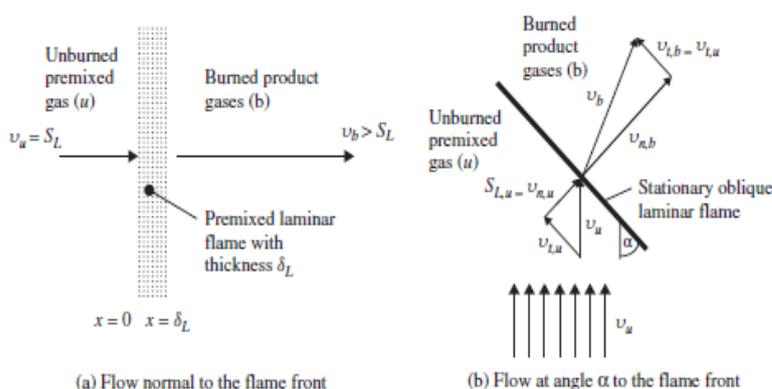
merambat dari satu sisi kesisi yang berlawanan. Pada salah satu sisi akan dihasilkan api produk dan sisi lain adalah reaktan.

Pada kenyataannya, api yang dihasilkan oleh cara tersebut tidak stabil dan butuh alat untuk menstabilkannya atau *burner* yang akan berinteraksi dengan proses aliran dan pembakaran. Dalam tabung api *premixed* berbentuk lembaran datar tipis dan merambat tegak lurus terhadap reaktan. Sedangkan pada bunsen, *premixed* berbentuk kerucut dengan dinding kerucut adalah permukaan api *premixed*. Kerucut yang dihasilkan *bunsen burner* ada dua yaitu kerucut sebelah dalam dan kerucut sebelah luar. Kerucut api sebelah dalam (dekat bibir *burner*) merupakan kerucut api *premixed* sedangkan kerucut api sebelah dalam adalah kerucut api difusi. Terjadinya kerucut pada *burner* diakibatkan oleh distribusi kecepatan reaktan pada bibir *burner* sesuai dengan hukum poesoil dengan kecepatan maksimal berada pada poros nosel.

Vektor kecepatan rambat api *premixed* S_L sejajar dengan reaktan V_U dan kecepatan produk V_t . Pada bunsen, garis reaktan membelok kedekat api dengan permukaan api. Suhu api yang mencapai 3000 K mengakibatkan densitas gas reaktan menurun sekitar 10 kali lipat. Dengan sifat fluida yang mengalir dari rapatan rendah ke rapatan yang lebih tinggi maka gas reaktan berbelok kearah api secara tegak lurus.

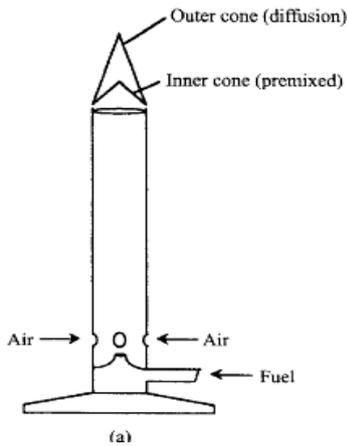
2.8 Kecepatan Api Laminer

Kecepatan api laminer dapat diartikan sebagai kecepatan normal reaktan *premixed* yang mengalir ke dalam zona api, dimana arah aliran reaktan tegak lurus dengan *flame front*. Kecepatan api juga dapat dihitung melalui perluasan api pada reaksi pembakaran.



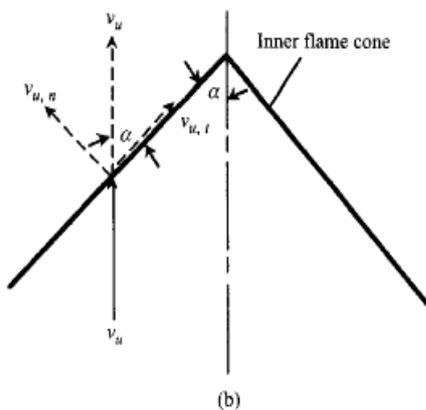
Gambar 2.3 (a) Aliran normal pada arah depan api, (b) Aliran pada sudut α pada bagian depan api
Sumber: Keneth (2005:46)

Pada *bunsen burner* bisa dihasilkan nyala api laminer, dimana pada *bunsen burner* terjadi api *premixed* dan juga api difusi disekitar api laminer.



Gambar 2.4 Skema bunsen burner dan nyala api
Sumber: Turn (2010:257)

Terlihat pada skema diatas terjadi nyala api pada *bunsen burner* dimana merupakan *dual flame*. Bagian yang kaya dengan bahan bakar dikelilingi api difusi. Api difusi terbentuk ketika karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) berikatan langsung dengan udara luar. Supaya api tetap dalam keadaan stasioner maka kecepatan api harus sama dengan kecepatan komponen gas yang tidak terbakar pada setiap bagiannya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 2.5 Vektor diagram kecepatan nyala api laminar
Sumber: Turn (2010:257)

Sehingga kecepatan api laminar dapat dihitung dengan rumus:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha \quad (2-5)$$

Sumber: Turn (2010)

Dimana:

S_L = Kecepatan api laminar (cm/s)

v = Kecepatan reaktan (cm/s)

α = Sudut api yang dihasilkan ($^{\circ}$)

Disamping itu kecepatan reaktan dapat dihitung dengan rumus:

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{Ab} \quad (2-6)$$

Sumber: Turn (2010)

Dimana:

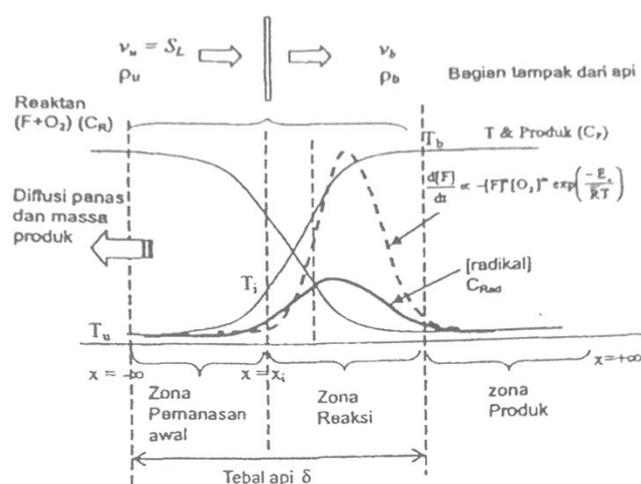
Q_{fuel} = Debit aliran bahan bakar (cm^3/s)

Q_{air} = Debit aliran udara (cm^3/s)

Ab = Luas melintang burner (cm^2)

2.9 Tebal dan Kecepatan Api

Tebal api premixed dapat dilihat melalui struktur api yang dihasilkan seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Detail struktur pada api *premixed*

Sumber: Wardana (2008:155)

Keterangan:

C_R = Konsentrasi reaktan

C_P = Konsentrasi produk

T = Distribusi temperatur

T_U = Temperatur reaktan

T_b = Temperatur produk

T_i = Temperatur penyalaan

C_{rad} = Konsentrasi radikal

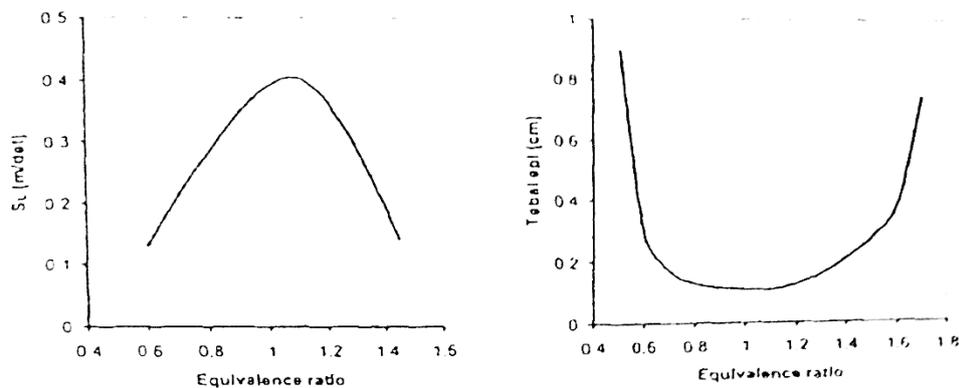
Gambar tersebut menyatakan bahwa temperatur produk lebih tinggi disbanding temperatur reaktan sehingga terjadi transfer panas dari produk menuju reaktan. Transfer yang terjadi meningkatkan temperatur reaktan, sehingga zona pemanasan awal temperaturnya meningkat dan terjadilah pembakaran. Hal tersebut terjadi secara terus-menerus menyebabkan api selalu merambat kearah reaktan. Disamping itu akibat dari

massa reaktan yang menurun saat bereaksi maka perbedaan konsentrasi reaktan akan memicu difusi massa reaktan menuju zona reaksi.

2.9.1 Faktor yang Mempengaruhi Tebal dan Kecepatan Api

2.9.1.1 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 2.7 Hubungan kecepatan api laminar dan tebal api terhadap rasio ekuivalen untuk CH₄ dengan tekanan udara 1 atm dan suhu 300 K

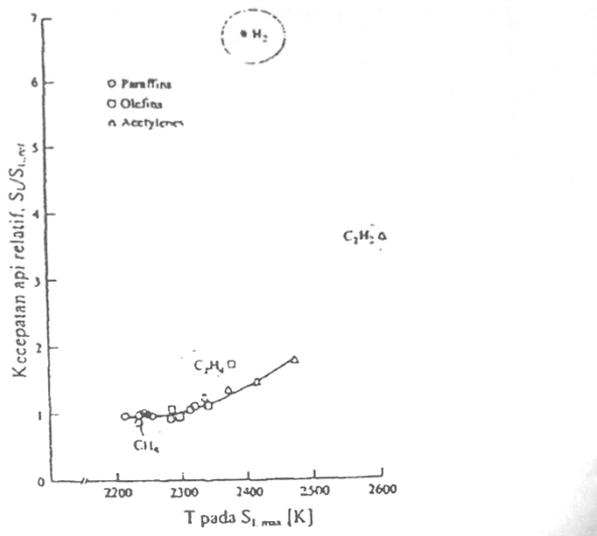
Sumber: Wardana (2008:165)

2.9.1.2 Jenis Bahan Bakar

Kecepatan api hidrokarbon C₃-C₆ dapat dikatakan memiliki garis temperatur sama karena hanya berbeda sangat kecil. Sedangkan C₂H₄ dan C₂H₂ memiliki kecepatan api lebih tinggi dibandingkan C₃-C₆. CH₄ memiliki kecepatan sedikit lebih rendah dari hidrokarbon C₃-C₆.

H₂ memiliki kecepatan yang sangat tinggi dibanding C₃H₆ disebabkan oleh:

- Difusivitas thermal H₂ jauh lebih besar dibandingkan bahan bakar hidrokarbon
- Difusivitas massa H₂ juga jauh lebih besar dibanding C₃H₆
- Tahapan reaksi CO → CO₂ yang relatif sangat lambat yang terdapat pada setiap pembakaran hidrokarbon tidak terdapat pada pembakaran H₂.



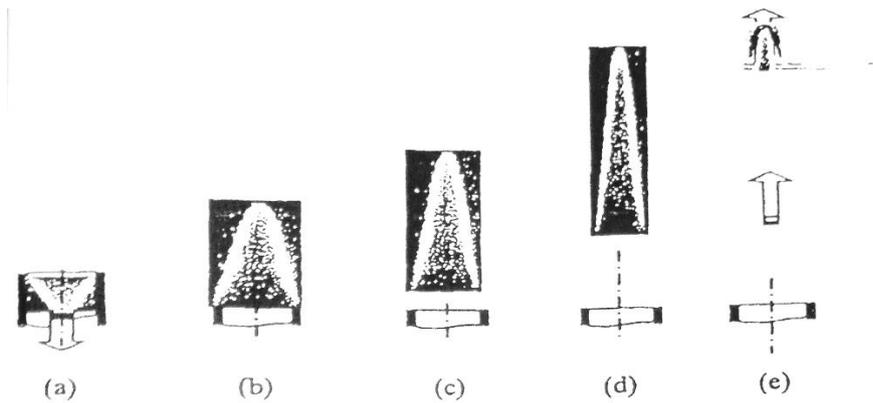
Gambar 2.8 Kecepatan api pada berbagai jenis bahan bakar
Sumber: Wardana (2008:165)

2.10 Flashback dan Liftoff pada Api Premixed

Flashback dapat diartikan sebagai kejadian dimana kecepatan campuran lebih lambat dari kecepatan pembakarannya. Sehingga nyala api kembali masuk kearah tabung pembakaran tanpa mengalami *quenching* (pendinginan).

Peristiwa ini dapat membahayakan pengguna. Hal ini terjadi ketika campuran reaktan yang cukup kaya secara tiba-tiba kecepatan alirannya dikurangi atau langsung ditutup. Kecepatan nyala api akan meningkat seketika dan secara langsung merambat kearah selang dan masuk kedalam tabung kestabilan *flashback* gas CH_4 lebih tinggi dibandingkan bahan bakar hidrokarbon lainnya karena tingginya kecepatan api H_2 pada bahan bakar hidrokarbon yang tidak dimiliki gas CH_4 .

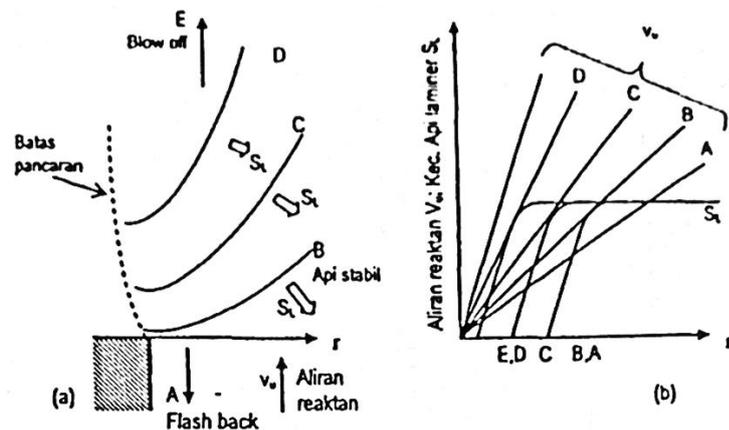
Liftoff adalah keadaan dimana nyala api tidak menyentuh permukaan tabung pembakaran, tetapi nyala api tetap stabil pada jarak tertentu dari mulut tabung. Kejadian ini bergantung pada keadaan api dan aliran yang terjadi didekat mulut tabung pembakar. Pada kecepatan yang pelan, api akan menyentuh mulut nosel. Saat kecepatan reaktan ditingkatkan maka sudut api juga akan semakin mengecil dan hulu api semakin menjauhi bibir nosel (*lifted*) hingga akhirnya api akan padam karena kecepatan reaktan jauh lebih tinggi dibanding kecepatan nyala api (*blowoff*).



Gambar 2.9 (a) Flashback, (b) Stabil, (c) Liftoff, (d) Lifted, (e) Blowoff
Sumber: Wardana (2008:169)

2.11 Stabilitas Api Premixed

Stabilitas api sangat penting dalam pembakaran. Api yang stabil terjadi disaat kecepatan reaktan sama dengan kecepatan rambat api.



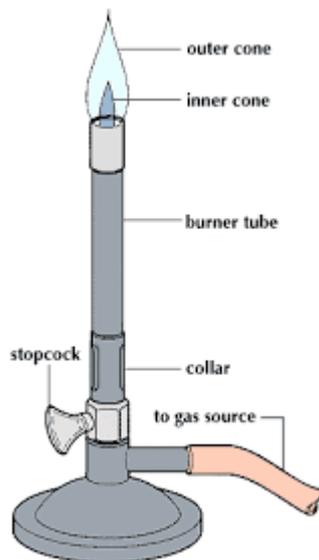
Gambar 2.10 Mekanisme stabilitas api *premixed* (a) Bagian kerucut api, (b) Gradien kecepatan api dan reaktan
Sumber: Wardana (2008:171)

Gambar diatas menunjukkan bahwa jika kecepatan nyala api lebih tinggi dibandingkan kecepatan gas reaktan maka akan terjadi peristiwa *flashback*, sebaliknya jika kecepatan reaktan lebih tinggi dibandingkan kecepatan nyala api maka akan terjadi peristiwa *liftoff* atau bahkan dapat terjadi *blowoff*. Melalui Gambar (b) juga dapat dilihat bahwa katidastabilan api terjadi diluar garis singgung kecepatan reaktan dan kecepatan api laminernya, yang dapat berupa *flashback*, *liftoff* dan *blowoff*. Pada Gambar (b) api pembakaran yang stabil ditunjukkan saat garis kecepatan reaktan bersinggungan dengan garis kecepatan api laminar.

2.12 Bunsen Burner

R. Bunsen tercatat sebagai penemu dari alat pembakaran api *premixed bunsen burner* di tahun 1855. *Bunsen burner* awalnya dikembangkan karena efektifitas termal api difusi (yang sebelumnya sudah diketahui) jauh lebih rendah dibandingkan api *premixed* pada *bunsen*. Kerja *bunsen burner* cukup sederhana dimana bahan bakar dimasukkan kedalam *feedline* yang berada dibawah *bunsen*. Saat bahan bakar mengalir keatas bahan bakar akan tercampur dengan dengan udara secara homogen sesaat sebelum sampai kebagian atas *burner*. Jika reaktan mengalir dengan konstan terus-menerus dengan tekanan yang konstan pula maka keadaan api *premixed* pada *bunsen burner* akan tetap diam dan stabil.

Disamping penggunaan *bunsen burner* yang mudah, alat ini juga memiliki kekurangan yaitu tidak dapat digunakan untuk kecepatan api yang tinggi dan akurasi yang kurang baik.



Gambar 2.11 Skema api *premixed* pada *Bunsen Burner*
Sumber: Horale Parning (2004)

2.13 Nilai Bilangan *Reynold*

Bilangan *Reynold* merupakan bilangan yang sangat penting dalam hitungan mekanika fluida. Bilangan tak berdimensi ini sangat erat ikatannya dengan kecepatan aliran fluida. Dengan bilangan ini kecepatan aliran dapat diidentifikasi sebagai aliran laminar, turbulen, atau transisi.

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.

$$Re = \frac{\rho UD}{\mu} = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{Viskositas}} \quad (2-7)$$

Sumber: Wardana (2008)

Dimana:

Re : Bilangan *Reynold*

U : Kecepatan fluida (m/s)

D : Diameter pipa (m)

μ : Viskositas fluida dinamis (kg/m.s)

ρ : Kerapatan fluida (kg/m³)

Kecepatan aliran dapat diklasifikasikan melalui besar bilangan *Reynold*-nya sendiri yaitu:

- Bilangan $Re < 2000$ maka aliran disebut aliran laminar
- Bilangan Re berada antara 2000-4000 maka aliran disebut aliran transisi
- Bilangan $Re > 4000$ maka aliran disebut aliran turbulen

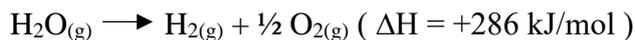
2.14 Kadar Uap Air

Kadar uap air udara (kelembaban) dapat diartikan sebagai konsentrasi uap air yang dimuat dalam udara. Semakin hangat suhu udara pada suatu wilayah maka kadar uap air udara akan meningkat. Sebaliknya semakin rendah suhu udara suatu wilayah maka kadar uap air udara akan menurun. Alat yang digunakan untuk menghitung kadar uap air udara disebut *hygrometer*.

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 H₂O dapat diuraikan dan dapat dibentuk. Penguraian H₂O membutuhkan kalor sebesar 286 kJ/mol untuk membentuk H₂ dan O₂. Berikut reaksi pembakaran H₂O:



Adapun kelembaban udara dibagi atas dua jenis yaitu:

1. Kelembaban Absolut/ Mutlak

Didefinisikan sebagai massa dari uap air pada volume tertentu campuran udara atau gas, dan umumnya dilaporkan dalam gram per meter kubik (g/m³).

$$HA = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{V} \quad (2-8)$$

Dimana:

P_A : Kelembaban absolut

mH_2O : Massa uap air

V : Volume udara

2. Kelembaban Relatif

Membandingkan antara kandungan/ tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau disebut kapasitas udara untuk menampung uap air. Kapasitas udara untuk menampung uap air tersebut (pada keadaan jenuh) ditentukan oleh suhu udara.

$$RH = \left(\frac{e_a}{e_s} \right) \times 100\% \quad (2-9)$$

Keterangan:

RH : Kelembaban relatif

e_a : Kandungan uap air

e_s : Kapasitas udara

2.15 Hipotesis

Dengan menambahkan H_2O kedalam campuran bahan bakar dan udara (reaktan) menghasilkan kecepatan api laminar yang menurun karena uap air (H_2O) mampu memperlambat laju pembakaran. Ikatan C (karbon) dan O (oksigen) sebagai faktor yang mempengaruhi menurunnya laju pembakaran. Disamping itu temperatur akan terus meningkat hingga batas kadar uap air yang dapat diterima nyala api. Ikatan H_2 adalah faktor yang mempengaruhi temperatur nyala api tersebut.

