

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Widodo (2015) meneliti pengaruh jarak optimum panci terhadap selubung pada efisiensi sistem pemanasan air. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan selubung dapat meningkatkan efisiensi sistem pemanasan air. Pada penelitian ini efisiensi sistem pemanasan terjadi paling tinggi pada celah sebesar 4 mm karena terjadi kondisi optimum untuk berlakunya perpindahan panas secara radiasi dan konveksi.

Khan dan Saxena (2013) melakukan penelitian tentang performa kompor gas LPG menggunakan desain *burner head* yang berbeda. Pada penelitian ini digunakan *burner head* dengan desain yang berbeda dan material berbeda. Ditemukan bahwa *burner head* dengan material kuningan menghasilkan efisiensi sistem pemanasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *burner head* yang terbuat dari besi tuang. Dalam penelitian ini juga ditemukan bahwa *burner head* dengan desain *flat face* menghasilkan efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan *flower face* dan *regular burner head*.

Wei, et al. (2016) meneliti tentang pengaruh penambahan H₂ dan CO₂ terhadap karakteristik perpindahan panas dari api bunsen biogas premixed laminar. Dalam penelitian tersebut, diteliti lebih lanjut tentang pengaruh-pengaruh dari penambahan gas H₂ dan CO₂ pada biogas yang terdiri dari 60% CH₄ dan 40% CO₂. Ditemukan bahwa penambahan gas CO₂ dan H₂ dapat melakukan perubahan kepada karakteristik perpindahan panas dari pembakaran biogas tersebut.

Kurnia (2017) menganalisa tentang pengaruh *air to fuel ratio* terhadap efisiensi sistem pemanasan pada *porous radiant burner*. Pada penelitian ini, beban yang dipanaskan adalah air dengan volume 1,5 L dan titik didih air sebagai acuan adalah 92^oC. Pada penelitian ini ditemukan bahwa semakin nilai *air to fuel ratio* actual mendekati nilai *air to fuel ratio stoichiometry* atau nilai *equivalence ratio* (Φ) mendekati 1, maka efisiensi sistem pemanasan akan semakin tinggi, dan apabila semakin menjauhi 1, akan semakin rendah. Efisiensi tertinggi didapatkan pada *equivalence ratio* (Φ)=0,93 dan terendah pada *equivalence ratio* (Φ)=2,78.

Buffam dan Cox (2008) meneliti tentang pengukuran kecepatan api laminar campuran metana dan udara dengan *slot burner* dan *bunsen burner*. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dua apparatus pembakaran untuk mengevaluasi kecepatan api laminar dengan macam macam ukuran api dengan burner yang berbeda. *Slot burner*

digunakan dengan ukuran yang berbeda beda sebanyak 4 jenis. Dalam *bunsen burner* paling tertinggi pada *equivalence ratio* hampir mendekati stoikiometrinya.

2.2 LPG

Liquified Petroleum Gas adalah *propane* komersial dan *butane* komersial. *Propane* komersial terdiri dari 90% *propane* dan *propylene* sedangkan sisanya *ethane*, *ethene*, *butane*, *butene*. Temperatur penguapan dari jenis ini adalah lebih kecil atau sama dengan 15⁰C dan Tekanan uapnya antara 11,5 sampai 19,3 bar gauge pada 50⁰C dan bentuk yang lainnya adalah *Liquified Petroleum Gas butane* komersial. Sebagian dari komposisi gas di dominan *butane* dan *butene*. Sedangkan *propylene* dan *propane* mengandung kurang dari 19%. Pada suhu 50⁰C tekanan uapnya kurang dari atau sama dengan 6.9 bar gauge. Temperatur penguapan LPG jenis ini kurang dari atau sama dengan 1⁰C

LPG yang diproduksi oleh PT.Pertamina terbagi menjadi 3 yaitu:

1. LPG *Propane*

95% *propane* dan mempunyai bau yang menyengat dan digunakan untuk kebutuhan khusus.

2. LPG *Butane*

Bahan bakar untuk kebutuhan industri adalah bahan bakar jenis ini. Terdiri dari 97,5% *butane* dan mempunyai bau yang menyengat.

3. LPG Campuran

Bahan bakar LPG digunakan untuk kebutuhan rumah, industri dan komersial. Terdiri dari campuran *propane* dan *butane*. Terdiri dari 50% volume *butane* dan 50% *propane* dan mempunyai bau yang menyengat.

2.3 Pembakaran

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

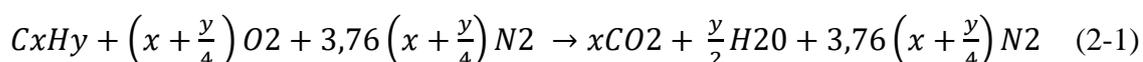
1. Bahan Bakar
2. Pengoksidasi (Oksigen atau Udara)
3. Panas atau Energi Aktivasi

Ketika dioksidasi bahan bakar akan melepas panas. Bahan bakar secara umum mengandung unsur unsur Hidrogen (H), karbon (C), Oksigen (O), sulfur (S), dan nitrogen

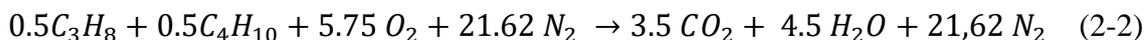
(N). Sementara oksigen (Udara) akan bereaksi terhadap udara yang berfungsi sebagai oksidator.

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

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



Persamaan diatas merupakan persamaan yang ideal dimana hasil dari pembakaran adalah pembakaran yang sempurna. Dalam penelitian menggunakan bahan bakar LPG dimana menggunakan LPG dengan kandungan 50% butana dan 50% propana sehingga persamaan dalam pembakaran untuk LPG adalah :



2.3.1 Reaksi Kimia Pembakaran

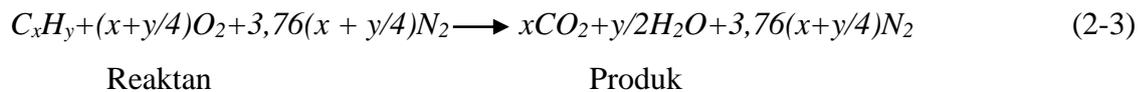
Keadaan terjadinya pembakaran sempurna pada campuran udara dan bahan bakar pada jumlah yang tepat disebut pembakaran stoikiometrik. Pembakaran akan menghasilkan air dan karbondioksida jika terjadi secara stokiometrik

Tabel 2.1 Komposisi udara kering

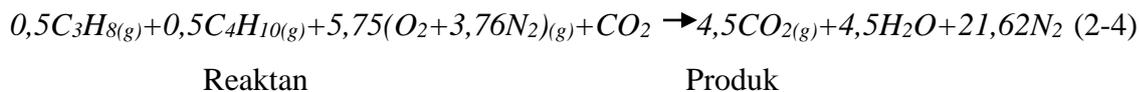
Udara	Proporsi Volume %		Proporsi massa%	
	Aktual	Penggunaan	Aktual	Penggunaan
Nitrogen	78,03	79	75,45	76,8
Oksigen	20,99	21	23,20	23,2
Argon	0,94	0	1,30	0
CO ₂	0,03	0	0,05	0
Gas lainnya	0,01	0	-	0

Sumber: Wardana (2008)

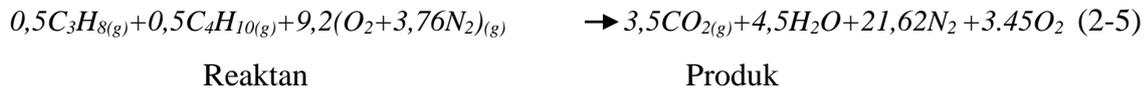
Dari tabel 2.1 apabila gas-gas argon, CO₂ dan gas lainnya diabaikan maka prosentase komposisi gas di udara bebas adalah 21% oksigen dan 79% nitrogen. Dengan demikian maka ketika setiap penggunaan 1 mol O₂ yang terkandung di udara pada suatu reaksi pembakaran, secara otomatis akan mencakup penggunaan $\left(\frac{79}{21}\right) = 3,76$ mol N₂. Maka reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon C_xH_y Dapat di tulis dengan persamaan (2-1):



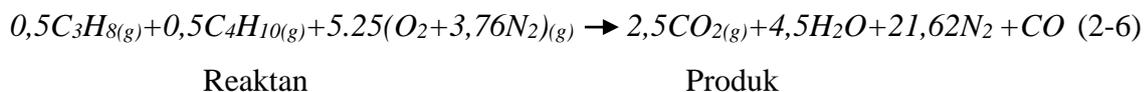
Dari persamaan reaksi pembakaran stokiometrik, maka pembakaran untuk bahan bakar LPG yang komposisi 50% propana dan 50% butane dengan penambahan CO₂ adalah:



Persamaan kaya udara :



Persamaan kaya bahan bakar :



2.3.2 Air Fuel Ratio (AFR)

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

$$AFR = \frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} \quad (2-7)$$

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \quad (2-8)$$

(Wardana, 2008:58-59)

Keterangan:

AFR = Rasio udara dan bahan bakar dalam kondisi stoikiometrik

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

N_{udara} = Jumlah mol udara (mol)

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

M_{udara} = Massa udara (kg)

- Sehingga nilai AFR berdasarkan mol untuk LPG (50% butana dan 50% propana) dari persamaan reaksi pembakaran (2-4)

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

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

- Perhitungan AFR stokiometri LPG berdasarkan massa

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

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

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

Diketahui :

- Massa jenis udara pada 27° C adalah 0,0012gr/cm³.
- Massa jenis LPG (50% propana dan 50% butana) adalah 0,002155 gr/cm³.

➤ menghitung *volume* udara dan LPG menggunakan persamaan :

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2-9)$$

$$V_{\text{udara}} = \frac{m}{\rho} = \frac{789,36}{0,0012} = 657.800 \text{ cm}^3$$

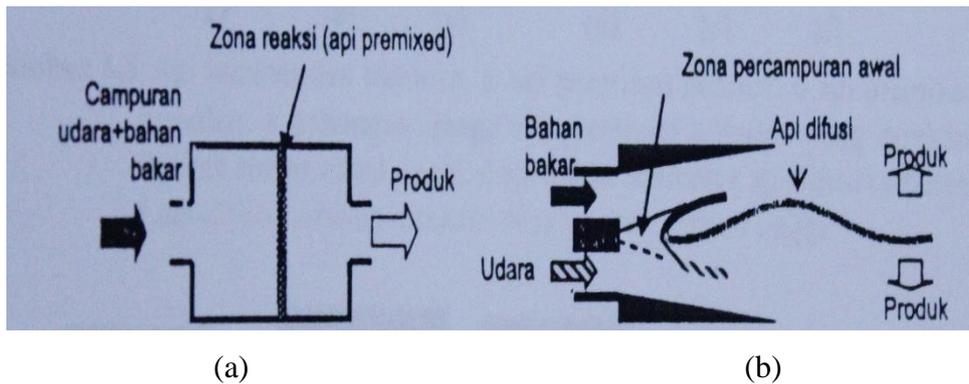
$$V_{\text{LPG}} = \frac{m}{\rho} = \frac{51}{0,002155} = 23.665,89 \text{ cm}^3$$

➤ Sehingga perbandingan *volume* antara LPG dan udara dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{array}{lcl} V_{\text{udara}} & : & V_{\text{bahan bakar}} \\ 657.800 \text{ cm}^3 & : & 23.665,89 \text{ cm}^3 \\ 27,57 \text{ mL} & : & 1 \text{ mL} \end{array}$$

2.4 Klasifikasi Pembakaran

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



Gambar 2.1 Cara reaktan terbakar (a) Pembakaran Difusi (b) Pembakaran *Premixed*
Sumber : Wardana (2008:149)

Udara dan bahan bakar bercampur di zona reaksi akibat dari difusi molekul dan telah bercampur secara sempurna kemudian terbakar secara sempurna ditunjukkan pada gambar 2.1a, sedangkan pada gambar 2.1 b menunjukkan pencampuran udara dan bahan bakar sebelum masuk kedalam ruang bakar lalu terbakar di dalam zona reaksi. Dalam proses reaksinya berlangsung pada tekanan tetap dan sangat cepat.

2.5 Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran yang mempunyai sistem pengoksidasi (O_2 atau Udara) dan bahan bakar dicampur dengan cara mekanik, tetapi proses bercampurnya sendiri secara alami dengan proses difusi. Ketika pencampuran udara dan bahan bakar mendekati kondisi stoikiometrik, dan api melepaskan panas di daerah pencampuran tersebut sudah cukup maka pembakarannya akan berlangsung. Contoh pembakaran difusi yang dapat kita lihat adalah nyalanya api pada lilin.

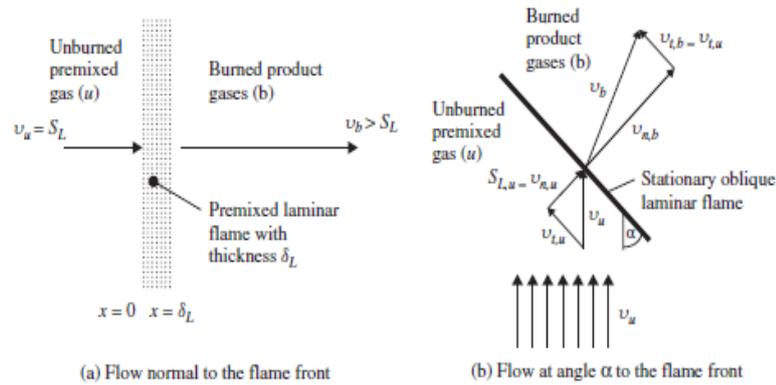
2.6 Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) bercampur secara sempurna kemudian terbakar di zona reaksi. Proses reaksinya berlangsung secara cepat dan biasanya pada tekanan tetap. Sisi bahan bakar menjadi bahan bakar menjadi api kaya akan bahan bakar dan di sisi udara menjadi api kaya udara atau bahan bakar yang miskin.

Pembakaran *premixed* punya nilai lebih dari pembakaran difusi adalah efisiensi pembakaran yang tinggi, dikarenakan bahan bakar dan udara telah bercampur sebelum masuk dalam reaksi pembakaran. Temperatur bahan bakar salah satu faktor dalam membuat polutan dapat dikontrol dengan cara mengatur perbandingan antara bahan bakar dan udara. Dengan pembakaran dalam kondisi stoikiometri membuat bahan bakar dapat terbakar seluruhnya dan tidak ada bahan bakar yang terbentuk pada produk pembakaran.

2.7 Kecepatan Api laminar

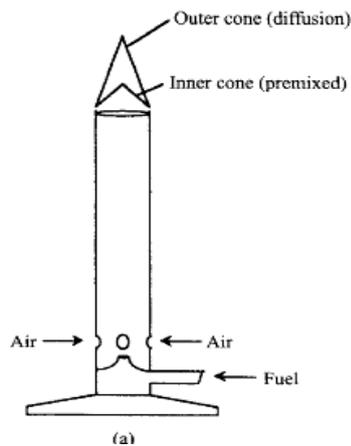
Kecepatan api laminar bisa didefinisikan sebagai kecepatan normal reaktan *premixed* yang mengalir ke dalam zona api ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a), dimana arah aliran reaktan tegak lurus dengan bagian *flame front*. Kecepatan api merupakan nilai yang bisa diukur dari perluasan api dalam reaksi pembakaran.



Gambar 2.2 (a) Aliran normal pada arah depan api, (b) Aliran pada sudut α pada bagian depan api

Sumber : Keneth (2005:46)

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



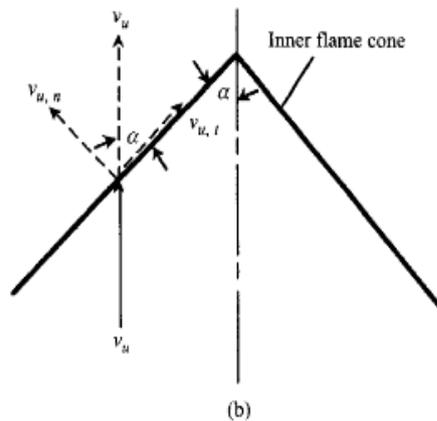
Gambar 2.3 Skema *bunsen burner* dan nyala api

Sumber : Turn (2010:257)

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

Gambar 2.3 menunjukkan skema dan bagaimana nyala api dihasilkan. Jenis nyala *bunsen burner* merupakan *dual-flame*, dimana bagian yang kaya akan bahan bakar akan dikelilingi oleh api difusi. Api difusi sendiri dihasilkan ketika Karbon Monoksida dan Hidrogen dihasilkan dari bagian dalam api yang bersentuhan langsung dengan udara sekitar. Agar api yang dihasilkan; tetap stasionaris, kecepatan api harus sama dengan

kecepatan normal komponen dari gas yang tidak terbakar pada tiap tiap bagiannya. Hal ini dapat dijelaskan dengan penggambaran vektor diagram



Gambar 2.4 Vektor diagram kecepatan nyala api laminar
Sumber : Turn (2010:257)

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

$$S_L = v \cdot \sin \alpha \quad (2-10)$$

dengan:

S_L = kecepatan api laminar (cm/s)

v = kecepatan reaktan (cm/s)

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

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

$$v = \frac{Q_{fuel} + Q_{air}}{Ab} \quad (2-11)$$

Dengan:

Q_{fuel} = debit aliran bahan bakar [cm^3/s]

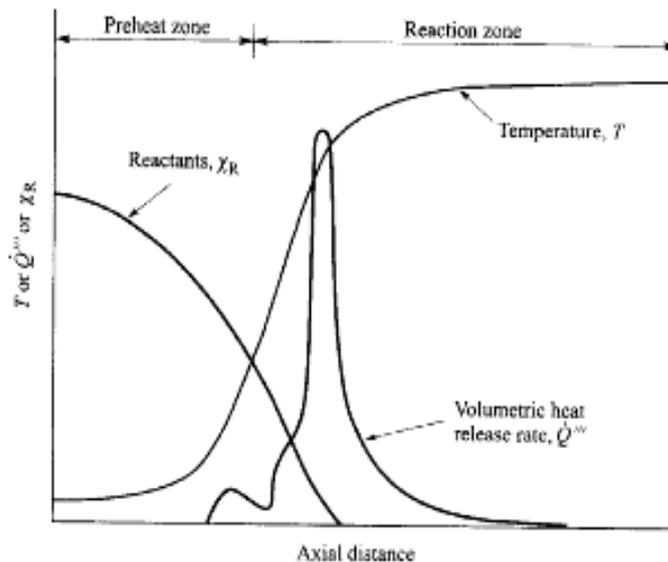
Q_{air} = debit aliran udara [cm^3/s]

Ab = luas bagian melintang *burner* [cm^2]

2.8 Klasifikasi Nyala Api

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

Pembakaran *premixed* rasio antara bahan bakar dan udara merupakan faktor yang mempengaruhi hasil dari pembakaran. Rasio dari campuran bahan bakar dan udara dapat digambarkan dalam beberapa parameter yaitu *Air to Fuel Ratio* (AFR) dan Rasio Ekuivalen (Φ)



Gambar 2.5 Struktur Temperatur dan Heat Release Rate Nyala Api Laminar
Sumber : Turn (2010:255)

menjelaskan grafik struktur temperature dan *heat release rate*, dimana terdapa 2 bagian pada nyala api laminar

- *Zona pre-heat*

Pada temperature gas yang tidak mengalami pembakaran meningkat sampai pada suatu titik yang berubah ubah dan melepaskan sedikit kalor.

- *Zona Reaksi*

Dimana daerah tempat terjadinya pembakaran langsung dan sebagian besar energi kimia dilepaskan, dalam bentuk panas.

2.9 *Equivalence Ratio* (Φ)

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

$$\Phi = \frac{\text{AFR(stoikiometri)}}{\text{AFR(aktual)}} \quad (2-12)$$

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

2.10 Stabilisasi Nyala Api

Kesetimbangan antara laju aliran massa dinamik gas yang melibatkan kekelan momentum, kekelasan massa, dan kekelan energi

Ada beberapa kesetidakstabilan dalam *bunsen burner*:

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

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

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

2.10.1 *Flashback*

Flashback adalah ketika kecepatan pembakaran lebih cepat dari kecepatan campuran udara dan bahan bakar, sehingga nyala api kembali masuk dan merambat

kedalam tabung pembakarannya. Peristiwa ini kadang disebut peristiwa *light back* atau *back fire*.

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

2.10.2 Lift off

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

Nyala api dan aliran didekat mulut burner menjadi faktor dalam fenomena *lift off*. Pada saat keadaan ujung terbawah nyala api dekat dengan bibir tabung atau api yang menempel pada mulut *burner* disebabkan oleh kecepatan aliran yang cukup rendah.

Meningkatnya kecepatan aliran yang terjadi mencapai kecepatan kritis ujung nyala akan menjauh dari ujung pembakar dan nyala api terangkat dan jika kecepatan terus ditambahkan maka api nyala kasar akan padam.

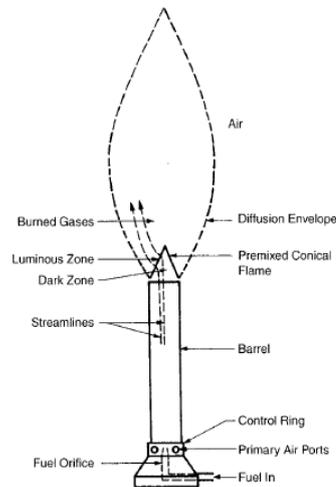
2.10.3 Blow off

Dimana keadaan nyala api akan padam diakibatkan karena kecepatan aliran yang besar dari laju nyala api atau kecepatan pembakaran. Kondisi ini memakan banyak bahan bakar dan jika terjadi secara terus menerus akan merusak nosel pembakar. Untuk menghindari terjadinya *Blow off* aliran bahan bakar maksimal sebelum *blow off* agar tidak merusak nosel.

2.11 Bunsen Burner

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

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



Gambar 2.6 Skema *Premixed Flame* Ditunjukkan Pada *Bunsen Burner*
Sumber : Haber, 2007

2.12 Bilangan Reynolds

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

Bilangan Reynolds merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan *dynamic similitude*. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis.

Rumus bilangan Reynolds umumnya adalah sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{viskositas}} \quad (2-13)$$

Dimana:

- Re – bilangan reynolds
- U – kecepatan fluida [m/s]

- d – diameter pipa [m]
- μ – viskositas absolut fluida dinamis [kg/m.s]
- ρ – kerapatan (densitas) fluida [kg/m³]

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

Dilihat dari kecepatan aliran, dapat diasumsikan/dikategorikan sbb:

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

Berikut adalah hasil perhitungan bilangan reynolds pada *Bunsen burner* dan *slot burner*.

2.13 Efisiensi Sistem Pemanasan

Efisiensi pada penelitian ini didefinisikan sebagai perbandingan energi yang diserap oleh air dan material yang digunakan untuk menampung air dengan energi yang dihasilkan oleh bahan bakar. Pada penelitian kali ini, material yang digunakan untuk menampung air dalam uji efisiensi adalah gelas *pyrex*, perhitungan efisiensi sistem pemanasan dapat terlihat pada persamaan berikut:

$$\eta = \frac{((ma.Ca)+(mp.Cp)).\Delta T}{mbb.t.LHVbb} \times 100\% \quad (2-14)$$

Dimana:

ma – massa air

Ca – panas jenis air

mp – massa *pyrex*

Cp – panas jenis *pyrex*

ΔT – perbedaan awal dan temperatur akhir air

t – waktu pemanasan air hingga mendidih

Mbb – massa bahan bakar

$LHVbb$ – nilai kalor bahan bakar.

2.14 Hipotesis

Penambahan gas CO₂ akan menurunkan temperatur dari api yang terjadi akibat pembakaran, sehingga panas yang dihasilkan menurun dan efisiensi sistem pemanasan menurun. Karakteristik nyala api akan dipengaruhi oleh luas penampang *burner* dan besarnya penambahan gas CO₂.