

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam suatu teknik pembakaran, keberhasilan pembakaran seperti yang ditunjukkan pada perhitungan secara teoritis sesuai dengan aspek termodinamika pembakaran di pengaruhi langsung oleh bagaimana proses pembakaran itu berlangsung. Pada proses pembakaran bahan bakar gas, perlu diketahui Fenomena Nyala (*flame*) dan perjalanan nyala (*flame propagation*) sebagai pengetahuan dasar, serta batas nyala (*flammability limits*) suatu senyawa atau campuran gas yang dapat dipergunakan untuk mengetahui apakah suatu senyawa campuran gas dapat terbakar. Keberhasilan pemanfaatan praktis dari suatu sistim pembakaran dipengaruhi langsung oleh proses pembakaran yang terjadi dan karakteristik nyala pembakaran.

Dalam bidang teknik pembakaran terdapat berbagai macam kategori nyala, dan sebagian diantaranya belum sepenuhnya terdefinisikan. Tapi pada dasarnya nyala itu dapat dikelompokkan menjadi dua kategori nyala berdasarkan metode pencampuran dari reaktan, yaitu nyala api *premix* dan nyala api difusi.

#### **2.1 NYALA *PREMIXED***

Pada pembakaran *premixed*, bahan bakar gas dan oksidan secara sempurna dicampur terlebih dahulu sebelum pengapian (*ignition*). Pengapian diperlukan untuk memberikan sejumlah energi dalam bentuk yang sesuai, sehingga dapat menilai suatu proses pembakaran. Selanjutnya akan terjadi penjaran (*propagation*) ke campuran, sebagai suatu nyala (*flame*) atau *deflagration*.

Energi minimum yang diperlukan untuk melakukan pengapian suatu campuran bahan bakar dan udara, yang dapat terbakar disebut sebagai *Minimum Ignition Energy* (MIE). Laju pembakaran pada *premixed flame* pada umumnya tinggi, ditentukan oleh kinetika kimiawi dari proses oksidasi (*chemical kinetics of oxydation*). Nyala api *premix* dengan sepenuhnya jarang digunakan karena alasan

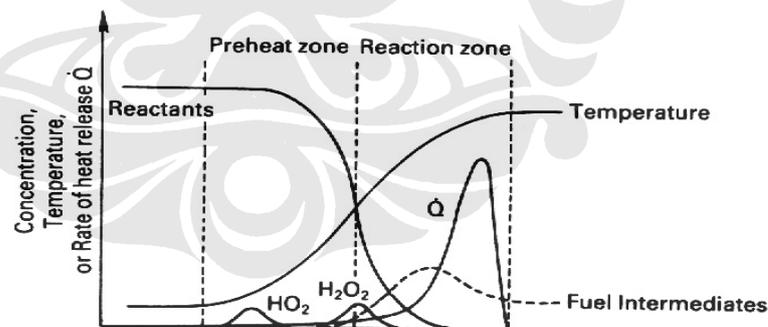
keselamatan. Bunsen burner, kompor gas, mesin otto, dan mesin turbin gas merupakan beberapa contoh aplikasi dari nyala api premix.



Gambar 2.1 Nyala konis didekat pancaran suatu kompor gas merupakan nyala api *premix* [5]

Dalam struktur nyala *premixed* laminar, profil temperatur dan konsentrasi dapat dibagi kedalam tiga zona, yaitu :

- (i) zona *Pre-heat*, dimana temperatur gas yang tidak terbakar meningkat sampai suatu nilai yang berubah-ubah, dan sedikit panas yang dilepaskan.
- (ii) zona reaksi, dimana pembakaran berlangsung, sebagian besar energi kimia dilepaskan.
- (iii) zona *post-flame*, ditunjukkan dengan temperatur yang tinggi dan pengkombinasian ulang (*recombination*) yang radikal, menuju suatu keseimbangan setempat.



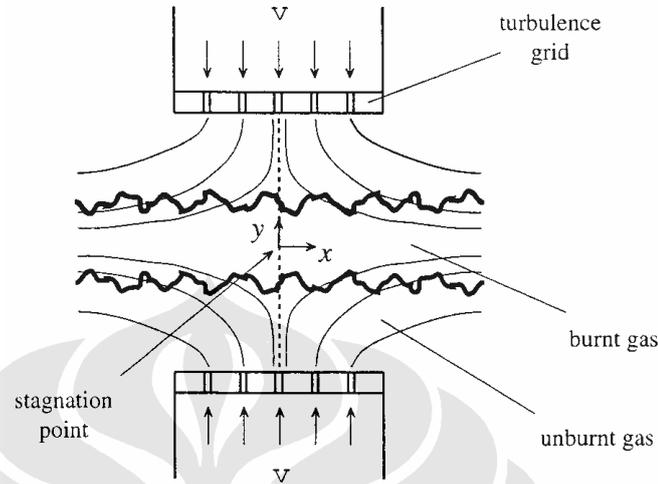
Gambar 2.2 Struktur nyala laminar [6]

Zona (ii) adalah bagian *flame* yang dapat dilihat dan memiliki ketebalan sekitar 1 mm bahan bakar hidrokarbon pada tekanan ambien.

### 2.1.1 Counter Flow Premixed Flame

Modifikasi geometri aliran stagnasi yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini merupakan salah satu konfigurasi aliran berlawanan, dimana dua

bentuk nyala api distabilkan oleh aliran simetris dari dua nosel. Pada kondisi ini terjadi pencampuran bahan bakar dan udara sebelum memasuki zona reaksi. Sehingga nyala yang terjadi dikenal dengan *counter flow premixed flames*.



Gambar 2.3 *Turbulent counter flow premixed flames* [7]

Pada kondisi aliran laminar, komponen kecepatan pada arah sumbu  $y$  akan semakin turun dari suatu nilai tertentu pada keluaran nosel sampai nol pada titik stagnasi, dan tidak dipengaruhi oleh variabel pada arah  $x$ . Sehingga permukaan nyala akan normal pada arah sumbu  $y$ . Kelemahan dari konfigurasi ini adalah eksistensi dari *mean strain* dan kenyataan bahwa dua permukaan nyala mungkin berhubungan satu sama lain.

Terdapat sejumlah penelitian yang telah menggunakan konfigurasi ini untuk mempelajari struktur dari *turbulent premixed flames*, diantaranya Alejandro Biones [8] yang mempelajari mengenai pengaruh tekanan terhadap nyala api premix sebagian pada medan aliran berlawanan dengan reaktan  $H_2$ -udara. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan kenaikan tekanan, ketebalan masing-masing zona reaksi (*reaction zone*) akan semakin turun, dan yang paling penting jarak antara masing-masing zona reaksi akan semakin turun juga.

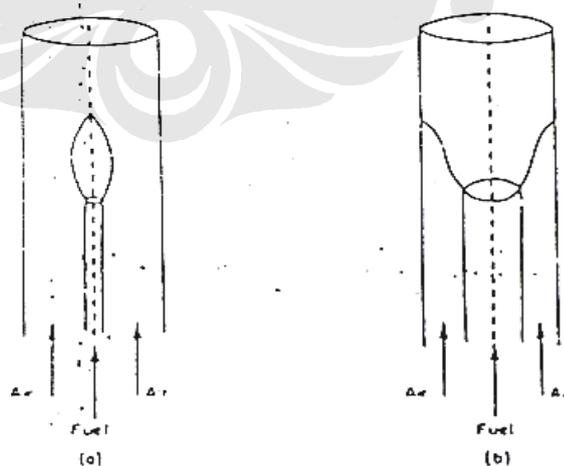
## 2.2 NYALA DIFUSI

Pada pembakaran *Diffusion Flame*, bahan bakar dan oksidan (udara) pada awalnya terpisah. Pembakaran akan berlangsung pada daerah dimana bahan bakar dan udara kemudian bercampur. Aliran bahan bakar yang keluar dari ujung nosel

akan bercampur dengan udara secara difusi. Jika diberi pengapian campuran ini akan terbakar bila konsentrasi bahan bakar dan udara terdapat dalam jangkauan batas nyalanya. Pemunculan dari nyala akan bergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pancaran bahan bakar terhadap udara disekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala *premix*. Nyala difusi dapat berupa nyala laminar (*Laminar Flame*) atau nyala turbulen (*Turbulent Flame*).

### 2.2.1 Struktur Nyala Difusi Laminar

Nyala laminar (*Laminar Flame*) diperoleh pada laju aliran bahan bakar yang rendah. Bentuk dari nyala difusi dapat dibedakan menjadi dua bentuk nyala berdasarkan perbandingan diameter nosel pembawa udara. Jika diameter nosel pembawa udara relatif besar, sehingga dapat memberikan udara yang cukup untuk pembakaran yang sempurna, maka akan terbentuk *overventilated flame* yakni batas nyala akan konvergen terhadap sumbu dari nosel. Sebaliknya jika diameter nosel pembawa udara terlalu kecil, sehingga tidak dapat mensuplai udara yang cukup untuk pembakaran yang sempurna, maka akan terbentuk *underventilated flame* yakni permukaan nyala akan membesar dan menyentuh permukaan dalam nosel pembawa udara. Bentuk dari *overventilated flame* dan *underventilated flame* ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 (a) *Overventilated flame* dan (b) *Underventilated flame*

Nyala difusi laminar dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu nyala difusi jet bebas, nyala difusi jet konsentrik, dan nyala difusi *counter flow*.

### 2.2.2 Struktur Nyala Difusi Turbulen

Jika laju pancaran bahan bakar pada nyala laminar dipercepat, maka mulai muncul aliran turbulen. Munculnya turbulen pada ujung nyala (*flame tip*), akan menyebabkan tinggi nyala berkurang dengan meningkatnya laju aliran dan mencapai nilai konstan pada nyala yang turbulen sepenuhnya. Bentuk transisi dari laminar menjadi turbulen terjadi pada saat bilangan Reynolds aliran ( $Re$ ) lebih dari 4000. Hubungan antara tinggi momentum nyala nosel sebagai fungsi kecepatan nosel ditunjukkan sebagai perubahan nyala turbulen. Bentuk nyala turbulen dapat ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah ini.



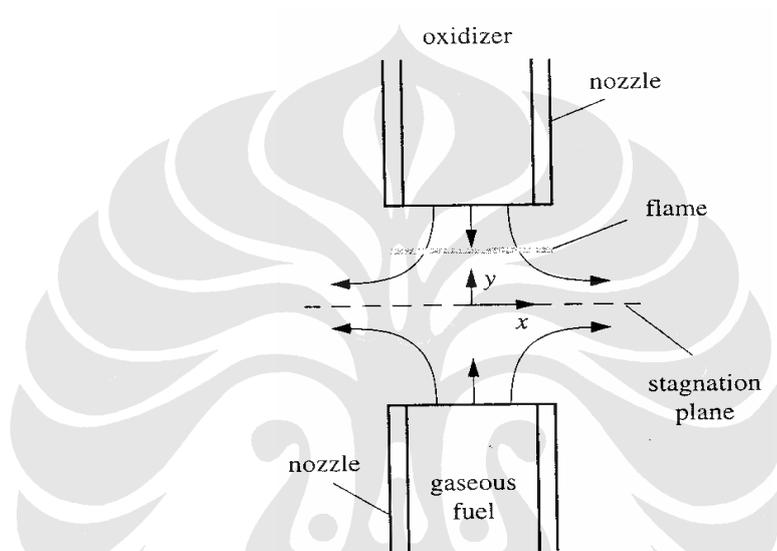
Gambar 2.5 Nyala turbulen [9]

Turbulensi pada gas yang tidak terbakar akan meningkatkan laju penjalaran nyala pada campuran bahan bakar-udara. Mekanisme turbulensi akan meningkatkan efisiensi proses perpindahan (kalor dan senyawa reaksi) sebagai hasil dari *mixing* pada permukaan nyala (*flame front*). Dengan demikian, kecepatan pembakaran pada campuran turbulen adalah tinggi.

### 2.2.3 Counter Flow Diffusion Flame

Fenomena turbulen dan perencanaannya yang benar merupakan suatu hal penting yang belum terpecahkan dalam ilmu teknik pembakaran. Terdapat berbagai macam nyala turbulen yang didefinisikan dengan intensitas turbulen dan karakteristik nyala. Terutama pada regim *flamelet*, nyala api turbulen dapat dipertimbangkan sebagai korelasi dari nyala api tidak tunak dan laminar, sehingga pemahaman mengenai nyala api tidak tunak merupakan hal penting untuk mempelajari nyala api laminar dan perencanaan turbulensi pembakaran.

Dalam mempelajari nyala api tidak tunak, penelitian mengenai fenomena nyala api padam (*extinct*) merupakan suatu hal yang berguna, karena efek ketidak tunakan terlihat sangat jelas pada saat nyala api akan padam. Untuk itulah digunakan *counter flow diffusion flame burner* karena nyala yang terbentuk mempunyai struktur skalar yang sama sebagai *flamelet* dalam zona pencampuran dari reaksi aliran turbulen. Untuk lebih jelas mengenai aliran reaktan yang dikembangkan dalam *counter flow diffusion flame*, maka dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Skema *counter flow diffusion flame burner* [7]

Pada skema *counter flow diffusion flame* diatas, aliran bahan bakar berasal dari nosel bawah dan udara sebagai oksidan dari nosel atas. Nyala api stagnasi akan dihasilkan pada posisi *stagnation plane*. Dan biasanya nyala api yang paling stabil akan didapatkan jika volume aliran bahan bakar dan oksidan sama besar, dan juga dengan menambahkan nitrogen atau gas *inert* lain pada bahan bakar dan oksidan dengan jumlah yang proporsional. Dua variabel yang sering digunakan untuk mengatur durasi dari area nyala dan gradien temperatur sepanjang nyala adalah debit aliran keseluruhan antara bahan bakar dan oksidan dan juga jarak antara masing-masing nosel (*burner gap*)

Terdapat beberapa penelitian mengenai *counter flow diffusion flame* yang diantaranya untuk mempelajari proses pembentukan jelaga pada area antara didepan titik stagnasi dan zona nyala. Penelitian ini diawali oleh Tsuji dan Yamaoka [10]. Dimana hasil dari penelitian mereka menunjukkan bahwa debit

aliran bahan bakar memiliki pengaruh yang sangat kecil terhadap temperatur nyala dan juga pembentukan jelaga (*soot*) juga kurang begitu dipengaruhi oleh debit aliran bahan bakar. Pengukuran temperatur pada *counter flow diffusion flame* ini menunjukkan bahwa pada kecepatan aliran yang sangat rendah, temperatur akan turun dan *extinction* pada aliran yang sangat rendah terkait dengan rugi kalor pada *burner*.

J.C Rolon [11] meneliti pengaruh *vortex ring* pada nyala api difusi *Counter flow*. Pada penelitian tersebut *vortex ring* diletakan pada salah satu nosel saja yaitu pada nosel udara. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa *vortex ring* berpengaruh besar pada mekanisme *extinction/blow out*.

Uen Do Lee [1] yang melakukan penelitian mengenai pengaruh perubahan kecepatan aliran terhadap batas nyala api padam (*extinct*) pada nyala difusi *counter flow*, selanjutnya V.R Katta [2] juga mempelajari kriteria *extinction* pada nyala difusi dalam medan aliran berlawanan. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa nyala api dinamik atau tidak tunak akan berada pada *strain rates* yang lebih tinggi dari pada nyala api tunak (*steady flames*).

Jongmook Lim dan Raymond Viskanta [3] juga mempelajari mengenai pengaruh pemanasan awal udara (*air preheat*) terhadap struktur nyala difusi pada medan aliran berlawanan dengan menggunakan bahan bakar metana. Dalam hal ini udara diatur pada cakupan 300 sampai dengan 560 K. hasil dari penelitian mereka menunjukkan bahwa dengan kenaikan pemanasan awal udara akan menyebabkan kenaikan puncak konsentrasi dari CO dan H<sub>2</sub> yang dihasilkan.

### 2.3 STABILITAS NYALA

Kriteria penting dalam merancang *gas burners* adalah menghindari terjadinya *flashback* dan *lift off*. Stabilitas nyala pada suatu pembakaran, dikaitkan dengan fenomena *flashback*, *lift off*, *extinct* dan warna nyala pada tabung pembakaran.

*Flashback* terjadi jika kecepatan pembakaran lebih cepat daripada kecepatan aliran udara-bahan bakar, sehingga nyala api merambat masuk kembali ketabung pembakar tanpa mengalami pemadaman nyala (*quenching*). Sedangkan *lift off*, merupakan fenomena yang terjadi ketika kecepatan aliran campuran udara-

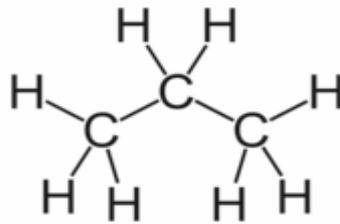
bahan bakar lebih cepat daripada kecepatan pembakaran. *Lift off* ini dapat terjadi jika nyala api mulai terangkat 2/3 dari bibir tabung pembakar. *Lift off* menunjukkan ketidakstabilan nyala yang dapat mengakibatkan terjadinya padam (*extinct*).

Dalam bidang pembakaran, *flashback* tidak hanya sebagai gangguan melainkan juga menyangkut masalah resiko keselamatan (*safety hazard*) karena dalam aplikasi pembakaran, penjaralan nyala masuk kedalam tabung pembakar dapat menyalakan campuran bahan bakar yang ada dan dapat menimbulkan ledakan (*Explosion*). Sedangkan *lift off* juga merupakan suatu fenomena yang tidak diharapkan dengan alasan karena dapat memberikan ruang untuk gas yang tidak terbakar (*unburned gas*) atau pembakaran yang tidak sempurna. Dan juga pengapian sulit untuk mencapai diatas batas pengangkatan (*lifting*). Stabilitas nyala merupakan nyala api dimana tidak mengalami tiga fenomena diatas. Dalam menentukan ukuran tinggi *lift off* ada beberapa kategori [6] yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada masing-masing teori dibawah ini:

1. Teori 1      Kecepatan aliran local pada posisi dimana laju nyala laminar maksimal sama dengan kecepatan nyala turbulen pada *premixed flame*,  $\bar{v}(S_{L,max}) = S_T$
2. Teori 2      *Strain rates* lokal fluida melebihi *strain rate* nyala padam untuk flamelet difusi laminar,  $\varepsilon > \varepsilon_{crit}$
3. Teori 3      waktu yang tersedia untuk pencampuran antara struktur aliran *hot product* dalam skala besar dengan campuran awal adalah lebih singkat dibandingkan waktu kimia kritis yang dibutuhkan untuk penyalaan (*ignition*),  $\tau_{local\ mixing} < \tau_{chem, crit}$

## 2.4 PROPANA (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)

Propana adalah senyawa alkana tiga karbon (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tapi dapat dikompresi menjadi cairan yang mudah dipindahkan dalam kontainer yang tidak mahal. Senyawa ini diturunkan dari produk petroleum lain pada pemrosesan minyak bumi atau gas alam. Propana umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin, pemanggang, dan di rumah-rumah.



Gambar 2.7 Struktur molekul propana [12]

Dalam penggunaan sehari-hari sebagai bahan bakar, propana dikenal juga sebagai LPG (*liquified petroleum gas*) yang dapat berupa campuran dengan sejumlah kecil propena, butana, dan butena. Kadang ditambahkan juga etanetiol sebagai bahan pemberi bau agar dapat digunakan sebagai deteksi jika terjadi kebocoran. Pada umumnya dalam proses pembakaran pemilihan bahan bakar yang akan digunakan didasarkan pada properti fisik dan kimia yang terkandung dalam bahan bakar itu sendiri, seperti:

1. Nilai kalor (*heating value*) dan kalor pembakaran (*calorific value*).

Nilai kalor adalah kalor yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna 1 kg atau satu satuan berat bahan bakar padat atau cair atau 1 m<sup>3</sup> atau 1 satuan volume bahan bakar gas, pada keadaan baku.

2. Kandungan Air di dalam Bahan Bakar

Air yang terkandung dalam bahan bakar padat terdiri dari:

- Kandungan air internal atau air kristal, yaitu air yang terikat secara kimiawi.
- Kandungan air eksternal atau air mekanikal, yaitu air yang menempel pada permukaan bahan dan terikat secara fisis atau mekanis.

Air yang terkandung dalam bahan bakar menyebabkan penurunan mutu bahan bakar karena:

- menurunkan nilai kalor dan memerlukan sejumlah kalor untuk penguapan,
- menurunkan titik nyala,
- memperlambat proses pembakaran, dan menambah volume gas buang.

3. Gravitasi Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis dinyatakan dalam gram per ml, dalam derajat API, dalam lb per galon, atau lb per ft<sup>3</sup>. Gravitasi jenis disingkat sp.gr. atau sg. Definisinya

adalah perbandingan berat bahan bakar terhadap berat air, diukur pada 600°F, yang pada suhu tersebut berat air = 62.4 lb/ft<sup>3</sup>.

4. Viskositas atau Kekentalan

Viskositas adalah kebalikan fluiditas atau daya alir. Makin tinggi viskositas maka makin sukar mengalir.

5. *Flash Point*

Flash point adalah suhu dimana bahan bakar terbakar dengan sendirinya oleh udara sekelilingnya disertai kilatan cahaya.

6. Titik Bakar atau "*Ignition Point*"

Titik bakar adalah suhu dimana bahan bakar cair yang dipanaskan pada keadaan baku dapat terbakar selama waktu sekurang-kurangnya 5 detik.

Untuk lebih mengetahui properti fisik dan kimia yang terkandung dalam propana, maka dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Properti Kimia Propana

Rumus molekul	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Wujud	Gas
Warna	Tidak berwarna
Massa molar	44.096 g/mol
Titik didih	-43.67°F (-42.04°C) @ 1 atm
Gravitasi jenis	1.5223 pada 70°F (21.1°C) @ 1 atm
Titik uap	305.84F (-187.69C) @ 1 atm
Tekanan uap	109.73 psig, (756.56kPa) pada 70°F (21.1°C)
Densitas	1.83 g/L, gas (0.5077 Kg/L liquid)
Solubility dalam air	0.1 g/cm <sup>3</sup> (37.80C)
Titik nyala	156°F (-104°C)
Suhu pembakaran	842°F (432°C)
Batas nyala bawah, LFL	2.2 %
Batas nyala atas, UFL	9.5 %

Sumber : *International Industrial Gases LTD*