



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Inverse Diffusion Flame

*Inverse Diffusion Flame* (IDF) adalah sejenis nyala api difusi dengan jet udara dalam yang dikelilingi oleh jet bahan bakar luar baik dalam kondisi terbatas atau tanpa batas dan tidak menunjukkan flashback, pemuatan jelaga lebih sedikit dari nyala api difusi normal (NDF), NO<sub>x</sub> rendah dan memiliki berbagai tingkat yang mudah terbakar. Konfigurasi (IDF) dipilih karena muatan jelaga yang lebih rendah dan penyedotan sampel-sampel minimum dibandingkan dengan (NDF). Struktur nyala api difusi inverse laminer (IDF) dipelajari untuk mendapatkan wawasan tentang pembentukan jelaga dan pertumbuhan di bawah pembakaran berventilasi. Nyala api difusi (IDF) mirip dengan api difusi normal (NDF), hanya saja posisi relatif dari bahan bakar dan oksidator yang ditukarkan. Berikut istilah – istilah yang sering ditemui pada *Inverse Diffusion Flame*:

##### 2.1.1. Api dewasa

Yang dimaksud api dewasa dalam hal ini adalah pertemuan antara bahan bakar dengan udara dalam sebuah bentuk api pada ketinggian tertentu, biasanya ditandai dengan temperature tertinggi pada bentuk badan api itu sendiri.

##### 2.1.2. Api ideal

Api ideal adalah sebuah bentuk api yang stabil, dimana pencampuran antara bahan bakar dan udara yang berimbang.

##### 2.1.3. Distribusi temperature



Distribusi temperature merupakan temperature keseluruhan dalam sebuah bentuk badan api dengan lebar dan ketinggian sesuai bentuk badan api tersebut.

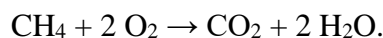
#### 2.1.4. Temperature center line

Temperature center line adalah temperature yang terdapat pada titik tengah api dengan ketinggian sesuai bentuk badan api itu sendiri.

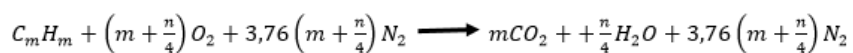
## 2.2. Definisi pembakaran

Pembakaran adalah proses oksidasi yang sangat cepat antara bahan bakar dan oksidator dengan menimbulkan nyala dan panas. Bahan bakar merupakan substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung karbon, hidrogen, oksigen dan sulfur. Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen yang akan bereaksi dengan bahan bakar (Mahandri, 2010).

Reaksi pembakaran sempurna terjadi ketika bahan bakar bereaksi secara cepat dengan oksigen (O<sub>2</sub>) dan menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O). Persamaan umum untuk reaksi pembakaran sempurna adalah:



Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, suatu proses pembakaran akan terjadi jika unsur-unsur bahan bakar teroksidasi. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga akan disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Jika oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara, di mana udara terdiri dari 21% oksigen dan 78% nitrogen, maka reaksi stoikiometri pembakaran hidrokarbon murni dapat ditulis C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> dapat ditulis persamaan:





Persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan di atas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Pada temperature yang sangat tinggi gas-gas pecah menjadi gas-gas yang tak sederhana, dan molekul-molekul dari gas dasar akan terpecah menjadi atom-atom yang membutuhkan panas dan menyebabkan kenaikan temperatur. Reaksi akan bersifat endotermik dan disosiasi tergantung pada temperatur dan waktu kontak.

### 2.3. Bahan bakar gas

Bahan Bakar Gas dapat diklasifikasikan atas gas alam (*natural gas*) maupun gas buatan (*manufactured gas*). Biasanya gas alam dijumpai pada deposit minyak dan batubara. Gas alam sebagian besar merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon dengan sedikit jumlah materi nonhidrokarbon yang berfase gas. Sebagai bahan bakar gas alam sangat ideal karena umumnya bebas dari residu padat. Pada saat dibakar umumnya menghasilkan nyala berwarna biru dan sangat mudah terbakar jika tercampur udara pada komposisi yang tepat. Komposisi gas alam sebagian besar terdiri dari metana ( $\text{CH}_4$ ) dan sejumlah sedikit etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), butana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) serta Pentana ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ).

Bahan bakar gas merupakan substansi yang melepaskan panas ketika dioksidasi dan secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulphur (S). Bahan bakar gas mempunyai beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan bahan bakar yang lainnya, yaitu bahan bakar padat dan cair. Bahan bakar gas dapat terbakar dengan tanpa adanya asap dan abu karena proses pembakarannya dapat lebih sempurna dengan lebih sedikit menggunakan udara luar dan nyala api relatif dapat lebih mudah dikontrol. Namun terdapat juga beberapa kelemahan, yaitu sulitnya menyimpan bahan bakar gas dalam jumlah yang besar dibanding dengan bahan bakar lain.



Komposisi utama gas alam adalah metana (80%), sisanya adalah etana (7%), propana (6%), dan butana (4%) dan sisanya pentana. Selain komposisi tersebut, gas alam dapat juga mengandung helium, nitrogen, karbon dioksida, dan karbon-karbon lainnya. Gas alam tidak berbau, namun untuk mengetahui adanya kebocoran ditambahkan zat yang berbau tidak sedap sehingga kebocoran dalam langsung terdeteksi. Untuk memudahkan pengangkutan (transportasi), gas alam dicairkan sehingga disebut gas alam cair atau LNG (*Liquified Natural Gas*).

*Compressed Natural Gas* (CNG) merupakan salah satu gas yang di hasilkan oleh gas alam, CNG adalah bahan bakar yang berasal dari gas alam yang terkompresi pada tekanan penyimpanan 200-248bar dan berguna sebagai bahan bakar pengganti bensin, solar, dan LPG. Bahan bakar CNG memang masih memproduksi CO<sub>2</sub> sebagai hasil pembakarannya, namun jauh lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan bakar yang lain. Secara ekonomis, penggunaan CNG juga lebih murah jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak bumi yang lain. Proses pencampuran CNG dengan udara relatif lebih mudah karena fasenya yang gas, sehingga efisiensi proses pembakaran lebih tinggi.

CNG yang berasal dari gas alam, tersusun atas gas metana (CH<sub>4</sub>) sebagai senyawa kimia paling banyak. Dan berikut adalah senyawa-senyawa kimia penyusun CNG: Hidrogen (H<sub>2</sub>) = 1,82%, Metana (CH<sub>4</sub>) = 93,33%, Etilena (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) = 0,25%, Karbonmonoksida (CO) = 0,45%, Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) = 0,22%, Nitrogen (N<sub>2</sub>) = 3,40%, Oksigen (O<sub>2</sub>) = 0,35%, Hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) = 0,18%.

#### **2.4. Campuran Udara Bahan Bakar**

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain bahan bakar, udara (oksigen), kalor, dan reaksi kimia. Selain itu, perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting pula dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi



pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (produk) proses pembakaran.

### 2.4.1. Rasio Udara Bahan Bakar (Air Fuel Ratio)

Metode ini paling sering digunakan dalam mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dengan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbol, AFR dihitung sebagai:

$$AFR = \frac{Ma}{Mf} = \frac{MaNa}{MfNf} \dots\dots\dots(2.1)$$

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak dari pada yang dibutuhkan system dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari AFR stoikiometri maka tidak cukup terdapat udara pada system dan dikatakan kaya bahan bakar.

### 2.4.2. Rasio Bahan Bakar – Udara (Fuel Air Ratio)

Rasio bahan bakar – udara merupakan kebalikan dari AFR yang dirumuskan sebagai berikut:

$$FAR = \frac{mf}{ma} = \frac{MfNf}{MaNa} \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2.4.3. Rasio Ekuivalen (Equivalent Ratio, $\Phi$ )

Metode ini termasuk juga metode yang umum digunakan, Rasio ekuivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara – bahan bakar (AFR) stoikiometri dengan rasio udara – bahan bakar (AFR) actual atau juga sebagai perbandingan antara rasio bahan bakar – udara (FAR) actual dengan rasio bahan bakar – udara (FAR) stoikiometrik.

$$\Phi = \frac{AFRs}{AFRa} = \frac{FARa}{FARs} \dots\dots\dots(2.3)$$



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

### 2.4.4. Udara Berlebihan (Exsess Air – XSA)

Dalam proses pembakaran sulit untuk mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran actual. Udara perlu diberikan dalam jumlah yang lebih untuk menghasilkan pembakaran secara sempurna seluruh bahan bakar yang ada.

Udara lebih (*excess air*) didefinisikan sebagai udara yang diberikan untuk pembakaran dalam jumlah yang lebih besar dari jumlah teoritis yang dibutuhkan bahan bakar. Udara lebih dapat dideduksi dengan pengukuran komposisi produk pembakaran dalam keadaan kering (*dry basis*).

## 2.5. Karakteristik Nyala

### 2.5.1. Batas Mampu Nyala

Campuran bahan bakar dan oksidator dapat mendukung terjadinya nyala api dalam daerah konsentrasi tertentu. Batas daerah tersebut disebut batas bawah dan batas atas yang mampu nyala (*flammability*), sebagai contoh, campuran gas alam dan udara tidak akan menyebabkan nyala api jika proporsi dari gas kurang dari 4% atau lebih dari 15%. Walaupun pada konsentrasi rendah ada kemungkinan terjadi penyalaan lokal, energi yang disediakan tidak cukup untuk memanaskan lapisan gas didekatnya ke temperatur nyala. Seiring dengan naiknya tekanan parsial dari bahan bakar gas, energy juga ikut



naik ke titik yang akan menyalakan bahan bakar gas di dekatnya dan menyebarkan nyala api.

Dengan menaikkan tekanan parsial bahan bakar gas, kapasitas panas dari campuran udara bahan bakar juga naik dan temperature nyala api berkurang, dengan menaikkan konsentrasi bahan bakar melebihi batas atas mampu nyala api tidak akan menyalakan gas di dekatnya dan nyala api berhenti menyebar.

### 2.5.2. Factor yang Mempengaruhi Karakteristik Nyala

Faktor fisik dan kimia diketahui dapat mempengaruhi karakteristik nyala, variable – variable fisik diantaranya adalah temperature dan tekanan, sedangkan variable kimia diantaranya adalah rasio campuran, penambahan inert dan struktur hidrokarbon.

Pengaruh komposisi campuran sangat penting bagi kecepatan pembakaran, nyala hanya akan merambat pada konsentrasi campuran tertentu. Konsentrasi bahan bakar minimum dalam campuran yang sudah dapat menyala dinamakan batas nyala terbawah, dan biasanya konsentrasi bahan bakar dan udara dikondisikan pada keadaan standar yaitu campuran stoikiometri. Dengan penambahan konsentrasi bahan bakar pada campuran, maka campuran akan kaya dan oksigen berkurang, kecepatan pembakaran turun dan api akan padam, hal ini juga berkaitan dengan batas nyala yang dinamakan batas nyala atas.

## 2.6. Klasifikasi Nyala Api

Nyala api merupakan suatu gelombang panas yang terjadi akibat reaksi kimia eksotermis yang cepat. Terdapat dua klasifikasi utama dari nyala api yaitu api premix (*premix flame*) dan nyala api difusi (*diffusion flame*)

### 2.6.1. Pembakaran Premix

Pembakaran dapat dilakukan secara premix maupun secara difusi. Pembakaran secara premix adalah pembakaran dimana bahan



bakar bercampur secara sempurna di dalam burner sebelum dialirkan kemulut burner dan mulai dibakar. Sedangkan proses difusi merupakan proses pembakaran yang terjadi dimana bahan bakar yang dialirkan melalui burner belum tercampur dengan udara, namun pencampuran tersebut terjadi pada saat di ujung burner dan menyala di tempat yang sama. Dalam hal ini pembakaran difusi lah yang menjadi topik utama. Pembakaran difusi adalah proses dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksida tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi dalam ruang bakar.

## 2.7. Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Selama terdapat perbedaan temperatur maka perpindahan panas masih akan terjadi, salah satu yang terjadi pada Perpindahan panas adalah radiasi.

### 2.7.1. Radiasi

Radiasi termal adalah energi yang diemisikan oleh suatu benda yang berada pada temperatur hingga energi radiasi dapat diemisikan dari permukaan benda padat, cair, maupun gas. Emisi radiasi dapat diketahui dengan adanya perubahan dalam konfigurasi elektron dan atom atau molekul. Lebih lanjut energi dan medan radiasi ditransportasikan oleh gelombang elektromagnetik yang berasal dari energi dalam material yang memancar, perbedaan utama antara perpindahan panas radiasi dengan perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media material. Adapun radiasi thermal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \text{ (W)} \dots\dots\dots(2.4)$$



Dimana:

$q$  = laju perpindahan panas (w)

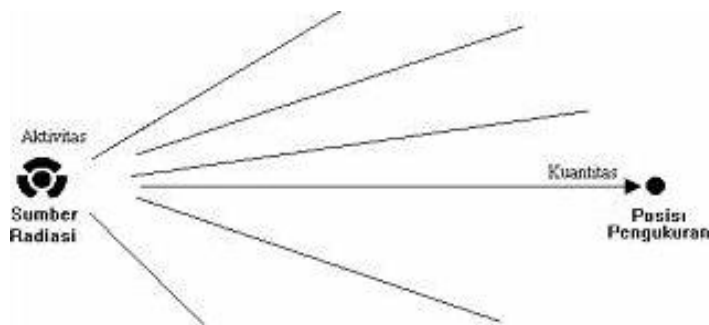
$\sigma$  = konstanta boltzman ( $5,669 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ )

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$T_1, T_2$  = temperatur permukaan ( $^\circ\text{K}$ )

### 2.7.2. Kuantitas Radiasi

Kuantitas radiasi adalah persatuan waktu persatuan luas, pada suatu titik pengukuran. Kuantitas radiasi ini berbanding lurus dengan waktu aktifitas sumber dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak ( $r$ ) antara sumber dan system pengukur.

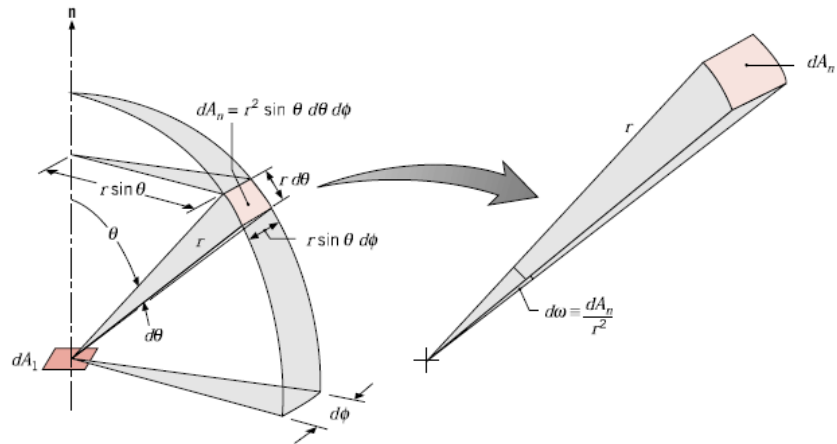


*Gambar 2.1 kuantitas radiasi*

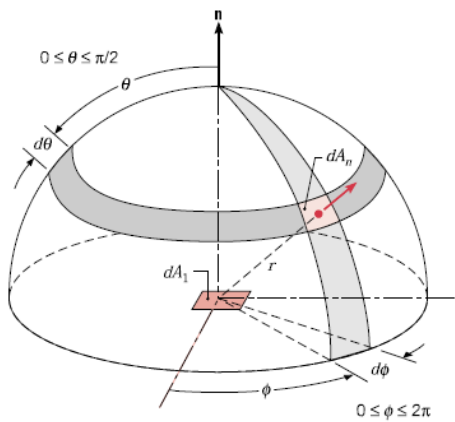
Gambar diatas menunjukkan bahwa jumlah radiasi yang mencapai titik pengukuran (kuantitas radiasi) merupakan hanya sebagian saja dari semua radiasi yang dipancarkan oleh sumber.

### 2.8. Intensitas Radiasi

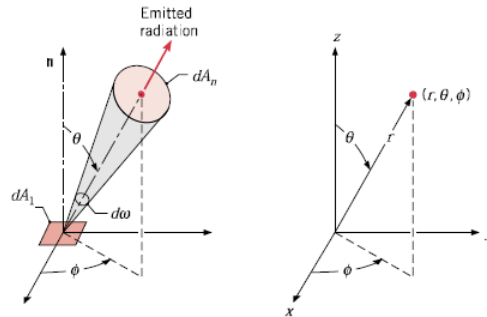
Radiasi di emisikan oleh sebuah permukaan ke segala arah, distribusi arah ini menjadi hal yang sangat menarik untuk diketahui. Demikian juga radiasi yang menimpa suatu permukaan mungkin datang dari arah yang berlawanan dan cara permukaan merespon radiasi ini tergantung pada arahnya. Efek dari arah inilah yang mendasari konsep intensitas radiasi



**Gambar 2.2.** Arah radiasi neutral



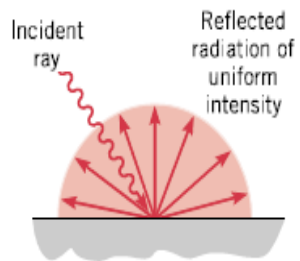
**Gambar 2.3.** Sudut solid yang ditimbulkan oleh  $dA_1$  pada sebuah titik  $dA_2$  dalam sebuah koordinat bola.



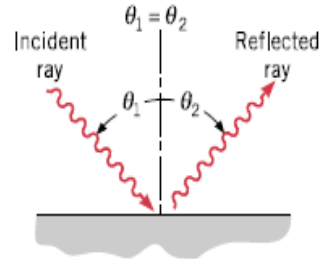
**Gambar 2.4. Emisi dari elemen luasan kecil  $dA_2$  ke bidang hypothetical hemisphere yang berpusat di  $dA_1$**

## 2.9. Sifat – Sifat Radiasi

Bila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (*refleksi*), sebagian diserap (*absorpsi*), dan sebagian lagi diteruskan (*transmisi*). Fraksi yang dipantulkan adalah *reflektivitas* ( $\rho$ ), fraksi yang diserap *absorptivitas* ( $\alpha$ ), fraksi yang diteruskan *transmisivitas* ( $\tau$ ). Ada dua fenomena refleksi yang dapat diamati bila radiasi menimpa suatu permukaan. Jika sudut jatuhnya sama dengan sudut refleksi, maka dikatakan refleksi itu spekular (*specular*). Dilain pihak apabila berkas yang jatuh itu tersebar secara merata ke segala arah sesudah refleksi, maka refleksi itu disebut difusi atau baur (*diffuse*), kedua jenis refleksi ini digambarkan dalam gambar berikut :



*(a) refleksi difusi*



*(b) Spekular*

*Gambar 2.5 Spekular & refleksi difusi*