

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Herlambang dan Djuhana (2016), dalam penelitian yang berjudul “Modifikasi Sebuah *Prototipe* Kalorimeter Bahan Bakar (*Bomb Calorimetry*) Untuk Meningkatkan Akurasi Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair”, menyampaikan permasalahan utama dalam menggunakan kalorimeter bahan bakar adalah terjadinya aliran panas hasil pembakaran yang keluar dari kalorimeter akibat isolator panas yang buruk. Hal ini akan berdampak pada hasil pengukuran nilai kalor pembakaran suatu bahan bakar cair menjadi tidak akurat. Optimalisasi ini meliputi penggunaan bahan isolator panas yang digunakan, modifikasi konstruksi dan pemilihan alat ukur yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan daya isolasi panas hasil pembakaran dan pembacaan temperatur menjadi lebih mudah. Hasil pencatatan temperatur menunjukkan adanya penurunan kecepatan pendinginan dari 0,052 °C/menit menjadi 0,043 °C/menit.

Dalam penelitian lain, bahan limbah biomassa yang digunakan berasal dari kotoran hewan yaitu kotoran sapi, kotoran kelelawar, serta kotoran kambing. Pengujian dilakukan dengan alat pengukur nilai kalor bahan bakar biomassa Kalorimeter. Selanjutnya hasil pengujian dibandingkan dengan hasil perkiraan menggunakan korelasi. Nilai HHV untuk sampel uji kotoran sapi besarnya 10,90874 MJ/kg, kotoran kambing 10,37851 MJ/kg dan kotoran kelelawar sebesar 17,09983 MJ/kg. Secara umum korelasi yang paling mendekati dari penelitian tiga macam sampel rata-rata bahan bakar biomassa limbah hewan adalah korelasi *Beckman* dengan didapat selisih rata-rata 3,88 % (Sunaryo dan Widiatmo, 2014).

Wahyudi (2006), melakukan penelitian untuk mengetahui nilai kalor biomassa yang diuji dan dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan korelasi-korelasi yang ada. Penelitian diawali dengan melakukan analisa ultimat dan analisa proksimat masing-masing bahan untuk mengetahui komposisi dasar bahan. Hasil

pengujian menunjukkan nilai kalor biomassa yang diuji adalah 10,2 MJ/kg sampai dengan 24,7 MJ/kg. Korelasi yang memberikan nilai kalor mendekati nilai kalor hasil pengujian adalah Korelasi Tillman. Korelasi yang paling sesuai untuk biomassa yang diuji adalah $HHV = 1,3941C - 18,3638 H + 1,4682 O + 16,7184 N - 95,753 S + 0,5184 A$.

Minyak nabati adalah senyawa minyak yang terbuat dari tumbuh-tumbuhan yang diperoleh melalui proses ekstraksi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisika minyak nabati, dari buah kepayang yang diolah menjadi kluwek. Penentuan panas jenis dan nilai kalor menggunakan kalorimeter larutan dan kalorimeter bom. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak kluwek memiliki nilai panas jenis 0,78 Kal/kg°C dan nilai kalor 38,1751 MJ/kg. Nilai kalor minyak kluwek hampir sama dengan nilai kalor minyak kelapa sawit dan minyak jelantah (Wijanarko, 2013).

Batubara dengan nilai kalor yang bervariasi dipergunakan untuk mengoperasikan PLTU TJB di Jepara. Sehingga menarik untuk dianalisis dengan membandingkan nilai kalor dengan energi input yang dihasilkan dari pembakaran batubara dan air heater. Nilai energi input terbesar adalah 2.005 MW dengan nilai kalori batubara (HHV) sebesar 25.063 kJ/kg dan nilai energi air heater sebesar 194 MW. Sedangkan energi input terendah adalah 1.342 MW dengan nilai kalori batubara (HHV) sebesar 23.473 kJ/kg dan energi air heater sebesar 155 MW. Load terbesar adalah 95%, sebesar 1.734 MW, 1.996 MW dan 2.005 MW dan nilai load terendah 68%, dengan nilai energi input sebesar 1.342 MW (Surindra, 2014).

Menurut Andriyono dan Tjahjanti (2016), analisa nilai kalor briket dari campuran ampas tebu dan biji buah kepuh. Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat bom kalorimeter, menggunakan alat *thermocouple*, dan spesimen terbaik dengan pengujian proximate. Dari hasil yang didapat dari bom kalorimeter nilai terendah briket campuran 100 gr : 30 gr yaitu 5.351 kal/gr dan tertinggi 5.528 kal/gr untuk komposisi 100 gr : 50 gr. Sedangkan uji termal dari ke tiga spesimen briket yang mempunyai termal yang tertinggi selama pembakaran

10 menit adalah pada jenis B50 yaitu 7.420 °C. Dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai kalor yang didapat maka semakin tinggi termal yang dimiliki. Karakteristik briket jenis B50 merupakan hasil yang terbaik dan dilakukan pengujian proximate diperoleh persentase kadar air 4,94%, kadar zat yang menguap 52,23%, kadar abu 8,73%, dan fixed karbon 34,10%.

Pada penelitian sebelumnya (Kriswandari, 2017), nilai kalor serap meningkat seiring dengan penambahan bukaan katup gas, yaitu pada bukaan katup gas / hasil nilai kalor LHV = 13.023,45 kJ/kg, pada bukaan katup gas / nilai kalor LHV = 17.636,32 kJ/kg. Efisiensi alat juga meningkat seiring dengan penambahan bukaan katup gas, yaitu pada bukaan katup gas / efisiensi yang didapat sebesar 23%, pada bukaan katup gas / efisiensi sebesar 28%, dan pada bukaan katup gas / efisiensi sebesar 27%. Dari data hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan bukaan katup gas berpengaruh pada naiknya nilai kalor serap dan efisiensi alat secara eksperimental.

Dari beberapa tinjauan pustaka di atas, dapat dilihat bahwa dalam mencari nilai kalor suatu zat banyak menggunakan alat kalorimeter bom, hanya sedikit yang menggunakan alat kalorimeter aliran untuk mencari nilai kalor suatu zat. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat berguna sebagai acuan dalam mendapatkan nilai kalor suatu zat menggunakan kalorimeter aliran.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kalorimeter

Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur atau menentukan nilai kalor suatu zat. Prinsip kerja kalorimeter adalah menentukan aliran suhu, sehingga bisa untuk menentukan nilai kalor zat tersebut. Seperti hukum kekekalan energi kalor (*Azas Black*) menyatakan “Pada pencampuran dua zat, banyaknya kalor yang dilepas zat bersuhu tinggi sama dengan banyaknya kalor yang diterima zat bersuhu rendah”. Alat kalorimeter sendiri ada beberapa macam, salah satunya yaitu :

1. Kalorimeter Aliran

Kalorimeter aliran adalah alat yang digunakan untuk mengukur nilai kalor suatu zat dengan media suatu aliran. Aliran ini berarti air yang berperan sebagai sirkulasi dan penyalur panas. Dengan kalorimeter ini, bisa untuk mengatur debit dari air, LPG, maupun udara sesuai dengan yang dibutuhkan. Yang perlu diperhatikan adalah kestabilan alirannya agar tidak mengganggu dalam pengambilan data. Alat kalorimeter aliran dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kalorimeter Aliran

2. Kalorimeter Bom

Suliyanto (2010) mengatakan, kalorimeter bom adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O_2 berlebih) suatu senyawa, bahan makanan, bahan bakar atau khusus digunakan untuk menentukan kalor dari reaksi-reaksi pembakaran.

Kalorimeter bom biasa digunakan untuk menghitung nilai kalor bahan bakar padat dan cair. Bahan bakar dimasukkan ke dalam tabung beroksigen yang tercelup pada medium penyerap kalor dan bahan bakar akan terbakar

oleh api listrik dari kawat logam yang terpasang pada tabung. Alat kalorimeter bom dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kalorimeter Bom

2.2.2 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

Liquified petroleum gas (LPG) adalah gas minyak bumi yang dicairkan. Dengan menambahkan tekanan dan menurunkan suhunya, gas akan berubah menjadi cair. Komponen LPG didominasi oleh *propane* (C_3H_8) dan *butane* (C_4H_{10}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, diantaranya *etane* (C_2H_6) dan *pentane* (C_5H_{12}). Tabung LPG dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

2.2.3 Kalor, Nilai Kalor, Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor

Kalor adalah salah satu bentuk energi yang dapat berpindah ataupun mengalir karena adanya perbedaan suhu. Kalor akan berpindah dari zat yang mempunyai suhu tinggi menuju zat yang mempunyai suhu yang lebih rendah. Kalor berbeda dengan suhu, karena suhu merupakan suatu nilai ukuran pada sebuah alat ukur suhu (*thermometer*). Dalam satuan SI kalor dinyatakan dengan Joule (J). Kalor juga dapat dinyatakan dengan satuan kalori (kal), dimana $1 \text{ kal} = 4,2 \text{ J}$. Rumus untuk menentukan kalor menggunakan persamaan (2.1), sebagai berikut :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

- Q = Kalor (J)
- m = Massa zat (kg)
- c = Kalor jenis zat ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$)
- ΔT = Perubahan suhu ($^\circ\text{C}$)

Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massabakar tersebut. Analisa nilai kalor suatu bahan bakar dimaksudkan untuk memperoleh data tentang energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya reaksi atau proses pembakaran (Tjokrowisastro dan Widodo, 1990). Nilai kalor dapat dirumuskan dengan persamaan (2.2), sebagai berikut :

$$\text{Nilai Kalor (NK)} = H_{\text{produk}} (H_P) - H_{\text{reaktan}} (H_R) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

$$H_p = \sum_i (N_{p,i} \cdot h_{f,p,i}^0) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$H_r = \sum_j (N_{p,j} \cdot h_{f,p,j}^0) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dalam satuan SI, nilai kalor dapat dinyatakan dengan ukuran kJ/kg. Pada umumnya nilai kalor dibagi menjadi 2, yaitu :

1. *Lowest Heating Value* (LHV)

Lowest heating value (LHV) adalah nilai kalor bawah. LHV dapat didefinisikan sebagai energi kalor yang dilepaskan bahan bakar melalui proses pembakaran sempurna per satuan massa bahan bakar tersebut apabila H₂O yang dihasilkan pada produk berbentuk gas atau uap (Cengel, 2005).

2. *Highest Heating Value* (HHV)

Highest heating value (HHV) adalah nilai kalor yang atas. HHV dapat didefinisikan sebagai energi kalor yang dilepaskan bahan bakar melalui proses pembakaran sempurna per satuan massa bahan bakar tersebut apabila H₂O yang dihasilkan pada produk berbentuk cair (Cengel, 2005).

Hubungan antara HHV dan LHV menggunakan persamaan (2.5), sebagai berikut :

$$\text{LHV} = \text{HHV} - \frac{m_{\text{air}} \cdot h_{fg,\text{air}}}{m_{bb}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

- LHV = *Low Heating Value* (kJ/kg bahan bakar)
- HHV = *High Heating Value* (kJ/kg bahan bakar)
- m_{air} = Massa air yang mengembun setelah proses pembakaran (kg)
- m_{bb} = Massa bahan bakar (kg)
- $h_{fg,\text{air}}$ = Entalpi penguapan air (= 2.441,7 kJ/kg) (Cengel, 2005)

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan atau dilepaskan setiap 1 kg massa untuk menaikkan atau menurunkan suhunya sebesar 1 K atau 1 °C. Rumus kalor jenis dapat dinyatakan dengan persamaan (2.6), sebagai berikut :

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

- c = Kalor jenis (J/kg°C)
- Q = Kalor (J)

- m = Massa zat (kg)
- ΔT = Perbedaan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

Kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu zat sebanyak 1 K atau 1 $^{\circ}\text{C}$. Kapasitas kalor dapat dirumuskan dengan persamaan (2.7), sebagai berikut :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan :

- C = Kapasitas kalor ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$)
- Q = Kalor yang dibutuhkan (J)
- ΔT = Perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$)

2.2.4 Perpindahan Kalor

Berdasarkan pengertian kalor, maka perpindahan kalor akan terjadi dari zat yang memiliki suhu tinggi menuju zat yang memiliki suhu lebih rendah. Perpindahan kalor dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor karena adanya perbedaan suhu melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut secara permanen. Berdasarkan hukum fourier, rumus menentukan nilai konduksi dengan persamaan (2.8) dan (2.9), sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{-k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\dot{Q} = Q \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

- \dot{Q} = Laju perpindahan kalor (Watt)
- Q = Kalor (Joule)
- t = Waktu (detik)
- k = Konduktivitas termal ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

- A = Luas permukaan (m^2)
- ΔT = Perubahan suhu (K)
- L = Panjang (m)

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor karena adanya perbedaan suhu melalui zat perantara yang disertai dengan perpindahan bagian-bagian zat tersebut. Jika partikel berpindah dan mengakibatkan kalor merambat, maka terjadilah konveksi. Berdasarkan hukum *newton*, rumus menentukan nilai konveksi menggunakan persamaan (2.10), sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = h \cdot A \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan :

- \dot{Q} = Laju kalor (J/detik)
- h = Koefisien konveksi ($W/m^2.K$)
- A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)
- Q = Perpindahan kalor (Joule)
- t = Waktu (detik)
- ΔT = Perubahan suhu (K)

3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan kalor karena adanya perbedaan suhu tanpa melalui suatu zat perantara. Radiasi merupakan perpindahan kalor yang terjadi karena pancaran, sinaran, maupun gelombang elektromagnetik. Berdasarkan hukum *Stefan-Boltzman*, menentukan nilai radiasi menggunakan persamaan (2.11), sebagai berikut :

$$Q/t = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan :

- σ = $5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2}.K^{-4}$ (tetapan *Stefan-Boltzmann*)
- A = Luas permukaan (m^2)
- T = Suhu (K)

- Q = Perpindahan kalor (Joule)
- t = Waktu (detik)
- e = Koefisien emisivitas ($0 \leq e \leq 1$)

Seperti yang sudah dijelaskan pada batasan masalah, bahwa untuk nilai Q_{loss} diabaikan. Oleh karena itu untuk nilai konduksi, konveksi maupun radiasi tidak dihitung atau dianggap 0 dalam penelitian ini.

2.2.5 Proses Reaksi Pembakaran

Pengertian proses pembakaran yaitu reaksi kimia (oksidasi) secara cepat antara udara dan suatu bahan bakar disertai dengan produksi panas dan timbulnya cahaya. Pada dasarnya akan terjadi suatu proses pembakaran apabila ada bahan bakar, udara yang cukup serta adanya sumber kalor. Unsur yang mudah terbakar dalam setiap bahan bakar ialah karbon, hidrogen dan sulfur.

Hal yang harus diperhatikan untuk mengontrol suatu proses pembakaran, yaitu :

1. Temperatur

Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup untuk menyalakan dan mempertahankan suatu pembakaran.

2. Turbulensi

Turbulensi adalah suatu keadaan yang terjadi akibat perbedaan tekanan dan temperatur. Turbulensi yang tinggi akan menyebabkan bahan bakar dan pengoksidasi tercampur dengan baik.

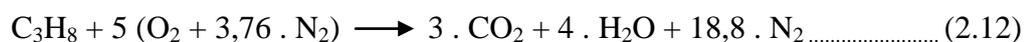
3. Waktu

Waktu yang cukup agar pembakaran sempurna dapat tercapai.

Pembakaran sempurna atau pembakaran stoikiometri ialah proses pembakaran dimana semua unsur pembakaran membentuk gas (CO_2) dan uap air (H_2O) sehingga tidak ada lagi bahan bakar yang tersisa serta waktu pembakaran yang tepat. Dengan demikian, ketika suatu bahan bakar benar-benar terbakar dengan udara teoritis, tidak ada oksigen bebas yang terkandung pada gas produk.

Pembakaran dengan kelebihan udara atau pembakaran aktual yaitu proses pembakaran bahan bakar dengan jumlah udara berlebih untuk memastikan bahwa bahan bakar terbakar habis. Dengan demikian, ketika suatu bahan bakar benar-benar terbakar dengan udara berlebih, akan ada oksigen bebas yang terkandung pada gas produk.

Pembakaran secara teoritis pada bahan bakar LPG (C_3H_8) dinyatakan dengan persamaan (2.12), sebagai berikut :



Faktor yang perlu diperhatikan dalam proses pembakaran yaitu bahan bakar, udara dan sumber kalor. Untuk mencapai pembakaran yang sempurna, perbandingan antara bahan bakar dan udara harus tepat. Perbandingan ini menggunakan massa atau volume dari bahan bakar dan udara. Perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar disebut *Air-Fuel Ratio* (AFR). Untuk menghitung AFR menggunakan persamaan (2.13), sebagai berikut :

$$AFR = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{v_{air}}{v_{fuel}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Besarnya nilai AFR dapat diketahui dengan uji coba reaksi pembakaran yang benar-benar terjadi (AFR aktual). Sedangkan AFR stoikiometri merupakan AFR yang diperoleh dari persamaan reaksi pembakaran. Dengan perbandingan kedua AFR tersebut dapat diketahui nilai *Equivalence Ratio* (ϕ). Untuk menghitung nilai *Equivalence Ratio* (ϕ) menggunakan persamaan (2.14), sebagai berikut :

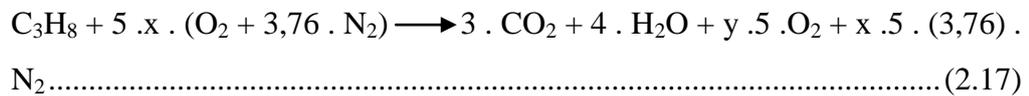
$$\phi = \frac{AFR_{sto}}{AFR_{akt}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk mencapai pembakaran yang sempurna perlu disuplai udara dengan jumlah yang lebih dari jumlah udara minimal (*Excess Air*). Jumlah udara minimal yang dibutuhkan untuk mencapai pembakaran sempurna dinamakan udara teoritis (*Stoichiometric Air*). Hubungan antara *Stoichiometric Air* dengan *Excess Air* menggunakan persamaan (2.15) dan (2.16), sebagai berikut :

$$\blacksquare \text{ Stoichiometric Air} = \frac{100\%}{\phi} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\blacksquare \text{ Excess Air} = \frac{(1-\phi)}{\phi} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Setelah menentukan kelebihan jumlah udara pada proses pembakaran LPG (C_3H_8), maka menggunakan persamaan (2.17) dimana EA adalah *Excess Air*, sebagai berikut :



Dengan :

- x = Persentase udara stoikiometri (100% + % EA)
- y = Persentase udara berlebih (% EA)

2.2.6 Entalpi dan Perubahannya

Entalpi adalah istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah total energi atau kalor yang terkandung dalam suatu materi. Suatu zat akan mengalami perubahan entalpi apabila zat tersebut mengalami reaksi kimia atau reaksi fisika. Entalpi (H) tidak bisa diukur, tapi yang bisa dihitung adalah nilai perubahannya. Rumus untuk menentukan nilai perubahan entalpi menggunakan persamaan (2.18), sebagai berikut :

$$\Delta H = H_P - H_R \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan :

- ΔH = Perubahan entalpi
- H_P = Entalpi produk
- H_R = Entalpi reaktan

Berdasarkan penelitian ini, ada 3 perubahan entalpi (ΔH) yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Perubahan Entalpi Pembentukan Standar (ΔH_f°)

Perubahan entalpi pembentukan standar adalah besarnya perubahan entalpi (diserap atau menyerap) yang terjadi pada pembentukan 1 mol senyawa dan unsur-unsurnya dalam keadaan standar. Keadaan standar yang dimaksud adalah pada suhu $25^\circ C$ dan pada tekanan 1 atm.

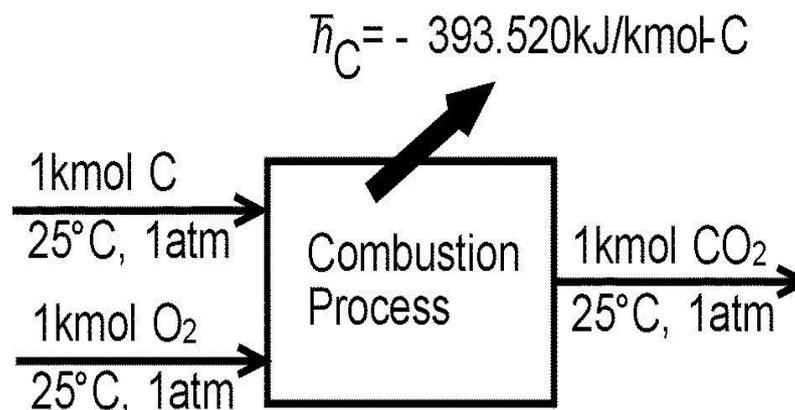
2. Perubahan Entalpi Penguraian Standar (ΔH°_d)

Perubahan Entalpi Penguraian Standar adalah besarnya perubahan entalpi (diserap atau menyerap) yang terjadi pada penguraian 1 mol senyawa dan unsur-unsurnya dalam keadaan standar (suhu 25 °C, tekanan 1 atm). Perubahan entalpi penguraian berbanding terbalik dengan perubahan entalpi pembentukan, begitupun dengan tanda nilainya. Jumlah kalor yang dilepaskan pada pembentukan senyawa dari unsur-unsur penyusunnya = jumlah kalor yang diperlukan pada penguraian senyawa tersebut menjadi unsur-unsur penyusunnya (hukum *Laplace*).

3. Perubahan Entalpi Pembakaran Standar (ΔH°_c)

Perubahan Entalpi Pembakaran Standar adalah besarnya perubahan entalpi (melepaskan kalor) yang terjadi pada pembakaran 1 mol senyawa dan unsur-unsurnya secara sempurna dalam keadaan standar (suhu 25°C, tekanan 1 atm).

Jika temperatur dan tekanan pada inlet dan outlet sama, maka perubahan nilai energi pada sistem akan sama dengan perubahan nilai energi kimia dari unsur-unsur yang ada. Skema proses pembakaran seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Proses Pembakaran (Josseph,1991)

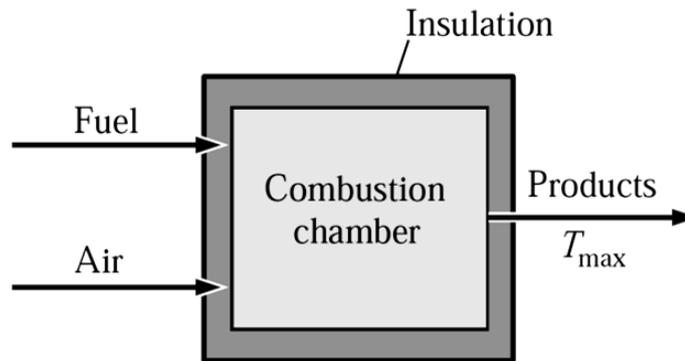
Tabel 2.1 Perubahan entalpi pembakaran (ΔH°_c) pada beberapa zat (Jossep, 1991)

Nama Zat	ΔH°_c (kJ/mol)	Reaksi Pembakaran
Karbon	-393,5	$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
Metana	-802	$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$
Belerang	-297	$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$
Hidrogen	-285,85	$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$
	-241,8	$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$
Karbon monoksida	-283	$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
Metanol	-638	$CH_3OH(l) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$
Isooktana	-5460	$C_8H_{18}(l) + 12\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(g)$

2.2.7 Suhu Nyala Adiabatik

Suhu nyala adiabatik adalah suhu nyala maksimum pada bahan bakar tanpa ada kehilangan panas atau kalor ke lingkungan. Suhu nyala adiabatik diperlukan untuk mengetahui besarnya panas yang dihasilkan bahan bakar pada pembakaran. Perhitungan suhu nyala adiabatik didasarkan atas persentase massa dari kandungan carbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N) di dalam bahan bakar. Hal ini merupakan salah satu karakteristik termal dari suatu bahan bakar.

Dengan tidak adanya interaksi kerja serta perubahan pada energi kinetik atau potensial, energi kimia yang dilepaskan selama proses pembakaran akan hilang sebagai panas ke lingkungan atau akan digunakan secara internal untuk meningkatkan suhu produk pembakaran. Semakin kecil panas yang hilang, semakin besar kenaikan suhu. Pada kasus yang dibatasi dengan tidak adanya kehilangan panas ke lingkungan ($Q = 0$), maka suhu produk mencapai nilai maksimum dan disebut dengan nyala api adiabatik atau suhu pembakaran adiabatik dari reaksi (Cengel, 2005). Kondisi ini dapat dinyatakan dengan gambar 2.5, sebagai berikut :



Gambar 2.5 Pembakaran Temperatur Nyala Adiabatik (Cengel, 2005)

Menurut Yunus A. Cengel (2005), rumus suhu nyala adiabatik diturunkan dari persamaan (2.19) dan (2.20), sebagai berikut :

$$Q - W = \sum N_p (\bar{h}^\circ_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p - \sum N_r (\bar{h}^\circ_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r \dots\dots\dots (2.19)$$

$$Q - W = H_{prod} - H_{reak} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan :

- Q = Heat transfer ke sistem lingkungan (kJ/kmol)
- W = Work energy transfer oleh perbedaan temperature (kJ/kmol)
- N_p = Molar produk
- N_r = Molar reaktan
- \bar{h}°_f = Entalpi pembentukan (kJ/kmol)
- \bar{h} = Entalpi pada suhu adiabatik (kJ/kmol)
- \bar{h}° = Entalpi pada temperatur tertentu (kJ/kmol)

Karena dalam pembakaran adiabatik Q_{loss} diabaikan dan tidak ada kerja ke lingkungan maka $Q = 0$ dan $W = 0$, sehingga rumus suhu nyala adiabatik menjadi persamaan (2.21) dan (2.22) :

$$H_{prod} = H_{reak} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\sum N_p (\bar{h}^\circ_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p = \sum N_r (\bar{h}^\circ_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

- H_{prod} = Entalpi produk (kJ/kmol)
- H_{reak} = Entalpi reaktan (kJ/kmol)