

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tanzi dan Sulistiana (2011), melakukan penelitian komposisi campuran *bioethanol* dan minyak goreng bekas dapat digunakan sebagai bahan bakar pada kompor bertekanan apabila penambahan campuran *bioethanol* lebih banyak dari minyak goreng. Besaran nilai kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran tersebut adalah 76,86 J/kg dengan nilai viskositas 46,2 cst. Sedangkan nilai kalor terendah yang diperoleh adalah 27,52 J/kg dengan viskositas 22,5 cst. Bertambahnya campuran *bioethanol* kedalam bahan bakar campuran akan mempengaruhi penurunan nilai kalor bahan bakar campuran *bioethanol*.

Penelitian lain yang telah dilakukan adalah penentuan nilai kalor minyak kluwek menggunakan kalorimeter larutan atau kalorimeter sederhana sangat kurang tepat, karena minyak kluwek tidak tercampur atau larut pada air. Hasil pengujian didapat bahwa minyak kluwek memiliki panas sekitar 0,78 kal/gr °C dan nilai kalor 38,1751 MJ/kg sehingga minyak kluwek tidak memenuhi standar spesifikasi minyak bakar menurut SK Dirjen Migas No 14496K/14/DJM 2008 yaitu min 41.87 MJ/kg (Wijayanto, 2013).

Patabang (2009) menambahkan, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bahwa bahan bakar hasil pembakaran tentu mengandung *carbon*, *sulur*, *nitrogen* dan *oksigen* yang akan mempengaruhi tingkat kelembaban dan nilai kalor dari bahan bakar tersebut, dalam mencari nilai kalornya pengukuran secara eksperimental dilakukan dengan metode analisis *proksimasi* dengan menggunakan *calorymeter bomb* didapat hasil 10697,4 Btu/lb dan penghitungan teoritik dilakukan menggunakan formula dulong didapat hasil HHV = 10594,5 Btu/lb.

Cara untuk mengetahui kualitas *bioethanol* dilihat dari segi kalornya dengan menggunakan *calorymeter bomb*. *Bioethanol* yang digunakan dalam penelitian berasal dari *fermentasi* gula tebu. Dari hasil pengujian, didapat bahwa nilai kalor campuran 10%-30% *bioethanol-pertamax* lebih tinggi

dibandingkan campuran *bioethanol premium*. Akan tetapi pada campuran 40% dan 50% nilai kalor campuran *bioethanol-pertamax* lebih rendah dari pada campuran *bioethanol-premium* (Muhamad, 2010).

Menurut Putri (2016), pengujian ini dilakukan menggunakan alat kalorimeter bom untuk mengetahui nilai kalor dari solar. Pengukuran kalorimeter bom yang dilakukan pada kondisi volume konstan tanpa aliran atau dengan reaksi pembakaran dilakukan tanpa menggunakan nyala api melainkan menggunakan gas oksigen sebagai pembakaran dengan volume konstan atau tegangan tinggi. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kalor yaitu 4.772.250 J/ℓ, 4.773.002 J/ℓ, 4.772.250 J/ℓ, 4.772.250 J/ℓ, dan 4.772.250 J/ℓ, sedangkan nilai kalor solar secara teoritis yaitu 4.300.000 J/ℓ.

Latifah (2016) menyebutkan bahwa variable proses yang diamati adalah temperature dan kecepatan pengadukan dengan menggunakan *calorimeter bom* dimana suhu yang digunakan pada variable proses ada 2 yaitu suhu air dan pertamax. Variable bebas meliputi suhu air yang digunakan untuk lima kali percobaan yaitu 32 °C, 37 °C, 42°C, 47 °C, dan 52 °C. Sedangkan suhu pertamax yang digunakan yaitu 42 °C, 47 °C, 52 °C, 57 °C, dan 62 °C. Rata-rata nilai kalor pada percobaan adalah 47586,41 kJ/kg, dari data diperoleh terjadi perbedaan secara teori dimana spesifikasi nilai kalor pertamax yaitu 43616 kJ/kg. Didapat rata-rata penyimpangan dari teori dengan percobaan yaitu sebesar 9,1%.

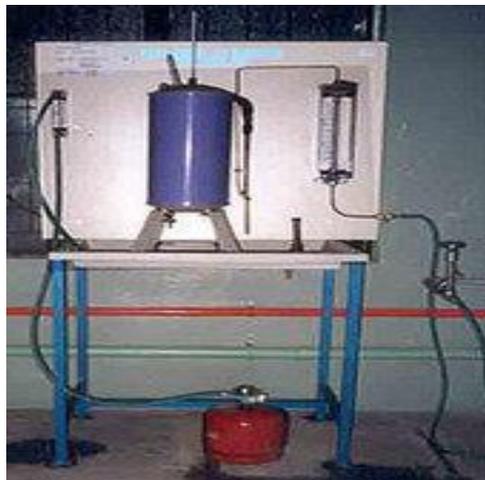
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kalorimeter

Kalorimeter merupakan alat untuk mengukur nilai kalor suatu zat. Prinsip kerja kalorimeter sama seperti dalam termodinamika yang dikemukakan oleh *Joseph Black* yaitu pada pencampuran dua zat, banyaknya kalor yang dilepas zat yang suhunya lebih tinggi sama dengan banyaknya kalor yang diterima zat yang suhunya lebih rendah. Alat kalorimeter sendiri terdapat beberapa macam salah satunya yaitu :

1. Kalorimeter Aliran

Kalorimeter aliran berarti mengukur aliran panas air dari hasil pembakaran yang berlangsung. Pada proses tersebut terjadi penyerapan panas dari pembakaran ke ruangan sirkulasi air. Pada kalorimeter ini debit aliran bisa kita atur sesuai keinginan. Hal yang perlu diperhatikan dalam kalorimeter aliran ini adalah suhu air masuk ke tabung kalorimeter, suhu air keluar dari tabung kalorimeter, suhu lingkungan dan suhu buang pembakaran. Dari data tersebut maka dapat dicari nilai kalor bahan bakar yang digunakan.



Gambar 2.1 Kalorimeter Aliran (Rahardi 2017)

2. Kalorimeter Bom

Kalorimeter bom adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam O_2 yang berlebih) pada suatu senyawa. 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 terpasang pada tabung (anonim, 2012). Contoh kalorimeter bom seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kalorimeter Bomb (Rahardi 2017)

2.2.2 Liquefied Petroleum Gas (LPG)

Liquefied petroleum gas adalah gas bumi yang dicairkan dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya sehingga gas tersebut berubah menjadi cair. Komponen gas LPG disusun oleh *propana* (C_3H_8) dan *butana* (C_4H_{10}) dan juga mengandung hidrokarbon ringan dalam jumlah kecil seperti *etana* (C_2H_6) dan *pentana* (C_5H_{12}). LPG mempunyai rata-rata nilai kalor sebesar 21000 BTU/lb dan berat jenis lebih berat dari pada udara dengan berat jenis sekitar 2:10 dibanding dengan udara dan mempunyai tekanan uap LPG cair dalam tabung kurang lebih sekitar 50 sd 62 kg/cm².



Gambar 2.3 *Liquefield Petroleum Gas (LPG)*

2.2.3 Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor adalah jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut (Farel, 2006). Nilai kalor merupakan jumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran sempurna dari bahan bakar. Diukur dalam satuan energi per jumlah material misalnya kJ/kg nilai kalor ada dua macam yaitu:

1. *Lower Heating Value* (LHV)

Lower Heating Value adalah nilai kalor bawah. Nilai kalor atas ditentukan oleh H₂O pada produk pembakaran berbentuk gas.

2. *Higher Heating Value* (HHV)

Higher Heating Value adalah nilai kalor atas. Nilai kalor bawah ditentukan pada saat (H₂O) pada produk pembakaran berbentuk cair.

Nilai kalor dirumuskan dengan persamaan (2.1) sebagai berikut :

$$\text{Nilai kalor} = H_{\text{produk}} (H_p) - H_{\text{reaktan}} (H_r) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

$$H_p = \sum_i (N_{p,i} \cdot h_{f,p,i}^o) \dots \dots \dots (2.2)$$

$$H_r = \sum_j (N_{r,j} \cdot h_{f,r,j}^o) \dots \dots \dots (2.3)$$

2.2.4 Sifat Thermal Zat

Setiap zat yang melakukan transfer kalor, maka zat tersebut akan mengalami perubahan suhu, volume, dan perubahan wujud. 1 kalori (kal) adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan 1 gram air sehingga menaikkan suhunya 1°C.

Kalor jenis adalah jumlah kalor yang dibutuhkan suatu zat sebesar 1 kg untuk perubahan suhu sebesar 1 K atau 1°C. Kalor jenis merupakan karakteristik termal suatu zat, bergantung pada jenis zat yang dipanaskan atau didinginkan. Kalor dapat dinyatakan dalam persamaan (2.4).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

- Q = kalor pada perubahan suhu (Joule)

- m = massa zat (kg)
- c = kalor jenis (J/kg.°C)
- ΔT = perubahan suhu (°C)
- cp = kalor jenis pada tekanan konstan
- cv = kalor jenis pada volume konstan

Kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang dibutuhkan suatu zat untuk menaikkan suhu zat sebesar 1°C. Jika sejumlah kalor (Q) menghasilkan perubahan suhu sebesar Δt, maka kapasitas kalor dapat dirumuskan pada persamaan (2.5).

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- C = kapasitas kalor (Joule/°C)
- T = perubahan suhu (°C)
- Q = kalor pada perubahan suhu (Joule)

2.2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses berpindahnya energi panas dari suatu tempat ketempat lain dikarenakan adanya perbedaan temperature atau suhu. Perpindahan panas dapat berlangsung dengan beberapa cara seperti :

1. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas karena adanya perbedaan suhu, dengan adanya median penghantar panas tetap (hukum *fourier*).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\dot{Q} = Q \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- \dot{Q} = laju perpindahan kalor (Watt)

- k = konduktivitas termal (W/m.K)
- A = luas permukaan perpindahan kalor (m^2)
- ΔT = perubahan suhu (K)
- L = panjang (m)
- Q = kalor (Joule)
- T = waktu (detik)

2. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida cair atau gas (hukum *newton*)

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

Keterangan :

- \dot{Q} = laju kalor (J/detik)
- h = koefisien konveksi (m^2)
- A = luas permukaan perpindahan kalor (m^2)
- Q = perpindahan kalor (Joule)
- t = waktu (detik)
- ΔT = perubahan suhu (K)

Nilai koefisien konveksi (h) dipengaruhi oleh nilai dari bilangan *Rayleigh* (Ra) dan angka *Nussel* (Nu). Rumus koefisien konveksi (h) seperti pada persamaan (2.9) berikut:

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu \dots\dots\dots (2.9)$$

keterangan :

- k = Konduktivitas thermal (W/m . $^{\circ}C$)
- D = Diameter (m^2)
- Nu = Angka *Nusselt*

Oleh sebab itu nilai dari (Ra) dan (Nu) harus diketahui terlebih dahulu untuk menentukan nilai (h) rumus angka *Rayleigh* (Ra) pada persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) D^3}{\nu^2} \times Pr \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- g = Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- ν = *Kinematic viscosity* (m^2/s)
- Pr = *Prandtl Number*

Rumus angka *Nusselt* (Nu) seperti pada persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$Nu = \left(0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{4}{9}}} \right)^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

- Ra = Angka *Rayleigh*
- Pr = *Prandtl Number*

3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran, sinaran, radiasi gelombang elektro magnetik, tanpa memerlukan media perantara (hukum *Stefan-Boltzman*).

$$\frac{Q}{t} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ (tetapan *Stefan-Boltzmann*)
- A = luas permukaan (m^2)
- T = suhu (K)
- Q = perpindahan kalor (Joule)

- t = waktu (detik)
- ε = koefisien emisivitas ($0 \leq \varepsilon \leq 1$)

2.2.6 Proses dan Reaksi Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Proses pembakaran dapat terjadi bila konsentrasi uap bahan bakar dengan oksigen terpenuhi, dan terdapat energi panas yang cukup. Unsur utama yang terdapat pada bahan bakar adalah *karbon* dan *hydrogen*. Tujuan utama dari pembakaran sempurna yaitu untuk melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal yang harus dilakukan agar dapat mengontrol pembakaran sempurna adalah ;

1. *Temperature*

Suhu yang cukup untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar.

2. *Turbulence*

Turbulence atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang cukup.

3. Waktu

Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

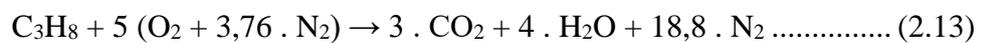
Pembakaran yang sempurna dapat menghemat konsumsi bahan bakar untuk proses pembakaran serta menstabilkan emisi pembakaran pada gas pembuangan, karena pembakaran yang sempurna akan memungkinkan campuran bahan bakar dan udara terbakar secara merata dalam waktu yang tepat.

Secara teoritis proses pembakaran akan terjadi secara sempurna apabila jumlah udara yang tersedia cukup, sehingga semua unsur karbon (C) berubah menjadi karbon dioksida (CO_2) dan semua unsur hidrogen (H) berubah menjadi air (H_2O) (Rahardi, 2017).

Pada kasus tertentu pembakaran yang tidak sempurna adalah pembakaran yang terkandung unsur C, H_2 , CO, OH atau yang lain dalam gas pembuangannya. Faktor-faktor yang menyebabkan hal tersebut diantaranya kurangnya oksigen yang tersuplai ke ruang pembakaran dan campuran antara

bahan bakar dan udara yang kurang sesuai sehingga menyebabkan terbentuknya unsur-unsur baru yang mempengaruhi kualitas pembakaran.

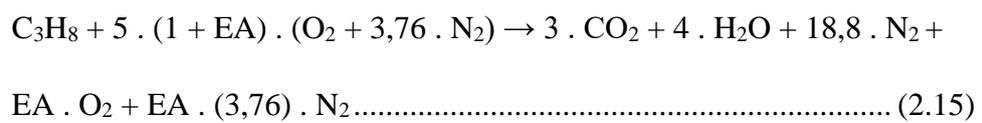
Pembakaran yang tidak sempurna disebut sebagai pembakaran aktual, hal ini disebabkan karena jumlah oksigen tersuplai tidak memenuhi jumlah udara secara teoritis yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna. Sedangkan pembakaran teoritis adalah proses pembakaran yang apabila bahan bakar terbakar sempurna dengan jumlah udara yang minimum. Pembakaran secara teoritis bahan bakar *LPG* (C_3H_8) dapat dinyatakan secara umum seperti pada persamaan (2.13) :



Agar tercapainya pembakaran yang sempurna maka harus disuplai udara dengan jumlah yang lebih. Kelebihan jumlah udara tersebut dibandingkan dengan kelebihan udara secara teoritis seperti pada persamaan (2.14) dimana a dan s masing-masing menunjukkan kondisi aktual dan teoritis.

$$\% \text{udara lebih} = \frac{m_{\text{udara,a}} - m_{\text{udara,s}}}{m_{\text{udara,s}}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Reaksi pembakaran gas *LPG* (C_3H_8) dengan jumlah udara berlebih seperti pada persamaan (2.15).



Faktor yang perlu diperhatikan dalam proses pembakaran yaitu bahan bakar, udara dan kalor. Perbandingan campuran antara bahan bakar dengan udara sangat menentukan hasil proses pembakaran karena berpengaruh terhadap reaksi dan hasil pembakaran. Kondisi campuran reaksi pembakaran dapat ditentukan dengan persamaan (2.16), (2.17), (2.18) dan (2.19) berikut :

- *Air-Fuel Ratio*

$$AFR = \left(\frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bb}}} \right) \rightarrow AFR_{st} = \left(\frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bb}}} \right)_{st} = \frac{4,76 \times (\alpha + \beta / 4) MW_{\text{udara}}}{1 MW_{\text{bb}}} \dots\dots\dots (2.16)$$

- *Equivalence Ratio*

$$\Phi = \frac{AFR_{st}}{AFR} = \frac{FAR}{FAR_{st}} \dots\dots\dots (2.17)$$

- *% Stoichiometric Air*

$$\% \text{ stoichiometric air} = \frac{100\%}{\Phi} \dots\dots\dots (2.18)$$

- *% Excess Air*

$$\% \text{ excess air} = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

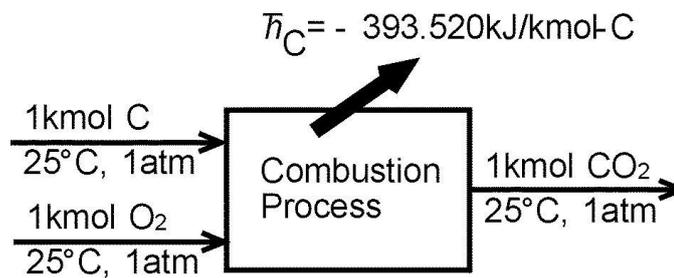
2.2.7 Entalpi Pembakaran, Entalpi Reaksi dan Entalpi Pembentukan

Entalpi pembakaran adalah perbandingan entalpi antara hasil pembakaran dengan reaktan dalam keadaan yang sama didalam reaksi pembakaran yang sempurna. Sedangkan entalpi pembentukan adalah sejumlah energi yang dilepas ataupun diserap pada suatu reaksi sehingga membentuk senyawa baru. Entalpi pembakaran hampir sama dengan entalpi reaksi, tetapi pada entalpi pembakaran reaksi terjadi pada bahan bakar yang melepaskan kalor pada proses pembakaran. Maksudnya jumlah kalor yang dilepas selama proses pembakaran terbuka sebesar 1 kmol atau 1 kg bahan bakar akan terbakar sempurna pada temperatur dan tekanan tertentu. Dalam sebuah sistem pembakaran, entalpi pembakaran dapat dinyatakan dengan persamaan (2.20).

$$\Delta E_{sistem} = \Delta E_{keadaan} + \Delta E_{kimia} \dots\dots\dots (2.20)$$

Jika temperature 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). Entalpi pembakaran dapat diketahui dengan persamaan (2.21).

$$H_C = H_P - H_R \dots\dots\dots (2.21)$$



Gambar 2.4 Skema proses pembakaran (Joseph, 1991)

Nilai entalpi pembakaran bahan bakar pada temperatur 25°C dan tekanan 1 atm dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Entalpi pembakaran pada 25°C, 1 atm (Joseph, 1991)

Nama Zat	$\Delta H^{\circ}C$ (kJmol ¹)	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	$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
Asetilena	-1256	$C_2H_2(g) + 2\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + H_2O(g)$
Metanol	-638	$CH_3OH(l) + 1\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$
Isooktana	-5460	$C_8H_{18}(l) + 12\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(g)$

2.2.8 Temperatur Nyala Adiabatik

Temperature nyala adiabatik yaitu suhu panas dari pembakaran bahan bakar tanpa ada kehilangan panas atau kebocoran panas ke lingkungan. Temperatur nyala adiabatik diperlukan untuk mengetahui nilai panas yang dihasilkan bahan bakar tersebut. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi suhu pembakaran (Melisa, 2015) :

1. Tekanan *atmosfir*
2. Bahan bakar yang terbakar
3. Ada atau tidaknya unsur pengoksidasi dalam bahan bakar
4. Bagaimana stoikiometri pembakaran yang terjadi

Dalam proses pembakaran, semua kalor yang terkandung didalam bahan bakar menjadi kalor produk dan kalor sensibel seperti pada persamaan (2.23) dan (2.24).

$$\text{Panas reaksi (H}_R\text{)} = \text{panas produk (H}_P\text{)} + \text{panas sensibel (HV)} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{Panas sensibel (HV)} = \text{panas reaktan (H}_R\text{)} - \text{panas produk (H}_P\text{)} \dots\dots\dots (2.24)$$

Untuk menghitung suhu pembakaran adiabatik digunakan rumus seperti pada persamaan (2.25).

$$\Delta H_{R_T} = \Delta H_{\circ R} + (\Delta H_p - H_R) \dots\dots\dots (2.25)$$

Sedangkan untuk menghitung panas reaksi yang terjadi, digunakan rumus seperti pada persamaan (2.26).

$$\Delta H_{\circ R} = n \sum H^{\circ} c + n \cdot \lambda H_2O \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan :

- ΔH_{R_T} = Panas reaksi pembakaran
- $\Delta H_{\circ R}$ = Panas reaksi
- ΔH_p = Panas produk
- H_R = Panas reaktan

