BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Bambang (2016) dalam perancangan tentang modifikasi sebuah prototipe kalorimeter bahan bakar untuk meningkatkan akurasi pengukuran nilai kalor bahan bakar melakukan modifikasi alat kalorimeter dengan menambahkan isolator panas menggunakan styrofoam untuk meningkatkan akurasi pengukuran nilai kalor bahan bakar. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan kecepatan pendinginan temperatur air dalam kalorimeter dari 0,052°C menjadi 0,043°C. Penurunan kecepatan pendinginan ini akan menghasilkan pengukuran yang lebih akurat.

Simond (2013) dalam penelitian tentang *flow Calorimetry: a technique for caracterisation of liquid-liquid and liquid-gas system* menggunakan teknik kalorimetri aliran. Kalorimetri aliran sangat diminati untuk representasi termodinamika pada penyerapan karbon dioksida dalam aliran air. Kalorimetri aliran bekerja pada mode dinamis. Dalam setiap kasus yang terjadi, kebenaran data entalpi dapat diperiksa dengan menguji konsistensi dengan sifat lainnya. Misalnya pengukuran entalpi karbon dioksida dapat diuji dalam aliran air dengan membandingkan batas kelarutan gas.

Farel (2006) dalam penelitian tentang pengaruh nilai kalor (*heating value*) suatu bahan bakar terhadap perencanaan volume ruang bakar ketel uap berdasarkan metode penentuan nilai kalor bahan bakar melakukan analisis yang menghasilkan tiga harga nilai kalor dan volume ruang bakar yang berbeda. Sampel bahan bakar yang digunakan adalah minyak bakar (residu). Nilai kalor minyak bakar menurut sumber data Pertamina LHV = 38.669,196 kJ/kg. Nilai kalor minyak bakar menurut sumber data kalorimeter LHV = 40.555,141 kJ/kg. Nilai kalor minyak bakar menurut sumber data perhitungan rumus Dulog LHV = 42.366,51 kJ/kg.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sifat Termal Zat

Setiap zat yang menerima ataupun melepaskan kalor, maka zat tersebut akan mengalami perubahan suhu, perubahan volume, dan perubahan wujud/bentuk. 1 kalori (kal) adalah banyaknya kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 gram air sehingga suhunya naik 1°C.

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan zat sebesar 1 kg untuk mengalami perubahan suhu sebesar 1 K atau 1°C. Kalor jenis merupakan karakteristik termal suatu zat, artinya bergantung pada jenis zat yang dipanaskan atau didinginkan. Kalor jenis dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{.....(2.1)}$$

Dengan :

- Q = kalor pada perubahan suhu (Joule)
- m = massa zat (kg)
- c = kalor jenis (J/kg.°C)
- ΔT = perubahan suhu (°C)

Kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang diperlukan 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 (2.2).

$$C = \frac{\Delta T}{Q} \quad \text{.....(2.2)}$$

Dengan :

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

2.2.2 Alat Uji Kalorimeter

Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor yang terlibat dalah suatu reaksi kimia. Proses dalam kalorimeter berlangsung secara adiabatik, yaitu tidak ada energi yang lepas ataupun masuk kedalam sistem kalorimeter (Syarifuddin, 2012). Terdapat dua jenis alat pengujian kalorimeter bahan bakar yaitu kalorimeter aliran dan kalorimeter non aliran.

1. Kalorimeter aliran (*flow calorimeter)*

   Kalorimeter aliran biasa digunakan untuk menghitung nilai kalor bahan bakar gas yang tersusun dari sebuah ruang pembakaran dengan volume konstan yang diselimuti dengan air yang dialirkan dengan konstan sebagai media ukur saat terjadi perubahan suhu akibat proses pembakaran. Kenaikan suhu ruang pembakaran akan memanaskan air sehingga didapatkan suhu sebelum dan sesudah pembakaran. Dari nilai suhu ini kemudian dihitung nilai kalor bahan bakar. Contoh kalorimeter aliran seperti pada gambar 2.1.

Gambar 2.1 *Flow calorimeter*

2. Kalorimeter non aliran (*bomb calorimeter*)

   Kalorimeter non airan biasa digunakan untuk menghitung nilai kalor bahan bakar padat dan cair. Berbeda dengan kalorimeter aliran, pengukuran yang dilakukan pada kalorimeter non aliran menggunakan kondisi volume dan air yang konstan tanpa adanya aliran. Bahan bakar dimasukkan kedalam sebuah bejana logam yang diisi dengan oksigen bertekanan tinggi yang biasa disebut bom. Bom ditempatkan didalam bejana berisi air dan bahan bakar dinyalakan dengan sambungan listrik dari luar. Air diaduk untuk menjaga keseragaman perubahan suhu yang kemudian diukur mengunakan termometer. Contoh kalorimeter non aliran seperti pada gambar 2.2.

Gambar 2.2 *Bomb calorimeter*

2.2.3 Modus Perpindahan Kalor

Konduktivitas termal adalah suatu fenomena perpindahan dimana perbedaan temperatur menyebabkan perpindahan energi termal dari suatu daerah benda panas ke

daerah yang lain dari benda yang sama dengan temperatur yang lebih rendah (Tim Eksperiment Fisika, 2009).

Kalor yang ditransfer dari suatu titik ke titik yang lain melalui salah satu dari tiga modus perpindahan kalor, yaitu :

1. Konduksi adalah bila panas yang di transfer tidak diikuti dengan perpindahan massa dari benda. Konduksi diakibatkan oleh tumbukan antar molekul penyusun zat. Ujung benda yang panas mengandung molekul yang bergetar lebih cepat. Ketika molekul yang bergetar cepat tadi menumbuk molekul disekitarnya yang lebih lambat, maka terjadi transfer energi ke molekul disebelahnya sehingga getaran molekul yang semula lambat menjadi lebih cepat. Molekul ini kemudian menumbuk molekul lambat disebelahnya dengan disertai transfer energi. Demikian seterusnya sehingga pada akhirnya energi sampai pada ujung benda yang lainnya. Perpindahan kalor secara konduksi dapat ditentukan dengan persamaan (2.3).

   $$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{K\ .\ A\ .\ \Delta T}{L}$$

   $$\dot{Q} = Q\ .\ A\ .\ t\ .\ \frac{\Delta T}{L} \quad \text{.....(2.3)}$$

   Dengan :

   - $\dot{Q}$ = 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 terjadi karena getaran massa molekul dari suatu tempat ke tempat lain. Konveksi terjadi pada perpindahan molekul dalam jarak yang jauh. Perpindahan kalor secara konvensi dapat ditentukan dengan persamaan (2.4).

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = h \,.\, A \,.\, \Delta T^4 \quad \text{.....(2.4)}$$

Dengan :

- $\dot{Q}$ = 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)

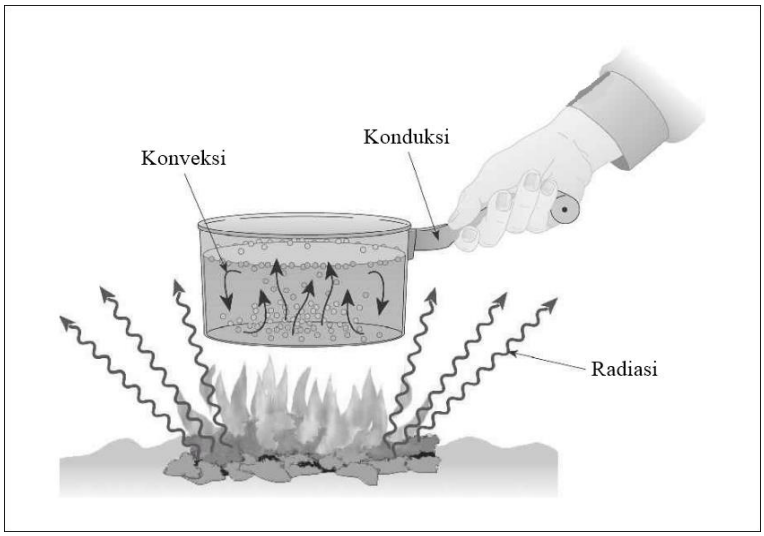
3. Radiasi adalah perpindahan kalor tanpa memerlukan media perantara. Artinya perpindahan energi kalor yang terjadi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (Abdullah, 2005). Perpindahan kalor secara radiasi dapat ditentukan dengan persamaan (2.5).

$$\frac{Q}{t} = e \,.\, \sigma \,.\, A \,.\, T^4 \quad \text{.....(2.5)}$$

Dengan :

- σ = 5,67 x 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 ($0 \leq e \leq 1$)

Skema perpindahan kalor secara konduksi, konveksi dan radiasi dapat dilihat seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema modus perpindahan kalor

2.2.4 Proses dan Reaksi Pembakaran

Proses pembakaran adalah terjadinya oksidasi yang cepat dari bahan bakar yang disertai dengan terbentuknya panas dan cahaya. Pembakaran yang sempurna pada bahan bakar terjadi jika pasokan oksigen tercukupi. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen dan sulfur.

Tujuan pembakaran sempurna adalah untuk melepaskan seluruh energi panas yang terdapat pada bahan bakar. Pembakaran sempurna dapat dicapai dengan melakukan pengontrolan terhadap tiga aspek berikut :

1. Temperatur

   Temperatur yang digunakan dalam pembakaran harus cukup tinggi untuk memastikan terjadinya reaksi kima.

2. Turbulensi

   Turbulensi yang tinggi akan menyebabkan bahan bakar dan pengoksidasi tercampur dengan baik.

3. Waktu

   Waktu pembakaran yang cukup untuk memastikan panas terserap oleh reaktan sehingga proses termokimia dapat terjadi.

Pembakaran yang sempurna dapat menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar serta mengurangi kepekatan asap hitam pada gas pembuangan, karena ketika terjadi pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara akan terbakar seluruhnya dalam waktu yang tepat.

Energi panas yang dihasilkan proses pembakaran berupa senyawa hidrokarbon yang mendominasi kebutuhan energi. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang bersifat eksotermis dari senyawa-senyawa yang ada didalam bahan bakar dengan oksigen yang kemudian menghasilkan panas.

Secara teoritis proses pembakaran akan terjadi secara komplet/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.

Tetapi pada kenyataannya proses pembakaran berlangsung tidak sempurna yaitu tidak memenuhi syarat seperti di atas (timbulnya C, H_2, CO, OH atau yang lain). Hal ini dapat disebabkan oleh kekurangan oksigen, kualitas campuran bahan bakar dan udara yang tidak baik dan terjadinya disosiasi (pecahnya unsur-unsur stabil yang kemudian membentuk unsur baru).

Pembakaran aktual adalah proses pembakaran yang tidak sempurna dimana jumlah oksigen yang digunakan tidak memenuhi jumlah udara stoikiometris/teoritis untuk pembakaran sempurna. Sedangkan pembakaran stoikiometris/teoritis adalah proses pembakaran yang apabila bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna dengan jumlah udara yang minimum. Udara minimum ini disebut sebagai udara teori. Dengan kata lain pembakaran stoikiometris adalah pembakaran sempurna tanpa menyisakan oksigen O_2 dari hasil pembakarannya. Pembakaran stoikiometris dengan bahan bakar LPG (C_3H_8) dapat dinyatakan secara umum seperti pada persamaan (2.6).

$$C_3H_8 + 5\,(O_2 + 3{,}76\,.\,N_2) \rightarrow 3\,.\,CO_2 + 4\,.\,H_2O + 18{,}8\,.\,N_2 \quad \text{.....(2.6)}$$

Pada kenyataannya dengan tujuan menjamin sempurnanya proses pembakaran dan/atau menurunkan temperatur pembakaran, maka disuplai udara dalam jumlah yang berlebih. Kelebihan jumlah udara dibandingkan jumlah udara teori/stoikiometris

ini disebut udara lebih (*excess air*) seperti pada persamaan (2.7) dimana a dan s masing-masing menunjukkan kondisi aktual dan stoikiometris/teoritis.

$$\%\text{udara lebih} = \frac{m_{\text{udara,a}} - m_{\text{udara,s}}}{m_{\text{udara,s}}} \quad \text{.....(2.7)}$$

Reaksi pembakaran gas LPG (C_3H_8) dengan menggunakan udara berlebih (*excess air*) seperti pada persamaan (2.8).

$$C_3H_8 + 5 \,.\, (1 + EA) \,.\, (O_2 + 3{,}76 \,.\, N_2) \rightarrow 3 \,.\, CO_2 + 4 \,.\, H_2O + 18{,}8 \,.\, N_2$$
$$+ EA \,.\, O_2 + EA \,.\, (3{,}76) \,.\, N_2 \quad \text{.....(2.8)}$$

Dalam proses pembakaran perlu diperhatikan bahan bakar, udara (oksigen), kalor serta reaksi kimia. Perbandingan campuran bahan bakar dengan udara sangat menentukan hasil proses pembakaran karena mempengaruhi reaksi pembakaran dan hasil pembakaran. Kondisi campuran reaksi pembakaran dapat ditentukan dengan persamaan (2.9), (2.10), (2.11) dan (2.12).

Air-Fuel Ratio

$$\text{AFR} = \left(\frac{m_{udara}}{m_{bb}}\right) \rightarrow \text{AFR}_{\text{st}} = \left(\frac{m_{udara}}{m_{bb}}\right)_{st} = \frac{4{,}76 \times (\alpha + \beta/4)}{1} \frac{MW_{udara}}{MW_{bb}} \quad \text{.....(2.9)}$$

Equivalence Ratio

$$\Phi = \frac{AFR_{st}}{AFR} = \frac{FAR}{FAR_{st}} \quad \text{.....(2.10)}$$

% Stoichiometric Air

$$\%\ stoichiometric\ \ air = \frac{100\%}{\Phi} \quad \text{.....(2.11)}$$

% Excess Air

$$\%\ excess\ \ air = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \cdot 100\% \quad \text{.....(2.12)}$$

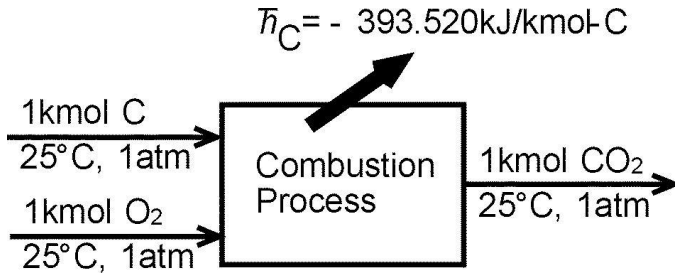
2.2.5 Entalpi Pembakaran, Entalpi Reaksi dan Entalpi Pembentukan

Entalpi pembakaran adalah perbandingan entalpi antara hasil pembakaran dengan reaktan dalam keadaan yang sama dalam suatu reaksi pembakaran sempurna. Sedangkan entalpi pembentukan adalah sejumlah energi yang dilepas ataupun diserap pada suatu reaksi untuk membentuk molekul atau senyawa baru. Pada dasarnya entalpi pembakaran sama dengan entalpi reaksi, tetapi pada entalpi pembakaran reaksi terjadi pada bahan bakar yang melepaskan panas dalam proses pembakaran. Artinya jumlah kalor yang dilepas selama proses pembakaran terbuka oleh 1 Kmol atau 1 Kg bahan bakar yang terbakar sempurna dalam temperatur dan tekanan tertentu. Dalam sebuah sistem pembakaran, entalpi pembakaran dapat ditentukan dengan persamaan (2.13).

$$\Delta E_{sistem} = \Delta E_{keadaan} + \Delta E_{kimia} \quad \text{.....(2.13)}$$

Jika keadaan sistem 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 (2.14).

$$H_C = H_P - H_R \quad \text{.....(2.14)}$$



Gambar 2.4 Skema proses pembakaran (Joseph, 1991)

Nilai entalpi pembakaran bahan bakar tertentu pada 25°C, 1 atm dapat dilihat pada tabel 2.1.

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

Nama Zat	$\Delta H°C$ (kJ mol^{-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	$H_2(g) + ½O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$
	-241,8	$H_2(g) + ½O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$
Karbon monoksida	-283	$CO(g) + ½O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$
Asetilena	-1256	$C_2H_2(g) + 2½O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + H_2O(g)$
Metanol	-638	$CH_3OH(l) + 1½O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$
Isooktana	-5460	$C_8H_{18}(l) + 12½O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(g)$

Sedangkan untuk zat yang tidak tercantum dapat diketahui nilai entalpi pembakarannya dari entalpi pembentukan unsur-unsurnya.

2.2.6 Temperatur Nyala Adiabatik

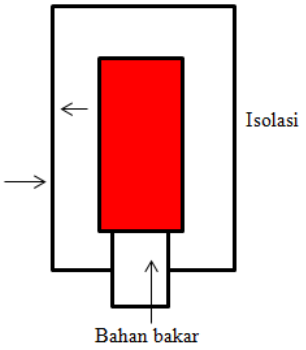
Temperatur nyala adiabatik adalah suhu tertinggi dari nyala api bahan bakar yang terjadi dalam suatu sistem tertutup tanpa ada kebocoran panas dari sekelilingnya. Artinya temperatur nyala adiabatik adalah suhu yang terjadi pada proses pembakaran tanpa adanya panas yang masuk ataupun keluar sehingga tidak terjadi perubahan panas didalam sistem pembakaran. Temperatur nyala adiabatik diperlukan untuk mengetahui nilai panas yang dihasilkan bahan bakar tersebut. Dalam proses pembakaran, semua kalor yang terkandung didalam bahan bakar menjadi kalor produk dan kalor sensibel seperti pada persamaan (2.15) dan (2.16).

Panas reaksi (H_R) = panas produk (H_P) + panas sensibel (HV) .....(2.15)

Panas sensibel (HV) = panas reaktan (H_R) – panas produk (H_P) .....(2.16)

Temperatur nyala adiabatik tidak dapat ditentukan secara nyata, tetapi para ahli mencari metode untuk menentukannya secara teori. Temperatur nyala api ditentukan oleh jenis bahan bakar dan oksida yang digunakan (Melisa, 2015). Skema pembakaran adiabatik seperti pada gambar 2.5. Secara matematik, temperatur nyala adiabatik dapat dirumuskan dengan persamaan (2.17).

$$dQ = 0 \longrightarrow Q = \text{Konstan} \quad \text{.....(2.17)}$$



Gambar 2.5 Skema sistem pembakaran adiabatik

Untuk menghitung suhu pembakaran adiabatik digunakan rumus seperti pada persamaan (2.18).

$$\Delta HR_T = \Delta H_{\circ R} + (\Delta H_p - H_R) \quad \text{.....(2.18)}$$

Sedangkan untuk menghitung panas reaksi yang terjadi, digunakan rumus seperti pada persamaan (2.19).

$$\Delta H_{\circ R} = n\sum H^{\circ}c + n.\lambda H_2O \quad \text{.....(2.19)}$$

Dengan :

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

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

2.2.7 Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor (*heating value*) 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 juga dapat didefenisikan sebagai kandungan energi dari suatu bahan bakar per satuan massa atau per satuan mol dari bahan bakar tersebut. Nilai kalor bahan bakar terdiri dari :

1. Nilai kalor atas (HHV)

Nilai kalor atas atau *Highest Heating Value* (HHV) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 Kg bahan bakar dengan menghitung panas kondensasi uap yang dihasilkan (hasil pembakaran berwujud cair).

2. Nilai kalor bawah (LHV)

Nilai kalor bawah atau *Lowest Heating Value* (LHV) adalah nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 Kg bahan bakar dengan mengabaikan panas kondensasi uap yang dihasilkan (hasil pembakaran berwujud gas) (Farel, 2006). Untuk menentukan nilai kalor dapat dirumuskan dengan persamaan (2.20).

$$HV = H_P - H_R$$

$$H_P = \Sigma_i \left(n_{Pi} \cdot h^\circ_{f\ Pi} \right)$$

$$H_R = \Sigma_j \left(n_{Pj} \cdot h^\circ_{f\ Pj} \right) \quad \text{.....(2.20)}$$

Dengan :

- HV = Nilai kalor
- H_P = Kalor produk
- H_R = Kalor reaksi

2.2.8 Nilai Kalor LPG secara Teoritis

Salah satu bahan bakar gas yang biasa digunakan adalah LPG (*Liquid Petroleum Gas*) yang dihasilkan dari proses pengilangan minyak bumi yang dicairkan dengan tekanan tinggi. Komposisi LPG berupa campuran propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) dengan jumlah propana yang lebih dominan. Untuk menentukan nilai kalor LPG secara teoritis, perlu diketahui reaksi pembakaran teoritis (stoikiometris) dari propana (C_3H_8) seperti pada persamaan (2.21).

$$C_3H_8 + a_{th} \,.\, (O_2 + 3{,}76 \,.\, N_2) \rightarrow x \,.\, CO_2 + y \,.\, H_2O + z \,.\, N_2 \quad \text{.....(2.21)}$$

Dengan kesetimbangan molekul antara reaktan dan produk dapat diketahui :

- C : $3 = x$ $\rightarrow x = 3$
- H : $8 = 2 \,.\, y$ $\rightarrow y = 4$
- O : $2 \,.\, a_{th} = 2.\, x + y = 2 \,.\, (3) + 4 = 10$ $\rightarrow a_{th} = 5$
- N_2 : $3{,}76 \,.\, a_{th} = z \rightarrow z = 3{,}76 \,.\, 5$ $\rightarrow z = 18{,}8$

Sehingga diketahui reaksi pembakaran teoritis C_3H_8 seperti pada persamaan (2.22).

$$C_3H_8 + 5 \,.\, (O_2 + 3{,}76 \,.\, N_2) \rightarrow 3 \,.\, CO_2 + 4 \,.\, H_2O + 18{,}8 \,.\, N_2 \quad \text{.....(2.22)}$$

Entalpi reaksi (H_R) dari C_3H_8 dapat diketahui dengan persamaan (2.23).

$$H_R = \Sigma_j \,(\, n_{Pj} \,.\, h^\circ_{f\ Pj} \,)$$

$$H_R = N_{C_3H_8} \,.\, h_f{}^\circ_{C_3H_8} + N_{O_2} \,.\, h_f{}^\circ_{O_2} + N_{N_2} \,.\, h_f{}^\circ_{N_2} \quad \text{.....(2.23)}$$

Entalpi produk (H_P) dari C_3H_8 dapat diketahui dengan persamaan (2.24).

$$H_P = \Sigma_i \,(\, n_{Pi} \,.\, h^\circ_{f\ Pi} \,)$$

$$H_P = N_{CO_2} \,.\, h_f{}^\circ_{CO_2} + N_{H_2O} \,.\, h_f{}^\circ_{H_2O} + N_{N_2} \,.\, h_f{}^\circ_{N_2} \quad \text{.....(2.24)}$$

Untuk 1 kmol C_3H_8 diketahui :

- $N_{udara} = 5 \,.\, 4{,}76 = 23{,}8$ kmol udara

- N_{CO_2} = 3 kmol CO_2
- N_{H_2O} = 4 kmol H_2O
- N_{N_2} = 18,8 kmol N_2

Selanjutnya perlu diketahui nilai entalpi pembentukan ($h_f°$) setiap komponen LPG yang dapat dilihat pada Tabel A-26 dari tabel Termodinamika meliputi :

- C_3H_8 (g) = -103.850 kJ/kmol
- O_2 = 0
- N_2 = 0
- CO_2 = -393.520 kJ/kmol
- H_2O (g) = -241.820 kJ/kmol
- H_2O (l) = -285.830 kJ/kmol

Sehingga dapat diketahui entalpi reaksi (H_R) LPG sebagai berikut.

$$H_R = N_{C_3H_8} \cdot h_f°_{C_3H_8} + N_{O_2} \cdot h_f°_{O_2} + N_{N_2} \cdot h_f°_{N_2}$$

$$H_R = 1 \cdot (-103.850) + 5 \cdot (0) + 5 \cdot 3{,}76 \cdot (0)$$

$$H_R = -103.850 \text{ kJ}$$

Untuk nilai entalpi produk pada produk H_2O dalam fasa gas ($H_{P,gas}$) dapat diketahui dengan persamaan (2.25).

$$H_{P,gas} = N_{CO_2} \cdot h_f°_{CO_2} + N_{H_2O\,(g)} \cdot h_f°_{H_2O\,(g)} + N_{N_2} \cdot h_f°_{N_2} \quad \text{.....} \quad (2.25)$$

$$H_{P,gas} = 3 \cdot (-393.520) + 4 \cdot (-241.820) + 18{,}8 \cdot (0) = -2.147.840 \text{ kJ}$$

Untuk nilai entalpi produk pada produk H_2O dalam fasa cair ($H_{P,liquid}$) dapat diketahui dengan persamaan (2.26).

$$H_{P,liquid} = N_{CO_2} \cdot h_f°_{CO_2} + N_{H_2O\,(l)} \cdot h_f°_{H_2O\,(l)} + N_{N_2} \cdot h_f°_{N_2} \quad \text{.....} \quad (2.26)$$

$$H_{P,liquid} = 3 \cdot (-393.520) + 4 \cdot (-285.830) + 18{,}8 \cdot (0) = -2.323.880 \text{ kJ}$$

Dari data tersebut dapat diketahui nilai kalor C_3H_8 sebagai berikut :

- LHV = $H_{P,gas}$ - H_R = -2.147.840 – (-103.850) = 2.043.990 kJ/kmol C_3H_8
- HHV = $H_{P,liquid}$ - H_R = -2.323.880 – (-103.850) = 2.220.030 kJ/kmol C_3H_8

Untuk mengetahui nilai LHV dan HHV dalam satuan kJ/kg, maka nilai kalor perlu dibagi dengan massa molar (Mr) C_3H_8 yang dapat diketahui dengan persamaan (2.27).

$Mr_{C_3H_8}$ = 3 . (13) + 8 . (1) = 44 kg/kmol .....(2.27)

Sehingga diketahui LHV dan HHV bahan bakar gas LPG (C_3H_8) secara teoritis :

- LHV = 2.043.990 / 44 = 46.454,31 kJ/kg
- HHV = 2.220.030 / 44 = 50.455,22 kJ/kg