

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Patabang (2009) melakukan penelitian tentang analisis nilai kalor secara eksperimental dan teoritik dari briket arang kulit kemiri. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bahwa bahan bakar hasil pembakaran tentu mengandung carbon, Sulfur, nitrogen dan oksigen serta hidrogen 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 kalorimeter bomb didapatkan hasil 10697,4 Btu/lb dan perhitungan teoritik dilakukan menggunakan formula dulong didapatkan hasil HHV = 10594,5 Btu/lb.

Sunaryo dan Widiatmo (2014) melakukan penelitian nilai kalor pada bahan bakar biomassa pada limbah kotoran hewan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap kotoran Kambing, Sapi dan Kelelawar yang dijadikan biomassa yang di dalamnya terkandung kadar kelembaban air, kadar abu, kadar zat yang terbang serta kadar karbon yang mempengaruhi nilai kalor dari gas ini, ternyata berbeda tiap masing-masing kotoran hewan. Nilai kalor dicari menggunakan pengujian dan analisa dengan metode perhitungan korelasi, maka didapat nilai HHV masing-masing sampel yaitu 10.340,07 kJ/kg untuk kotoran Kambing, 10.908,21 kJ/kg untuk kotoran Sapi dan 17.099,04 kJ/kg untuk kotoran Kelelawar.

Wiratmana dkk (2012) melakukan studi eksperimental pengaruh variasi bahan kering terhadap produksi dan nilai kalor biogas kotoran sapi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan bahwa nilai kalor pada biogas dipengaruhi oleh konsentrasi CH₄ nya, dalam pengujiannya terdapat bahan tambahan sekam padi dengan variasi penambahan 15%, 18%, 21% dan 24%, hasil variasi tertinggi yaitu 21% dan komposisi CH₄ 80% didapatkan hasil perbandingan secara eksperimental 55,017 kJ dan hasil perhitungan teoritis 75,034 kJ.

Yulianto dkk (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh perubahan debit aliran fluida panas dan fluida dingin terhadap efektivitas pada penukar kalor tipe plat aliran silang. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan variasi fluida panas dan dingin dari 5 ltr/menit, 7 ltr/menit, 9 ltr/menit dan 11 ltr/menit serta variasi temperatur fluida panas 50°, 60° dan 70° C didapatkan hasil efektivitas tertinggi yaitu 41 % dengan temperatur 70° C dan pada debit fluida dingin 5 ltr/menit serta fluida panas 11 ltr/menit. Efektivitas terendah dengan hasil 23 % pada temperatur fluida dingin yang sama dan fluida panas 50° C. Sehingga disimpulkan bahwa semakin besarnya debit fluida dan semakin besar temperatur fluida, maka efektivitas penukar kalor akan semakin besar.

Pramirtha dan Dwiyantoro (2015) melakukan studi eksperimental pengaruh laju aliran air terhadap efisiensi *thermal* pada kolektor surya pemanas air dengan penambahan *external helical fins* pada pipa. Berdasarkan penelitian yang dilakukan menggunakan variasi debit aliran 75 ltr/jam, 150 ltr/jam, 225 ltr/jam dan 300 ltr/jam terhadap kolektor surya dengan posisi sudut 10° didapatkan hasil efisiensi terbesar menggunakan variasi debit aliran 300 liter/jam yaitu 63,06% dan terendah adalah variasi debit 75 liter/jam, sehingga disimpulkan semakin kecil debit aliran maka semakin besar *losses* energi akan semakin besar.

Handoyo (2000) melakukan penelitian tentang pengaruh kecepatan aliran terhadap efektivitas *shell-and-tube heat exchanger*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan udara sebagai fluida kerja terhadap kinerja alat, didapatkan hasil efektivitas yang berbeda-beda tiap masing-masing percobaan, sehingga disimpulkan bahwa efektivitas akan meningkat apabila fluida kerja di sisi *shell* ataupun *tube* mengalir dengan kecepatan aliran yang lebih tinggi.

Ulbig and Hoburg (2001) melakukan penelitian tentang penentuan nilai kalor gas alam dengan menggunakan metode yang berbeda. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap gas alam, bahwa nilai kalor sangat penting untuk diketahui. Dalam penentuan nilai kalor gas selain dilakukan dengan pengujian menggunakan kalorimeter, juga dilakukan dengan analisis menggunakan metode korelasi dan stoikiometri untuk menentukan nilai kalor gas secara karakteristik fisik dan konduktivitas termalnya.

2.2 Dasar teori

2.2.1 Sifat Termal Zat

Sifat termal zat yaitu karakteristik suatu zat dalam mentransfer kalor yang dipengaruhi kalor jenis (C_p) dan kapasitas kalor (C) dari suatu zat ke zat yang lain sehingga terjadi perubahan sifat fisik pada zat tersebut (Abdullah, 1998).

Kalor jenis yaitu banyaknya kalor yang dibutuhkan suatu zat dengan massa 1 kg untuk melakukan perubahan nilai suhu sebesar 1 K atau 1°C . Kalor jenis merupakan sifat termal pada suatu zat, bergantung pada jenis zat yang dinaikkan atau diturunkan suhunya. Kalor jenis dirumuskan pada persamaan (2.1) berikut :

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- Q = perpindahan kalor pada perubahan suhu (Joule)
- m = massa zat (kg)
- c = kalor jenis ($\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)
- ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$)

Kapasitas kalor merupakan jumlah kebutuhan kalor suatu zat tertentu untuk menaikkan suhu dari zat tersebut senilai 1°C . Apabila kalor dengan jumlah tertentu dapat melakukan perubahan suhu sebesar (Δt), maka kapasitas kalor dirumuskan pada persamaan (2.2) berikut :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- C = kapasitas kalor ($\text{Joule}/^\circ\text{C}$)
- ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$)
- Q = kalor pada perubahan suhu (Joule)

2.2.2 Kalorimeter

Kalorimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur perubahan kalor selama reaksi kimia berlangsung (Rufiati, 2011). Panas merupakan suatu

energi yang ditransformasikan sebagai dampak dari adanya perbedaan suhu, maksudnya yaitu akibat dari berpindahnya panas dari lingkungan yang bersuhu tinggi ke lingkungan yang suhu rendah akan menyebabkan molekul-molekul pada lingkungan bersuhu tinggi melepas energi kinetik yang terkandung dan menyebabkan suhu menurun (Bird, 1993). Ada beberapa jenis kalorimeter yang dipakai dalam menentukan nilai kalor bahan bakar, diantaranya yaitu:

1. Kalorimeter Aliran (*Flow Calorimeter*)

Kalorimeter aliran adalah alat ukur untuk menghitung nilai kalor bahan bakar berjenis gas yang terdiri dari ruang pembakaran dengan volume tertentu dan menggunakan media penyerap panas air yang dialirkan dengan debit tertentu secara konstan sebagai media ukur perubahan selama proses pembakaran. Kalor dari bahan bakar akan menyebabkan naiknya suhu ruang pembakaran yang memanaskan air sehingga didapatkan suhu awal dan sesudah terjadinya pembakaran. Contoh kalorimeter aliran terdapat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kalorimeter Aliran (Rahardi, 2017)

2. Kalorimeter Bomb (*Bomb Calorimeter*)

Kalorimeter bom adalah alat ukur untuk menghitung nilai kalor bahan bakar berwujud padat, seperti briket, batu bara dan bahan lainnya.

Perbedaannya dengan kalorimeter aliran yaitu pada kalorimeter bom, air sebagai media penyerap panas memiliki volume yang konstan atau tidak dialirkan dengan debit tertentu. Bahan bakar padat tersebut ditempatkan di dalam tabung kalorimeter dengan diisi oksigen bertekanan tinggi atau disebut dengan bom. Bom diisikan didalam bejana berisi air dan bahan bakar kemudian dinyalakan dengan sambungan listrik dari luar. Air diaduk untuk menjaga keseragaman perubahan suhu yang akan diukur menggunakan termometer. Contoh kalorimeter non aliran terdapat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kalorimeter Bom (Rahardi, 2017)

2.2.3 Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas yaitu berpindahnya energi kalor suatu sistem ke sistem lain karena keduanya memiliki beda temperatur, artinya kalor berpindah dari sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke sistem yang memiliki temperatur lebih rendah, sehingga akan terjadi keseimbangan antara kedua sistem jika temperaturnya sudah bernilai sama (Bizzy dan Setiadi, 2013).

Ada 3 mekanisme perpindahan panas yaitu konduksi, koveksi dan radiasi.

1. Konduksi

Konduksi yaitu perpindahan panas melalui zat penghantar tanpa disertai perpindahan massa bagian zat tersebut. Konduksi biasanya terjadi pada zat bahan yang bersifat padat. Tumbukan antar molekul penyusun zat akan memicu terjadinya konduksi. Molekul yang terkandung pada ujung benda yang bersuhu lebih panas akan bergerak cepat dibandingkan bagian

lainnya. Ketika molekul yang bergerak cepat tersebut bertabrakan dengan molekul lain yang bergerak lebih lambat, maka terjadilah transfer energi ke molekul itu sehingga getarannya menjadi lebih cepat dengan disertai transfer energi. Rumus perpindahan kalor secara konduksi pada persamaan (2.3) berikut :

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

$$\dot{Q} = K \cdot A \cdot t \cdot \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- \dot{Q} = laju perpindahan kalor (Watt)
- K = konduktivitas termal (W/m.K)
- A = luas permukaan perpindahan kalor (m²)
- ΔT = perubahan suhu (K)
- L = panjang (m)
- Q = kalor (Joule)
- T = waktu (detik)

2. Konveksi

Konveksi yaitu perpindahan panas melalui zat penghantar dengan disertai perpindahan massa bagian zat tersebut. Konveksi biasanya terjadi pada zat bahan yang bersifat cair dan gas. Konveksi diakibatkan oleh getaran massa molekul dari tempat tersebut ke tempat yang lain. Rumus perpindahan kalor secara konveksi pada persamaan (2.4) berikut :

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- h = koefisien konveksi (W/m . °C)
- A = luas permukaan perpindahan kalor (m²)
- t = waktu (detik)
- ΔT = perubahan suhu (K)

Nilai koefisien konveksi (h) dipengaruhi oleh nilai dari bilangan Rayleigh (Ra) dan angka Nusselt (Nu). Rumus koefisien konveksi (h) seperti pada persamaan (2.5) berikut :

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu \dots\dots\dots(2.5)$$

keterangan :

- k = konduktivitas termal (W/m . °C)
- D = Diameter (m²)
- Nu = Angka Nusselt

Oleh sebab itu nilai dari (Ra) dan (Nu) harus diketahui terlebih untuk menentukan nilai (h). rumus angka Rayleigh (Ra) pada persamaan (2.6) berikut :

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_f) \cdot D^3}{\nu^2} \times Pr \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)
- ν = kinematic viscosity (m/s²)
- Pr = Prandtl Number

Rumus angka Nusselt (Nu) seperti pada persamaan (2.7) berikut :

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[1 + (0,559/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- Ra = angka Rayleigh
- Pr = Prandtl Number

3. Radiasi

Radiasi yaitu perpindahan panas tanpa melalui zat penghantar. Radiasi biasanya terjadi pada gas atau ruang yang hampa. Sebagai contoh adalah pancaran sinar lampu ke ruangan yang gelap. Rumus perpindahan kalor secara radiasi pada persamaan (2.8) berikut :

$$(\dot{Q} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot \Delta T^4) \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ (tetapan Stefan-Boltzmann)

- A = luas permukaan (m^2)
- T = suhu (K)
- t = waktu (detik)
- e = koefisien emisivitas ($0 \leq e \leq 1$)

2.2.4 Proses dan Reaksi Pembakaran

Proses pembakaran yaitu proses terjadinya reaksi oksidasi dengan laju yang cepat dari bahan bakar yang diikuti dengan timbulnya panas dan cahaya. Pembakaran yang sempurna pada bahan bakar akan terjadi jika jumlah oksigen tersuplai dengan jumlah yang cukup dan didalam setiap bahan bakar, terdapat beberapa unsur yang mudah terbakar seperti karbon, hidrogen dan sulfur (Rahardi, 2017). Tujuan dari pembakaran yang sempurna yaitu untuk melepaskan seluruh kalor yang terkandung pada bahan bakar. Pembakaran sempurna dipengaruhi oleh 3 aspek sebagai berikut :

1. Temperatur

Temperatur adalah ukuran panas suatu benda atau ruang tertentu, di dalam suatu pembakaran. Untuk memastikan terjadinya reaksi kimia, maka temperatur yang digunakan harus cukup tinggi.

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

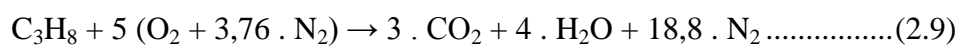
Waktu adalah keadaan dimana berlangsungnya suatu proses tertentu, misalnya proses pembakaran. Waktu pembakaran yang cukup akan memastikan panas terserap oleh reaktan sehingga proses termokimia dapat terjadi.

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 sempurna akan terjadi apabila tersedia udara dengan jumlah yang cukup, sehingga semua unsur karbon (C) berubah menjadi karbon dioksida (CO₂) dan semua unsur hidrogen (H) berubah menjadi air (H₂O) (Rahardi, 2017).

Pada kasus tertentu pembakaran yang tidak sempurna adalah pembakaran yang terkandung unsur (C, H₂, 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.

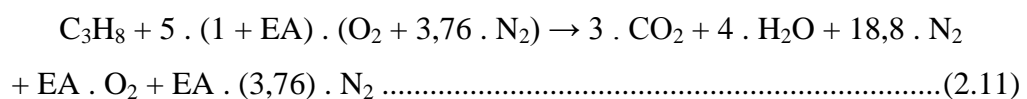
Pembakaran yang tidak sempurna disebut sebagai pembakaran aktual, hal ini disebabkan karena jumlah oksigen tersuplai tidak memenuhi jumlah udara secara teoritis yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna. Sedangkan pembakaran teoritis adalah proses pembakaran yang apabila bahan bakar terbakar sempurna dengan jumlah udara yang minimum. Pembakaran secara teoritis bahan bakar *LPG* (C₃H₈) dapat dinyatakan secara umum seperti pada persamaan (2.9) :



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 (2.10) dimana a dan s masing-masing menunjukkan kondisi aktual dan teoritis.

$$\% \text{udara lebih} = \frac{m_{\text{udara,a}} - m_{\text{udara,s}}}{m_{\text{udara,s}}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Reaksi pembakaran gas *LPG* (C₃H₈) dengan jumlah udara berlebih seperti pada persamaan (2.11).



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 (2.12), (2.13), (2.14) dan (2.15) berikut :

Air-Fuel Ratio

$$AFR = \left(\frac{m_{udara}}{m_{bb}} \right) \rightarrow AFR_{st} = \left(\frac{m_{udara}}{m_{bb}} \right)_{st} = \frac{4,76 \times (\alpha + \beta / 4) MW_{udara}}{1 MW_{bb}} \dots\dots(2.12)$$

Equivalence Ratio

$$\Phi = \frac{AFR_{st}}{AFR} = \frac{FAR}{FAR_{st}} \dots\dots\dots(2.13)$$

% Stoichiometric Air

$$\% \text{ stoichiometric air} = \frac{100\%}{\Phi} \dots\dots\dots(2.14)$$

% Excess Air

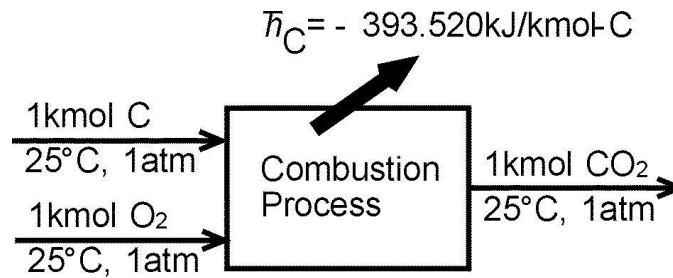
$$\% \text{ excess air} = \frac{(1 - \Phi)}{\Phi} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

2.2.5 Entalpi Pembakaran, Entalpi Reaksi dan Entalpi Pembentukan

Entalpi pembakaran yaitu berubahnya entalpi pada reaksi pembakaran sempurna yang ditandai reaksi sempurna antara satu mol zat dengan oksigen yang terjadi pada tekanan 1 atm dan temperatur sebesar 298 K (Lestari, 2013). Sedangkan entalpi pembentukan adalah jumlah energi yang diserap ataupun dilepas pada suatu reaksi sehingga membentuk senyawa baru. Entalpi reaksi hampir sama dengan entalpi pembakaran, 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 Kmole atau 1 Kg bahan bakar akan terbakar sempurna pada temperatur dan tekanan tertentu. Pada sistem pembakaran, jika temperature dan tekanan pada masukan dan keluaran sama, maka perubahan nilai energi pada sistem akan setara

dengan perubahan nilai energi kimia dari unsur-unsur yang ada. Skema proses pembakaran seperti pada gambar 2.3. Entalpi pembakaran dapat diketahui dengan persamaan (2.16).

$$H_C = H_P - H_R \dots \dots \dots (2.16)$$



Gambar 2.3 Skema proses pembakaran (Rahardi, 2017)

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 (Rahardi, 2017)

Nama Zat	$\Delta H^\circ C$ (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	$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$
	-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	$C_8H_{18}(l) + 12\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(g)$

2.2.6 Temperatur Nyala Adiabatik

Temperature nyala adiabatik yaitu tingkat maksimum 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 selama proses pembakaran (Patabang, 2009).

Dalam proses pembakaran, semua kalor yang terkandung didalam bahan bakar menjadi kalor produk dan kalor sensibel seperti pada persamaan (2.17) dan (2.18).

$$\text{Panas reaksi (H}_R\text{)} = \text{panas produk (H}_P\text{)} + \text{panas sensibel (HV)} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\text{Panas sensibel (HV)} = \text{panas reaktan (H}_R\text{)} - \text{panas produk (H}_P\text{)} \dots\dots\dots(2.18)$$

Untuk menghitung suhu pembakaran adiabatik digunakan rumus seperti pada persamaan (2.19).

$$\Delta H_{R_T} = \Delta H_{e_R} + (\Delta H_p - H_R) \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

- ΔH_{R_T} = Panas reaksi pembakaran
- ΔH_{e_R} = Panas reaksi
- ΔH_p = Panas produk
- H_R = Panas reaktan

2.2.7 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi kalor yang terlepas dari bahan bakar pada proses terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang terkandung pada bahan bakar tersebut (Farel, 2006). Nilai kalor (*heating value*) merupakan energi yang terkandung di dalam suatu bahan bakar per satuan massa atau per satuan jumlah mol dari bahan bakar. Nilai kalor juga didefinisikan sebagai jumlah kalor yang dilepaskan dari reaksi pembakaran stoikiometri (teoritik) dari bahan bakar.

Nilai kalor ada 2 macam, yaitu :

1. LHV (*Low Heating Value*)
2. HHV (*High Heating Value*)

Nilai dikategorikan LHV jika produk H₂O berada pada fasa gas atau dengan mengabaikan panas kondensasi yang dihasilkan dan dikategorikan HHV jika produk H₂O berada pada fasa cair atau dengan menghitung panas kondensasi uap yang dihasilkan.

Nilai kalor dirumuskan dengan persamaan (2.20) sebagai berikut :

$$\text{Nilai kalor} = H_{\text{produk}} (H_p) - H_{\text{reaktan}} (H_r) \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan :

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

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

2.2.8 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

LPG merupakan salah satu bahan bakar berwujud cair yang dihasilkan dari hidrokarbon yang diperoleh dari proses penyulingan minyak mentah dan dari komponen gas alam. Komposisi *LPG* didominasi oleh propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}) juga mengandung hidrokarbon lain yang lebih ringan seperti etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}), kandungan energinya 46,23 MJ/kg dan 26 MJ/liter serta memiliki nilai oktan 112 (Setyo dan Condro, 2012).



Gambar 2.4 Tabung *LPG* 3kg

2.2.9 Nilai kalor *LPG* secara Teoritis

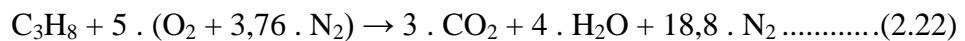
LPG adalah jenis gas hasil dari pengilangan minyak bumi yang dicairkan dengan temperature tinggi. *LPG* memiliki komposisi propana propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), akan tetapi komposisi propana lebih dominan dalam *LPG*. Nilai kalor *LPG* secara teoritis memiliki reaksi pembakaran (stoikiometris) pada persamaan (2.21) sebagai berikut :



Dengan nilai mol antara reaktan dan produk sebagai berikut :

- C : $3 = x$ dengan $x = 3$
- H : $8 = 2 \cdot y$ dengan $y = 4$
- O : $2 \cdot a_{th} = 2 \cdot x + y = 2 \cdot (3) + 4 = 10$ dengan $a_{th} = 5$
- N₂ : $3,76 \cdot a_{th} = z \rightarrow z = 3,76 \cdot 5$ dengan $z = 18,8$

Sehingga jika disetarakan menjadi seperti pada persamaan (2.22) :



Entalpi reaksi (H_R) dari C₃H₈ dapat diketahui pada persamaan (2.23) berikut :

$$H_R = \sum_j (n_{Pj} \cdot h_{fPj}^\circ)$$

$$H_R = N_{C_3H_8} \cdot h_{fC_3H_8}^\circ + N_{O_2} \cdot h_{fO_2}^\circ + N_{N_2} \cdot h_{fN_2}^\circ \dots\dots\dots(2.23)$$

Entalpi produk (H_P) dari C₃H₈ dapat diketahui pada persamaan (2.24) berikut :

$$H_P = \sum_i (n_{Pi} \cdot h_{fPi}^\circ)$$

$$H_P = N_{CO_2} \cdot h_{fCO_2}^\circ + N_{H_2O} \cdot h_{fH_2O}^\circ + N_{N_2} \cdot h_{fN_2}^\circ \dots\dots\dots(2.24)$$

Untuk 1 kmol C₃H₈ diketahui sebagai berikut :

- N_{udara} = $5 \cdot 4,76 = 23,8$ kmol udara
- N_{CO₂} = 3 kmol CO₂
- N_{H₂O} = 4 kmol H₂O
- N_{N₂} = 18,8 kmol N₂

Selanjutnya untuk mengetahui nilai entalpi pembentukan (h_f°) dari komposisi LPG menggunakan Tabel A-26 :

- C₃H₈ (g) = -103.850 kJ/kmol
- O₂ = 0
- N₂ = 0
- CO₂ = -393.520 kJ/kmol
- H₂O (g) = -241.820 kJ/kmol
- H₂O (l) = -285.830 kJ/kmol

Sehingga dapat dihitung nilai entalpi reaksi (H_R) dari *LPG* :

$$H_R = N_{C_3H_8} \cdot h_{f^\circ C_3H_8} + N_{O_2} \cdot h_{f^\circ O_2} + N_{N_2} \cdot h_{f^\circ N_2}$$

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

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

Nilai entalpi produk pada produk H_2O dalam fasa gas ($H_{P,gas}$) dapat dihitung dengan persamaan (2.25) berikut :

$$H_{P,gas} = N_{CO_2} \cdot h_{f^\circ CO_2} + N_{H_2O(g)} \cdot h_{f^\circ H_2O(g)} + N_{N_2} \cdot h_{f^\circ N_2} \dots\dots\dots(2.25)$$

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

Nilai entalpi produk pada produk H_2O dalam fasa cair ($H_{P,liquid}$) dapat dihitung dengan persamaan (2.26) berikut :

$$H_{P,liquid} = N_{CO_2} \cdot h_{f^\circ CO_2} + N_{H_2O(l)} \cdot h_{f^\circ H_2O(l)} + N_{N_2} \cdot h_{f^\circ N_2} \dots\dots\dots(2.26)$$

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

Dari hasil perhitungan nilai entalpi diatas dapat diketahui nilai kalor C_3H_8 sebagai berikut :

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

Untuk menghitung nilai LHV dan HHV dalam satuan kJ/kg, maka nilai kalor harus dibagi dengan massa molar (Mr) C_3H_8 . Massa molar dapat dihitung dengan persamaan (2.27) berikut :

$$Mr_{C_3H_8} = 3 \cdot (12) + 8 \cdot (1) = 44 \text{ kg/kmol} \dots\dots\dots(2.27)$$

Maka nilai dari LHV dan HHV adalah :

- $LHV = 2.043.990 / 44 = 46.454,31 \text{ kJ/kg}$
- $HHV = 2.220.030 / 44 = 50.455,22 \text{ kJ/kg}$