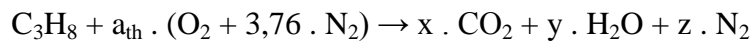


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Nilai Kalor LPG Teoritis

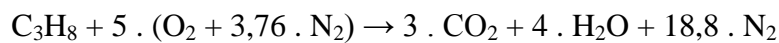
Nilai kalor LPG adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh gas LPG melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa ataupun volumenya. Seperti pada batasan masalah, penelitian ini menganggap LPG sebagai gas *propane* ( $C_3H_8$ ). Nilai kalor LPG (*propane*) secara teoritis memiliki reaksi pembakaran (*stoichiometric*), sebagai berikut :



Dengan nilai mol antar reaktan dan produk sebagai berikut :

- C : 3 = x dengan x = 3
- H : 8 = 2 · y dengan y = 4
- O : 2 · a<sub>th</sub> = 2 · x + y = 2 (3) + 4 = 10 dengan a<sub>th</sub> = 5
- H<sub>2</sub> : 3,76 · a<sub>th</sub> = z → Z = 3,76 · 5 dengan z = 18.8

Disetarakan menjadi :



Entalpi reaksi ( $H_R$ ) dari  $C_3H_8$  :

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

$$H_R = N_{C_3H_8} \cdot hf_{C_3H_8}^o + N_{O_2} \cdot hf_{O_2}^o + N_{N_2} \cdot hf_{N_2}^o$$

Entalpi produk ( $H_P$ ) dari  $C_3H_8$  :

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

$$H_P = N_{CO_2} \cdot hf_{CO_2}^o + N_{H_2O} \cdot hf_{H_2O}^o + N_{N_2} \cdot hf_{N_2}^o$$

Untuk 1 kmol  $C_3H_8$ , maka :

- $N_{udara} = 5 \cdot 4,76 = 23,8$  kmol udara
- $N_{CO_2} = 3$  kmol  $CO_2$
- $N_{H_2O} = 4$  kmol  $H_2O$
- $N_{N_2} = 18,8$  kmol  $N_2$

Untuk menentukan nilai entalpi pembentukan ( $hf^o$ ) dari komposisi LPG, menggunakan Tabel A-26 (Cengel, 2005), sebagai berikut :

- $C_3H_8$  (g) = -103.850 kJ/kmol

- $O_2 = 0$
- $N_2 = 0$
- $CO_2 (g) = -393.520 \text{ kJ/kmol}$
- $H_2O (g) = -241.820 \text{ kJ/kmol}$
- $H_2O (l) = -285.830 \text{ kJ/kmol}$

Untuk menghitung nilai entalpi ( $H_R$ ) dari LPG, sebagai berikut :

$$H_R = N_{C_3H_8} \cdot hf^\circ_{C_3H_8} + N_{O_2} \cdot hf^\circ_{O_2} + N_{N_2} \cdot hf^\circ_{N_2}$$

$$H_R = 1 \cdot (-103.850 \text{ kJ/kmol}) + 5 \cdot (0) + 5 \cdot (0)$$

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

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

$$H_{P,gas} = N_{CO_2} \cdot hf^\circ_{CO_2} + N_{H_2O (g)} \cdot hf^\circ_{H_2O (g)} + N_{N_2} \cdot hf^\circ_{N_2}$$

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

$$H_{P,gas} = -2.147.840 \text{ kJ/kmol}$$

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

$$H_{P,liquid} = N_{CO_2} \cdot hf^\circ_{CO_2} + N_{H_2O (l)} \cdot hf^\circ_{H_2O (l)} + N_{N_2} \cdot hf^\circ_{N_2}$$

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

$$H_{P,liquid} = -2.323.880 \text{ kJ/kmol}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui nilai kalor  $C_3H_8$ , sebagai berikut :

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

Berdasarkan hasil dari LHV dan HHV untuk mengubah satuan dari kJ/kmol menjadi kJ/kg, hasil harus dibagi dengan nilai massa molar ( $Mr$ )  $C_3H_8$ , perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Maka nilai dari LHV dan HHV adalah :

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

## 4.2 Kalibrasi

Kalibrasi atau penteraan merupakan kegiatan untuk perbaikan (*setting*) pengukuran berdasarkan peralatan yang standar, metoda dalam kalibrasi antara lain : simulasi dan perbandingan, berdasarkan perbedaan fasa (Sulaeman dan Kusnadi, 2011).

Pada penelitian ini, kalibrasi dilakukan terhadap *thermocouple* dengan *thermometer* sebagai acuannya. Metode yang digunakan adalah dengan cara mengukur suhu air panas yang diaduk agar suhu merata dengan *thermometer* dan keempat *thermocouple*. Sebagai acuan suhu air yang digunakan adalah suhu 20°C sampai 80°C pada *thermometer*.

*Thermocouple* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *thermocouple* jenis K. Hasil dari kalibrasi akan diolah menjadi grafik sehingga bisa digunakan untuk menentukan nilai gradient dan regresi pada *thermocouple*.

Gradien adalah tingkat kemiringan ruas garis ataupun garis. Pada penelitian ini gradient berarti nilai yang menunjukkan besar arah dan kemiringan garis dari perbandingan antara suhu *thermometer* dan *thermocouple*. Rumus menentukan gradien menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Y = m \cdot x + c$$

Dengan :

- Y = Suhu *thermocouple*
- m = Gradien
- x = Suhu standar
- c = Koefisien

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah salah satu bagian dari analisis regresi linier berganda ataupun regresi linier sederhana yang mana digunakan untuk mengukur kemampuan variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen. Dengan kata lain, nilai koefisien determinasi menyatakan proporsi keragaman pada variabel bergantung yang mampu dijelaskan oleh variabel penduganya (Nawari, 2010).

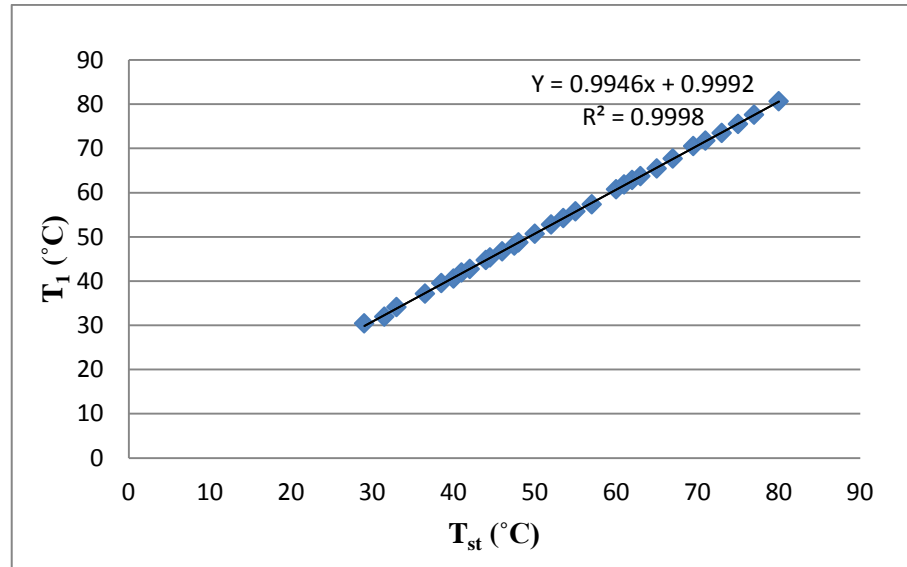
### 4.3 Hasil Kalibrasi

Hasil kalibrasi ini akan diolah menjadi suatu grafik perbandingan antara *thermocouple* dengan *thermometer*. Dari hasil perbandingan akan diperoleh gradient serta koefisien determinasi yang akan digunakan untuk menentukan suhu standar. Data yang diperoleh pada tabel (4.1), sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Kalibrasi

No	Thermometer T <sub>st</sub> (°C)	Termocouple T <sub>1</sub> (°C)	Termocouple T <sub>2</sub> (°C)	Termocouple T <sub>3</sub> (°C)	Termocouple T <sub>4</sub> (°C)
1	29	30,4	30,7	30,7	30,6
2	31,5	31,9	32	31,8	31,8
3	33	34,1	33,8	34,1	33,9
4	36,5	37,1	37	37,3	36,9
5	38,5	39,5	39,9	39,8	40
6	40	40,5	40,6	40,4	40,4
7	41	41,9	41,5	41,6	41,8
8	42	42,7	42,6	42,5	42,6
9	44	44,7	44,6	44,6	44,6
10	44,5	45,3	45	45	45,2
11	46	46,7	46,7	46,5	46,9
12	47,5	48	48	48	48
13	48	48,7	48,4	48,3	48,7
14	50	50,7	50,3	50,2	50,6
15	52	52,8	52,4	52,3	52,6
16	53,5	54,2	53,8	53,5	54,1
17	55	55,7	55,4	55,1	55,7
18	57	57,3	57,4	57,3	57,7
19	60	60,7	60,5	60,4	60,8
20	61	61,8	61,6	61,5	61,9
21	62	62,8	62,6	62,6	62,9
22	63	63,7	63,6	63,5	63,8
24	67	67,7	67,6	67,5	67,8
25	69,5	70,5	70,5	70,3	70,7
26	71	71,7	71,6	71,4	71,9
27	73	73,5	73,3	73,5	73,6
28	75	75,5	75,6	75,6	75,9
29	77	77,6	77,4	77,4	77,8
30	80	80,6	80,4	80,4	80,8

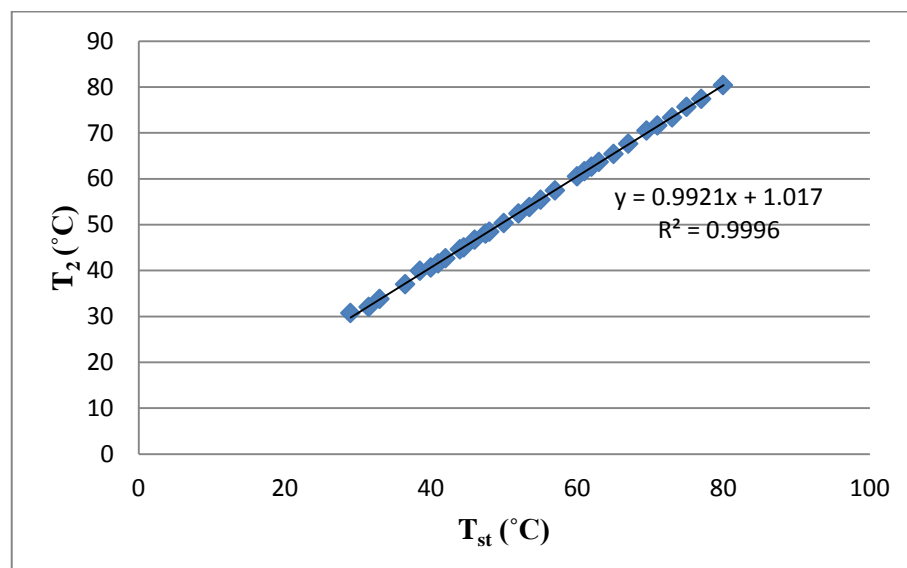
Dari data tabel (4.1), kalibrasi  $T_1$  diolah menjadi grafik pada gambar (4.1), sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi  $T_1$

Berdasarkan gambar (4.1), *thermocouple*  $T_1$  menghasilkan nilai  $Y = 0,9946x + 0,9992$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,9998.

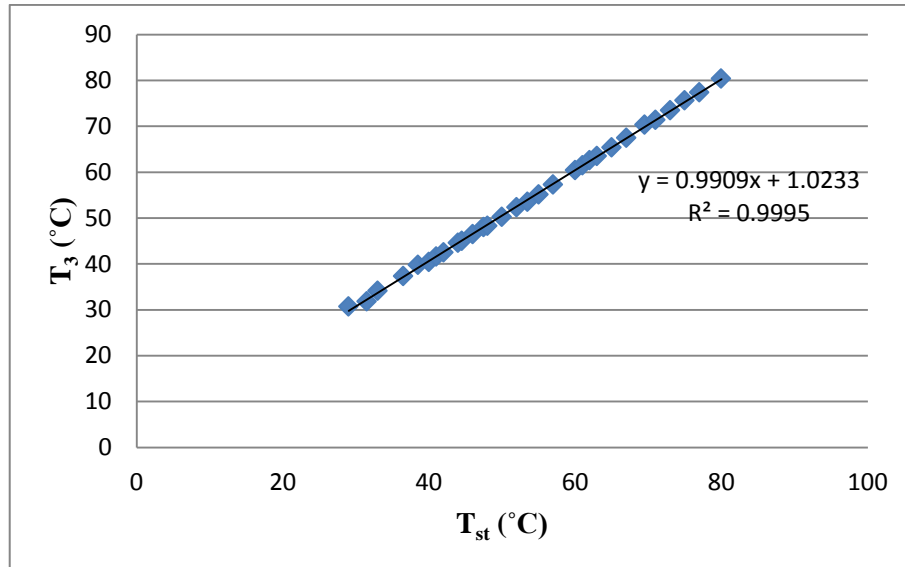
Dari data tabel (4.1), kalibrasi  $T_2$  diolah menjadi grafik pada gambar (4.2), sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi  $T_2$

Berdasarkan gambar (4.2), *thermocouple*  $T_2$  menghasilkan nilai  $Y = 0,9921x + 1,017$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,9996.

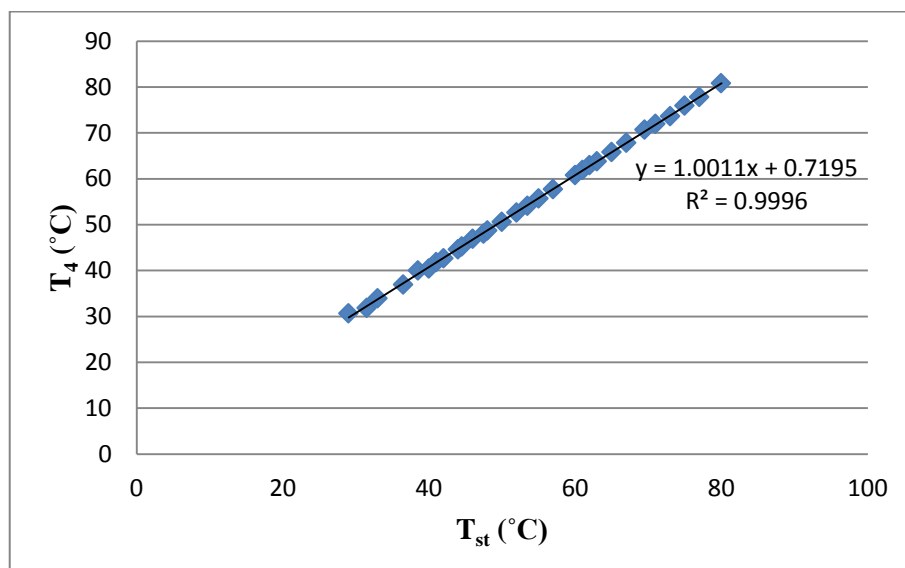
Dari data tabel (4.1), kalibrasi  $T_3$  diolah menjadi grafik pada gambar (4.3), sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Kalibrasi  $T_3$

Berdasarkan gambar (4.3), *thermocouple*  $T_3$  menghasilkan nilai  $Y = 0,9909x + 1,0233$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,9995.

Dari data tabel (4.1), kalibrasi  $T_4$  diolah menjadi grafik pada gambar (4.4), sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik Kalibrasi  $T_4$

Berdasarkan gambar (4.4), *thermocouple*  $T_4$  menghasilkan nilai  $Y = 1,0011x + 0,7195$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,9996.

#### 4.4 Hasil Pengujian Kalorimeter

##### 4.4.1 Variasi Debit LPG 0.4 LPM

Tabel 4.2 Data hasil pengujian

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
0	0.4	1	9.6	30.4	35.7	28.6	114.4
2	0.4	1	9.6	30.2	35.6	28.4	121.7
4	0.4	1	9.6	30.1	35.6	28.2	120.7
6	0.4	1	9.6	30.2	35.6	28.2	122.6
8	0.4	1	9.6	30.2	35.7	28.3	120.2
10	0.4	1	9.6	30.1	35.3	28.3	122.7
12	0.4	1	9.6	30	35.6	28.5	122.7
14	0.4	1	9.6	30	35.5	28.6	124.8
16	0.4	1	9.6	29.9	35.4	28.6	123.7
18	0.4	1	9.6	29.8	35.3	28.3	122.8
20	0.4	1	9.6	29.8	35.4	28.3	122.4
22	0.4	1	9.6	29.8	35.4	28.6	122.7
24	0.4	1	9.6	29.9	35.2	28.1	122.9
26	0.4	1	9.6	29.8	35.1	28.3	124.6
28	0.4	1	9.6	29.8	35.3	28.1	122.7
30	0.4	1	9.6	29.9	35.1	28.7	126.4
32	0.4	1	9.6	30	35.3	28.4	122.6
34	0.4	1	9.6	29.9	35.5	28.1	122.5
36	0.4	1	9.6	30.1	35.5	28.3	122.5
38	0.4	1	9.6	30.4	35.6	28.1	123.6
40	0.4	1	9.6	30.2	35.7	28.2	124.5
42	0.4	1	9.6	29.8	35.7	28.7	122.7
44	0.4	1	9.6	29.9	35.5	28.2	122.8
46	0.4	1	9.6	30.1	35.6	28.1	122.6
48	0.4	1	9.6	30	35.7	28.2	122.8
50	0.4	1	9.6	29.9	35.4	28.3	121.8
52	0.4	1	9.6	29.9	35.4	28.3	122.5
54	0.4	1	9.6	29.8	35.6	28.2	124.4
56	0.4	1	9.6	29.9	35.1	28.4	123.5
58	0.4	1	9.6	30.2	35.2	28.2	123.9
60	0.4	1	9.6	30.4	35.5	28.1	124.7
Rata – Rata				29.97619	35.41905	28.28095	123.2905

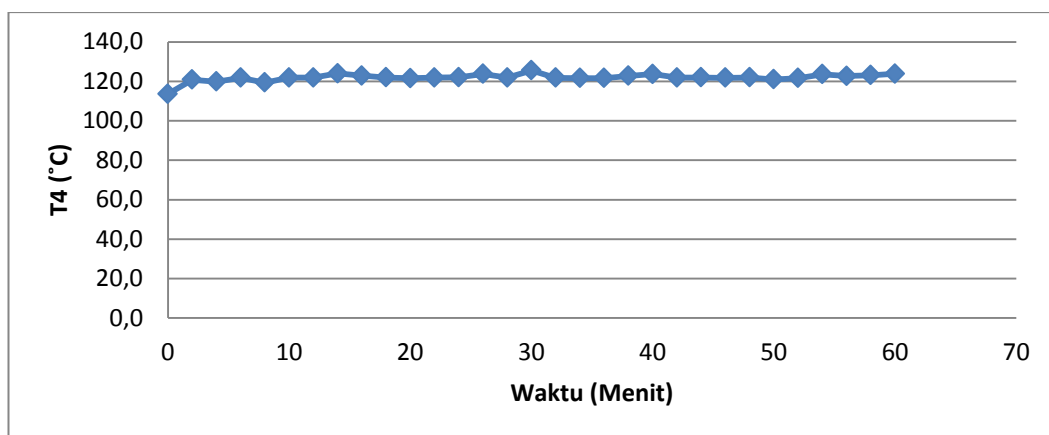
Tabel 4.3 Data hasil pengujian dengan suhu standar

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu Standar			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
0	0.4	1	9.6	29.6	35.0	27.8	113.6
2	0.4	1	9.6	29.4	34.9	27.6	120.9
4	0.4	1	9.6	29.3	34.9	27.4	119.9
6	0.4	1	9.6	29.4	34.9	27.4	121.8
8	0.4	1	9.6	29.4	35.0	27.5	119.4
10	0.4	1	9.6	29.3	34.6	27.5	121.9
12	0.4	1	9.6	29.2	34.9	27.7	121.9
14	0.4	1	9.6	29.2	34.8	27.8	123.9
16	0.4	1	9.6	29.1	34.7	27.8	122.8
18	0.4	1	9.6	29.0	34.6	27.5	121.9
20	0.4	1	9.6	29.0	34.7	27.5	121.6
22	0.4	1	9.6	29.0	34.7	27.8	121.9
24	0.4	1	9.6	29.1	34.5	27.3	122.0
26	0.4	1	9.6	29.0	34.4	27.5	123.7
28	0.4	1	9.6	29.0	34.6	27.3	121.9
30	0.4	1	9.6	29.1	34.4	27.9	125.5
32	0.4	1	9.6	29.2	34.6	27.6	121.8
34	0.4	1	9.6	29.1	34.8	27.3	121.7
36	0.4	1	9.6	29.3	34.8	27.5	121.7
38	0.4	1	9.6	29.6	34.9	27.3	122.7
40	0.4	1	9.6	29.4	35.0	27.4	123.6
42	0.4	1	9.6	29.0	35.0	27.9	121.9
44	0.4	1	9.6	29.1	34.8	27.4	121.9
46	0.4	1	9.6	29.3	34.9	27.3	121.8
48	0.4	1	9.6	29.2	35.0	27.4	121.9
50	0.4	1	9.6	29.1	34.7	27.5	121.0
52	0.4	1	9.6	29.1	34.7	27.5	121.7
54	0.4	1	9.6	29.0	34.9	27.4	123.5
56	0.4	1	9.6	29.1	34.4	27.6	122.6
58	0.4	1	9.6	29.4	34.5	27.4	123.0
60	0.4	1	9.6	29.6	34.8	27.3	123.8
Rata - Rata				29.1	34.7	27.5	122.4



Berdasarkan tabel (4.2), suhu air masuk mula-mula adalah 30,4 °C, hal ini dapat terjadi karena ujung *thermocouple*  $T_1$  letaknya mendekati ruang pembakaran kalorimeter, sehingga suhu air bisa tercampur dengan suhu pembakaran yang terjadi.

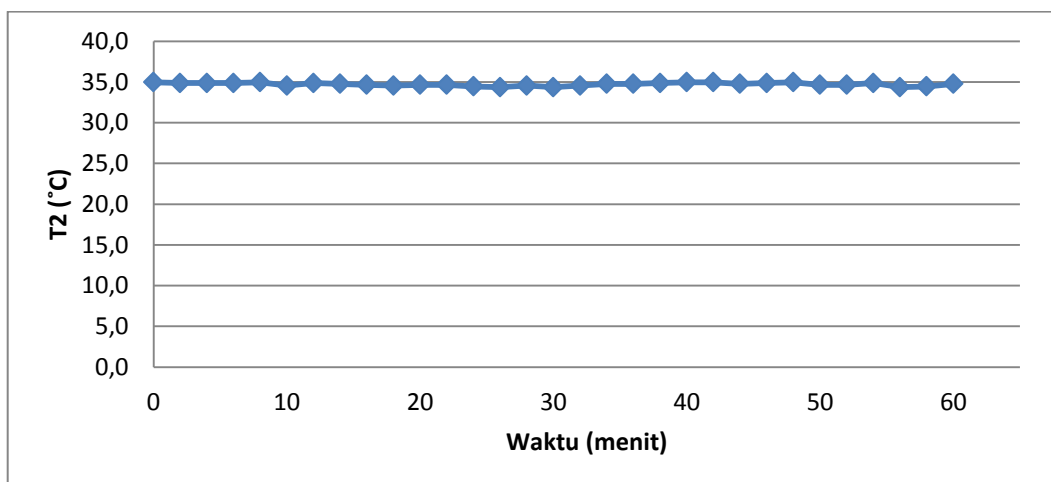
Grafik suhu gas keluar ( $T_4$ ) terhadap waktu pada gambar (4.5), sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Suhu  $T_4$  Terhadap Waktu

Berdasarkan gambar (4.5) terjadi kondisi naik / turunnya suhu gas, hal ini terjadi karena penyuplai udara (kompresor) pada tungku pembakaran tidak stabil, sehingga mempengaruhi dalam proses pembakaran. Berdasarkan gambar juga diketahui suhu berkisar antara 114,4 °C sampai 126,5 °C.

Grafik suhu air keluar ( $T_2$ ) terhadap waktu pada gambar (4.6), sebagai berikut:



Gambar 4.6 Grafik Suhu  $T_2$  Terhadap Waktu

Pada gambar (4.6), dapat diketahui bahwa suhu hampir stabil, hal ini terjadi dikarenakan api yang dihasilkan dalam pembakaran dapat dikategorikan kecil, sehingga suhu yang dihasilkan juga kecil. Suhu yang kecil akan mudah terpengaruh oleh suhu ruangan / lingkungan.

Berdasarkan gambar (4.6), suhu  $T_2$  dianggap *steady* pada menit ke 20. Oleh karena itu, nilai untuk  $T_1$  sampai  $T_4$  diambil data rata – rata mulai menit ke 20. Sehingga nilai untuk suhu standarnya sebagai berikut :

- $T_{st1} = \frac{1}{0,9946} \times (29,98 - 0,9992) = 29,14 \text{ } ^\circ\text{C} = 302,14 \text{ K}$
- $T_{st2} = \frac{1}{0,9921} \times (35,42 - 1,017) = 34,68 \text{ } ^\circ\text{C} = 307,68 \text{ K}$
- $T_{st3} = \frac{1}{0,9909} \times (28,28 - 1,0233) = 27,51 \text{ } ^\circ\text{C} = 300,51 \text{ K}$
- $T_{st4} = \frac{1}{1,0011} \times (123,29 - 0,7159) = 122,44 \text{ } ^\circ\text{C} = 395,44 \text{ K}$

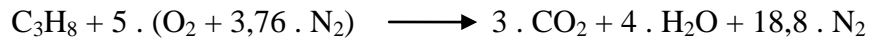
Dari hasil suhu standar, dapat digunakan untuk menentukan kalor jenis ( $C_p$ ) dengan menggunakan tabel termodinamika (Cengel, 2005). Nilai kalor jenis dari air masuk, air keluar, dan setiap komponen LPG dapat diketahui, sebagai berikut :

- $C_p \text{ C}_3\text{H}_8$  (Tst3 pada 300,51 K) = 1,6794 kJ/kg.K (Tabel A-2a)
- $C_p \text{ w.in}$  (Tst1 pada 29,14  $^\circ\text{C}$ ) = 4,18 kJ/kg.K (Tabel A-3a)
- $C_p \text{ w.out}$  (Tst2 pada 34,68  $^\circ\text{C}$ ) = 4,18 kJ/kg.K (Tabel A-3a)
- $C_p \text{ u.in}$  (Tst3 pada 300,51 K) = 1,0050 kJ/kg.K (Tabel A-2b)
- $C_p \text{ CO}_2$  (Tst4 pada 395,44 K) = 0,9349 kJ/kg.K (Tabel A-2b)
- $C_p \text{ H}_2\text{O}$  (Tst4 pada 395,44 K) = 34,4278 kJ/kmol.K (Tabel A-2c)  
= 1,9127 kJ/kg.K
- $C_p \text{ N}_2$  (Tst4 pada 395,44 K) = 1,0437 kJ/kg.K (Tabel A-2b)

Massa molar ( $M_r$ ) komponen-komponen LPG, sebagai berikut :

- $M_r \text{ C}_3\text{H}_8$  = 44 kg/kmol (Tabel A-1 Termodinamika)
- $M_r \text{ Udara}$  = 28,97 kg/kmol (Tabel A-1 Termodinamika)
- $M_r \text{ H}_2\text{O}$  = 2 . (1) + 1 . (16) = 18 kg/kmol
- $M_r \text{ CO}_2$  = 1 . (12) + 2 . (16) = 44 kg/kmol
- $M_r \text{ N}_2$  = 2 . (14) = 28 kg/kmol

Berdasarkan massa molar di atas, dapat digunakan untuk menentukan jumlah mol (n) tiap komponen untuk 1 kmol LPG, sebagai berikut :



- n 1 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 3 · (12) + 8 · (1) = 44 kmol
- n 5 (O<sub>2</sub> + 3,76 · N<sub>2</sub>) (Udara) = 5 · {2 · (16) + 3,76 · 2 · (14)} = 686,4 kmol
- n 3 CO<sub>2</sub> = 3 · {1 · (12) + 2 · (16)} = 132 kmol
- n 4 H<sub>2</sub>O = 4 · {2 · (1) + 1 · (16)} = 72 kmol
- n 18,8 N<sub>2</sub> = 18,8 · {2 · (14)} = 526,4 kmol

Berdasarkan massa molar dan jumlah mol, dapat digunakan untuk menentukan massa (m) tiap komponen untuk 1 kg LPG, sebagai berikut :

- m Udara =  $\frac{n}{Mr} = \frac{686,8 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 15,6 \text{ kg}$
- m CO<sub>2</sub> =  $\frac{n}{Mr} = \frac{132 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 3 \text{ kg}$
- m H<sub>2</sub>O =  $\frac{n}{Mr} = \frac{72 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 1,64 \text{ kg}$
- m N<sub>2</sub> =  $\frac{n}{Mr} = \frac{526,4 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 11,96 \text{ kg}$

Berdasarkan perbandingan massa, dapat digunakan untuk mengukur laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) tiap komponen, sebagai berikut :

- $\rho$  C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 1,898 kg/m<sup>3</sup>
- $\rho$  Udara = 1,225 kg/m<sup>3</sup>
- $\rho$  Air = 1000 kg/m<sup>3</sup>
- $\dot{m}$  C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 0,4 LPM  
= 1,898 kg/m<sup>3</sup> x 0,0004 m<sup>3</sup>/menit = 0,0007592 kg/menit
- $\dot{m}$  u (udara) = 9,6 LPM  
= 1,225 kg/m<sup>3</sup> x 0,0096 m<sup>3</sup>/menit = 0,01176 kg/menit
- $\dot{m}$  w (air) = 1 LPM  
= 1000 kg/m<sup>3</sup> x 0,001 m<sup>3</sup>/menit = 1 kg/menit
- $\dot{m}$  CO<sub>2</sub> = 3 x 0,0007592 kg/menit = 0,0022776 kg/menit
- $\dot{m}$  H<sub>2</sub>O = 1,64 x 0,0007592 kg/menit = 0,001245 kg/menit
- $\dot{m}$  N<sub>2</sub> = 11,96 x 0,0007592 kg/menit = 0,009080 kg/menit

Berdasarkan pada batasan masalah, untuk nilai  $Q_{loss} = 0$ . Sehingga nilai kalor terbuang (konduksi, konveksi dan radiasi) tidak perlu dihitung. Perhitungan nilai kalor (HV) LPG sebagai berikut :

$$HV_{C_3H_8} = [\dot{m}_{w,out} \cdot C_{p,w,out} \cdot T_{st2} + Q_{loss} + T_{st4} \cdot (\dot{m}_{CO_2} \cdot C_{p,CO_2} + \dot{m}_{H_2O} \cdot C_{p,H_2O} + \dot{m}_{N_2} \cdot C_{p,N_2}) - \dot{m}_{u,in} \cdot C_{p,u,in} \cdot T_{st3} - \dot{m}_{w,in} \cdot C_{p,w,in} \cdot T_{st1}] \cdot \frac{1}{\dot{m}_{C_3H_8}}$$

$$HV_{C_3H_8} = [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 307,68 \text{ K} + 0 + 395,44 \text{ K} \cdot (0,0022776 \text{ kg/menit} \cdot 0,9349 \text{ kJ/kg.K} + 0,001245 \text{ kg/menit} \cdot 1,9127 \text{ kJ/kg.K} + 0,009080 \text{ kg/menit} \cdot 1,0437 \text{ kJ/kg.K}) - 0,01176 \text{ kg/menit} \cdot 1,0050 \text{ kJ/kg.K} \cdot 300,51 \text{ K} - 1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 302,14 \text{ K}] \cdot \frac{1}{0,0007592 \frac{\text{kg}}{\text{menit}}}$$

$$HV_{C_3H_8} = 33.103,1 \text{ kJ/kg}$$

Berdasarkan penjelasan di atas, karena pengujian menggunakan bahan bakar yang berupa gas, maka nilai kalor LPG adalah termasuk LHV. Sehingga nilai LHV = 33.103,1 kJ/kg.

Untuk menentukan efisiensi dari kalorimeter ini menggunakan acuan dari nilai kalor LPG secara teoritik (46.454,31 kJ/kg), sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi FC} = \frac{\dot{Q}_{\text{diserap air}}}{\dot{m}_{LPG} \cdot NK_{LPG}}$$

$$\eta_{FC} = [\dot{m}_{w,out} \cdot C_{p,w,out} \cdot (T_{st2} - T_{st1})] / (\dot{m}_{C_3H_8} \cdot LHV_{C_3H_8})$$

$$\eta_{FC} = [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot (307,68 \text{ K} - 302,14 \text{ K})] / (0,0007592 \text{ kg/menit} \cdot 46.454,31 \text{ kJ/kg})$$

$$\eta_{FC} = 0.656462468$$

$$\eta_{FC} = 65,6 \%$$

## 4.4.2 Variasi Debit LPG 0,5 LPM

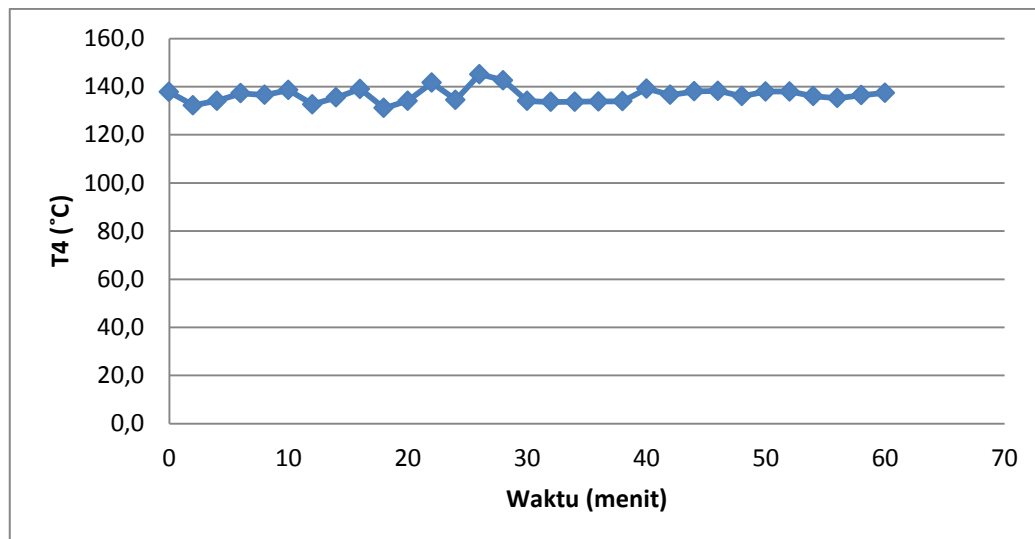
Tabel 4.4 Data hasil pengujian

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
0	0.5	1	12	30.1	35.2	28.3	138.6
2	0.5	1	12	30.2	35.7	28.7	133.1
4	0.5	1	12	30.2	35.7	28.8	135
6	0.5	1	12	30.1	35.9	28.5	138.1
8	0.5	1	12	30.2	36.2	28.4	137.4
10	0.5	1	12	30.2	36.3	28.8	139.4
12	0.5	1	12	30.2	36.4	28.8	133.5
14	0.5	1	12	30.2	36.4	28.9	136.4
16	0.5	1	12	30.1	36.5	28.9	139.9
18	0.5	1	12	30	36.4	28.9	132
20	0.5	1	12	30	36.4	28.9	135
22	0.5	1	12	30	36.6	28.9	142.5
24	0.5	1	12	30	36.4	28.4	135.4
26	0.5	1	12	30	36.5	28.7	146
28	0.5	1	12	30	36.6	28.8	143.5
30	0.5	1	12	29.9	36.4	29.1	134.9
32	0.5	1	12	30.1	36.2	28.1	134.5
34	0.5	1	12	30.2	36.2	28.5	134.6
36	0.5	1	12	30.2	35.7	29	134.7
38	0.5	1	12	30.1	35.5	29	134.8
40	0.5	1	12	30.1	35.4	28.9	140
42	0.5	1	12	30.3	35.3	28.9	137.4
44	0.5	1	12	30.2	35.6	28.7	138.9
46	0.5	1	12	30.2	36.6	28.9	139.1
48	0.5	1	12	30.2	37.4	29	136.9
50	0.5	1	12	30.1	36.5	29.1	138.8
52	0.5	1	12	30.2	35.8	29	138.8
54	0.5	1	12	30.2	36.7	28.9	136.9
56	0.5	1	12	30.3	35.7	28.8	136.1
58	0.5	1	12	30.1	35.9	28.9	137.3
60	0.5	1	12	30.1	36.5	28.7	138.3
Rata - Rata				30.12	36.224	28.828	137.448

Tabel 4.5 Data hasil pengujian dengan suhu standar

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu Standar			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
0	0.5	1	12	29.3	34.5	27.5	137.7
2	0.5	1	12	29.4	35.0	27.9	132.2
4	0.5	1	12	29.4	35.0	28.0	134.1
6	0.5	1	12	29.3	35.2	27.7	137.2
8	0.5	1	12	29.4	35.5	27.6	136.5
10	0.5	1	12	29.4	35.6	28.0	138.5
12	0.5	1	12	29.4	35.7	28.0	132.6
14	0.5	1	12	29.4	35.7	28.1	135.5
16	0.5	1	12	29.3	35.8	28.1	139.0
18	0.5	1	12	29.2	35.7	28.1	131.1
20	0.5	1	12	29.2	35.7	28.1	134.1
22	0.5	1	12	29.2	35.9	28.1	141.6
24	0.5	1	12	29.2	35.7	27.6	134.5
26	0.5	1	12	29.2	35.8	27.9	145.1
28	0.5	1	12	29.2	35.9	28.0	142.6
30	0.5	1	12	29.1	35.7	28.3	134.0
32	0.5	1	12	29.3	35.5	27.3	133.6
34	0.5	1	12	29.4	35.5	27.7	133.7
36	0.5	1	12	29.4	35.0	28.2	133.8
38	0.5	1	12	29.3	34.8	28.2	133.9
40	0.5	1	12	29.3	34.7	28.1	139.1
42	0.5	1	12	29.5	34.6	28.1	136.5
44	0.5	1	12	29.4	34.9	27.9	138.0
46	0.5	1	12	29.4	35.9	28.1	138.2
48	0.5	1	12	29.4	36.7	28.2	136.0
50	0.5	1	12	29.3	35.8	28.3	137.9
52	0.5	1	12	29.4	35.1	28.2	137.9
54	0.5	1	12	29.4	36.0	28.1	136.0
56	0.5	1	12	29.5	35.0	28.0	135.2
58	0.5	1	12	29.3	35.2	28.1	136.4
60	0.5	1	12	29.3	35.8	27.9	137.4
Rata - Rata				29.3	35.5	28.1	136.6

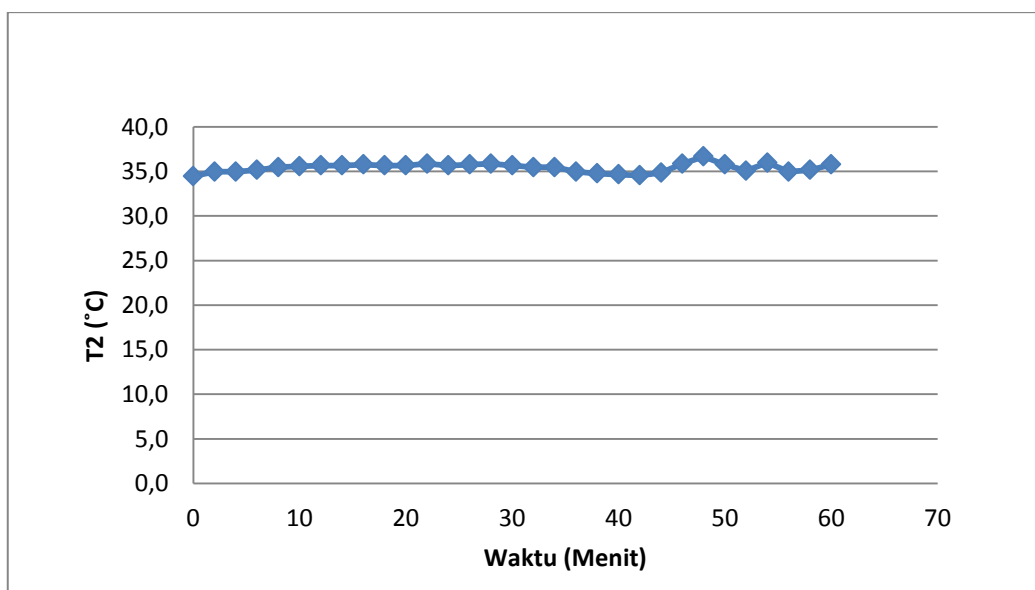
Grafik suhu gas keluar ( $T_4$ ) terhadap waktu pada gambar (4.7), sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik Suhu  $T_4$  Terhadap Waktu

Berdasarkan gambar (4.7) terjadi kondisi naik / turunnya suhu gas, hal ini terjadi karena penyuplai udara (kompresor) pada tungku pembakaran tidak stabil, sehingga mempengaruhi dalam proses pembakaran. Berdasarkan gambar juga diketahui suhu berkisar antara  $133,1^{\circ}\text{C}$  sampai  $146^{\circ}\text{C}$ .

Grafik suhu air keluar ( $T_2$ ) terhadap waktu pada gambar (4.8) adalah sebagai berikut :



Gambar 4.8 Grafik Suhu  $T_2$  Terhadap Waktu

Pada gambar (4.8), dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan suhu di 20 menit awal percobaan, hal ini terjadi karena api yg digunakan dalam pembakaran dapat dikategorikan sedang, sehingga suhu tidak mudah tercampur dengan suhu luar.

Berdasarkan gambar (4.8), suhu  $T_2$  dianggap steady pada menit ke 15. Oleh karena itu, nilai untuk  $T_1$  sampai  $T_4$  diambil data rata – rata mulai menit ke 15. Sehingga nilai untuk suhu standarnya sebagai berikut :

- $T_{st1} = \frac{1}{0,9946} \times (30,12 - 0,9992) = 39,27 \text{ } ^\circ\text{C} = 302,28 \text{ K}$
- $T_{st2} = \frac{1}{0,9921} \times (36,22 - 1,017) = 35,48 \text{ } ^\circ\text{C} = 308,48 \text{ K}$
- $T_{st3} = \frac{1}{0,9909} \times (28,83 - 1,0233) = 28,06 \text{ } ^\circ\text{C} = 301,06 \text{ K}$
- $T_{st4} = \frac{1}{1,0011} \times (137,45 - 0,7159) = 136,58 \text{ } ^\circ\text{C} = 409,58 \text{ K}$

Dari hasil suhu standar, dapat digunakan untuk menentukan kalor jenis ( $C_p$ ) dengan menggunakan tabel termodinamika (Cengel, 2005). Nilai kalor jenis dari air masuk, air keluar, dan setiap komponen LPG dapat diketahui, sebagai berikut :

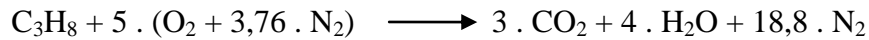
- $C_p \text{ C}_3\text{H}_8$  (Tst3 pada 301,05 K) = 1,6794 kJ/kg.K (Tabel A-2a)
- $C_p \text{ w.in}$  (Tst1 pada 29,27  $^\circ\text{C}$ ) = 4,18 kJ/kg.K (Tabel A-3a)
- $C_p \text{ w.out}$  (Tst2 pada 35,48  $^\circ\text{C}$ ) = 4,18 kJ/kg.K (Tabel A-3a)
- $C_p \text{ u.in}$  (Tst3 pada 301,06 K) = 1,0051 kJ/kg.K (Tabel A-2b)
- $C_p \text{ CO}_2$  (Tst4 pada 409,58 K) = 0,9464 kJ/kg.K (Tabel A-2b)
- $C_p \text{ H}_2\text{O}$  (Tst4 pada 409,58 K) = 34,5503 kJ/kmol.K (Tabel A-2c)  
= 1,9195 kJ/kg.K
- $C_p \text{ N}_2$  (Tst4 pada 409,58 K) = 1,0449 kJ/kg.K (Tabel A-2b)

Massa molar (Mr) komponen-komponen LPG, sebagai berikut :

- $\text{Mr C}_3\text{H}_8$  = 44 kg/kmol (Tabel A-1 Termodinamika)
- $\text{Mr Udara}$  = 28,97 kg/kmol (Tabel A-1 Termodinamika)
- $\text{Mr H}_2\text{O}$  = 2 . (1) + 1 . (16) = 18 kg/kmol
- $\text{Mr CO}_2$  = 1 . (12) + 2 . (16) = 44 kg/kmol
- $\text{Mr N}_2$  = 2 . (14) = 28 kg/kmol



Berdasarkan massa molar di atas, dapat digunakan untuk menentukan jumlah mol (n) tiap komponen untuk 1 kmol LPG, sebagai berikut :



- n 1 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> = 3 · (12) + 8 · (1) = 44 kmol
- n 5 (O<sub>2</sub> + 3,76 · N<sub>2</sub>) (Udara) = 5 · {2 · (16) + 3,76 · 2 · (14)} = 686,4 kmol
- n 3 CO<sub>2</sub> = 3 · {1 · (12) + 2 · (16)} = 132 kmol
- n 4 H<sub>2</sub>O = 4 · {2 · (1) + 1 · (16)} = 72 kmol
- n 18,8 N<sub>2</sub> = 18,8 · {2 · (14)} = 526,4 kmol

Berdasarkan massa molar dan jumlah mol, dapat digunakan untuk menentukan massa (m) tiap komponen untuk 1 kg LPG, sebagai berikut :

- m Udara =  $\frac{n}{Mr} = \frac{686,8 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 15,6 \text{ kg}$
- m CO<sub>2</sub> =  $\frac{n}{Mr} = \frac{132 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 3 \text{ kg}$
- m H<sub>2</sub>O =  $\frac{n}{Mr} = \frac{72 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 1,64 \text{ kg}$
- m N<sub>2</sub> =  $\frac{n}{Mr} = \frac{526,4 \text{ kmol}}{44 \text{ kg/kmol}} = 11,96 \text{ kg}$

Berdasarkan perbandingan massa, dapat digunakan untuk mengukur laju aliran massa ( $\dot{m}$ ) tiap komponen, sebagai berikut :

- $\rho \text{ C}_3\text{H}_8 = 1,898 \text{ kg/m}^3$
- $\rho \text{ Udara} = 1,225 \text{ kg/m}^3$
- $\rho \text{ Air} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $\dot{m} \text{ C}_3\text{H}_8 = 0,5 \text{ LPM}$   
 $= 1,898 \text{ kg/m}^3 \times 0,0005 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,000949 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m} \text{ u (udara)} = 12 \text{ LPM}$   
 $= 1,225 \text{ kg/m}^3 \times 0,0012 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,00147 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m} \text{ w (air)} = 1 \text{ LPM}$   
 $= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m}^3/\text{menit} = 1 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m} \text{ CO}_2 = 3 \times 0,000949 \text{ kg/menit} = 0,002847 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m} \text{ H}_2\text{O} = 1,64 \times 0,000949 \text{ kg/menit} = 0,001556 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m} \text{ N}_2 = 11,96 \times 0,000949 \text{ kg/menit} = 0,011350 \text{ kg/menit}$

Berdasarkan pada batasan masalah, untuk nilai  $Q_{loss} = 0$ . Sehingga nilai kalor terbuang (konduksi, konveksi dan radiasi) tidak perlu dihitung. Perhitungan nilai kalor (HV) LPG sebagai berikut :

$$HV_{C_3H_8} = [\dot{m}_{w,out} \cdot C_{p,w,out} \cdot T_{st2} + Q_{loss} + T_{st4} \cdot (\dot{m}_{CO_2} \cdot C_{p,CO_2} + \dot{m}_{H_2O} \cdot C_{p,H_2O} + \dot{m}_{N_2} \cdot C_{p,N_2}) - \dot{m}_{u,in} \cdot C_{p,u,in} \cdot T_{st3} - \dot{m}_{w,in} \cdot C_{p,w,in} \cdot T_{st1}] \cdot \frac{1}{\dot{m}_{C_3H_8}}$$

$$HV_{C_3H_8} = [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 308,48 \text{ K} + 0 + 409,58 \text{ K} \cdot (0,002847 \text{ kg/menit} \cdot 0,9464 \text{ kJ/kg.K} + 0,001556 \text{ kg/menit} \cdot 1,9195 \text{ kJ/kg.K} + 0,011350 \text{ kg/menit} \cdot 1,0449 \text{ kJ/kg.K}) - 0,00147 \text{ kg/menit} \cdot 1,0051 \text{ kJ/kg.K} \cdot 301,6 \text{ K} - 1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 302,28 \text{ K}] \cdot \frac{1}{0,000949 \frac{\text{kg}}{\text{menit}}}$$

$$HV_{C_3H_8} = 34.431,20 \text{ kJ/kg}$$

Berdasarkan penjelasan di atas, karena pengujian menggunakan bahan bakar yang berupa gas, maka nilai kalor LPG adalah termasuk LHV. Sehingga nilai LHV = 34.431,20 kJ/kg.

Untuk menentukan efisiensi dari kalorimeter ini menggunakan acuan dari nilai kalor LPG secara teoritik (46.454,31 kJ/kg), sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi FC} = \frac{\dot{Q}_{\text{diserap air}}}{\dot{m}_{LPG} \cdot NK_{LPG}}$$

$$\eta_{FC} = [\dot{m}_{w,out} \cdot C_{p,w,out} \cdot (T_{st2} - T_{st1})] / (\dot{m}_{C_3H_8} \cdot LHV_{C_3H_8})$$

$$\eta_{FC} = [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot (308,48 \text{ K} - 302,28 \text{ K})] / (0,000949 \text{ kg/menit} \cdot 46.454,31 \text{ kJ/kg})$$

$$\eta_{FC} = 0.588280826$$

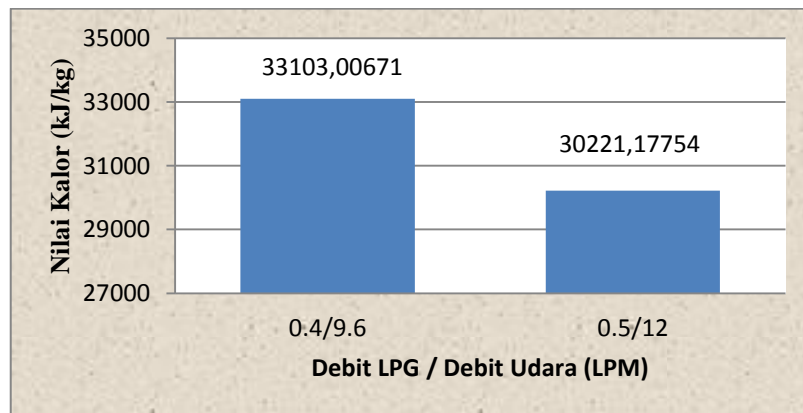
$$\eta_{FC} = 58,8 \%$$

#### 4.5 Hasil Perhitungan

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan

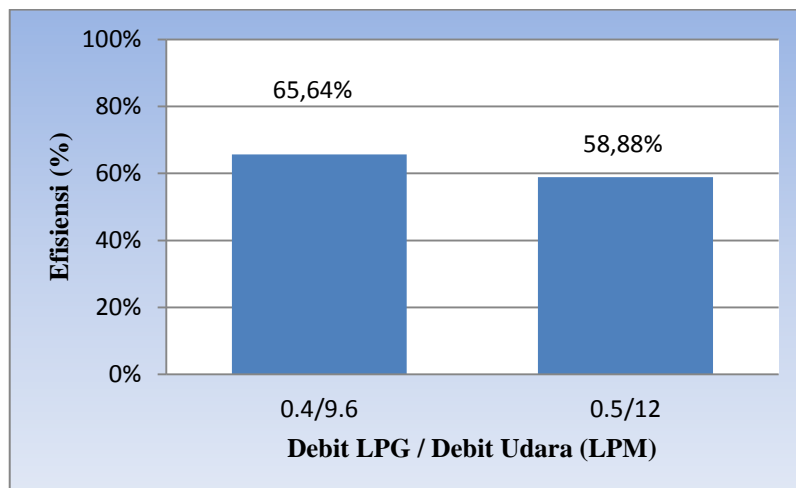
Debit LPG (LPM)	Debit Udara (LPM)	Nilai Kalor (kJ/kg)	Efisiensi (%)
0.4	9.6	33103.1	65.6
0.5	12	34431.20	58.8

Grafik perbandingan nilai kalor pada gambar (4.9).



Gambar 4.9 Grafik Nilai Kalor

Grafik perbandingan efisiensi kalorimeter aliran pada gambar (4.10).



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi

#### 4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan Variasi Debit LPG

Tabel 4.7 Data perbandingan hasil perhitungan

Debit LPG (LPM)	Debit Udara (LPM)	Debit Air (LPM)	Nilai Kalor Eksperimental (kJ/kg)	Efisiensi <i>Flow</i> <i>Calorimeter</i> (%)	Sumber
0,2	4,8	1	37.990,19	78.1	Data Penelitian
0,3	7,2	1	38.261,25	77.8	Mulyo
0,4	9,6	1	33.103,01	65.6	Data Penelitian
0,5	12	1	30.221,18	58.8	Andi

Berdasarkan tabel (4.5), diketahui bahwa hasil nilai kalor LPG dan efisiensi kalorimeter berbeda-beda pada setiap variasinya. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor seperti suplai udara dari kompresor yang tidak konstan serta karena pengaruh suhu dari lingkungan.

Dapat diketahui bahwa nilai kalor LPG tertinggi sebesar 38.261,25 kJ/kg pada variasi debit LPG 0,3 LPM dan nilai kalor LPG terendah sebesar 30.221,18 kJ/kg pada variasi debit LPG 0,5 LPM. Hal ini terjadi karena pada penelitian ini menggunakan jumlah air dan tabung sama pada setiap pengujian.

Nilai efisiensi kalorimeter aliran tertinggi sebesar 78,1 % pada variasi debit LPG 0,2 LPM dan efisiensi kalorimeter aliran terendah sebesar 58,8% pada variasi debit LPG 0,5 LPM. Pada penelitian ini perhitungan efisiensi menggunakan nilai kalor teoritis (46.454,31 kJ/kg), sehingga penyebab penurunan efisiensi kalorimeter adalah jumlah kalor dari pembakaran LPG yang diserap oleh medium penyerap (air) kurang akurat.

Secara teori, apabila jumlah debit LPG sebagai bahan bakar semakin besar, maka suhu pembakaran (T4) juga semakin besar. Semakin besar suhu pembakaran, maka suhu dari penyerap kalor (T2) akan semakin besar. Semakin besar suhu penyerap kalor, maka efisiensi kalorimeter akan besar serta perbedaan

suhu ( $\Delta T$ ) antara  $T_2$  dan  $T_1$  juga akan semakin besar. Sehingga apabila semua terpenuhi, maka nilai kalor LPG eksperimental akan mendekati nilai kalor LPG teoritik.

Penelitian ini juga menggunakan perbandingan debit LPG berdasarkan pembakaran LPG secara Teoritik. Sehingga udara yang digunakan adalah udara teoritik. Ada dugaan bahwa pembakaran LPG secara eksperimental ini masih menyisakan bahan bakar di dalam produk. Sehingga kalor yang dilepaskan oleh pembakaran LPG kurang maksimal.

Berdasarkan pembahasan di atas dapat diketahui bahwa suhu dari  $T_1$  dan  $T_2$  sangat mempengaruhi dalam perhitungan nilai kalor maupun efisiensi kalorimeter aliran. Karena penelitian menggunakan tabung yang sama maka untuk mendapatkan nilai suhu yang baik pada  $T_1$  dan  $T_2$  harus diimbangi dengan jumlah air yang masuk pada tabung kalorimeter. Semakin besar bahan bakar untuk pembakaran maka semakin besar pula air yang diperlukan sebagai media penyalur panas.