

$$\bullet \quad N_{N_2} = 18,8 \text{ kmol } N_2$$

Untuk menentukan nilai entalpi pembentukan (hf°) 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 kJ/kmol
- H_2O (g) = -241.820 kJ/kmol
- H_2O (l) = -285.830 kJ/kmol

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

$$\begin{aligned} \bullet \quad H_R &= N_{C_3H_8} \cdot hf^\circ_{C_3H_8} + N_{O_2} \cdot hf^\circ_{O_2} + N_{N_2} \cdot hf^\circ_{N_2} \\ H_R &= 1 \cdot (-103.850 \text{ kJ/kmol}) + 5 \cdot (0) + 5 \cdot (0) \\ H_R &= -103.850 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \bullet \quad H_{P,gas} &= N_{CO_2} \cdot hf^\circ_{CO_2} + N_{H_2O(g)} \cdot hf^\circ_{H_2O(g)} + N_{N_2} \cdot hf^\circ_{N_2} \\ H_{P,gas} &= 3 \cdot (-393.520 \text{ kJ/kmol}) + 4 \cdot (-241.820 \text{ kJ/kmol}) + 18,8 \cdot (0) \\ H_{P,gas} &= -2.147.840 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \bullet \quad H_{P,liquid} &= N_{CO_2} \cdot hf^\circ_{CO_2} + N_{H_2O(l)} \cdot hf^\circ_{H_2O(l)} + N_{N_2} \cdot hf^\circ_{N_2} \\ H_{P,liquid} &= 3 \cdot (-393.520 \text{ kJ/kmol}) + 4 \cdot (-285.830 \text{ kJ/kmol}) + 18,8 \cdot (0) \\ H_{P,liquid} &= -2.323.880 \text{ kJ/kmol} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \bullet \quad LHV &= H_{P,gas} - H_R = -2.147.840 \text{ kJ/kmol} - (-103.850 \text{ kJ/kmol}) \\ LHV &= 2.043.990 \text{ kJ/kmol } C_3H_8 \\ \bullet \quad HHV &= H_{P,liquid} - H_R = -2.323.880 \text{ kJ/kmol} - (-103.850 \text{ kJ/kmol}) \end{aligned}$$

$$\text{HHV} = 2.220.030 \text{ kJ/kmol C}_3\text{H}_8$$

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 :

- $\text{Mr C}_3\text{H}_8 = 3 \cdot (12) + 8 \cdot (1) = 44 \text{ kg/kmol}$

Maka nilai dari LHV dan HHV adalah :

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

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

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 gradien 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 :

- $Y =$ Garis suhu *thermocouple*

- m = Gradien
- x = Garis suhu *thermometer*
- 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 :

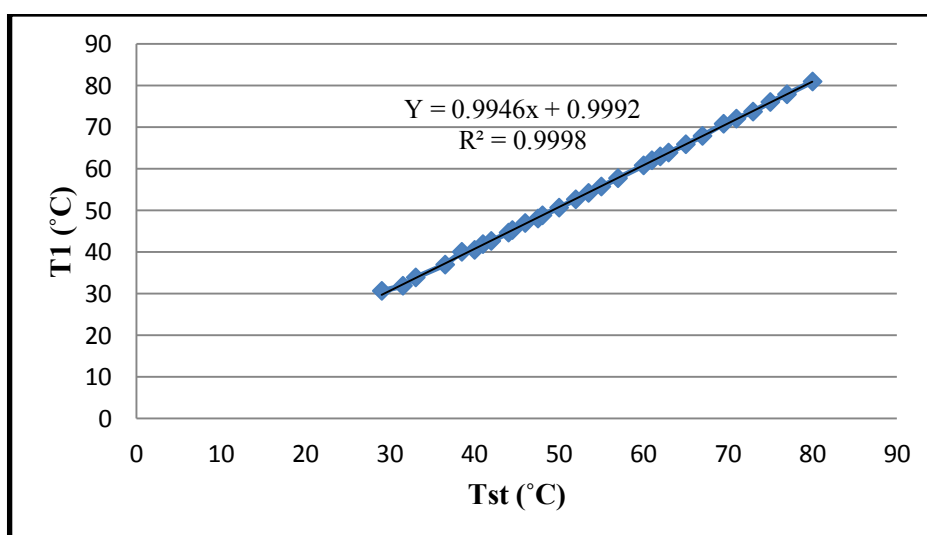
Tabel 4.1 Data Kalibrasi

No	<i>Thermometer</i> Tst (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₁ (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₂ (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₃ (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₄ (°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

Tabel 4.1 Data Kalibrasi (Lanjutan)

No	<i>Thermometer</i> T _{st} (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₁ (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₂ (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₃ (°C)	<i>Thermocouple</i> T ₄ (°C)
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
23	65	65,4	65,4	65,4	65,8
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

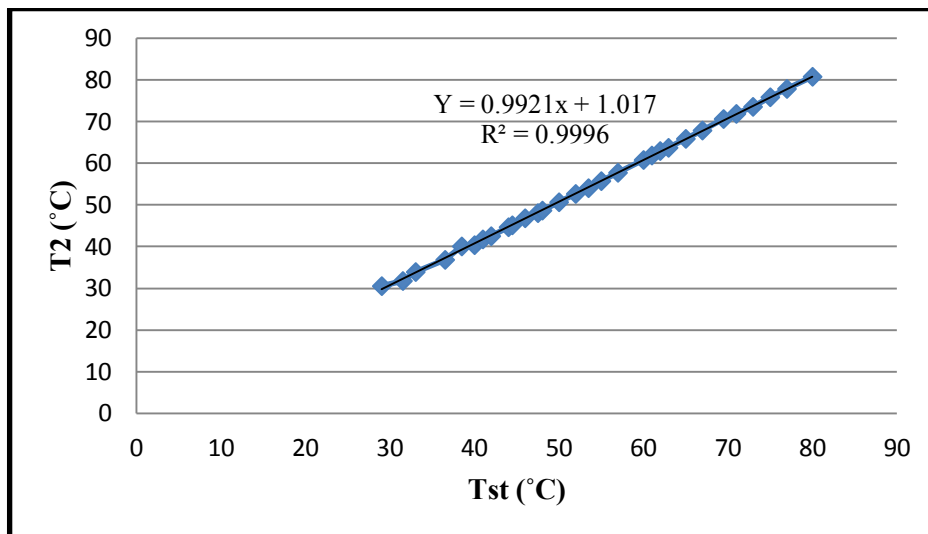
Dari data tabel 4.1, kalibrasi antara T_{st} dan T₁ diolah menjadi grafik pada gambar 4.1, sebagai berikut :

Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi T₁

Berdasarkan gambar 4.1, *thermocouple* T₁ menghasilkan nilai :

- $Y = 0,9946 \cdot x + 0,9992$
- $R^2 = 0,9998$

Dari data tabel 4.1, kalibrasi antara T_{st} dan T₂ diolah menjadi grafik pada gambar 4.2, sebagai berikut :

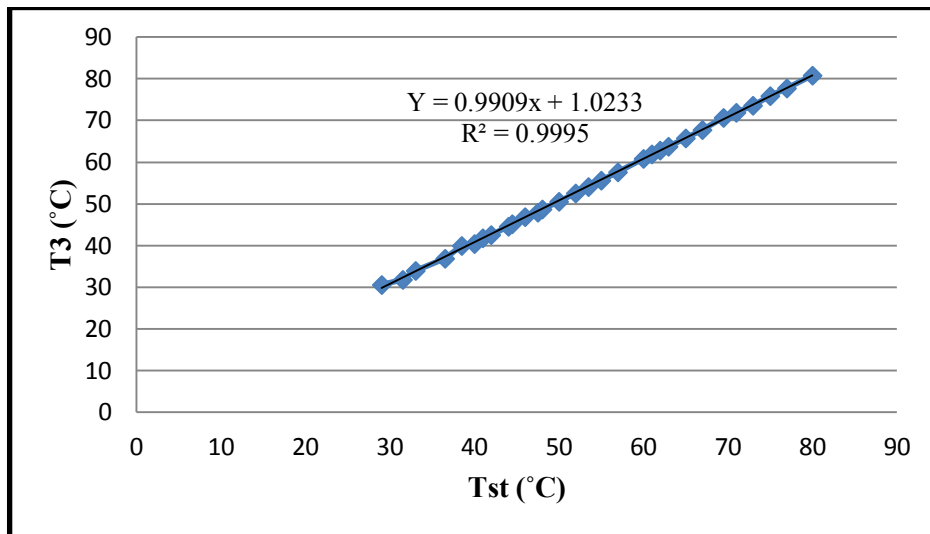


Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi T₂

Berdasarkan gambar 4.2, *thermocouple* T₂ menghasilkan nilai :

- $Y = 0,9921 \cdot x + 1,017$
- $R^2 = 0,9996$

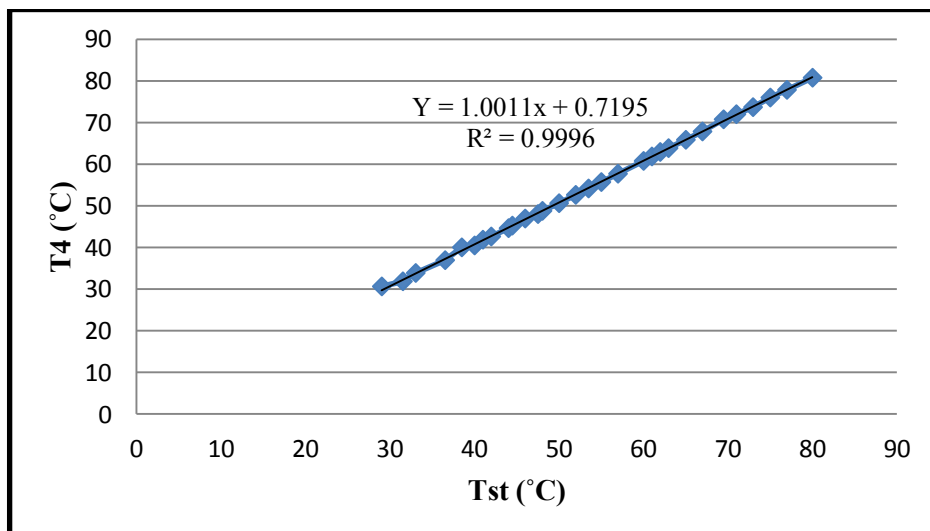
Dari data tabel 4.1, kalibrasi antara T_{st} dan T₃ diolah menjadi grafik pada gambar 4.3, sebagai berikut :

Gambar 4.3 Grafik Kalibrasi T_3

Berdasarkan gambar 4.3, *thermocouple* T_3 menghasilkan nilai :

- $Y = 0,9909 \cdot x + 1,0233$
- $R^2 = 0,9995$

Dari data tabel 4.1, kalibrasi antara Tst dan 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 :

- $Y = 1,0011 \cdot x + 0,7195$
- $R^2 = 0,9996$

4.4 Hasil Pengujian Kalorimeter

4.4.1 Variasi Debit LPG 0,2 LPM

Tabel 4.2 Data hasil pengujian

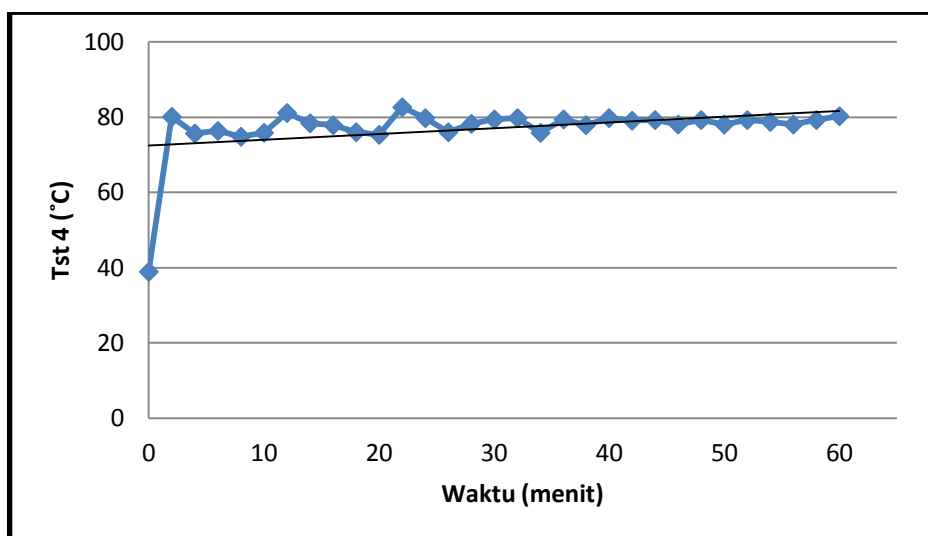
Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
0	0.2	1	4.8	30.1	34.5	30	39.7
2	0.2	1	4.8	30	32.8	30.1	80.9
4	0.2	1	4.8	30.5	32.6	30	76.4
6	0.2	1	4.8	30.4	32.5	29.8	77.1
8	0.2	1	4.8	30.8	34.7	29.7	75.6
10	0.2	1	4.8	30.8	33.5	29.6	76.6
12	0.2	1	4.8	30.5	32.4	39.7	81.9
14	0.2	1	4.8	30.4	32.5	29.4	79.2
16	0.2	1	4.8	30.3	33.5	29.4	78.7
18	0.2	1	4.8	30.1	33.5	39.4	76.8
20	0.2	1	4.8	30.1	33	29.3	76.1
22	0.2	1	4.8	30.1	33.4	29.4	83.5
24	0.2	1	4.8	30.1	33.5	29.3	80.5
26	0.2	1	4.8	30.1	33.1	29.3	76.8
28	0.2	1	4.8	30	33.3	29.2	79
30	0.2	1	4.8	30	33.7	29.3	80.2
32	0.2	1	4.8	29.9	33.5	29.2	80.5
34	0.2	1	4.8	30	32.7	29.5	76.6
36	0.2	1	4.8	29.9	32.8	29.5	80.2
38	0.2	1	4.8	29.9	33.2	29.4	78.6
40	0.2	1	4.8	29.8	33	29.3	80.6
42	0.2	1	4.8	30	33.2	29.9	79.8
44	0.2	1	4.8	30.1	33	30.2	80
46	0.2	1	4.8	30	32.9	29.7	78.9
48	0.2	1	4.8	30.8	34.3	31.2	80.1
50	0.2	1	4.8	30.1	33.1	29.9	78.9
52	0.2	1	4.8	30	32.9	29.8	80.1
54	0.2	1	4.8	29.9	33.4	29.7	79.6
56	0.2	1	4.8	30.2	33.5	29.6	78.9
58	0.2	1	4.8	30.3	33.6	30.1	80
60	0.2	1	4.8	30.4	33.9	30.2	81.1
Rata - Rata				30.08	33.30	30.11	79.40

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	0.2	1	4.8	29.3	33.7	29.2	38.9
2	0.2	1	4.8	29.2	32.0	29.3	80.1
4	0.2	1	4.8	29.7	31.8	29.2	75.6
6	0.2	1	4.8	29.6	31.7	29.0	76.3
8	0.2	1	4.8	30.0	34.0	28.9	74.8
10	0.2	1	4.8	30.0	32.7	28.8	75.8
12	0.2	1	4.8	29.7	31.6	39.0	81.1
14	0.2	1	4.8	29.6	31.7	28.6	78.4
16	0.2	1	4.8	29.5	32.7	28.6	77.9
18	0.2	1	4.8	29.3	32.7	38.7	76.0
20	0.2	1	4.8	29.3	32.2	28.5	75.3
22	0.2	1	4.8	29.3	32.6	28.6	82.7
24	0.2	1	4.8	29.3	32.7	28.5	79.7
26	0.2	1	4.8	29.3	32.3	28.5	76.0
28	0.2	1	4.8	29.2	32.5	28.4	78.2
30	0.2	1	4.8	29.2	32.9	28.5	79.4
32	0.2	1	4.8	29.1	32.7	28.4	79.7
34	0.2	1	4.8	29.2	31.9	28.7	75.8
36	0.2	1	4.8	29.1	32.0	28.7	79.4
38	0.2	1	4.8	29.1	32.4	28.6	77.8
40	0.2	1	4.8	29.0	32.2	28.5	79.8
42	0.2	1	4.8	29.2	32.4	29.1	79.0
44	0.2	1	4.8	29.3	32.2	29.4	79.2
46	0.2	1	4.8	29.2	32.1	28.9	78.1
48	0.2	1	4.8	30.0	33.5	30.5	79.3
50	0.2	1	4.8	29.3	32.3	29.1	78.1
52	0.2	1	4.8	29.2	32.1	29.0	79.3
54	0.2	1	4.8	29.1	32.6	28.9	78.8
56	0.2	1	4.8	29.4	32.7	28.8	78.1
58	0.2	1	4.8	29.5	32.8	29.3	79.2
60	0.2	1	4.8	29.6	33.1	29.4	80.3
Rata - Rata				29.24	32.54	29.35	78.60

Berdasarkan tabel 4.2, suhu air masuk mula-mula adalah 29,3 °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.

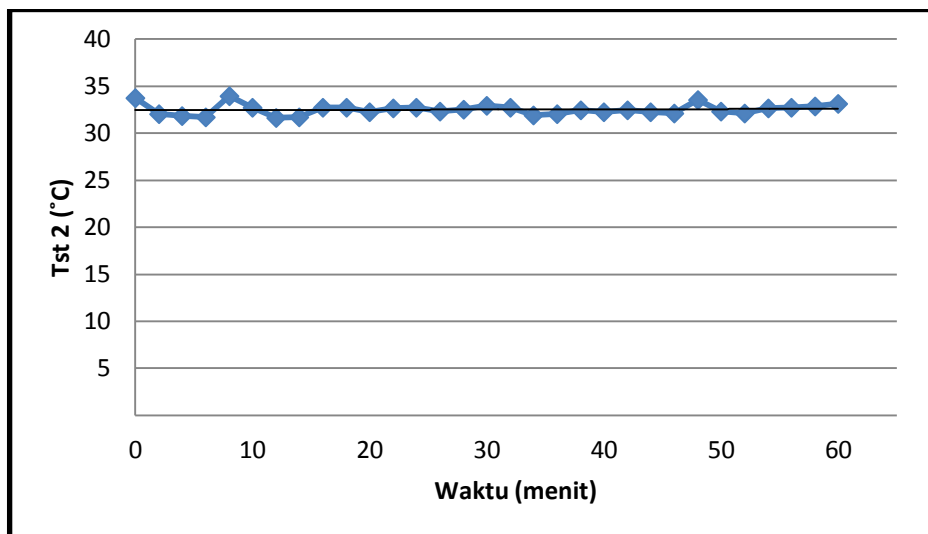
Grafik suhu gas keluar (Tst 4) terhadap waktu pada gambar 4.5, sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Suhu Tst 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 38,9 °C sampai 82,7 °C.

Grafik suhu air keluar (Tst 2) terhadap waktu pada gambar 4.6, sebagai berikut:



Gambar 4.6 Grafik Suhu Tst 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 18. Oleh karena itu, nilai untuk T_1 sampai T_4 diambil data rata-rata mulai menit ke 18. Sehingga nilai untuk suhu standarnya sebagai berikut :

- $T_{st 1} = \frac{1}{0,9946} \times (30,08 - 0,9992) = 29,24 \text{ } ^\circ\text{C} = 302,24 \text{ K}$
- $T_{st 2} = \frac{1}{0,9921} \times (33,3 - 1,017) = 32,54 \text{ } ^\circ\text{C} = 305,54 \text{ K}$
- $T_{st 3} = \frac{1}{0,9909} \times (30,11 - 1,0233) = 29,35 \text{ } ^\circ\text{C} = 302,35 \text{ K}$
- $T_{st 4} = \frac{1}{1,0011} \times (79,4 - 0,7159) = 78,6 \text{ } ^\circ\text{C} = 351,6 \text{ K}$

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 :

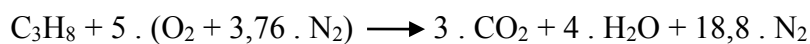
- $C_p \text{ C}_3\text{H}_8 \text{ (Tst3 pada } 302,35 \text{ K)} = 1,6794 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2a)}$
- $C_p \text{ w.in (Tst1 pada } 29,24 \text{ } ^\circ\text{C)} = 4,18 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-3a)}$

- C_p w.out (Tst2 pada 32,54 °C) = 4,18 kJ/kg.K (Tabel A-3a)
- C_p u.in (Tst3 pada 302,35 K) = 1,0051 kJ/kg.K (Tabel A-2b)
- C_p CO₂ (Tst4 pada 351,6 K) = 0,8964 kJ/kg.K (Tabel A-2b)
- C_p H₂O (Tst4 pada 351,6 K) = 34,0641 kJ/kmol.K (Tabel A-2c)
- C_p H₂O (Tst4 pada 351,6 K) = 1,8924 kJ/kg.K
- C_p N₂ (Tst4 pada 351,6 K) = 1,0411 kJ/kg.K (Tabel A-2b)

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

- Mr C₃H₈ = 44 kg/kmol (Tabel A-1 Termodinamika)
- Mr Udara = 28,97 kg/kmol (Tabel A-1 Termodinamika)
- Mr H₂O = 2 . (1) + 1 . (16) = 18 kg/kmol
- Mr CO₂ = 1 . (12) + 2 . (16) = 44 kg/kmol
- Mr N₂ = 2 . (14) = 28 kg/kmol

Berdasarkan massa molar di atas, jumlah massa zat setiap komponen unsur-unsur pembakaran LPG untuk 1 kmol LPG (C₃H₈), sebagai berikut :



- 1 C₃H₈ = 3 . (12) + 8 . (1) = 44 kg
- 5 (O₂ + 3,76 . N₂) (Udara) = 5 . {2 . (16) + 3,76 . 2 . (14)}
- 5 (O₂ + 3,76 . N₂) (Udara) = 686,4 kg
- 3 CO₂ = 3 . {1 . (12) + 2 . (16)} = 132 kg
- 4 H₂O = 4 . {2 . (1) + 1 . (16)} = 72 kg
- 18,8 N₂ = 18,8 . {2 . (14)} = 526,4 kg

Berdasarkan perbandingan massa zat, untuk menentukan massa (m) komponen-komponen untuk 1 kg LPG, sebagai berikut :

- m Udara = $\frac{686,4}{44} \times 1 \text{ kg} = 15,6 \text{ kg}$
- m CO₂ = $\frac{132}{44} \times 1 \text{ kg} = 3 \text{ kg}$
- m H₂O = $\frac{72}{44} \times 1 \text{ kg} = 1,64 \text{ kg}$

$$\bullet \quad m_{N_2} = \frac{526,4}{44} \times 1 \text{ kg} = 11,96 \text{ kg}$$

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

- $\rho_{C_3H_8} = 1,898 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{\text{Udara}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{\text{Air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $\dot{m}_{C_3H_8} = 0,2 \text{ LPM}$
 $\dot{m}_{C_3H_8} = 1,898 \text{ kg/m}^3 \times 0,0002 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,0003796 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m}_u (\text{udara}) = 4,8 \text{ LPM}$
 $\dot{m}_u (\text{udara}) = 1,225 \text{ kg/m}^3 \times 0,0048 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,00588 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m}_w (\text{air}) = 1 \text{ LPM}$
 $\dot{m}_w (\text{air}) = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m}^3/\text{menit} = 1 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m}_{CO_2} = 3 \times 0,0003796 \text{ kg/menit} = 0,0011388 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m}_{H_2O} = 1,64 \times 0,0003796 \text{ kg/menit} = 0,00062225 \text{ kg/menit}$
- $\dot{m}_{N_2} = 11,96 \times 0,0003796 \text{ kg/menit} = 0,00454 \text{ kg/menit}$

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

$$\bullet \quad HV_{C_3H_8} = \left[\dot{m}_{w,\text{out}} \cdot C_{p,w,\text{out}} \cdot T_{\text{st}2} + Q_{\text{loss}} + T_{\text{st}4} \cdot (\dot{m}_{CO_2} \cdot C_{p,CO_2} + \dot{m}_{H_2O} \cdot C_{p,H_2O} + \dot{m}_{N_2} \cdot C_{p,N_2}) - \dot{m}_{u,\text{in}} \cdot C_{p,u,\text{in}} \cdot T_{\text{st}3} - \dot{m}_{w,\text{in}} \cdot C_{p,w,\text{in}} \cdot T_{\text{st}1} \right] \cdot \frac{1}{\dot{m}_{C_3H_8}}$$

$$\begin{aligned} HV_{C_3H_8} &= [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 305,54 \text{ K} + 0 + 351,6 \text{ K} \cdot \\ &(0,0011388 \text{ kg/menit} \cdot 0,8964 \text{ kJ/kg.K} + 0,0006225 \text{ kg/menit} \\ &\cdot 1,8924 \text{ kJ/kg.K} + 0,00454 \text{ kg/menit} \cdot 1,0411 \text{ kJ/kg.K}) - \\ &0,00588 \text{ kg/menit} \cdot 1,0051 \text{ kJ/kg.K} \cdot 302,35 \text{ K} - 1 \text{ kg/menit} \cdot \\ &4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 302,24 \text{ K}] \cdot \frac{1}{0,0003796 \frac{\text{kg}}{\text{menit}}} \end{aligned}$$

$$HV_{C_3H_8} = 37.990,19 \text{ kJ/kg}$$

Berdasarkan penjelasan di atas karena air hasil produk berbentuk gas/uap, maka nilai kalor eksperimental LPG adalah termasuk LHV. Sehingga nilai LHV $C_3H_8 = 37.990,19 \text{ kJ/kg}$.

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

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi FC} &= \frac{\dot{Q}_{\text{diserap air}}}{\dot{m}_{LPG} \cdot NK_{LPG}} \\ \eta_{FC} &= [\dot{m}_{w,\text{out}} \cdot C_{p_{w,\text{out}}} \cdot (T_{st2} - T_{st1})] / (\dot{m}_{C_3H_8} \cdot LHV_{C_3H_8}) \\ \eta_{FC} &= [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot (305,54 \text{ K} - 302,24 \text{ K})] / \\ &\quad (0,0003796 \text{ kg/menit} \cdot 46.454,31 \text{ kJ/kg}) \\ \eta_{FC} &= 0,7810436 \\ \eta_{FC} &= 78,1 \% \end{aligned}$$

4.4.2 Variasi Debit LPG 0,3 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	0.3	1	7.2	29	28.6	30	92.5
2	0.3	1	7.2	31.1	30.6	31.2	91.5
4	0.3	1	7.2	31.9	31.5	31.7	94.1
6	0.3	1	7.2	32.2	32.6	33	89.9
8	0.3	1	7.2	32.3	33.4	33	97.4
10	0.3	1	7.2	32.3	34.3	32.4	94.6
12	0.3	1	7.2	32.3	34.9	31	93.9
14	0.3	1	7.2	32.1	35.3	32	101.4
16	0.3	1	7.2	31.9	35.8	32	87.9
18	0.3	1	7.2	31.7	36.1	32	94.8
20	0.3	1	7.2	31.5	36	31.8	96.5
22	0.3	1	7.2	31.4	36.2	31.5	100.4
24	0.3	1	7.2	31.3	35.8	31.2	99.9
26	0.3	1	7.2	31.3	36	31	100.6
28	0.3	1	7.2	31.1	35.9	31	96

Tabel 4.4 Data hasil pengujian (lanjutan)

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
30	0.3	1	7.2	31.1	35.6	30.9	103
32	0.3	1	7.2	31	35.6	31.4	97.5
34	0.3	1	7.2	30.8	35.7	31	95.5
36	0.3	1	7.2	30.7	35.5	30.9	93.4
38	0.3	1	7.2	30.6	35.4	30.8	103.4
40	0.3	1	7.2	30.6	35.2	31	100
42	0.3	1	7.2	31	35.8	33	101
44	0.3	1	7.2	30.9	36	32	99.7
46	0.3	1	7.2	31.1	36.1	31	99.4
48	0.3	1	7.2	30.8	35.9	30.8	99.8
50	0.3	1	7.2	31	36	30.9	98.9
52	0.3	1	7.2	31.2	35.7	31.5	100.5
54	0.3	1	7.2	31.3	35.8	32	100.4
56	0.3	1	7.2	31	36.1	30.9	99.7
58	0.3	1	7.2	30.8	36.2	30.4	99.5
60	0.3	1	7.2	30.9	36	30.1	98.6
Rata - Rata				31.05	35.85	31.23	99.02

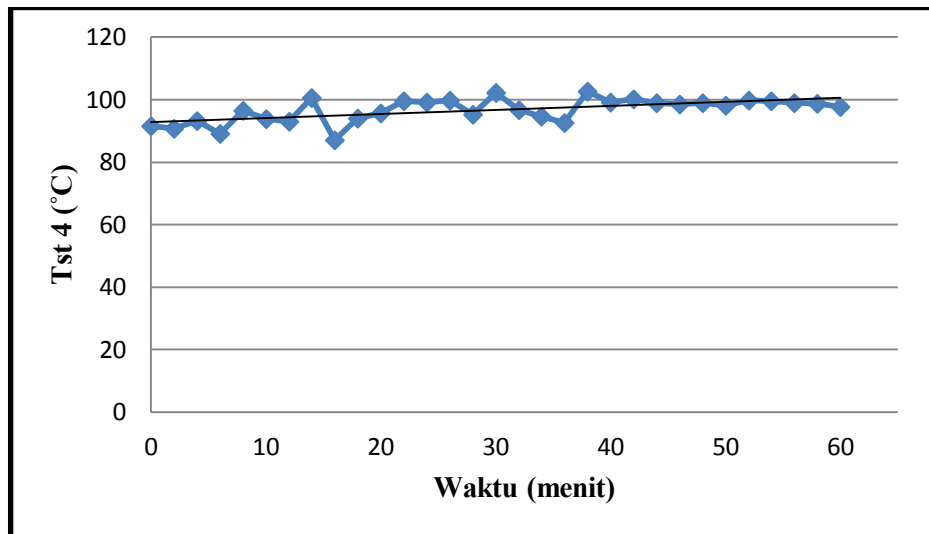
Tabel 4.5 Data hasil pengujian dengan suhu standar

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu Standar			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
0	0.3	1	7.2	28.2	27.8	29.2	91.7
2	0.3	1	7.2	30.3	29.8	30.5	90.7
4	0.3	1	7.2	31.1	30.7	31.0	93.3
6	0.3	1	7.2	31.4	31.8	32.3	89.1
8	0.3	1	7.2	31.5	32.6	32.3	96.6
10	0.3	1	7.2	31.5	33.5	31.7	93.8
12	0.3	1	7.2	31.5	34.2	30.3	93.1
14	0.3	1	7.2	31.3	34.6	31.3	100.6
16	0.3	1	7.2	31.1	35.1	31.3	87.1
18	0.3	1	7.2	30.9	35.4	31.3	94.0
20	0.3	1	7.2	30.7	35.3	31.1	95.7

Tabel 4.5 Data hasil pengujian dengan suhu standar (lanjutan)

Waktu	Debit LPG	Debit Air	Debit Udara	Suhu Standar			
				°C			
Menit	LPM	LPM	LPM	T1	T2	T3	T4
22	0.3	1	7.2	30.6	35.5	30.8	99.6
24	0.3	1	7.2	30.5	35.1	30.5	99.1
26	0.3	1	7.2	30.5	35.3	30.3	99.8
28	0.3	1	7.2	30.3	35.2	30.3	95.2
30	0.3	1	7.2	30.3	34.9	30.2	102.2
32	0.3	1	7.2	30.2	34.9	30.7	96.7
34	0.3	1	7.2	30.0	35.0	30.3	94.7
36	0.3	1	7.2	29.9	34.8	30.2	92.6
38	0.3	1	7.2	29.8	34.7	30.1	102.6
40	0.3	1	7.2	29.8	34.5	30.3	99.2
42	0.3	1	7.2	30.2	35.1	32.3	100.2
44	0.3	1	7.2	30.1	35.3	31.3	98.9
46	0.3	1	7.2	30.3	35.4	30.3	98.6
48	0.3	1	7.2	30.0	35.2	30.1	99.0
50	0.3	1	7.2	30.2	35.3	30.2	98.1
52	0.3	1	7.2	30.4	35.0	30.8	99.7
54	0.3	1	7.2	30.5	35.1	31.3	99.6
56	0.3	1	7.2	30.2	35.4	30.2	98.9
58	0.3	1	7.2	30.0	35.5	29.6	98.7
60	0.3	1	7.2	30.1	35.3	29.3	97.8
Rata - Rata				30.21	35.11	30.49	98.20

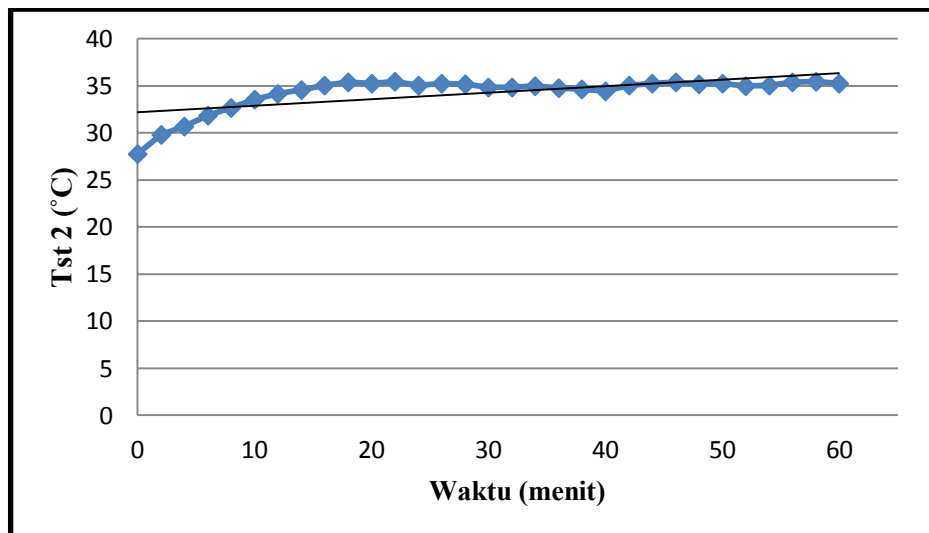
Grafik suhu gas keluar (Tst 4) terhadap waktu pada gambar 4.7, sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik Suhu Tst 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 87,1 °C sampai 102,6 °C.

Grafik suhu air keluar (Tst 2) terhadap waktu pada gambar 4.8, sebagai berikut:



Gambar 4.8 Grafik Suhu Tst 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 24. Oleh karena itu, nilai untuk T_1 sampai T_4 diambil data rata-rata mulai menit ke 24. Sehingga nilai untuk suhu standarnya sebagai berikut :

- $T_{st 1} = \frac{1}{0,9946} \times (30,97 - 0,9992) = 30,14 \text{ } ^\circ\text{C} = 303,14 \text{ K}$
- $T_{st 2} = \frac{1}{0,9921} \times (35,81 - 1,017) = 35,07 \text{ } ^\circ\text{C} = 308,07 \text{ K}$
- $T_{st 3} = \frac{1}{0,9909} \times (31,15 - 1,0233) = 30,4 \text{ } ^\circ\text{C} = 303,4 \text{ K}$
- $T_{st 4} = \frac{1}{1,0011} \times (99,31 - 0,7159) = 98,48 \text{ } ^\circ\text{C} = 371,48 \text{ K}$

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 :

- $C_p \text{ C}_3\text{H}_8 \text{ (Tst3 pada } 303,4 \text{ K)} = 1,6794 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2a)}$
- $C_p \text{ w.in (Tst1 pada } 30,14 \text{ } ^\circ\text{C)} = 4,18 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-3a)}$
- $C_p \text{ w.out (Tst2 pada } 35,07 \text{ } ^\circ\text{C)} = 4,18 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-3a)}$
- $C_p \text{ u.in (Tst3 pada } 303,4 \text{ K)} = 1,0051 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2b)}$
- $C_p \text{ CO}_2 \text{ (Tst4 pada } 371,48 \text{ K)} = 0,9139 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2b)}$
- $C_p \text{ H}_2\text{O (Tst4 pada } 371,48 \text{ K)} = 34,2259 \text{ kJ/kmol.K (Tabel A-2c)}$
- $C_p \text{ H}_2\text{O (Tst4 pada } 371,48 \text{ K)} = 1,9014 \text{ kJ/kg.K}$
- $C_p \text{ N}_2 \text{ (Tst4 pada } 371,48 \text{ K)} = 1,0423 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2b)}$

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

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

$$\text{Mr N}_2 = 2 \cdot (14) = 28 \text{ kg/kmol}$$

Berdasarkan massa molar di atas, jumlah massa zat setiap komponen unsur-unsur pembakaran LPG untuk 1 kmol LPG (C₃H₈), sebagai berikut :



$$\text{1 C}_3\text{H}_8 = 3 \cdot (12) + 8 \cdot (1) = 44 \text{ kg}$$

$$5 (\text{O}_2 + 3,76 \cdot \text{N}_2) (\text{Udara}) = 5 \cdot \{2 \cdot (16) + 3,76 \cdot 2 \cdot (14)\}$$

$$5 (\text{O}_2 + 3,76 \cdot \text{N}_2) (\text{Udara}) = 686,4 \text{ kg}$$

$$3 \text{ CO}_2 = 3 \cdot \{1 \cdot (12) + 2 \cdot (16)\} = 132 \text{ kg}$$

$$4 \text{ H}_2\text{O} = 4 \cdot \{2 \cdot (1) + 1 \cdot (16)\} = 72 \text{ kg}$$

$$18,8 \text{ N}_2 = 18,8 \cdot \{2 \cdot (14)\} = 526,4 \text{ kg}$$

Berdasarkan perbandingan massa zat, untuk menentukan massa (m) komponen-komponen untuk 1 kg LPG, sebagai berikut :

$$m \text{ Udara} = \frac{686,4}{44} \times 1 \text{ kg} = 15,6 \text{ kg}$$

$$m \text{ CO}_2 = \frac{132}{44} \times 1 \text{ kg} = 3 \text{ kg}$$

$$m \text{ H}_2\text{O} = \frac{72}{44} \times 1 \text{ kg} = 1,64 \text{ kg}$$

$$m \text{ N}_2 = \frac{526,4}{44} \times 1 \text{ kg} = 11,96 \text{ kg}$$

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

$$\rho \text{ C}_3\text{H}_8 = 1,898 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ Udara} = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ Air} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} \text{ C}_3\text{H}_8 = 0,3 \text{ LPM}$$

$$\dot{m} \text{ C}_3\text{H}_8 = 1,898 \text{ kg/m}^3 \times 0,0003 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,0005694 \text{ kg/menit}$$

$$\dot{m} \text{ u (udara)} = 7,2 \text{ LPM}$$

$$\dot{m} \text{ u (udara)} = 1,225 \text{ kg/m}^3 \times 0,0072 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,00882 \text{ kg/menit}$$

$$\dot{m} \text{ w (air)} = 1 \text{ LPM}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_w \text{ (air)} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m}^3/\text{menit} = 1 \text{ kg/menit} \\ \blacksquare \dot{m}_{\text{CO}_2} &= 3 \times 0,0005694 \text{ kg/menit} = 0,0017082 \text{ kg/menit} \\ \blacksquare \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} &= 1,64 \times 0,0005694 \text{ kg/menit} = 0,0009338 \text{ kg/menit} \\ \blacksquare \dot{m}_{\text{N}_2} &= 11,96 \times 0,0005694 \text{ kg/menit} = 0,00681 \text{ kg/menit} \end{aligned}$$

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

$$\blacksquare \text{HV}_{\text{C}_3\text{H}_8} = \frac{1}{\dot{m}_{\text{C}_3\text{H}_8}} [\dot{m}_{w,\text{out}} \cdot C_{p_{w,\text{out}}} \cdot T_{\text{st}2} + Q_{\text{loss}} + T_{\text{st}4} \cdot (\dot{m}_{\text{CO}_2} \cdot C_{p_{\text{CO}_2}} + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} + \dot{m}_{\text{N}_2} \cdot C_{p_{\text{N}_2}}) - \dot{m}_{u,\text{in}} \cdot C_{p_{u,\text{in}}} \cdot T_{\text{st}3} - \dot{m}_{w,\text{in}} \cdot C_{p_{w,\text{in}}} \cdot T_{\text{st}1}]$$

$$\begin{aligned} \text{HV}_{\text{C}_3\text{H}_8} &= [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot 308,07 \text{ K} + 0 + 371,48 \text{ K} \cdot \\ &(0,0017082 \text{ kg/menit} \cdot 0,9139 \text{ kJ/kg.K} + 0,0009338 \text{ kg/menit} \cdot \\ &1,9014 \text{ kJ/kg.K} + 0,00681 \text{ kg/menit} \cdot 1,0423 \text{ kJ/kg.K}) - 0,00882 \\ &\text{kg/menit} \cdot 1,0051 \text{ kJ/kg.K} \cdot 303,4 \text{ K} - 1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot \\ &303,14 \text{ K}] \cdot \frac{1}{0,0005694 \frac{\text{kg}}{\text{menit}}} \end{aligned}$$

$$\text{HV}_{\text{C}_3\text{H}_8} = 38.261,25 \text{ kJ/kg}$$

Berdasarkan penjelasan di atas karena air hasil produk berbentuk gas/uap, maka nilai kalor eksperimental LPG adalah termasuk LHV. Sehingga nilai LHV $\text{C}_3\text{H}_8 = 38.261,25 \text{ kJ/kg}$.

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

$$\begin{aligned} \blacksquare \text{Efisiensi FC} &= \frac{\dot{Q}_{\text{diserap air}}}{\dot{m}_{\text{LPG}} \cdot \text{NK}_{\text{LPG}}} \\ \eta_{\text{FC}} &= [\dot{m}_{w,\text{out}} \cdot C_{p_{w,\text{out}}} \cdot (T_{\text{st}2} - T_{\text{st}1})] / (\dot{m}_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot \text{LHV}_{\text{C}_3\text{H}_8}) \\ \eta_{\text{FC}} &= [1 \text{ kg/menit} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot (308,07 \text{ K} - 303,14 \text{ K})] / \\ &(0,0005694 \text{ kg/menit} \cdot 46.454,31 \text{ kJ/kg}) \\ \eta_{\text{FC}} &= 0.778768239 \\ \eta_{\text{FC}} &= 77,88 \% \end{aligned}$$

4.5 Hasil Perhitungan

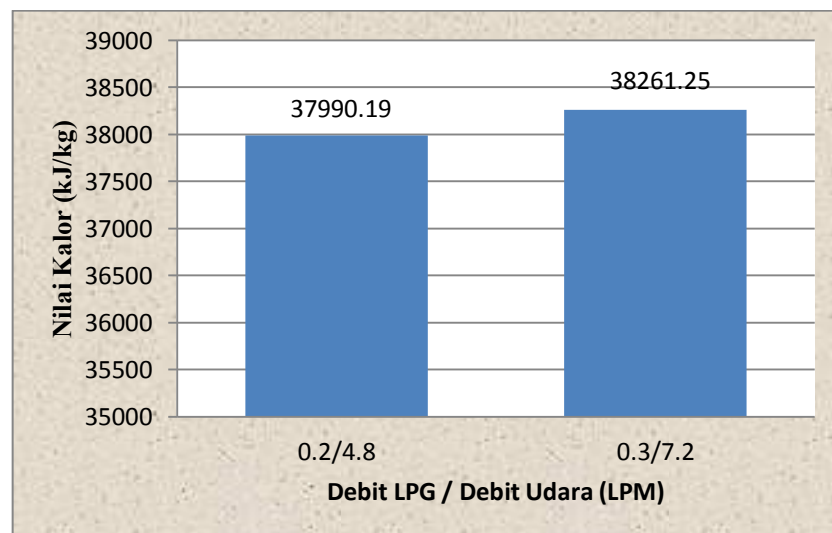
Berdasarkan data dari perhitungan berdasarkan perbandingan laju aliran massa LPG : Udara : air, dapat diperoleh nilai kalor eksperimental LPG dan efisiensi kalorimeter aliran. Data hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel 4.6, sebagai berikut :

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan

Debit LPG (LPM)	Debit Udara (LPM)	Debit Air (LPM)	Nilai Kalor (kJ/kg)	Efisiensi (%)
0.2	4.8	1	37990.19	78.1
0.3	7.2	1	38261.25	77.8

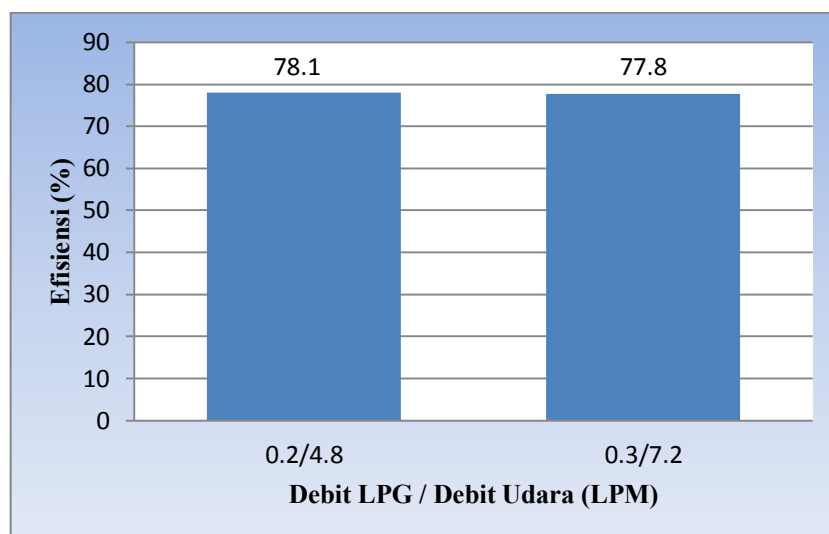
Dari tabel 4.6, dapat diperoleh grafik perbandingan nilai kalor yang ditunjukkan pada gambar 4.9 dan grafik perbandingan efisiensi dari kalorimeter aliran yang ditunjukkan pada gambar 4.10, sebagai berikut :

Grafik perbandingan nilai kalor.



Gambar 4.9 Grafik Nilai Kalor

Grafik perbandingan efisiensi kalorimeter aliran.



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi Kalorimeter Aliran

4.6 Perbandingan Hasil Perhitungan Variasi Debit LPG

Tabel 4.5 Data perbandingan hasil perhitungan

Debit LPG	Debit Udara	Debit Air	Nilai Kalor Eksperimental	Efisiensi Kalorimeter	Sumber
LPM	LPM	LPM	kJ/kg	%	
0,2	4,8	1	37.990,19	78,1	Data
0,3	7,2	1	38.261,25	77,8	Mulyo
0,4	9,6	1	33.103,01	65,6	Data
0,5	12	1	30.221,18	58,9	Andi

Berdasarkan tabel 4.5, dapat diketahui bahwa nilai kalor eksperimental LPG tertinggi adalah 38.261,25 kJ/kg pada variasi debit LPG 0,3 LPM dan nilai kalor eksperimental LPG terendah adalah 30.221,18 kJ/kg pada variasi debit LPG 0,5 LPM. Dapat dikatakan juga semakin besar debit LPG maka nilai kalor eksperimental akan semakin kecil (menurun). Hal ini terjadi karena pada penelitian ini menggunakan jumlah air dan tabung sama pada setiap pengujian. Sehingga penyerapan kalor pembakaran LPG kurang maksimal.

Nilai efisiensi kalorimeter aliran tertinggi adalah 78,1 % pada variasi debit LPG 0,2 LPM dan efisiensi kalorimeter aliran terendah adalah 58,9% pada variasi debit LPG 0,5 LPM. Dapat dikatakan juga semakin besar jumlah debit LPG maka nilai efisiensi kalorimeter aliran akan semakin kecil (menurun). 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 (T_4) juga semakin besar. Semakin besar suhu pembakaran, maka suhu dari penyerap kalor (T_2) akan semakin besar. Semakin besar suhu penyerap kalor, maka efisiensi kalorimeter akan besar serta perbedaan suhu (ΔT) 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 tabel perbandingan hasil dan teori penelitian, perbedaan (penurunan) nilai kalor eksperimental LPG dan efisiensi kalorimeter dipengaruhi oleh jumlah atau banyaknya kalor yang dapat diserap oleh penyerap kalor (air) serta jumlah udara sebagai pembakarnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran atau semakin besar jumlah debit LPG, harus diiringi dengan memperbesar luas penampang penyerap kalor atau dengan cara memperbesar jumlah debit air sebagai penyerap kalor serta menambahkan udara melebihi jumlah udara teoritik agar bahan bakar terbakar habis. Dengan demikian, nilai kalor LPG secara teoritik akan tercapai.