

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kalibrasi

Kalibrasi adalah tahapan kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai alat ukur dan bahan ukur dengan membandingkannya dengan alat ukur standar (Mariam dkk, 2013).

Dari hasil kalibrasi yang dilakukan terhadap *thermocouple* T1 sampai T8 dengan cara mengukur suhu air panas yang diaduk agar suhunya merata dengan *termometer* dan *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur suhu air panas tersebut sampai kedua alat ukur tersebut membaca suhu yang sama atau tidak jauh berbeda yang dilakukan dengan acuan suhu dari 25°C sampai 80°C dengan selang waktu masing-masing pengukuran adalah 1 menit. Kalibrasi ditujukan untuk mengetahui berapa perbedaan tingkat dalam membaca suhu antara suhu yang terukur dengan suhu yang sebenarnya. Jenis *thermocouple* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tipe-K. Data hasil pengamatan kalibrasi akan diolah menjadi grafik yang akan menunjukkan nilai gradient dan regresi dari perbandingan pengukuran suhu antara *termometer* dan *thermocouple* tersebut. Kegiatan kalibrasi yang dilakukan seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 kegiatan kalibrasi *thermocouple*

Gradien adalah nilai yang menunjukkan besar arah dan kemiringan dari garis yang didapat dari perbandingan antara suhu *termometer* dan *thermocouple*. Jika garis miring ke arah kanan, maka gradien nya positif, sebaliknya jika garis miring ke arah kiri gradien nya negatif. Gradien dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4.1).

$$y = m \cdot x + c \dots\dots\dots (4.1)$$

keterangan :

- $y$  = suhu termometer standar
- $m$  = gradien garis regresi
- $x$  = suhu *thermocouple* terukur
- $c$  = koefisien (titik pada sumbu  $y$  yang dilewati garis)

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah ukuran kedekatan sebuah garis regresi linier dengan data yang sebenarnya. Sama halnya dengan gradien, koefisien determinasi didapat dari grafik data hasil perbandingan antara *termometer* dengan *thermocouple*. Jika nilai  $R^2$  mendekati 1, maka hasil persamaan regresi yang didapat bagus dan dapat digunakan untuk menghitung nilai suhu standar.

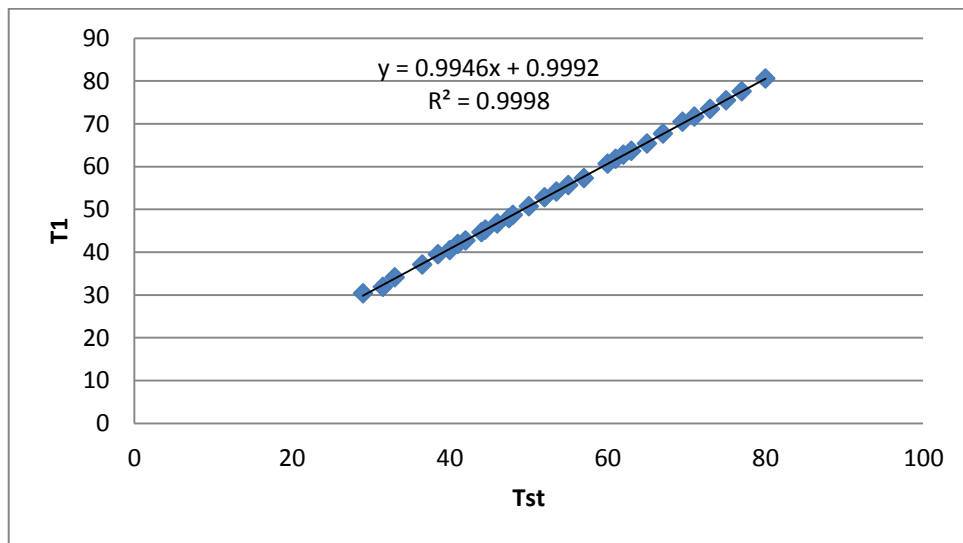
## 4.2 Hasil Kalibrasi

Proses kalibrasi terhadap *thermocouple* akan memberikan nilai suhu yang akan diolah menjadi grafik perbandingan suhu *thermocouple* terhadap *termometer* standar, sehingga menghasilkan nilai gradien dan koefisien determinasi yang akan digunakan untuk menghitung suhu standar atau suhu yang sebenarnya dari hasil data nilai suhu yang didapat dari proses pengujian menggunakan alat *flow calorimeter*. Dari masing-masing data *thermocouple* dicantumkan dalam tabel (4.1) dan (4.2) :

Table 4.1 Data kalibrasi T1 sampe T4

<b>Termometer T<sub>st</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>1</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>2</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>3</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>4</sub> (°C)</b>
29	30,4	30,7	30,7	30,6
31,5	31,9	32	31,8	31,8
33	34,1	33,8	34,1	33,9
36,5	37,1	37	37,3	36,9
38,5	39,5	39,9	39,8	40
40	40,5	40,6	40,4	40,4
41	41,9	41,5	41,6	41,8
42	42,7	42,6	42,5	42,6
44	44,7	44,6	44,6	44,6
44,5	45,3	45	45	45,2
46	46,7	46,7	46,5	46,9
47,5	48	48	48	48
48	48,7	48,4	48,3	48,7
50	50,7	50,3	50,2	50,6
52	52,8	52,4	52,3	52,6
53,5	54,2	53,8	53,5	54,1
55	55,7	55,4	55,1	55,7
57	57,3	57,4	57,3	57,7
60	60,7	60,5	60,4	60,8
61	61,8	61,6	61,5	61,9
62	62,8	62,6	62,6	62,9
63	63,7	63,6	63,5	63,8
65	65,4	65,4	65,4	65,8
67	67,7	67,6	67,5	67,8
69,5	70,5	70,5	70,3	70,7
71	71,7	71,6	71,4	71,9
73	73,5	73,3	73,5	73,6
75	75,5	75,6	75,6	75,9
77	77,6	77,4	77,4	77,8
80	80,6	80,4	80,4	80,8

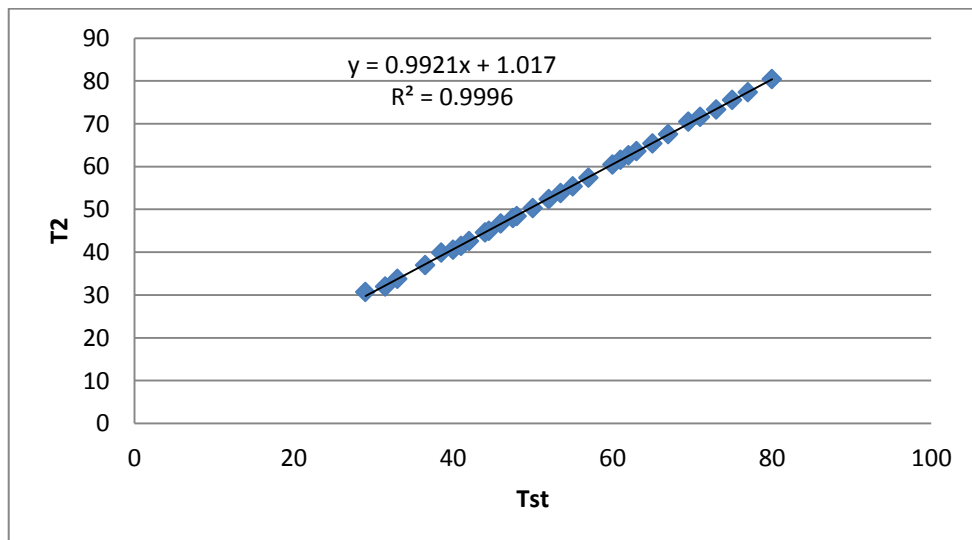
Grafik yang terbentuk dari data kalibrasi T1 diatas terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik kalibrasi T1

*Thermocouple* T1 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,9946x + 0,9992$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,9998$ .

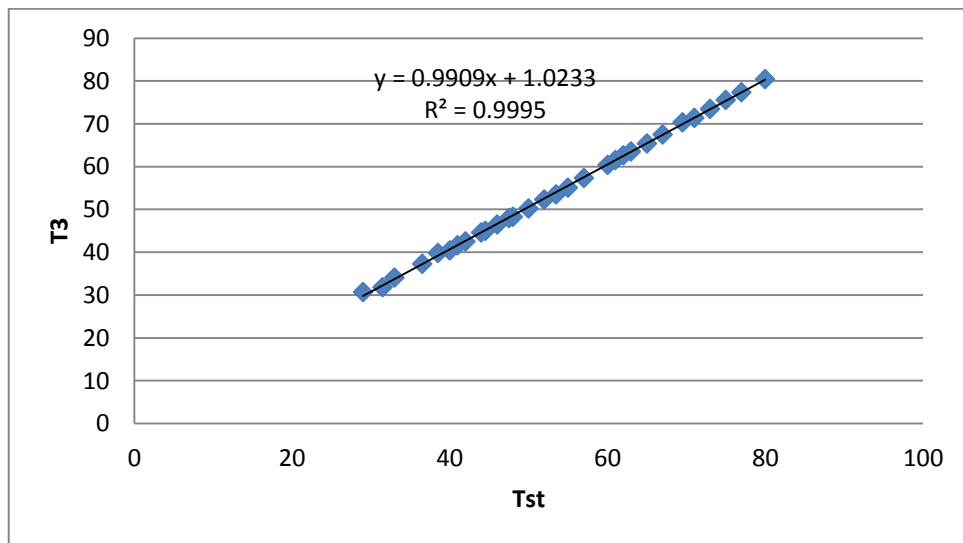
Grafik yang terbentuk dari data kalibrasi T2 terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik kalibrasi T2

*Thermocouple* T2 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,9921x + 1,017$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,9996$

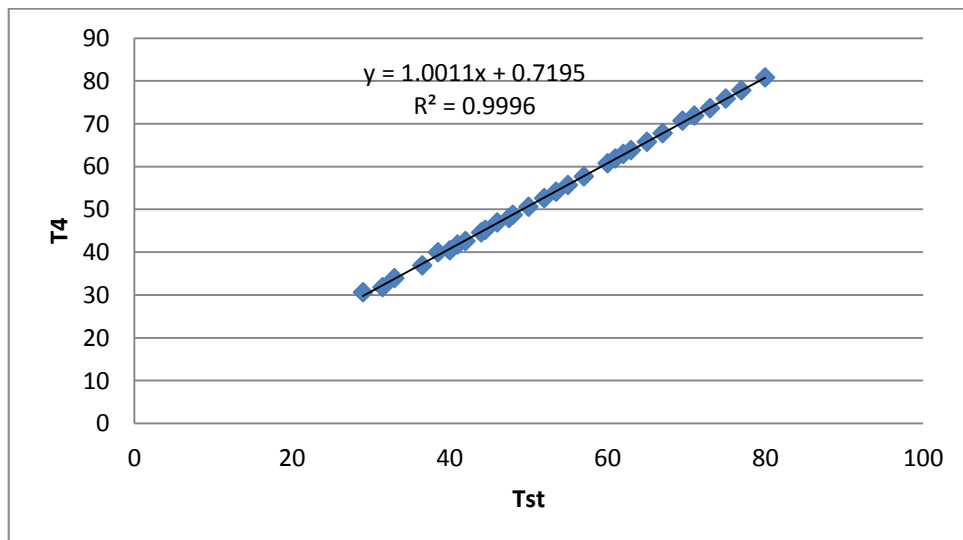
Grafik yang terbentuk dari kalibrasi T3 terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik kalibrasi T3

*Thermocouple* T3 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,9909x + 1,0233$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,9995$ .

Grafik yang terbentuk dari dari kalibrasi T4 terlihat pada gambar 4.5.



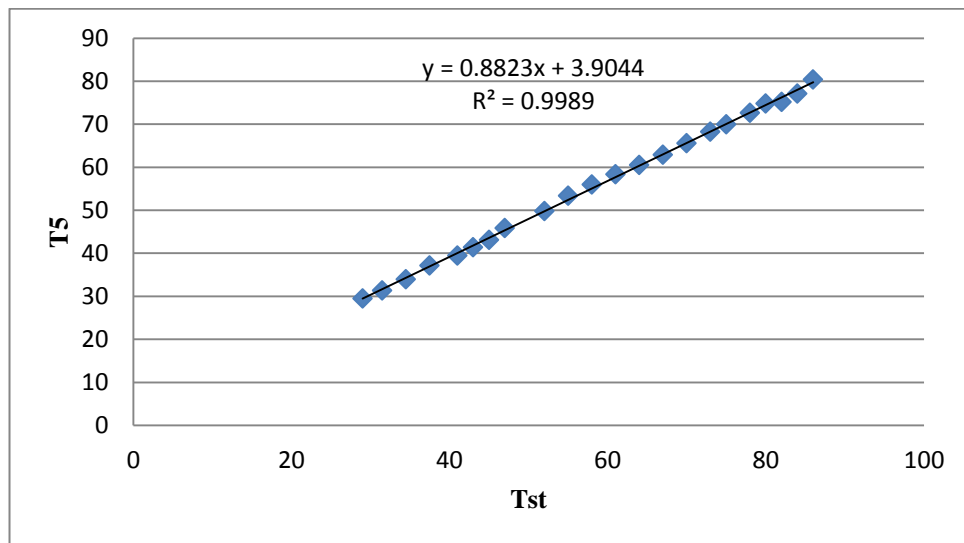
Gambar 4.5 Grafik kalibrasi T4

*Thermocouple* T4 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 1,0011x + 0,7195$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,9996$

Tabel 4.2 Data kalibrasi T5 sampai T8

<b>Termometer T<sub>st</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>5</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>6</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>7</sub> (°C)</b>	<b>Termocouple T<sub>8</sub> (°C)</b>
29	29,5	29,5	29,5	29,5
31,5	31,4	31,4	31,4	31,4
34,5	34	34,2	34,2	34,2
37,5	37,2	37,3	37,3	37,3
41	39,5	39,6	39,6	39,6
43	41,4	41,6	41,6	41,6
45	43,1	43,3	43,3	43,2
47	45,9	45	45	45
52	49,8	49,9	49,9	49,9
55	53,4	53,4	53,5	53,4
58	56	56,3	56,2	56,3
61	58,4	58,5	58,5	58,5
64	60,5	60,5	60,4	60,5
67	62,9	63	63	63
70	65,6	65,4	65,3	65,5
73	68,3	68,4	68,3	68,2
75	70	69,9	70,1	70,1
78	72,7	72,6	72,7	72,5
80	74,8	74,8	74,8	74,9
82	75,2	76,4	76,2	76
84	77,1	77,4	77,5	77,3
86	80,4	80,9	81,2	80,8

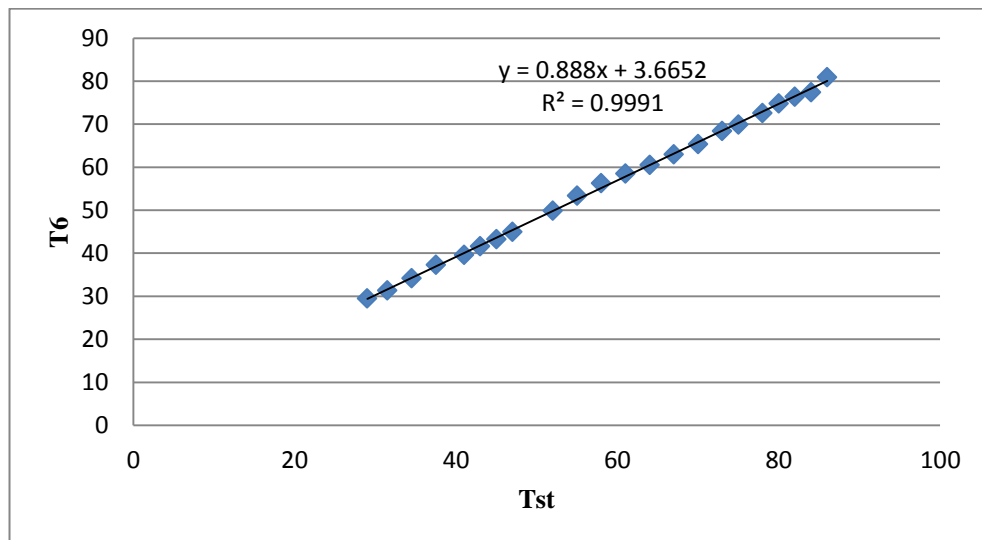
Grafik yang terbentuk dari dari kalibrasi T5 terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik hasil kalibrasi T5

*Thermocouple* T5 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,8823x + 3,9044$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,9989$ .

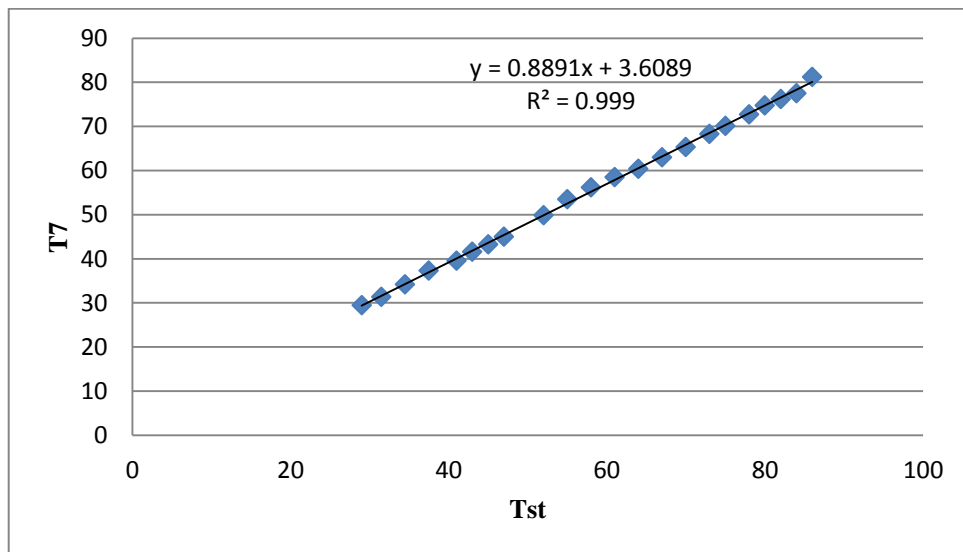
Grafik yang terbentuk dari dari kalibrasi T6 terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik kalibrasi T6

*Thermocouple* T6 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,888x + 3,6652$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,9991$ .

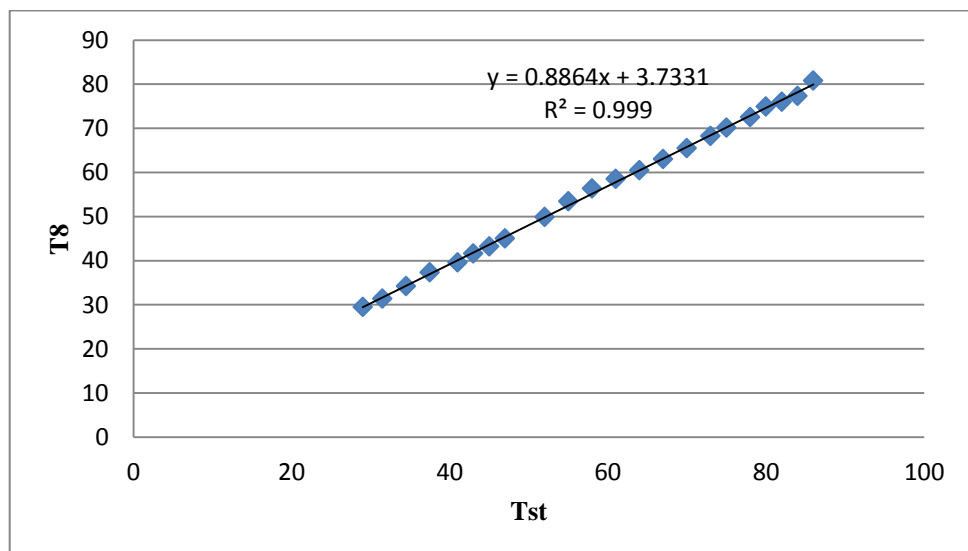
Grafik yang terbentuk dari dari kalibrasi T7 terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik kalibrasi T7

*Thermocouple* T7 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,8891x + 3,6089$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,999$ .

Grafik yang terbentuk dari dari kalibrasi T8 terlihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik kalibrasi T8

*Thermocouple* T8 menghasilkan menghasilkan nilai gradien  $(y) = 0,8864x + 3,7331$  dan nilai koefisien determinasi  $(R^2) = 0,999$



### 4.3 Hasil Pengujian *Flow Calorimeter* dengan LPG

#### 4.3.1 Debit aliran 1 LPM dengan bukaan katup gas $\frac{1}{8}$

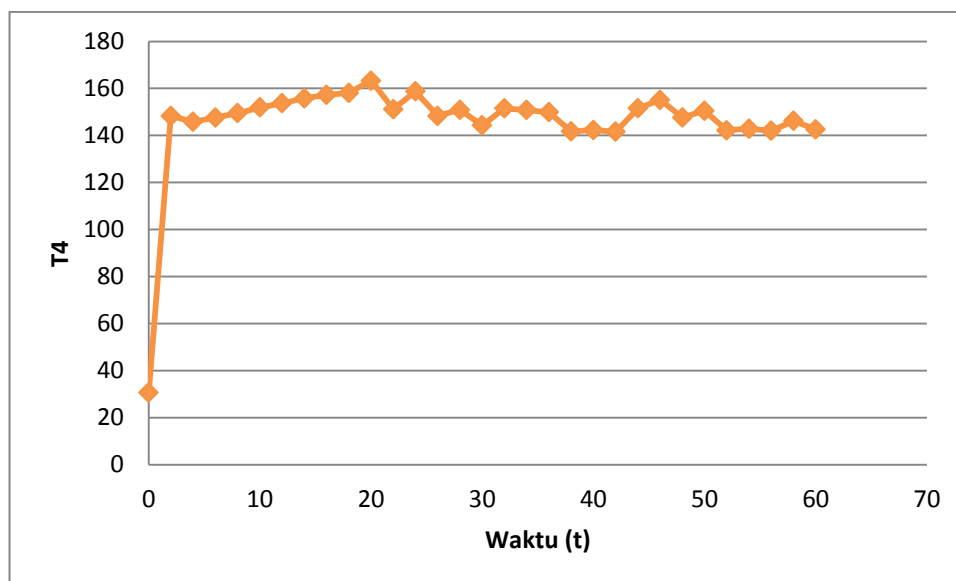
Hasil dari pengujian nilai kalor secara eksperimental menggunakan alat *flow calorimeter* dengan besar debit aliran 1 LPM dan variasi bukaan katup gas  $\frac{1}{8}$  dicantumkan pada tabel 4.3. Pada tabel ini dituliskan mulai dari jeda waktu pengambilan data yang diambil setiap 2 menit selama 60 menit pengujian, pengurangan massa *LPG* setiap 2 menit pengujian sehingga akan didapatkan selisih massa *LPG* sebelum dan sesudah pengujian dilakukan serta suhu yang terbaca oleh *thermocouple* T1 sampai T8 yang telah distandarkan nilainya menggunakan kalibrasi suhu. Baris dan kolom yang di block warna kuning menunjukkan titik *steady* air keluaran hasil penyerapan panas.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Debit 1 LPM, katup  $\frac{1}{8}$

Waktu Menit	Debit (LPM)	Berat LPG (Kg)	SUHU							
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	1	8,65	30,3	29,6	29,8	30,6	29,5	29,5	29,1	29,1
2	1	8,65	30	33,9	29,3	148,3	29,6	30,4	29	29,1
4	1	8,65	30,1	36,3	29,2	145,8	29,6	30,9	28,7	29,1
6	1	8,65	30,2	37,9	31	147,6	32	33,3	31,2	30,6
8	1	8,65	30,3	39,2	30,3	149,5	31,4	33,1	29,7	29,8
10	1	8,59	30,6	40,2	32,4	151,9	32,2	33,5	30,5	30,1
12	1	8,59	30,9	40,7	30,4	153,7	30,9	37,5	29,6	29,9
14	1	8,59	31	41,2	30,7	155,8	31,8	33,4	29,4	29,2
16	1	8,59	31,1	41,4	31,3	157,2	31,6	33,6	30,3	30
18	1	8,59	31,2	41,9	31,5	158,1	33,4	35,1	30,6	30,3
20	1	8,53	31,6	42,7	31,8	163,3	32,6	35,1	29,4	29,4
22	1	8,53	31,8	43,9	32,4	151,2	34	36	30,4	29,9
24	1	8,53	31,9	44,7	32,7	158,7	34,1	36,2	30,2	29,7
26	1	8,53	31,9	45,1	30,9	148,3	32,9	35,4	29,6	29,5
28	1	8,53	32,1	45,9	32,4	150,9	33,2	35,6	30	29,8
30	1	8,53	32	45,9	31,9	144,3	34,3	36,5	30,4	29,8
32	1	8,45	31,9	46	31,7	151,5	33,8	36,2	30,5	29,7
34	1	8,45	32	46,1	31,5	150,8	33,8	36,3	30,6	30,1
36	1	8,45	32,1	45,9	32,4	149,9	34,5	36,6	30,5	29,9
38	1	8,45	32,3	46,1	31,5	141,7	32,8	33,6	29,9	29,9

Waktu	Debit	Berat LPG	SUHU							
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
40	1	8,41	32,5	46,2	31,9	142,3	31,4	33,4	29,2	29,9
42	1	8,41	32,6	46,4	31	141,6	30,6	32,5	29	29,6
44	1	8,41	32,8	46,7	33,2	151,5	32,3	33,8	29,9	29,8
46	1	8,41	32,8	46,6	31,8	155,1	32,9	34,2	30,4	30
48	1	8,41	32,9	46,9	31,7	147,6	32,2	32,7	29,3	29,3
50	1	8,35	33	47	31	150,5	31,6	33	28,9	29,2
52	1	8,35	33,1	47,1	31,4	142,2	32,5	33,3	29,5	29,3
54	1	8,35	33,2	47	32,6	142,9	32,1	34,1	29,6	30,5
56	1	8,31	33,3	47	32,4	142	31,9	33,3	29,3	29,6
58	1	8,30	33,4	47	31,7	146,2	31,6	32,9	29,4	29,5
60	1	8,29	33,5	47,1	32,6	142,6	32	33,3	29,5	29,7

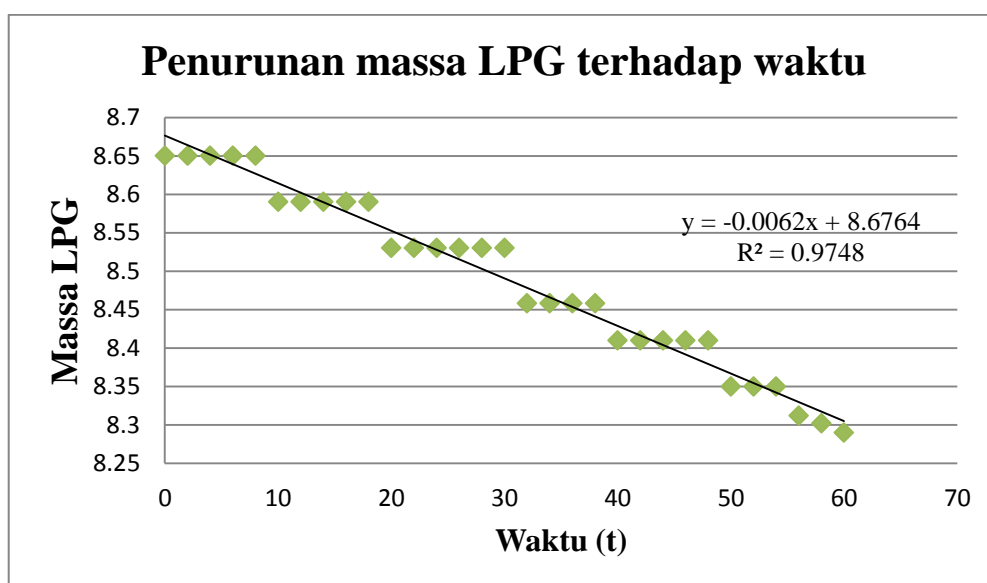
Grafik gambar kenaikan suhu gas keluaran terhadap waktu terlihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik suhu gas keluar terhadap waktu

Dari grafik gambar dapat diketahui bahwa suhu keluar normal dan selama pembakaran berlangsung memiliki perbedaan yang jauh, dimana pada 2 menit pertama suhu nya mencapai 148,3 °C. Hal ini dipengaruhi kalor jenis udara

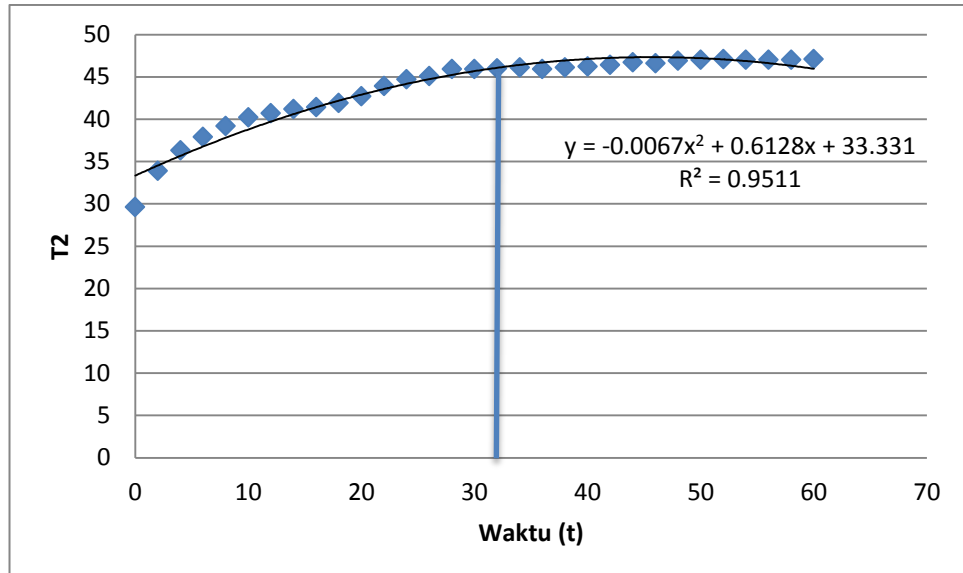
yang mengisi saluran pembakaran sebelum gas pembakaran masuk terbilang rendah. Sehingga suhu gas keluar dapat meningkat tinggi dengan cepat. Hasil grafik juga dapat diketahui bahwa suhu gas keluar pada kalorimeter aliran berkisar pada 140°C hingga 158°C. Grafik penurunan massa gas *LPG* terhadap waktu terlihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik penurunan massa *LPG* terhadap waktu

Dari grafik gambar dapat diketahui bahwa massa *LPG* berkurang setiap 2 menit pengujian. Pengamatan massa *LPG* terhadap waktu pada alat kalorimeter aliran menghasilkan nilai regresi ( $R^2$ ) = 0,9748. Artinya penurunan massa *LPG* pada pengujian kalorimeter aliran dapat dikatakan stabil karena pengurangan massa *LPG* berkurang dengan selisih tidak terlalu banyak setiap 2 menit.

Grafik gambar perbandingan suhu air keluar terhadap waktu terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik suhu air keluar terhadap waktu

Dari hasil grafik diatas T2 menunjukkan nilai steady pada waktu 32 menit, maka nilai suhu T1 sampai T8 diambil pada data menit ke 32. Sehingga nilai suhu standarnya adalah sebagai berikut :

$$T_{st1} = \frac{1}{0,9946} \times (31,9 - 0,9992) = 31,068 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st2} = \frac{1}{0,9921} \times (46 - 1,017) = 45,341 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st3} = \frac{1}{0,9909} \times (31,7 - 1,0233) = 30,958 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st4} = \frac{1}{1,0011} \times (151,5 - 0,7159) = 150,615 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st5} = \frac{1}{0,8823} \times (33,8 - 3,9044) = 33,884 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st6} = \frac{1}{0,888} \times (36,2 - 3,6652) = 36,638 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st7} = \frac{1}{0,8891} \times (30,5 - 3,6089) = 30,245 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{st8} = \frac{1}{0,8864} \times (29,7 - 3,7331) = 29,295 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari hasil nilai suhu standar yang didapat dari perhitungan menggunakan rumus hasil kalibrasi, maka nilai kalor jenis ( $C_p$ ) dapat ditentukan menggunakan table Termodinamika. Nilai kalor jenis ( $C_p$ ) dari air masuk, air keluar dan setiap komponen yang terlibat proses pembakaran dapat diketahui sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 C_{p_{C_3H_8}} (T_{st3} \text{ pada } 30,958 \text{ }^\circ\text{C}) &= 303,958 \text{ K} \\
 &= 1,6794 \text{ kJ/kg (Tabel A-2a)} \\
 C_{p_{w.in}} (T_{st1} \text{ pada } 31,068 \text{ }^\circ\text{C}) &= 4,18 \text{ kJ/kg (Tabel A-3a)} \\
 C_{p_{w.out}} (T_{st2} \text{ pada } 45,341 \text{ }^\circ\text{C}) &= 4,18 \text{ kJ/kg (Tabel A-3a)} \\
 C_{p_{u.in}} (T_{st3} \text{ pada } 30,958 \text{ }^\circ\text{C}) &= 303,958 \text{ K} \\
 &= 1,005 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2b)} \\
 C_{p_{CO_2}} (T_{st4} \text{ pada } 150,615 \text{ }^\circ\text{C}) &= 423,615 \text{ K} \\
 &= 0,957 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2b)} \\
 C_{p_{H_2O}} (T_{st4} \text{ pada } 150,615 \text{ }^\circ\text{C}) &= 423,615 \text{ K} \\
 &= 1,926 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2c)} \\
 C_{p_{N_2}} (T_{st4} \text{ pada } 150,615 \text{ }^\circ\text{C}) &= 423,615 \text{ K} \\
 &= 1,046 \text{ kJ/kg.K (Tabel A-2b)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian alat kalorimeter dengan debit 1 LPM dan bukaan katup gas  $\frac{1}{8}$  diketahui  $\Delta m_{LPG} = 8,65 \text{ kg} - 8,29 \text{ kg} = 0,36 \text{ kg}$  dengan lama pengujian selama 60 menit, sehingga perlu dihitung massa dari masing-masing unsur *LPG* seperti berikut :

Massa molar komponen-komponen *LPG* :

- $C_3H_8 = 44 \text{ kg/kmol}$  (Tabel A-1 Termodinamika)
- Udara =  $28,97 \text{ kg/kmol}$  (Tabel A-1 Termodinamika)
- $CO_2 = 1 \cdot (12) + 2 \cdot (16) = 44 \text{ kg/kmol}$
- $H_2O = 2 \cdot (1) + 16 = 18 \text{ kg/kmol}$
- $N_2 = 2 \cdot (14) = 28 \text{ kg/kmol}$

Sehingga jumlah massa dari komponen unsur-unsur *LPG* pada persamaan (2.9) untuk 1 kmol sebagai berikut :

- $1 C_3H_8 = 3 \cdot (12) + 8 \cdot (1) = 44 \text{ kg/mol}$
- $5 (O_2 + 3,76 N_2) \text{ (udara)} = 5 \cdot \{2 \cdot (16) + 3,76 \cdot 2 \cdot (14)\} = 686,4 \text{ kg/mol}$

- $3 \text{ CO}_2 = 3 \cdot \{1 \cdot (12) + 2 \cdot (16)\} = 132 \text{ kg/mol}$
- $4 \text{ H}_2\text{O} = 4 \cdot \{2 \cdot (1) + 16\} = 72 \text{ kg/mol}$
- $18,8 \text{ N}_2 = 18,8 \cdot \{2 \cdot (14)\} = 526,4 \text{ kg/mol}$

Jadi untuk setiap 1 kg *LPG* ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) maka massa tiap komponen sebagai berikut :

- Udara  $\rightarrow m = 686,4 \text{ kg} / 44 \text{ kg/kmol} = 15,6 \text{ kg}$
- $\text{CO}_2$   $\rightarrow m = 132 \text{ kg} / 44 \text{ kg/kmol} = 3 \text{ kg}$
- $\text{H}_2\text{O}$   $\rightarrow m = 72 \text{ kg} / 44 \text{ kg/kmol} = 1,64 \text{ kg}$
- $\text{N}_2$   $\rightarrow m = 526,4 \text{ kg} / 44 \text{ kg/kmol} = 11,96 \text{ kg}$

Sehingga massa dari unsur-unsur yang terlibat dalam proses pengujian didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{C}_3\text{H}_8} &= 0,36 \text{ kg} / 3600 \text{ detik} = 0,0001 \text{ kg/detik} \\ \dot{m}_{\text{u (udara)}} &= 15,6 \text{ kg} \times 0,0001 \text{ kg/detik} = 0,00156 \text{ kg/detik} \\ \dot{m}_{\text{CO}_2} &= 3 \text{ kg} \times 0,0001 \text{ kg/detik} = 0,0003 \text{ kg/detik} \\ \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} &= 1,64 \text{ kg} \times 0,0001 \text{ kg/detik} = 0,000164 \text{ kg/detik} \\ \dot{m}_{\text{N}_2} &= 11,96 \text{ kg} \times 0,0001 \text{ kg/detik} = 0,001196 \text{ kg/detik} \\ \dot{m}_{\text{w (air)}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times (0,001 \text{ m}^3 / 60 \text{ detik}) = 0,01667 \text{ kg/detik} \end{aligned}$$

Selama proses pengujian berlangsung, selain gas hasil pembakaran juga terdapat kalor yang terbuang ke lingkungan yaitu ( $Q_{\text{loss}}$ ) yang dihasilkan dinding tabung selama proses pembakaran berlangsung. Untuk mengetahui nilai kalor yang terbuang ke lingkungan, perlu diketahui nilai kalor konveksi dan radiasi seperti pada persamaan (2.4) dan (2.8).

1. Konveksi ( $\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$ )

- $T_s = \frac{T_5 + T_6}{2} = \frac{33,884 + 36,638}{2} = 35,261 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_\infty = \frac{T_7 + T_8}{2} = \frac{30,245 + 29,295}{2} = 29,77 \text{ }^\circ\text{C}$
- $A_s = (\pi \times D) \times t = (\pi \times 210 \text{ mm}) \times 680 \text{ mm} = 0,448 \text{ m}^2$

$$\bullet T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{35,261 + 29,77}{2} = 32,515 \text{ }^\circ\text{C}$$

Setelah diketahui nilai  $T_f$ , maka akan digunakan (Tabel A-15) untuk mencari nilai :

$$\bullet k = \left( \frac{32,515 - 30}{35 - 30} \right) \times (0,02625 - 0,02588) + 0,02588 = 0,02606 \text{ W/m. }^\circ\text{C}$$

$$\bullet v = \left( \frac{32,515 - 30}{35 - 30} \right) \times (1,655 \cdot 10^{-5} - 1,608 \cdot 10^{-5}) + 1,608 \cdot 10^{-5} \\ = 1,632 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\bullet Pr = \left( \frac{32,515 - 30}{35 - 30} \right) \times (0,7268 - 0,7282) + 0,7282 = 0,7275$$

$$\bullet \beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{32,515 \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{1}{305,515 \text{ K}}$$

setelah nilai ( $k$ ,  $v$ ,  $Pr$  dan  $\beta$ ) diketahui, maka nilai ( $Ra$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) :

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot D^3}{v^2} \times Pr \\ = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{305,515 \text{ K}} \cdot (35,261 - 29,77) \text{ }^\circ\text{C} \cdot (0,21 \text{ m})^3}{(1,632 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} \times 0,7275 \\ = 4460037,25$$

Fluida mengalir secara turbulents karena air yang menyerap panas akan bergerak dengan tidak beraturan atau kecepatannya beraneka ragam.

Nilai ( $Ra$ ) digunakan untuk menghitung angka nusselt ( $Nu$ ) dengan menggunakan persamaan (2.7) :

$$Nu = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[ 1 + (0,559/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \\ = \left\{ 0,6 + \frac{0,387 \cdot 4460037,25^{1/6}}{\left[ 1 + (0,559/0,7275)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,6 + \frac{4,965}{[1+0,862]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 22,37$$

Nilai angka nusselt (Nu) digunakan untuk menghitung nilai koefisien konveksi (h) menggunakan persamaan (2.5) :

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu = \frac{0,02606 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}{0,21 \text{ m}} \times 22,37 = 2,776 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

maka nilai dari kalor konveksi ( $\dot{Q}_{\text{konv}}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4) :

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \\ &= 2,776 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \times 0,448 \text{ m}^2 \times (35,261 - 29,77) ^\circ\text{C} \\ &= 6,289 \text{ W} \end{aligned}$$

## 2. Radiasi ( $\dot{Q} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot \Delta T^4$ )

- $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  (tetapan *Stefan-Boltzmann*)
- $e = 0,07$  (*Emissities of materials aluminium foil at 300 K*)
- $T_s = \frac{T5+T6}{2} = \frac{33,884+36,638}{2} = 35,261 ^\circ\text{C} = 308,261 \text{ K}$
- $T_{\text{surr}} = \frac{T7+T8}{2} = \frac{30,245+29,295}{2} = 29,77 ^\circ\text{C} = 302,77 \text{ K}$
- $A_s = (\pi \times D) \times t = (\pi \times 210 \text{ mm}) \times 680 \text{ mm} = 0,448 \text{ m}^2$

Maka nilai dari kalor radiasi ( $\dot{Q}_{\text{rad}}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.8) :

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= e \cdot \sigma \cdot A \cdot \Delta T^4 \\ &= 0,07 \times (5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}) \times 0,448 \text{ m}^2 \times (308,261^4 - 302,77^4) \text{ K} \\ &= 0,07 \times (5,56 \cdot 10^{-8} \text{ W}) \times 0,448 \times (308,261^4 - 302,77^4) \\ &= 1,114 \text{ W} \end{aligned}$$

Setelah nilai kalor konveksi ( $Q_{\text{konv}}$ ) dan kalor radiasi ( $Q_{\text{rad}}$ ) diketahui, maka nilai kalor lingkungan dapat dihitung mrnggunakan persamaan (3.1) :

$$\dot{Q}_{\text{loss}} = \dot{Q}_{\text{konveksi}} + \dot{Q}_{\text{radiasi}}$$

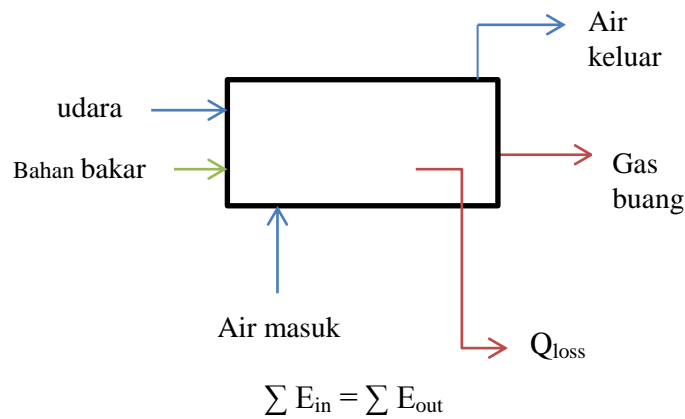


$$= 6,289 \text{ W} + 1,114 \text{ W}$$

$$= 7,403 \text{ W}$$

Dari hasil tahapan perhitungan diatas maka nilai kalor dari *LPG* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.2).

$$NK_{C_3H_8} = \frac{1}{\dot{m}_{C_3H_8}} \left[ \begin{array}{l} \dot{m}_{w,o} \cdot cp_{w,o} \cdot T_2 + Q_{loss} + T_4 \cdot \left( \dot{m}_{CO_2} \cdot cp_{CO_2} + \dot{m}_{H_2O} \cdot cp_{H_2O} + \dot{m}_{N_2} \cdot cp_{N_2} \right) \\ - \dot{m}_{u,i} \cdot cp_{u,i} \cdot T_3 - \dot{m}_{w,i} \cdot cp_{w,i} \cdot T_1 \end{array} \right]$$



Gambar 4.13 Kestimbangan Energi pada *Flow Calorimeter*

$$NK_{C_3H_8} = \frac{1}{0,0001} \cdot 0,01667 \cdot 4,18 \cdot 45,341 + 7,403 + 150,615 \cdot (0,0003 \cdot 0,957 + 0,000164 \cdot 1,926 + 0,001196 \cdot 1,046) - 0,00156 \cdot 1,005 \cdot 30,958 - 0,01667 \cdot 4,18 \cdot 31,068$$

$$NK_{C_3H_8} = 13.023,45 \text{ kJ/kg}$$

Karena bahan bakar pembakaran adalah jenis gas, maka nilai kalor adalah *LHV*. Sehingga nilai *LHV* dari *LPG* = 13.023,45 kJ/kg.

Setelah diketahui nilai kalor *LHV* maka dapat diketahui efisiensi dari *flow calorimeter* menggunakan persamaan (3.3).

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

$$\eta = [\dot{m}_{w,out} \cdot Cp_{w,out} \cdot (T_{st2} - T_{st1})] / (\dot{m}_{C_3H_8} \cdot LHV_{C_3H_8 \text{ teoritik}})$$

$$= [0,01667 \text{ kg/dtk} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg.K} \cdot (45,341 \text{ }^\circ\text{C} - 31,068 \text{ }^\circ\text{C})] /$$

$$(0,0001 \text{ kg/dtk} \cdot 46.454,31 \text{ kJ/kg})$$

$$= 23 \%$$

#### 4.4 Hasil Perhitungan Semua Variasi

Tabel 4.4 Data Hasil perhitungan

<b>Katup</b>	<b>Debit Air (LPM)</b>	<b>Nilai kalor serap (LHV) kJ/kg</b>	<b>Efisiensi (<math>\eta</math>) (%)</b>
$\frac{1}{8}$	1	13.023,45	23
$\frac{1}{4}$	1	17.907,38	28
$\frac{1}{2}$	1	17.636,32	27

#### 4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Debit 1 LPM dengan Penelitian Raka (2017)

Tabel 4.5 Data Perbandingan Hasil

<b>Katup</b>	<b>Debit Air (LPM)</b>	<b>Nilai kalor serap (LHV) kJ/kg</b>	<b>Efisiensi (<math>\eta</math>) (%)</b>	<b>Keterangan</b>
$\frac{1}{8}$	1	13.023,45	23	Data penelitian ini
$\frac{1}{4}$	1	17.907,38	28	
$\frac{1}{2}$	1	17.636,32	27	
$\frac{1}{8}$	2	33.758,44	63	Data penelitian Raka (2017)
$\frac{1}{4}$	2	32.375,61	57	
$\frac{1}{2}$	2	38.363,15	72	

Dari tabel diatas bisa diketahui bahwa nilai kalor dan efisiensi alat didapatkan hasil yang berbeda-beda setiap variasinya, hal tersebut dipengaruhi dari dari beberapa faktor seperti debit air, bukaan katup gas dan tekanan gas. Pada debit aliran 1 dan 2 LPM didapatkan hasil nilai kalor dan efisiensi yang berbeda

tiap variasi bukaan katup gas, dimana hal tersebut akan mempengaruhi tingkat nyala pembakaran pada *burner* dan pengurangan massa *LPG* tiap 2 menit selama pengujian dilakukan. Jika bukaan katup semakin besar maka tingkat nyala api juga akan semakin besar, dimana hal tersebut akan mempengaruhi nilai suhu pada T4 dan suhu air keluaran T2 sebagai penyerap panas sehingga jika suhu pada T4 dan T2 yang terbaca bernilai besar, maka nilai kalor juga akan bernilai besar.

Efisiensi *flow calorimeter* dalam menyerap panas dipengaruhi oleh nilai suhu pada T2 dan besarnya debit aliran air, sehingga jika nilai T2 bernilai tinggi dan debit aliran lebih besar maka tingkat penyerapan kalor akan lebih baik karena tingkat penyerapan kalor lebih banyak sehingga nilai efisiensi dari alat *flow calorimeter* akan semakin bagus.