

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Data Pengujian Tanpa Selubung

No	Waktu (menit)	Temperatur (°C)	
		Air	Ruang Bakar
1	1	31,0	51
2	2	38,8	55
3	3	46,7	58
4	4	55,1	63
5	5	62,7	66
6	6	70,7	68
7	7	78,3	73
8	8	85,3	73
9	9	93,5	76
10		95	76

Untuk mencapai suhu 95°C membutuhkan waktu 9 menit 13 detik = 553 detik.

Tabel 4.2 Data Pengujian Selubung Keramik

No	Waktu (menit)	Temperatur (°C)		
		Air	Ruang Bakar	Selubung
1	1	33,1	56	36
2	2	40,6	71	41
3	3	48,3	80	48
4	4	56,2	88	54
5	5	64,7	94	59
6	6	73,4	100	64
7	7	81,2	104	67
8	8	90,3	108	70
9		95	110	73

Untuk mencapai suhu 95°C membutuhkan waktu 8 menit 41 detik = 521 detik.

Tabel 4.3 Data Pengujian Selubung Aluminium

No	Waktu (menit)	Temperatur (°C)		
		Air	Ruang Bakar	Selubung
1	1	31,3	50	48
2	2	38,9	56	59
3	3	47,5	60	69
4	4	55,7	66	76
5	5	64,1	70	83
6	6	72,1	74	91
7	7	80,6	77	95
8	8	88,7	80	102
9		95	83	106

Untuk mencapai suhu 95°C membutuhkan waktu 8 menit 50 detik = 530 detik.

Tabel 4.4 Data Pengujian Selubung Besi

No	Waktu (menit)	Temperatur (°C)		
		Air	Ruang Bakar	Selubung
1	1	30,6	50	44
2	2	39,0	60	55
3	3	47,8	67	65
4	4	56,2	72	75
5	5	64,7	77	84
6	6	70,4	78	93
7	7	78,9	82	98
8	8	86,8	86	105
9	9	92,8	86	108
10		95	89	111

Untuk mencapai suhu 95°C membutuhkan waktu 9 menit 12 detik = 552 detik.

#### 4.1.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai panas hasil pembakaran, panas yang diserap oleh air, panas yang hilang dan efisiensi. Di bawah ini adalah contoh perhitungan data hasil penelitian untuk data pengujian tanpa selubung.

Data yang diperoleh saat penelitian adalah sebagai berikut:

- Massa air : 1 kg
- $C_p$  air : 4,2 kJ/kg $^{\circ}$ K
- LHV bahan bakar (*propane*) : 46133,884 kJ/kg
- LHV bahan bakar (*butane*) : 46464,176 kJ/kg
- Massa jenis LPG ( $\rho_{LPG}$ ) : 0,0021 kg/l
- Debit LPG ( $Q_{LPG}$ ) : 0,0125 l/s
- Komposisi LPG : *Propane* 30% + *Butane* 70%
- Waktu pengujian : 0 – 480 detik
- Temperatur awal air ( $T_1$ ) : 25  $^{\circ}$ C = 298  $^{\circ}$ K

### Contoh Perhitungan

#### Perhitungan Efisiensi Perkenaikan Waktu

- ❖ Energi yang diserap oleh air

$$\text{Diketahui } T_2 : 31 \text{ }^{\circ}\text{C} = 306 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 306 - 298 = 6 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$E_{\text{serap}} = \text{massa}_{\text{air}} \times C_{p_{\text{air}}} \times \Delta T$$

$$E_{\text{serap}} = 1 \text{ kg} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{K}} \times 6 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$E_{\text{serap}} = 25,2 \text{ KJ}$$

- ❖ Massa alir LPG

$$\dot{m} = \rho_{LPG} \times Q_{LPG}$$

$$\dot{m} = 0,0021 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 0,0125 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = 2,625 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$$

- ❖ LHV LPG

$$LHV_{LPG} = (LHV_{\text{propane}} \times 30\%) + (LHV_{\text{butane}} \times 70\%)$$

$$LHV_{LPG} = (46133,884 \times 30\%) + (46464,176 \times 70\%)$$

$$LHV_{LPG} = 46365,08 \text{ kJ/kg}$$

- ❖ Energi panas hasil pembakaran

$$E_{pembakaran} = \dot{m} \times t \times LHV_{LPG}$$

$$E_{pembakaran} = 2,625 \times 10^{-5} \frac{kg}{s} \times 60 s \times 46365,08 \frac{kJ}{kg}$$

$$E_{pembakaran} = 73,025 kJ$$

- ❖ Efisiensi

$$\eta = \frac{E_{serap}}{E_{pembakaran}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{25,2 kJ}{73,025 kJ} \times 100\%$$

$$\eta = 34,50 \%$$

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan Tanpa Selubung

No	Waktu (detik)	$\Delta T$ ( $^{\circ}K$ )	$E_{serap}$ (kJ)	$m_{gas}$ (kg)	$E_{pembakaran}$ (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	6,0	25,20	0,00157500	73,0250010	34,50873
2	120	13,8	57,96	0,00315000	146,0500020	39,68504
3	180	21,7	91,14	0,00472500	219,0750030	41,60219
4	240	30,1	126,42	0,00630000	292,1000040	43,27970
5	300	37,7	158,34	0,00787500	365,1250050	43,36597
6	360	45,7	191,94	0,00945000	438,1500060	43,80691
7	420	53,3	223,86	0,01102500	511,1750070	43,79322
8	480	60,3	253,26	0,01260000	584,2000080	43,35159
Akhir	553	70,0	294,00	0,01451625	673,0616088	43,68099

Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan Selubung Keramik

No	Waktu (detik)	$\Delta T$ ( $^{\circ}K$ )	$E_{serap}$ (kJ)	$m_{gas}$ (kg)	$E_{pembakaran}$ (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	8,1	34,02	0,00157500	73,025001	46,58678
2	120	15,6	65,52	0,00315000	146,050002	44,86135
3	180	23,3	97,86	0,00472500	219,075003	44,66963

4	240	31,2	131,04	0,00630000	292,100004	44,86135
5	300	39,7	166,74	0,00787500	365,125005	45,66655
6	360	48,4	203,28	0,00945000	438,150006	46,39507
7	420	56,2	236,04	0,01102500	511,175007	46,17597
8	480	65,3	274,26	0,01260000	584,200008	46,94625
Akhir	521	70,0	294,00	0,01367625	634,114101	46,36390

Tabel 4.7 Data Hasil Perhitungan Selubung Aluminium

No	Waktu (detik)	$\Delta T$ ( $^{\circ}K$ )	$E_{\text{serap}}$ (kJ)	$m_{\text{gas}}$ (kg)	$E_{\text{pembakaran}}$ (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	6,3	26,46	0,0015750	73,025001	36,23417
2	120	13,9	58,38	0,0031500	146,050002	39,97261
3	180	22,5	94,50	0,0047250	219,075003	43,13591
4	240	30,7	128,94	0,0063000	292,100004	44,14242
5	300	39,1	164,22	0,0078750	365,125005	44,97638
6	360	47,1	197,82	0,0094500	438,150006	45,14892
7	420	55,6	233,52	0,0110250	511,175007	45,68298
8	480	63,7	267,54	0,0126000	584,200008	45,79596
Akhir	530	70,0	294,00	0,0139125	645,068088	45,57658

Tabel 4.8 Data Hasil Perhitungan Selubung Besi

NO	Waktu (detik)	$\Delta T$ ( $^{\circ}K$ )	$E_{\text{serap}}$ (kJ)	$m_{\text{gas}}$ (kg)	$E_{\text{pembakaran}}$ (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	5,6	23,52	0,001575	73,025001	32,20815
2	120	14,0	58,80	0,003150	146,050002	40,26018
3	180	22,8	95,76	0,004725	219,075003	43,71106
4	240	31,2	131,04	0,006300	292,100004	44,86135
5	300	39,7	166,74	0,007875	365,125005	45,66655
6	360	48,4	203,28	0,009450	438,150006	46,39507
7	420	56,9	238,98	0,011025	511,175007	46,75111

<b>8</b>	480	61,8	259,56	0,012600	584,200008	44,42999
<b>Akhir</b>	552	70,0	294,00	0,014490	671,844499	43,76013

### Perhitungan Energi Panas Yang Hilang

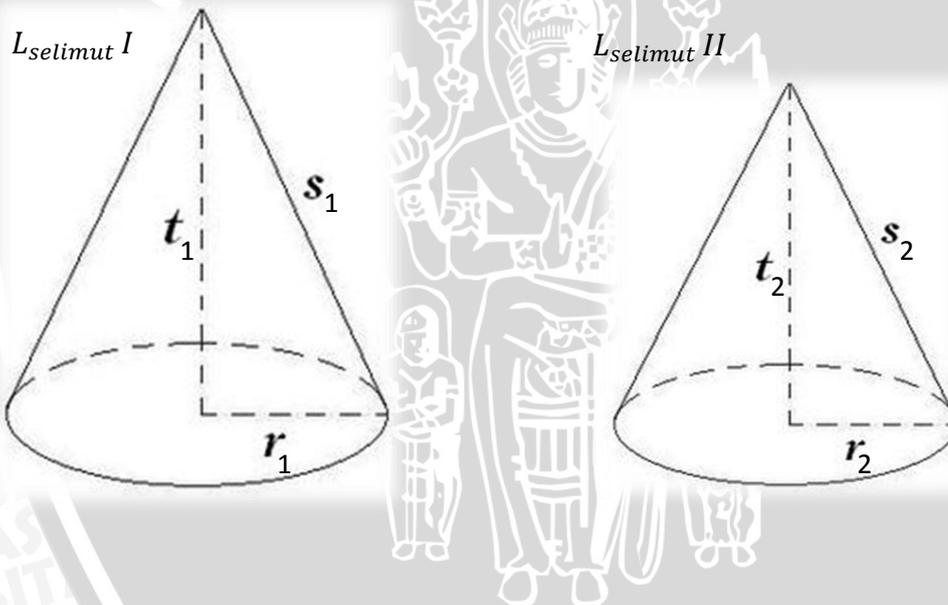
Berikut merupakan kesetimbangan energi dari proses pembakaran

$$E_{\text{pembakaran}} = E_{\text{serap}} + E_{\text{total hilang}}$$

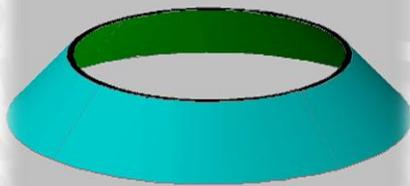
$$E_{\text{pembakaran}} = E_{\text{serap}} + E_{\text{rad. selubung}} + E_{\text{total hilang}}$$

dengan

$$E_{\text{rad. selubung}} = \varepsilon_{\text{selubung}} \sigma A_{\text{selubung}} (T^4_{\text{selubung}} - T^4_{\text{lingkungan}})$$



$A_{\text{selubung}}$



$A_{\text{selubung}}$  merupakan luasan yang meradiasikan panas ke lingkungan.

Dengan :

$$A_{\text{selubung}} = \text{Luas Selimut Selubung}$$

$$A_{\text{selubung}} = L_{\text{selimut I}} - L_{\text{selimut II}}$$

Diketahui :

$$r_1 = 10,5 \text{ cm}; t_1 = 10 \text{ cm}$$

$$s_1 = \sqrt{10,5^2 + 10^2} = 14,5 \text{ cm}$$

$$r_2 = 8 \text{ cm}; t_2 = 7$$

$$s_2 = \sqrt{8^2 + 7^2} = 10,63 \text{ cm}$$

$$\diamond L_{selimut I} = \pi r_1 s_1$$

$$L_{selimut I} = 3,14 \times 10,5 \times 14,5 = 478,065 \text{ cm}^2$$

$$\diamond L_{selimut II} = \pi r_2 s_2$$

$$L_{selimut II} = 3,14 \times 8 \times 10,63 = 267,025 \text{ cm}^2$$

Jadi

$$\diamond A_{selubung} = L_{selimut I} - L_{selimut II}$$

$$A_{selubung} = 478,065 - 267,025$$

$$A_{selubung} = 211,04 \text{ cm}^2$$

$$A_{selubung} = 0,0211 \text{ m}^2$$

$\diamond$  Energi hilang yang diradiasikan selubung keramik

$$E_{rad. selubung} = \varepsilon_{selubung} \sigma A_{selubung} (T^4_{selubung} - T^4_{lingkungan})$$

$$E_{rad. selubung} = 0,7 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 0,0211 (346^4 \text{ } ^\circ\text{K} - 298^4 \text{ } ^\circ\text{K})$$

$$E_{rad. selubung} = 5,39 \text{ W} = 3,85 \text{ J/s}$$

Lama waktu yang diperlukan 521 detik, maka :

$$E_{rad. selubung} = 5,39 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times 521 \text{ s} = 2808,19 \text{ J} = 2,808 \text{ kJ}$$

$\diamond$  Energi yang hilang

$$E_{pembakaran} = E_{serap} + E_{rad. selubung} + E_{hilang}$$

$$634,114 \text{ kJ} = 294 \text{ kJ} + 2,808 \text{ kJ} + E_{hilang}$$

$$E_{hilang} = 337,306 \text{ kJ}$$

Tabel 4.9 Data Hasil Perhitungan Energi Hilang Masing-Masing Selubung

Selubung	$E_{\text{pembakaran}}$ (kJ)	$E_{\text{serap}}$ (kJ)	$E_{\text{rad. selubung}}$ (kJ)	$E_{\text{hilang}}$ (kJ)
<b>Keramik</b>	634,114	294	2,808	337,306
<b>Aluminium</b>	645,068	294	7,678	343,390
<b>Besi</b>	671,845	294	7,412	370,433
<b>Tanpa Selubung</b>	673,061	294	0	379,061

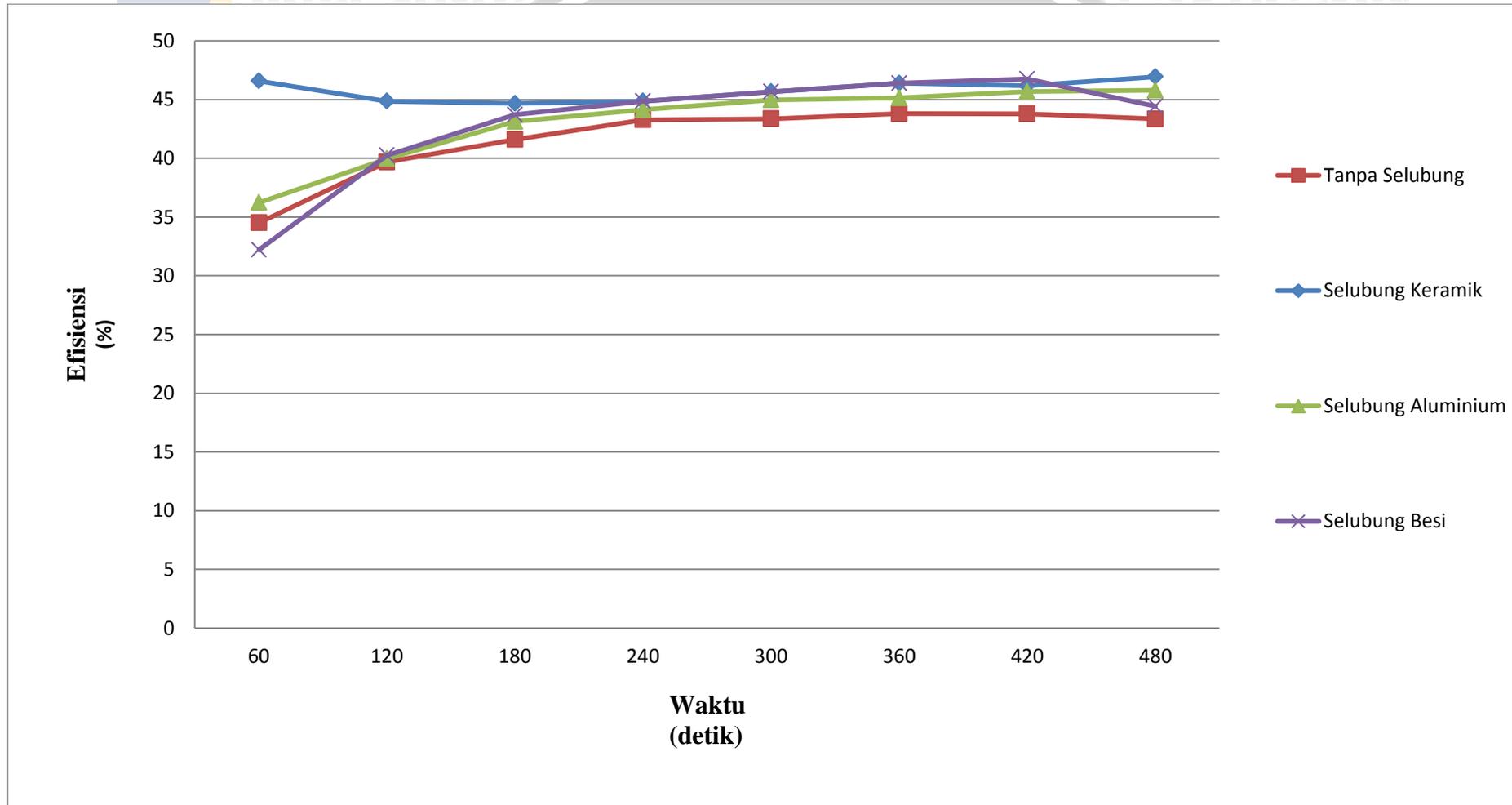
Tabel 4.10 Data Distribusi Energi Hilang Masing-Masing Selubung

Selubung	$E_{\text{pembakaran}}$ (%)	$E_{\text{serap}}$ (%)	$E_{\text{rad. selubung}}$ (%)	$E_{\text{hilang}}$ (%)
<b>Keramik</b>	100	46,36	0,44	53,19
<b>Aluminium</b>	100	45,57	1,19	53,23
<b>Besi</b>	100	43,76	1,1	55,13
<b>Tanpa Selubung</b>	100	43,68	0	56,32

## 4.2 Pembahasan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil perhitungan seperti yang disajikan dalam bentuk grafik 4.2.1, grafik 4.2.2, grafik 4.2.3, grafik 4.2.4 dan grafik 4.2.5 dibawah ini.

### 4.2.1 Grafik Hubungan Antara Waktu Terhadap Efisiensi



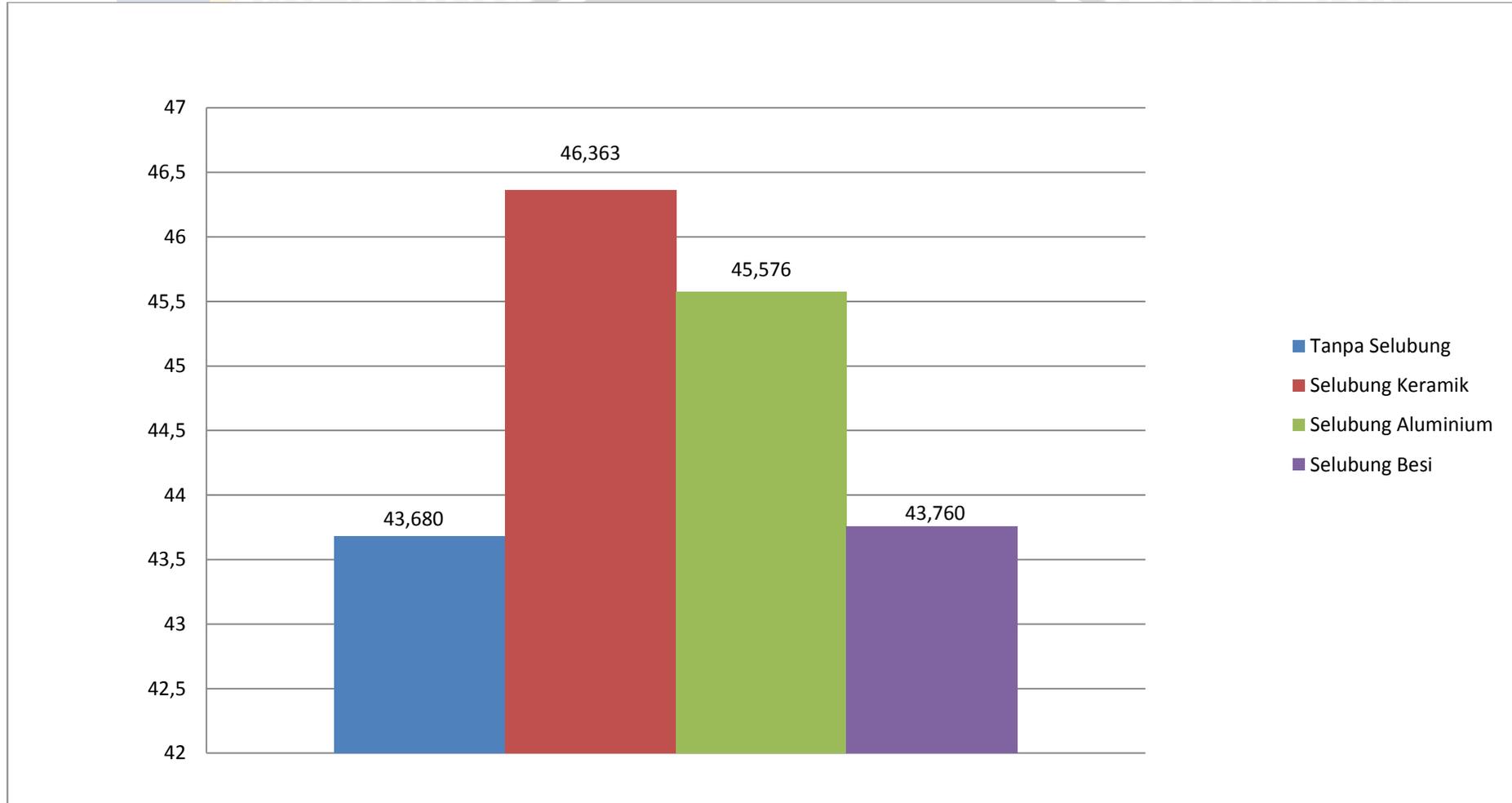
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara waktu terhadap efisiensi.

Pada gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara waktu terhadap efisiensi. Nilai pada grafik tersebut didapatkan dari perhitungan antara waktu 0 detik hingga 480 detik untuk setiap variasi. Pada grafik tersebut dapat dilihat empat variasi data yang didapatkan dari variasi material selubung. Dari grafik dapat dilihat semakin bertambahnya waktu untuk selubung besi efisiensi cenderung mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan karena pada saat awal pembakaran panas hasil dari pembakaran selubung besi lebih cenderung menyerap panas hasil pembakaran, sehingga nilai efisiensi pada saat awal pembakaran kecil. Hal tersebut juga terlihat pada data selubung aluminium. Nilai tersebut didapatkan dari rumus perhitungan :

$$\eta = \frac{\text{massa air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T}{\text{massa bahan bakar} \times LHV} \times 100\%$$

Untuk data tanpa selubung pada saat awal pembakaran memiliki nilai efisiensi lebih tinggi daripada selubung besi dan selubung aluminium namun lebih kecil dari nilai efisiensi awal pembakaran selubung keramik. Hal ini disebabkan panas hasil dari pembakaran terlepas ke lingkungan. Berbeda untuk selubung keramik. Selubung keramik memiliki nilai efisiensi cenderung konstan, hal ini disebabkan panas hasil dari pembakaran cenderung tertahan diruang bakar.

### 4.2.2 Grafik Efisiensi Dengan Variasi Selubung

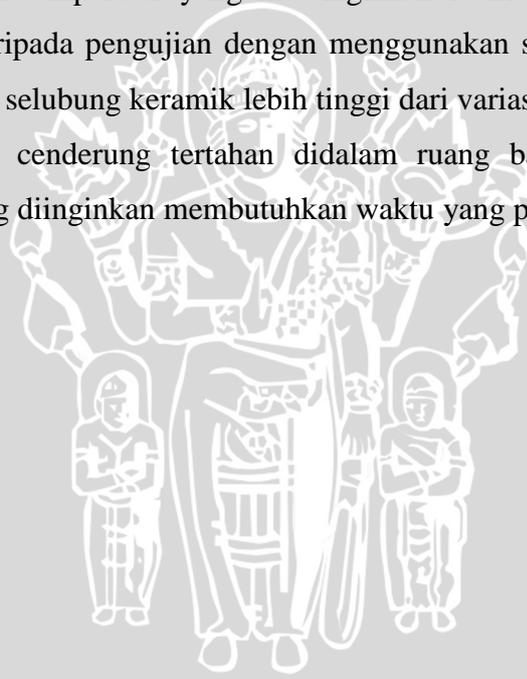


Gambar 4.2 Grafik efisiensi dengan variasi selubung.

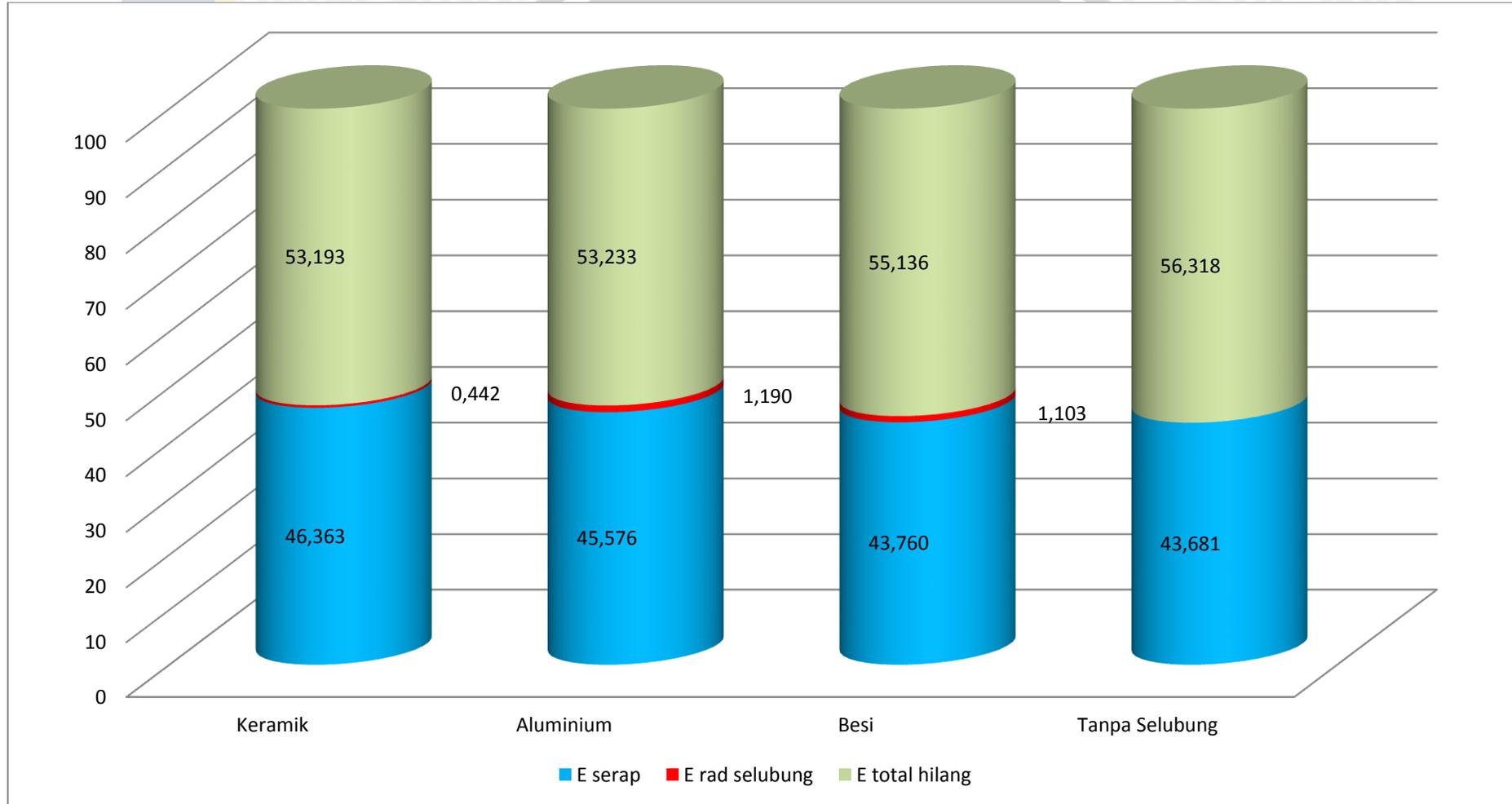
Pada gambar 4.2 menunjukkan grafik efisiensi dengan variasi selubung. Nilai pada grafik tersebut didapatkan dari lamanya waktu yang dibutuhkan untuk setiap variasi dalam mencapai temperatur 95 °C sesuai dengan data yang didapatkan. Pada grafik tersebut dapat dilihat empat variasi data yang didapatkan dari variasi material selubung. Efisiensi ini didapatkan dari rumus perhitungan:

$$\eta = \frac{\text{massa air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T}{\text{massa bahan bakar} \times LHV} \times 100\%$$

Pada grafik batang tersebut dapat dilihat nilai efisiensi dari pengujian selubung keramik lebih tinggi dari pengujian lain dan untuk nilai efisiensi tanpa menggunakan selubung lebih rendah dari pengujian yang lain. Hal ini disebabkan karena pembakaran tanpa menggunakan selubung panas hasil pembakaran cenderung terlepas ke lingkungan sehingga untuk mencapai temperatur yang kita inginkan lebih membutuhkan waktu yang cenderung lama daripada pengujian dengan menggunakan selubung. Untuk nilai efisiensi dari penggunaan selubung keramik lebih tinggi dari variasi yang lain disebabkan panas hasil pembakaran cenderung tertahan didalam ruang bakar sehingga untuk mencapai temperatur yang diinginkan membutuhkan waktu yang paling singkat diantara variasi yang lain.



### 4.2.3 Grafik Prosentase Distribusi Energi Panas Dengan Variasi Selubung



Gambar 4.3 Grafik prosentase disitribusi energi panas dengan variasi selubung

Pada gambar 4.3 menunjukkan grafik prosentase distribusi energi panas dengan variasi selubung. Pada grafik dapat diketahui prosentase panas yang hilang dari hasil pembakaran kompor gas. Besarnya prosentase panas yang hilang dapat terlihat jelas pada prosentase dari energi total hilang. Dalam grafik prosentase energi total panas yang hilang dari pembakaran tanpa menggunakan selubung memiliki nilai yang paling besar karena panas hasil dari pembakaran tidak tertahan dalam ruang bakar. Hal tersebut berbanding terbalik dengan hasil pembakaran menggunakan selubung. Panas hasil pembakaran dengan menggunakan selubung cenderung tertahan didalam ruang bakar. Dalam grafik terlihat selubung aluminium memiliki nilai radiasi yang paling tinggi. Hal tersebut dikarenakan selubung aluminium memiliki nilai emisivitas paling tinggi diantara material selubung yang lain. Hal ini sesuai dengan rumus :

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A ( T^4_{selubung} - T^4_{lingkungan} )$$



#### 4.2.4 Grafik Distribusi Energi Panas Kompor Gas Dengan Variasi Selubung



Gambar 4.4 Grafik Disitribusi Energi Panas Kompor Gas Dengan Variasi Selubung.

Pada gambar 4.4 menunjukkan grafik distribusi energi panas kompor gas dengan variasi selubung. Pada grafik tersebut dapat dilihat empat variasi data yang didapatkan dari variasi material selubung.  $E_{serap}$  untuk semua variasi memiliki nilai yang sama besar karena pada dasarnya energi yang diserap untuk memanaskan air dengan volume 1 liter sama besarnya. Namun untuk memperoleh energi yang diserap masing-masing selubung memiliki nilai yang berbeda. Faktor yang mempengaruhi dalam grafik tersebut antara lain panas yang hilang karena radiasi dan panas yang hilang karena sebab lain. Nilai-nilai tersebut didapatkan dari rumus kesetimbangan energi dibawah ini:

$$E_{pembakaran} = E_{serap} + E_{hilang}$$

dengan

$$E_{pembakaran} = \dot{m} \times t \times LHV_{LPG}$$

$$E_{serap} = massa_{air} \times C_{p_{air}} \times \Delta T$$

$$E_{hilang} = E_{pembakaran} - (E_{rad. \text{ selubung}} + E_{serap})$$

Selain itu lamanya waktu untuk menyediakan energi yang terserap oleh air juga sangat berpengaruh. Dari grafik terlihat bahwa pembakaran tanpa selubung memerlukan energi paling besar, setelah itu besi, aluminium dan keramik yang membutuhkan energi paling kecil karena lama waktu untuk penyediaan energi yang terserap air lebih cepat daripada variasi yang lain. Selain itu pada pembakaran dengan menggunakan selubung keramik panas hasil pembakaran cenderung tertahan lebih banyak didalam ruang bakar, sehingga banyaknya panas yang terserap oleh air tidak membutuhkan waktu lama. Jadi energi yang dibutuhkan untuk pembakaran dengan menggunakan selubung keramik semakin berkurang.

Dari grafik yang telah didapatkan dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa selubung dengan material keramik lebih efektif digunakan sebagai bahan isolator panas pada pembakaran kompor gas. Pembakaran dengan menggunakan selubung keramik memperoleh efisiensi yaitu sebesar 46,36 %. Selain itu pemakaian selubung keramik hanya memerlukan waktu yang singkat diantara variasi yang lain yaitu sebesar 8 menit 41 detik, atau 32 detik lebih cepat daripada tanpa menggunakan selubung, 9 detik lebih cepat daripada menggunakan selubung aluminium dan 31 detik lebih cepat daripada menggunakan selubung besi. Dalam penelitian ini pemakaian dengan selubung keramik lebih efektif dan dapat menghemat penggunaan bahan bakar gas lebih banyak daripada variasi yang lain.