

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

##### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data ini merupakan data hasil pengujian berbagai variasi yang meliputi:

1. Temperatur air dalam panci
2. Temperatur ruang bakar
3. Temperatur selubung

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Burner* Biasa dengan Selubung

Waktu (Menit)	T <sub>air</sub> (°C)	T <sub>ruang bakar</sub> (°C)	T <sub>selubung</sub> (°C)
1	33,5	586	45
2	42	596	50,2
3	51	700	56
4	59,4	705	63,6
5	68,6	705	74
6	74,3	706	78
7	80,3	708	87
8	85,9	709	95
9	90,6	705	100,3
	92	709	108,5

Untuk mendidih pada suhu 92 membutuhkan waktu 9'25"

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian *Perforated Burner* Material Aluminium

Waktu (Menit)	T <sub>air</sub> (°C)	T <sub>ruang bakar</sub> (°C)	T <sub>selubung</sub> (°C)
1	34,7	671	33,2
2	43,8	699	38,2
3	53	712	56,6
4	62,5	713	63
5	71	713	70,7
6	79,6	712	75,5
7	88,1	717	84,9
	92	715	87,6

Untuk mendidih pada suhu 92 membutuhkan waktu 7'57"

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian *Perforated Burner* Material Kuningan

Waktu (Menit)	T <sub>air</sub> (°C)	Truang bakar (°C)	T <sub>selubung</sub> (°C)
1	34,4	650	30,6
2	43,2	687	42,3
3	52	703	49,5
4	60,9	705	64
5	69,4	706	73,6
6	76,6	702	79,5
7	84,1	701	82,6
8	90,5	703	84
	92	702	91,6

Untuk mendidih pada suhu 92 membutuhkan waktu 8'31"

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian *Perforated Burner* Material Besi

Waktu (Menit)	T <sub>air</sub> (°C)	Truang bakar (°C)	T <sub>selubung</sub> (°C)
1	34,2	647	34,5
2	42,7	678	42
3	51,5	679	52
4	60,1	680	56
5	69,4	683	61
6	77,4	672	67
7	83,3	670	74
8	87	668	79
	92	675	81,4

Untuk mendidih pada suhu 92 membutuhkan waktu 8'56"

Tabel 4.5 Data Temperatur Permukaan *Perforated Burner*

Waktu (menit)	Temperatur (°C)		
	Aluminium	Kuningan	Besi
1	194	150	120
2	256	194	163
3	287	222	198
4	290	236	211
5	295	249	228
6	303	254	242
7	307	263	252
8	310	269	257

#### 4.1.2 Pengolahan Data

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai panas yang diserap oleh air, panas hasil pembakaran, efisiensi dan panas yang hilang. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan.

Data yang diperoleh pada saat penelitian antara lain:

- Massa air : 1 kg
- Massa jenis air : 1 kg/m<sup>3</sup>
- Cp air : 4,2 kJ/kg K
- LHV bahan bakar (*propane*) : 46133,884 kJ/kg
- LHV bahan bakar (*butane*) : 46464,176 kJ/kg
- Massa jenis LPG : 0,0021 kg/l
- Debit LPG : 0.0125 l/s
- Komposisi LPG : *propane* 50% + *butane* 50%
- Waktu pengujian : 0 – 420 detik
- Temperatur awal air : 26°C = 299 K

#### Contoh Perhitungan

Perhitungan efisiensi per kenaikan waktu sampai mendidih

- Energi yang diserap oleh air

$$\text{Diketahui } T_2 = 33,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 306,5 \text{ K}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 306,5 - 299 = 7,5 \text{ K}$$

$$E_{\text{serap}} = m_{\text{air}} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T$$

$$E_{\text{serap}} = 1 \text{ kg} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times 7,5 \text{ K}$$

$$E_{\text{serap}} = 38,899 \text{ kJ}$$

- Massa Alir LPG

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

$$\dot{m} = 0,0021 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \times 0.0125 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

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

- LHV LPG

$$\text{LHV}_{\text{LPG}} = (\text{LHV}_{\text{propane}} \times 50\%) + (\text{LHV}_{\text{butane}} \times 50\%)$$

$$\text{LHV}_{\text{LPG}} = (46133,884 \times 50\%) + (46464,176 \times 50\%)$$

$$\text{LHV}_{\text{LPG}} = 46299,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- Energi panas hasil pembakaran

$$E_{\text{pembakaran}} = \dot{m} \times t \times \text{LHV}_{\text{LPG}}$$

$$E_{\text{pembakaran}} = 2,625 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 60\text{s} \times 46299,03 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$E_{\text{pembakaran}} = 72,921 \text{ kJ}$$

- Efisiensi

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

$$\eta = \frac{38,899 \text{ kJ}}{72,921 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$\eta = 43,2 \%$$

Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan *Burner* Biasa dengan Selubung

Waktu (sekon)	$\Delta T$ (K)	$E_{\text{serap}}$ (kJ)	$E_{\text{pembakaran}}$ (kJ)	Efisiensi (%)
60	7,5	31,5	72,9	43,2
120	16	67,2	145,8	46,1
180	25	105	218,8	47,9
240	33,4	140,3	291,7	48,1
300	42,6	178,9	364,6	49,1
360	48,3	202,9	437,5	46,4
420	54,3	228,1	510,4	44,7
480	59,9	251,6	583,4	43,1
540	64,6	271,3	656,3	41,3
555	66	277,2	674,5	41,1

Tabel 4.7 Data hasil Perhitungan *Perforated Burner* Material Aluminium

Waktu (sekon)	$\Delta T$ (K)	Eserap (kJ)	E_pembakaran (kJ)	Efisiensi (%)
60	8,7	36,5	72,9	50,1
120	17,8	74,7	145,8	51,3
180	27	113,4	218,8	51,8
240	36,5	153,3	291,7	52,5
300	45	189	364,6	51,8
360	53,6	225,1	437,5	51,4
420	62,1	260,8	510,4	51,1
477	66	277,2	579,7	47,8

Tabel 4.8 Data hasil Perhitungan *Perforated Burner* Material Kuningan

Waktu (sekon)	$\Delta T$ (K)	Eserap (kJ)	E_pembakaran (kJ)	Efisiensi (%)
60	8,4	35,3	72,9	48,4
120	17,2	72,2	145,8	49,5
180	26	109,2	218,8	49,9
240	34,9	146,6	291,7	50,2
300	43,4	182,3	364,6	49,9
360	50,6	212,5	437,5	48,6
420	58,1	244	510,4	47,8
480	64,5	270,9	583,4	46,4
511	66	277,2	621	44,6

Tabel 4.9 Data hasil Perhitungan *Perforated Burner* Material Besi

Waktu (sekon)	$\Delta T$ (K)	Eserap (kJ)	E_pembakaran (kJ)	Efisiensi (%)
60	8,2	34,4	72,9	47,2
120	16,7	70,1	145,8	48,1
180	25,5	107,1	218,8	48,9
240	34,1	143,2	291,7	49,1
300	43,4	182,3	364,6	49,9
360	51,4	215,8	437,5	49,3
420	57,3	240,6	510,4	47,1
480	61	256,2	583,4	43,9
536	66	277,2	651,4	42,5

### Perhitungan Energi Panas yang Hilang

Berikut merupakan keseimbangan energi dari proses pembakaran

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

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

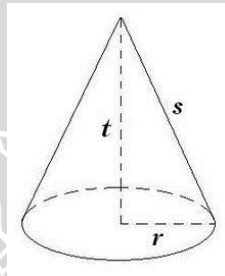
dengan,

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

- Luas selubung

$$A_{\text{selubung}} = \text{Luas selimut selubung}$$

$$A_{\text{selubung}} = L_{\text{selimut2}} - L_{\text{selimut1}}$$



$$S_1 = \sqrt{r^2 + t^2} = \sqrt{(7.25^2) + (7^2)} = \sqrt{101.563} = 10.078 \text{ cm}$$

$$S_2 = \sqrt{r^2 + t^2} = \sqrt{(10.8^2) + (10^2)} = \sqrt{216.64} = 14.727 \text{ cm}$$

$$L_{\text{selimut1}} = \pi r s = 3.14 \times 7.25 \times 10.078 = 229.426 \text{ cm}^2$$

$$L_{\text{selimut2}} = \pi r s = 3.14 \times 10.8 \times 14.727 = 499.422 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{selubung}} = L_{\text{selimut2}} - L_{\text{selimut1}} = 499.422 - 229.426 = 269.996 \text{ cm}^2 = 0.0269 \text{ m}^2$$

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

$$E_{\text{rad.selubung}} = 0.7 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.0269 (381.5^4 - 299^4)$$

$$= 0.1067661 \times 10^{-8} (13190007734.0625)$$

$$= 14.082 \text{ W} = 14.082 \text{ J/s}$$

Dengan lama waktu yang diperlukan 555 detik, maka:

$$E_{\text{rad.selubung}} = 14.082 \text{ J/s} \times 555 \text{ s} = 7815.51 \text{ J} = 7.815 \text{ kJ}$$

- Energi hilang

$$\begin{aligned} E_{\text{hilang}} &= E_{\text{pembakaran}} - E_{\text{serap}} - E_{\text{rad.selubung}} \\ &= 359.815 - 277.2 - 7.815 \\ &= 74.8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Data Hasil Perhitungan Energi Hilang Masing-Masing *Perforated Burner*

<i>Perforated</i>	$E_{\text{pembakaran}}$ (kJ)	$E_{\text{serap}}$ (kJ)	$E_{\text{rad.selubung}}$ (kJ)	$E_{\text{hilang}}$ (kJ)
Aluminium	579,7	277,2	4,5	297,9
Kuningan	621	277,2	5,3	338,5
Besi	651,4	277,2	4,4	369,7
Burner Biasa	674,5	277,2	7,8	398,5

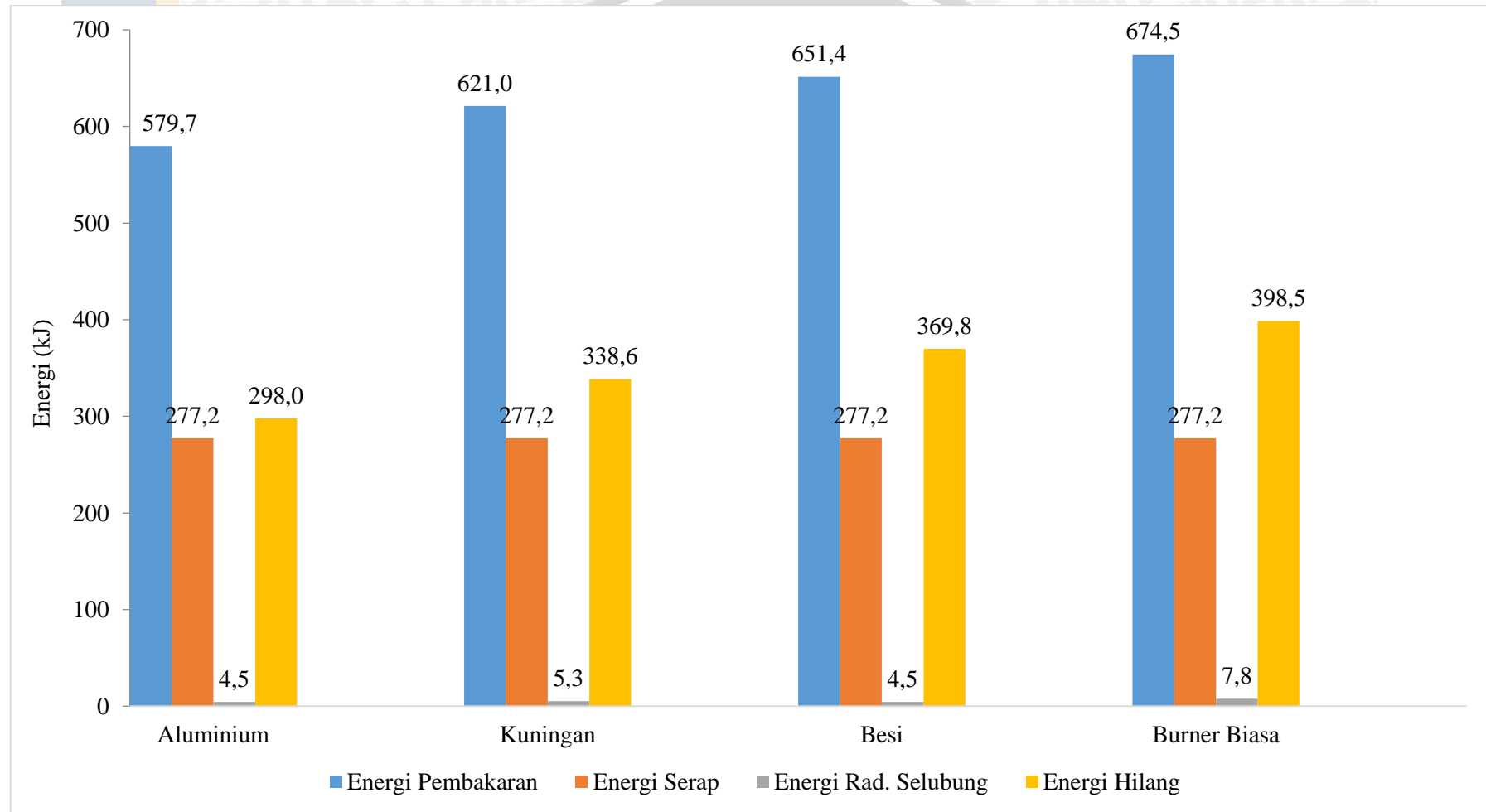
Tabel 4.11 Data Distribusi Energi Hilang Masing-Masing *Perforated Burner*

<i>Perforated</i>	$E_{\text{pembakaran}}$ (%)	$E_{\text{serap}}$ (%)	$E_{\text{rad.selubung}}$ (%)	$E_{\text{hilang}}$ (%)
Aluminium	100	89,6	1,5	51,4
Kuningan	100	83,7	1,6	54,5
Besi	100	79,8	1,3	56,8
Burner Biasa	100	77	2,2	59,1

## 4.2 Pembahasan



#### 4.2.1 Diagram Distribusi Energi Panas Kompor Gas Dengan Variasi *Perforated Burner*



Gambar 4.1 Diagram distribusi energi panas kompor gas dengan variasi *perforated burner*



### Analisa Grafik:

Gambar 4.1 merupakan diagram distribusi energi panas kompor gas dengan variasi *perforated burner*.

Pada *burner* biasa memiliki nilai energi hilang yang paling besar daripada *perforated burner*, hal ini dikarenakan api yang keluar pada *burner* biasa lewat samping sehingga membutuhkan sudut terlebih dahulu sebelum menuju panci dan keluarnya api dekat dengan dengan selubung sehingga banyak energi yang diserap atau diradiasikan ke selubung. Temperatur selubung dari *burner* biasa juga mencapai  $108,5^{\circ}\text{C}$  akibatnya *burner* biasa memiliki energi radiasi yang paling besar daripada yang *perforated burner*. Sedangkan pada *perforated burner* memiliki nilai energi hilang yang lebih kecil daripada *burner* biasa karena api yang keluar langsung menuju permukaan panci tanpa membentuk sudut terlebih dahulu, sehingga tidak banyak energi yang diradiasikan ke selubung. Pada *perforated burner* yang memiliki energi hilang dan energi radiasi selubung paling kecil adalah material aluminium, karena aluminium memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi daripada kuningan dan besi yaitu,  $237 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  sehingga temperatur permukaan dari *perforated burner* juga semakin tinggi yang menyebabkan temperatur dari campuran antara bahan bakar gas dengan udara juga semakin tinggi. Sehingga energi dari bahan bakar lebih banyak terserap oleh air daripada yang teradiasikan ke selubung, itu terlihat jelas pada temperatur selubung pada *perforated burner* aluminium hanya  $87,6^{\circ}\text{C}$ . Hal tersebut sesuai dengan rumus radiasi panas dan rumus energi hilang, seperti pada persamaan (2-4) dan persamaan (2-13).



Gambar 4.2 Perbedaan nyala api antara (a) *burner* biasa dengan (b) *perforated burner*  
Sumber: Arsip Pribadi

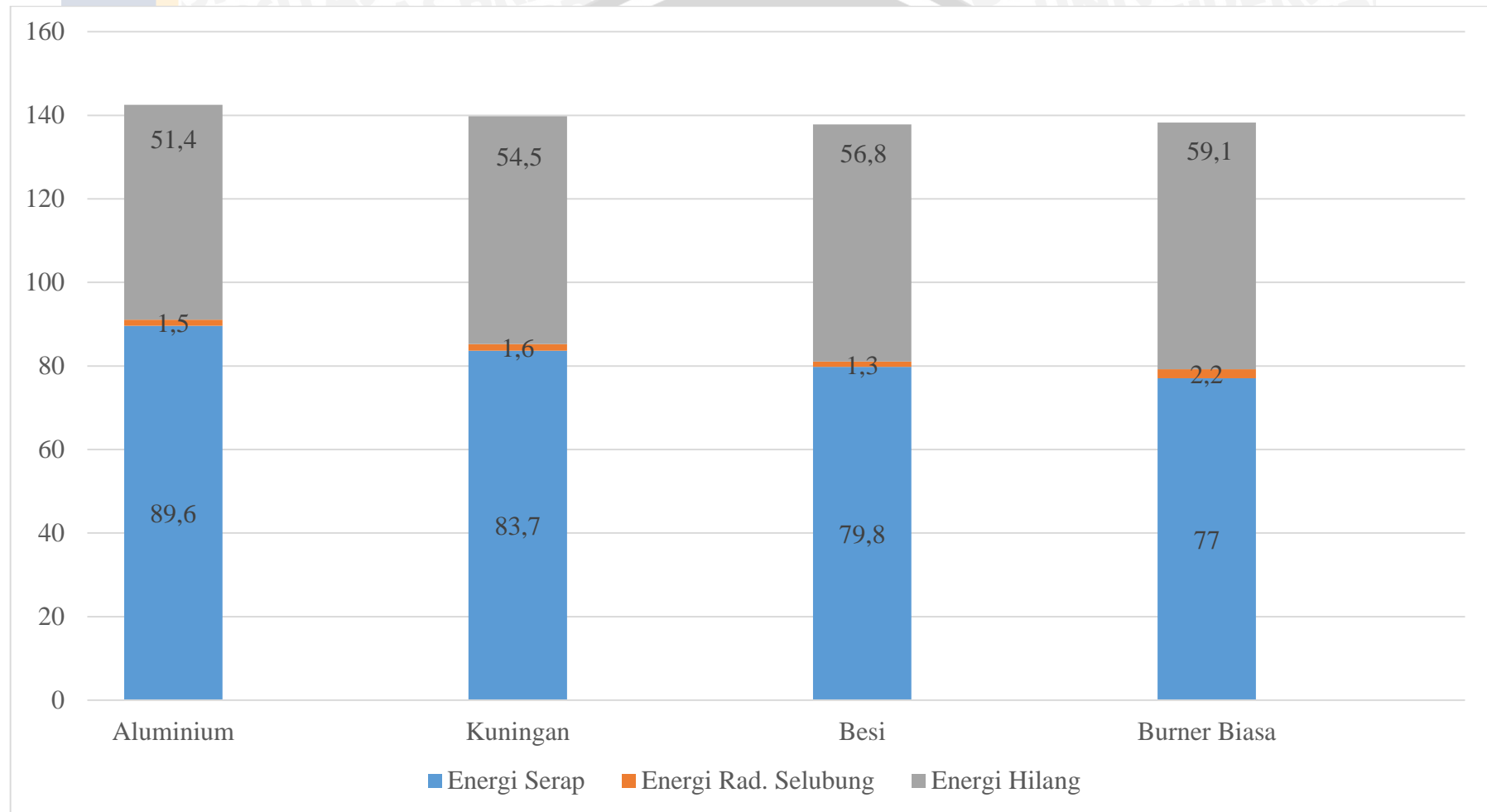
Pada energi pembakaran *perforated burner* material aluminium memiliki nilai yang paling kecil yaitu  $579,7 \text{ kJ}$  karena untuk mendidihkan air sebanyak 1 liter

membutuhkan waktu paling sedikit yaitu 477 detik. Sedangkan untuk *burner* biasa memiliki nilai energi pembakaran yang paling besar yaitu 674,5 kJ karena membutuhkan waktu lebih lama dari *perforated burner* yaitu 555 detik. Hal tersebut sesuai dengan rumus energi pembakaan yaitu pada persamaan (2-12).

Apabila dilihat dari rumus, dengan massa alir bahan bakar yang konstan dan nilai LHV yang sama, semakin lama waktu pemanasan yang dibutuhkan maka semakin besar pula energi pembakaran yang dihasilkan.



#### 4.2.2 Diagram Prosentase Distribusi Energi Panas Dengan Variasi *Perforated Burner*



Gambar 4.3 Diagram prosentase distribusi energi panas dengan variasi *perforated burner*

#### Analisa Grafik:

Gambar 4.3 merupakan diagram prosesntase distribusi energi panas dengan variasi *perforated burner*. Pada diagram dapat diketahui prosesntase energi hilang, energi radiasi selubung dan energi serap masing-masing variasi *perforated burner* dan *burner* biasa.

Pada diagram terlihat prosentase energi hilang dan energi radiasi paling tinggi adalah variasi *burner* biasa yaitu 59,1% dan 2,2% karena pada *burner* biasa energi serap energi dari bahan bakar yang diserap oleh air untuk meningkatkan suhunya lebih sedikit daripada *perforated burner* karena banyak yang teradiasikan ke selubung. Seperti dijelaskan pada rumus energi hilang yaitu pada persamaan (2-13).

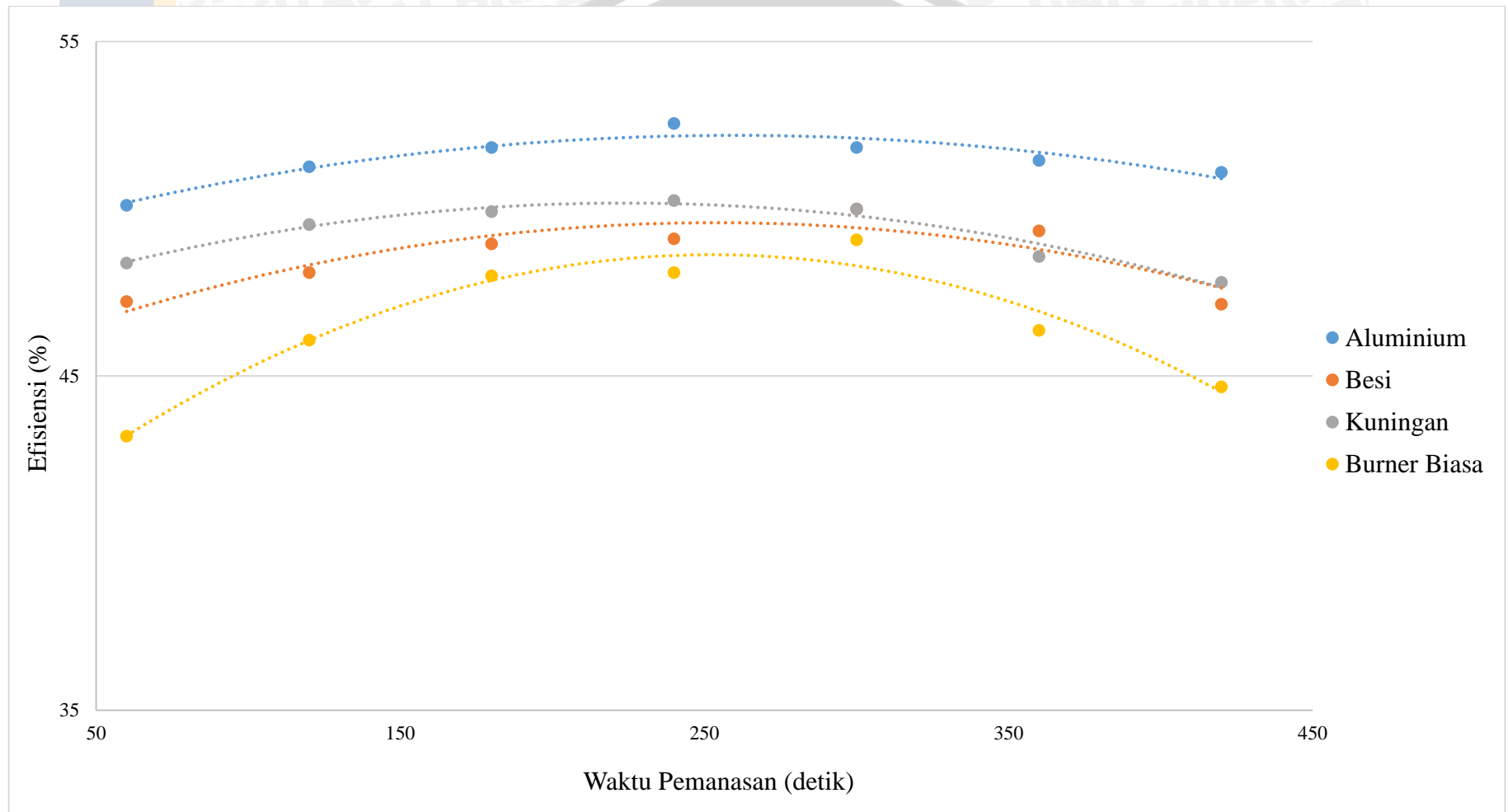
Berdasarkan persamaan (2-13), dengan nilai energi serap yang sama, semakin lama waktu pemanasan yang dibutuhkan maka semakin besar pula energi pembakaran yang dihasilkan. Sesuai dengan persamaan (2-12).

Sedangkan semakin tinggi suhu selubung maka semakin tinggi pula energi radiasi selubung yang dihasilkan. Seperti yang dijelaskan pada persamaan (2-4).

Sehingga apabila dibandingkan antara keempat variasi maka energi hilang yang paling besar yaitu pada *burner* biasa karena memiliki energi pembakaran yang besar dan energi radiasi selubung yang besar pula.

Sedangkan prosentase energi serap yang paling besar adalah *perforated burner* aluminium yaitu 89,6% karena energi dari bahan bakar lebih banyak diserap oleh air untuk meningkatkan suhunya sampai mendidih daripada yang diserap oleh selubung.

#### 4.2.3 Grafik Hubungan antara Efisiensi dengan Waktu Pemanasan



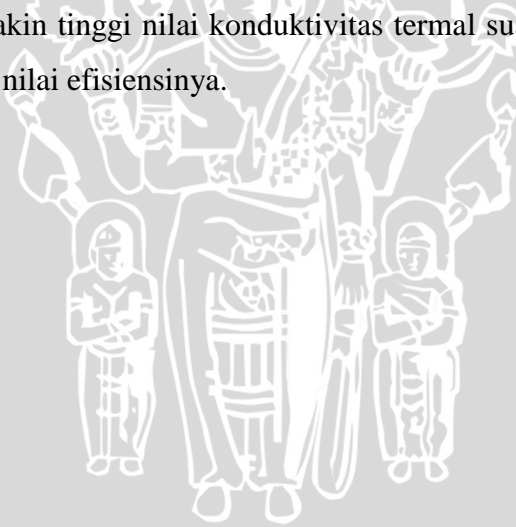
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara efisiensi dengan waktu pemanasan

Analisa Grafik:

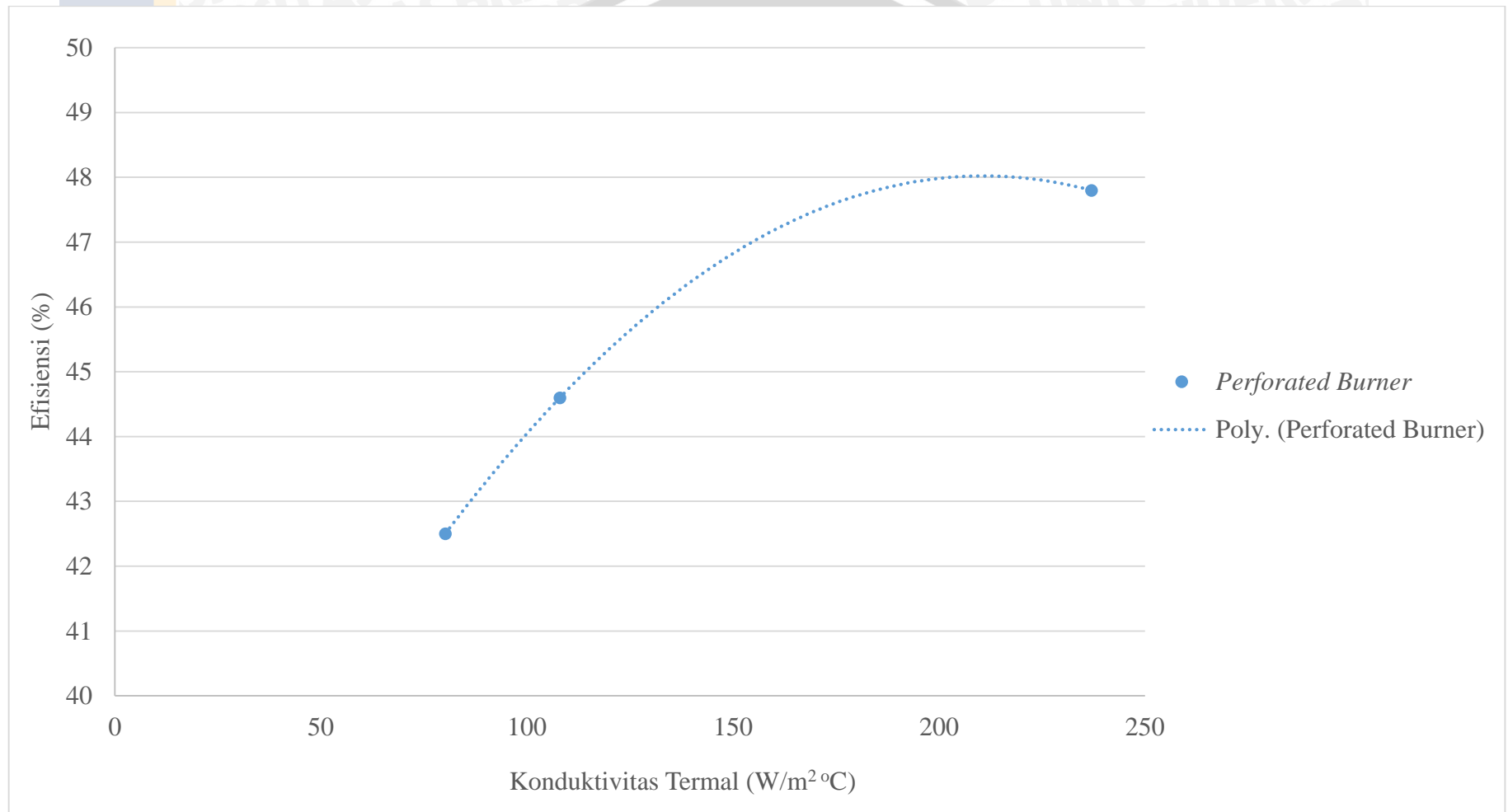
Gambar 4.4 merupakan grafik hubungan antara waktu pemanasan terhadap efisiensi sistem pemanasan menggunakan kompor gas.

Dari grafik terlihat pada masing-masing variasi mengalami peningkatan efisiensi di beberapa titik awal waktu pemanasan, namun setelah itu mengalami penurunan efisiensi sampai akhirnya mendidih. Hal tersebut dikarenakan semakin lama waktu pemanasan maka nilai  $\Delta T$  semakin besar sehingga membuat efisiensinya semakin meningkat. Namun, setelah mencapai rentang suhu  $65^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$  sampai mendidih, efisiensinya mengalami penurunan karena suhu molekul air sudah merata secara keseluruhan jadi untuk membuat molekulnya bergerak membutuhkan energi yang lebih besar sehingga suhunya terus mengalami peningkatan sampai mendidih. Hal tersebut terlihat dari peningkatan suhunya yang tidak terlalu besar daripada sebelumnya yang menyebabkan nilai efisiensinya semakin menurun, dan sesuai dengan persamaan (2-14).

Nilai efisiensi dari yang tertinggi ke terendah yaitu *perforated burner* material aluminium, kuningan, besi dan *burner* biasa. Nilai tersebut sesuai dengan hipotesa yang menyebutkan bahwa semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu *perforated burner* maka semakin tinggi pula nilai efisiensinya.



#### 4.2.4 Grafik Hubungan antara Efisiensi dengan Konduktivitas Termal

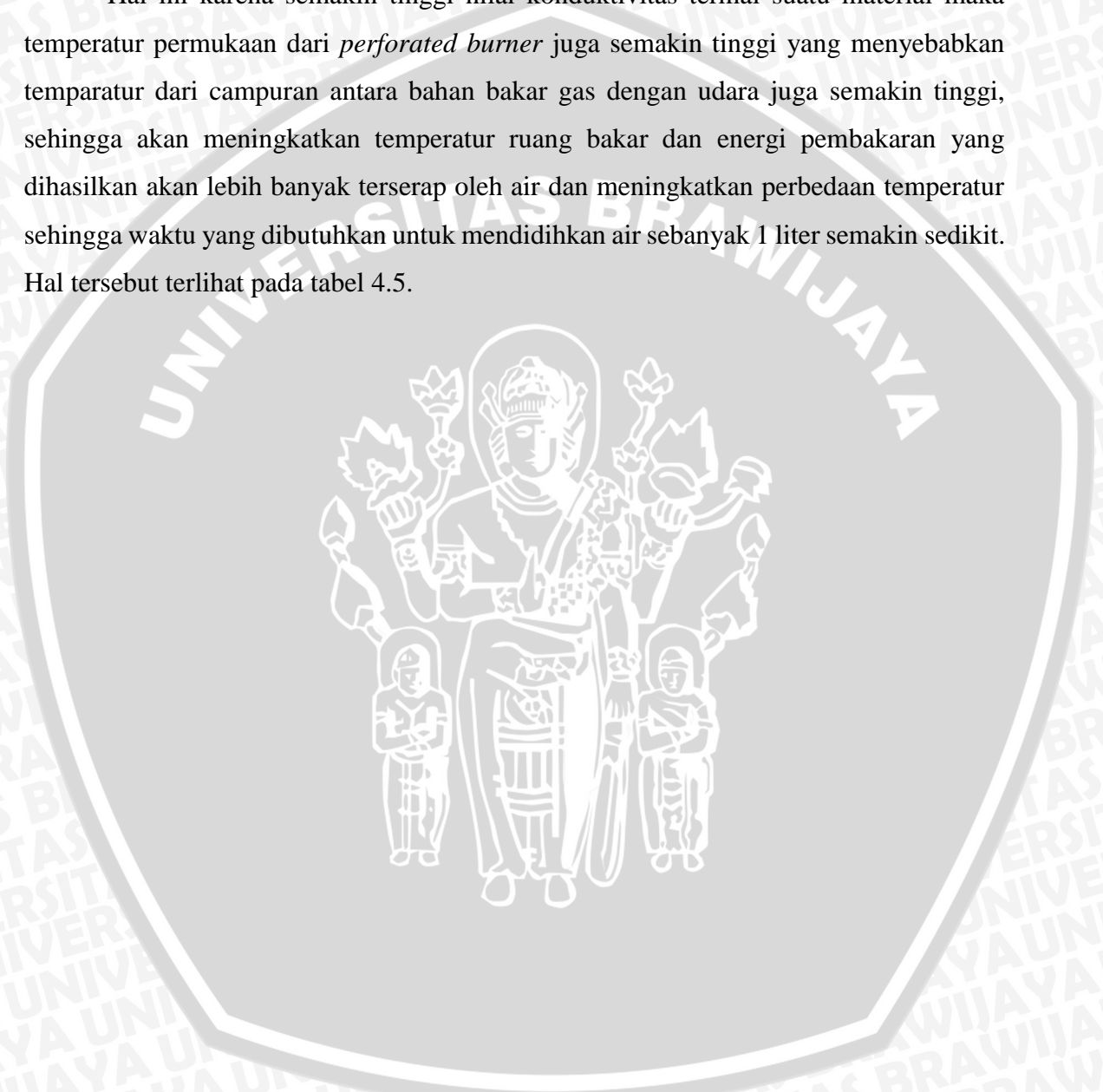


Gambar 4.5 Grafik hubungan antara efisiensi dengan konduktivitas termal

Analisa Grafik:

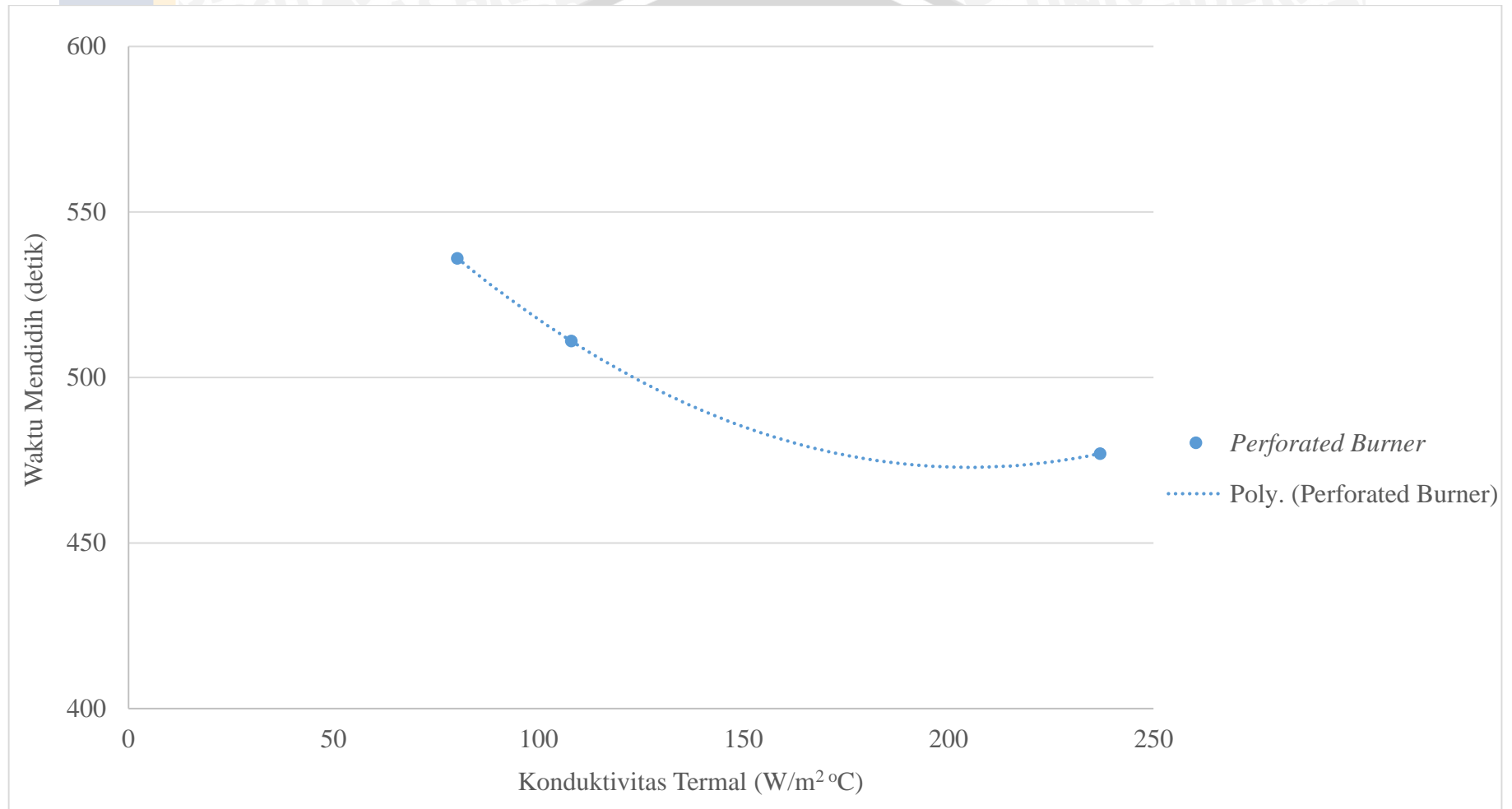
Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan antara efisiensi dengan konduktivitas termal. Pada grafik terlihat bahwa semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu bahan maka efisiensinya juga semakin tinggi. Adapun rumus dari efisiensi seperti pada persamaan (2-14).

Hal ini karena semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu material maka temperatur permukaan dari *perforated burner* juga semakin tinggi yang menyebabkan temperatur dari campuran antara bahan bakar gas dengan udara juga semakin tinggi, sehingga akan meningkatkan temperatur ruang bakar dan energi pembakaran yang dihasilkan akan lebih banyak terserap oleh air dan meningkatkan perbedaan temperatur sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air sebanyak 1 liter semakin sedikit. Hal tersebut terlihat pada tabel 4.5.





#### 4.2.5 Grafik Hubungan antara Waktu Pendidihan dengan Konduktivitas Termal



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara waktu pendidihan dengan konduktivitas termal

#### Analisa Grafik:

Gambar 4.6 merupakan grafik hubungan antara waktu pendidihan dengan konduktivitas termal. Jadi pada diagram ini dijelaskan waktu yang dibutuhkan masing-masing *perforated burner* untuk mendidihkan air sebanyak 1 liter pada suhu 92°C.

Pada proses pemanasan air, efisiensi bisa juga disebut dengan semakin cepat waktu pendidihannya maka semakin tinggi efisiensinya. Pada gambar 4.6 terlihat untuk *perforated burner* yang waktu pendidihannya paling cepat yaitu yang terbuat dari material aluminium yaitu 477 detik. Hal tersebut sesuai dengan yang disebutkan pada gambar 4.5 yaitu semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu material maka temperatur permukaan dari *perforated burner* juga semakin tinggi yang menyebabkan temperatur dari campuran antara bahan bakar gas dengan udara juga semakin tinggi, sehingga akan meningkatkan temperatur ruang bakar dan energi pembakaran yang dihasilkan akan lebih banyak terserap oleh air dan meningkatkan perbedaan temperatur sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air sebanyak 1 liter semakin sedikit.

