

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Data Pengujian *Perforated Burner* tanpa toroid

No	Waktu (s)	Temperatur (°C)		
		Air	Ruang Bakar	Selubung
1	60	30,8	407,67	35,2
2	120	37,1	426,00	39,0
3	180	43,1	432,33	44,3
4	240	49,5	438,67	48,4
5	300	56,0	442,00	52,7
6	360	62,3	450,00	57,1
7	420	68,8	453,67	61,0
8	480	75,3	456,00	64,5
9	540	81,2	458,00	68,3
10	600	86,1	458,00	74,7
11	660	91,3	459,67	78,8
12	669	92,0	461,00	80,1

Tabel 4.2 Data Pengujian *Perforated Burner* dengan Toroid 0,5 mm

No	Waktu (s)	Temperatur (°C)		
		Air	Ruang Bakar	Selubung
1	60	30,5	379,33	34,1
2	120	36,8	426,67	41,3
3	180	43,1	446,00	47,0
4	240	49,7	458,67	52,7
5	300	56,3	467,00	57,6
6	360	63,1	468,33	62,4
7	420	70,2	472,33	66,3
8	480	76,5	479,67	70,0
9	540	82,3	494,00	74,8
10	600	87,4	495,00	79,4
11	659	92,0	501,67	83,1

Tabel 4.3 Data Pengujian *Perforated Burner* dengan *Toroid* 1 mm

No	Waktu (s)	Temperatur (°C)		
		Air	Ruang Bakar	Selubung
1	60	30,3	351,33	33,3
2	120	36,6	407,00	41,2
3	180	42,9	431,67	48,0
4	240	49,4	445,67	54,7
5	300	56,3	475,00	60,0
6	360	63,3	486,00	66,4
7	420	70,5	495,00	70,9
8	480	77,3	506,00	74,0
9	540	83,6	513,00	80,2
10	600	89,5	519,33	87,3
11	637	92,0	526,33	90,7

4.1.2 Pengolahan Data

Untuk mencari nilai panas hasil pembakaran, panas yang diserap oleh air, panas yang hilang dan juga efisiensi maka dilakukan pengolahan data. Hasil pengujian di bawah ini adalah contoh perhitungan data hasil penelitian dari *perforated burner* dengan *toroid* 1 mm pada waktu 180 detik.

Diketahui :

- T_{0H_2O} = 25 °C
- $T_{0Selubung}$ = 25 °C
- m_{H_2O} = 1,5 kg
- C_{pH_2O} = 4,19 kJ/kg K
- Komposisi LPG = *Propane* 50% + *Butane* 50%
- $LHV_{bahan\ bakar\ (propane)}$ = 46133,884 kJ/kg
- $LHV_{bahan\ bakar\ (butane)}$ = 46464,176 kJ/kg
- Massa Jenis LPG (ρ LPG) = 0,0021 kg/l
- Debit LPG (Q LPG) = 0,0125 l/s

Perhitungan Efisiensi :

1. Energi yang diserap oleh air pada *perforated Burner* dengan *toroid* tebal 1 mm pada detik ke 180.

$$T_2 = 42,9 \text{ °C} = 315,9 \text{ K}$$

$$T_0 = 25 \text{ °C} = 298 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_2 - T_0 \\ &= 315,9 - 298 \\ &= 17,9 \text{ K}\end{aligned}$$

Untuk menghitung $Q_{\text{serap air}}$ maka digunakan Persamaan 2-8.

$$\begin{aligned}Q_{\text{serap air}} &= m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{p\text{H}_2\text{O}} \times (\Delta T) \\ &= 1,5 \text{ kg} \times 4,19 \text{ kJ/kg K} \times 17,9 \text{ K} \\ &= 112,50 \text{ kJ}\end{aligned}$$

2. Energi Bahan Bakar

➤ Massa Alir LPG (\dot{m})

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \rho_{\text{LPG}} \times Q_{\text{LPG}} \\ &= 0,0021 \times 0,0125 \\ &= 2,625 \times 10^{-5} \text{ kg/s}\end{aligned}$$

➤ $LHV_{\text{bahan bakar}}$

$$\begin{aligned}LHV_{\text{LPG}} &= (LHV_{\text{propane}} \times 50\%) + (LHV_{\text{butane}} \times 50\%) \\ &= (46133,884 \times 50\%) + (46464,17 \times 50\%) \\ &= 46299,03 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Untuk menghitung $Q_{\text{pembakaran}}$ maka digunakan Persamaan 2-7.

$$\begin{aligned}Q_{\text{pembakaran}} &= \dot{m} \times t \times LHV_{\text{LPG}} \\ &= 2,625 \times 10^{-5} \text{ kg/s} \times 180 \text{ s} \times 46299,03 \text{ kJ/kg} \\ &= 218,76 \text{ kJ}\end{aligned}$$

3. Efisiensi Sistem Pemanasan

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{Q_{\text{serap air}}}{Q_{\text{pembakaran}}} \times 100 \% \\ &= \frac{112,50 \text{ kJ}}{218,76 \text{ kJ}} \times 100 \% \\ &= 51,43 \%\end{aligned}$$

Perhitungan Energi Panas yang Hilang

Diketahui dari kesetimbangan energi dapat menggunakan pada Persamaan 2—5 dan 2-6.

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

$$Q_{\text{pembakaran}} = Q_{\text{serap air}} + Q_{\text{hilang}} + Q_{\text{rad selubung}}$$

Untuk pemanasan dengan menggunakan selubung terdapat pada Persamaan 2-9

$$Q_{\text{rad selubung}} = \varepsilon_{\text{selubung}} \sigma A_{\text{selubung}} (T^4_{\text{selubung}} - T^4_{\text{Ling}})$$

Untuk A_{selubung} adalah luasan yang meradiasikan panas dari ruang bakar menuju lingkungan.

Contoh perhitungan untuk *Perforated Burner* dengan *Toroid* 1 mm pada waktu 180 detik.

Untuk $Q_{\text{rad selubung}}$

$$\begin{aligned} Q_{\text{rad selubung}} &= \varepsilon_{\text{selubung}} \sigma A_{\text{selubung}} (T^4_{\text{selubung}} - T^4_{\text{Lingkungan}}) \\ &= 0.62 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 0.0211 (321^4 - 298^4) \\ &= 2,026 \text{ W} \\ &= 2,026 \text{ J/s} \end{aligned}$$

Dengan lama waktu 180 s, maka:

$$\begin{aligned} Q_{\text{rad selubung}} &= 2,29 \text{ J/s} \times 180 \text{ s} \\ &= 364,68 \text{ J} \\ &= 0,365 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Dan untuk energi yang hilang

$$\begin{aligned} Q_{\text{hilang}} &= Q_{\text{pembakaran}} - Q_{\text{serap air}} - Q_{\text{selubung}} \\ &= 218,76 \text{ kJ} - 112,50 \text{ kJ} - 0,365 \text{ kJ} \\ &= 105,895 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan *Perforated Burner* tanpa *Toroid*

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Q Serap Air (kJ)	Q Bahan Bakar (kJ)	Q Hilang (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	5,8	36,45	72,92	36,47	49,99
2	120	12,1	76,05	145,84	69,79	52,14
3	180	18,1	113,76	218,76	105,00	52,00
4	240	24,5	153,98	291,68	137,70	52,79
5	300	31	194,84	364,60	169,77	53,44
6	360	37,3	234,43	437,53	203,10	53,58
7	420	43,8	275,28	510,45	235,16	53,93
8	480	50,3	316,14	583,37	267,23	54,19
9	540	56,2	353,22	656,29	303,07	53,82
10	600	61,1	384,01	729,21	345,20	52,66
11	660	66,3	416,70	802,13	385,44	51,95
12	669	67	421,10	813,07	391,97	51,79

Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan *Perforated Burner* dengan *Toroid* 0,5 mm

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Q Serap Air (kJ)	Q Bahan Bakar (kJ)	Q Hilang (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	5,5	34,57	72,92	38,35	47,40
2	120	11,8	74,16	145,84	71,68	50,85
3	180	18,1	113,76	218,76	105,00	52,00
4	240	24,7	155,24	291,68	136,44	53,22
5	300	31,3	196,72	364,60	167,88	53,95
6	360	38,1	239,46	437,53	198,07	54,73
7	420	45,2	284,08	510,45	226,36	55,65
8	480	51,5	323,68	583,37	259,69	55,48
9	540	57,3	360,13	656,29	296,16	54,87
10	600	62,4	392,18	729,21	337,03	53,78
11	659	67	421,10	800,92	379,82	52,58

Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan *Perforated Burner* dengan *Toroid 1 mm*

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Q Serap Air (kJ)	Q Bahan Bakar (kJ)	Q Hilang (kJ)	Efisiensi (%)
1	60	5,3	33,31	72,92	39,61	45,68
2	120	11,6	72,91	145,84	72,94	49,99
3	180	17,9	112,50	218,76	106,26	51,43
4	240	24,4	153,35	291,68	138,33	52,58
5	300	31,3	196,72	364,60	167,88	53,95
6	360	38,3	240,72	437,53	196,81	55,02
7	420	45,5	285,97	510,45	224,48	56,02
8	480	52,3	328,71	583,37	254,66	56,35
9	540	58,6	368,30	656,29	287,99	56,12
10	600	64,5	405,38	729,21	323,83	55,59
11	637	67	421,10	774,18	353,08	54,39

Tabel 4.7 Data Prosentase Distribusi Energi Masing-Masing Sistem Pemanasan

<i>Perforated Burner</i>	Q pembakaran (%)	Q Serap (%)	Q Radiasi (%)	Q Hilang (%)
tanpa <i>Toroid</i>	100,00	52,50	0,70	46,80
dengan <i>Toroid 0,5 mm</i>	100,00	52,58	0,76	46,67
dengan <i>Toroid 1 mm</i>	100,00	54,39	0,92	44,69

4.2 Pembahasan

4.2.1 Visualisasi api

Pada penelitian ini diamati visualisasi api dari semua variasi, yaitu *perforated burner* tanpa menggunakan *toroid*, *perforated burner* menggunakan *toroid* 0,5 mm dan *perforated burner* menggunakan *toroid* 1 mm.



Gambar 4.1 Visualisasi api *perforated burner* tanpa menggunakan *toroid*



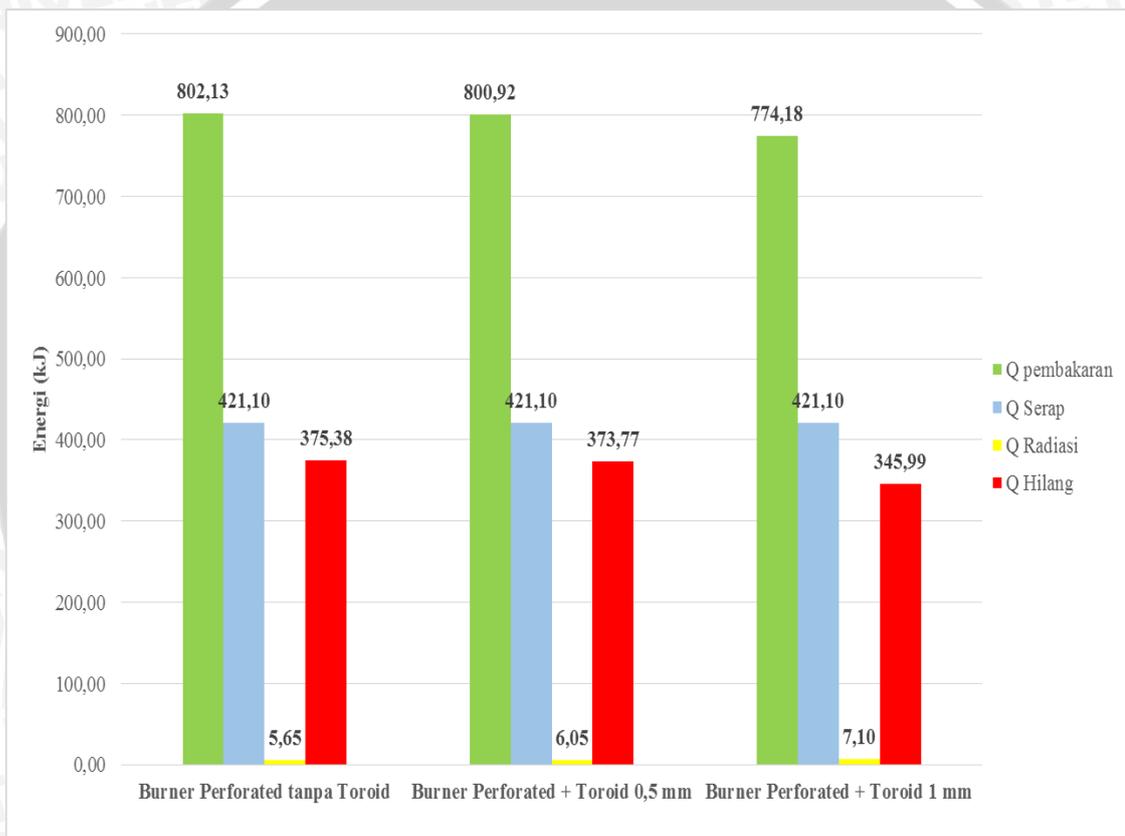
Gambar 4.2 Visualisasi api *perforated burner* menggunakan *toroid* 0,5 mm



Gambar 4.3 Visualisasi api *perforated burner* menggunakan *toroid* 1 mm

Pada Gambar 4.1 tanpa adanya toroid, panas akan langsung menuju dasar panci. Gambar 4.2 dengan adanya toroid dengan tebal 0,5 mm maka alirannya menjadi turbulen dan dapat meningkatkan temperatur ruang bakar. Sedangkan untuk Gambar 4.3 alirannya semakin turbulen dan semakin banyak panas yang disimpan ataupun diserap oleh toroid di dalam ruang bakar, sehingga panas yang dialirkan akan semakin merata pada dasar panci dan untuk memanaskan air akan membutuhkan waktu yang lebih singkat.

4.2.2 Diagram Distribusi Energi Panas



Gambar 4.4 Diagram Distribusi Energi Panas

Gambar 4.4 menunjukkan tentang diagram distribusi energi panas yang ada pada *perforated burner* tanpa *toroid*, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa $Q_{\text{pembakaran}}$ terendah terdapat pada *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm sebesar 744,18 dengan waktu pemanasan 637 detik, kemudian *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm sebesar 800,92 dengan waktu pemanasan 659 detik, kemudian yang tertinggi yaitu pada *perforated burner* tanpa *toroid* sebesar 803,13 dengan waktu

pemanasan 669 detik. Semakin cepat waktu pemanasan maka semakin rendah $Q_{\text{pembakaran}}$ yang dibutuhkan, hal ini sesuai dengan Persamaan 2-7.

$$Q_{\text{pembakaran}} = \dot{m}_{\text{gas}} \times t \times LHV_{\text{LPG}}$$

Dengan:

- \dot{m}_{gas} : Massa alir LPG (kg/s)
 t : Waktu pembakaran (s)
 LHV_{LPG} : *Low Heating Value* bahan bakar (kJ/kg)

Pada $Q_{\text{serap air}}$ besarnya ketiga variasi tersebut adalah sama, meskipun adanya perbedaan waktu tetapi untuk memanaskan air hingga 92 °C sebanyak 1,5 liter membutuhkan Q serap sama dikarenakan dari ΔT akhir air tiap variasi sama. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2-8.

$$Q_{\text{serap air}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \times C_{p\text{H}_2\text{O}} \times \Delta T.$$

Dengan:

- $m_{\text{H}_2\text{O}}$: massa air (kg)
 $C_{p\text{H}_2\text{O}}$: kapasitas kalor (kJ/kg K)
 ΔT : perbedaan temperatur (K)

Pada Q_{radiasi} urutan dari terendah hingga tertinggi yaitu *perforated burner* tanpa *toroid*, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm. Hal tersebut dikarenakan pada *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm mempunyai temperatur tertinggi, sehingga semakin tinggi pula $Q_{\text{rad selubung}}$ yang sesuai dengan Persamaan 2-9.

$$Q_{\text{rad selubung}} = \epsilon_{\text{Selubung}} \sigma A_{\text{Selubung}} (T_{\text{Selubung}}^4 - T_{\text{Ling}}^4)$$

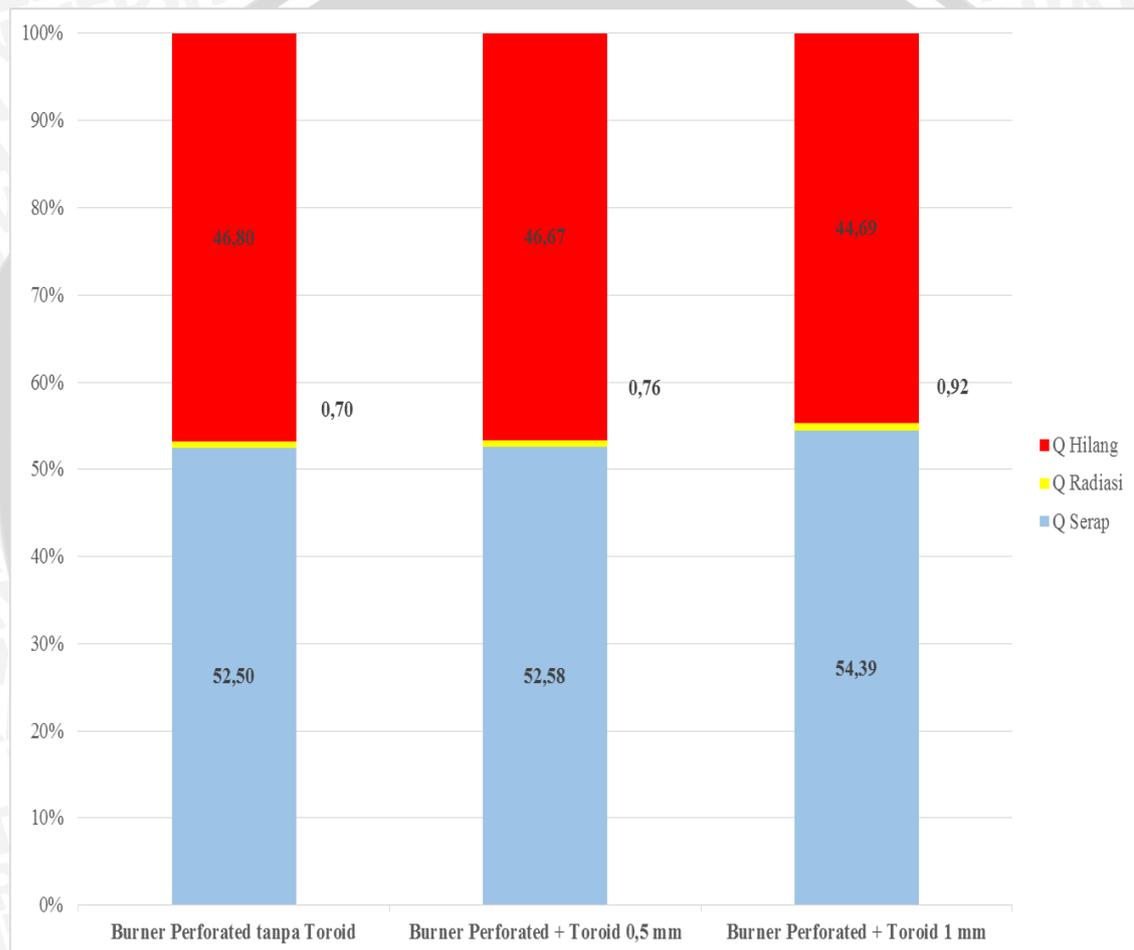
Dengan:

- $\epsilon_{\text{Selubung}}$: Emisivitas selubung (0,62)
 σ : Konstanta Stevan-Bolzman ($5,67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
 A_{Selubung} : Luas penampang selubung ($0,0211 \text{ m}^2$)
 T_{Selubung} : Temperatur akhir selubung (K)
 $T_{\text{Lingkungan}}$: Temperatur Lingkungan (K)

Sedangkan untuk Q_{hilang} yang terendah yaitu pada *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm karena $Q_{pembakaran}$ paling rendah dibanding dengan variasi lain, meskipun $Q_{rad\ selubung}$ paling tinggi dari variasi lain tetapi selisih $Q_{rad\ selubung}$ ketiga variasi tersebut sangat kecil. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2-10.

$$Q_{hilang} = Q_{pembakaran} - Q_{serap\ air} - Q_{rad\ selubung}$$

4.2.3 Diagram Prosentase Distribusi Energi Pembakaran



Gambar 4.5 Diagram Prosentase Distribusi Energi Panas

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa prosentase $Q_{pembakaran}$ tersebut diasumsikan 100%. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2-5 dan 2-6.

$$Q_{masuk} = Q_{keluar}$$

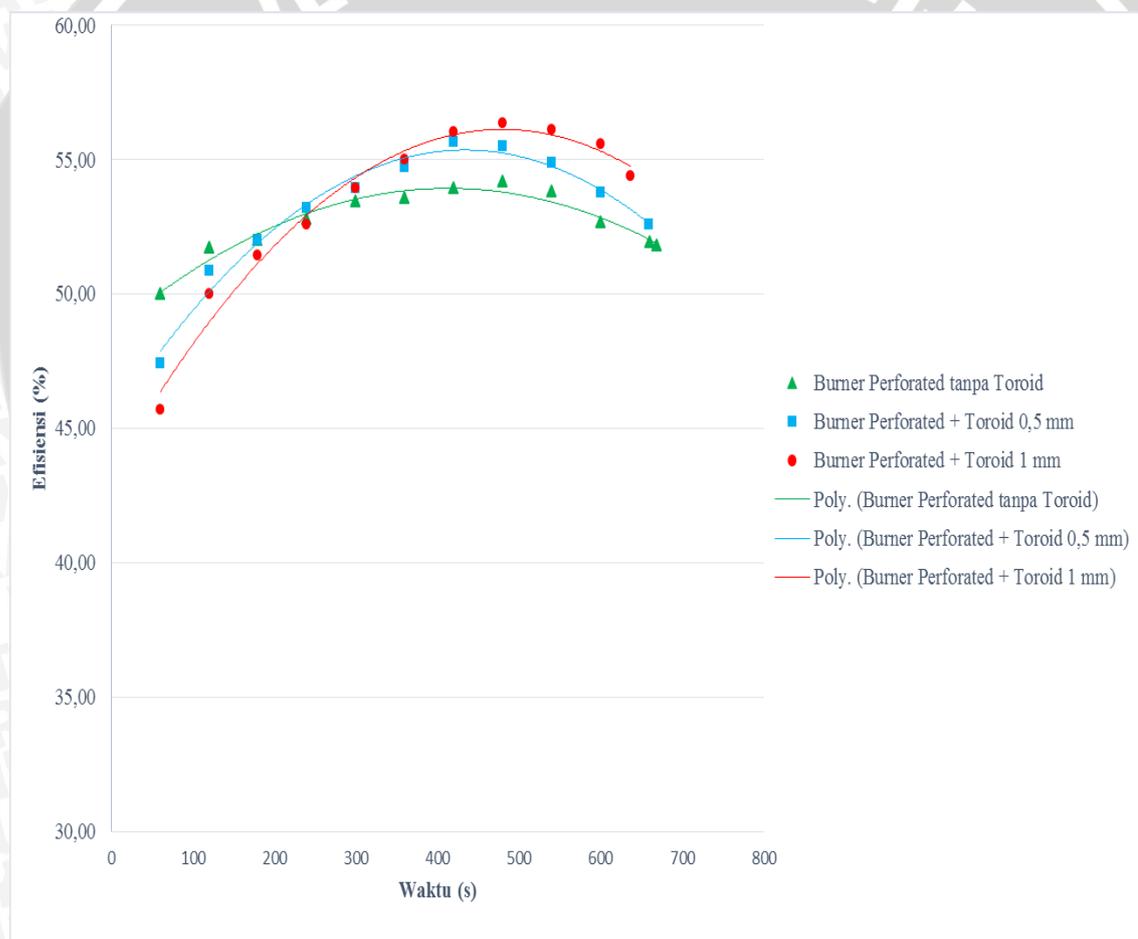
$$Q_{pembakaran} = Q_{serap\ air} + Q_{hilang} + Q_{rad\ selubung}$$

Q_{serap} tertinggi yaitu pada *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm sebesar 54,39%, kemudian *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm sebesar 52,58%, dan yang terendah yaitu *perforated burner* tanpa *toroid* sebesar 52,50%.

Pada *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm mempunyai nilai Q_{radiasi} paling tinggi sebesar 0,92%, kemudian *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm sebesar 0,76 %, dan yang terendah yaitu *perforated burner* tanpa *toroid* sebesar 0,70 %.

Sedangkan pada *perforated burner* tanpa *toroid* mempunyai nilai Q_{hilang} tertinggi yaitu sebesar 46,80%, kemudian *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm sebesar 46,67%, dan terendah *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm sebesar 44,69%.

4.2.3 Grafik Hubungan antara Waktu terhadap Efisiensi



Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Waktu terhadap Efisiensi

Pada Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara waktu terhadap efisiensi. Perhitungan efisiensi untuk *perforated burner* tanpa *toroid*, *perforated burner*

dengan *toroid* tebal 0,5 mm, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm didapatkan melalui Persamaan (2-11)

$$\eta = \frac{Q_{\text{serap air}}}{Q_{\text{bahan bakar}}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{\text{massa air} \times C_{p\text{air}} \times \Delta T}{\dot{m} \times t \times LHV_{LPG}} \times 100 \%$$

Pada gambar menunjukkan efisiensi dari rendah ke tinggi yaitu *perforated burner* tanpa *toroid*, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm, *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm. *Perforated burner* tanpa *toroid* pada waktu 60 detik efisiensinya tertinggi dikarenakan panas yang keluar dari *perforated burner* langsung menuju permukaan dasar panci. Tetapi setelah 500 detik efisiensi mengalami penurunan dikarenakan getaran molekul atau temperatur air sudah mulai merata, sehingga panas yang diserap air semakin rendah.

Untuk *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm pada waktu 60 detik efisiensinya lebih rendah daripada *perforated burner* tanpa *toroid*, dikarenakan panas yang keluar dari *perforated burner* akan terserap terlebih dahulu pada *toroid*. Tetapi setelah 200 detik efisiensinya naik di atas *perforated burner* tanpa *toroid*, dengan adanya *toroid* 0,5 mm temperatur di ruang bakar akan semakin tinggi karena *toroid* tersebut dapat menyimpan panas dan juga menyebabkan turbulensi pada proses pembakaran, sehingga panas yang di konveksikan ke dasar permukaan panci akan lebih merata.

Sedangkan *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm pada waktu 60 detik efisiensinya terendah, dikarenakan panas yang keluar dari *perforated burner* akan terserap lebih lama daripada *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm karena perbedaan tebal pada *toroid*. Tetapi setelah 350 detik, efisiensinya menjadi tertinggi, karena dengan adanya *toroid* dengan tebal 1 mm maka temperatur pada ruang bakar akan semakin tinggi karena *toroid* yang lebih tebal tersebut dapat menyimpan panas lebih tinggi dan juga menyebabkan turbulensi pada proses pembakaran, sehingga panas yang di konveksikan ke dasar permukaan panci akan lebih cepat dan lebih merata.

Pada grafik, efisiensi rata-rata dari rendah ke tinggi yaitu berturut-turut *perforated burner* tanpa *toroid* adalah sebesar 52,65% dengan waktu pemanasan 669

detik, kemudian *perforated burner* dengan *toroid* tebal 0,5 mm sebesar 53,14% dengan waktu pemanasan 659 detik, dan *perforated burner* dengan *toroid* tebal 1 mm sebesar 53,37% dengan waktu pemanasan 637 detik.

