

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 2 buah data hasil penelitian, dimana data statik berupa waktu lamanya pemanasan air, nilai besarnya kenaikan temperatur air dalam sistem pemanasan, temperatur api itu sendiri, sudut api dan tinggi api. data visual berupa gambar yang didapatkan dari proses penelitian dari *bunsen burner* pada tiap rasio ekuivalen yang berbeda. Penulis melakukan pengolahan data statik dengan melakukan perhitungan efisiensi sistem pemanasan, dimana efisiensi termal pada penelitian ini adalah kalor yang diserap oleh air beserta material yang dipanaskan berbanding dengan kalor yang dilepas bahan bakar. Pengolahan data visual dilakukan dengan menggunakan perhitungan S_L (kecepatan api laminar) dimana pada S_L sendiri dipengaruhi oleh kecepatan reaktan serta sudut api yang terbentuk.

4.1 Hasil Pengujian Efisiensi Sistem Pemanasan

Untuk dapat mengetahui besarnya efisiensi sistem pemanasan dari pengujian *water boiling test* maka dilakukan pengolahan data. Contoh perhitungan pengujian efisiensi sistem pemanasan dengan debit bahan bakar 0,2 NI/min dan debit udara 6,5 NI/min adalah sebagai berikut:

Diketahui:

- T_{0Air} = 25°C
- m_{Air} = 0,25 kg
- C_{pAir} = 4,18 kJ/kg.K°
- m_{pirex} = 0,187 kg
- C_{ppirex} = 0,75 kJ/kg.K°
- Komposisi LPG = 50% Propana dan 50% Butana
- LHV_{BB} Propana = 46133,884 kJ/kg
- LHV_{BB} Butana = 46464,176 kJ/kg
- Massa Jenis LPG (ρ LPG) = 0,002155 kg/l
- Debit LPG (Q LPG) = 0,004384 l/s

Perhitungan Efisiensi:

1. Energi yang Terserap :

$$T_2 = 29,8^\circ\text{C} = 302,8 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_3 = 36^\circ\text{C} = 309 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = 309 - 302,8$$

$$= 6,2 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$Q_s = ((m_{\text{Air}} \times C_{p\text{Air}}) + (m_{\text{pirex}} \times C_{p\text{pirex}})) \times \Delta T$$

$$= ((0,25 \text{ kg} \times 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}^\circ) + (0,187 \text{ kg} \times 0,75 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}^\circ)) \times 6,2 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$= 13,03775 \text{ kJ}$$

2. Energi Bahan Bakar:

Massa alir LPG (\dot{m})

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

$$= 0,002155 \text{ kg/l} \times 0,004384 \text{ l/s}$$

$$= 9,44 \times 10^{-6} \text{ kg/s}$$

LHV_{BB}

$$LHV_{\text{LPG}} = (LHV_{\text{propana}} \times 50\%) + (LHV_{\text{butane}} \times 50\%)$$

$$= (46133,884 \text{ kJ/kg} \times 50\%) + (46464,176 \text{ kJ/kg} \times 50\%)$$

$$= 46299,03 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{BB}} = \dot{m} \times t \times LHV_{\text{BB}}$$

$$= 9,44 \times 10^{-6} \text{ kg/s} \times 120 \times 46299,03 \text{ kJ/kg}$$

$$= 52,481 \text{ kJ}$$

3. Efisiensi Sistem Pemanasan

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_{\text{bb}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{13,03775 \text{ kJ}}{52,481 \text{ kJ}} \times 100\%$$

$$= 24,84\%$$

4.1.1 Data Hasil Pengujian Efisiensi Sistem Pemanasan

Tabel 4.1 Tabel Data Efisiensi Sistem Pemanasan dengan Penambahan CO₂ 10%

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Efisiensi (%)
1	60	2,8	12,64716205
2	120	8,2	18,51905872
3	180	14,1	21,22916487
4	240	19,4	21,90669141
5	300	25,1	22,67455482
6	360	31	23,33702521
7	420	35,8	23,10042865
8	480	41,8	23,60050776
9	540	47,1	23,63814812
10	600	51,9	23,44241823
11	660	56,9	23,36440002
12	720	61,7	23,22410412
13	780	65,4	22,72319775
14	827	68,3	22,38213426

Tabel 4.2 Tabel Data Efisiensi Sistem Pemanasan dengan Penambahan CO₂ 8%

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Efisiensi (%)
1	60	5	22,58421795
2	120	9,5	21,45500705
3	180	14,4	21,68084923
4	240	20,4	23,03590231
5	300	25,4	22,94556544
6	360	30,5	22,96062158
7	420	35,9	23,16495498
8	480	40,7	22,97944176
9	540	45,5	22,8351537
10	600	50,7	22,900397
11	660	56,3	23,11802674
12	720	59,6	22,4336565
13	780	64,3	22,34100329
14	831	68,4	22,30701094

Tabel 4.3 Tabel Data Efisiensi Sistem Pemanasan dengan Penambahan CO₂ 6%

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Efisiensi (%)
1	60	4,8	21,68084923
2	120	11	24,84263974
3	180	15,6	23,48758667
4	240	20,1	22,69713904
5	300	26,5	23,93927103
6	360	30,4	22,88534086
7	420	36,7	23,68116568
8	480	40,8	23,03590231
9	540	45,1	22,6344051
10	600	50,8	22,94556544
11	660	52,6	21,5987248
12	720	57,1	21,49264742
13	780	61,5	21,36814468
14	840	67,3	21,7131124
15	866	68,4	21,40545738

Tabel 4.4 Tabel Data Efisiensi Sistem Pemanasan dengan Penambahan CO₂ 4%

No	Waktu (s)	ΔT (K)	Efisiensi (%)
1	60	4,2	18,97074308
2	120	10,3	23,26174449
3	180	15,2	22,88534086
4	240	20,7	23,37466558
5	300	25,2	22,76489169
6	360	31,6	23,78870957
7	420	35,7	23,03590231
8	480	41	23,1488234
9	540	46,7	23,43739952
10	600	51,2	23,12623918
11	660	55,6	22,83059124
12	720	59,8	22,50893722
13	780	62,5	21,71559418
14	840	65,3	21,03784903
15	881	68,3	21,01024408

Tabel 4.5 Tabel Data Efisiensi Sistem Pemanasan dengan Penambahan CO₂ 2%

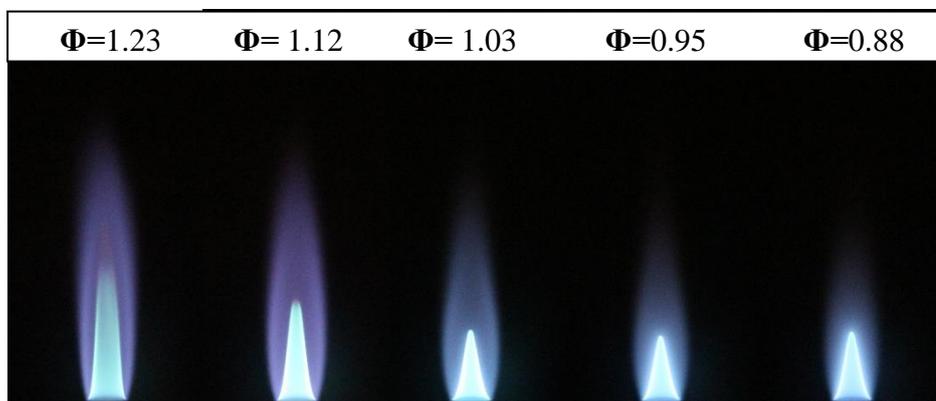
No	Waktu (s)	ΔT (K)	Efisiensi (%)
1	60	6,3	28,4561146
2	120	11,9	26,8752194
3	180	15,6	23,4875867
4	240	20,6	23,2617445
5	300	24,8	22,4035442
6	360	30,8	23,1864638
7	420	36,9	23,8102184
8	480	39,3	22,1889941
9	540	43,2	21,6808492
10	600	49,8	22,4938811
11	660	54,9	22,5431557
12	720	56,8	21,3797263
13	780	60,6	21,0554401
14	840	63,3	20,4225857
15	900	67,6	20,3559084
16	907	68,3	20,4079659

4.2 Hasil Visualisasi Nyala Api

Berikut merupakan data visual nyala api *bunsen burner*. Gambar disusun secara runtut dari *equivalence ratio* rendah hingga *ekuivalen rasio* tinggi, sehingga nantinya pada masing – masing data dapat dibandingkan dan dilihat perbedaan visual dari setiap rasio ekuivalen.

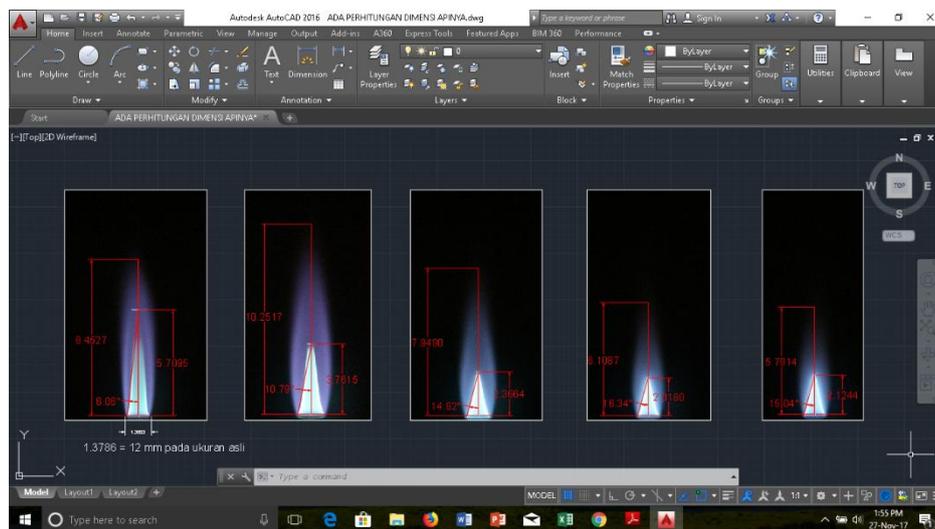
4.2.1. Hasil Visualisasi Nyala Api *Bunsen Burner*

Berikut merupakan data visual *bunsen burner* dari masing masing *ekuivalen rasio*, pada pengujian kali ini diambil 5 nyala api pada rasio ekuivalen berbeda.

Gambar 4.1 Nyala Api *Bunsen Burner*

Gambar 4.1 dapat dilihat bentuk nyala api *bunsen burner* dari *equivalence ratio* 1,23 ; 1,12 ; 1,03 ; 0,95 dan 0,88. Dari masing masing nyala api nantinya diolah sehingga diketahui nilai dari S_L dari masing masing nyala api.

4.3 Contoh Perhitungan dan Pengolahan Data Visual



Gambar 4.2 Perhitungan sudut dan tinggi api pada nyala api *Bunsen Burner*

Gambar 4.2 menunjukkan bagaimana nilai sudut api dari data visual dihitung, pada *Autocad 2016* dimana gambar diatur hingga ukurannya sama. Pada perhitungan ini digunakan skala antara gambar dengan kondisi nyata, dimana acuan yang digunakan adalah diameter luar *burner* yaitu 1,3786 mm pada aplikasi sama dengan 12 mm pada ukuran sebenarnya. Data didapat setelah menarik garis tegak lurus dengan mulut burner untuk mendapatkan tinggi api, lalu ditarik garis dari ujung api *premixed* ke ujung mulut burner untuk mendapatkan tinggi, untuk menemukan sudut α ditarik garis dari ujung api *premixed* sepanjang batas api, setelah itu dengan menggunakan aplikasi, bisa didapatkan sudut antara garis tegak lurus dari mulut *burner* dengan garis sepanjang batas api.

Berikut contoh perhitungan nilai kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai *equivalence ratio* 0,95.

$$Q_{\text{fuel}} = 0,26 \text{ L/min}$$

$$Q_{\text{air}} = 7,55 \text{ L/min}$$

$$A_b = 3,14 \text{ cm}^2$$

Sehingga didapat nilai kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai *equivalence ratio* 0,95 sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 Q_{fuel} &= 0,26 \frac{L}{min} = \frac{L}{min} \rightarrow \frac{cm^3}{s} \\
 &= \frac{0,26 \times 1000}{60} = 4,33 \text{ cm}^3/s \\
 Q_{air} &= 7,55 \frac{L}{min} = \frac{L}{min} \rightarrow \frac{cm^3}{s} \\
 &= \frac{7,55 \times 1000}{60} = 125,83 \frac{cm^3}{s}
 \end{aligned}$$

hingga didapat nilai kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai *equivalence ratio* 0,95 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{4,33 + 125,83}{3,14} \\
 v &= 41,465 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

Setelah itu kita dapat menghitung besarnya kecepatan api laminar, dari hasil perhitungan kecepatan reaktan serta sudut api. Berikut contoh perhitungan nilai Kecepatan api laminar pada *bunsen burner* dengan nilai *equivalence ratio* 0,95.

$$\begin{aligned}
 S_L &= v \sin \alpha \\
 S_L &= 41,465 \sin 16,34 \\
 S_L &= 41,465 \times 0,281 \\
 S_L &= 11,66 \text{ cm/s}
 \end{aligned}$$

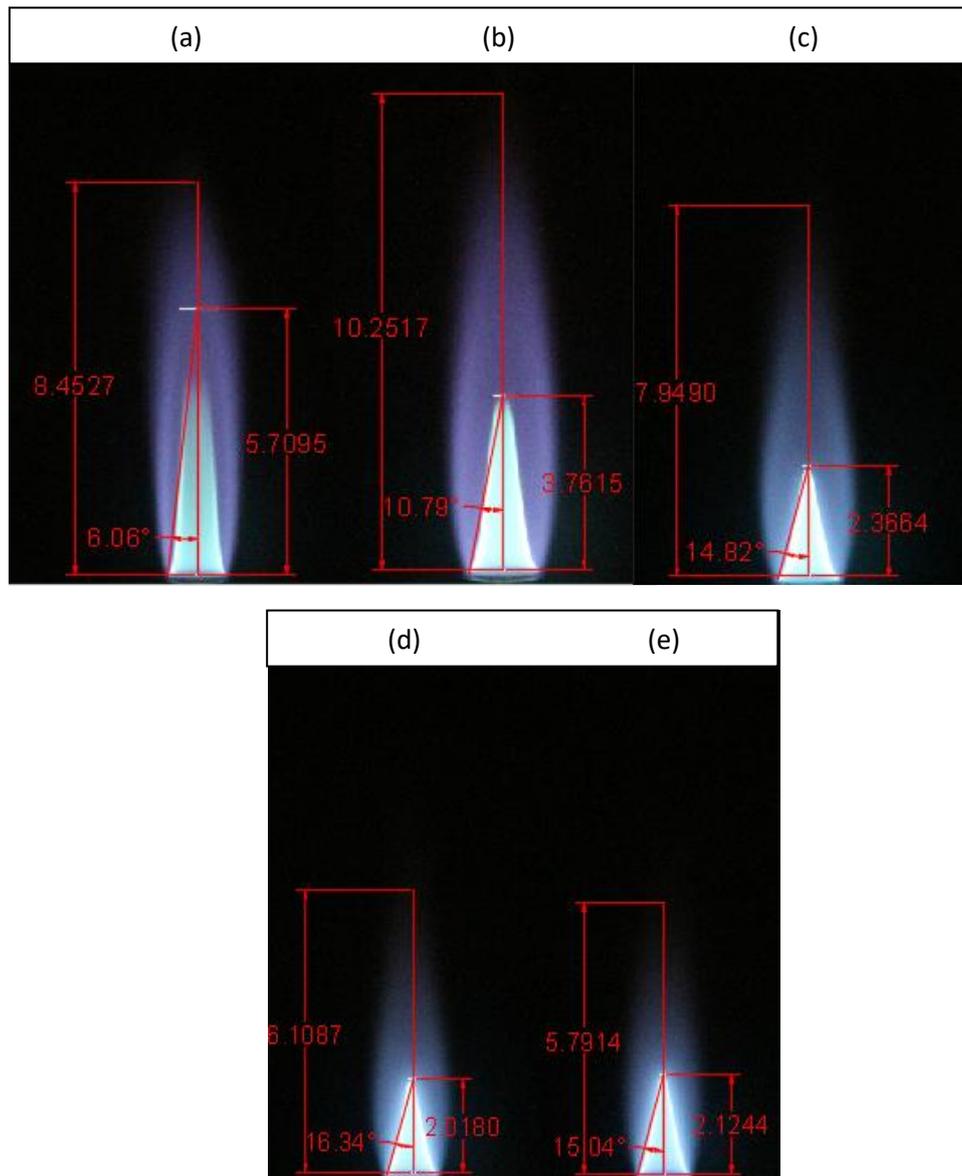
4.4 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

4.4.1 Pengolahan Data Visual

Pada bagian ini dilakukan pengolahan data visual dari *bunsen burner*, setelah gambar dipotong, disamakan besarnya, dan diukur menggunakan penskalaan dengan kondisi aslinya sesuai ukuran, data diolah untuk mendapatkan nilai tinggi api, S_L (Kecepatan api laminar), dimana nilai kecepatan api laminar didapatkan dari penghitungan sudut alfa (α).

a. Pengolahan Data Visual *Bunsen Burner*

Berikut adalah hasil pengolahan data *bunsen burner* dari nilai rasio ekuivalen 0,88 sampai 1,23



Gambar 4.3 Hasil Olahan Visualisasi Nyala Api *Bunsen Burner*

Data diatas a=1,23 b=1,12 c=1,03 d=0,95 dan e=0,88 di dapatkan nilai sudut Alfa (α) dari masing masing rasio ekuivalen pada *bunsen burner*. Sehingga nilai S_L dapat dicari dengan rumus pada persamaan (2-10). Dengan nilai kecepatan reaktan pada persamaan (2-11). Disamping itu dari data diatas juga di dapatkan tinggi api dengan cara penskalaan menggunakan ukuran diameter luar *bunsen burner*, dimana 1,3786 mm pada aplikasi sama dengan 12 mm pada aslinya.

Untuk mempermudah pembacaan maka di buat tabel sementara tentang masing masing data yang telah di dapatkan.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Pengolahan Data Visual *Bunsen Burner*

Tabel Data <i>Bunsen Burner</i>			
Rasio Ekuivalen	$\alpha(^{\circ})$	Tinggi Api (mm)	v (cm/s)
0,88	15,04	18,49	44,54458599
0,95	16,34	17,56	41,46496815
1,03	14,82	20,59	38,38853503
1,12	10,79	32,74	35,36305732
1,23	6,06	49,69	32,22929936

Dari tabel 4.2 dapat dilihat kecenderungan nilai sudut api mengalami penurunan seiring dengan peningkatan nilai rasio ekuivalen. Disamping itu juga dapat dilihat bahwa peningkatan nilai rasio ekuivalen yang semakin meningkat menghasilkan nilai tinggi api yang meningkat.

4.4.2 Tabel Hasil Perhitungan Nyala Api

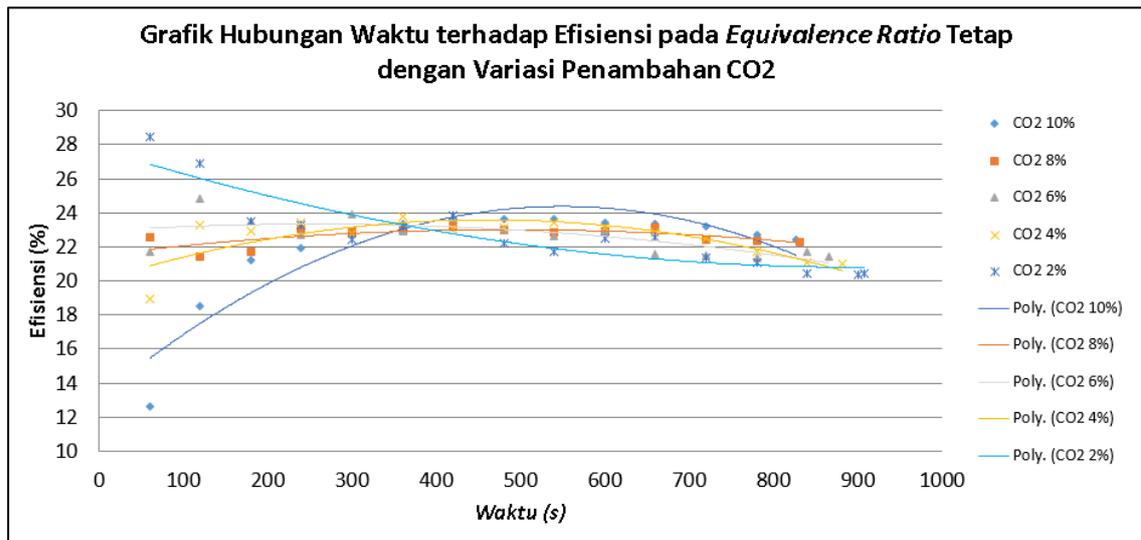
Pada Bab 3 metodologi penelitian dan rencana pengambilan data dijelaskan bahwa data penelitian selanjutnya di masukkan kedalam tabel karakteristik nyala api. Dimana pada bagian ini yang diamati adalah temperatur, dan tinggi api pada masing – masing *burner* tiap *equivalence ratio* tertentu. Sehingga di peroleh tabel sebagai berikut :

Tabel 4.7 Tabel Hasil Perhitungan Nyala Api

Jenis Burner	Parameter	$\Phi=0,88$	$\Phi=0,95$	$\Phi=1,03$	$\Phi=1,12$	$\Phi=1,23$	
Bunsen Burner	T ujung	970	992	920	898	853	
	T tengah	653	663	656	651	645	
	SL		11,559	11,6656	9,81914	6.62031	3.4024428
			02275	1776	3385	3374	36
	Tinggi api	18,49	17,56	20,59	32,74	49,69	

Pada tabel 4.3 menggunakan *equivalence ratio* 0,88 sampai 1,23 Sehingga di dapat grafik dari data diatas sebagai hubungan antara kecepatan api laminar dengan *equivalence ratio*, temperatur api dengan *equivalence ratio*, dan tinggi api dengan *equivalence ratio*.

4.5 Grafik dan Pembahasan



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Waktu terhadap Efisiensi pada *Equivalence Ratio* Tetap dengan Variasi Penambahan CO₂

Pada gambar 4.4 diatas dapat dilihat hubungan waktu terhadap efisiensi pada *equivalence ratio* tetap dengan variasi penambahan CO₂, dimana rumus perhitungan efisiensi sistem pemanasan adalah:

$$\eta = \frac{((m_{air} \cdot C_{p,air}) + (m_{pirex} \cdot C_{p,pirex})) \cdot \Delta T}{m_{bb} \cdot t \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

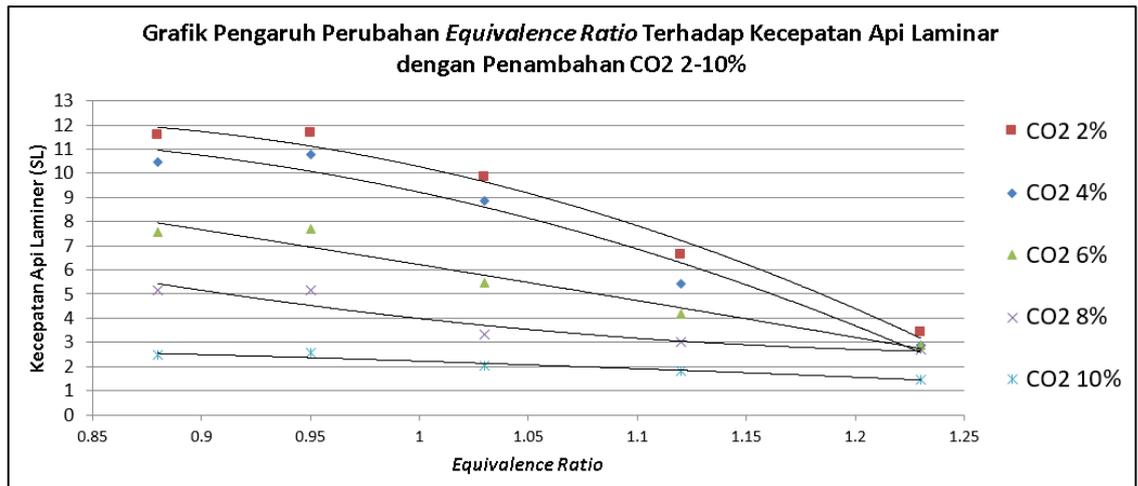
$$\eta = \frac{Q_{serap}}{Q_{bahan\ bakar}} \times 100\%$$

Pada pengujian tersebut, debit udara dan bahan bakar yang digunakan adalah 6,5 NI/min dan 0,2 NI/min, sehingga dalam perhitungan *equivalence ratio* menghasilkan nilai sebesar 1,03. Pada penelitian ini, dilakukan variasi penambahan gas CO₂ pada pembakaran bahan bakar, dan kemudian di teliti pengaruhnya pada efisiensi sistem pemanasan. Nilai penambahan CO₂ pada penelitian ini bervariasi dari 2%,4%,6%,8%, dan 10%. Pada penelitian ini ditemukan bahwa semakin besar penambahan CO₂, semakin sedikit waktu yang dibutuhkan agar air mencapai temperatur didih dimana temperatur didih pada penelitian ini adalah 93°C karena pada temperatur tersebut, mulailah bermunculan gelembung air yang mengindikasikan bahwa air sudah mendidih. Kondisi mendidihnya air tersebut disebabkan oleh lokasi geografis tempat pengujian. Pada penambahan CO₂ sebesar 10% waktu yang dibutuhkan agar air mencapai temperatur didih adalah 827 detik dan pada

penambahan CO₂ sebesar 2% waktu yang dibutuhkan agar air mencapai temperatur didih adalah 907 detik.

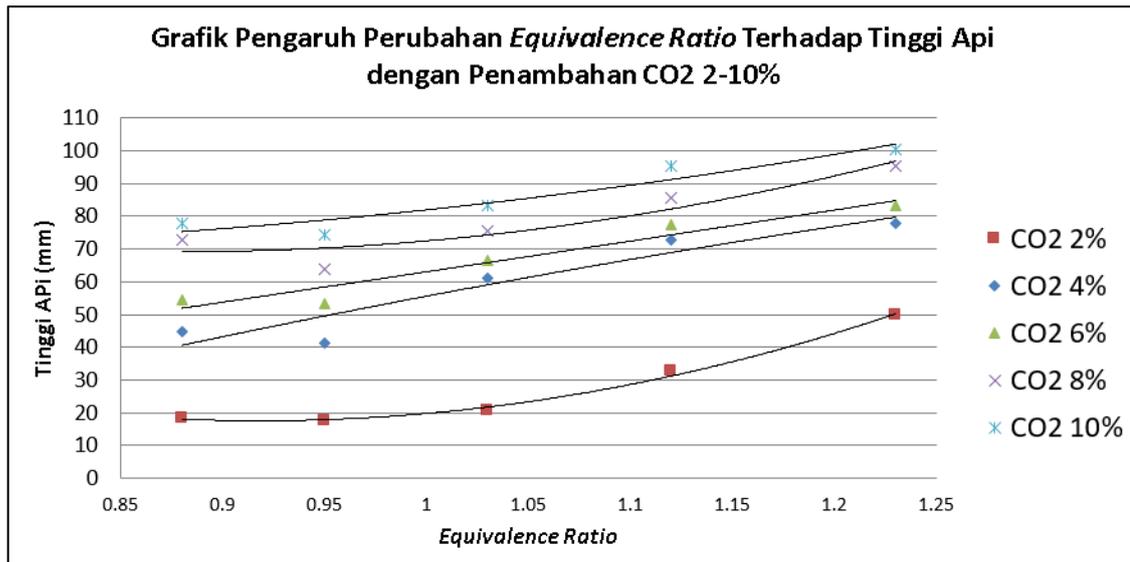
Pada grafik juga dapat dilihat kecenderungan efisiensi sistem pemanasan. Didapatkan bahwa pada penambahan CO₂ sebesar 10% pada 120 detik pertama, efisiensi rendah, dan seiring waktu, bertambah dan konstan pada 23%, sedangkan pada penambahan CO₂ sebesar 2 %, efisiensi pada awalnya tinggi, mencapai 28% lalu menurun dan konstan hingga mencapai 20%.

Peristiwa tersebut bertolak belakang dengan hipotesis dimana semakin tinggi nilai CO₂ akan semakin menurunkan temperatur api dan menurunkan efisiensi sistem pemanasan. Pada penelitian ini ditemukan juga bahwa semakin besar nilai penambahan CO₂, akan semakin tinggi api *bunsen burner* yang terjadi, sehingga dalam pengujian efisiensi sistem pemanasan, api yang terjadi lebih tinggi, yang diakibatkan oleh kapasitas panas dari CO₂ yang menyebabkan api semakin tidak terpengaruh oleh pendinginan akibat udara sekitar. Semakin tinggi api *bunsen burner* semakin luas lebar api yang memanasi gelas *pyrex* sehingga *wall jet region* pada api lebih luas. Pengaruh dari penambahan CO₂ yang menyebabkan lebih luasnya *wall jet region*, berpengaruh kepada semakin baiknya perpindahan panas terjadi, sehingga efisiensi pada sistem pemanasan semakin tinggi.



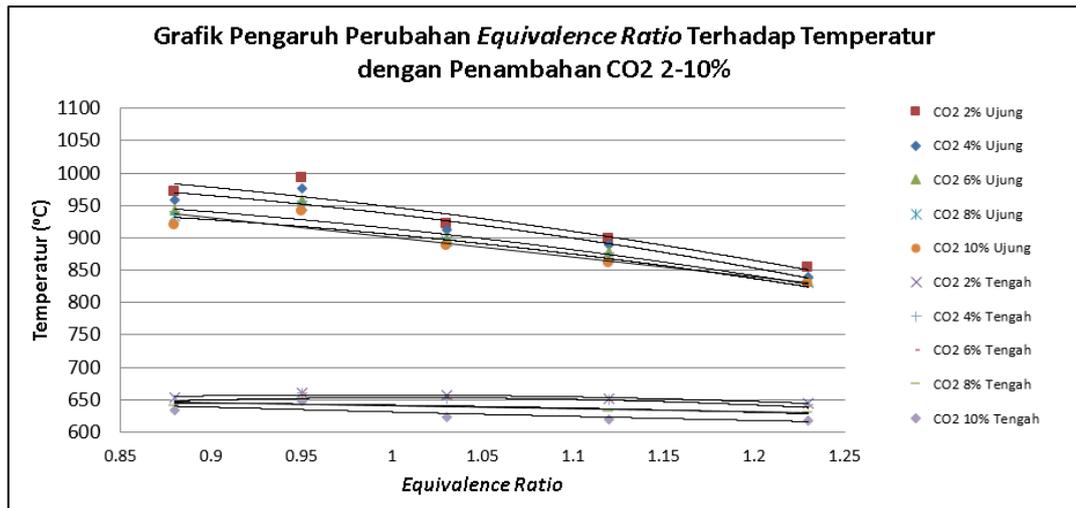
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Perubahan *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Api Laminar dengan Penambahan CO₂ 2-10%

Pada grafik diatas dapat dilihat pengaruh variasi nilai *equivalence ratio* terhadap kecepatan api laminar dengan penambahan CO₂ dari 2-10%. Nilai *equivalence ratio* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0,88 , 0,95, 1,03, 1,12, 1,23. Pada penelitian ini didapat bahwa kecepatan api laminar tertinggi terjadi pada *equivalence ratio* 0,95 dimana api *bunsen burner* akan memiliki kecepatan api laminar semakin *equivalence ratio* mendekati 1 (Φ)=1 , tetapi didapatkan pada 0,95, hal ini disebabkan oleh meningkatnya debit udara yang masuk. Menurunnya nilai S_L yang didapat adalah akibat semakin besarnya penambahan CO₂.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Perubahan *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi Api dengan Penambahan CO₂ 2-10%

Pada grafik diatas dapat dilihat pengaruh perubahan *equivalence ratio* terhadap tinggi api dengan penambahan CO₂ sebesar 2-10%. Didapat kecenderungan menurun dari *equivalence ratio* paling tinggi hingga tepat di bawah kondisi stoikiometri (Φ)=1 lalu naik lagi sedikit. Penambahan CO₂ sebesar 2% menyebabkan perubahan tinggi yang signifikan dimana tinggi api dengan *equivalence ratio* 1,03 yaitu 20,59 mm sedangkan tinggi api dengan *equivalence ratio* 0,95 adalah 17,56 mm. Tinggi api akan semakin meningkat seiring bertambahnya CO₂.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Perubahan *Equivalence Ratio* Terhadap Temperatur dengan Penambahan CO₂ 2-10%

Diatas adalah grafik pengaruh perubahan *equivalence ratio* terhadap temperatur api dengan penambahan CO₂ 2-10%. Terdapat dua buah data, yaitu data temperatur ujung api dan temperatur tengah api.

Didapatkan kecenderungan untuk temperatur ujung temperatur akan semakin naik hingga nilai *equivalence ratio* berada sedikit dibawah stoikiometri (Φ) = 1 yaitu pada *equivalence ratio* 0.95 dan akan kembali turun. Didapatkan Temperatur ujung paling tinggi pada mendekati kondisi stoikiometri, yaitu 927 °C dan temperatur paling rendah pada 845 °C. Temperatur yang terjadi juga disebabkan oleh pengaruh CO₂, dimana CO₂ akan menurunkan temperatur.

Pada grafik juga terlihat bahwa temperatur tengah memiliki kecenderungan yang sama dengan temperatur ujung, tetapi kenaikan yang terjadi tidak terlalu besar, dimana temperatur yang tercatat pada *equivalence ratio* 1,23 adalah 645 °C sedangkan pada *equivalence ratio* 0,95 temperatur tengah adalah 663 °C. Dapat dilihat juga semakin bertambahnya CO₂, temperatur akan semakin menurun.