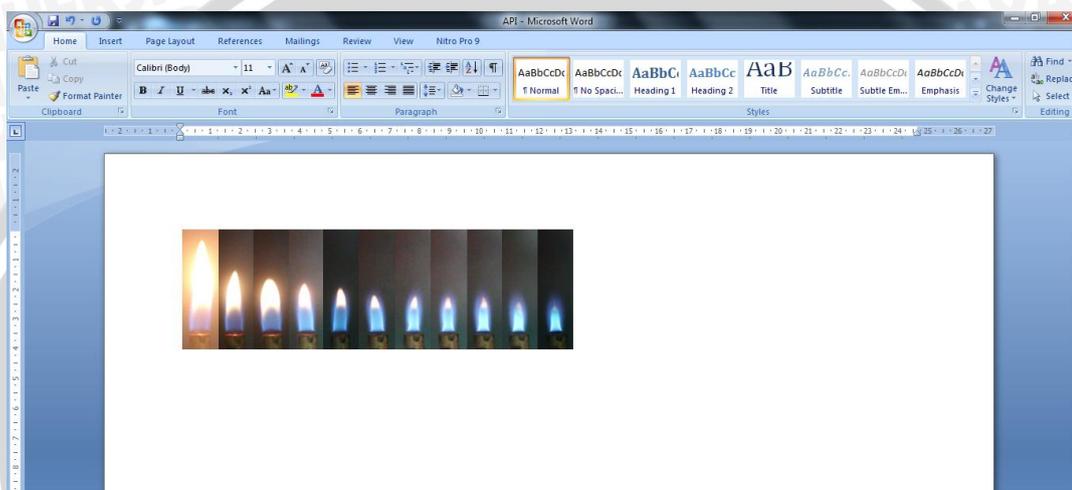


## BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

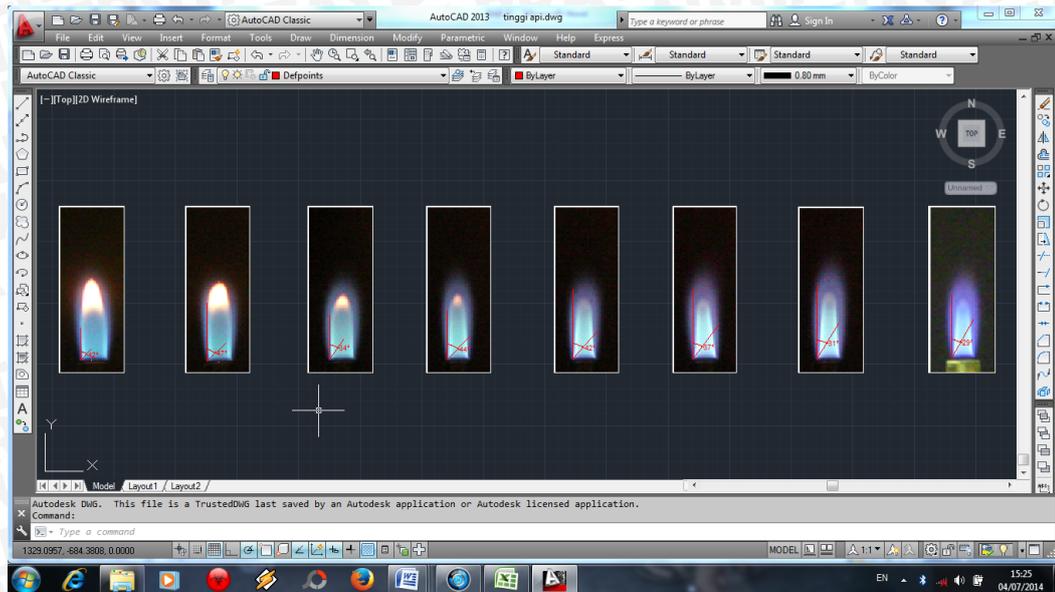
### 4.1. Pengolahan Data

Untuk mengetahui pola nyala api, penulis menggunakan *software Microsoft Word 2007*. Caranya menyesuaikan dimensi gambar dengan ukuran sebenarnya, kemudian kita sejajarkan foto api tersebut mulai dari pembakaran difusi hingga *equivalence ratio* terkecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

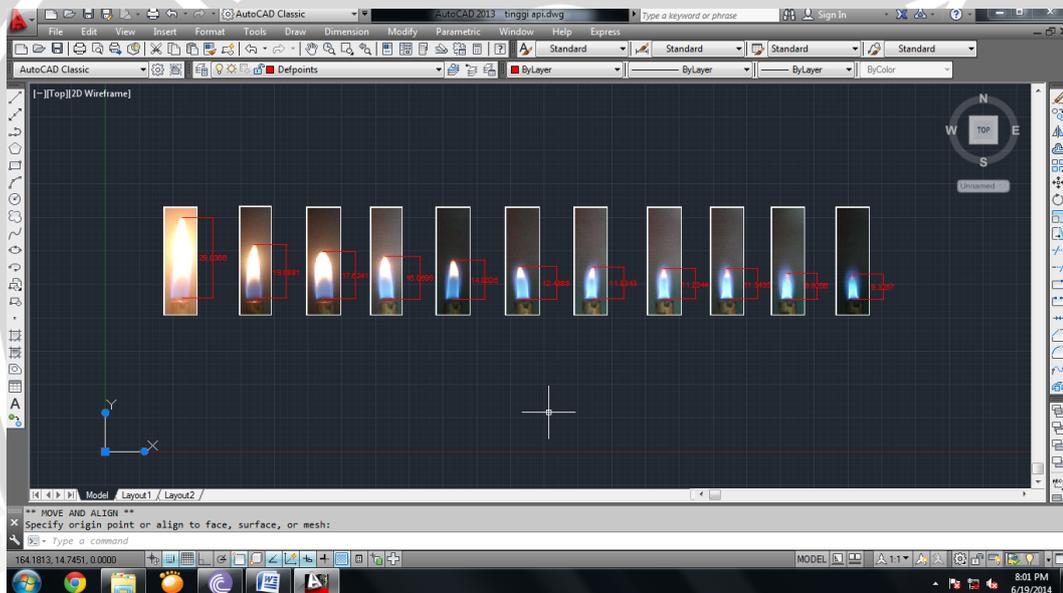


Gambar 4.1 Pengolahan visualisasi api pada *software Microsoft Word 2007*

Untuk mengetahui sudut api dan tinggi api, penulis menggunakan *software Autocad 2013*. Cara mengetahui sudut api yaitu meng*copy* hasil rekaman ke *software Autocad 2013* kemudian membuat garis yang tegak lurus di tepi api dan menarik garis dari tepi yang sesuai dengan sudut api sehingga kedua garis tersebut membentuk sudut seperti yang ditunjukkan Gambar 4.2. Setelah mendapatkan garis yang membentuk sudut kita tampilkan dimensi sudut dari kedua garis tersebut. Cara mengetahui tinggi api yaitu meng*copy* hasil rekaman ke *software Autocad 2013* kemudian membuat garis lurus yang tegak lurus di tengah api hingga ujung api, lalu kita tampilkan dimensi dari garis tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Pengolahan sudut api pada software Autocad 2013

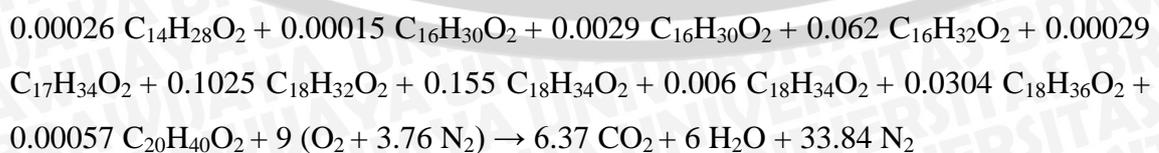


Gambar 4.3 Pengolahan tinggi api pada software Autocad 2013

## 4.2. Perhitungan

### 4.2.1. Perhitungan AFR stoikiometri, AFR aktual dan *Equivalence Ratio*

Pembakaran stoikiometri untuk 100 gram minyak jarak pagar adalah



$$\text{Berat massa udara} = 9 \times (2 \times 16 + 3.76 \times 2 \times 14) = 1235.52 \text{ gram}$$

$$\text{Berat massa bahan bakar} = 100 \text{ gram}$$

Maka AFR stoikiometri minyak jarak pagar adalah

$$\begin{aligned}
 AFR_{stoikiometri} &= \left( \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right) \\
 &= \frac{1235.52}{100} \\
 &= 12.35 \text{ gram udara/gram bahan bakar}
 \end{aligned}$$

Untuk debit minyak jarak pagar yang menguap 0.09 ml/min maka massa udara stoikiometrinya adalah

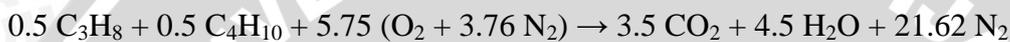
$$massa\ udara_{stoikiometri} = 12.35 \times (massa\ alir\ minyak\ jarak\ yang\ menguap)$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 12.35 \times (\rho \times Q)$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 12.35 \times (0.71 \times 0.09)$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 0.79 \text{ gram/min}$$

Pembakaran stoikiometri LPG dengan komposisi 50% butana dan 50% propana adalah



$$\begin{aligned}
 \text{Berat massa udara} &= 5.75 \times (2 \times 16 + 3.76 \times 2 \times 14) \\
 &= 789.36 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat massa bahan bakar} = 51 \text{ gram}$$

Maka AFR stoikiometri minyak jarak pagar adalah

$$\begin{aligned}
 AFR_{stoikiometri} &= \left( \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right) \\
 &= \frac{789.36}{51} \\
 &= 15.47 \text{ gram udara/gram bahan bakar}
 \end{aligned}$$

Untuk debit LPG 3 ml/min maka massa udara stoikiometrinya adalah

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 15.47 \times (massa\ alir\ minyak\ jarak\ yang\ menguap)$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 15.47 \times (\rho \times Q)$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 15.47 \times (0.002125 \times 3)$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 0.098 \text{ gram/min}$$

Begitu pula dengan debit LPG 6 ml/min, 9 ml/min, 12 ml/min.

Massa udara stoikiometri campuran minyak jarak yang menguap dan LPG adalah

$$massa\ udara_{stoikiometri\ campuran} = 0.098 + 0.79$$

$$massa\ udara_{stoikiometri} = 0.898 \text{ gram/min}$$

Massa udara aktual didapatkan dari penelitian dengan rumus

$$massa\ udara_{aktual} = \rho_{udara} \times Q_{udara}$$

$$massa\ udara_{aktual} = 0.0012 \times 50$$

$$massa\ udara_{aktual} = 0.06 \text{ gram/min}$$

Begitu pula debit udara yang lain hingga sebelum *blow off* dengan kelipatan 50 ml/min.

Untuk nilai *equivalence ratio* didapatkan dari rumus

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoic}}{(AFR)_{aktual}}$$

$$\Phi = \frac{\left( \frac{M_{udara}}{M_{fuel}} \right)_{stoic}}{\left( \frac{M_{udara}}{M_{fuel}} \right)_{aktual}}$$

$$\Phi = \frac{(M_{udara})_{stoic}}{(M_{fuel})_{aktual}} \times \frac{(M_{fuel})_{stoic}}{(M_{udara})_{aktual}}$$

$$\Phi = \frac{(M_{udara})_{stoic}}{(M_{udara})_{aktual}}$$

#### 4.2.2. Perhitungan Kecepatan Reaktan ( $V_u$ ) dan Kecepatan Pembakaran ( $S_L$ )

Nilai kecepatan reaktan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$V_u = \left( \frac{Q_{udara} + Q_{bahan\ bakar}}{A_{nosei}} \right)$$

Dimana  $A_{nosei}$  adalah luas penampang *burner*. Luas penampang *burner* dapat diketahui dengan rumus

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Dari rumus di atas didapatkan nilai luas penampang *burner* dengan diameter 0.3 cm adalah 0.07065 cm<sup>2</sup>.

Q bahan bakar merupakan debit uap minyak jarak pagar. Untuk menentukan debit uap minyak jarak pagar, kita tentukan volumenya uap minyak jarak pagar. Pada kondisi STP (pada suhu 0°C dan tekanan 1 atm) 1 mol = 22,4 L. Mol dari minyak jarak pagar adalah 0,36 mol = 8024 ml. Jadi volum dari uap minyak jarak pagar adalah 8024 ml. Massa minyak jarak pagar yaitu 100 gram. Sehingga nilai dari massa jenis uap minyak jarak pagar adalah

$$\rho_{uap} = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{uap} = \frac{100\text{ gr}}{8064\text{ ml}}$$

$$\rho_{uap} = 0,0124\text{ g/ml}$$

Massa jenis uap di atas adalah massa jenis pada temperatur ruang (27°C).

Untuk massa jenis uap pada saat menguap (278,8°C) dicari dengan persamaan berikut :

$$P = \rho RT$$

Pada P dan R konstan maka

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\frac{300}{551,8} = \frac{\rho_2}{0,0124}$$

$$\rho_2 = 0,0067 \text{ gr/ml}$$

Dari hukum kontinuitas

*massa alir minyak jarak = massa alir uap minyak jarak*

$$(\rho \times Q) \text{ minyak} = (\rho \times Q) \text{ uap minyak}$$

$$0,71 \times 0,09 = 0,0067 \times Q$$

$$Q = 9,4 \text{ ml/min}$$

Untuk nilai kecepatan pembakaran dapat diketahui dengan rumus :

$$S_L = V_u \sin \theta$$

Dimana  $\theta$  merupakan sudut antara api dan sumbu nosel.

### 4.3. Hasil Perhitungan

Dari penjelasan di atas, kita mendapatkan hasil tinggi api dan kecepatan pembakaran. Untuk memperoleh kecepatan pembakaran, kita menggunakan sudut api. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4.1 Data kecepatan pembakaran pada prosentase LPG 0%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	$V_u$ (cm/min)	$\theta$	$\sin \theta$	$S_L$ (cm/s)
1.	0	0	difusi	2,21	12	0,2	0,46
2.	0	50	13,15	14,01	11	0,19	2,67
3.	0	100	6,57	25,8	42	0,66	17,26
4.	0	150	4,38	37,6	40	0,64	24,17
5.	0	200	3,28	49,39	34	0,55	27,62
6.	0	250	2,63	61,19	34	0,55	34,21
7.	0	300	2,19	72,98	39	0,62	45,93
8.	0	350	1,87	84,78	39	0,62	53,35
9.	0	400	1,64	96,57	32	0,52	51,17
10.	0	450	1,46	108,37	35	0,57	62,16
11.	0	500	1,31	120,16	37	0,6	72,32

Tabel 4.2 Data kecepatan pembakaran pada prosentase LPG 10%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	$V_u$ (cm/min)	$\theta$	$\sin \theta$	$S_L$ (cm/s)
1.	10	0	difusi	2,92	12	0,2	0,6
2.	10	50	14,8	14,72	9	0,15	2,3
3.	10	100	7,4	26,51	7	0,12	3,23
4.	10	150	4,93	38,31	6	0,1	4
5.	10	200	3,7	50,1	36	0,58	29,45
6.	10	250	2,96	61,9	32	0,52	32,8
7.	10	300	2,46	73,69	40	0,64	47,37
8.	10	350	2,11	85,49	36	0,58	50,25
9.	10	400	1,85	97,28	34	0,55	54,4
10.	10	450	1,64	109	30	0,5	54,54
11.	10	500	1,48	120,87	29	0,48	58,6

Tabel 4.3 Data kecepatan pembakaran pada prosentase LPG 20%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	$V_u$ (cm/min)	$\theta$	$\sin \theta$	$S_L$ (cm/s)
1.	20	0	difusi	3,63	11	0,19	0,69
2.	20	50	16,44	15,42	10	0,17	2,67
3.	20	100	8,22	27,22	25	0,42	11,5
4.	20	150	5,48	39,018	38	0,61	24
5.	20	200	4,11	50,81	40	0,64	32,66
6.	20	250	3,28	62,6	31	0,51	32,24
7.	20	300	2,74	74,4	35	0,57	42,67
8.	20	350	2,34	86,19	33	0,54	46,94
9.	20	400	2,05	97,99	41	0,65	64,29
10.	20	450	1,82	109,79	44	0,69	76,26
11.	20	500	1,64	121,58	35	0,57	69,73
12.	20	550	1,49	133,38	28	0,46	62,61

Tabel 4.4 Data kecepatan pembakaran pada prosentase LPG 30%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	$V_u$ (cm/min)	$\theta$	$\sin \theta$	$S_L$ (cm/s)
1.	30	0	difusi	4,34	6	0,1	0,45
2.	30	50	18,09	16,13	8	0,13	2,24
3.	30	100	9,04	27,93	5	0,087	2,43
4.	30	150	6,03	39,72	31	0,51	20,46
5.	30	200	4,52	51,52	46	0,71	37,06
6.	30	250	3,61	63,31	42	0,66	42,36
7.	30	300	3,01	75,11	42	0,66	50,25
8.	30	350	2,58	86,9	44	0,69	60,37
9.	30	400	2,26	98,7	46	0,71	71
10.	30	450	2,01	110,49	35	0,57	63,37
11.	30	500	1,80	122,29	35	0,57	70,14
12.	30	550	1,64	134,08	35	0,57	76,9
13.	30	600	1,5	145,88	29	0,48	70,72

Tabel 4.5 Data kecepatan pembakaran pada prosentase LPG 40%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	<i>Equivalence ratio</i> ( $\phi$ )	$V_u$ (cm/min)	$\theta$	$\sin \theta$	$S_L$ (cm/s)
1.	40	0	difusi	5,04	11	0,19	0,96
2.	40	50	19,73	16,84	9	0,15	2,63
3.	40	100	9,86	28,63	33	0,54	15,59
4.	40	150	6,57	40,43	42	0,66	27,05
5.	40	200	4,93	52,22	42	0,66	34,94
6.	40	250	3,94	64,02	47	0,73	46,82
7.	40	300	3,28	75,81	34	0,55	42,39
8.	40	350	2,81	87,61	44	0,69	60,86
9.	40	400	2,46	99,41	42	0,66	66,51
10.	40	450	2,19	111,2	37	0,6	66,92
11.	40	500	1,97	123	31	0,51	63,35
12.	40	550	1,79	134,79	29	0,48	65,35
13.	40	600	1,64	146,59	31	0,51	75,5
14.	40	650	1,51	158,38	35	0,57	90,84

Sedangkan tinggi api, kita peroleh dari dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6 sampai Tabel 4.10.

Tabel 4.6 Data tinggi api pada prosentase LPG 0%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	<i>Equivalence ratio</i> ( $\phi$ )	Tinggi api (mm)
1.	0	0	difusi	16,837
2.	0	50	13,15	20,06
3.	0	100	6,57	17,6
4.	0	150	4,38	16,06
5.	0	200	3,28	14,83
6.	0	250	2,63	12,68
7.	0	300	2,19	11,91
8.	0	350	1,87	11,6
9.	0	400	1,64	11,6
10.	0	450	1,46	10,07
11.	0	500	1,31	9,53

Tabel 4.7 Data tinggi api pada prosentase LPG 10%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	Tinggi api (mm)
1.	10	0	difusi	19,75
2.	10	50	14,8	25,52
3.	10	100	7,4	25,03
4.	10	150	4,93	27,85
5.	10	200	3,7	23,31
6.	10	250	2,96	24,29
7.	10	300	2,46	21,47
8.	10	350	2,11	19,26
9.	10	400	1,85	17,3
10.	10	450	1,64	14,72
11.	10	500	1,48	10,79

Tabel 4.8 Data tinggi api pada prosentase LPG 20%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	Tinggi api (mm)
1.	20	0	difusi	20,95
2.	20	50	16,44	20,95
3.	20	100	8,22	23,11
4.	20	150	5,48	20,76
5.	20	200	4,11	21,93
6.	20	250	3,28	22,32
7.	20	300	2,74	15,08
8.	20	350	2,34	13,51
9.	20	400	2,05	11,75
10.	20	450	1,82	10,38
11.	20	500	1,64	8,03
12.	20	550	1,49	8,42

Tabel 4.9 Data tinggi api pada prosentase LPG 30%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	Tinggi api (mm)
1.	30	0	difusi	21,15
2.	30	50	18,09	19,38
3.	30	100	9,04	18,01
4.	30	150	6,03	20,17
5.	30	200	4,52	17,23
6.	30	250	3,61	14,29
7.	30	300	3,01	12,92
8.	30	350	2,58	10,57
9.	30	400	2,26	11,16
10.	30	450	2,01	7,63
11.	30	500	1,80	7,05
12.	30	550	1,64	9,2
13.	30	600	1,5	8,03

Tabel 4.10 Data tinggi api pada prosentase LPG 40%

No.	Prosentase LPG (%)	Debit udara (ml/min)	<i>Equivalence ratio</i> ( $\phi$ )	Tinggi api (mm)
1.	40	0	difusi	17,98
2.	40	50	19,73	16,75
3.	40	100	9,86	15,9
4.	40	150	6,57	16,39
5.	40	200	4,93	16,51
6.	40	250	3,94	16,39
7.	40	300	3,28	13,33
8.	40	350	2,81	13,33
9.	40	400	2,46	12,11
10.	40	450	2,19	12,59
11.	40	500	1,97	13,82
12.	40	550	1,79	11,86
13.	40	600	1,64	11,25
14.	40	650	1,51	10,39

Untuk temperatur api, kita peroleh dari pengambilan data. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.15.

Tabel 4.11 Data temperatur api pada prosentase LPG 0%

No.	Prosentase LPG (%)	<i>Equivalence ratio</i> ( $\phi$ )	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)
1.	0	difusi	521	461	821
2.	0	13,15	542	475	856
3.	0	6,57	584	480	824
4.	0	4,38	624	485	848
5.	0	3,28	705	499	925
6.	0	2,63	717	691	889
7.	0	2,19	723	683	928
8.	0	1,87	748	707	918
9.	0	1,64	761	736	942
10.	0	1,46	764	752	961
11.	0	1,31	786	761	989

Tabel 4.12 Data temperatur api pada prosentase LPG 10%

No.	Prosentase LPG (%)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)
1.	10	difusi	534	469	838
2.	10	14,8	564	536	913
3.	10	7,4	581	686	923
4.	10	4,93	632	746	954
5.	10	3,7	716	750	935
6.	10	2,96	725	648	975
7.	10	2,46	749	677	950
8.	10	2,11	765	697	991
9.	10	1,85	784	755	942
10.	10	1,64	816	769	989
11.	10	1,48	823	772	1011

Tabel 4.13 Data temperatur api pada prosentase LPG 20%

No.	Prosentase LPG (%)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)
1.	20	difusi	616	530	847
2.	20	16,44	728	618	826
3.	20	8,22	860	782	914
4.	20	5,48	666	660	846
5.	20	4,11	767	766	895
6.	20	3,28	822	727	930
7.	20	2,74	818	752	972
8.	20	2,34	783	768	986
9.	20	2,05	714	728	963
10.	20	1,82	833	744	994
11.	20	1,64	866	782	1020
12.	20	1,49	884	794	1037

Tabel 4.14 Data temperatur api pada prosentase LPG 30%

No.	Prosentase LPG (%)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)
1.	30	difusi	695	724	864
2.	30	18,09	862	767	885
3.	30	9,04	843	743	946
4.	30	6,03	821	741	936
5.	30	4,52	840	734	902
6.	30	3,61	813	713	970
7.	30	3,01	867	768	956
8.	30	2,58	894	814	994
9.	30	2,26	815	799	978
10.	30	2,01	912	735	1013
11.	30	1,80	881	789	1051
12.	30	1,64	913	812	1041
13.	30	1,5	917	837	1056

Tabel 4.15 Data temperatur api pada prosentase LPG 40%

No.	Prosentase LPG (%)	Equivalence ratio ( $\phi$ )	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)
1.	40	difusi	756	735	879
2.	40	19,73	784	804	900
3.	40	9,86	815	813	925
4.	40	6,57	826	823	938
5.	40	4,93	862	826	977
6.	40	3,94	898	854	976
7.	40	3,28	910	863	998
8.	40	2,81	922	874	1027
9.	40	2,46	931	883	1029
10.	40	2,19	935	880	1033
11.	40	1,97	957	898	1037
12.	40	1,79	973	906	1042
13.	40	1,64	982	1048	
14.	40	1,51	998	932	1074

#### 4.4. Visualisasi Api

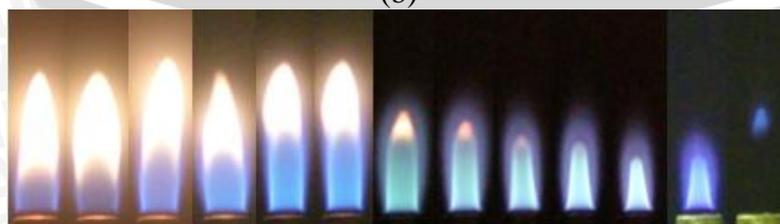
Hasil rekaman visualisasi api laminar dapat membentuk pola nyala api seperti Gambar 4.4.



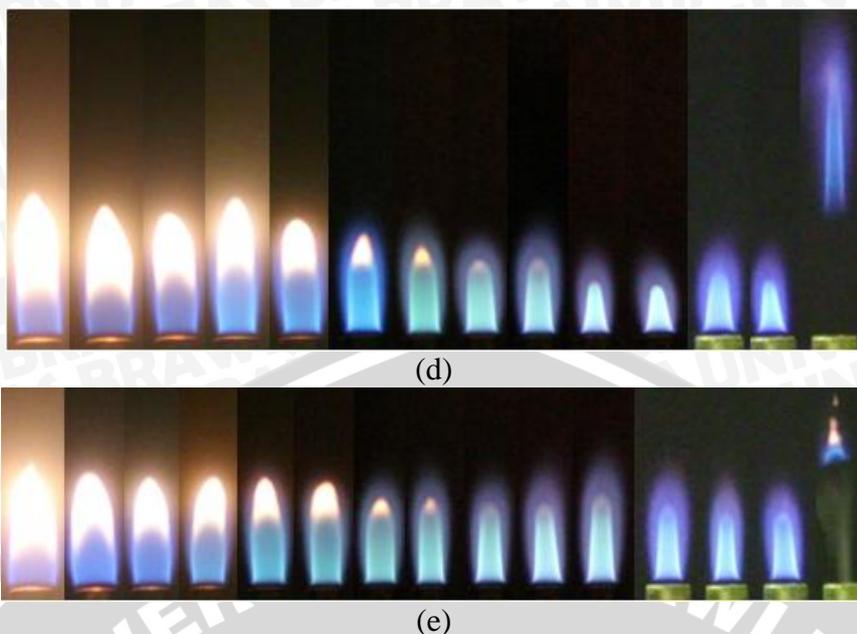
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.4 Visualisasi api pada prosentase LPG (a) 0%; (b) 10%; (c) 20%; (d) 30% dan (e) 40%.

*Equivalence ratio* untuk api pada Gambar 4.4a berturut-turut adalah api difusi, 13.71, 6.58, 4.39, 3.29, 2.63, 2.19, 1.88, 1.64, 1.46, 1.31 dan api mengalami *blow off* pada  $\phi=1.19$ . Pada Gambar 4.4b, *equivalence ratio* nya secara berturut-turut adalah api difusi, 14.8, 7.4, 4.93, 3.7, 2.96, 2.46, 2.11, 1.85, 1.64, 1.48 dan api mengalami *blow off* pada  $\phi=1.34$ . Pada Gambar 4.4c, *equivalence ratio* api secara berturut-turut adalah api difusi, 16.44, 8.22, 5.48, 4.11, 3.28, 2.74, 2.34, 2.05, 1.82, 1.64, 1.49 dan api mengalami *blow off* pada  $\phi=1.37$ . Pada Gambar 4.4d, *equivalence ratio* api secara berturut-turut adalah api difusi, 18.09, 9.04, 6.03, 4.52, 3.61, 3.01, 2.58, 2.26, 2.01, 1.8, 1.64, 1.5 dan api mengalami *blow off* pada  $\phi=1.39$ . Pada Gambar 4.4e, *equivalence ratio* api secara berturut-turut adalah api difusi, 19.73, 9.86, 6.57, 4.93, 3.94, 3.28, 2.81, 2.46, 2.19, 1.97, 1.79, 1.64, 1.51 dan api mengalami *blow off* pada  $\phi=1.4$ . Pada pernyataan di atas terdapat nilai *equivalence ratio* lebih dari 2. Hal ini disebabkan pada perhitungan nilai *equivalence ratio*, udara yang digunakan sebagai dasar perhitungan hanya udara yang disuplai dari kompresor ke *burner*. Dalam kenyataannya, terdapat udara dari atmosfer yang berdifusi ke daerah pembakaran dan bereaksi dengan bahan bakar sebagai oksidator. Udara dari lingkungan ini tidak masuk dalam perhitungan *equivalence ratio*, sehingga didapatkan nilai *equivalence ratio* yang sangat tinggi. Semakin kecil debit udara yang disuplai dari kompresor berarti semakin dominan dibandingkan dengan proses pembakaran *premixed*. Proses pembakaran difusi saja terjadi ketika suplai udara dari kompresor sebesar 0 ml/min (Gambar 4.4a-4.4e paling kiri).

Selain itu data hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *equivalence ratio* terkecil dimana api stabil di mulut *burner* adalah lebih besar dari satu. Hal ini menyimpang dari hasil penelitian pada umumnya, dimana api bisa stabil pada  $\phi < 1$  (sekitar 0,8). Hal tersebut dimungkinkan karena adanya kesalahan dalam menentukan volum minyak jarak yang menguap. Jumlah minyak jarak yang menguap sebenarnya lebih kecil dari 5 ml sebagaimana yang diamati dalam penelitian, karena adanya kesalahan dalam pengukuran dan adanya gelembung uap minyak jarak yang terdapat dalam minyak jarak sehingga perhitungan massa yang menguap dan *equivalence ratio* lebih besar dari sebenarnya.

Pada pembakaran difusi terdapat warna biru dan warna kuning. Warna kuning menandakan masih ada bahan bakar yang terbakar secara difusi dan terjadi pembentukan jelaga. Hal ini juga menandakan pembakaran masih dalam campuran kaya bahan bakar. Pada bagian tengah api biru warnanya gelap, menunjukkan reaktan masih berada dalam *preheat zone* atau zona pemanasan awal, tidak ada pembakaran dan merupakan daerah kaya bahan bakar.

Pada Gambar 4.4a-4.4e menunjukkan semakin besar debit udara pada debit bahan bakar yang konstan, bagian api yang berwarna kuning semakin sedikit dan bagian api yang berwarna biru semakin banyak. Hal ini dikarenakan kondisi pembakaran hampir mendekati pembakaran stoikiometri ( $\phi=1$ ) dan bahan bakar hampir terbakar seluruhnya secara *premixed*. Semakin besar prosentase LPG, bagian api yang berwarna kuning semakin sedikit, api yang berwarna kuning tidak tampak pada nilai *equivalence ratio* yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan LPG telah bercampur dengan uap minyak jarak pagar sehingga pembakarannya dipengaruhi oleh sebagian pembakaran LPG. Pada Gambar 4.4b-4.4e terdapat warna api hijau. Hal ini menandakan kondisi masih dalam campuran kaya bahan bakar.

Pada *equivalence ratio* tertentu tampak 2 bagian kerucut api. Kerucut api bagian dalam berwarna biru terang merupakan api *premixed*, sedangkan kerucut api bagian luar berwarna biru tipis merupakan api difusi.

Pada Gambar 4.4a-4.4e juga terlihat bahwa semakin besar prosentase LPG, mula-mula tinggi api bertambah (ditunjukkan Gambar 4.4b) kemudian berkurang (ditunjukkan pada Gambar 4.4c-4.4e). Hal ini dikarenakan pada Gambar 4.4b, LPG belum tercampur seluruhnya dengan uap minyak jarak pagar dan prosentase LPG masih sedikit sehingga pembakaran masih didominasi oleh pembakaran dari minyak jarak pagar, sedangkan pada Gambar 4.4c-4.4e prosentase LPG telah cukup untuk bercampur

dengan uap minyak jarak pagar sehingga pembakarannya sebagian didominasi oleh pembakaran LPG.

Gambar 4.4a-4.4e menunjukkan bahwa semakin besar prosentase LPG, semakin besar pula nilai *equivalence ratio* dimana api mengalami *blow off*. Api mengalami *blow off* berturut-turut pada *equivalence ratio* sebesar 1.19, 1.34, 1.37, 1.39 dan 1.4 untuk reaktan dengan prosentase LPG sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40%. Hal ini dikarenakan kecepatan reaktannya lebih besar daripada kecepatan pembakarannya.



(a)



(b)



(c)



(d)

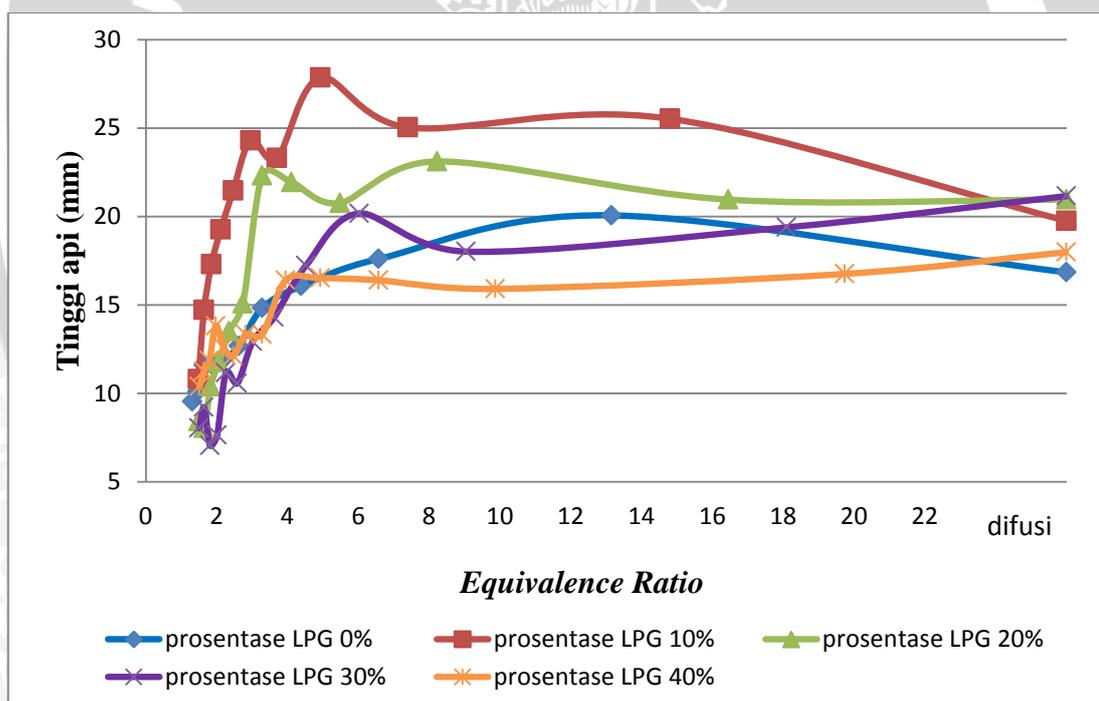


(e)

Gambar 4.5 Visualisasi api pada pembakaran difusi,  $\phi=1.64$  dan saat *blow off* pada prosentase LPG (a) 0%; (b) 10%; (c) 20%; (d) 30% dan (e) 40%.

Pada Gambar 4.5a-4.5e diketahui bahwa pada pembakaran difusi, dimensi api hampir sama dan warna api juga sama. Pada  $\phi=1.64$  dimensi api hampir sama, akan tetapi pada prosentase LPG 0% dan 10% warna api berbeda dengan prosentase LPG 20% sampai 40%. Pada prosentase LPG 0% dan 10% api berwarna biru dan sedikit kuning, sedangkan pada prosentase LPG 20% sampai 40% api berwarna biru terang. Hal ini dikarenakan pada prosentase 0%-10%, prosentase LPG masih sedikit sehingga pembakaran masih didominasi oleh pembakaran dari minyak jarak pagar, sedangkan pada prosentase 20%-40%, prosentase LPG telah cukup untuk bercampur dengan uap minyak jarak pagar sehingga pembakarannya tidak lagi didominasi oleh minyak jarak pagar.

#### 4.5. Hubungan *Equivalence Ratio* Terhadap Tinggi Api Pada Berbagai Prosentase LPG.



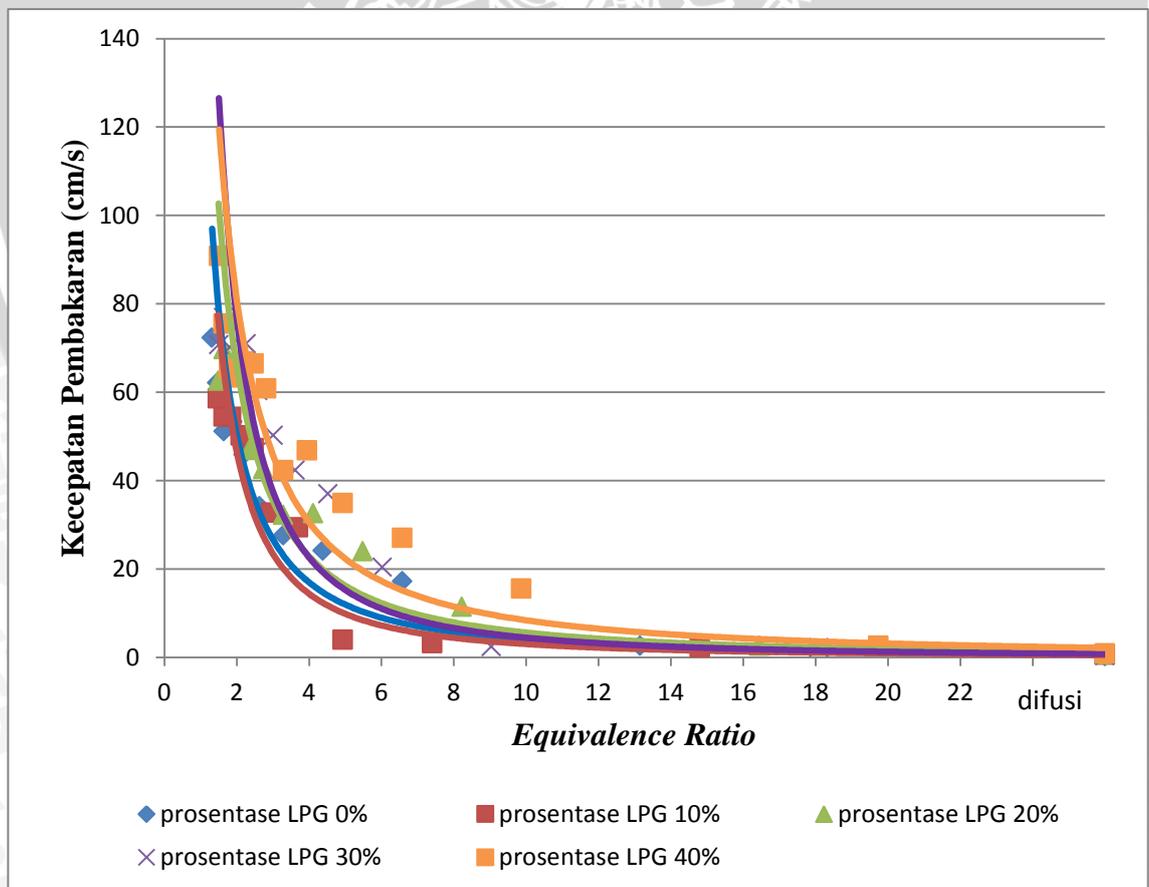
Gambar 4.6 Hubungan *equivalence ratio* terhadap tinggi api pada berbagai prosentase LPG.

Gambar 4.6 merupakan grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap tinggi api pada berbagai prosentase LPG dimana sumbu x menyatakan *equivalence ratio* dan sumbu y menyatakan tinggi api. Dari Gambar 4.6 didapatkan bahwa semakin besar *equivalence ratio* maka tinggi api akan semakin tinggi. Akan tetapi ada beberapa titik dimana tinggi api tersebut tidak stabil dengan ditandai naik turunnya grafik. Hal ini

mungkin dikarenakan ada uap minyak jarak pagar yang mengembun sehingga kecepatan reaktannya tidak menentu. Pada Gambar 4.6 juga terlihat bahwa sebelum *blow off* nilai *equivalence ratio* masih lebih dari 1. Hal ini disebabkan adanya gelembung yang bergerak dari bawah ke atas sehingga pada saat pembacaan skala penurunan volum minyak jarak tidak benar-benar 5 ml seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.4.

Dari Gambar 4.6 didapatkan dengan penambahan prosentase LPG sebesar 10% dan 20% tinggi api akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan adanya penambahan kecepatan aliran reaktan dan LPG masih belum sempat bercampur secara sempurna dengan minyak jarak pagar. Dengan penambahan prosentase LPG 30% dan 40%, tinggi api akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan pada proses pembakaran, prosentase LPG telah cukup untuk bercampur dengan minyak jarak pagar sehingga pembakarannya tidak lagi didominasi minyak jarak pagar.

#### 4.6. Hubungan *Equivalence Ratio* Terhadap Kecepatan Pembakaran Pada Berbagai Prosentase LPG.

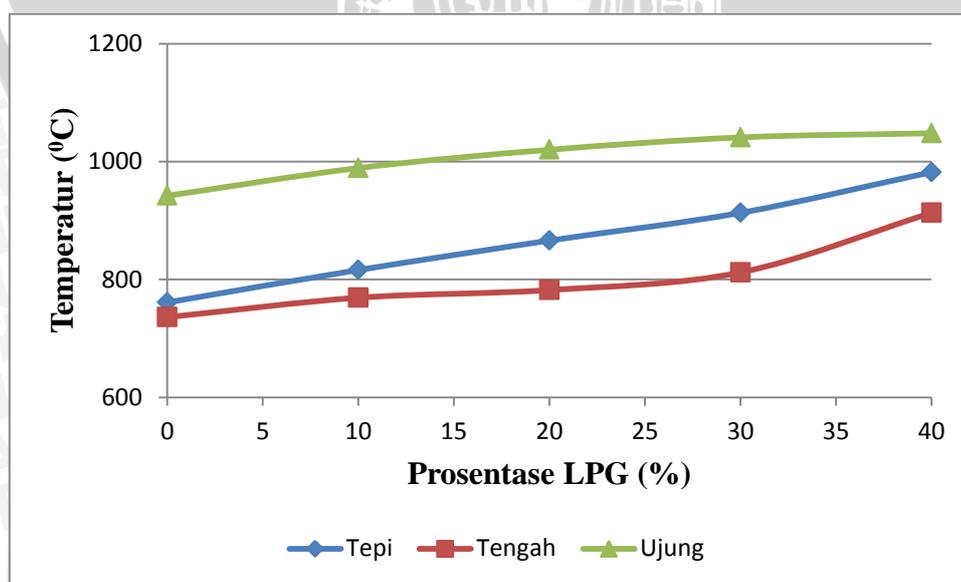


Gambar 4.7 Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran pada berbagai prosentase LPG.

Gambar 4.7 merupakan grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran pada berbagai prosentase LPG dimana sumbu x menyatakan *equivalence ratio* dan sumbu y menyatakan kecepatan pembakaran. Dari Gambar 4.7 didapatkan bahwa semakin besar *equivalence ratio* maka kecepatan pembakarannya akan turun. Hal ini disebabkan karena semakin sedikitnya asupan udara untuk membakar bahan bakar pada kondisi kaya sehingga sudut api cenderung lebih kecil dan kecepatan reaktannya rendah. Pada Gambar 4.7 juga terlihat bahwa sebelum *blow off* nilai *equivalence ratio* masih lebih dari 1. Hal ini disebabkan adanya gelembung yang bergerak dari bawah ke atas sehingga pada saat pembacaan skala penurunan volum minyak jarak tidak benar-benar 5 ml seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.4.

Dari Gambar 4.7 juga didapatkan bahwa semakin besar prosentase LPG pada berbagai *equivalence ratio* maka kecepatan pembakarannya juga akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan prosentase LPG yang semakin besar akan mempengaruhi kecepatan reaktannya dan sudut api cenderung semakin lebar sehingga kecepatan pembakarannya juga semakin meningkat. Akan tetapi pada prosentase LPG 0% memiliki kecepatan pembakaran yang lebih tinggi dari debit LPG 10%. Hal ini disebabkan karena prosentase LPG masih sedikit dan belum tercampur seluruhnya dengan minyak jarak pagar sehingga pembakarannya masih didominasi oleh minyak jarak pagar.

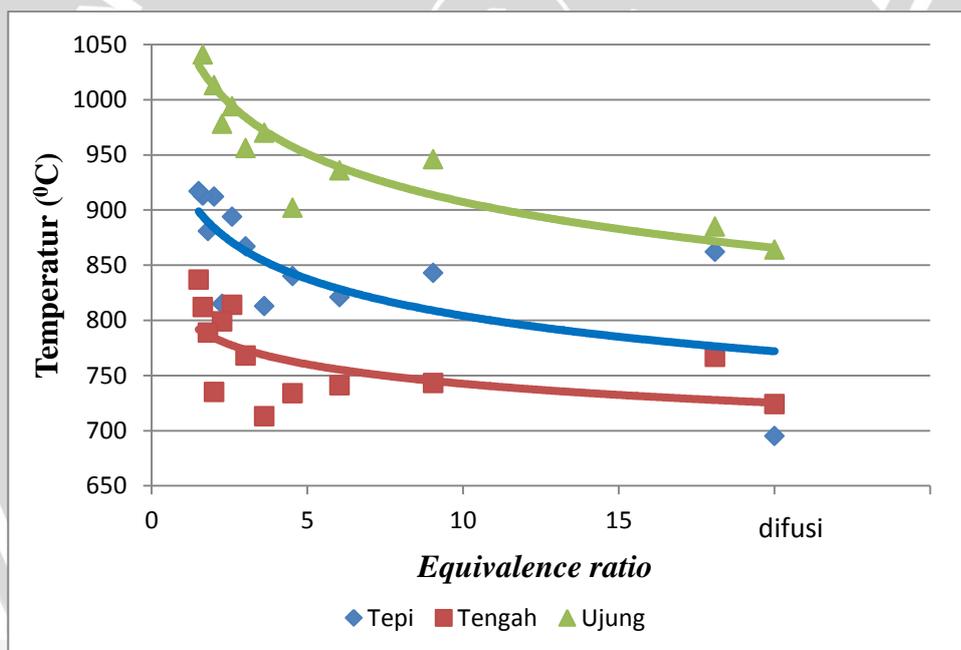
#### 4.7. Hubungan Prosentase LPG Terhadap Temperatur Api.



Gambar 4.8 Hubungan prosentase LPG terhadap temperatur api pada  $\Phi=1.64$

Gambar 4.8 adalah grafik hubungan prosentase LPG terhadap temperatur api pada  $\Phi=1.64$  dimana sumbu x menyatakan prosentase LPG dan sumbu y menyatakan temperatur api. Dari Gambar 4.8 didapatkan bahwa semakin besar prosentase LPG maka semakin besar pula temperatur api. Hal ini disebabkan karena semakin besar prosentase LPG maka kalor yang dihasilkan akan semakin besar pula sehingga temperaturnya akan meningkat pula.

Pada Gambar 4.8 juga didapatkan temperatur paling rendah berada pada tengah api. Tengah api merupakan daerah zona pemanasan awal sehingga temperaturnya lebih rendah daripada tepi api dan ujung api, dalam hal ini tepi api adalah zona reaksi dan ujung api merupakan daerah dimana bahan bakar terbakar seluruhnya sehingga temperaturnya paling tinggi. Sedangkan hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur api ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9. Hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur api pada prosentase LPG 30%.

Gambar 4.9 adalah grafik hubungan antara *equivalence ratio* terhadap temperatur api pada prosentase LPG 30% dimana sumbu x menyatakan *equivalence ratio* dan sumbu y menyatakan temperatur api. Dari Gambar 4.9 didapatkan bahwa semakin besar *equivalence ratio* maka semakin menurun temperatur apinya. Hal ini dikarenakan semakin banyak udara hingga mendekati stoikiometri maka semakin banyak bahan bakar yang terbakar sehingga menghasilkan kalor yang tinggi.

Dari Gambar 4.9 juga didapatkan bahwa temperatur pada tepi api, tengah api dan ujung api memiliki temperatur yang berbeda. Hal ini dikarenakan pada tengah api adalah daerah zona pemanasan awal sehingga temperaturnya lebih rendah daripada zona reaksi dan dalam hal ini zona reaksi yaitu tepi api. Ujung api adalah daerah dimana bahan bakar telah terbakar seluruhnya sehingga temperaturnya paling tinggi.

