

BAB IV

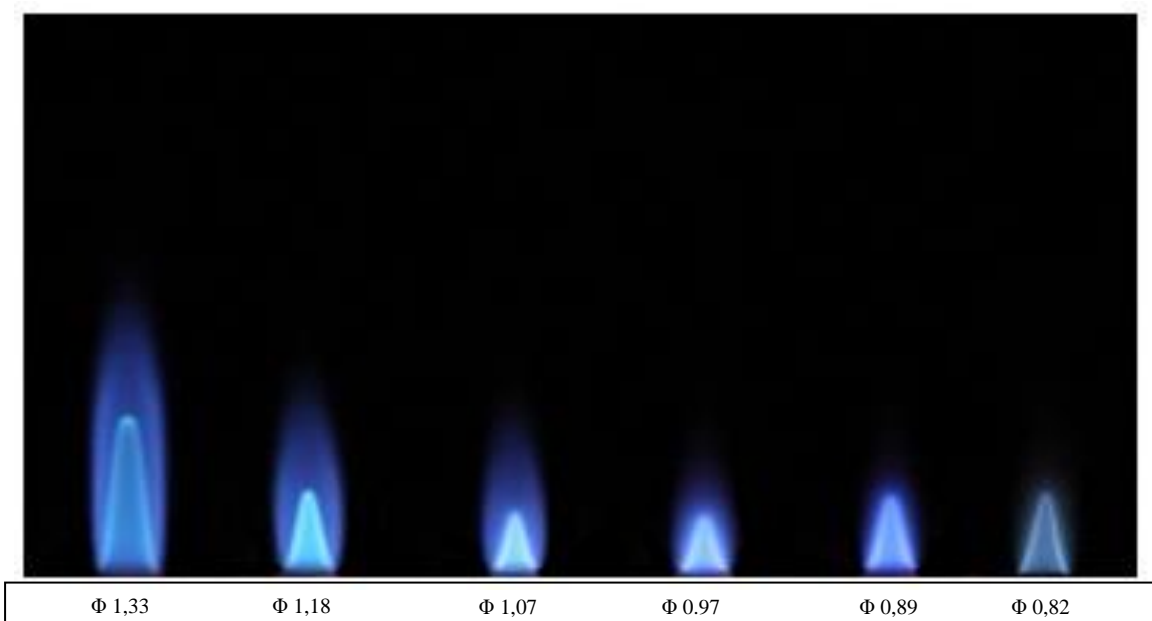
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data yang sudah didapatkan dari penelitian, maka data tersebut dapat digunakan untuk menjawab bab sebelumnya mengenai rumusan masalah. Dari penelitian tersebut data yang didapat berupa visualisasi api dan temperatur api. Dimana dari data visualisasi tersebut penulis dapat melakukan pengolahan agar mendapatkan hasil data yaitu tinggi api dan sudut api, sehingga akan diperoleh kecepatan api laminarnya.

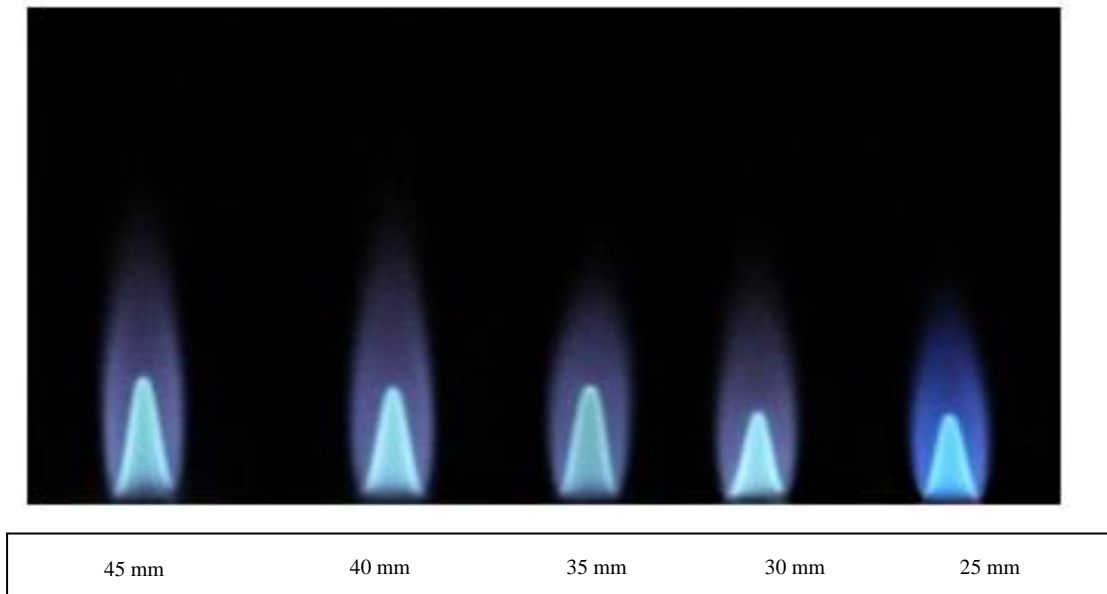
Pengambilan data yang dilakukan pada suhu ruang dan mencari kondisi api yang paling stabil. Pengolahan data akan membandingkan antara pengaruh pemanasan *ring* dan pengaruh dari tiap *equivalence ratio*.

4.1 Hasil Visualisasi Nyala Api

Berikut ini visualisasi pembakaran *premixed* gas metana pada *bunsen burner* dengan variasi diameter *ring* yang dipanaskan. Gambar disusun secara urut dimulai dari *equivalence ratio* yang paling besar sampai yang paling kecil. Dari data tersebut akan dibandingkan perbedaan secara visual dari masing-masing variabel.



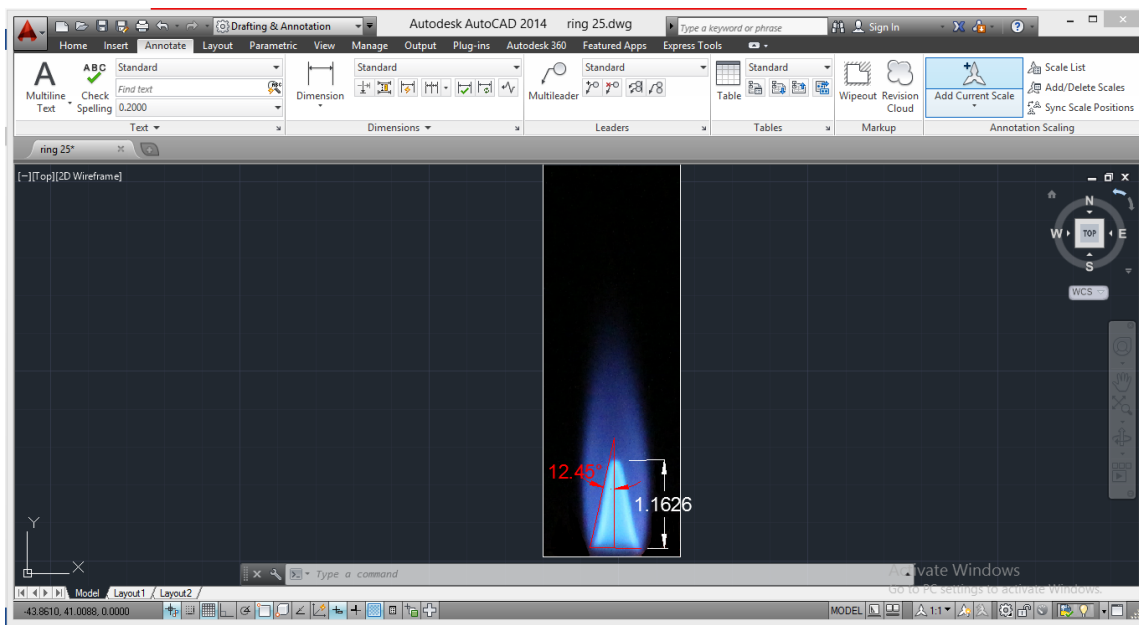
Gambar 4.1 Visualisasi Api Variasi Diameter Ring 25 mm pada tiap *Equivalence ratio*



Gambar 4.2 Visualisasi Api *Equivalence ratio* 1,18 Setiap Variasi Diameter Ring

Pada gambar 4.1 dapat dilihat sampel data hasil visualisasi nyala api setiap *equivalence ratio* pada diameter ring 25 mm sedangkan pada gambar 4.2 menunjukkan nyala api pada *equivalence ratio* 1,18 setiap variasi diameter ring.

4.2 Contoh Perhitungan dan Pengolahan Data Visual

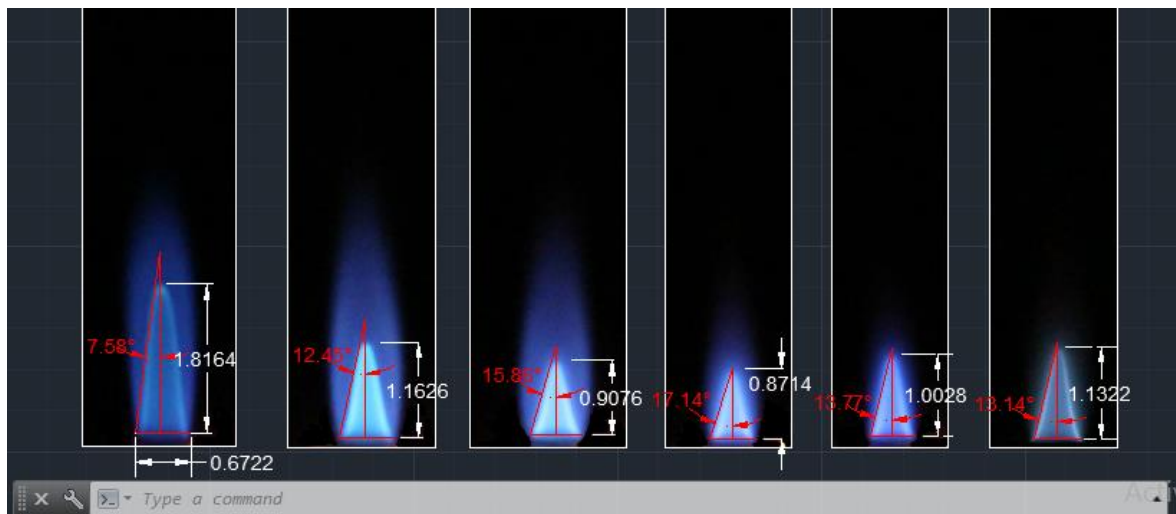


Gambar 4.3 Contoh Pengolahan Sudut Api Menggunakan *Autocad*

Pada gambar 4.3 menunjukkan bagaimana memperoleh nilai sudut api dari data visual yang sudah didapat. Sebelum data diolah pada *Autocad* 2014 data disalin terlebih dahulu pada *Microsoft Word*, dimana proses penempelan pada jendela *Microsoft Word* berada pada

kondisi yang sama. Gambar kemudian di *Crop* atau di potong tanpa merubah ukuran dari apinya, sehingga didapatkan gambar yang lebih kecil dari ukuran aslinya dan mudah untuk diolah tanpa mengurangi ukuran api yang sudah memiliki perbandingan yang sama saat proses penyalinan dan penempelan. Data disalin kembali dari *Microsoft Word* ke *Autocad*. Dengan demikian perbandingan ukuran api setiap data dapat dipastikan tidak terdapat perubahan sedikitpun.

Untuk mendapatkan nilai sudut api maka dilakukan perbesaran layar pada jendela kerja *Autocad*, kemudian data didapat setelah menarik garis tegak lurus dengan mulut *burner* untuk mendapatkan tinggi api, lalu ditarik garis dari ujung api ke ujung mulut burner untuk mendapatkan sudut api yang terbentuk. Kemudian dengan *Angular Dimention* dan diatur nilai kepresisiannya dua angka dibelakang koma, tekan garis *miring* dan garis tegak lurus tersebut untuk menampilkan nilai sudutnya.



Gambar 4.4 Contoh Pengolahan Tinggi Api Menggunakan *Autocad*

Langkah awal untuk mencari tinggi api kita menggunakan *Ribbon Dimention (linear)* dengan ukuran dimensi milimeter. Setelah itu menarik garis tegak lurus sumbu x tepat dari ujung atas api linear hingga ujung bawah api. Kemudian untuk menjadi pembanding atau menentukan nilai tinggi api yaitu dengan membuat permisalan:

- Diketahui : - Tinggi api pada gambar 1,8164 mm
 - Lebar api pada gambar 0,6722 mm
 - Lebar api aktual 12 mm (sesuai diameter keseluruhan burner)
- Ditanya : Tinggi api aktual
- Dijawab : $0,6722 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$
 $1,8164 \text{ mm} = X \text{ mm}$

$$0,6722 X = 21,7968 \text{ mm}$$

$$X = 32,426 \text{ mm}$$

Maka dari perhitungan diatas didapatkan tinggi aktual dari api linear adalah 32,426 mm atau sama dengan 3,2426 cm.

Berikut contoh perhitungan kecepatan aliran reaktan pada *equivalence ratio* 1,33 sesuai dengan persamaan (2-4). Data aktual nilai debit pada *flowmeter* yang digunakan terlampir.

Diketahui : - $Q_{air} = 4 \text{ NL/min}$
 - $Q_{fuel} = 0,56 \text{ L/min}$
 - $Q_{total} = 4 + 0,56 \text{ NL/min} = 4,56 \text{ NL.min} = 76 \text{ cm}^3/\text{min}$
 - Luas penampang *burner* (A) = $0,79 \text{ cm}^2$

Ditanya : Kecepatan aliran reaktan (v)?

Dijawab : $v = \frac{Q}{A} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$
 $v = \frac{76}{0,79} \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$
 $v = 96,20 \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)$

Jadi nilai kecepatan aliran reaktan tersebut adalah 96,20 cm/s.

Perhitungan bilangan *Reynolds* sesuai dengan persamaan 2-7. Sebagai contoh perhitungannya dari *equivalence ratio* 1,22 pada dengan nilai kecepatan diatas adalah sebagai berikut;

Diketahui : - v = 96,20 L cm/s
 - $\rho_{metana} = 0,656 \text{ g/l} = 0,656 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
 - $\rho_{udara} = 11,839 \text{ g/l} = 1,184 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
 - $\rho_{mix} = 1,125 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
 - d = 1 cm
 - viskositas metana = 0.01118 cp atau $\mu = 0.0001118 \text{ g/cm s}$
 - viskositas udara = 0,0186598 cp atau $\mu = 0,0001866 \text{ g/cm s}$
 - viskositas *mix* = 0,01782 cp atau $\mu = 0,0001782 \text{ g/cm s}$

Ditanya : Angka *Reynolds* (Re)?

Dijawab : $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$
 $Re = \frac{0,001125 \times 96,2 \times 1}{0,0001782}$
 $Re = 607,32$

Jadi nilai angka *Reynolds* aliran reaktan tersebut adalah 607,32.

Sesuai dengan persamaan 2-3 dapat dihitung nilai kecepatan api laminar. Sebagai contoh pada *bunsen burner* dengan diameter ring 25 mm pada *equivalence ratio* 1.33 sehingga;

Diketahui : - $\alpha = 7,58^\circ$

- $\sin \alpha = 0,132$

- $v = 96,2 \text{ cm/s}$

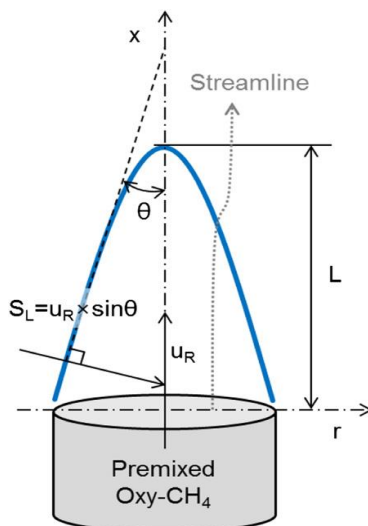
Ditanya : Kecepatan api laminar (S_L)?

Dijawab : $S_L = v \sin \alpha \text{ (cm/s)}$

$S_L = 96,2 \times 0,132 \text{ (cm/s)}$

$S_L = 12,7 \text{ (cm/s)}$

Jadi nilai kecepatan api laminar dari variable tersebut adalah 12,7 cm/s.



Gambar 4.5 Cara Menentukan Kecepatan Api Laminar

Sumber : Jeongseog Oh, Dongsoon Noh (2012)

Pada gambar diatas menunjukkan nyala api yang stabil untuk menghitung kecepatan api laminar pada penelitian ini. Metode pengukuran sudut berdasarkan area rata-rata api laminar ke permukaan. Jika campuran reaktan terbakar seluruhnya di zona reaksi, maka laju alir massa yang masuk reaktan sama dengan hasil produksi gas yang terbakar. Pada gambar diatas penentuan sudut api adalah dengan mengambil setengah sisi dari api laminar terhadap puncak api laminar.

4.3 Data Karakteristik Nyala Api

Data karakteristik nyala api akan diolah guna membandingkan pengaruh dari setiap variasi diameter *ring*. Data yang sudah diolah dengan aplikasi grafis terlampir. Dari data-data visual tersebut dapat di buatkan sebuah tabel sebagai berikut;

Tabel 4.1

Tabel Data Variasi Diameter *Ring Bunsen burner*

<i>Equivalence ratio</i>	Diameter <i>ring</i>	$\alpha(^{\circ})$	v (cm/s)
1,33	<i>Ring</i> 25 mm	7,58	96,76
	<i>Ring</i> 30 mm	7,55	96,76
	<i>Ring</i> 35 mm	7,48	96,76
	<i>Ring</i> 40 mm	6,05	96,76
	<i>Ring</i> 45 mm	4,78	96,76
1,18	<i>Ring</i> 25 mm	12,45	107,37
	<i>Ring</i> 30 mm	12,2	107,37
	<i>Ring</i> 35 mm	11,34	107,37
	<i>Ring</i> 40 mm	10,45	107,37
	<i>Ring</i> 45 mm	9,21	107,37
1,07	<i>Ring</i> 25 mm	15,86	117,98
	<i>Ring</i> 30 mm	14,23	117,98
	<i>Ring</i> 35 mm	13,7	117,98
	<i>Ring</i> 40 mm	13,12	117,98
	<i>Ring</i> 45 mm	13,1	117,98
0,97	<i>Ring</i> 25 mm	17,14	128,6
	<i>Ring</i> 30 mm	15,56	128,6
	<i>Ring</i> 35 mm	15,32	128,6
	<i>Ring</i> 40 mm	15,26	128,6
	<i>Ring</i> 45 mm	14,25	128,6
0,89	<i>Ring</i> 25 mm	13,77	139,2
	<i>Ring</i> 30 mm	13,16	139,2
	<i>Ring</i> 35 mm	12,74	139,2
	<i>Ring</i> 40 mm	12,1	139,2
	<i>Ring</i> 45 mm	11,72	139,2
0,82	<i>Ring</i> 25 mm	13,14	149,8
	<i>Ring</i> 30 mm	12,62	149,8
	<i>Ring</i> 35 mm	12,23	149,8
	<i>Ring</i> 40 mm	11,66	149,8
	<i>Ring</i> 45 mm	11,01	149,8

4.3.1 Hasil Perhitungan Nyala Api

Data-data yang diperoleh dalam penelitian kemudian dilakukan perhitungan. Sehingga dari hasil perhitungan tersebut dibuatlah tabel sebagai berikut;

Tabel 4.2

Tabel Hasil Perhitungan Nyala Api Laminar

Variasi	Parameter	Φ 1,33	Φ 1,18	Φ 1,07	Φ 0,97	Φ 0,89	Φ 0,82
25 mm	<i>Ring</i> T _{ujung} (°C)	1164	1185	1196	1218	1174	1169
	T _{tengah} (°C)	1134	1157	1173	1190	1161	1155
	S _L (cm/s)	11,65	21,13	29,43	34,6	30,25	31,09
	Tinggi L (cm)	3,242	2,075	1,62	1,555	1,79	2,021
30 mm	<i>Ring</i> T _{ujung} (°C)	1155	1170	1176	1200	1163	1156
	T _{tengah} (°C)	1125	1145	1157	1172	1149	1144
	S _L (cm/s)	11,61	20,71	26,48	31,49	28,93	29,88
	Tinggi L (cm)	3,32	2,26	1,733	1,561	1,827	2,07
35 mm	<i>Ring</i> T _{ujung} (°C)	1151	1162	1170	1190	1157	1151
	T _{tengah} (°C)	1121	1132	1152	1166	1144	1132
	S _L (cm/s)	11,5	19,27	25,51	31,02	28,02	28,97
	Tinggi L (cm)	3,46	2,51	1,853	1,635	1,914	2,144
40 mm	<i>Ring</i> T _{ujung} (°C)	1138	1150	1160	1181	1151	1139
	T _{tengah} (°C)	1107	1128	1145	1160	1134	1120
	S _L (cm/s)	9,31	17,78	24,45	30,9	26,64	27,64
	Tinggi L (cm)	3,665	2,752	1,857	1,641	1,931	2,027
45 mm	<i>Ring</i> T _{ujung} (°C)	1131	1142	1152	1172	1144	1133
	T _{tengah} (°C)	1101	1119	1138	1149	1130	1114
	S _L (cm/s)	7,36	15,69	24,41	28,9	25,81	26,12
	Tinggi L (cm)	3,73	2,791	1,894	1,675	1,997	2,052

4.3.2 Perhitungan Angka Reynolds

Nilai angka *Reynolds* dari reaktan yang melalui *bunsen burner* dari semua variasi adalah sama. Hal ini dikarenakan *bunsen burner* yang digunakan adalah sama. Sesuai data yang telah dihitung dapat dibuatkan tabel sebagai berikut;

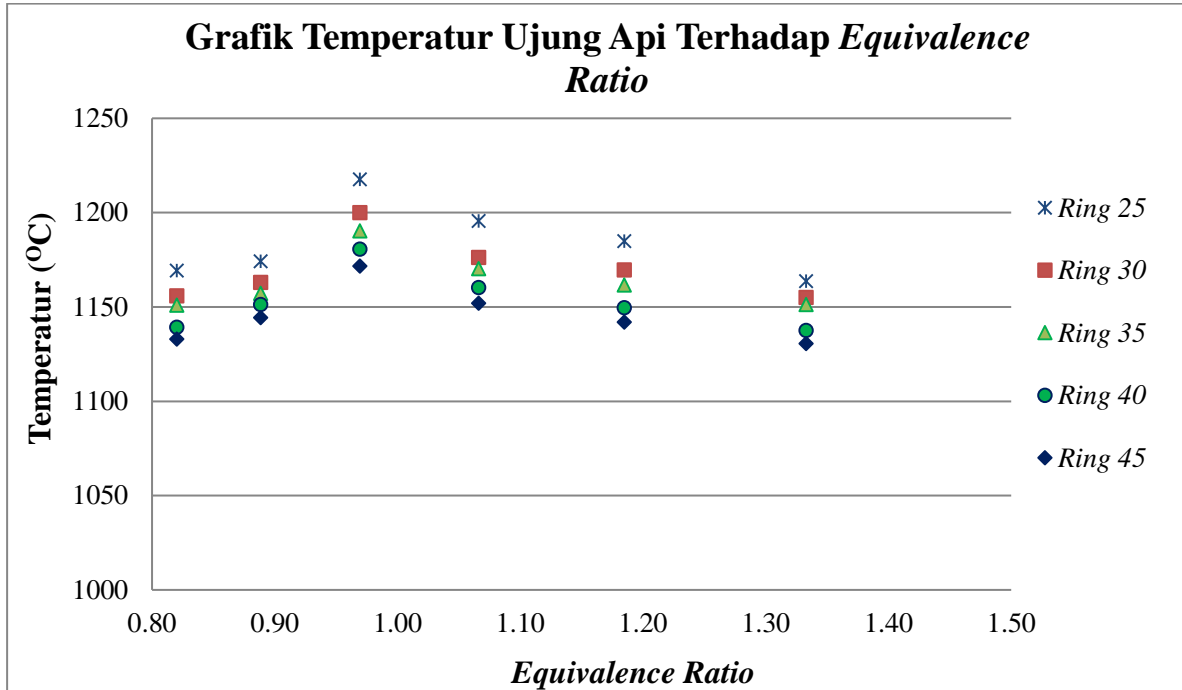
Tabel 4.3

Tabel Perhitungan Angka Reynolds

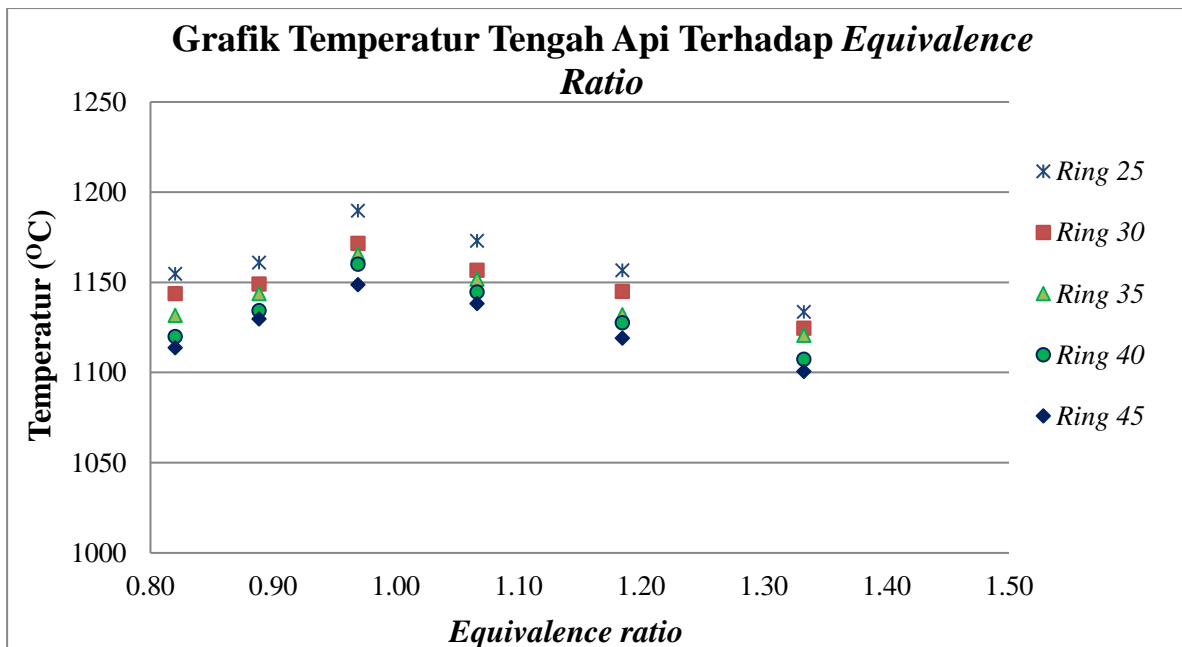
ϕ	Semua Variasi <i>Ring</i>
1,33	668,68
1,18	742,45
1,07	816,21
0,97	889,98
0,89	963,74
0,82	1037,5

4.4 Grafik dan Pembahasan

4.4.1 Grafik Hubungan Temperatur Api Terhadap *Equivalence Ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Temperatur Ujung Api Terhadap *Equivalence Ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Temperatur Tengah Api Terhadap *Equivalence Ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan

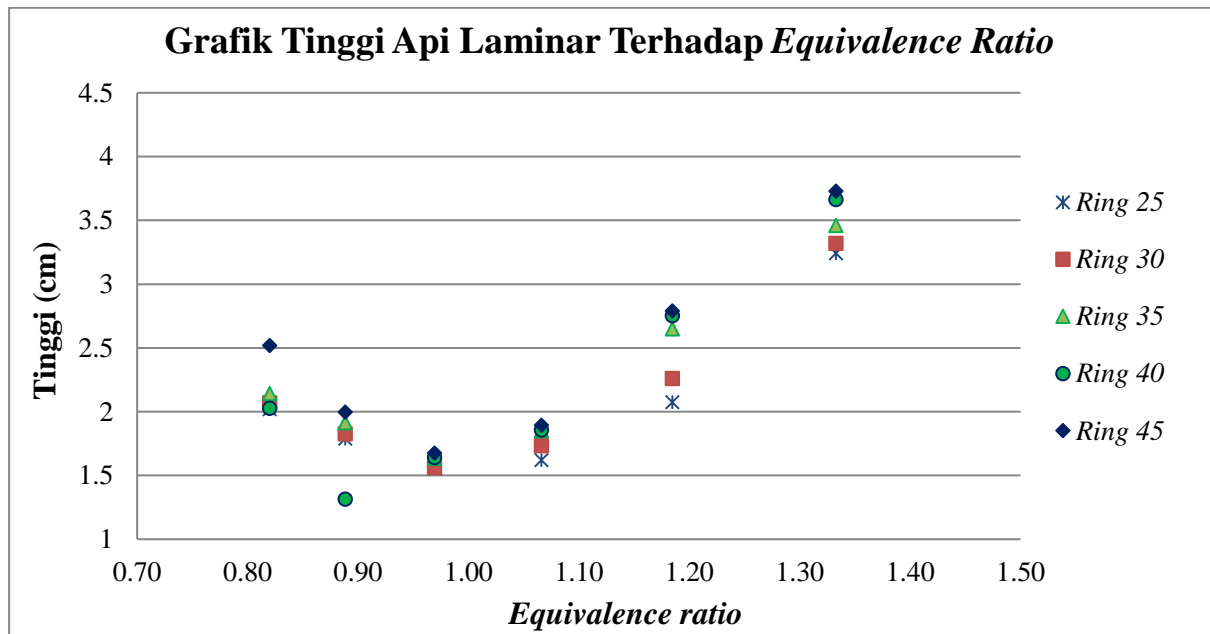
Pada gambar 4.5 dan 4.6 menjelaskan hubungan antara temperatur api dengan *equivalence ratio* setiap variasi diameter *ring* yang dipanaskan, dimana temperatur tersebut terdiri dari temperatur ujung dan tengah api. Pada sumbu x terdapat nilai *equivalence ratio* berturut-turut yaitu 1,33; 1,18; 1,07; 0,97; 0,89; dan 0,82. Terdapat lima buah variasi diameter *ring* yang dipanaskan yaitu 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm dan 45 mm. Nilai dari temperatur dapat dilihat pada gambar diatas.

Hubungan antara *equivalence ratio* dan temperatur api dapat dilihat dengan jelas pada grafik, bahwa semakin mendekati *equivalence ratio* 1 maka temperatur akan semakin tinggi. Hal tersebut dapat dilihat pada setiap variasi diameter *ring* memiliki nilai temperatur yang semakin meningkat seiring *equivalence ratio*-nya mendekati 1. Dikarenakan *equivalence ratio* 1 merupakan campuran kuat (*mixture strength*) dimana pada kondisi ini pembakaran sempurna dapat terjadi. Dimana pembakaran sempurna tersebut adalah hasil dari bahan bakar yang bereaksi dengan udara dan hasil reaksi tersebut adalah sebanding (stoikiometri). Pada kondisi stoikiometri, panas yang dihasilkan lebih tinggi karena panas yang diradiasikan tidak terganggu oleh sisa-sisa bahan bakar yang berlebih atau udara yang berlebih.

Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar diameter *ring* maka temperatur semakin menurun, dimana hal tersebut sesuai dengan hipotesis. Urutan dari variasi diameter *ring* dengan temperatur terbesar hingga temperatur terkecil adalah diameter *ring* 25 mm, diameter *ring* 30 mm, diameter *ring* 35 mm, diameter *ring* 40 mm dan diameter *ring* 45 mm. Hal tersebut sesuai dengan teori perpindahan panas, dimana semakin meningkat luas permukaan perpindahan panas maka mengakibatkan semakin besar perpindahan panas (energi) sehingga energi aktivasi dari api akan berkurang untuk memanaskan reaktan. Dimana semakin luas permukaan *ring* yang dipanaskan mengakibatkan temperatur di setiap *equivalence ratio* menurun.

Dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6 dimana temperatur ujung api memiliki nilai lebih tinggi daripada temperatur tengah api. Hal ini dikarenakan pada daerah tengah api, reaktan belum terbakar secara menyeluruh sehingga temperaturnya akan cenderung lebih rendah dibandingkan pada ujung api yang pembakaran reaktan sudah seluruhnya terbakar sehingga temperatur hasil pembakarannya lebih tinggi.

4.4.2 Grafik Hubungan Tinggi Api Laminar Terhadap *Equivalence Ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Tinggi Api Laminar Terhadap *Equivalence Ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan

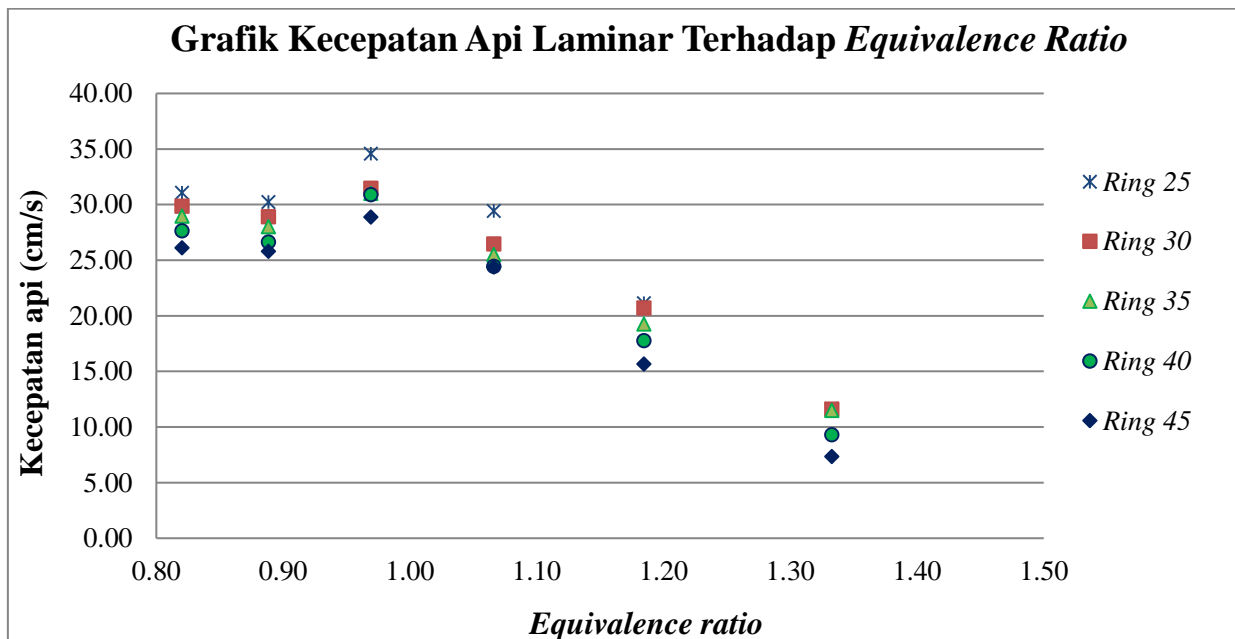
Pada Gambar 4.7 di atas menunjukkan grafik hubungan tinggi api laminar dengan *equivalence ratio* pada setiap variasi diameter *ring* yang dipanaskan. Nilai *equivalence ratio* berurut-urut yaitu 1,33; 1,18; 1,07; 0,97; 0,89 dan 0,82. Terdapat lima buah variasi diameter *ring* yaitu 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm dan 45 mm. Untuk nilai dari tinggi api laminar tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tinggi api laminar pada grafik dapat dilihat bahwa semakin besar *equivalence ratio* maka akan semakin tinggi api laminarnya. Hal itu menyebabkan kadar reaktan memiliki kandungan yang kaya bahan bakar dan miskin udara sehingga dapat mempengaruhi tinggi api. Penurunan kadar udara di dalam reaktan menyebabkan banyak bahan bakar yang belum terbakar sempurna sehingga sisa bahan bakar bercampur secara difusi dan menyebabkan tinggi api menjadi lebih tinggi. Dapat dilihat juga pada *equivalence ratio* dibawah 1, tinggi api mengalami peningkatan. Hal tersebut diakibatkan bertambahnya kadar udara didalam reaktan sehingga dapat mendorong api lebih tinggi. Tetapi jika kadar udara tersebut ditambahkan maka akan mengakibatkan *liftoff* kemudian *blowoff*.

Tinggi api laminar pada grafik menunjukkan ketika semakin besar variasi diameter *ring*-nya maka ketinggian api akan semakin meningkat. Kenaikan tersebut sesuai dengan yang tertulis dalam hipotesis bahwa penurunan temperatur api akan mempengaruhi tinggi

api. Hal ini dikarenakan temperatur didaerah ujung api menurun yang mengakibatkan energi aktivasi menurun. Penurunan nilai energi aktivasi mengakibatkan nyala api cenderung terdorong oleh laju aliran reaktan sehingga tinggi api semakin meningkat.

4.4.3 Grafik Hubungan Kecepatan Api Laminer Terhadap *Equivalence Ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kecepatan Api Laminer Terhadap *Equivalence ratio* Setiap Variasi *Ring* yang Dipanaskan

Pada gambar 4.8 menjelaskan hubungan antara kecepatan api laminar dengan *equivalence ratio* setiap variasi diameter *ring* yang dipanaskan. Pada sumbu x grafik terdapat nilai *equivalence ratio* berturut-turut yaitu 1,33; 1,18; 1,07; 0,97; 0,89 dan 0,82. Terdapat lima buah variasi diameter *ring* yaitu 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm dan 45 mm. Sedangkan sumbu y merupakan nilai kecepatan api laminar dari pembakaran pada setiap variasi diameter *ring* yang dipanaskan dan *equivalence ratio*. Untuk nilai dari kecepatan api laminar tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

Hubungan antara semakin menurunnya nilai *equivalence ratio* dengan kecepatan api laminar adalah berbanding terbalik, dimana semakin kecil *equivalence ratio* maka semakin besar kecepatan api laminarnya. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai *equivalence ratio* maka semakin besar nilai debit reaktan sehingga semakin besar pula kecepatan aliran reaktan. Tetapi pada *equivalence ratio* mendekati 1 didapat nilai kecepatan api laminar yang paling besar. Hal tersebut diakibatkan meningkatnya temperatur pembakaran sehingga sudut alpha

meningkat juga. Naiknya kecepatan reaktan mengakibatkan naik pula kecepatan api laminarnya. Selain kecepatan reaktan yang meningkat ada juga karena nilai sudut α yang meningkat. Sehingga apabila dimasukkan kedalam persamaan maka nilai $\sin \alpha$ akan semakin besar karena sudut sinus semakin mendekati 90° maka akan semakin mendekati nilai 1.

Pengaruh dari variasi diameter *ring* terhadap kecepatan api laminar adalah semakin besar diameter *ring* yang dipanaskan, maka nilai kecepatan api laminar akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin naiknya tinggi api maka akan membuat nilai sudut α semakin kecil. Berkurangnya nilai sudut α akan mengakibatkan turunnya nilai sinus α sehingga nilai kecepatan api laminar menurun.