

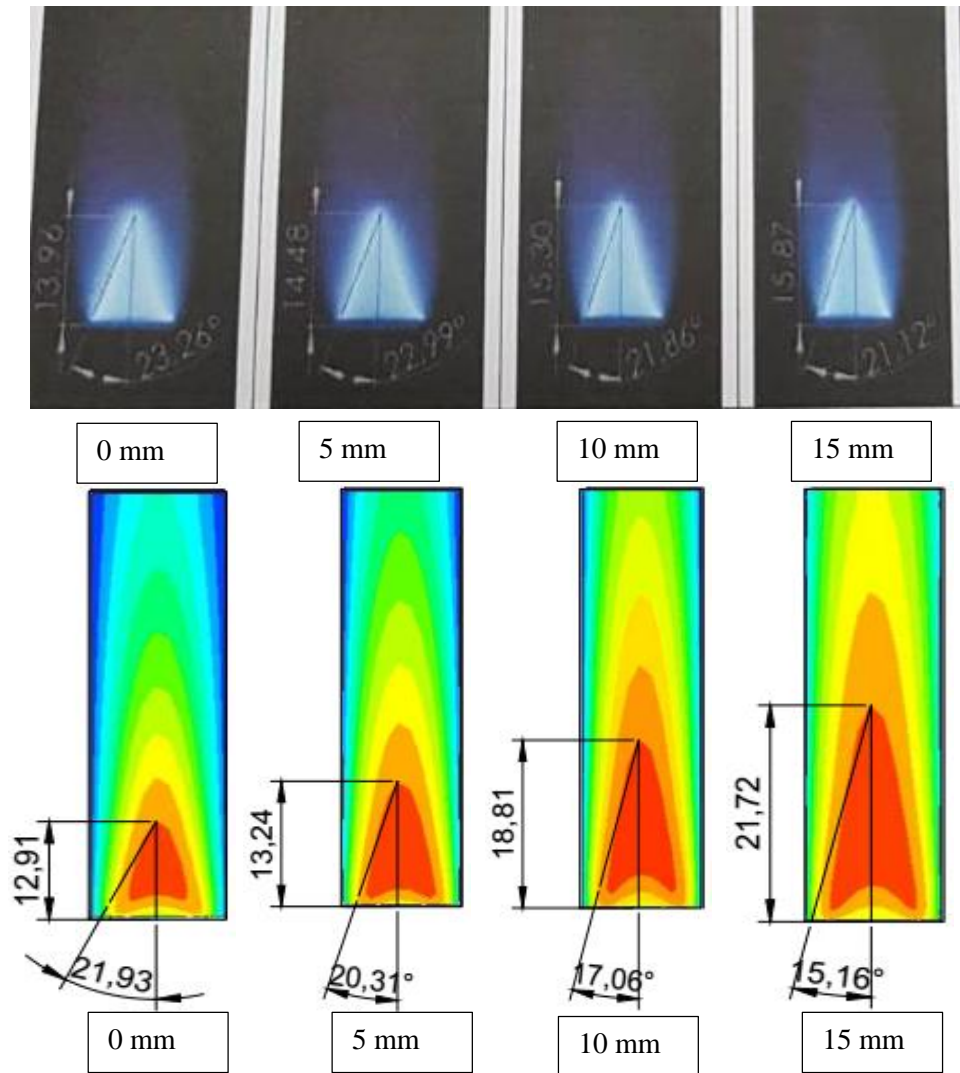
## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang diambil pada penelitian kali ini diambil menggunakan *software ansys*. Data yang diperoleh dikelompokkan berdasarkan jarak *ring* dan *equivalence ratio*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perbandingan karakteristik nyala api yang dihasilkan. Data visualisasi nyala api kemudian diolah menggunakan *software autocad* untuk mengetahui tinggi nyala api dan sudut nyala api. Sudut nyala api kemudian digunakan untuk mencari kecepatan api laminar berdasarkan rumus.

### **4.1 Verifikasi Penelitian**

Pada penelitian kali ini verifikasi digunakan untuk membandingkan hasil dari penelitian eksperimental mengenai variasi jarak *ring bunsen burner* terhadap karakteristik nyala api pembakaran *premix* gas metana yang dilakukan oleh Gufron, 2017. *Ring* dipasang pada jarak 0 mm, 5 mm, 10 mm, dan 15 mm.

Hasil yang didapat dari eksperimental menunjukkan bahwa visualisasi bentuk nyala api, pada saat *equivalence ratio* mendekati 1 panjang nyala api semakin pendek, lalu saat *equivalence ratio* lebih besar/lebih kecil dari satu dan nilainya semakin menjauhi 1, maka panjang nyala api semakin tinggi. Berikut perbandingan visualisasi nyala api yang dihasilkan. Pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1 dibandingkan mengenai penelitian eksperimental dan penelitian simulasi.



Gambar 4.1 Perbandingan Visualisasi nyala api, tinggi api, dan sudut yang dihasilkan pada equivalence ratio 1 pada berbagai jarak ring

Tabel 4.1

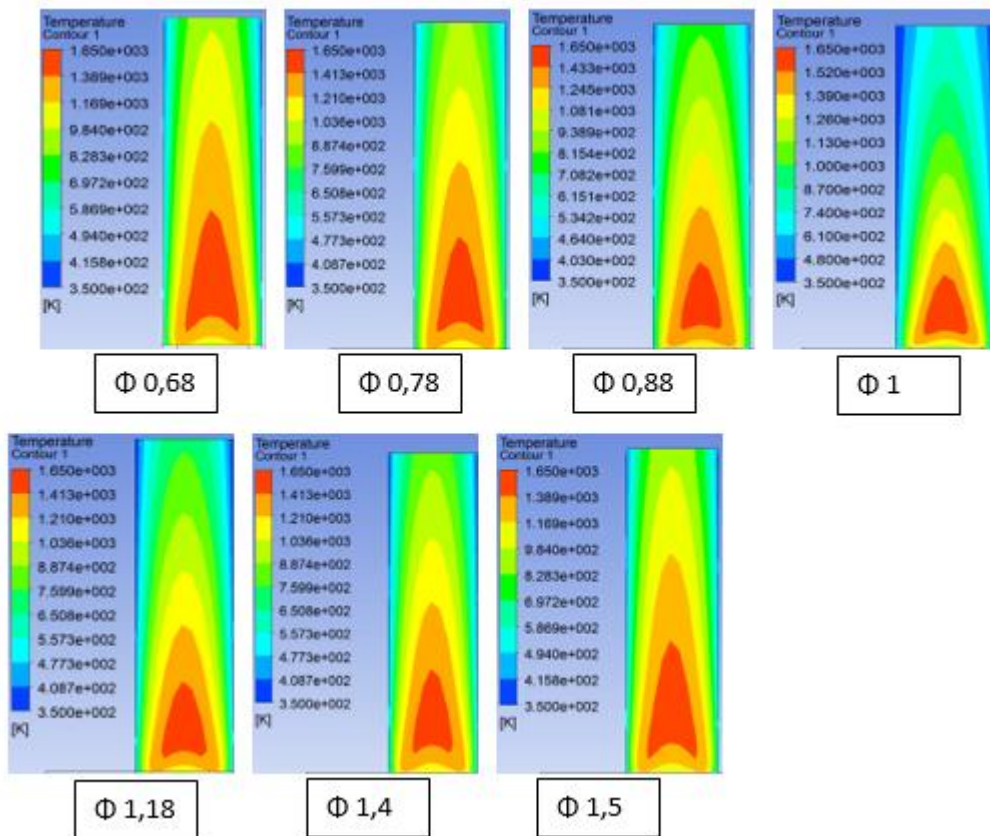
Verifikasi perbandingan hasil penelitian eksperimental dan hasil penelitian simulasi

no	Jenis Pemandangan	Hasil Eksperimental	Hasil Simulasi
1	Bahan bakar	Metana	Metana
2	Dimensi Ring	Diameter luar = 40mm Diameter dalam = 18mm Tebal ring = 1mm	Diameter luar = 40mm Diameter dalam = 14mm Tebal ring = 1mm
3	Jarak Ring	0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm	0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm
4	Equivalence ratio	0,78 ; 0,88 ; 1 ; 1,01 ; 1,18 ; 1,4	0,68 ; 0,78 ; 0,88 ; 1 ; 1,18 ; 1,4 ; 1,5
5	Temperatur Api (pada jarak ring 0 mm) (° C)	$\Phi$ 0,78 = 1146,33 $\Phi$ 0,88 = 1206,33 $\Phi$ 1 = 1296 $\Phi$ 1,18 = 1219,67 $\Phi$ 1,4 = 1158,67	$\Phi$ 0,78 = 1232,84 $\Phi$ 0,88 = 1240,21 $\Phi$ 1 = 1327,67 $\Phi$ 1,18 = 1236,88 $\Phi$ 1,4 = 1226,16
6	Tinggi Nyala api (pada equivalence ratio 1) (mm)	0 mm = 13,96 5 mm = 14,48 10 mm = 15,30 15 mm = 15,87	0 mm = 12,91 5 mm = 13,24 10 mm = 18,81 15 mm = 21,72
7	Kecepatan Api Laminar (pada jarak ring 15 mm) (cm/s)	$\Phi$ 0,78 = 29,39 $\Phi$ 0,88 = 31,42 $\Phi$ 1 = 39,69 $\Phi$ 1,18 = 22,72 $\Phi$ 1,4 = 11,64	$\Phi$ 0,78 = 13,74 $\Phi$ 0,88 = 15,48 $\Phi$ 1 = 21,37 $\Phi$ 1,18 = 15,96 $\Phi$ 1,4 = 14,61

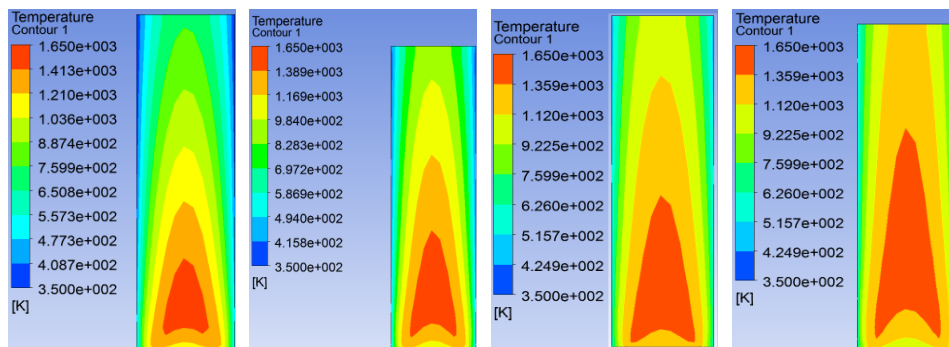
Dari Tabel 4.1 setelah dilakukan verifikasi disimpulkan bahwa data hasil simulasi dapat dinyatakan valid karena data hasil simulasi memiliki *trendline* yang sama dengan data eksperimental.

## 4.2 Hasil Visualisasi Nyala Api

Gambar 4.2 dibawah ini merupakan visualisasi nyala api berdasarkan *equivalence ratio* dan jarak *ring*.



Gambar 4.2 Visualisasi Api pada jarak ring 0 mm di berbagai *equivalence ratio*



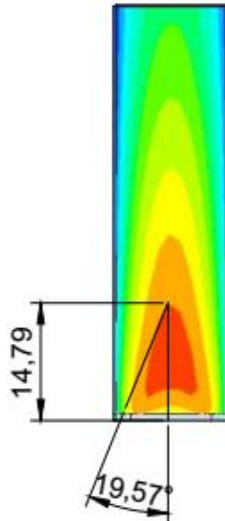
Gambar 4.3 Visualisasi Api di *equivalence ratio* 1,18 pada jarak ring 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm

Gambar 4.3 diatas merupakan hasil visualisasi nyala api pada *bunsen burner* masing masing *equivalence ratio* dan ketinggian *ring*. Pada Gambar 4.2 menunjukkan tinggi api pada jarak ring 0 mm dengan variasi *equivalence ratio* 0,68; 0,78; 0,88; 1; 1,18; 1,4; 1,5. Sedangkan pada Gambar 4.3 menunjukkan visualisasi nyala api pada *equivalence ratio* 1,18 pada berbagai variasi jarak *ring* yaitu 0 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm.

### 4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

#### 4.3.1 Pengolahan Data Visualisasi Nyala Api

Visualisasi nyala api diperoleh dari *software ansys* selanjutnya akan dikerjakan di *software autocad* untuk mendapat tinggi api dan sudut nyala api. Sudut nyala api digunakan untuk menghitung kecepatan api laminar.



Gambar 4.4 Data dari visualisasi nyala api pada jarak *ring* 0 mm *equivalence ratio* 1,18

Gambar 4.4 merupakan salah satu contoh dari pengolahan visualisasi nyala api pada *bunsen burner* dengan jarak *ring* 0 mm dan *equivalent ratio* 1,18. Dari pengolahan tersebut didapat data berupa tinggi nyala api dan sudut nyala api. Sudut nyala api bersama dengan kecepatan reaktan dapat digunakan untuk perhitungan kecepatan api laminar. Untuk hasil tinggi nyala api dan sudut nyala api disajikan dalam bentuk Tabel 4.2 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4.2

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 0 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	$\Phi$ 0,68	$\Phi$ 0,78	$\Phi$ 0,88	$\Phi$ 1	$\Phi$ 1,18	$\Phi$ 1,4	$\Phi$ 1,5
$\alpha$ (°)	17,93	19,71	20,59	21,93	19,57	18,73	16,64
Tinggi Api(mm)	21,87	18,02	14,54	12,91	14,75	20,24	21,18

Tabel 4.3

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 5 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	$\Phi$ 0,68	$\Phi$ 0,78	$\Phi$ 0,88	$\Phi$ 1	$\Phi$ 1,18	$\Phi$ 1,4	$\Phi$ 1,5
$\alpha$ (°)	13,74	15	16,99	20,31	15,56	15,07	13,04
Tinggi Api(mm)	24,64	20,72	18,98	13,24	19,87	21,37	23,78

Tabel 4.4

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 10 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
$\alpha$ (°)	11,71	12,36	14,60	17,06	15,31	13,49	12,14
Tinggi Api(mm)	31,06	28,84	27,44	18,81	22,29	29,49	30,91

Tabel 4.5

Data Ketinggian dan Sudut Posisi *Ring* 15 mm dari Ujung *Bunsen Burner*

Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
$\alpha$ (°)	9,68	10,87	10,92	15,16	11,26	10,30	9,43
Tinggi Api(mm)	37,06	34,58	31,96	21,72	31,15	35,75	38,11

Tabel 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 di atas menunjukkan bahwa nilai sudut api yang dihasilkan berbanding terbalik dengan sudut api yang terbentuk. Sedangkan untuk tinggi nyala api terendah ada di *equivalence ratio* 1, dan kemudian untuk diatas 1 akan terus meningkat seiring peningkatan nilai *equivalence ratio*. Sudut nyala api mengalami penurunan berdasarkan meningkatnya *equivalence ratio*.

#### 4.3.2 Tabel Hasil Perhitungan Karakteristik Nyala Api

Data visualisasi nyala api digunakan untuk mencari kecepatan api laminar dengan menggunakan data sudut api yang terbentuk. Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai kecepatan reaktan dan kecepatan api laminar pada *bunsen burner* dengan *equivalence ratio* 1,4.

$$Q_m = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{bb} = 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{bunsen} = 7,85 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Maka kecepatan reaktan adalah:

$$V_u = \frac{Q_m + Q_{bb}}{A_{bunsen}}$$

$$V_u = \frac{(1 \times 10^{-4}) + (5,41 \times 10^{-5})}{7,85 \times 10^{-6}}$$

$$V_u = 0,817 \text{ m/s}$$

Setelah didapat nilai kecepatan reaktan maka dapat dicari nilai kecepatan api laminar. Berikut salah satu contoh perhitungan kecepatan api laminar pada jarak *ring* 5 mm dengan *equivalence ratio* 1,18.

$$S_L = V_u \cdot \sin \alpha$$

$$S_L = 0,817 \times \sin 15,56$$

$$S_L = 0,21 \text{ m/s}$$

Tabel 4.6 merupakan tabel yang menunjukkan temperatur nyala api.

Tabel 4.6

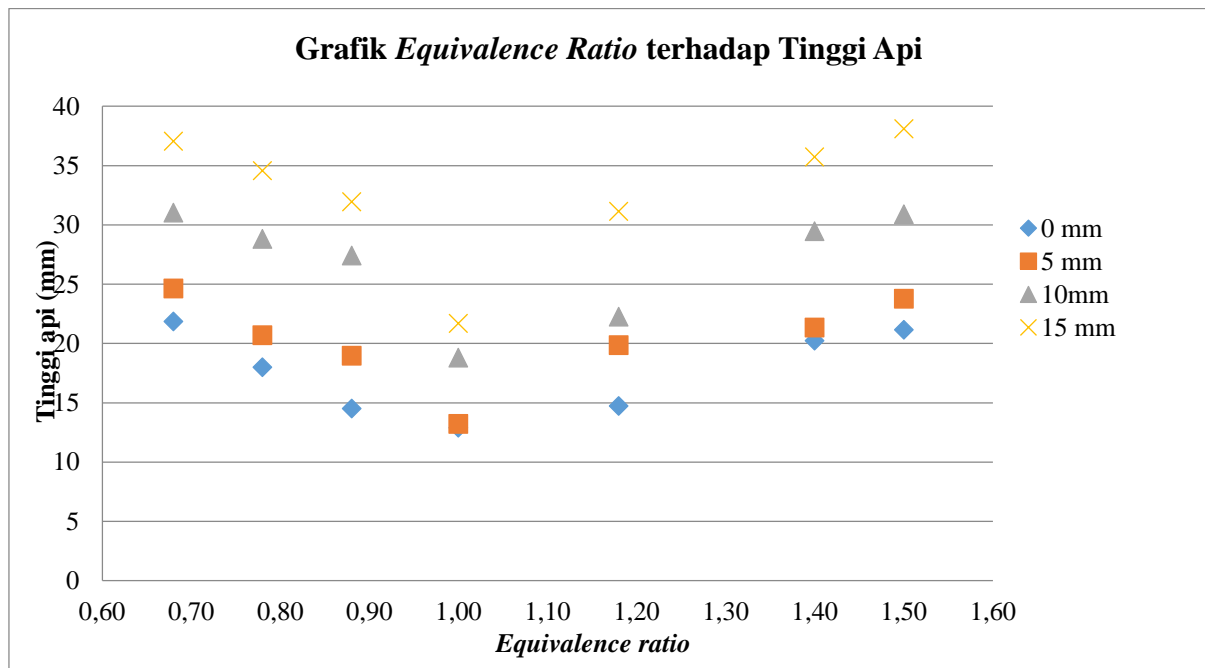
Tabel Karakteristik Nyala Api Masing-Masing Jarak *Ring* pada *Bunsen Burner*

Jarak Ring	Parameter	Φ 0,68	Φ 0,78	Φ 0,88	Φ1	Φ1,18	Φ1,4	Φ 1,5
0 mm	Temperatur (°C)	1225,11	1232,84	1240,21	1327,67	1236,88	1226,16	1223,89
	$S_L$ (m/s)	0,2756	0,25164	0,28746	0,305280	0,27379	0,262477	0,234071
	Tinggi api (mm)	21,87	18,02	14,54	12,91	14,75	20,24	21,18
5 mm	Temperatur (°C)	1211	1215,67	1234,32	1327,21	1230,81	1213,61	1208,77
	$S_L$ (m/s)	0,21156	0,19414	0,23885	0,28372	0,21926	0,21252	0,18443
	Tinggi api (mm)	24,64	20,72	18,98	13,24	19,87	21,37	23,78
10 mm	Temperatur (°C)	1193,53	1211,43	1227,72	1314,13	1212,65	1207,85	1197,78
	$S_L$ (m/s)	0,17496	0,16590	0,20604	0,23980	0,21583	0,19068	0,171902
	Tinggi api (mm)	31,06	28,84	27,44	18,81	22,29	29,49	30,91
15 mm	Temperatur (°C)	1157,08	1175,48	1212,90	1304,42	1209,32	1195,62	1177,73
	$S_L$ (m/s)	0,15414	0,13744	0,15484	0,21376	0,15960	0,14615	0,13392
	Tinggi api (mm)	37,06	34,58	31,96	21,72	31,15	35,75	38,11

Dari Tabel 4.6 dapat diamati bahwa nilai ketinggian nyala api berbanding terbalik dengan nilai kecepatan api laminar. Nilai kecepatan api laminar mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan nilai *equivalence ratio*.

#### 4.4 Grafik dan Pembahasan

##### 4.4.1 Grafik Hubungan *Equivalence ratio* terhadap Tinggi Nyala Api



Gambar 4.5 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap tinggi nyala api

Gambar 4.5 merupakan grafik pembahasan mengenai hubungan *equivalence ratio* terhadap tinggi nyala api pada variasi jarak *ring* terhadap tinggi api yang dihasilkan pada *bunsen burner*. Pada grafik terlihat bahwa tinggi api yang tinggi pada kondisi *equivalence ratio* dibawah 1, lalu tinggi api menurun pada keadaan *equivalence ratio* 1, dan kemudian tinggi api akan naik kembali saat nilai *equivalence ratio* lebih besar dari 1. Untuk tinggi api

tertinggi ada pada jarak *ring* 15 mm dari ujung *bunsen burner*, sedangkan tinggi api terendah ada pada jarak *ring* 0 mm atau tepat di ujung *bunsen burner*.

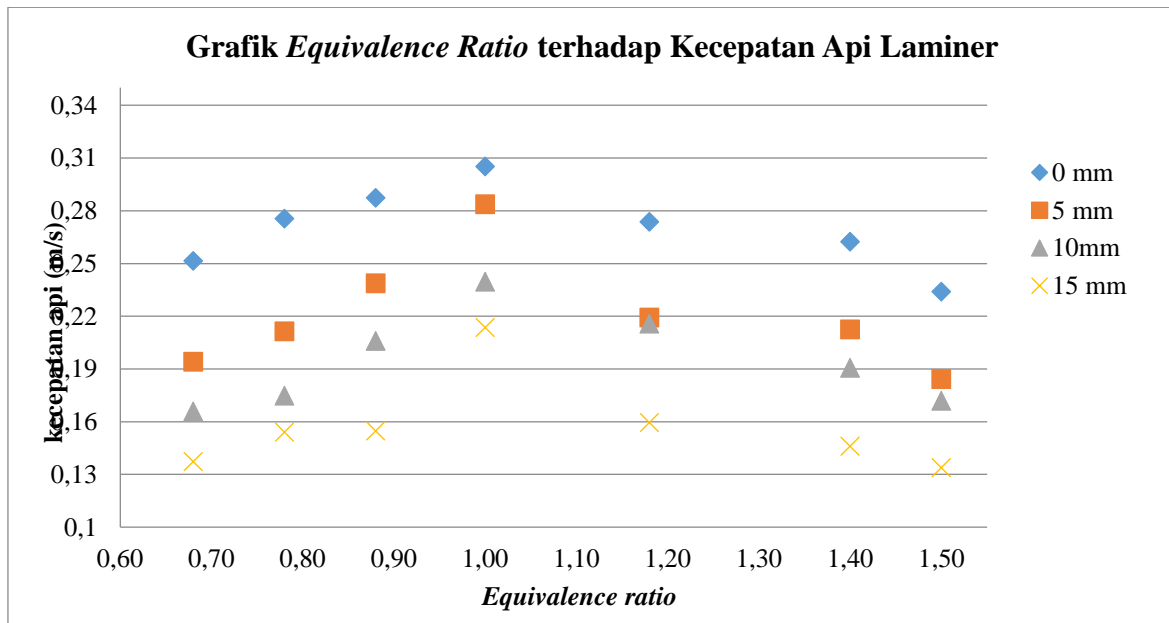
Semakin turun posisi ketinggian *ring* pada *bunsen burner* tinggi nyala api yang dihasilkan pada *bunsen burner* semakin meningkat. Hal ini disebabkan panas yang diberikan *ring* pada *bunsen burner* mempengaruhi laju reaksi reaktan pada proses pembakaran, dimana panas yang dihasilkan *ring* pemanas akan ditransfer secara konveksi ke udara sekitar nyala api atau area proses pembakaran. Energi aktivasi yang dibutuhkan reaktan untuk bereaksi menjadi semakin kecil karena panas pada *ring* pemanas akan memberikan sebagian panasnya untuk proses pembakaran sehingga memungkinkan untuk terjadinya reaksi pembakaran serentak pada reaktan.

Pada Gambar 4.5 juga dapat dilihat bahwa untuk ketinggian *ring* pemanas 0 mm atau di ujung *bunsen burner*, tinggi nyala api yang dihasilkan memiliki nilai terkecil untuk masing masing *equivalence ratio*. Hal ini dikarenakan ketika *ring* berada pada ujung *bunsen burner* panas yang dihasilkan akan ditransfer secara konveksi ke udara sekitar nyala api atau area proses pembakaran lebih cepat. Dan untuk jarak *ring* 15 mm memiliki tinggi api tertinggi pada berbagai *equivalence ratio*. Hal ini dikarenakan semakin jauh posisi *ring*, maka energi aktivasi yang diterima oleh *bunsen burner* semakin kecil.

Pada Gambar 4.5 juga terlihat bahwa tinggi api menurun dari *equivalence ratio* dibawah 1 menuju *equivalence ratio* 1, kemudian nilai tinggi api meningkat kembali saat *equivalence ratio* meningkat lebih besar dari 1. Hal ini dikarenakan saat *equivalence ratio* dibawah 1 / miskin bahan bakar, fraksi masa yang mengalir semakin besar yang disebabkan semakin besarnya aliran udara yang mengalir. Hal ini menyebabkan gas mengalir semakin besar dan nyala api yang dihasilkan semakin tinggi. Pada *equivalence ratio* lebih dari 1 / kaya bahan bakar, kadar bahan bakar semakin banyak pada reaktan. Meningkatnya kadar pada bahan bakar yang tidak disertai pertambahan udara mengakibatkan bahan bakar tidak beraksi secara sempurna sehingga sisa dari bahan bakar akan bereaksi secara difusi.



#### 4.4.2 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Api Laminer



Gambar 4.6 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api laminar

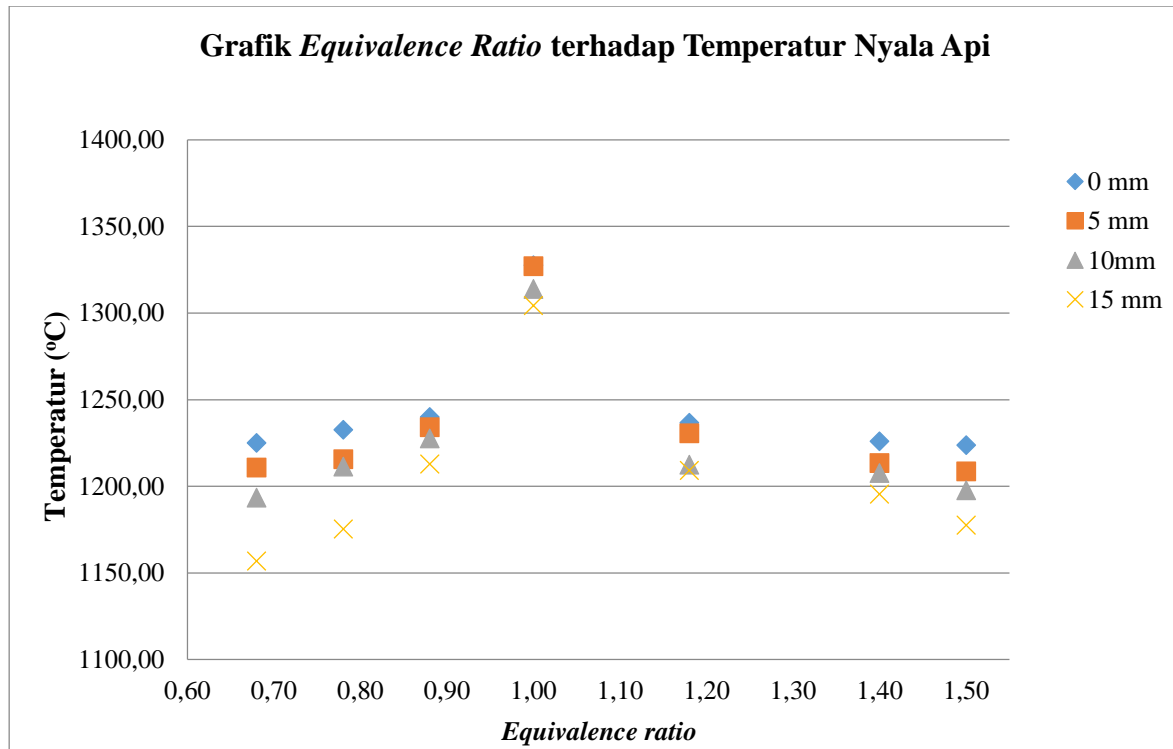
Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan api laminar pada variasi jarak *ring* di *bunsen burner*. Nilai kecepatan api laminar pada *bunsen burner* mengalami penurunan seiring dengan menurunnya posisi ketinggian *ring* pada *bunsen burner*. Berdasarkan *equivalence ratio* kecepatan api laminar berbanding terbalik dengan tinggi nyala api, dimana kecepatan api laminar akan semakin meningkat *equivalence ratio* dibawah 1 menuju *equivalence ratio* 1. Setelah melewati *equivalence ratio* 1 dan lebih besar lagi, kecepatan api laminar akan menurun.

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai kecepatan api laminar semakin besar seiring meningkatnya *equivalence ratio* dari dibawah 1 menuju 1. Hal ini dikarenakan saat *equivalence ratio* di bawah 1 maka fraksi massa udara semakin besar dan menyebabkan kecepatan aliran gas reaktan sehingga menyebabkan perubahan geometri api, dimana api akan semakin memanjang. Ketika nilai *equivalence ratio* lebih besar dari 1, maka kecepatan api laminar akan menurun. Hal ini dikarenakan kadar bahan bakar pada gas yang semakin besar. Bahan bakar yang semakin banyak ini tidak dapat bereaksi sempurna dengan udara, sehingga sisa bahan bakar yang tidak bereaksi akan berdifusi dengan udara sekitar dan membuat geometri api semakin panjang, sehingga sudut yang dihasilkan api akan semakin mengecil.

Pada Gambar 4.6 juga dapat dilihat bahwa semakin jauh posisi *ring* dari ujung *bunsen burner* maka kecepatan api laminar juga menurun. Hal ini dikarenakan panas yang dihasilkan akan ditansfer secara konveksi ke udara sekitar, dan energi aktivasi yang

dibutuhkan reaktan untuk bereaksi semakin kecil karena panas pada *ring* memberikan sebagian panasnya untuk proses pembakaran.

#### 4.4.3 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Temperatur Nyala Api



Gambar 4.7 Grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur nyala api

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap temperatur nyala api pada setiap variasi ketinggian *ring* dari ujung *bunsen burner*. Nilai temperatur yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan dari *equivalence ratio* di bawah 1 hingga menuju 1, dan ketika *equivalence ratio* sudah melewati 1 maka akan mengalami penurunan. Menurunnya temperatur yang dihasilkan saat *equivalence ratio* di bawah 1 adalah karena kondisi reaksi yang terlalu banyak udara sehingga campuran tidak sempurna dan ketika terjadi pembakaran terdapat sisa oksidator bahan bakar yang akan menyerap temperatur nyala api yang dihasilkan. Pada saat *equivalence ratio* lebih dari 1 dan mengalami penurunan disebabkan oleh semakin banyaknya bahan bakar, sehingga pembakaran yang terjadi tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna mengakibatkan turunnya temperatur nyala api yang dihasilkan. Dalam proses pembakaran, temperatur maksimal dapat dicapai jika reaktan dapat bereaksi dan berubah menjadi 100% produk pembakaran.