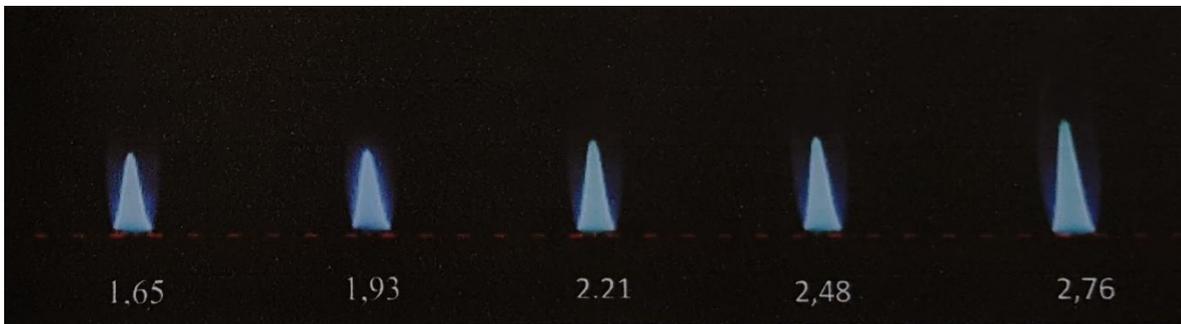


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Verifikasi Penelitian

Pada penelitian ini proses verifikasi dilakukan untuk membandingkan hasil dari penelitian dengan metode simulasi numerik pada *bunsen burner* dengan penelitian menggunakan metode eksperimental yang dilakukan oleh Saeni (2018). *Bunsen burner* yang digunakan pada penelitian eksperimental menggunakan *equivalent ratio* sebesar 1,35 dengan variasi kecepatan reaktan yang masuk sebesar 1,65 m/s; 1,93 m/s; 2,21 m/s; 2,48 m/s; dan 2,76 m/s.

Pada hasil penelitian eksperimental yang diperoleh adalah bahwa semakin besar nilai kecepatan reaktan maka tinggi api yang dihasilkan dari pembakaran pada *bunsen burner* semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat melalui data visual hasil penelitian eksperimental seperti pada gambar berikut.

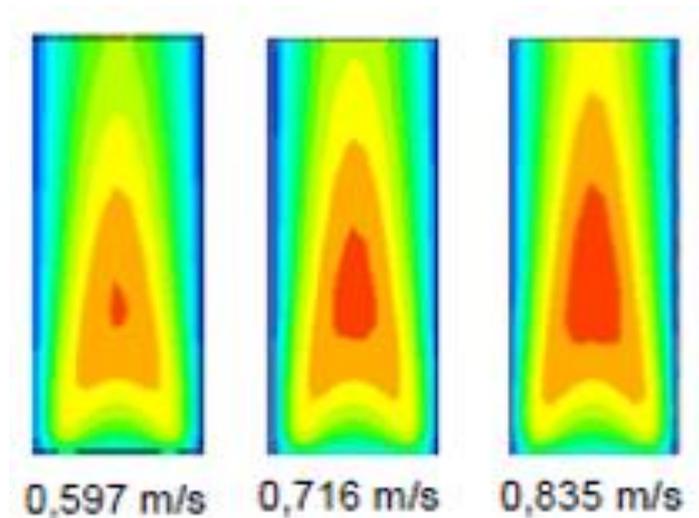


Gambar 4.1 Visualisasi Nyala Api pada *Bunsen Burner* dengan Metode Eksperimental  
Sumber: Saeni (2018, p.23)

Data hasil eksperimental:

Tabel 4.1  
Data Hasil Penelitian dengan Metode Eksperimental

<i>Equivalent Ratio</i>	Kecepatan Reaktan (m/s)	Parameter		
		Temperatur Api ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tinggi Api (mm)	$\text{SL}$ (m/s)
1,35	1,65	1163	12,54	0,36
	1,93	1209	13,12	0,37
	2,21	1256	15,65	0,38
	2,48	1268	16,42	0,42
	2,76	1281	19,19	0,46



Gambar 4.2 Contoh Visualisasi Nyala Api pada *Bunsen Burner* dengan Metode Simulasi

Data hasil simulasi:

Tabel 4.2

Data Hasil Penelitian dengan Metode Simulasi

<i>Equivalent Ratio</i>	<b>Kecepatan Reaktan (m/s)</b>	<b>Parameter</b>		
		<b>Temperatur Api (°C)</b>	<b>Tinggi Api (mm)</b>	<b>SL (m/s)</b>
1	0,239	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>
	0,358	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>
	0,477	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>
	0,597	2202	14,17	0,17
	0,716	2262	19,23	0,17
	0,835	2311	23,13	0,18
	0,954	2353	26,37	0,19
	1,074	2388	29,55	0,19
	1,193	2419	32,95	0,20

Dari data di atas dapat dilihat bahwa dengan melakukan verifikasi data dengan membandingkan tinggi nyala api dan temperatur nyala api pada variasi kecepatan reaktan dengan membandingkan secara eksperimental dan simulasi numerik. Data perbandingan antara penelitian eksperimental dan simulasi numerik dapat dilihat pada tabel berikut.

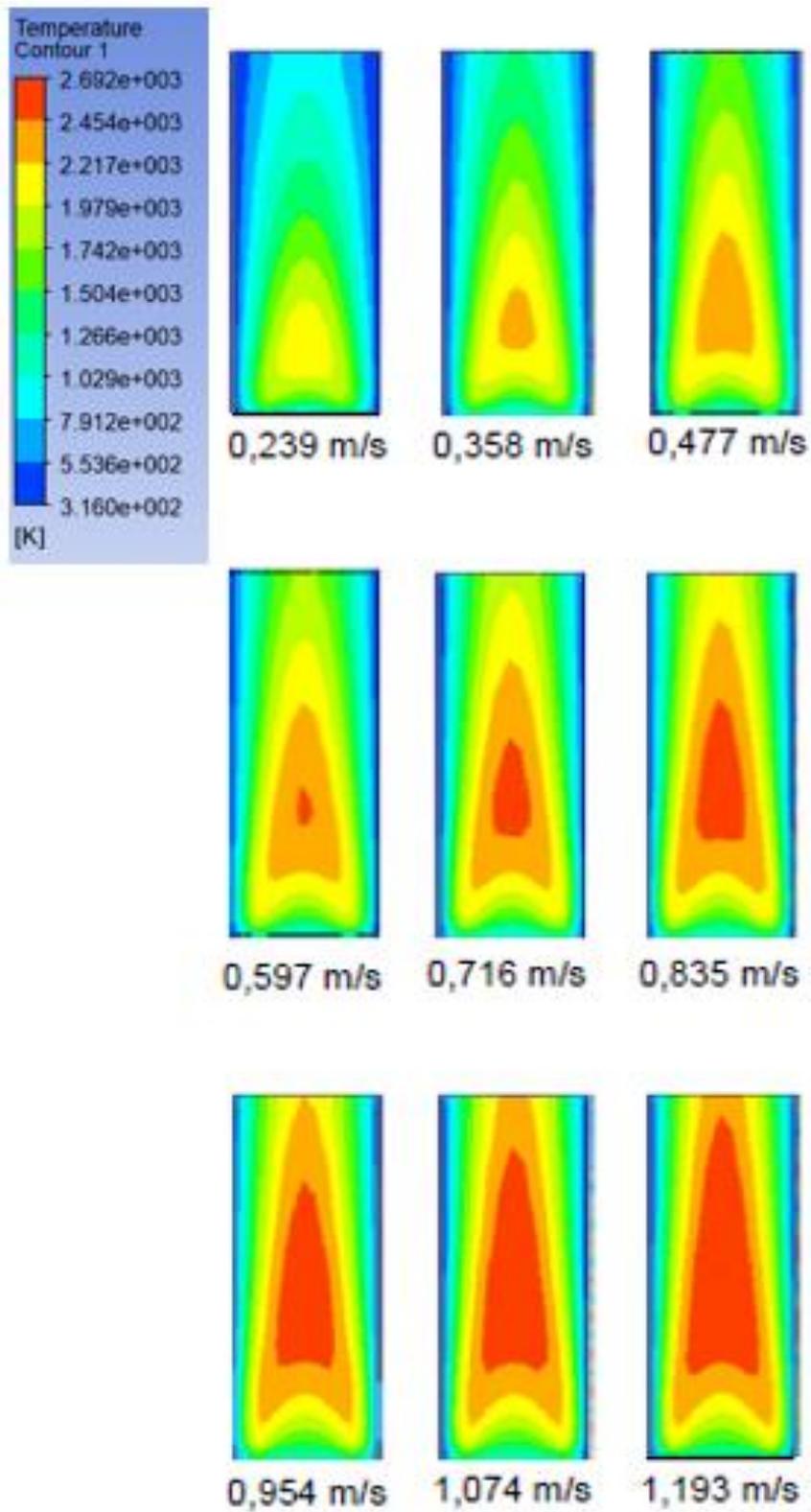
Tabel 4.3  
Tabel Perbandingan Penelitian Eksperimental dengan Simulasi

No.	Jenis Pembanding	Hasil Eksperimental		Hasil Simulasi	
		1,65	1,93	0,597	0,835
1.	<i>Equivalent Ratio</i>	1,35		1	
2.	Bahan Bakar	LPG		Metana	
3.	Temperatur Api (°C)	1163	1209	2202	2311
4.	Tinggi Api (mm)	12,54	13,12	14,17	23,13
5.	S <sub>L</sub> (m/s)	0,36	0,37	0,17	0,18

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan proses verifikasi, data hasil simulasi numerik dapat dinyatakan valid dikarenakan data hasil simulasi memiliki kecenderungan (*trendline*) yang sama dengan data eksperimental.

#### 4.2. Hasil Visualisasi Nyala Api

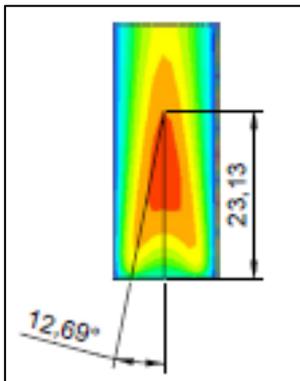
Berikut ini merupakan hasil data visual nyala api pada *bunsen burner* dari masing-masing kecepatan reaktan yang berbeda. Penyusunan gambar berdasarkan urutan variasi nilai kecepatan reaktan terendah hingga nilai kecepatan reaktan tertinggi. Sehingga dapat diperoleh perbedaan secara visual dari masing-masing nilai kecepatan reaktan pada *bunsen burner*.



Gambar 4.3 Data Visual Nyala Api *Bunsen Burner* pada Kecepatan Reaktan Berbeda

### 4.3. Contoh Pengolahan Data Visual dan Perhitungan

#### 4.3.1. Pengolahan Data Visual Nyala Api



Gambar 4.4 Perhitungan Tinggi dan Sudut Nyala Api *Bunsen Burner*

Untuk mendapatkan data tinggi nyala api dan sudut api dari data visual seperti pada gambar 4.4 dapat menggunakan *software CAD* berupa *Autocad 2017*, dimana data visual nyala api diatur dengan skala 1:1. Lalu selanjutnya untuk mendapatkan data tinggi nyala api dilakukan dengan cara menarik garis lurus dari ujung bibir *bunsen burner* hingga ujung nyala api laminar. Sedangkan untuk mendapatkan data sudut nyala api dilakukan dengan cara menarik garis dari ujung nyala api laminar ke ujung bibir *bunsen burner*.

#### 4.3.2. Contoh Perhitungan Kecepatan Reaktan

Pada perhitungan nilai kecepatan reaktan dapat digunakan rumus pada persamaan (2-6). Berikut ini ialah salah satu contoh perhitungan untuk mencari nilai kecepatan reaktan dari *bunsen burner* pada *equivalent ratio* yang bernilai 1.

Diketahui:

$$Q_{\text{metana}} = 0,2 \text{ L/min}$$

$$Q_{\text{udara}} = 2,048 \text{ L/min}$$

$$\text{Luas Penampang} = 0,0000785 \text{ m}^2$$

Setelah nilai debit dari bahan bakar dan udara, serta luas penampang diketahui, maka selanjutnya nilai dari kecepatan reaktan didapatkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{metana}} &= 0,2 \frac{\text{L}}{\text{min}} = \frac{\text{L}}{\text{min}} \rightarrow \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{0,2 \times 10^{-3}}{60} = 3,33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{udara}} &= 2,048 \frac{\text{L}}{\text{min}} = \frac{\text{L}}{\text{min}} \rightarrow \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ &= \frac{2,048 \times 10^{-3}}{60} = 3,413 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai dari kecepatan reaktan dapat diperoleh dengan cara berikut ini:

$$v = \frac{Q_{\text{metana}} + Q_{\text{udara}}}{\text{Luas Penampang}}$$

$$v = \frac{3,33 \times 10^{-6} + 3,413 \times 10^{-5}}{0,0000785}$$

$$v = 0,477 \text{ m/s}$$

#### 4.3.3. Contoh Perhitungan Bilangan *Reynolds*

Selanjutnya dapat dihitung nilai dari bilangan *Reynolds* berdasarkan persamaan (2-4). Berikut ini merupakan contoh dari perhitungan nilai bilangan *Reynolds*:

$$\text{Re} = \frac{v d \rho}{\eta}$$

$$\text{Re} = \frac{0,477 \times 0,01 \times 1,157}{1,788 \times 10^{-5}}$$

$$\text{Re} = 309$$

#### 4.3.4. Contoh Perhitungan Kecepatan Api Laminer

Selanjutnya dapat dihitung nilai dari kecepatan api laminer berdasarkan persamaan (2-5), dengan hasil dari perhitungan kecepatan reaktan dan sudut nyala api. Berikut ini merupakan contoh dari perhitungan nilai kecepatan laminer:

$$S_L = v \cdot \sin \alpha$$

$$S_L = 0,477 \cdot \sin \alpha$$

$$S_L = 0,477 \times \sin 15,89$$

$$S_L = 0,13 \text{ m/s}$$

### 4.4. Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

#### 4.4.1. Pengolahan Data Visual Nyala Api

Berikut ini ialah hasil pengolahan dari data visual nyala api *bunsen burner* dari kecepatan reaktan sebesar 0,239 m/s hingga 1,193 m/s dengan nilai *equivalent ratio* konstan, yaitu 1. Sehingga dari data visual yang telah diperoleh nantinya dapat dicari nilai kecepatan api laminer dengan rumus persamaan (2-5). Dengan menggunakan nilai kecepatan reaktan dari persamaan (2-6). Untuk mempermudah pembacaan hasil data visual nyala api maka dibuat tabel data berdasarkan data yang telah diperoleh melalui percobaan dan diolah lebih lanjut. Hasil pengolahan visualisasi nyala api dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4  
Data Hasil Pengolahan Visualisasi Nyala Api pada *Equivalent Ratio* Konstan

<i>Equivalent Ratio</i>	Kecepatan Reaktan (m/s)	Tinggi Api (mm)	$\alpha$ (°)	Bilangan Reynolds
1	0,239	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	154
	0,358	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	232
	0,477	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	309
	0,597	14,17	16,79	386
	0,716	19,23	14,05	463
	0,835	23,13	12,69	540
	0,954	26,37	11,33	618
	1,074	29,55	10,21	695
	1,193	32,95	9,61	772

Dari tabel 4.4 di atas dapat dilihat bahwa nilai sudut api cenderung mengalami penurunan seiring dengan kenaikan tinggi api. Selain itu dapat dilihat dari tabel di atas, bahwa dengan nilai kecepatan reaktan yang meningkat dalam kondisi *equivalent ratio* yang konstan maka nilai dari tinggi api meningkat.

#### 4.4.2. Tabel Hasil Perhitungan Nyala Api

Pada bagian ini data-data yang berkaitan dengan parameter dari percobaan dilakukan pengolahan. Beberapa parameter utama yang diamati, yaitu temperatur nyala api, tinggi nyala api, dan kecepatan api laminar. Untuk mempermudah pembacaan data hasil percobaan yang telah diperoleh, selanjutnya dibuat tabel yang berisi data-data yang telah diperoleh melalui percobaan, berikut ini ialah tabel dari hasil perhitungan nyala api pada *equivalent ratio* tetap.

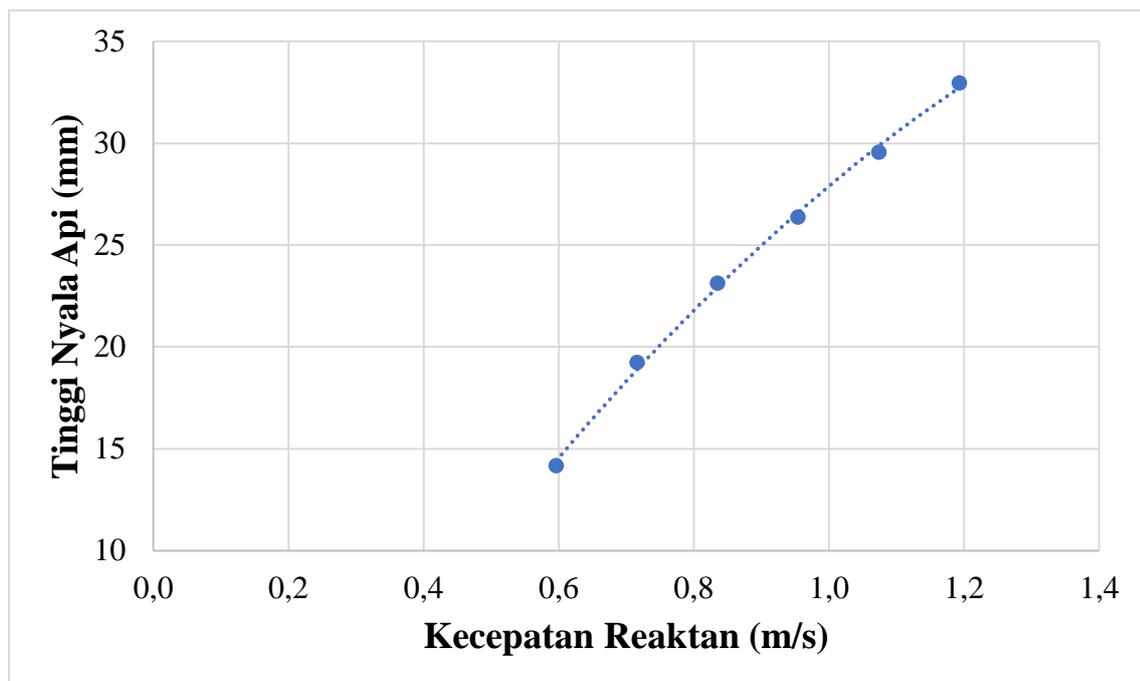
Tabel 4.5  
Hasil Perhitungan Nyala Api pada *Equivalent Ratio* Tetap

<i>Equivalent Ratio</i>	Kecepatan Reaktan (m/s)	Parameter		
		Temperatur Api (°C)	SL (m/s)	Tinggi Api (mm)
1	0,239	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>
	0,358	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>
	0,477	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>	<i>Flashback</i>
	0,597	2202	0,17	14,17
	0,716	2262	0,17	19,23
	0,835	2311	0,18	23,13
	0,954	2353	0,19	26,37
	1,074	2388	0,19	29,55
	1,193	2419	0,20	32,95

Pada tabel 4.5 menggunakan variasi kecepatan reaktan dengan nilai mulai 0,239 m/s hingga 1,193 m/s dengan kondisi *equivalent ratio* yang konstan, yaitu 1. Sehingga nantinya data yang telah diperoleh dapat digunakan untuk membuat grafik hubungan kecepatan reaktan terhadap tinggi api, kecepatan reaktan terhadap temperatur api, dan kecepatan reaktan terhadap kecepatan api laminar.

## 4.5. Grafik dan Pembahasan

### 4.5.1. Grafik Hubungan Kecepatan Reaktan terhadap Tinggi Api



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kecepatan Reaktan terhadap Tinggi Api

Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan kecepatan reaktan terhadap tinggi api. Pada grafik di atas, diperoleh temperatur api laminar dari kecepatan reaktan 0,597 m/s; 0,716 m/s; 0,835 m/s; 0,954 m/s; 1,074 m/s; dan 1,193 m/s berturut-turut adalah sebesar 20,81 mm, 23,62 mm, 26,19 mm, 28,77 mm, 30,39 mm, dan 32,55 mm. Pada kecepatan reaktan sebesar 0,239 m/s; 0,358 m/s; dan 0,477 m/s diperoleh tinggi nyala api sebesar 0 mm, hal ini terjadi karena terjadinya fenomena *flashback*.

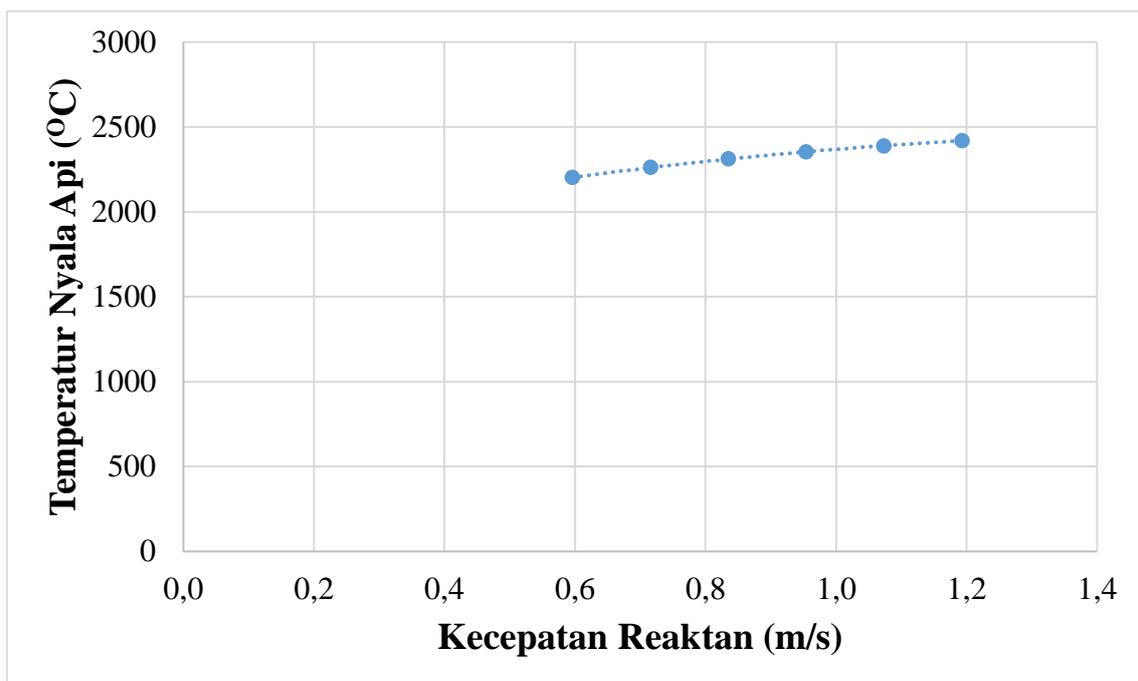
Dapat dilihat pada grafik di atas, bahwa nilai tinggi api memiliki kecenderungan untuk naik seiring dengan kenaikan nilai kecepatan reaktan. Hal ini terjadi karena akibat naiknya nilai kecepatan reaktan, menyebabkan debit antara bahan bakar dan udara mengalami kenaikan pula, hal ini sesuai dengan persamaan nilai kecepatan reaktan pada persamaan (2-6). Dari kenaikan debit bahan bakar dan udara, selanjutnya dapat menyebabkan jumlah

reaktan yang dibakar mengalami peningkatan, akibatnya pembakaran semakin banyak melepas energi panas, sehingga dapat menyebabkan kenaikan tinggi api.

Selain itu kenaikan tinggi api ini juga disebabkan oleh fenomena pemanjangan api (*flame stretch*) di mana fenomena ini terjadi disebabkan kecepatan reaktan yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan pembakaran. Di mana semakin tinggi kecepatan reaktan maka menyebabkan kecepatan reaktan lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan pembakaran, sehingga menyebabkan terjadinya fenomena pemanjangan api yang mengakibatkan tinggi api mengalami kenaikan ketika nilai kecepatan reaktan mengalami kenaikan.

Pada kecepatan reaktan sebesar 0,239 m/s; 0,358 m/s; dan 0,477 m/s terjadi fenomena *flashback*. Fenomena ini disebabkan oleh kecepatan api yang lebih besar daripada kecepatan reaktan yang menyebabkan api merambat masuk ke dalam silinder *bunsen burner*. Pada kecepatan 0,239 m/s; 0,358 m/s; dan 0,477 m/s termasuk ke dalam kecepatan yang rendah, sehingga ketika reaktan masuk ke dalam *bunsen burner* kecepatannya lebih lambat dibandingkan dengan kecepatan pembakaran, akibatnya terjadilah fenomena *flashback*.

#### 4.5.2. Grafik Hubungan Kecepatan Reaktan terhadap Temperatur Api



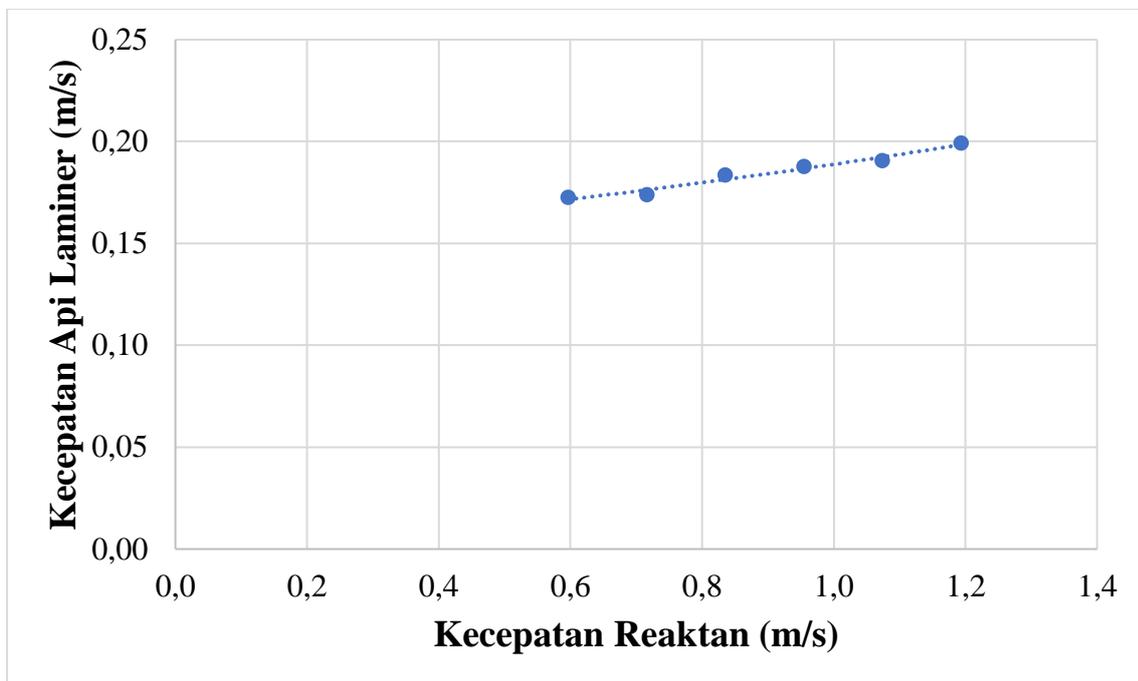
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kecepatan Reaktan terhadap Temperatur Api

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan kecepatan reaktan terhadap temperatur api laminar. Pada grafik di atas, diperoleh temperatur api laminar dari kecepatan reaktan 0,597

m/s; 0,716 m/s; 0,835 m/s; 0,954 m/s; 1,074 m/s; dan 1,193 m/s berturut-turut adalah sebesar 2202 °C, 2262 °C, 2311 °C, 2353 °C, 2388 °C, dan 2419 °C. Sedangkan pada kecepatan reaktan sebesar 0,239 m/s; 0,358 m/s; dan 0,477 m/s diperoleh temperatur nyala api sebesar 0°C, hal ini terjadi karena terjadinya fenomena *flashback*.

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa temperatur api memiliki kecenderungan untuk mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan nilai kecepatan reaktan. Hal ini terjadi karena, akibat semakin tingginya kecepatan reaktan yang masuk adalah debit dari bahan bakar dan udara semakin meningkat. Ketika debit dari bahan bakar dan udara meningkat maka reaksi pembakaran pada *bunsen burner*, maka jumlah reaktan yang masuk semakin besar, sehingga saat mengalami reaktan terbakar, pembakaran dapat semakin banyak melepas energi panas akibat proses oksidasi antara udara dengan bahan bakar. Oleh sebab itu, semakin tinggi nilai niali kecepatan reaktan, maka menyebabkan temperatur nyala api semakin tinggi.

#### 4.5.3. Grafik Hubungan Kecepatan Reaktan terhadap Kecepatan Api Laminer



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kecepatan Reaktan terhadap Kecepatan Api Laminer

Gambar 4.7 menunjukkan grafik hubungan antara kecepatan laminer dengan kecepatan reaktan. Pada grafik di atas, dapat diperoleh nilai kecepatan laminer dari kecepatan reaktan. Pada grafik di atas, dapat diperoleh nilai kecepatan laminer dari kecepatan reaktan 0,597 m/s; 0,716 m/s; 0,835 m/s; 0,954 m/s; 1,074 m/s; dan 1,193 m/s berturut-turut adalah sebesar

0,17 m/s; 0,17 m/s; 0,18 m/s; 0,19 m/s; 0,19 m/s; dan 0,20 m/s. Sedangkan pada kecepatan reaktan sebesar 0,239 m/s; 0,358 m/s; dan 0,477 m/s diperoleh kecepatan api laminar sebesar 0 m/s, hal ini terjadi karena terjadinya fenomena *flashback*.

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa kecepatan api laminar memiliki kecenderungan mengalami kenaikan seiring dengan naiknya nilai kecepatan reaktan. Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi kecepatan api laminar, yaitu kecepatan reaktan dan sudut nyala api yang terbentuk, berdasarkan persamaan (2-5). Sedangkan, untuk kecepatan reaktan dipengaruhi oleh debit bahan bakar dan udara, serta luas penampang *bunsen burner*, hal ini berdasarkan persamaan (2-6).

Akibat adanya peningkatan pada nilai kecepatan reaktan, menyebabkan nilai kecepatan api laminar dapat meningkat, karena salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kecepatan api laminar adalah nilai kecepatan reaktan. Di mana nilai kecepatan api laminar dan kecepatan reaktan berbanding lurus, artinya apabila terjadi peningkatan pada nilai kecepatan reaktan maka nilai dari kecepatan api laminar juga akan meningkat.

