

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan hasil data seperti pada lampiran, mengenai karakteristik nyala api pada *bunsen burner* dan *slot burner* dengan bahan bakar butana, maka dapat digunakan untuk menjawab permasalahan pada bab sebelumnya serta dapat digunakan untuk memberi gambaran dan analisa secara terstruktur mengenai karakteristik nyala api pada *bunsen burner* dan *slot burner* dengan bahan bakar LPG.

Terdapat 2 buah data hasil penelitian, dimana data visual berupa gambar yang didapatkan dari proses dari masing masing *burner* pada tiap rasio ekuivalen yang berbeda, dan data statik berupa nilai temperatur, sudut api dan tinggi api. Selanjutnya penulis melakukan pengolahan data visual dengan menggunakan perhitungan  $S_L$  (kecepatan api laminar) dimana pada  $S_L$  sendiri dipengaruhi oleh kecepatan reaktan serta sudut api yang terbentuk dimana dirumuskan sebagai berikut dalam persamaan (2-8)

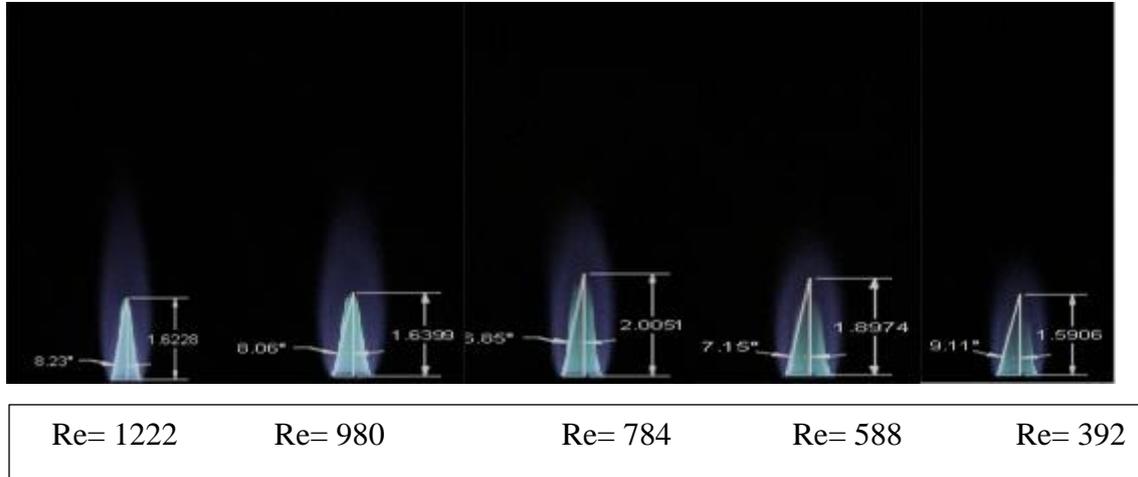
Penelitian serta pengambilan data dilakukan pada kondisi temperatur ruang serta pada saat api stasioner. Pada analisis data kecepatan nyala api semua data dikelompokkan berdasarkan bilangan Reynolds terendah hingga tertinggi dan penambahan gas  $CO_2$  terkecil hingga terbesar. Pada penelitian kali ini yang dibandingkan adalah mengenai temperatur, tinggi api serta kecepatan api laminar dari masing masing variasi. Berdasarkan metode tersebut maka didapatkan hasil dari karakteristik nyala api pada *bunsen burner* berbahan bakar LPG dengan penambahan gas  $CO_2$ .

#### **4.1 Hasil Visualisasi Nyala Api**

Berikut merupakan data visual nyala api pada *bunsen burner* yang didapat. Gambar disusun secara runtut dari bilangan Reynolds terendah hingga tertinggi, dan penambahan gas  $CO_2$  dari terkecil hingga terbesar, sehingga nantinya pada masing – masing data dapat dibandingkan dan dilihat perbedaan visual dari masing-masing api dengan variasi bilangan Reynold dan penambahan gas  $CO_2$ .

#### 4.1.1 Hasil Visualisasi Nyala Api variasi Bilangan Reynolds

Berikut merupakan data visual *bunsen burner* dari masing masing bilangan Reynolds, pada pengujian kali ini diambil 5 nyala api pada bilangan Reynolds yang berbeda namun penambahan gas CO<sub>2</sub> yang sama yaitu 5%.

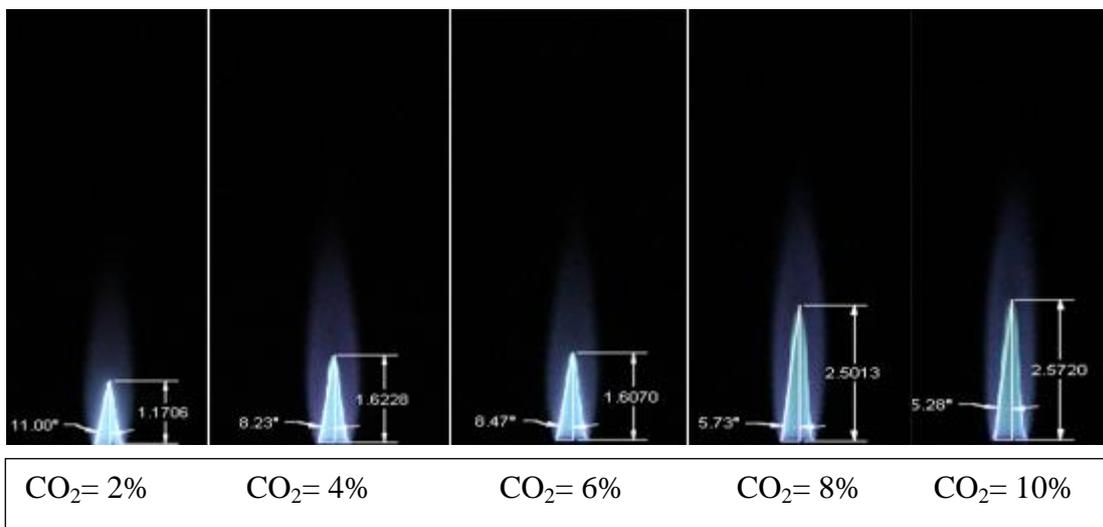


Gambar 4. 1 Nyala Api *Bunsen Burner* variasi bilangan Reynolds

Gambar 4.1 dapat dilihat bentuk nyala api *bunsen burner* dari bilangan Reynolds sebesar 1222; 980; 784; 588; 392. Dari masing masing nyala api nantinya diolah sehingga diketahui nilai dari  $S_L$  dari masing masing nyala api.

#### 4.1.2 Hasil Visualisasi Nyala Api dengan Penambahan Gas CO<sub>2</sub>

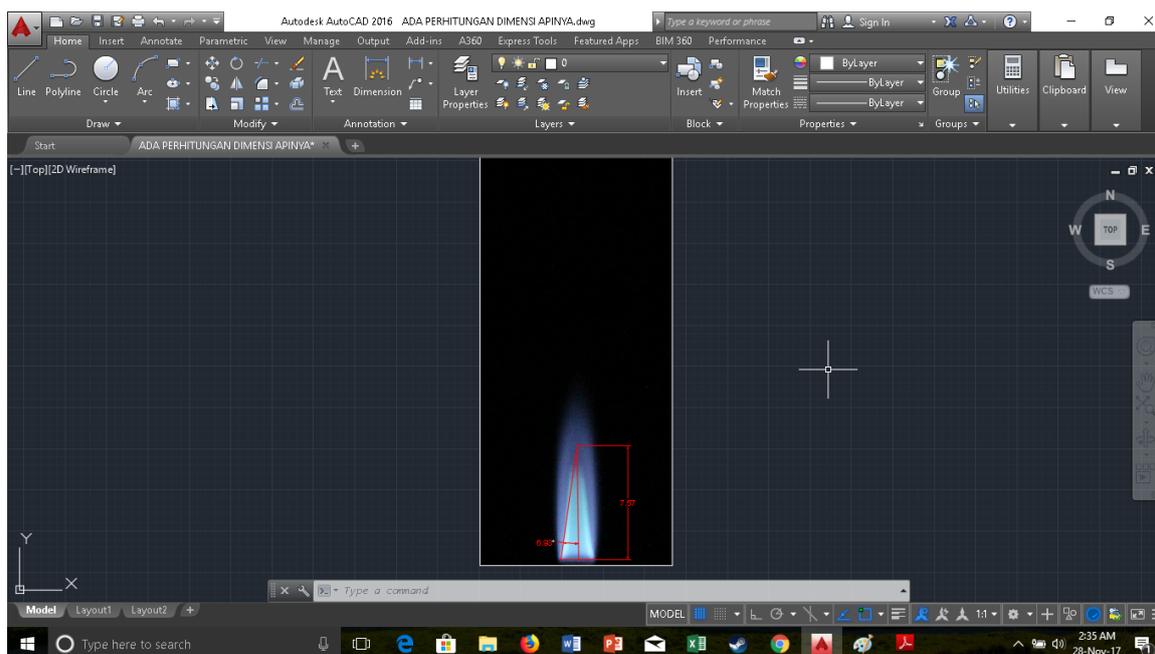
Pada hasil pengujian *slot burner* didapatkan 5 buah data visual dari penambahan gas CO<sub>2</sub> terendah yaitu 2% sampai tertinggi yaitu 10% dengan nilai bilangan Reynolds sebesar 1222 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Nyala Api Bunsen Burner variasi penambahan Gas CO<sub>2</sub>

Gambar 4.2 dapat dilihat bentuk nyala api *bunsen burner*, dengan penambahan gas CO<sub>2</sub> 2% ; 4% ; 6% ; 8% ; dan 10% dengan bilangan Reynolds yang sama yaitu 1222. Dari data nyala api di ambil rasio ekuivalen yang sama yaitu 0,98. agar dapat terlihat perbedaan antara tiap penambahan gas CO<sub>2</sub>.

## 4.2 Contoh Perhitungan dan Pengolahan Data Visual



Gambar 4.3 Perhitungan sudut api pada nyala api *Bunsen Burner*

Gambar 4.3 menunjukkan bagaimana nilai sudut api dari data visual dihitung, pada *Solidworks* 2014 dimana gambar diatur hingga ukurannya menjadi 1:1.

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.

Berikut contoh perhitungan nilai Kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai bilangan Reynolds sebesar 392 dengan penambahan CO<sub>2</sub> sebesar 4%. Perhitungan nilai kecepatan reaktan didapat dengan menggunakan rumus pada persamaan (2-9)

$$Q_{\text{fuel}} = 0,1 \text{ NL/min}$$

$$Q_{\text{air}} = 2,7 \text{ NL/min}$$

$$A_b = 0.785 \text{ cm}^2$$

Sehingga didapat nilai Kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai bilangan Reynolds 392 sebagai berikut

$$Q_{fuel} = 3 \frac{NL}{min} = \frac{NL}{min} \rightarrow \frac{cm^3}{s}$$

$$= \frac{0,1 \times 1000}{60} = 1,8 \text{ cm}^3/s$$

$$Q_{air} = 3 \frac{NL}{min} = \frac{NL}{min} \rightarrow \frac{cm^3}{s}$$

$$= \frac{3 \times 1000}{60} = 52,78042 \frac{cm^3}{s}$$

Sehingga didapat nilai Kecepatan reaktan pada *burner* dengan nilai bilangan Reynolds 392 sebagai berikut:

$$v = \frac{52,78042 + 1,9375}{0,785}$$

$$v = 69,70445 \text{ cm/s}$$

Mengacu pada rumus (2-8) maka 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 bilangan Reynolds 392

$$S_L = v \sin \alpha$$

$$S_L = 70,445 \sin 9,11$$

$$S_L = 70,445 \times 0,158$$

$$S_L = 11,03421 \text{ cm/s}$$

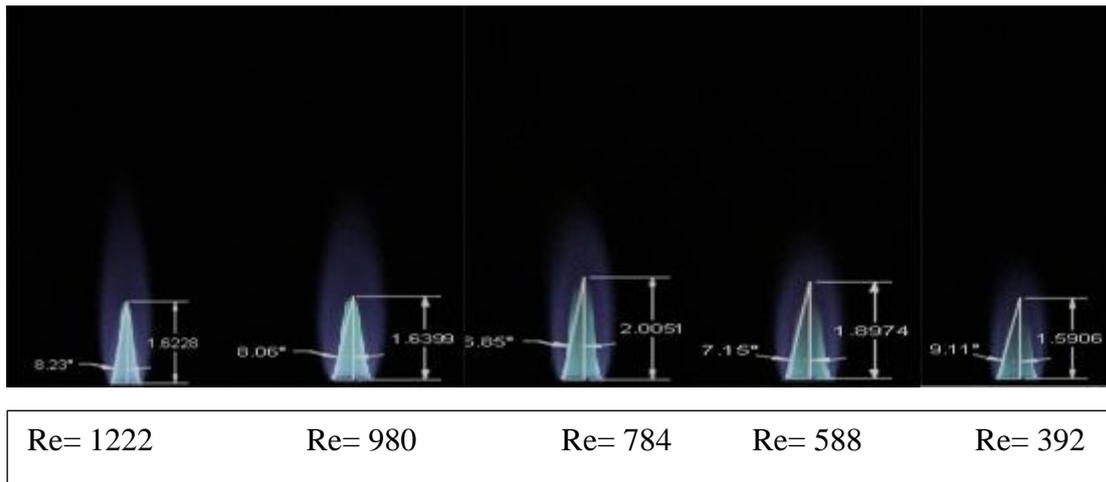
### 4.3 Pengolahan Data Karakteristik Nyala Api

#### 4.3.1 Pengolahan Data Visual Masing – masing *Burner*

Pada bagian ini dilakukan pengolahan data visual dari masing masing *burner*, setelah dipotong sesuai ukuran aktual dari *burner* itu sendiri, langkah berikutnya data diolah guna mendapatkan nilai tinggi api,  $S_L$  (Kecepatan api laminar), dimana nilai kecepatan api laminar didapatkan dari penghitungan sudut alfa. Pada perhitungan *bunsen burner* nilai  $S_L$  di dapatkan dari rata rata nilai 3 titik dimana titik titik tersebut adalah titik paling tepi, baik kanan maupun kiri, serta titik tengah.

#### A. Pengolahan Data Visual *Bunsen Burner* variasi Bilangan Reynolds

Berikut adalah hasil pengolahan data *bunsen burner* dari nilai bilangan Reynolds dari 1222 sampai 392.



Gambar 4. 4 Nyala Api *Bunsen Burner* variasi bilangan Reynolds

Data diatas a=1222 b=980 c=784 d=588 dan e=392 di dapatkan nilai sudut Alfa ( $\alpha$ ) dari masing masing rasio ekuivalen pada *burner*. Sehingga nilai  $S_L$  dapat dicari dengan rumus pada persamaan (2-8), dengan nilai kecepatan reaktan pada persamaan (2-9). Disamping itu dari data diatas juga di dapatkan tinggi api yang dapat digunakan sebagai parameter pembandingan pada karakteristik pembakaran.

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

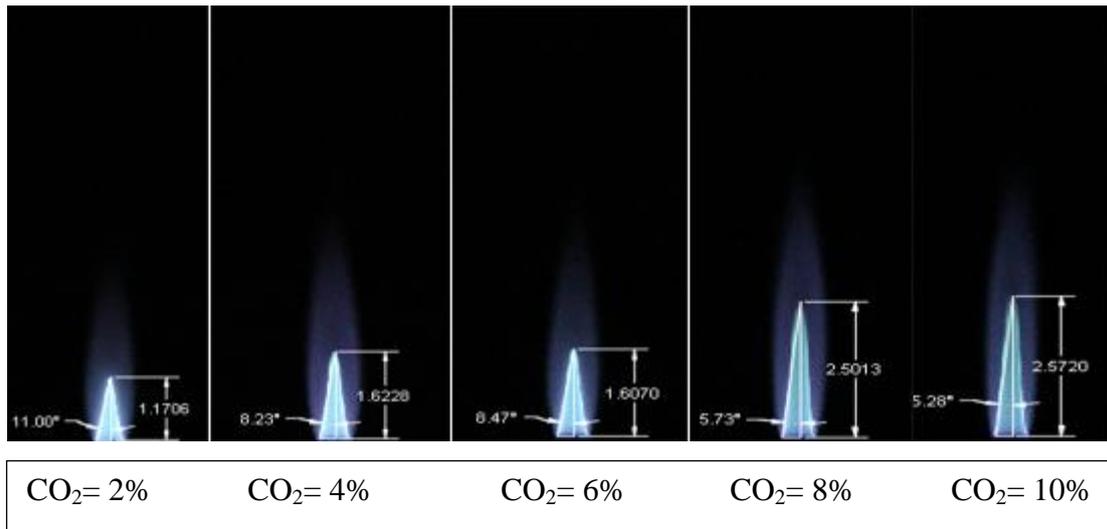
Tabel 4.1 Tabel Data variasi Bilangan Reynold

Bilangan Reynolds	$\alpha(^{\circ})$	Tinggi Api (mm)	$\nu$
1222	8,23	14,1256	217,2055
980	8,06	14,2745	174,2611
784	8,86	17,4534	139,4089
588	7,15	16,5159	104,5567
392	9,11	13,8445	69,7045

Tabel 4.1 dapat dilihat kecenderungan nilai sudut api mengalami penurunan dan sedikit peningkatan seiring dengan peningkatan nilai bilangan Reynolds. Disamping itu juga dapat dilihat bahwa peningkatan nilai bilangan Reynolds yang semakin meningkat menghasilkan nilai tinggi api yang menurun.

#### B. Pengolahan Data Visual Variasi penambahan Gas CO<sub>2</sub>

Pada *bunsen burner* dengan variasi penambahan gas CO<sub>2</sub> dilakukan pengolahan data api laminer dan tinggi api dengan variasi penambahan gas CO<sub>2</sub> sebesar 5%; 7%; 10%; 12%; 15% dengan *equivalence ratio* sama sebesar 0,98



Gambar 4. 5 Nyala Api dengan penambahan gas CO<sub>2</sub>

Data gambar diatas, di dapatkan nilai sudut Alfa ( $\alpha$ ) dari masing masing penambahan gas CO<sub>2</sub> pada *bunsen burner* dengan *equivalence ratio* yang sama. Nilai  $S_L$  dapat ditemukan menggunakan rumus pada persamaan (2-8), dengan menggunakan rumus menghitung nilai kecepatan reaktan pada persamaan (2-9), kemudian nilai tinggi api juga ditemukan lewat hasil visual nyala api sebagai paramater pembanding pada karakteristik pembakaran.

Untuk mempermudah pembacaan maka di buat tabel sementara untuk membaca data-data yang telah didapatkan.

Tabel 4. 2 Tabel Data variasi penambahan Gas CO<sub>2</sub>

Penambahan Gas CO <sub>2</sub> (%)	$\alpha$ (°)	Tinggi Api (mm)	$v$
2	11	10,1912	217,2055
4	8,23	14,1256	217,2055
6	8,47	13,9881	217,2055
8	5,73	21,7732	217,2055
10	5,28	22,3879	217,2055

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat kecenderungan nilai sudut api mengalami penurunan seiring dengan penambahan gas CO<sub>2</sub>. Disamping itu juga dapat dilihat bahwa penambahan gas CO<sub>2</sub> yang semakin meningkat menghasilkan nilai tinggi api yang meningkat pula.

#### 4.3.2 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 *ekuivalen rasio* tertentu. Sehingga di peroleh tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan Nyala Api variasi Bilangan Reynolds

Jenis data	Parameter	Re=1222	Re= 980	Re=784	Re=588	Re=392
Variasi Bilangan Reynolds	T ujung	986,333	1057,333	1071,33	1060,33	1043
	T tengah	751,333	778	751	738,333	713,333
	S <sub>L</sub>	31,0821	24,4314	21,4716	13,0069	11,0342
	Tinggi api	14,1256	14,2745	17,4534	16,5159	13,8445

Tabel 4. 4 Tabel Hasil Perhitungan Nyala Api variasi penambahan Gas CO<sub>2</sub>

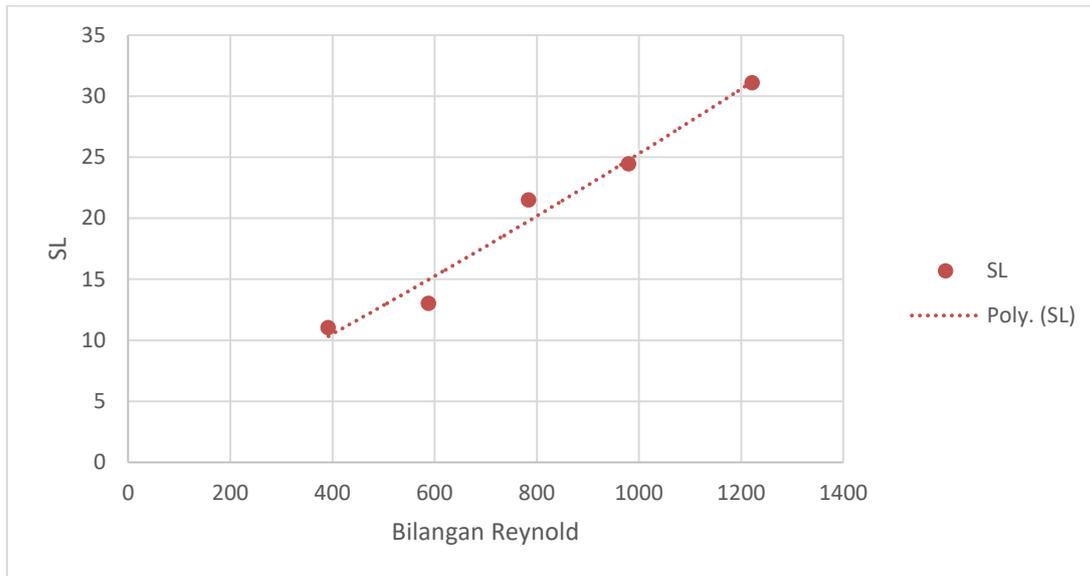
Jenis data	Parameter	2%	4%	6%	8%	10%
Variasi Penambah an gas CO <sub>2</sub>	T ujung	1108,667	1047,333	1007,667	997,333	957,667
	T tengah	787,667	725,667	716,667	711,667	706,667
	S <sub>L</sub>	41,4428	31,0821	31,9727	21,6771	19,9829
	Tinggi api	10,1912	14,1256	13,9881	21,7732	22,3879

Pada Tabel 4.3 menggunakan bilangan Reynolds 1222 sampai 392 dengan *equivalence ratio* yang sama sebesar 0,98. Berdasarkan tabel 4.3, di dapat grafik dari data diatas sebagai hubungan antara kecepatan api laminar dengan bilangan Reynolds, temperatur api dengan bilangan Reynolds, dan tinggi api dengan bilangan Reynolds.

Pada tabel 4.4 menggunakan variasi penambahan gas CO<sub>2</sub> dari 5% sampai 15% dengan *equivalence ratio* yang sama sebesar 0,98. Berdasarkan tabel 4.4, didapatkan grafik dari data diatas sebagai hubungan antara kecepatan api laminar dengan penambahan gas CO<sub>2</sub>, temperatur api dengan penambahan gas CO<sub>2</sub>, tinggi api dengan penambahan gas CO<sub>2</sub>.

#### 4.4 Grafik dan Pembahasan

##### 4.4.1 Grafik Hubungan Kecepatan Api laminir dengan Bilangan Reynolds



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kecepatan Api Laminer dengan Bilangan Reynolds

Pada gambar 4.6 diatas dapat dilihat pengaruh hubungan kecepatan api laminir dengan bilangan Reynolds,. Pada grafik juga dapat dilihat hubungan antara kecepatan api laminir dengan bilangan Reynolds. Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya *ekuivalen rasio* yang di gunakan adalah bilangan Reynolds 1222 ; 980 ; 784 ; 588 ; dan 392 dengan *equivalence ratio* yang sama sebesar 0,98.

Dapat dilihat nilai kecepatan api laminir mengalami peningkatan dan juga penurunan di beberapa variasi bilangan Reynolds. Didapatkan juga nilai dari kecepatan api laminir dari masing-masing variasi bilangan Reynolds secara urut sebagai berikut 1222 ; 980 ; 784 ; 588 ; dan 392. Masing masing data dinyatakan dalam satuan cm/s.

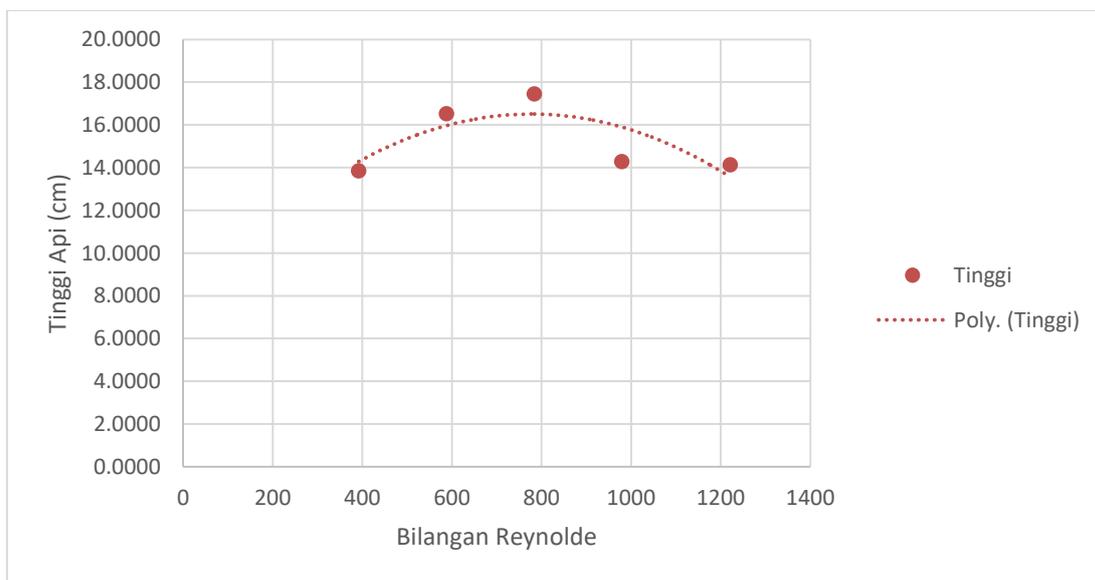
Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kecepatan api laminar mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Hal ini disebabkan karena terjadinya gesekan antara reaktan dan dinding burner yang akan menyebabkan lapisan batas sehingga menghasilkan api yang lebih tinggi dan sudut yang lebih lancip, selain itu kecepatan api laminir ( $S_L$ ) mengalami penurunan.

##### 4.4.2 Grafik Hubungan Tinggi Api dengan Bilangan Reynold

Pada gambar 4.7 dapat dilihat hubungan antara tinggi api dengan bilangan Reynolds. Pada grafik data dapat diketahui peningkatan tinggi api pada variasi bilangan Reynold dengan penambahan gas LPG sebesar 4%.

Pada grafik tersebut, nilai tinggi api *premixed* pada bilangan Reynolds 1222; 980; 784; 588; dan 392 adalah sebesar 14,1256; 14,2745; 17,4534; 16,5159; 13,8445. Hasil data ditunjukkan dalam satuan panjang (mm).

Pada gambar 4.7 dapat dilihat kenaikan tinggi api yang mengalami kenaikan dan penurunan. Hal ini dapat disebabkan dari perbedaan masukan udara dan LPG yang berbeda tiap bilangan Reynolds. Pengaruh dari pencampuran yang kurang merata juga dapat menyebabkan ukuran tinggi api yang beragam dikarenakan semakin banyak bahan bakar yang masuk kedalam *burned gas zone*



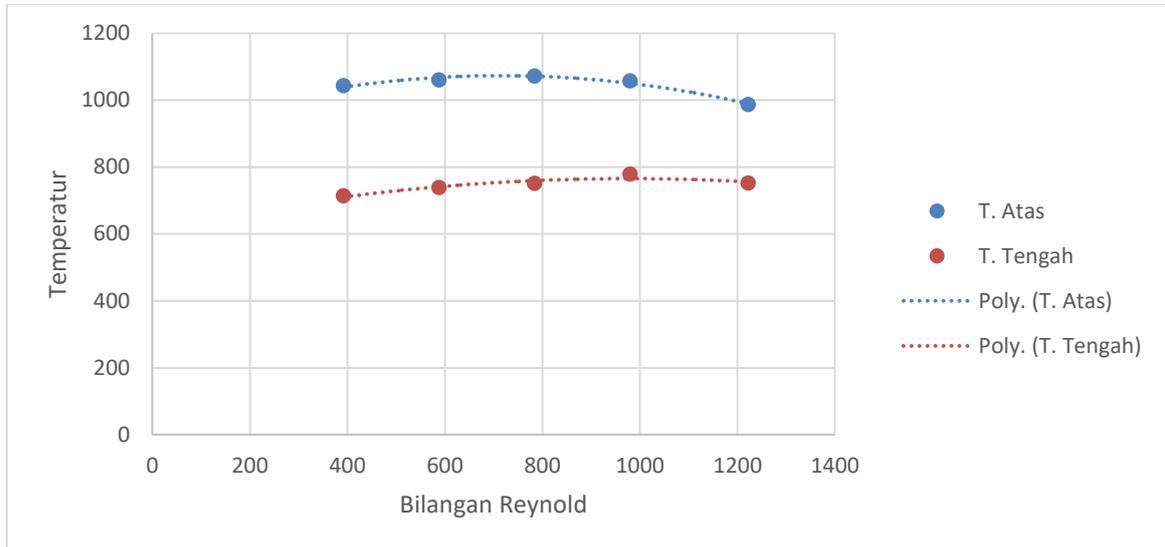
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Tinggi Api dengan Bilangan Reynolds.

#### 4.4.3 Grafik Hubungan Temperatur dengan Bilangan Reynold

Pada grafik ini, nilai temperatur api *premixed* pada bilangan Reynold 1222; 980; 784; 588 dan 392 di bagian tengah adalah sebesar 751,333; 778; 751; 738,333 dan 713,333. Kemudian pada bagian ujung api adalah sebesar 986,333; 1057,333; 1071,333; 1060,333 dan 1043. data ditunjukkan dalam satuan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ).

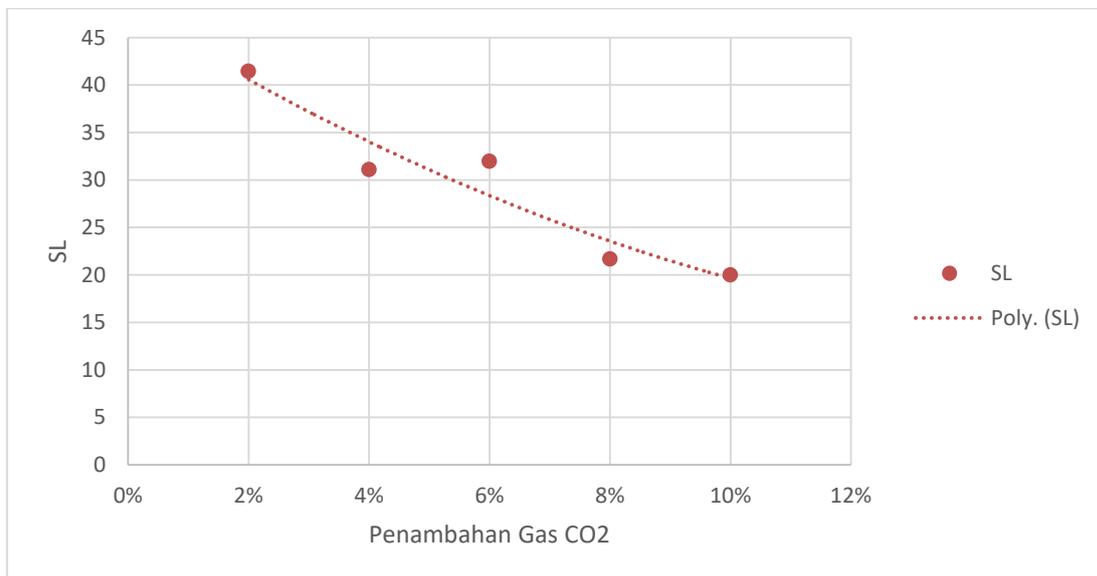
Terlihat dari gambar 4.8 bahwa terjadi kecenderungan peningkatan dan penurunan suhu api *premixed*. Hal ini dapat disebabkan dari kurang tercampurnya api *premixed* hingga dapat mempengaruhi temperatur api yang dihasilkan. Temperatur pada ujung api lebih panas dibandingkan tengah api dikarenakan *burned gas zone* yang didapat jauh lebih besar.

Penambahan Gas CO<sub>2</sub> yang diberikan juga dapat mempengaruhi temperatur api. Hal ini disebabkan oleh sifat alami dari CO<sub>2</sub> yang merupakan *flame retardant*, dimana panas banyak terbuang untuk membakar gas CO<sub>2</sub> maka dari itu temperatur yang didapat semakin rendah.



Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Temperatur dengan Bilangan Reynolds

#### 4.4.4 Grafik Hubungan Kecepatan Api Laminer terhadap Penambahan Gas CO<sub>2</sub>



Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Kecepatan Api Laminer dengan Penambahan Gas CO<sub>2</sub>

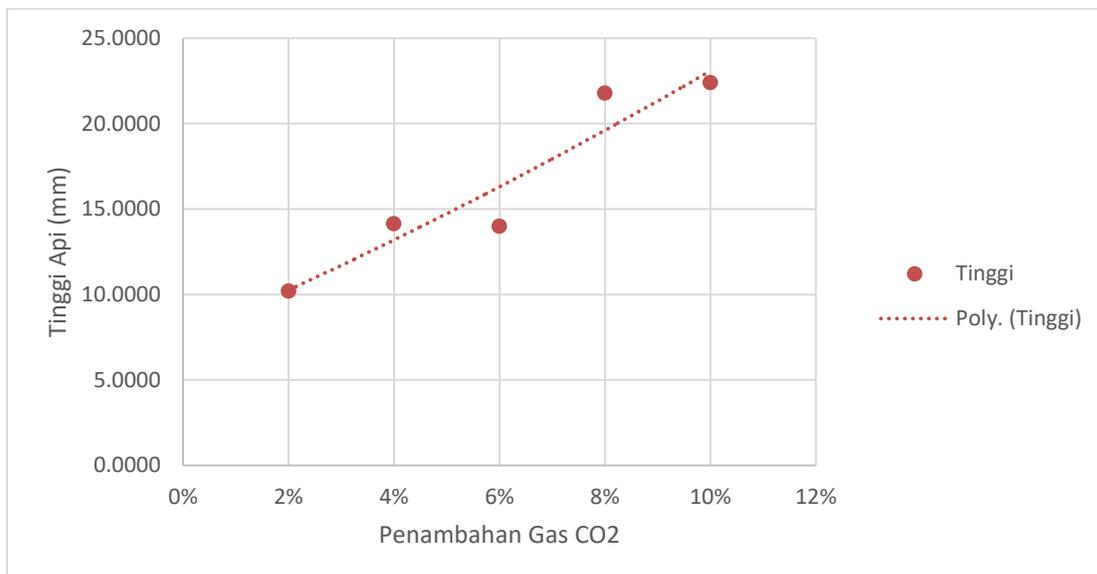
Dalam grafik ini dapat diketahui nilai Kecepatan Api Laminer ( $S_L$ ) dari variasi penambahan gas CO<sub>2</sub> sebagai berikut: 41,4428; 31,0821; 31,9726; 21,6771; dan 19,9829 dengan variasi CO<sub>2</sub> sebesar 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%.

Dilihat juga dalam grafik ini bahwa semakin banyak gas CO<sub>2</sub> maka semakin menurun juga kecepatan api laminernya. Hal ini sesuai dengan dasar teori bahwa semakin banyak gas CO<sub>2</sub> maka mempengaruhi kecepatan api laminer dikarenakan semakin mengecilnya sudut api *premixed* yang dihasilkan. Semakin kecil sudut api *premixed* maka akan berbanding lurus dengan kecepatan api laminer dikarenakan sudut api merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan sudut api laminer.

#### 4.4.5 Grafik Hubungan Tinggi Api terhadap Penambahan Gas CO<sub>2</sub>

Dalam gambar 4.10 diketahui pengaruh dari penambahan gas CO<sub>2</sub> terhadap tinggi api. Didapat pula nilai dari tinggi api seiring dengan penambahan CO<sub>2</sub> sebagai berikut: 10,1912; 14,1256; 13,9881; 21,7732; dan 19,9829.

Dapat diketahui juga dalam gambar 4.10 bahwa peningkatan tinggi api *premixed* terjadi seiring dengan penambahan CO<sub>2</sub>. Hal ini dikarenakan penambahan CO<sub>2</sub> akan semakin meningkatkan api *premixed* sehingga tinggi api *premixed* akan semakin meningkat dan juga semakin banyaknya CO<sub>2</sub> meningkatkan api *premixed* menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena CO<sub>2</sub> meningkatkan aliran reaktan dari pembakaran tersebut.



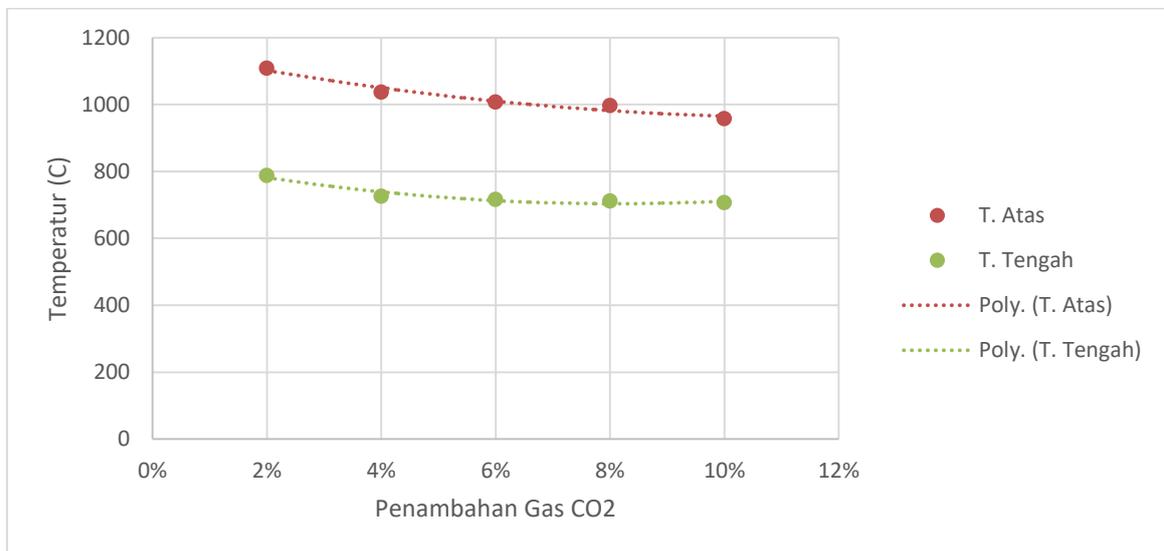
Gambar 4. 10 Grafik Hubungan Tinggi Api terhadap Penambahan Gas CO<sub>2</sub>

#### 4.4.6 Grafik Hubungan Temperatur terhadap Penambahan Gas CO<sub>2</sub>

Pada gambar 4.11 ini, dapat diketahui kecenderungan dari penambahan gas CO<sub>2</sub> terhadap temperatur dari api *premixed*. Nilai temperatur titik tengah api sesuai dengan penambahan gas CO<sub>2</sub> sebagai berikut: 787,668; 725,667; 716,667; 711,667; dan 706,667. Data yang diambil ditunjukkan dalam satuan celsius (°C).

Data nilai titik ujung api juga didapatkan sebagai berikut: 1108,667; 1037,333; 1007,667; 997,333; dan 957,667. Data yang didapat ditunjukkan dalam satuan celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Pada gambar 4.11 dapat diketahui bahwa semakin besar penambahan gas  $\text{CO}_2$  maka temperatur titik ujung api akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan sifat alami dari  $\text{CO}_2$  sebagai *flame retardant* yaitu sebagai penghambat dari api. Dengan semakin banyak gas  $\text{CO}_2$  maka akan semakin banyak juga panas yang terbangun ke lingkungan. Tetapi hal yang sama tidak terjadi pada titik tengah api dimana temperaturnya meningkat dan menurun. Hal ini dikarenakan panas pada api *premixed* tidak terjaga sepenuhnya. Pengaruh dari sifat alami  $\text{CO}_2$  sebagai *flame retardant* juga mengurangi temperatur dari titik tengah api. Panas yang berkurang disebabkan karena banyak panas dipakai untuk membakar  $\text{CO}_2$ .



Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Temperatur terhadap Penambahan Gas  $\text{CO}_2$