

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Lebar Api

Pada pengambilan data dilakukan dengan berbagai variasi debit sebesar 4 L/M, 6 L/M, 8 L/M, 10 L/M, 12 L/M, yang nantinya akan dikonversi ke massa alir dan dilakukan pada 3 *sample* persentase CO₂ sebesar 0%, 20%, dan 40%. Untuk mendapatkan data lebar api dilakukan perhitungan secara manual dengan cara menghitung lebar api dari foto dimana dalam satu api terdapat api biru dan merah. Lebar api dihitung dalam satuan centimeter [cm]. Data variasi debit gas terlebih dahulu dikonversi menjadi massa alir gas. Untuk mengkonversi debit gas menjadi massa alir gas digunakan persamaan 2-16, yaitu:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho$$

Dimana:

$$\rho_{\text{Metana}} = 0.6604 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Karbon dioksida}} = 1.6658 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Oksigen}} = 1.31725 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Nitrogen}} = 1.1531 \text{ kg/m}^3$$

Contoh perhitungan:

Debit oksidator 4 L/M, dimana debit O₂ = 1.25 L/M dan debit N₂ = 2.75 L/M.

- debit O₂ = 1.25 L/M

$$1.25 \text{ L/M} = 1.25 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} = 2.083 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \cdot \rho_{\text{Oksigen}} \\ &= 2.083 \times 10^{-5} \text{ [m}^3/\text{s]} \times 1.31725 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ &= 2.7443 \times 10^{-5} \text{ [kg/s]} \end{aligned}$$

- debit N₂ = 2.75 L/M

$$2.75 \text{ L/M} = 2.75 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} = 4.584 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$



$$\begin{aligned}\dot{m} &= Q \cdot \rho_{\text{Nitrogen}} \\ &= 4.584 \times 10^{-5} \text{ [m}^3/\text{s]} \times 1.1531 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ &= 5.286 \times 10^{-5} \text{ [kg/s]}\end{aligned}$$

Dari perbandingan debit oksigen dan debit nitrogen di atas dapat diketahui perbandingan massa alir O₂ dengan campuran gas pada oksidator, dimana gas oksidator yang digunakan adalah campuran O₂ dan N₂ menggunakan rumus:

$$Y_{\text{O}_2} = \frac{O_2}{O_2 + N_2}$$

Dimana:

Y_{O_2} = perbandingan debit O₂ dengan campuran gas pada oksidator

O_2 = debit O₂ [kg/s]

N_2 = debit N₂ [kg/s]

(Sumber : Hiroshi Tsuji “*Journal of counterflow diffusion flames*” 1982:17)

Contoh perhitungan pada debit 4 L/M:

$$O_2 = 1.25 \text{ L/M}$$

$$N_2 = 2.75 \text{ L/M}$$

$$\begin{aligned}Y_{\text{O}_2} &= \frac{1.25 \text{ L/M}}{1.25 \text{ L/M} + 2.75 \text{ L/M}} \\ &= 0.3125\end{aligned}$$

Didapat nilai Y_{O_2} sebesar 0.3125 maka nilai O₂ dan N₂ pada debit 6 L/M, 8 L/M, 10 L/M, dan 12 L/M dapat diketahui dengan menggunakan perbandingan.

- Pada debit 6 L/M, didapat:
 - $O_2 = 1.875 \text{ L/M}$
 - $N_2 = 4.125 \text{ L/M}$
- Pada debit 8 L/M didapat:
 - $O_2 = 2.5 \text{ L/M}$
 - $N_2 = 5.5 \text{ L/M}$
- Pada debit 10 L/M didapat:
 - $O_2 = 3.125 \text{ L/M}$
 - $N_2 = 6.875 \text{ L/M}$
- Pada debit 12 L/M didapat:
 - $O_2 = 3.75 \text{ L/M}$
 - $N_2 = 8.25 \text{ L/M}$

Tabel 4.1 menunjukkan data lebar api merah dan biru dalam satuan centimeter [cm] pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dengan persentase CO_2 sebesar 40 %

Tabel 4.1 Data lebar api pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dan $CO_2 = 40$ %

| Warna Api | Massa Alir Bahan Bakar (10^{-5}) [kg/s] | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|
| | 4.4 | 6.6 | 8.8 | 11 | 13.2 |
| Merah | 3.43 | 3.8 | 5.03 | 5.18 | 5.67 |
| Biru | 3.17 | 3.81 | 4.73 | 5.01 | 5.05 |

Tabel 4.2 menunjukkan data lebar api merah dan biru dalam satuan centimeter [cm] pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dengan persentase CO_2 sebesar 20 %

Tabel 4.2 Data lebar api pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dan $CO_2 = 20$ %

| Warna Api | Massa Alir Bahan Bakar (10^{-5}) [kg/s] | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|
| | 4.4 | 6.6 | 8.8 | 11 | 13.2 |
| Merah | 3.48 | 4.52 | 5.59 | 6.14 | 5.83 |
| Biru | 3.21 | 3.61 | 4.51 | 4.78 | 5.02 |

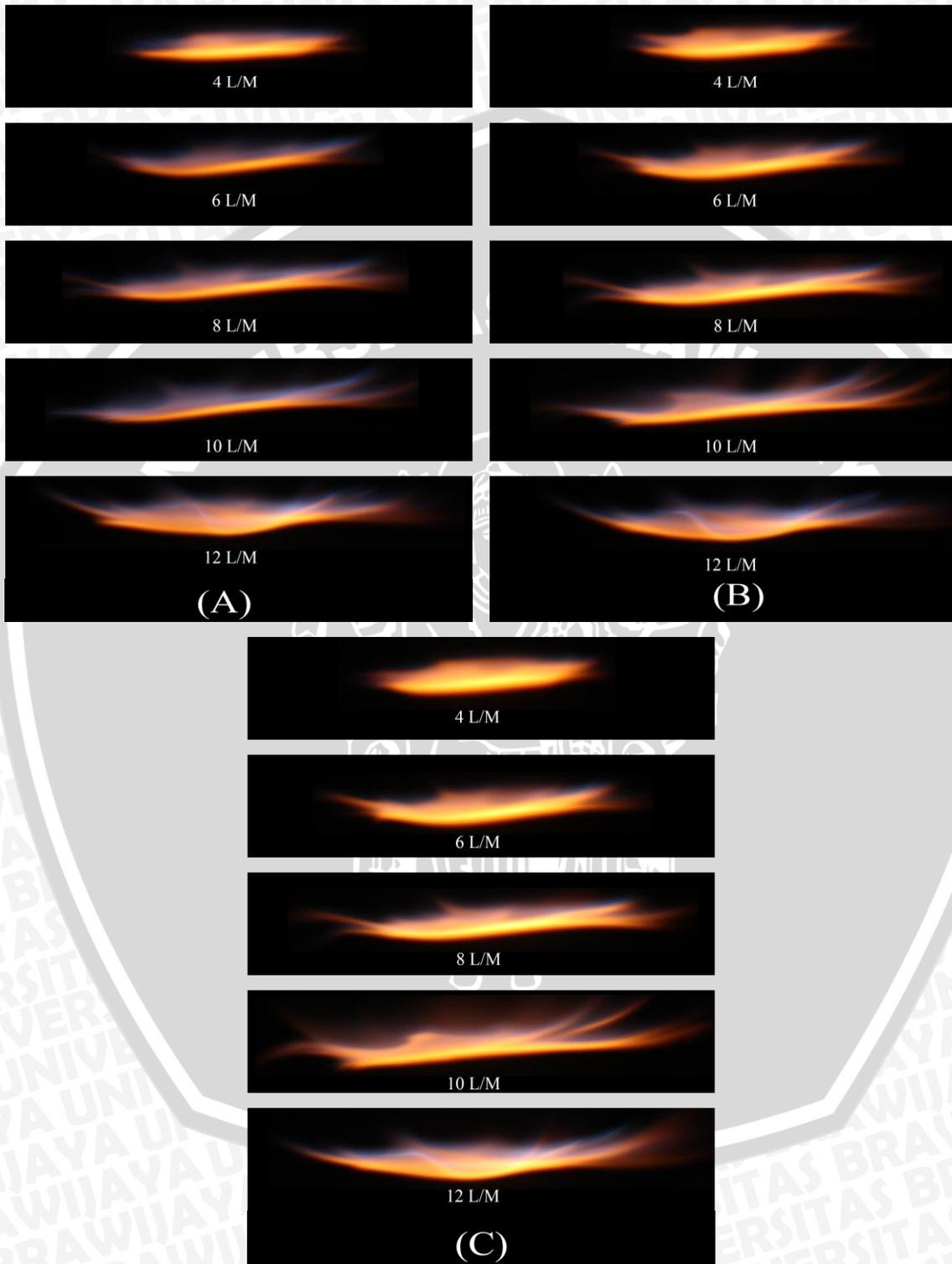
Tabel 4.3 menunjukkan data lebar api merah dan biru dalam satuan centimeter [cm], pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dengan persentase CO_2 sebesar 0 %.

Tabel 4.3 Data lebar api pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dan $CO_2 = 0$ %

| Warna Api | Massa Alir Bahan Bakar (10^{-5}) [kg/s] | | | | |
|--------------|---|------|------|------|------|
| | 4.4 | 6.6 | 8.8 | 11 | 13.2 |
| Merah | 3.6 | 4.67 | 5.81 | 6.67 | 6.5 |
| Biru | 2.73 | 3.29 | 4.32 | 4.67 | 4.88 |

4.2 Hasil dan Pembahasan

4.2.1 Warna Api



Gambar 4.1 Foto api dari berbagai variasi massa alir pada kondisi $Y_{O_2}=0.3125$. (A) persentase $CO_2=40\%$; (B) persentase $CO_2=20\%$; (C) persentase $CO_2=0\%$

Pada **gambar 4.1** dapat dilihat api *counterflow flame configuration* hasil penelitian. Foto api pada **(A)**, **(B)**, dan **(C)** terjadi pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dengan masing-masing persentase CO_2 sebesar 0%, 20%, dan 40%. Terlihat bahwa semakin besar debit atau massa alir reaktan maka api yang terjadi semakin lebar dan semakin tipis.

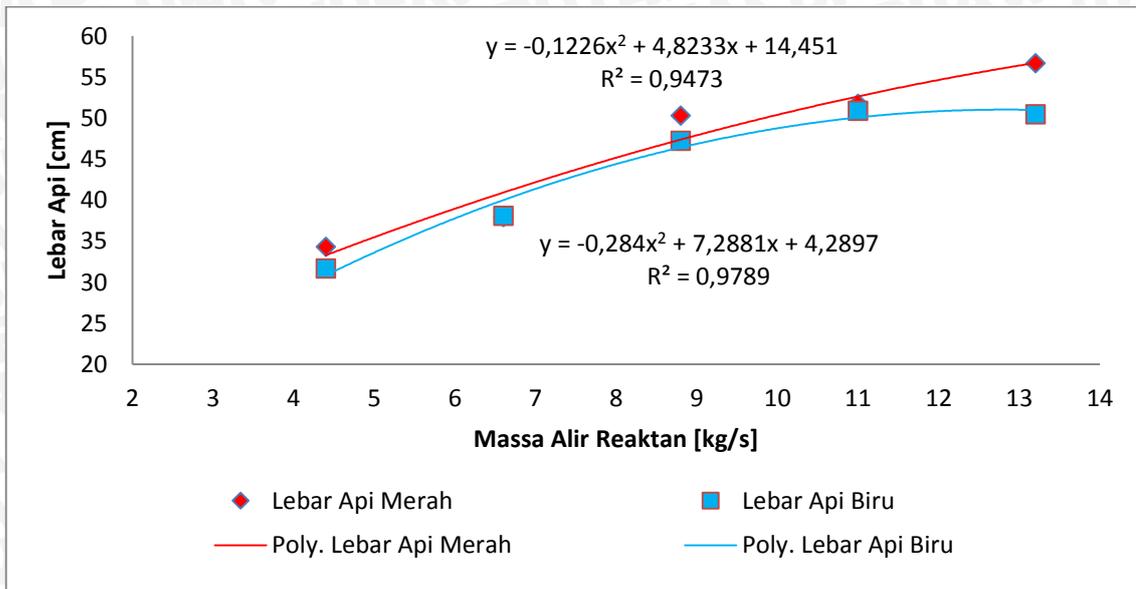
Hal ini dikarenakan semakin besar massa alir atau debit reaktan maka tumbukan atau momentum yang terjadi pada daerah ruang bakar juga semakin besar dan juga menyebabkan melebarnya daerah stagnasi. Jika tumbukan semakin besar maka daerah terbakarnya bahan bakar akan semakin lebar juga dan reaksi pembakaran meningkat akan tetapi api yang terbentuk semakin tipis. Fenomena ini terjadi pada seluruh *sample* persentase CO_2 (0%, 20%, dan 40%). Tingkat kecerahan api semakin meningkat seiring bertambahnya massa alir atau debit reaktan (Park, dkk :2006, 2).

Pada gambar 4.1 **(A)**, **(B)**, dan **(C)** terlihat bahwa pada gambar 4.1 **(C)** tingkat kecerahan api nya paling tinggi, diikuti gambar 4.1 **(B)**, lalu tingkat kecerahan yang paling rendah pada gambar 4.1 **(A)**. hal ini terjadi karena semakin besar kadar CO_2 pada bahan bakar akan menghambat reaksi pembakaran. Sesuai dengan sifatnya gas CO_2 yaitu sebagai inhibitor, dimana kalor hasil proses pembakaran sebagian terserap oleh gas CO_2 . Oleh karena itu tingkat kecerahan api pada bahan bakar yang lebih banyak mengandung gas CO_2 lebih rendah kecerahannya secara keseluruhan. Pada gambar 4.1 **(A)** api yang terbentuk memiliki 2 lapisan, yaitu pada lapisan atas api dominan berwarna biru, sedangkan bagian bawah api dominan berwarna merah kekuning-kuningan.

Pada gambar 4.1 **(B)**, api bagian atas warna biru semakin berkurang atau semakin menipis. Hal ini disebabkan pada kondisi api **(B)** persentase CO_2 semakin berkurang atau dengan kata lain pada kondisi api **(B)** gas CH_4 semakin bertambah atau meningkat. Warna api terlihat lebih terang dibandingkan dengan warna api pada kondisi **(A)**.

Sedangkan pada gambar 4.1 **(C)**, dengan kondisi persentase CO_2 pada bahan bakar sebesar 0%, warna api biru hampir tidak terlihat atau dengan kata lain semakin berkurang dibandingkan dengan kondisi api **(A)** dan **(B)**. Hal ini dikarenakan dalam bahan bakar tidak mengandung gas CO_2 atau inhibitor. Jadi proses pembakaran pada kondisi **(C)** menghasilkan kalor atau panas lebih tinggi dan warna api dengan tingkat kecerahan paling tinggi dibandingkan **(A)** dan **(B)**.

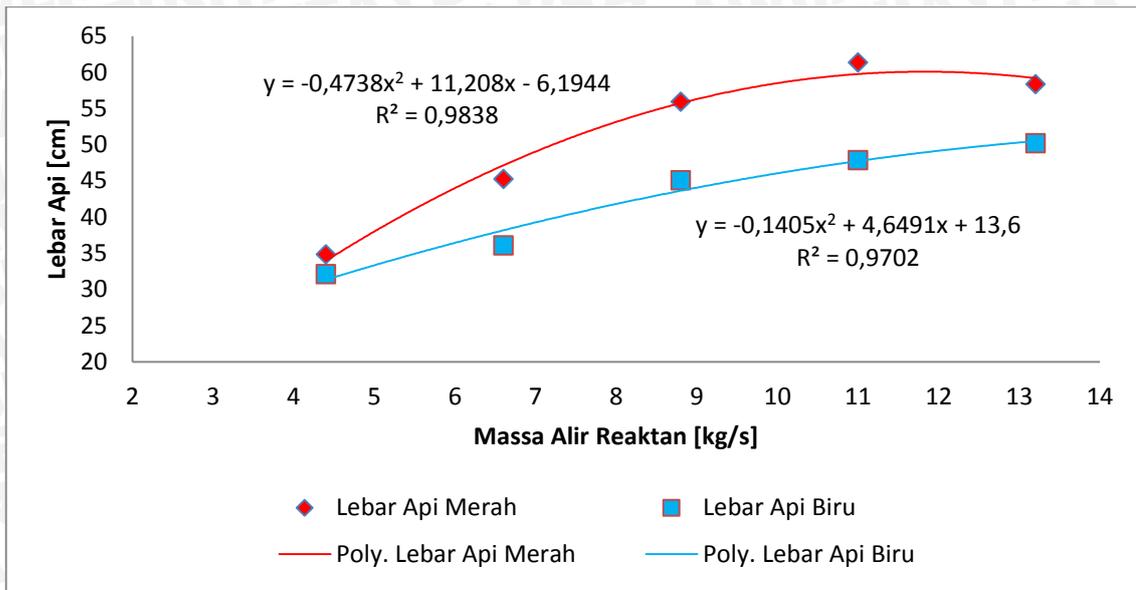
4.2.2 Lebar Api



Gambar 4.2 Hubungan Massa Alir Reaktan dengan persentase CO₂ sebesar 40% Terhadap Lebar Api

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan grafik hubungan massa alir reaktan terhadap lebar api yang terjadi pada proses pembakaran difusi *counterflow flame configuration*. Data lebar api pada grafik tersebut diambil pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dan persentase CO₂ pada bahan bakar sebesar 40%. Terlihat bahwa massa alir reaktan sangat mempengaruhi besarnya lebar api. Semakin besar massa alir reaktan maka api yang terjadi semakin lebar. Hal ini dikarenakan pada alat *counterflow flame burner* terjadi tumbukan atau momentum antara gas yang mengalir dari pipa atas dan pipa bawah. Tumbukan akan semakin besar jika massa alir gas tersebut diperbesar. Oleh karena itu daerah reaksi pembakaran semakin lebar dan api yang terjadi semakin lebar.

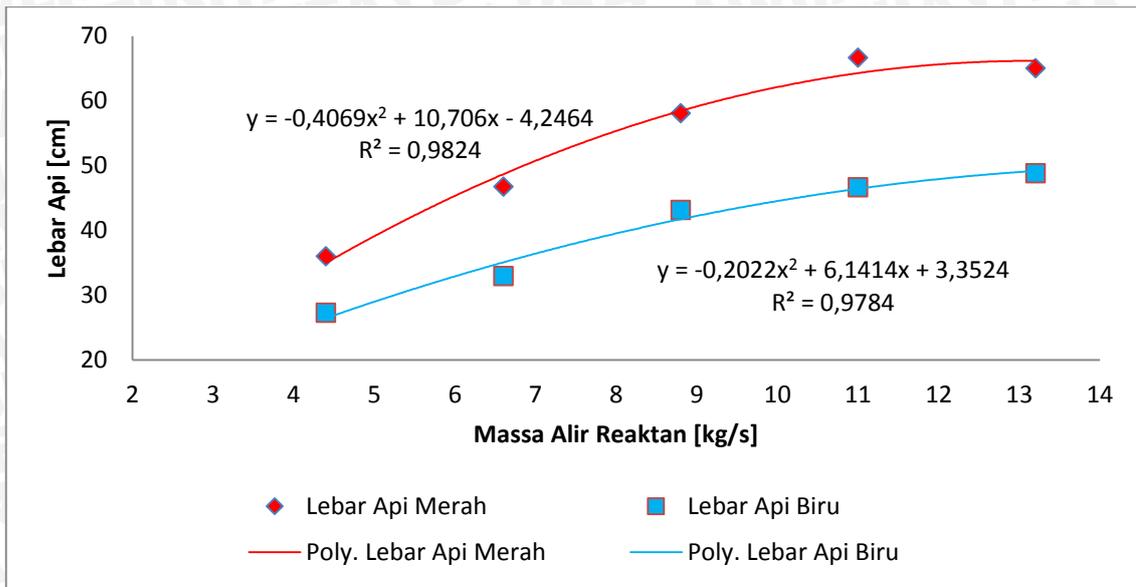
Dari **Gambar 4.2** juga menunjukkan bahwa pada semua variasi massa alir api merah lebih lebar dari pada api biru. Hal ini dikarenakan proses pembakaran yang terjadi adalah pembakaran kaya, yaitu jumlah bahan bakar lebih banyak dari pada oksigennya.



Gambar 4.3 Hubungan Massa Alir Reaktan dengan Persentase CO₂ sebesar 20% Terhadap Lebar Api

Pada **Gambar 4.3** menunjukkan grafik hubungan massa alir reaktan terhadap lebar api yang terjadi pada proses pembakaran difusi *counterflow flame configuration*. Data lebar api pada grafik tersebut diambil pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dan persentase CO₂ pada bahan bakar sebesar 20%. Terlihat bahwa massa alir reaktan sangat mempengaruhi besarnya lebar api. Semakin besar massa alir reaktan maka api yang terjadi semakin lebar. Hal ini dikarenakan pada alat *counterflow flame burner* terjadi tumbukan atau momentum antara gas yang mengalir dari pipa atas dan pipa bawah. Tumbukan akan semakin besar jika massa alir gas tersebut diperbesar. Oleh karena itu daerah reaksi pembakaran semakin lebar dan api yang terjadi semakin lebar.

Pada kondisi bahan bakar dengan persentase CO₂ sebesar 20% api merah yang dihasilkan lebih lebar dan api biru yang terjadi lebih kecil dari pada saat kondisi bahan bakar dengan persentase CO₂ sebesar 40%. Hal ini terjadi karena zat inhibitor (CO₂) pada reaktan berkurang. Jumlah persentase CO₂ menurun mengakibatkan panas atau kalor hasil pembakaran yang diserap semakin sedikit, oleh karena itu kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran semakin meningkat.

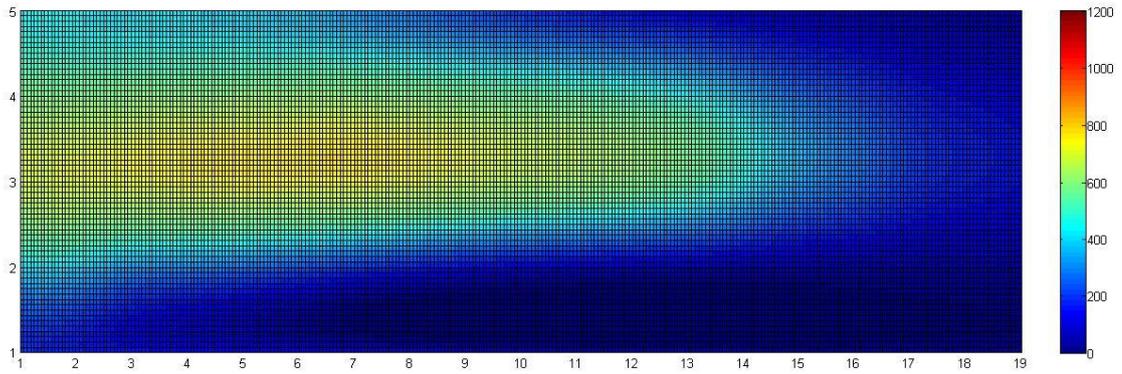


Gambar 4.4 Hubungan Massa Alir Reaktan dengan Persentase CO₂ sebesar 0% Terhadap Lebar Api

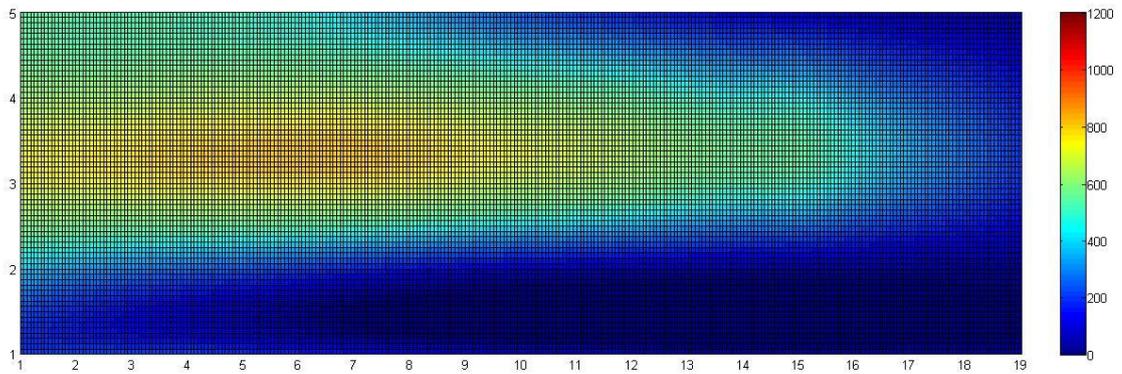
Pada **Gambar 4.4** menunjukkan grafik hubungan massa alir reaktan terhadap lebar api yang terjadi pada proses pembakaran difusi *counterflow flame configuration*. Data lebar api pada grafik tersebut diambil pada kondisi $Y_{O_2} = 0.3125$ dan persentase CO₂ pada bahan bakar sebesar 0%. Terlihat bahwa massa alir reaktan sangat mempengaruhi besarnya lebar api. Semakin besar massa alir reaktan maka api yang terjadi semakin lebar. Hal ini dikarenakan pada alat *counterflow flame burner* terjadi tumbukan atau momentum antara gas yang mengalir dari pipa atas dan pipa bawah. Tumbukan akan semakin besar jika massa alir gas tersebut diperbesar. Oleh karena itu daerah reaksi pembakaran semakin lebar dan api yang terjadi semakin lebar.

Dilihat pada **Gambar 4.4** bahwa perbedaan lebar api merah dan api biru semakin jauh seiring bertambahnya massa alir reaktan. Pada kondisi bahan bakar dengan persentase CO₂ sebesar 0%, api merah jauh lebih mendominasi dibandingkan api biru, dan lebar api biru pada kondisi ini juga lebih kecil dibandingkan dengan kondisi sebelumnya, yaitu pada **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.2**. Hal ini dikarenakan tidak terdapat zat inhibitor dalam kandungan bahan bakar atau persentase CO₂ pada bahan bakar sebesar 0%.

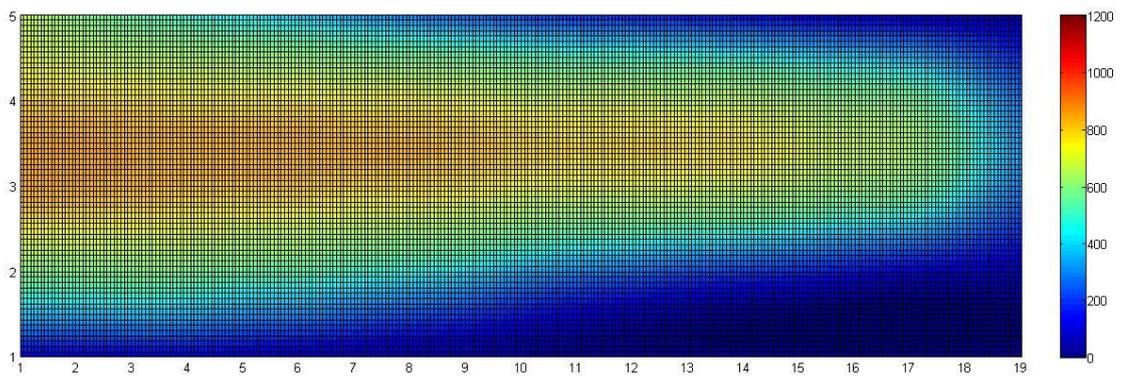
4.2.3 Distribusi Temperatur Api



(a)

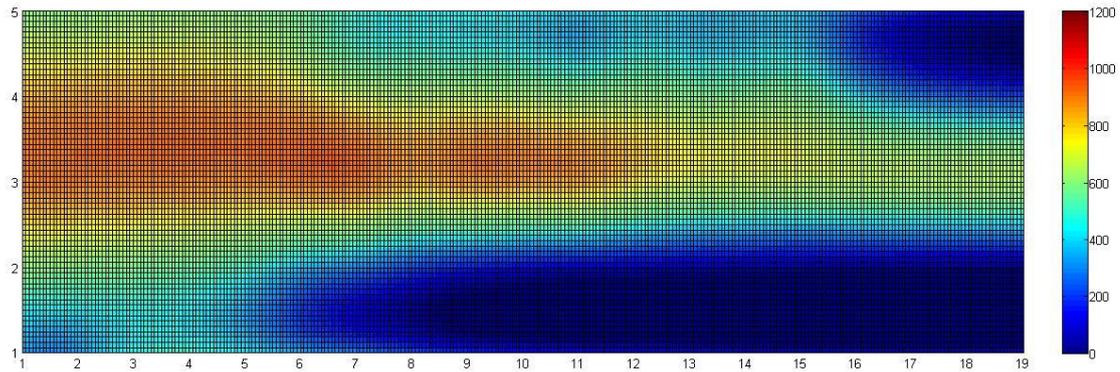


(b)

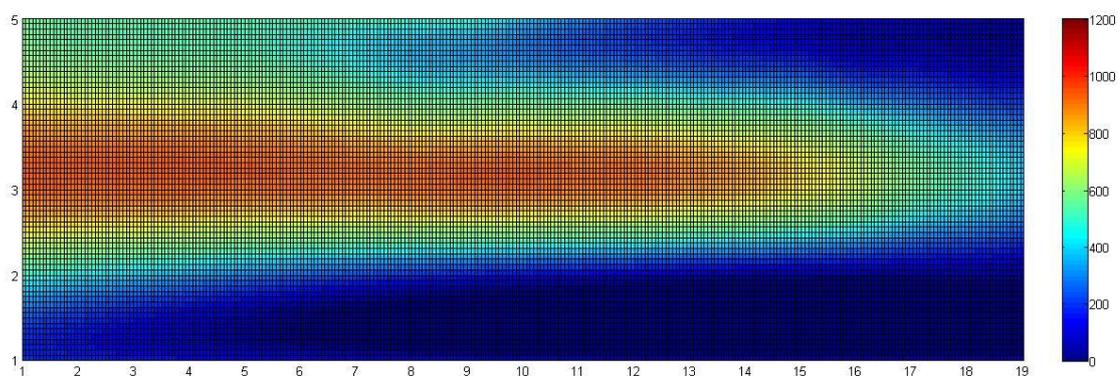


(c)





(d)



(e)

Gambar 4.5 Distribusi temperatur api difusi *counterflow flame configuration* dari berbagai variasi massa alir reaktan dengan persentase CO₂ sebesar 20% dan kondisi Y_{O₂} sebesar 0.3125. (a) massa alir reaktan 4.4×10^{-5} kg/s; (b) massa alir reaktan 6.6×10^{-5} kg/s; (c) massa alir reaktan 8.8×10^{-5} kg/s; (d) massa alir reaktan 11×10^{-5} kg/s; (e) massa alir reaktan 13.2×10^{-5} kg/s

Gambar 4.5 merupakan hasil *plotting* distribusi temperatur api difusi *counterflow flame configuration* dengan menggunakan *software* matlab. Pada **Gambar 4.5** api dalam keadaan beberapa variasi massa alir reaktan, yaitu mulai dari 4.4×10^{-5} kg/s (a), 6.6×10^{-5} kg/s (b), 8.8×10^{-5} kg/s (c), 11×10^{-5} kg/s (d), dan 13.2×10^{-5} kg/s (e). Dengan kondisi Y_{O₂} sebesar 0.3125 dan persentase CO₂ dalam bahan bakar sebesar 20%. Terlihat pada **Gambar 4.5** bahwa massa alir sangat berpengaruh terhadap distribusi temperatur api difusi *counterflow flame configuration*. Semakin besar massa alir reaktan maka distribusi temperatur api semakin lebar dan suhu yang dihasilkan api semakin meningkat.

Pada **Gambar 4.5 (a)** dengan massa alir reaktan sebesar 4.4×10^{-5} kg/s, terlihat bahwa daerah distribusi temperatur tidak luas atau lebar. Hal ini dikarenakan tumbukan

antar gas yang mengalir dari pipa atas dan bawah tidak besar. Tumbukan yang kecil mengakibatkan daerah reaksi pembakaran yang tidak luas dan kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran tidak besar.

Pada **Gambar 4.5 (b)** dengan massa alir reaktan sebesar 6.6×10^{-5} kg/s, jika dilihat dari skala suhu api pada gambar, suhu api yang dihasilkan paling tinggi sekitar 750 °C pada koordinat sumbu x [3-9] dan sumbu y [3-4]. Sedangkan suhu sekitar daerah yang paling dekat dengan api hanya berkisar $400-550$ °C. Pada **Gambar 4.5 (c)** dengan massa alir reaktan sebesar 8.8×10^{-5} kg/s, daerah distribusi api semakin luas dan lebar bila dibandingkan dengan distribusi api pada **Gambar 4.5 (a)** dan **Gambar 4.5 (b)**. Suhu api paling tinggi sekitar 800 °C pada daerah koordinat sumbu x [1-8] dan sumbu y [3-4].

Pada **Gambar 4.5 (d)** dengan massa alir reaktan sebesar 11×10^{-5} kg/s, terlihat bahwa temperatur api semakin meningkat pada koordinat sumbu x [1-11] dan sumbu y [3-4]. Suhu api paling tinggi sekitar 870 °C dan distribusi temperturnya semakin lebar. Sedangkan suhu sekitar daerah yang paling dekat dengan api berkisar $400-750$ °C. Pada **Gambar 4.5 (e)** dengan massa alir reaktan 13.2×10^{-5} kg/s, terlihat bahwa distribusi temperatur tinggi yang berkisar $850-900$ °C semakin lebar, yaitu pada koordinat sumbu x [1-14] dan sumbu y [3-4]. Pada kondisi massa alir reaktan sebesar 13.2×10^{-5} kg/s memiliki temperatur api paling tinggi dibandingkan dengan temperatur api variasi massa alir lainnya.

Hal ini dikarenakan semakin besar massa alir reaktan maka kecepatan alir reaktan (v) akan semakin meningkat. Semakin besar kecepatan alir reaktan (v) maka tumbukan antar gas yang mengalir dari pipa atas dan pipa bawah juga semakin besar. Tumbukan antar gas yang semakin besar mengakibatkan semakin melebarnya daerah reaksi pembakaran. Semakin besar kecepatan alir reaktan mengakibatkan semakin banyak bahan bakar yang terbakar dan semakin besar kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran. Ketika semakin besar kalor yang dihasilkan maka temperatur (T) api akan semakin meningkat.

Dari semua gambar *plotting* pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa distribusi temperatur bagian atas api lebih besar atau dengan kata lain temperatur pada bagian atas api lebih tinggi dibandingkan dengan distribusi temperatur bagian bawah api. Rata-rata besarnya temperatur pada bagian atas api sekitar $200-650$ °C, sedangkan rata-rata besarnya temperatur pada bagian bawah api hanya sekitar $45-450$ °C.