

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan berbagai variasi prosentase CO₂ pada bahan bakar yaitu sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dan dilakukan pada empat *sample* debit aliran bahan bakar yaitu 4 L/M, 8 L/M dan 12 L/M. Pada penelitian ini dipilih konsentrasi O₂ sebesar 22,5 % dikarenakan pada konsentrasi tersebut terlihat cukup jelas perubahan bentuk dan warna api di setiap variasi CO₂ dan juga pada bebit bahan bakar yang telah ditentukan sebelumnya.

Data variasi debit gas terlebih dahulu dikonversi menjadi massa alir gas.

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

Dimana:

\dot{m} = Massa alir gas (kg/s)

Q = Debit gas (m³/s)

ρ = Kerapatan udara atau gas (kg/m³)

Pada penelitian karakteristik nyala api difusi ini kerapatan (*density*) udara dan bahan bakar dianggap konstan, pada kondisi T_∞ = 300 K dan P = 1 atm

ρ O₂ = 1.31725 kg/m³

ρ N₂ = 1.1531 kg/m³

ρ CH₄ = 0.6604 kg/m³

ρ CO₂ = 1.6658 kg/m³

(Sumber : Yunus A. Cengel dan John M. Cimbula "Fluid Mechanics fundamental and Application" Table A-10 Page 895 – 896)

Contoh perhitungan:

Debit oksidator 4 L/M, konsentrasi O₂ 22,5% maka debit O₂ = 0.9 L/M dan debit N₂ = 3.1 L/M.

- debit O₂ = 0.9 L/M

$$0.9 \text{ L/M} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \cdot \rho_{\text{Oksigen}}$$

$$= 1.5 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 1.31725 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$= 1.975 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]$$

- debit $N_2 = 3.1 \text{ L/M}$
 $3.1 \text{ L/M} = 5.166 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

$$\begin{aligned}\dot{m} &= Q \cdot \rho_{\text{Nitrogen}} \\ &= 5.166 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 1.1531 [\text{kg}/\text{m}^3] \\ &= 5.957 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]\end{aligned}$$

Dari perbandingan debit oksigen dan debit nitrogen di atas dapat diketahui perbandingan massa alir O_2 dengan campuran gas pada oksidator, dimana gas oksidator yang digunakan adalah campuran O_2 dan N_2 menggunakan rumus:

$$Y_{O_2} = \frac{\dot{m}_{O_2}}{\dot{m}_{O_2} + \dot{m}_{N_2}}$$

Dimana:

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

\dot{m}_{O_2} = debit O_2 [kg/s]

\dot{m}_{N_2} = debit N_2 [kg/s]

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

Contoh perhitungan pada debit 4 L/M:

$$O_2 = 1.975 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]$$

$$N_2 = 5.957 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]$$

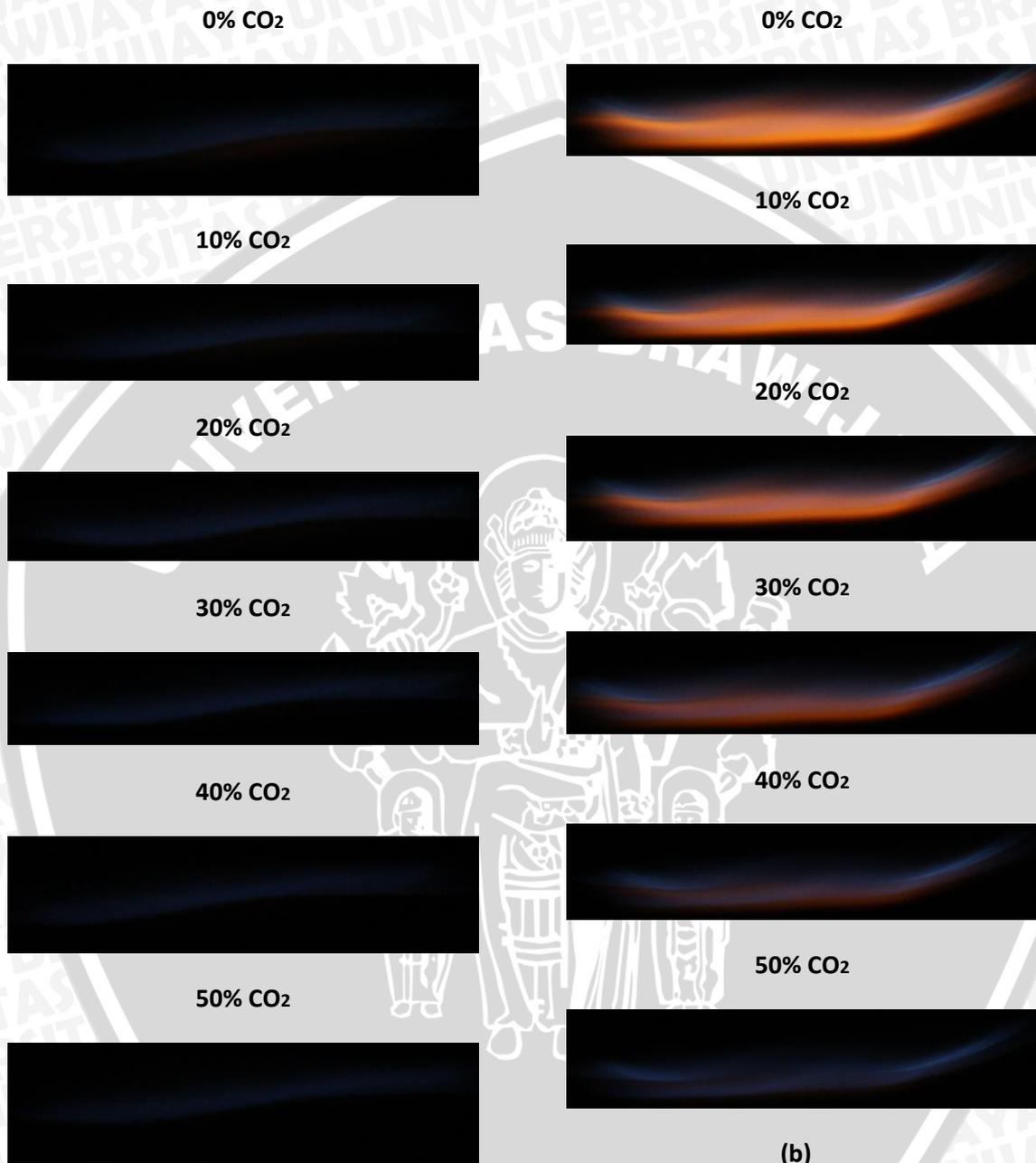
$$\begin{aligned}Y_{O_2} &= \frac{1.975 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]}{1.975 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}] + 5.957 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]} \\ &= 0.225\end{aligned}$$

Didapat nilai Y_{O_2} sebesar 0.225 maka nilai O_2 dan N_2 pada debit 6 L/M, 8 L/M, dan 12 L/M dapat diketahui dengan menggunakan perbandingan.

- Pada debit 8 L/M didapat:
 $O_2 = 1.8 \text{ L/M}$
 $N_2 = 6.2 \text{ L/M}$
- Pada debit 12 L/M didapat:
 $O_2 = 2.7 \text{ L/M}$
 $N_2 = 9.3 \text{ L/M}$

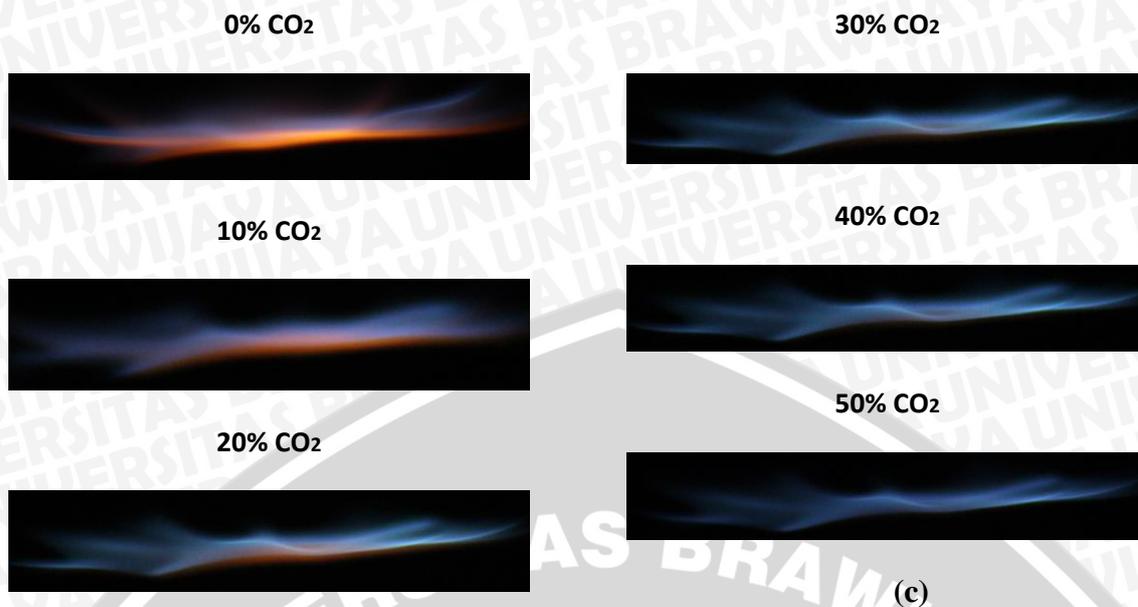
4.1.1 Data Warna Api

Skala 11.61 : 1 (mm)



(a)

(b)



Gambar 4.1 Foto api dari berbagai variasi CO₂ pada kondisi Y_{O₂} = 0.225. (a) 4 L/M (b) 8 L/M; (c) 12 L/M

4.1.2 Data Lebar Api

Berikut akan disajikan data tentang lebar api. **Tabel 4.1** merupakan data lebar api kuning dan lebar api biru pada kondisi Y_{O₂} sebesar 0,225 dengan debit bahan bakar sebesar 4 L/M (Liter per Menit). Satuan dalam milimeter (mm).

Tabel 4.1 Lebar Api Kuning dan Lebar Api Biru Debit Bahan Bakar 4 L/M Prosentase CO₂ Bahan Bakar

Warna Api	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Kuning	14,12	8,75	1,54	0,86	0,36	0
Biru	33,93	35,42	34	33,72	32,91	31,82

Berikut akan disajikan data tentang lebar api. **Tabel 4.2** merupakan data lebar api kuning dan lebar api biru pada kondisi Y_{O₂} sebesar 0.225 dengan debit bahan bakar sebesar 8 L/M (Liter per Menit). Satuan dalam milimeter (mm).

Tabel 4.2 Lebar Api Kuning dan Lebar Api Biru Debit Bahan Bakar 8 L/M Prosentase CO₂ Bahan Bakar

Warna Api	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Kuning	36,81	38,6	36,5	34,86	33,62	15,02
Biru	33,23	34,54	34,69	35,73	38,21	38,3

Berikut akan disajikan data tentang lebar api. **Tabel 4.3** merupakan data lebar api kuning dan lebar api biru pada kondisi YO_2 sebesar 0.225 dengan debit bahan bakar sebesar 12 L/M (Liter per Menit). Satuan dalam milimeter (mm).

Tabel 4.3 Lebar Api Kuning dan Lebar Api Biru Debit Bahan Bakar 12 L/M
Prosentase CO_2 Bahan Bakar

Warna Api	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Kuning	56,54	32,4	29,06	13	13,23	2,32
Biru	56,07	51,62	58,49	57,28	59,04	59,42

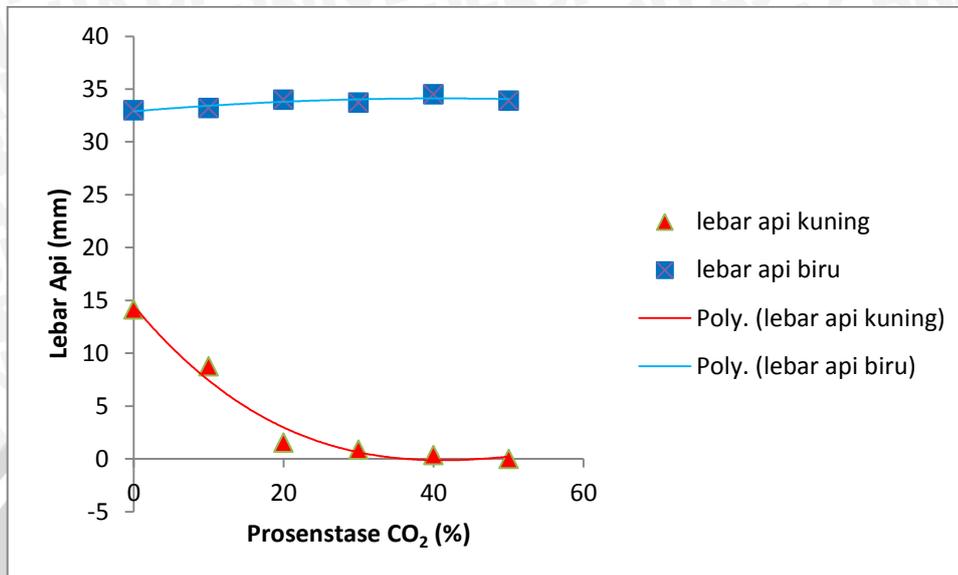
4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Pengaruh Prosentase CO_2 Terhadap Warna Api

Pada **Gambar 4.1 (a), (b), (c), dan (d)** menunjukkan perubahan warna api disertai perubahan lebarnya yang diakibatkan adanya variasi penambahan CO_2 pada bahan bakar. Prosentase CO_2 yang ditampilkan dalam foto tersebut adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% di tiap sampel massa alir yaitu 4 L/M, 8 L/M dan 12 L/M.

Pola api yang terbentuk terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya Prosentase CO_2 dari bahan bakar menyebabkan api semakin gelap. 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. Dapat dilihat pula pada gambar variasi penambahan debit aliran bahan bakar akan mempengaruhi warna api yang terbentuk, dimana pada debit bahan bakar yang lebih besar terlihat warna api yang lebih terang atau memiliki *luminosity* tinggi. Hal ini dikarenakan pada debit bahan bakar yang lebih besar api menjadi lebih kuat atau memiliki *flame strength* yang lebih dibandingkan dua variasi debit bahan bakar yang lebih rendah. Pada peristiwa ini sudah sesuai teori dikarenakan CO_2 yang ikut dalam reaksi pembakaran mengganggu jalannya proses pembakaran. Untuk lebar api terlihat api biru akan terlihat lebih lebar dan dominan ketika konsentrasi CO_2 pada bahan bakar semakin tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh campuran api yang miskin bahan bakar maka api kuning hanya sedikit yang terbentuk.

4.2.2 Analisa Grafik Hubungan Prosentase CO₂ pada Bahan Bakar Terhadap Lebar Api



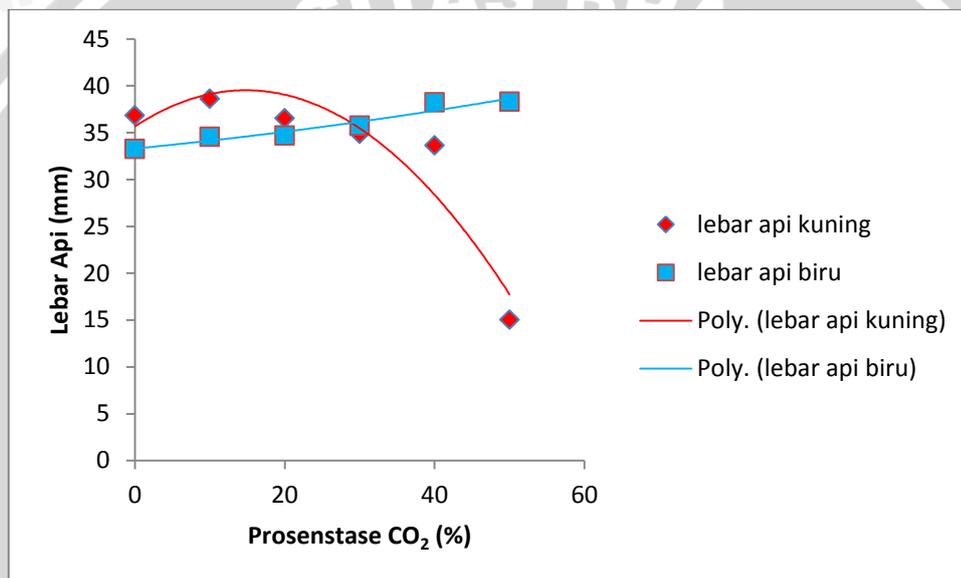
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Prosentase CO₂ pada Bahan Bakar Terhadap Lebar Api, YO₂ 0.225, Debit 4 L/M

Gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik pengaruh konsentrasi CO₂ terhadap lebar api pada debit aliran bahan bakar 4 L/M. Dalam grafik juga terdapat 2 buah parameter yang diuji yakni lebar api biru dan api kuning. Pada penelitian kali ini terdapat 2 buah warna api yang dihasilkan dari proses pembakaran CH₄ yakni warna api biru dan api kuning. Api biru terjadi karena pada wilayah tersebut masih kaya akan O₂, sedangkan api kuning terjadi karena pada wilayah tersebut kaya akan bahan bakar, sehingga banyak bahan bakar yang belum terbakar sempurna. Pada grafik di **Gambar 4.2** terlihat kecenderungan lebar api biru semakin meningkat seiring dengan penambahan CO₂ alir dari bahan bakar, sedangkan lebar api kuning semakin menurun seiring dengan penambahan CO₂ dari bahan bakar.

Hal ini terjadi karena api kuning pada awalnya terbentuk dari bahan bakar yang belum terbakar habis saat api biru sudah terbentuk, api biru terbentuk karena adanya campuran sesuai stokiometri lalu gas oksidator dan bahan bakar yang masih tersisa akan ikut terbakar dengan kondisi campuran yang tidak stokiometri yang menyebabkan api berwarna kuning. Jika bahan bakar berkurang seiring penambahan CO₂ maka jumlah perbandingan antara oksidator dan bahan bakar akan semakin berbeda jauh yang menyebabkan api tidak lagi mampu menyala, api akan semakin melebar pada

counterflow flame terjadi karena gas bahan bakar yang bertumbukan pada ruang bakar akan mengalir kesamping arah aliran awal, lalu gas bahan bakar yang mengalami tumbukan ini terbakar habis sebelum sampai di garis stagnansi dan keluar dari ruang bakar maka api akan terlihat lebih lebar.

Gambar 4.2 juga dapat terlihat terjadi pengurangan pada lebar api. Bahkan pada api kuning di beberapa variasi konsentrasi CO_2 sudah tidak terjadi lagi atau tidak ada. Hal ini disebabkan karena jumlah konsentrasi CO_2 yang ikut dalam proses pembakaran juga semakin besar dan hal ini yang menjadi penghambat terjadinya reaksi pembakaran pada proses pembakaran.



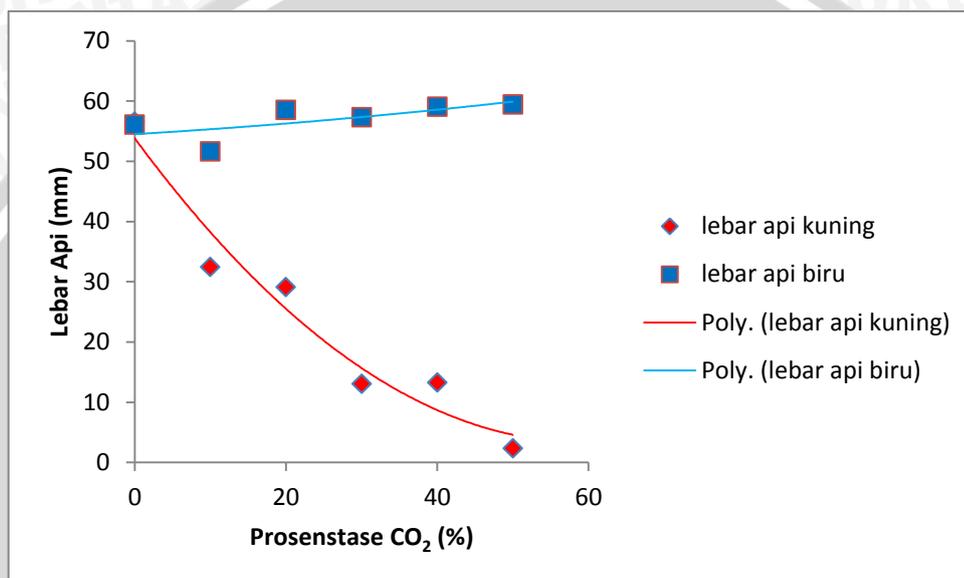
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Prosentase CO_2 pada Bahan Bakar Terhadap Lebar Api, YO_2 0.225, Debit 8 L/M

Gambar 4.3 Dalam grafik juga terdapat 2 buah parameter yang diuji yakni lebar api biru dan api kuning. Pada penelitian kali ini terdapat 2 buah warna api yang dihasilkan dari proses pembakaran CH_4 yakni warna api biru dan api kuning. Api biru terjadi karena pada wilayah tersebut masih kaya akan O_2 , sedangkan api kuning terjadi karena pada wilayah tersebut kaya akan bahan bakar, sehingga banyak bahan bakar yang belum terbakar sempurna.

Hal ini serupa dengan kondisi dengan variasi debit bahan bakar sebelumnya dimana jumlah asupan bahan bakar masih di bawah jumlah oksidator yang teralirkan yang menjadikan api semakin melebar karena oksidator yang berlebih akan membakar seluruh bahan bakar yang dimana bahan bakar semakin ditambah maka api melebar

karena api akan terus mengejar bahan bakar sampai habis untuk melangsungkan proses pembakaran, oleh karena itu api akan melebar dengan tujuan mendapatkan asupan oksigen tambahan dari luar ruang bakar.

Hal ini telah sesuai dengan teori yang sudah ada bahwa semakin besar prosentase CO_2 dalam bahan bakar maka kalor hasil proses pembakaran sebagian terserap oleh gas CO_2 dikarenakan asupan bahan bakar yang kurang disaat jumlah oksidator masih banyak.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Prosentase CO_2 pada Bahan Bakar Terhadap Lebar Api, YO_2 0.225, Debit 12 L/M

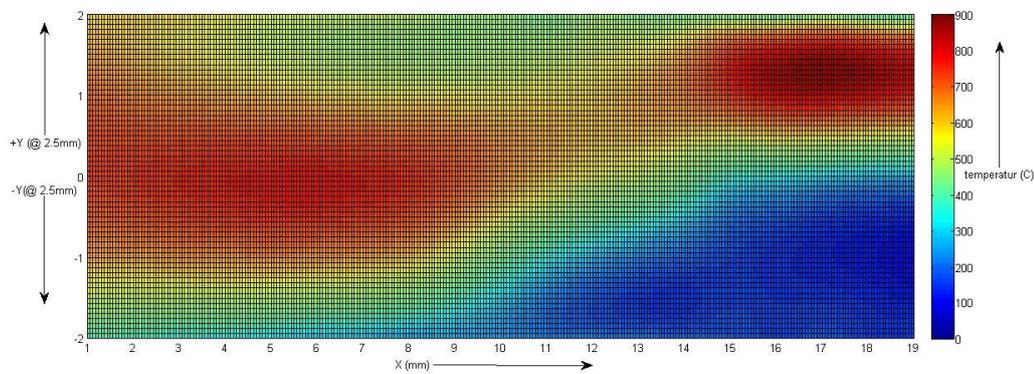
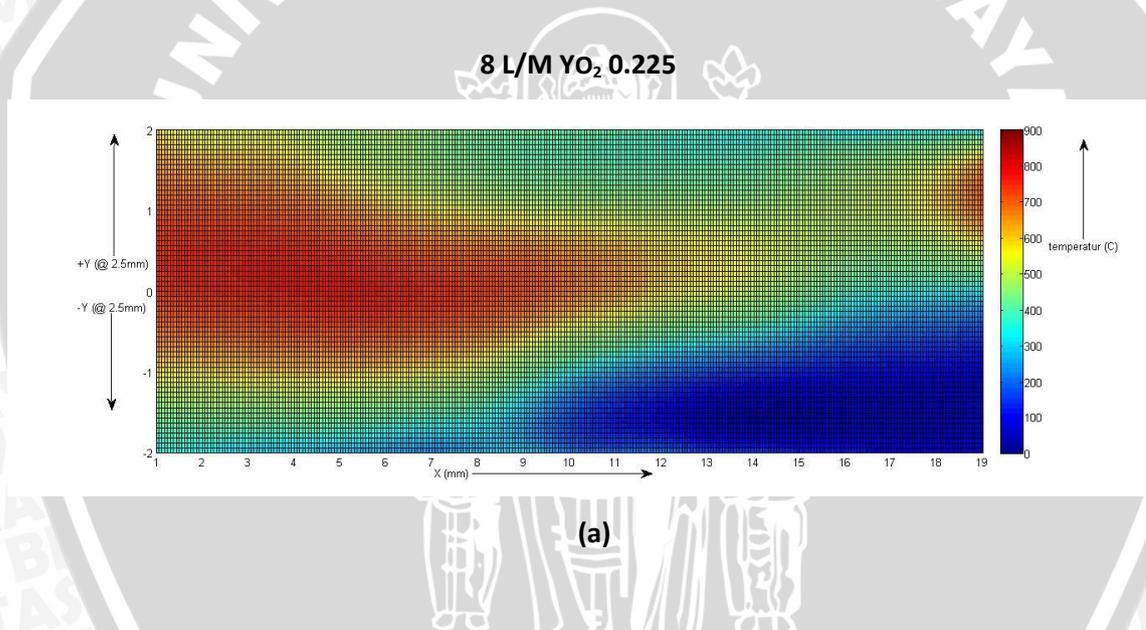
Gambar 4.4 Dalam grafik juga terdapat 2 buah parameter yang diuji yakni lebar api biru dan api kuning. Pada penelitian kali ini terdapat 2 buah warna api yang dihasilkan dari proses pembakaran CH_4 yakni warna api biru dan api kuning. Api biru terjadi karena pada wilayah tersebut masih kaya akan O_2 , sedangkan api kuning terjadi karena pada wilayah tersebut kaya akan bahan bakar, sehingga banyak bahan bakar yang belum terbakar sempurna.

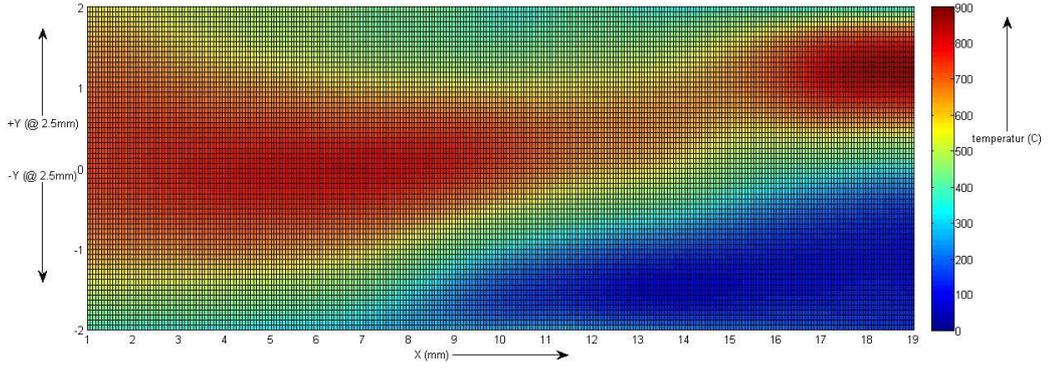
Hal ini serupa dengan dua kondisi dengan variasi debit bahan bakar sebelumnya dimana jumlah asupan bahan bakar masih di bawah jumlah oksidator yang teralirkan yang menjadikan api semakin melebar karena oksidator yang berlebih akan membakar seluruh bahan bakar yang dimana bahan bakar semakin ditambah maka api melebar karena api akan terus mengejar bahan bakar sampai habis untuk melangsungkan proses pembakaran, oleh karena itu api akan melebar dengan tujuan mendapatkan asupan

oksigen tambahan dari luar ruang bakar. Tetapi pada kondisi kali ini oksidator jumlahnya tidak sebanyak jika dibanding dua kondisi sebelumnya jika dilihat dari perbandingan debit bahan bakarnya. Maka api yang timbul akan cenderung turun dari zona stagnansi karena proses pembakaran yang seharusnya terjadi di garis stagnansi tidak terjadi disini diakibatkan debit bahan bakar yang jauh lebih besar disebanding oksidator maka api akan terdorong kearah pipa oksidator.

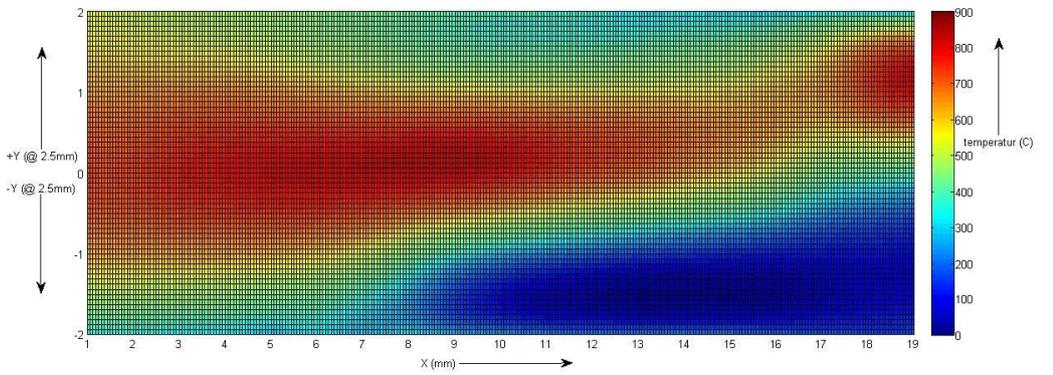
Gambar 4.4 juga dapat terlihat terjadi pengurangan pada lebar api. Pada api kuning di beberapa variasi konsentrasi CO₂ hampir tidak ada. Hal ini disebabkan karena jumlah konsentrasi CO₂ yang ikut dalam proses pembakaran juga semakin besar dan hal ini yang menjadi penghambat terjadinya reaksi pembakaran pada proses pembakaran.

4.2.3 Analisa Pengaruh Prosentase CO₂ Terhadap Distribusi Temperatur

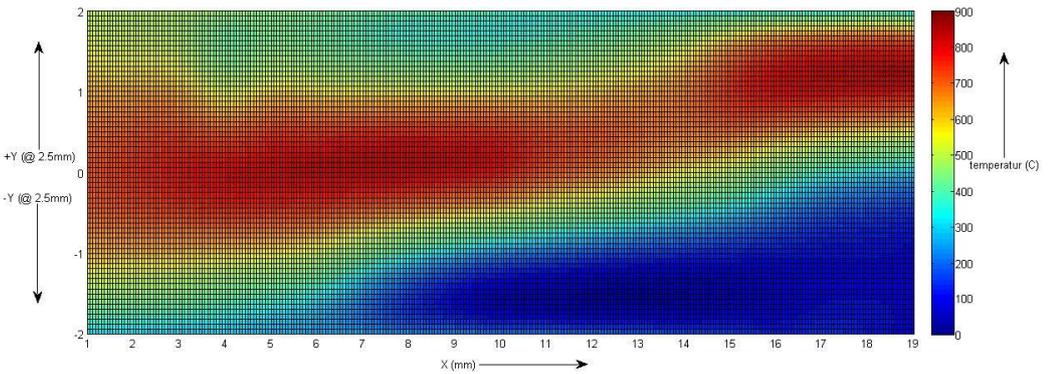




(c)

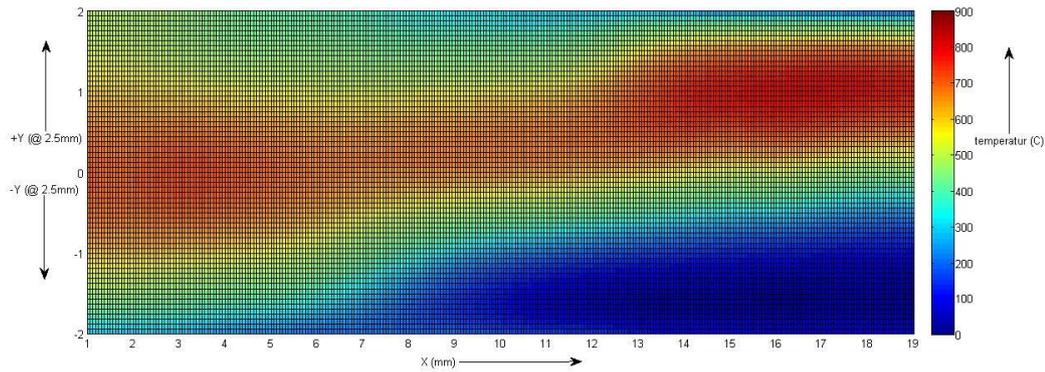


(d)



(e)





(f)

Gambar 4.5 Distribusi temperatur api difusi *counterflow flame burner* dari berbagai variasi prosentase CO₂ debit bahan bakar 8 L/M dan kondisi Y_{O₂} sebesar 0.225. (a) 0% CO₂; (b) 10% CO₂; (c) 20% CO₂; (d) 30% CO₂; (e) 40% CO₂; (f) 50% CO₂

Gambar 4.5 merupakan hasil *plotting* distribusi temperatur api difusi *counterflow flame burner* data distribusi temperatur pada titik-titik yang telah ditentukan diinterpolasikan sebanyak 4 kali dengan metode interpolasi *spline*. Setelah mendapatkan data yang sudah diinterpolasi kemudian dilakukan *plotting* warna dengan menggunakan software MATLAB. Titik 0 merupakan data temperatur yang diambil pada daerah stagnasi api atau tengah api, titik +Y merupakan data temperatur atas api, titik -Y merupakan titik bawah api, kemudian titik X menunjukkan data yang diambil dari tengah api menuju tepi api. api dalam keadaan beberapa variasi prosentase CO₂, yaitu mulai dari 0% (a), 10% (b), 20% (c), 30% (d), 40% (e), dan 50% (f). Dengan kondisi Y_{O₂} sebesar 0.225. Terlihat pada **Gambar 4.5** bahwa prosentase CO₂ sangat berpengaruh terhadap distribusi temperatur api difusi *counterflow flame burner*. Semakin besar prosentase CO₂ maka distribusi temperatur api semakin tipis dan suhu yang dihasilkan api semakin rendah atau menurun.

Pada **Gambar 4.5 (a)** dengan prosentase CO₂ sebesar 0%, terlihat bahwa daerah distribusi temperatur lebar. Hal ini dikarenakan tidak terdapat zat inhibitor dalam kandungan bahan bakar, sehingga bahan bakar yang terbakar lebih banyak. Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 277 °C dan pada titik paling atas api yaitu 410 °C.

Pada **Gambar 4.5 (b)** dengan prosentase CO₂ sebesar 10%, jika dilihat dari skala suhu api pada gambar, suhu api yang dihasilkan paling tinggi sekitar 810,7°C pada koordinat sumbu (7,0). Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 260 °C dan pada titik paling atas api yaitu 456 °C. Terdapat api yang keluar dari gas selubung dan terlihat semakin melebar pada *counterflow flame* terjadi karena gas bahan bakar yang

bertumbukan pada ruang bakar akan mengalir kesamping arah aliran awal, lalu gas bahan bakar yang mengalami tumbukan ini terbakar habis sebelum sampai di garis stagnansi dan keluar dari ruang bakar maka api akan terlihat lebih lebar.

Pada **Gambar 4.5 (c)** dengan prosentase CO₂ sebesar 20%, daerah distribusi api semakin tipis bila dibandingkan dengan distribusi api pada **Gambar 4.5 (a)** dan **Gambar 4.5 (b)**. Di grafik ini terdapat api yang keluar dari gas selubung dan terlihat semakin melebar pada counterflow flame maka api akan terlihat lebih lebar. Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 263 °C dan pada titik paling atas api yaitu 418 °C. Suhu api paling tinggi sekitar 806,8°C pada daerah koordinat sumbu (8,0) suhu api turun karena adanya zat inhibitor.

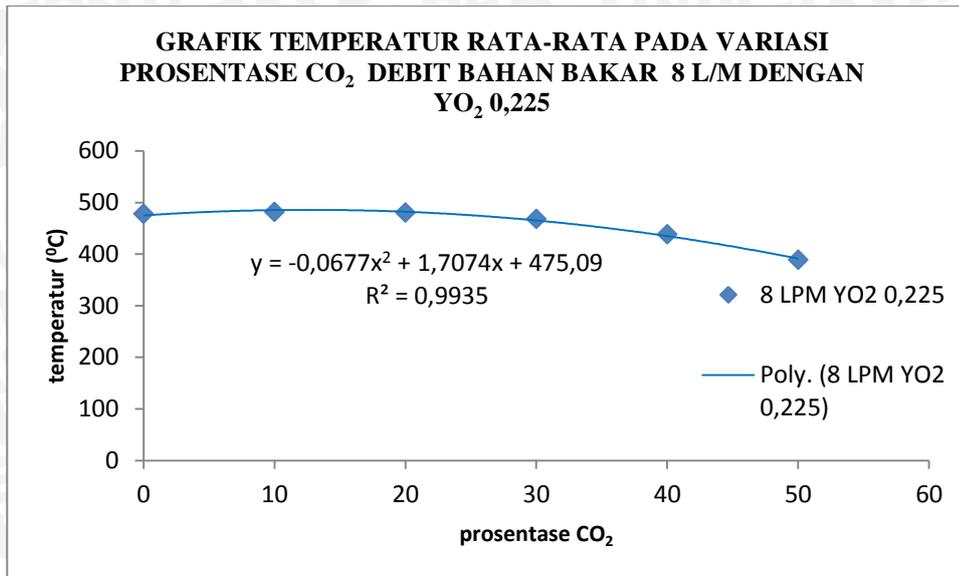
Pada **Gambar 4.5 (d)** dengan prosentase CO₂ sebesar 30%, terlihat bahwa temperatur api semakin menurun, Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 245 °C dan pada titik paling atas api yaitu 399 °C. suhu api paling tinggi sekitar 787,8°C dan distribusi temperturnya semakin tipis.

Pada **Gambar 4.5 (e)** dengan prosentase CO₂ sebesar 40%, terlihat bahwa distribusi temperatur tinggi yang berkisar 755-765,6°C semakin tipis, yaitu pada koordinat sumbu (3,0)-(6,0). Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 210 °C dan pada titik paling atas api yaitu 386 °C. Di grafik ini terdapat api yang keluar dari gas selubung dan terlihat semakin melebar pada counterflow flame maka api akan terlihat lebih lebar.

Pada **Gambar 4.5 (f)** dengan prosentase CO₂ sebesar 50%, terlihat bahwa distribusi temperatur tinggi yang berkisar 540-639°C semakin tipis, yaitu pada koordinat sumbu (2,0)-(5,0). Suhu api pada titik paling bawah api yaitu 186 °C dan pada titik paling atas api yaitu 305 °C. Pada prosentase CO₂ sebesar 50%, memiliki temperatur api paling rendah dibandingkan dengan temperatur api variasi prosentase CO₂ lainnya. Hal ini dikarenakan semakin besar kalor yang diserap inhibitor maka temperatur api akan semakin menurun karena semakin kecil rambat api yang terbakar.

Dari semua gambar *plotting* pada **Gambar 4.5** 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 305-522 °C, sedangkan rata-rata besarnya temperatur pada bagian bawah api hanya sekitar 186-488 °C.

Untuk lebih jelasnya mengenai pengaruh besar prosentase CO₂ terhadap distribusi nyala api pada penelitian ini dapat dilihat pada grafik di berikut.



Pada setiap penambahan prosentase CO₂ menunjukkan tren naik kemudian turun. Kenaikan temperatur yang terjadi pada rentang penambahan CO₂ 0%-20% tidak terlalu signifikan. Penambahan prosentase CO₂ pada penelitian ini menurunkan derajat temperatur yang dapat digenerasi oleh nyala api. Gas CO₂ bersifat inhibitor menyerap sebagian kalor hasil pembakaran sehingga hasil dari pembakaran yang terjadi tidak sempurna dan perambatan nyala api juga semakin terhambat.