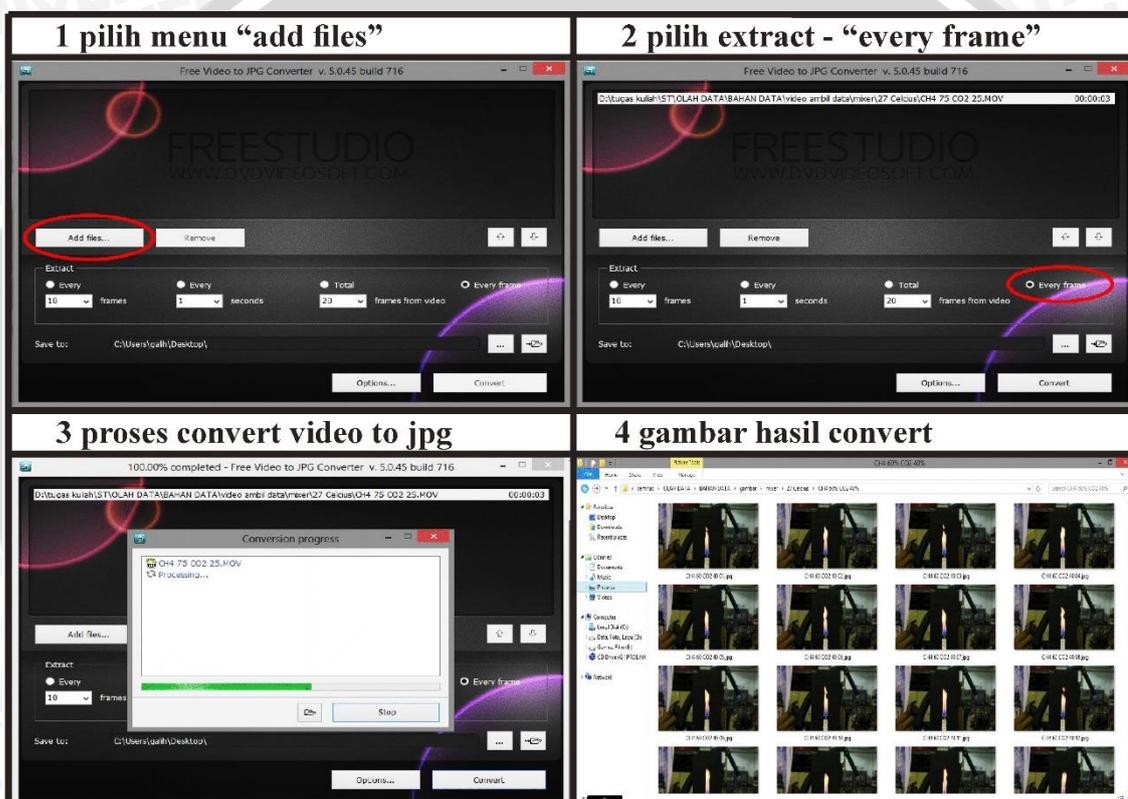


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

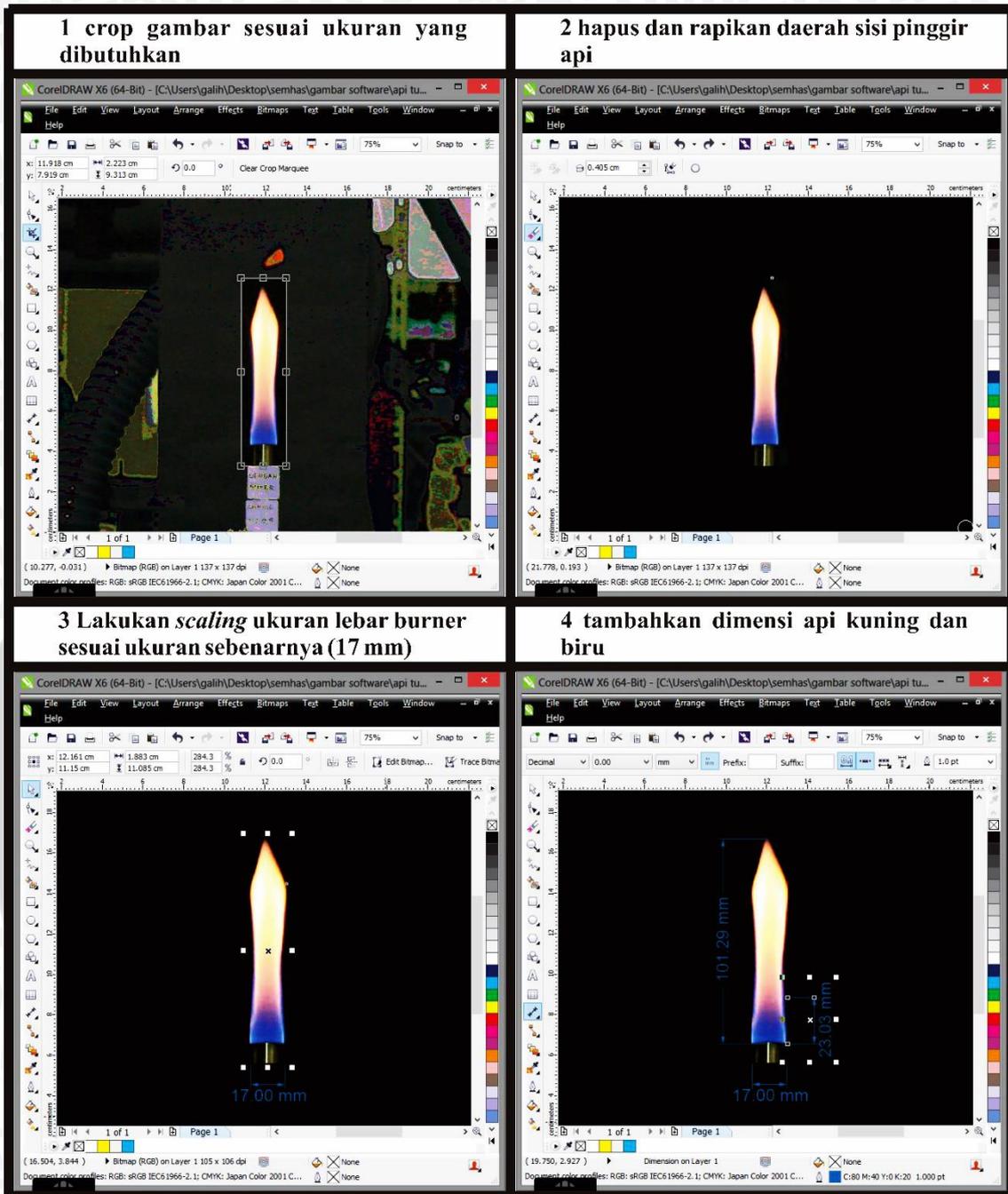
Hasil pengambilan gambar nyala api pembakaran campuran CH_4 dan CO_2 dalam bentuk *video* (.MOV) kemudian diubah ke dalam bentuk gambar diam (.jpg) dengan menggunakan *software Video to JPG Converter*. Video tersebut dipotong dengan kecepatan 25 fps (*frame per sekon*), dimana dalam satu detik dapat menghasilkan 25 gambar diam.



Gambar 4.1 Tahapan mengubah file video (.MOV) menjadi bentuk gambar diam (.jpg)

Pada proses selanjutnya gambar api yang sudah berbentuk format jpg kemudian diedit menggunakan *software Corel Draw X6*. Pada gambar berikut ditampilkan contoh proses pengolahan *visualisasi* api pada *Corel Draw X6* mulai dari *cropping*, *scaling*, dan pemberian dimensi api.



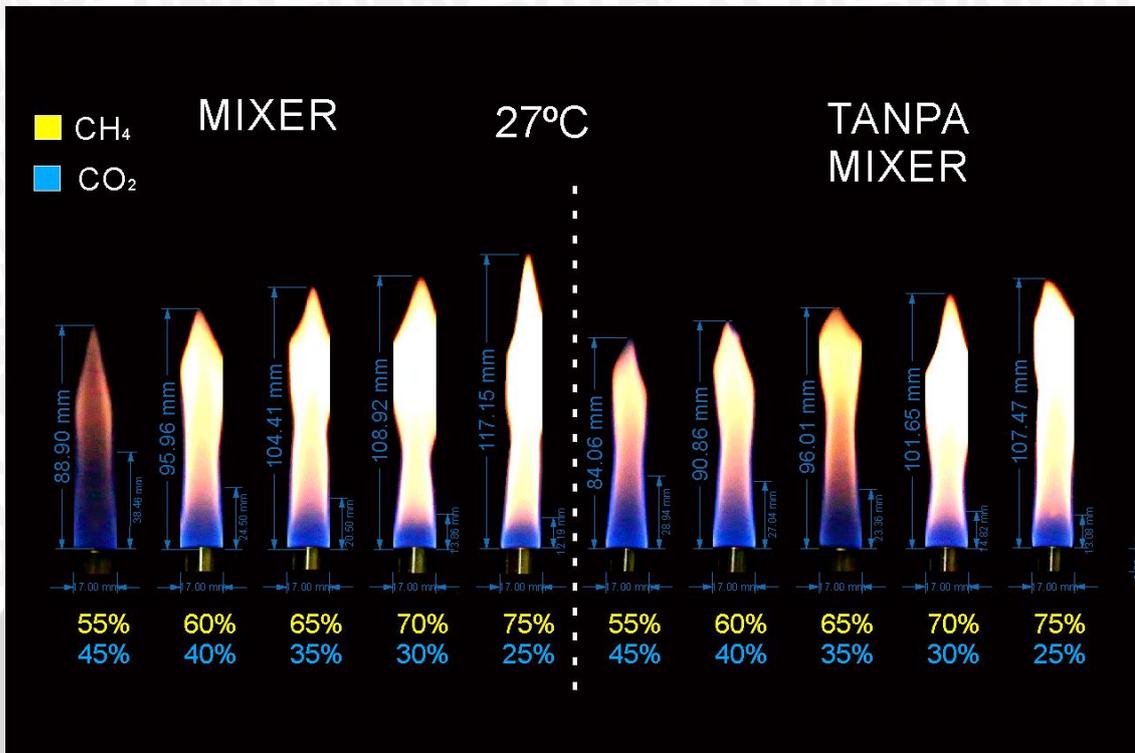


Gambar 4.2 Pengeditan gambar dan pemberian dimensi tinggi api kuning dan biru

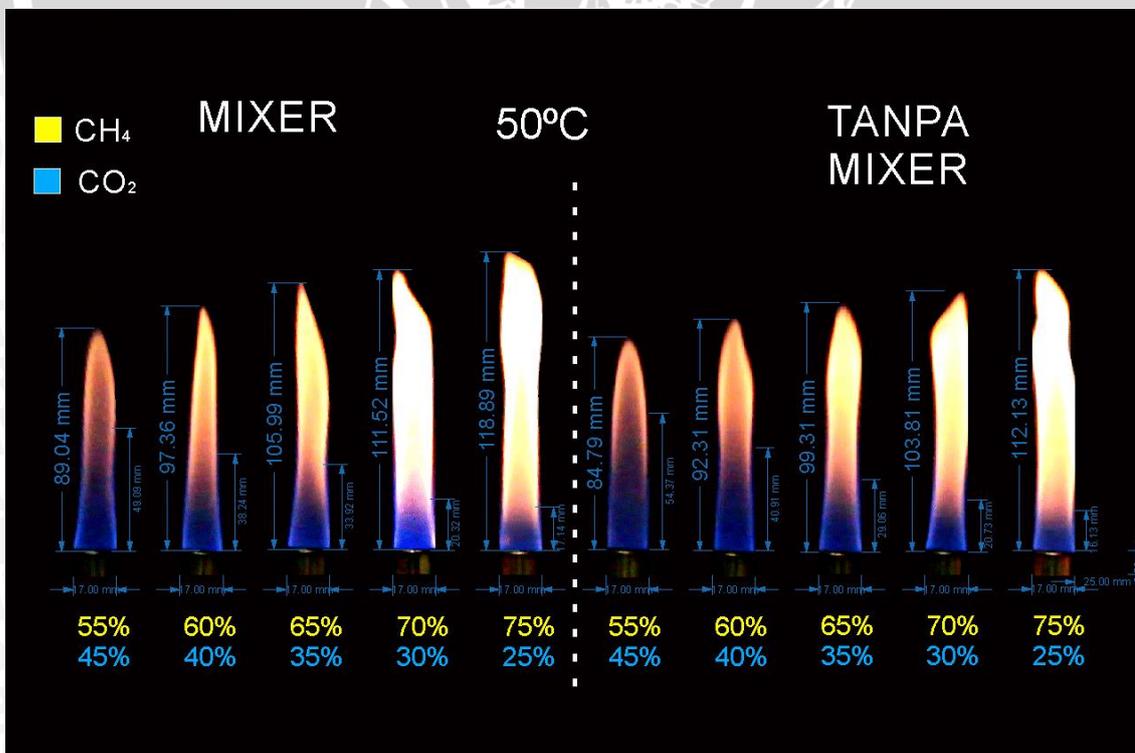
Setelah gambar diberi dimensi selanjutnya gambar yang berupa *file* (.cdr) dicopy ke *software Adobe Photoshop Elements 10* untuk selanjutnya disimpan dalam bentuk *file* gambar (.jpg)

4.2 Data Hasil Penelitian

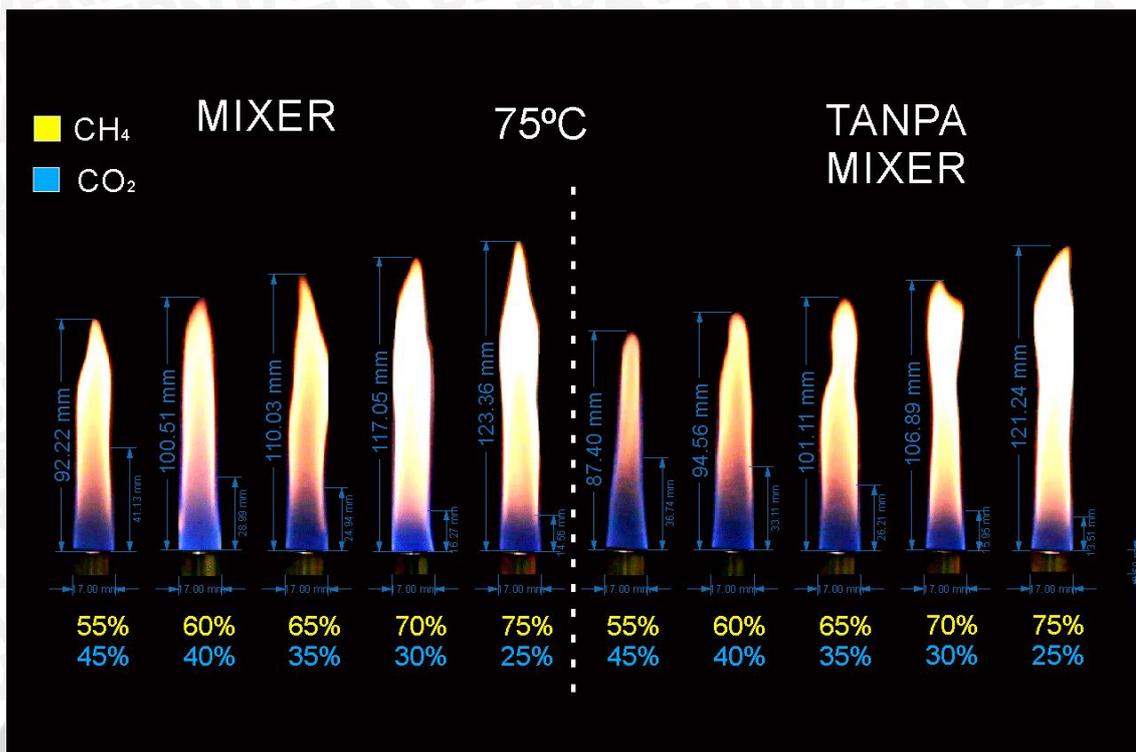
4.2.1 Gambar tinggi api



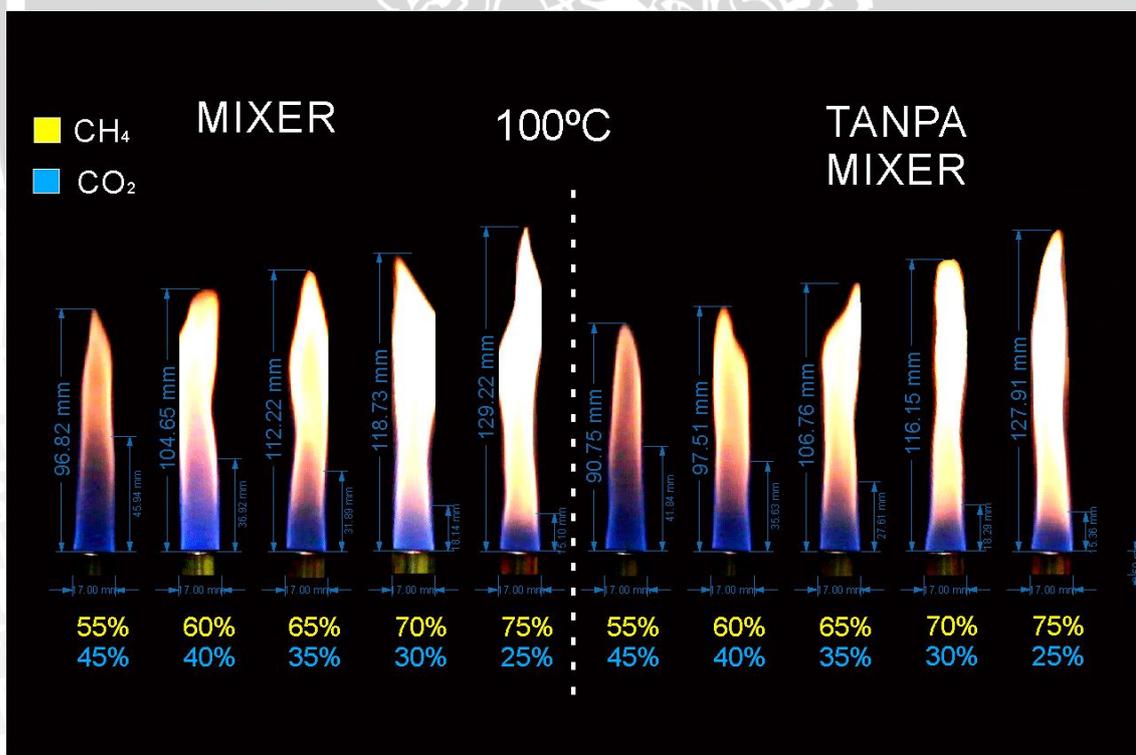
Gambar 4.3 Warna dan tinggi api hasil pengambilan data temperatur pemanasan 27°C



Gambar 4.4 Warna dan tinggi api hasil pengambilan data temperatur pemanasan 50°C



Gambar 4.5 Warna dan tinggi api hasil pengambilan data temperatur pemanasan 75°C



Gambar 4.6 Warna dan tinggi api hasil pengambilan data temperatur pemanasan 100°C

4.2.2 Data tinggi api

Berikut ini adalah data tinggi api hasil penelitian yang didapatkan dari pengukuran gambar *visual* api dengan *software Coreldraw X6*.

Tabel 4.1 Nyala Api Kuning Tanpa *Gas Mixer*

No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27°C	50°C	75°C	100°C
1	45	55	84.06	84.79	87.4	90.75
2	40	60	90.86	92.31	94.56	97.51
3	35	65	96.01	99.31	101.11	106.76
4	30	70	101.65	103.81	106.89	116.15
5	25	75	107.47	112.13	121.24	127.91

Tabel 4.2 Nyala Api Biru Tanpa *Gas Mixer*

No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27°C	50°C	75°C	100°C
1	45	55	28.94	54.37	36.74	41.84
2	40	60	27.04	40.91	33.11	35.63
3	35	65	23.36	29.06	26.21	27.61
4	30	70	14.82	20.73	15.95	18.29
5	25	75	13.08	16.13	13.51	15.36

Tabel 4.3 Nyala Api Kuning Dengan *Gas Mixer*

No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27°C	50°C	75°C	100°C
1	45	55	88.9	89.04	92.22	96.82
2	40	60	95.96	97.36	100.51	104.65
3	35	65	104.41	105.99	110.03	112.22
4	30	70	108.92	111.52	117.05	118.73
5	25	75	117.15	118.89	123.36	129.22

Tabel 4.4 Nyala Api Biru Dengan *Gas Mixer*

No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27°C	50°C	75°C	100°C
1	45	55	38.46	49.09	41.13	45.94
2	40	60	24.5	38.24	28.99	36.92
3	35	65	20.5	33.92	24.94	31.89
4	30	70	13.86	20.32	16.27	18.14
5	25	75	12.19	17.14	14.56	15.1

4.2.3 Contoh Perhitungan

Konversi debit ke massa alir :

Debit reaktan 1 l/min, dimana debit CH₄ = 0.55 l/min dan debit CO₂ = 0.45 l/min.

- debit CH₄ = 0.55 l/min

$$0.55 \text{ l/min} = 0.55 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} = 91.7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \cdot \rho_{\text{Metana}} \\ &= 91.7 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 0.6540 [\text{kg}/\text{m}^3] \\ &= 59.97 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}] \end{aligned}$$

- debit CO₂ = 0.45 l/min

$$0.45 \text{ l/min} = 0.45 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} = 75 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \cdot \rho_{\text{Karbon dioksida}} \\ &= 75 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 1.7994 [\text{kg}/\text{m}^3] \\ &= 134.95 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}] \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Konversi debit (Q) ke massa alir (m) data tanpa *gas mixer*

TANPA MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		Massa alir / m (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	55	45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000060	0.0000135
2	60	40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000066	0.0000120
3	65	35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000071	0.0000105
4	70	30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000077	0.0000090
5	75	25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000082	0.0000075

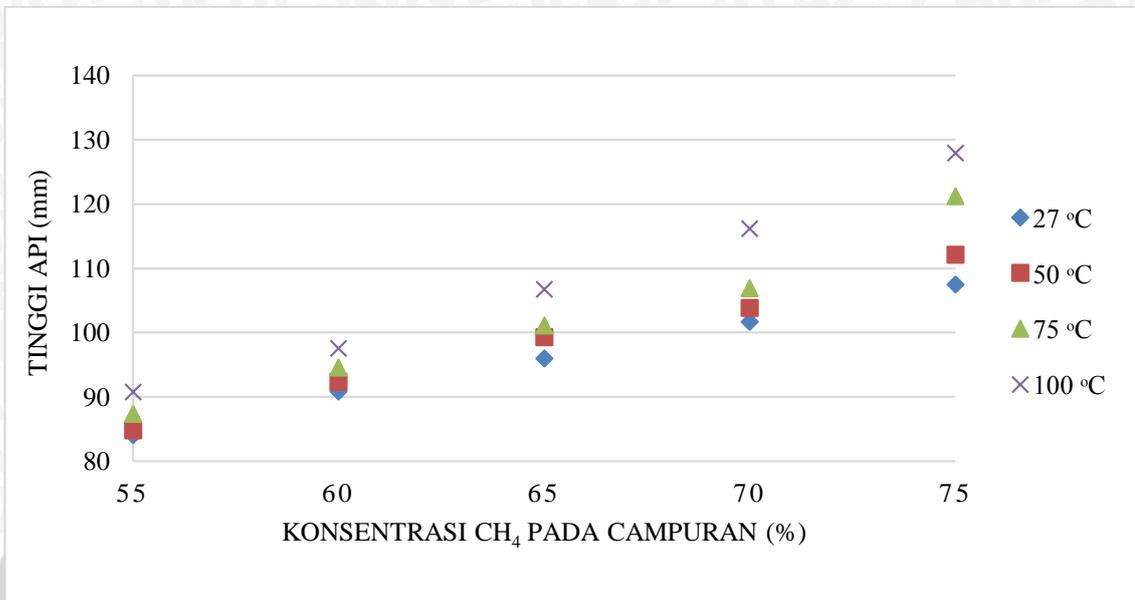
Tabel 4.6 Konversi debit (Q) ke massa alir (m) data dengan *gas mixer*

DENGAN MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		Massa alir / m (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	55	45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000060	0.0000135
2	60	40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000066	0.0000120
3	65	35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000071	0.0000105
4	70	30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000077	0.0000090
5	75	25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000082	0.0000075

Ket : $\rho \text{ CH}_4 = 0.6540 \text{ kg}/\text{m}^3$; $\rho \text{ CO}_2 = 1.7994 \text{ kg}/\text{m}^3$

4.3 Analisa dan Pembahasan Hasil Penelitian

4.3.1 Analisa Data Variasi Prosentase Campuran CH₄ – CO₂ dengan berbagai Variasi Temperatur Pemanasan Awal Tanpa menggunakan *Gas mixer*



Gambar 4.7 Hubungan konsentrasi campuran CH₄-CO₂ dan pemanasan awal terhadap tinggi api kuning hasil pembakaran difusi.

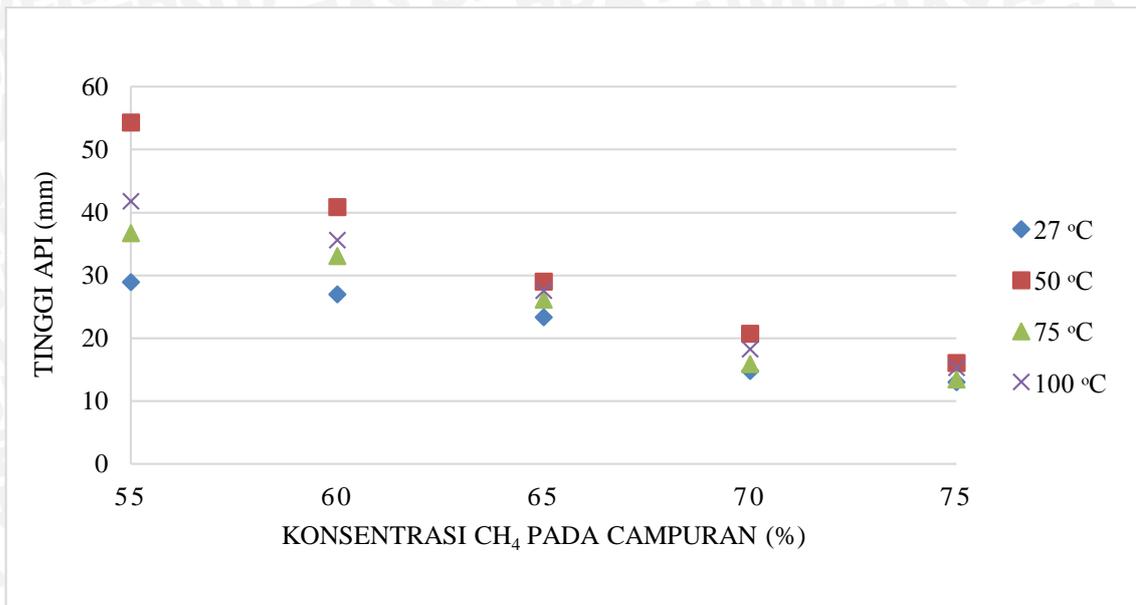
Pada gambar 4.7 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api kuning hasil pembakaran semakin tinggi. Meningkatnya tinggi api kuning ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH₄) semakin kaya sehingga sebagian bahan bakar terbakar kurang sempurna dan lebih banyak menghasilkan jelaga yang ditandai dengan api warna kuning. Selain itu semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

Pada gambar 4.7 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran CH₄-CO₂ sebelum dibakar maka api kuning yang dihasilkan dari pembakaran akan semakin tinggi. Campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 100°C sebelum dibakar menghasilkan api kuning lebih tinggi dibanding hasil api kuning dari campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 75°C, 50°C dan 27°C. Adanya pemanasan akan membuat pergerakan molekul-molekul campuran bahan bakar CH₄-CO₂ menjadi lebih cepat mengakibatkan tekanan pada dinding penampang meningkat dan kerapatan molekulnya menjadi lebih renggang sehingga menurunkan densitas dari campuran gas

$\text{CH}_4\text{-CO}_2$. Penurunan densitas yang terjadi membuat berat fluida pada volume yang sama menjadi lebih ringan sehingga meningkatkan gaya apung untuk lebih mudah bergerak keatas dan menyebabkan aliran reaktan meningkat. Semakin cepat aliran reaktan maka semakin tinggi api yang dihasilkan.

Pada konsentrasi CH_4 yang tinggi api kuning yang dihasilkan semakin tinggi karena hanya sebagian dari bahan bakar yang terbakar sempurna dengan udara sekitar. Bahan bakar yang belum terbakar sempurna akan terus bergerak keatas untuk kemudian terdifusi perlahan oleh udara yang terkontaminasi dengan udara hasil pembakaran sebagian bahan bakar sebelumnya menghasilkan api warna kuning (jelaga). Sedangkan pada konsentrasi CH_4 yang rendah api kuning yang dihasilkan semakin rendah karena sebagian besar bahan bakar terbakar sempurna dengan udara sekitar.





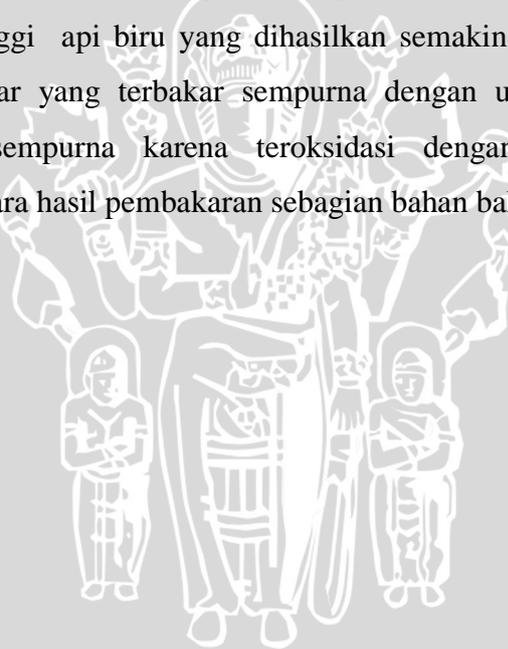
Gambar 4.8 Hubungan konsentrasi campuran CH₄-CO₂ dan pemanasan awal terhadap tinggi api biru hasil pembakaran difusi.

Pada gambar 4.8 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api biru hasil pembakaran semakin rendah. Menurunnya tinggi api biru ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH₄) semakin kaya sehingga sebagian bahan bakar terbakar kurang sempurna dan lebih banyak menghasilkan jelaga yang ditandai dengan api warna kuning dibandingkan warna biru. Selain itu semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

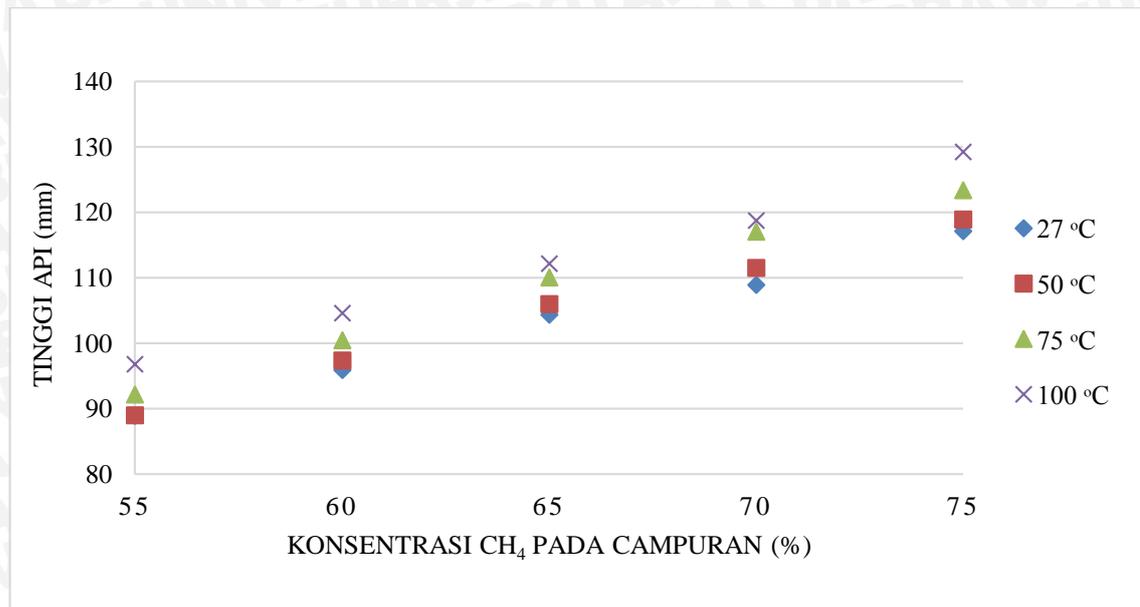
Pada gambar 4.8 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran CH₄-CO₂ sebelum dibakar maka api biru yang dihasilkan dari pembakaran akan semakin tinggi. Campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 100°C sebelum dibakar menghasilkan api biru lebih tinggi dibanding hasil api biru dari campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 75°C dan 27°C. Adanya pemanasan akan membuat pergerakan molekul-molekul campuran bahan bakar CH₄-CO₂ menjadi lebih cepat mengakibatkan tekanan pada dinding penampang meningkat dan kerapatan molekulnya menjadi lebih renggang sehingga menurunkan densitas dari campuran gas CH₄-CO₂. Penurunan densitas yang terjadi membuat berat fluida pada volume yang sama menjadi lebih ringan sehingga lebih mudah bergerak keatas dan menyebabkan aliran reaktan meningkat. Semakin cepat aliran reaktan maka semakin tinggi api yang dihasilkan.

Pada pemanasan 50°C tinggi api biru yang dihasilkan dari pembakaran adalah yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan pada suhu 50°C gerakan molekul-molekul campuran bahan bakar $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ memiliki kecepatan yang ideal sehingga pembakaran yang terjadi lebih sempurna dan menghasilkan api biru lebih tinggi dibanding temperatur pemanasan lainnya. Warna api biru yang terbentuk dari pembakaran adalah api yang paling dekat dengan ujung burner, hal ini karena daerah tersebut adalah daerah pertama terjadinya difusivitas udara terhadap reaktan. Difusivitas ini terjadi karena adanya perbedaan massa jenis antara udara (oksidator) dengan reaktan dimana massa jenis udara lebih besar daripada massa jenis reaktan sehingga udara bergerak masuk menembus dinding reaktan dan terjadi pembakaran sempurna yang menghasilkan api warna biru.

Pada konsentrasi CH_4 yang rendah api biru yang dihasilkan semakin tinggi karena sebagian besar bahan bakar terbakar sempurna dengan udara sekitar. Sedangkan pada konsentrasi CH_4 yang tinggi api biru yang dihasilkan semakin rendah karena hanya sebagian dari bahan bakar yang terbakar sempurna dengan udara sekitar. Sisanya terbakar secara tidak sempurna karena teroksidasi dengan udara yang telah terkontaminasi dengan udara hasil pembakaran sebagian bahan bakar sebelumnya.



4.3.2 Analisa Data Variasi Prosentase Campuran CH₄ – CO₂ dengan berbagai Variasi Temperatur Pemanasan Awal dengan menggunakan *Gas mixer*



Gambar 4.9 Hubungan konsentrasi campuran CH₄-CO₂ dengan penambahan *gas mixer* dan pemanasan awal terhadap tinggi api kuning hasil pembakaran difusi.

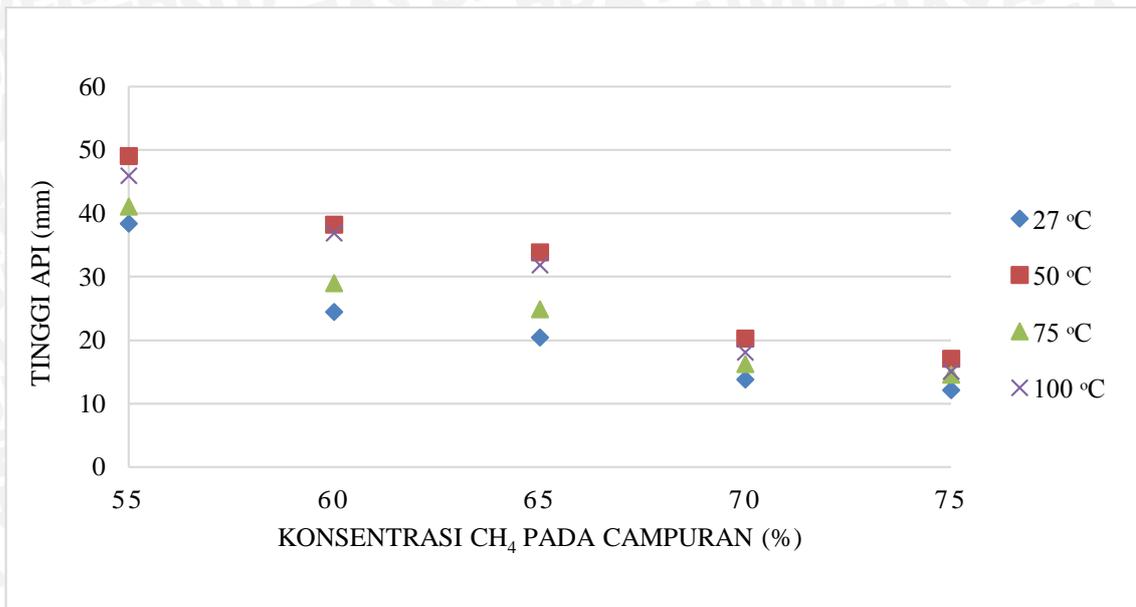
Pada gambar 4.9 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api kuning hasil pembakaran semakin tinggi. Meningkatnya tinggi api kuning ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH₄) semakin kaya sehingga sebagian bahan bakar terbakar kurang sempurna dan lebih banyak menghasilkan jelaga yang ditandai dengan api warna kuning. Selain itu semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

Pada gambar 4.9 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran CH₄-CO₂ sebelum dibakar maka api kuning yang dihasilkan dari pembakaran akan semakin tinggi. Campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 100°C sebelum dibakar menghasilkan api kuning lebih tinggi dibanding hasil api kuning dari campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 75°C, 50°C dan 27°C. Adanya pemanasan akan membuat pergerakan molekul-molekul campuran bahan bakar CH₄-CO₂ menjadi lebih cepat mengakibatkan tekanan pada dinding penampang meningkat dan kerapatan molekulnya menjadi lebih renggang sehingga menurunkan densitas dari campuran gas CH₄-CO₂. Penurunan densitas yang terjadi membuat berat fluida pada volume yang

sama menjadi lebih ringan sehingga meningkatkan gaya apung untuk lebih mudah bergerak keatas dan menyebabkan aliran reaktan meningkat. Semakin cepat aliran reaktan maka semakin tinggi api yang dihasilkan.

Pada konsentrasi CH_4 yang tinggi api kuning yang dihasilkan semakin tinggi karena hanya sebagian dari bahan bakar yang terbakar sempurna dengan udara sekitar. Bahan bakar yang belum terbakar sempurna akan terus bergerak keatas untuk kemudian terdifusi perlahan oleh udara yang terkontaminasi dengan udara hasil pembakaran sebagian bahan bakar sebelumnya menghasilkan api warna kuning (jelaga). Sedangkan pada konsentrasi CH_4 yang rendah api kuning yang dihasilkan semakin rendah karena sebagian besar bahan bakar terbakar sempurna dengan udara sekitar.





Gambar 4.10 Hubungan konsentrasi campuran CH₄-CO₂ dengan penambahan *gas mixer* dan pemanasan awal terhadap tinggi api biru hasil pembakaran difusi.

Pada gambar 4.10 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api biru hasil pembakaran semakin rendah. Menurunnya tinggi api biru ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH₄) semakin kaya sehingga sebagian bahan bakar terbakar kurang sempurna dan lebih banyak menghasilkan jelaga yang ditandai dengan api warna kuning dibandingkan warna biru. Selain itu semakin tinggi konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH₄ yang dicampur dengan CO₂ sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

Pada gambar 4.10 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran CH₄-CO₂ sebelum dibakar maka api biru yang dihasilkan dari pembakaran akan semakin tinggi. Campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 100°C sebelum dibakar menghasilkan api kuning lebih tinggi dibanding hasil api kuning dari campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 75°C dan 27°C. Adanya pemanasan akan membuat pergerakan molekul-molekul campuran bahan bakar CH₄-CO₂ menjadi lebih cepat mengakibatkan tekanan pada dinding penampang meningkat dan kerapatan molekulnya menjadi lebih renggang sehingga menurunkan densitas dari campuran gas CH₄-CO₂. Penurunan densitas yang terjadi membuat berat fluida pada volume yang sama menjadi lebih ringan sehingga lebih mudah bergerak keatas dan menyebabkan

aliran reaktan meningkat. Semakin cepat aliran reaktan maka semakin tinggi api yang dihasilkan.

Pada pemanasan 50°C tinggi api biru yang dihasilkan dari pembakaran adalah yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan pada suhu 50°C gerakan molekul-molekul campuran bahan bakar $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ memiliki kecepatan yang ideal sehingga pembakaran yang terjadi lebih sempurna dan menghasilkan api biru lebih tinggi dibanding temperatur pemanasan lainnya. Warna api biru yang terbentuk dari pembakaran adalah api yang paling dekat dengan ujung burner, hal ini karena daerah tersebut adalah daerah pertama terjadinya difusivitas udara terhadap reaktan. Difusivitas ini terjadi karena adanya perbedaan massa jenis antara udara (oksidator) dengan reaktan dimana massa jenis udara lebih besar daripada massa jenis reaktan sehingga udara bergerak masuk menembus dinding reaktan dan terjadi pembakaran sempurna yang menghasilkan api warna biru.

Pada konsentrasi CH_4 yang rendah api biru yang dihasilkan semakin tinggi karena sebagian besar bahan bakar terbakar sempurna dengan udara sekitar. Sedangkan pada konsentrasi CH_4 yang tinggi api biru yang dihasilkan semakin rendah karena hanya sebagian dari bahan bakar yang terbakar sempurna dengan udara sekitar. Sisanya terbakar secara tidak sempurna karena teroksidasi dengan udara yang telah terkontaminasi dengan udara hasil pembakaran sebagian bahan bakar sebelumnya.

Penambahan *gas mixer* sebagai pengaduk mekanik campuran $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ sebelum masuk ke *heater* membuat tinggi api biru yang dihasilkan lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *gas mixer*. Hal ini karena molekul-molekul gas $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ persebarannya lebih merata sehingga campurannya lebih homogen dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dibanding tanpa pengadukan mekanik.