

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan variasi jenis bahan bakar *liquid petroleum gas* (LPG) dan metana diperoleh data yang akan dijelaskan dalam bentuk tabel. Semua data hasil penelitian tentang *flame stabilization limit*, temperatur api, temperatur gas hasil pembakaran, temperatur dinding depan dan temperatur dinding belakang *combustor* dapat dilihat pada tabel 4.1 – 4.6.

Tabel 4.1 Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG

Q_{bb} (mL/min)	Q_{udara} (mL/min)	Ket	Q_{bb} (mL/min)	Q_{udara} (mL/min)	Ket
4	122	Batas bawah	9	147.5	Batas bawah
	135	Batas atas		230	Batas atas
5	92.5	Batas bawah	10	167.5	Batas bawah
	162.5	Batas atas		242.5	Batas atas
6	107	Batas bawah	11	187.5	Batas bawah
	187.5	Batas atas		245	Batas atas
7	120	Batas bawah	12	215	Batas bawah
	205	Batas atas		250	Batas atas
8	132.5	Batas bawah			
	217.5	Batas atas			

Tabel 4.2 Debit bahan bakar dan udara dimana api dapat menyala dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar metana

Q_{bb} (mL/min)	Q_{udara} (mL/min)	Ket	Q_{bb} (mL/min)	Q_{udara} (mL/min)	Ket
8	103	Batas bawah	15	142.5	Batas bawah
	132	Batas atas		187	Batas atas
9	105	Batas bawah	16	150	Batas bawah
	140	Batas atas		195	Batas atas
10	115	Batas bawah	17	160	Batas bawah
	147,5	Batas atas		200	Batas atas
11	118	Batas bawah	18	170	Batas bawah
	157,5	Batas atas		203	Batas atas
12	125	Batas bawah	19	186	Batas bawah
	167	Batas atas		203	Batas atas
13	130	Batas bawah	20	195	Batas bawah
	175	Batas atas		200	Batas atas
14	135	Batas bawah	21	200	Batas bawah
	182,5	Batas atas		207	Batas atas

Tabel 4.3 Titik pengambilan data karakteristik pembakaran dengan bahan bakar LPG dan metana dalam *meso-scale combustor*

Q _{BB} LPG mL/min	Q _{udara} mL/min	AFR	Φ	V _{reaktan} cm/s	Q _{BB} Metana mL/min	Q _{udara} mL/min	AFR	Φ	V _{reaktan} cm/s
4	128	30	0,9	25	11	121	10,4	0,9	25
5,98	180	30	0,9	35	16	169	10,4	0,9	35
6,83	205	30	0,9	40	18	194	10,4	0,9	40
5,49	180	32	0,83	35	14	171	11,4	0,8 3	35
6,56	179	27,3	1	35	17	168	9,52	1	35

Tabel 4.4 Temperatur api dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG dan metana

Φ	Temp. api metana (°C)	Temp. api LPG (°C)	V _{reaktan} (cm/s)
$\Phi=0,9$	919,101	977,105	25
	1170,755	1176,506	35
	1194,74	1195,245	40
$\Phi=0,83$	1109,84	1059,11	35
$\Phi=1$	1103,92	1185,28	35

Tabel 4.5 Temperatur gas hasil pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG dan metana

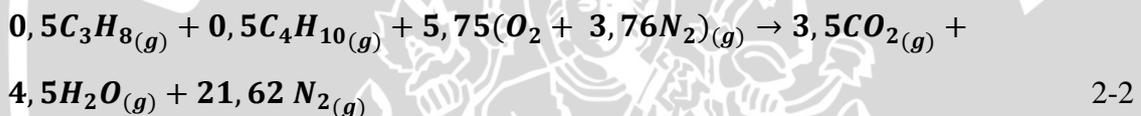
Φ	Temp. gas buang metana (°C)	Temp. gas buang LPG (°C)	V _{reaktan} cm/s
$\Phi=0,9$	311,206	358,11	25
	456,43	491,906	35
	531,07	539,44	40
$\Phi=0,83$	461,21	446,64	35
$\Phi=1$	410,5	488,93	35

Tabel 4.6 Temperatur dinding *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG dan metana

Φ	Metana		LPG		V_{reaktan} cm/s
	Temp. dinding <i>combustor</i> depan ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. dinding <i>combustor</i> belakang ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. dinding <i>combustor</i> depan ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. dinding <i>combustor</i> belakang ($^{\circ}\text{C}$)	
$\Phi=0,9$	273,175	205,108	289,395	218,16	25
	334,44	224,583	338,94	225,306	35
	354,723	229,471	378,58	237,563	40
$\Phi=0,83$	361,995	227,583	347,791	215,94	35
$\Phi=1$	335,038	401,051	219,445	239,598	35

4.2 Perhitungan Data

Persamaan 2-2, pembakaran stoikiometri dari LPG (campuran 50% propana dan 50% butana) dengan udara adalah:



Persamaan diatas berarti campuran 0,5 mol propana dan 0,5 mol butana direaksikan dengan 5,75 mol udara menghasilkan 3,5 mol gas CO_2 , 4,5 mol udara (H_2O) dan 21,62 mol Nitrogen (N_2). Dalam hukum Avogadro, pada suhu dan tekanan yang sama, semua gas dengan volume yang sama mengandung jumlah mol yang sama. Sehingga perbandingan mol sama dengan perbandingan volume. Nilai AFR dinyatakan dalam perbandingan volume dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

AFR C_3H_8 berdasarkan mol dari persamaan (2-2) dan (2-4) menjadi :

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoic}}$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{5,75(1+3,76)}{(0,5+0,5)} \right)_{\text{stoic}} = 27,37 \frac{\text{Mol}_{\text{udara}}}{\text{Mol}_{\text{bahan bakar}}}$$

AFR CH_4 berdasarkan mol dari persamaan (2-3), menjadi :

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stoic}}$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left(\frac{2(1+3,76)}{(1)} \right)_{\text{stoic}} = 9,52 \frac{\text{Mol}_{\text{udara}}}{\text{Mol}_{\text{bahan bakar}}}$$

Parameter yang digunakan berdasarkan pada keadaan NTP - Normal Temperatur and Pressure – dimana saat udara dalam keadaan 20°C (293.15 K , 68°F) dan 1 atm .

- Massa jenis udara adalah 1.205 kg/m^3 $0.001205\text{ gram/cm}^3$.
- Massa jenis propana adalah $0,001833\text{ gram/cm}^3$ dan butana $0,002417\text{ gram/cm}^3$.
- Massa jenis LPG yang terdiri dari 50 % propane dan 50 % butane adalah $0,0021256\text{ gram/cm}^3$.

Mencari massa udara dan bahan bakar:

- **Massa udara** $= n \times Mr$
 $= 5,75 (Mr \text{O}_2 + 3,76 Mr \text{N}_2)$
 $= 5,75 [32 + (3,76 \times 28)]$
 $= 5,75 (137,28)$
 $= 789,36\text{ gram}$
- **Massa bahan bakar** $= n \times Mr$
 $= 0,5 Mr \text{C}_3\text{H}_8 + 0,5 Mr \text{C}_4\text{H}_{10}$
 $= [0,5 (36 + 8)] + [0,5 (48 + 10)]$
 $= 22 + 29$
 $= 51\text{ gram}$

Dari persamaan, $\rho = m/V$ dapat dicari volume, yaitu $V = m/\rho$

- $V_{\text{udara}} = m/\rho_{\text{udara}}$
 $= 789,36/0,001205$
 $= 655.070\text{ cm}^3$
- $V_{\text{bahan bakar}} = m/\rho_{\text{bahan bakar}}$
 $= 51/0,0021256$
 $= 23.993\text{ cm}^3$

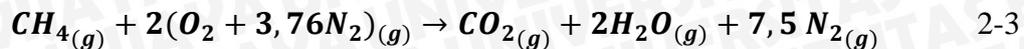
Setelah mengetahui nilai volume antara bahan bakar dan udara maka perbandingan volume dapat diketahui

- $V_{\text{udara}} : V_{\text{bahan bakar}}$
 $655.070 : 23.993$
 $27,302 : 1$

Pada perhitungan yang telah dituliskan di atas didapat nilai AFR berdasarkan perbandingan mol sebesar $27,37 : 1$. Sedangkan nilai untuk perbandingan volume yang ditentukan dari massa molekul dan densitasnya adalah $27,302 : 1$. Karena perbandingan

mol dan perbandingan volume nilainya tidak begitu berbeda maka pada penelitian ini menggunakan nilai AFR sebesar 27,37 : 1.

Persamaan 2-3, reaksi kimia pada pembakaran stoikometri dari metana (CH_4) dengan udara adalah



Persamaan diatas berarti campuran 1 mol metana direaksikan dengan 2 mol udara menghasilkan 1 mol gas CO_2 , 2 mol air (H_2O) dan 7,5 mol Nitrogen (N_2). Nilai AFR dinyatakan dalam perbandingan volume dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

- Massa jenis udara adalah $1,205 \text{ kg/m}^3$ $0,001205 \text{ gram/cm}^3$
- Massa jenis metana adalah $0,000667209 \text{ gram/cm}^3$

Mencari massa udara dan bahan bakar:

- **Massa udara** = $n \times \text{Mr}$
 $= 2 (\text{Mr O}_2 + 3,76 \text{Mr N}_2)$
 $= 2 [32 + (3,76 \times 28)]$
 $= 2 (137,28)$
 $= 275,6 \text{ gram}$
- **Massa bahan bakar** = $n \times \text{Mr}$
 $= 1 \text{ Mr CH}_4$
 $= [1 (12 + 4)]$
 $= 16$
 $= 16 \text{ gram}$

Dari persamaan, $\rho = m/V$ dapat dicari volume, yaitu $V = m/\rho$

- V_{udara} = m/ρ_{udara}
 $= 275,6/0,001205$
 $= 228.713 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{bahan bakar}}$ = $m/\rho_{\text{bahan bakar}}$
 $= 16/0,000667209$
 $= 23.980 \text{ cm}^3$

Setelah mengetahui nilai volume antara bahan bakar dan udara maka perbandingan volume dapat diketahui

- $V_{\text{udara}} : V_{\text{bahan bakar}}$
 $228.713 : 23.980$

9,537 : 1

Pada perhitungan yang telah dituliskan di atas didapat nilai AFR berdasarkan perbandingan mol sebesar 9,52 : 1. Sedangkan nilai untuk perbandingan volume yang ditentukan dari massa molekul dan densitasnya adalah 9,537 : 1. Karena perbandingan mol dan perbandingan volume nilainya tidak begitu berbeda maka pada penelitian ini menggunakan nilai AFR sebesar 9,52 : 1.

4.2.1 Perhitungan Rasio Ekuivalen (Φ)

Rasio ekuivalen didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stoikiometrik dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) aktual sebagai berikut :

$$\Phi = \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{act}}$$

Untuk menghitung rasio ekuivalen dapat dilakukan dengan cara berikut:

- Menentukan AFR aktual dapat dicari dengan menggunakan perbandingan debit udara dan bahan bakar. Misalkan berdasarkan tabel 4.1 pada kolom nomor 2 api dapat menyala stabil di dalam *meso-scale combustor* pada debit bahan 5 mL/min dan dipilih debit udara minimal 92,5 mL/min dan debit udara maksimal 162,5 mL/min, maka:

$$AFR_{act\ min} = \frac{\text{debit udara (min)}}{\text{debit bahan bakar}} = \frac{92,5\ \text{mL/menit}}{5\ \text{mL/menit}}$$

$$AFR_{act\ min} = 18,5$$

$$AFR_{act\ max} = \frac{\text{debit udara (max)}}{\text{debit bahan bakar}} = \frac{162,5\ \text{mL/menit}}{5\ \text{mL/menit}}$$

$$AFR_{act\ max} = 32,5$$

- Menentukan rasio ekuivalen maksimum sebagai berikut:

$$\Phi_{max} = \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{act\ min}}$$

$$\Phi_{max} = \frac{27,37}{18,5} \quad \Phi = 1,477$$

- Menentukan rasio ekuivalen minimum sebagai berikut:

$$\Phi_{min} = \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{act\ max}}$$

$$\Phi_{min} = \frac{27,37}{32,5} \quad \Phi = 0,8421$$

4.2.2 Perhitungan debit bahan bakar dan udara dengan variasi rasio ekuivalen (Φ)

Contoh perhitungan untuk menentukan debit udara Q_{udara} dan bahan bakar Q_{bb} pada kecepatan total reaktan $V_{\text{total}} = 35$ cm/detik dan rasio ekuivalen $\Phi = 1$ pada bahan bakar LPG

$$V_{\text{total}} = \frac{(Q_{\text{bb}} + Q_{\text{udara}})_{\text{act}}}{60 \left(\pi \cdot \frac{r^2}{100} \right)}$$

$$35 = \frac{(Q_{\text{bb}} + Q_{\text{udara}})_{\text{act}}}{60 \left(3,14 \cdot \frac{1,68^2}{100} \right)}$$

$$186,109 = (Q_{\text{bb}} + Q_{\text{udara}})_{\text{act}} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk bahan bakar gas, perbandingan mol juga menyatakan perbandingan volume, sehingga didapatkan:

$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a}$$

$$\Phi = \frac{(Q_{\text{udara}}/Q_{\text{bb}})_{\text{stoic}}}{(Q_{\text{udara}}/Q_{\text{bb}})_{\text{aktual}}}$$

$$\Phi = \frac{27,37}{(Q_{\text{udara}}/Q_{\text{bb}})_{\text{aktual}}}$$

$$\Phi = \frac{Q_{\text{bb}} \text{ aktual} \cdot 27,37}{Q_{\text{udara}} \text{ aktual}}$$

Untuk rasio ekuivalen $\Phi = 1$, maka:

$$Q_{\text{udara}} \text{ aktual} = Q_{\text{bb}} \text{ act} \cdot 27,37 \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (2) disubsitusikan ke persamaan (1), didapatkan :

$$186,109 = Q_{\text{bbact}} + 27,37 Q_{\text{bbact}}$$

$$Q_{\text{bb}} \text{ aktual} = \frac{186,109}{28,37}$$

$$Q_{\text{bb}} \text{ aktual} = 6,576 \text{ (mL/menit)}$$

$$Q_{\text{udara}} \text{ aktual} = 6,576 \cdot 27,37$$

$$Q_{\text{udara}} \text{ aktual} = 179,99 \text{ (mL/menit)}$$

Selanjutnya dengan cara yang sama digunakan untuk menentukan Q_{udara} dan Q_{bb} pada bahan bakar metana dengan AFR bahan bakar-udara 9,52 pada rasio ekuivalen $\Phi = 0.83, 0.9, \text{ dan } 1$ dengan kecepatan total reaktan $V_{total} = 35 \text{ cm/detik}$. Sehingga didapatkan nilai pengambilan data debit udara Q_{udara} dan bahan bakar Q_{bb} seperti pada Tabel 4.3.

4.2.3 Perhitungan penentuan debit bahan bakar dan udara dengan variasi kecepatan total reaktan

Contoh perhitungan untuk menentukan debit udara Q_{udara} dan bahan bakar Q_{bb} pada kecepatan total reaktan $V_{total} = 35 \text{ cm/detik}$ dan rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$

$$V_{total} = \frac{(Q_{bb} + Q_{udara})_{aktual}}{60 (\pi \cdot \frac{r^2}{100})}$$

$$35 = \frac{(Q_{bb} + Q_{udara})_{aktual}}{60 (3,14 \cdot \frac{1,68^2}{100})}$$

$$186,109 = (Q_{bb} + Q_{udara})_{act} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk bahan bakar gas, perbandingan mol juga menyatakan perbandingan volume, sehingga didapatkan :

$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a}$$

$$\Phi = \frac{(Q_{udara}/Q_{bb})_{stoic}}{(Q_{udara}/Q_{bb})_{aktual}}$$

$$\Phi = \frac{27,37}{(Q_{udara}/Q_{bb})_{aktual}}$$

$$\Phi = \frac{Q_{bb \text{ aktual}} \cdot 27,37}{Q_{udara \text{ aktual}}}$$

Untuk rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$, maka :

$$Q_{udara \text{ aktual}} = Q_{bb \text{ act}} \cdot 30,41 \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (2) disubsitusikan ke persamaan (1), didapatkan :

$$186,109 = 30,41 Q_{bb \text{ act}} + Q_{bb \text{ act}}$$

$$Q_{bb \text{ aktual}} = \frac{186,109}{31,41}$$

$$Q_{bb \text{ aktual}} = 5,92 \left(\frac{\text{mL}}{\text{menit}} \right)$$

$$Q_{udara \text{ aktual}} = 5,92 \cdot 30,41$$

$$Q_{udara \text{ aktual}} = 180,18 \text{ (mL/menit)}$$

Selanjutnya dengan cara yang sama digunakan untuk menentukan Q_{udara} dan Q_{bb} pada bahan bakar metana dengan AFR bahan bakar-udara 9,52 pada kecepatan total reaktan $V_{total} = 25 \text{ cm/s}$, 35 cm/s , dan 40 cm/s serta dengan rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$. Sehingga didapatkan nilai pengambilan data debit udara Q_{udara} dan bahan bakar Q_{bb} seperti pada Tabel 4.3.

4.3 Diagram Kestabilan Api dan *Flame Stabilization Limit*

a. *Flame stabilization limit* LPG

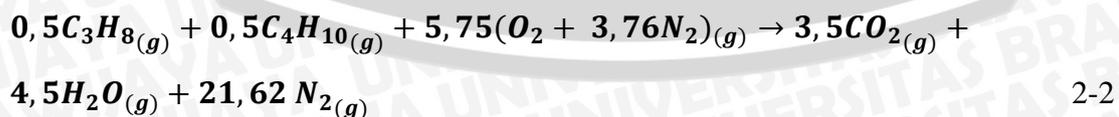
Berdasarkan Tabel 2.2 dan 2.3 tentang batas mampu nyala api diatas, diketahui *flame stabilization limit* saat reaktan dalam keadaan diam dengan tekanan atmosfer dan temperatur ruang pada bahan bakar propana yaitu 2,04 – 9,79 % dan butana 1,67 – 7,8 %.

- **Nilai rasio ekuivalen minimal bahan bakar LPG**

Perbandingan volume LPG dan udara dalam reaktan pada *lower flame stabilization limit*.

$$\begin{aligned} \text{Vol. LPG} : \text{Vol. udara} \\ &= 1,855\% : 98,145\% \\ &= 1 : 52,908 \end{aligned}$$

Dengan persamaan reaksi kimia pada pembakaran stoikometri dari LPG dengan udara adalah



Perbandingan volume LPG dan udara pada kondisi stoikiometrik:

$$\text{volume bahan bakar} : \text{volume udara} = 1 : 27,37$$

Maka di dapat rasio ekuivalen minimal bahan bakar LPG (Φ) = $\frac{27,37}{52,908} = \mathbf{0,517}$

- **Nilai rasio ekuivalen maksimal bahan bakar LPG**

Perbandingan volume LPG dan udara dalam reaktan pada *upper flame stabilization limit*.

$$\begin{aligned}\text{Vol. LPG} : \text{Vol. udara} \\ &= 8,795\% : 91,205\% \\ &= 1 : 10,37\end{aligned}$$

Perbandingan volume LPG dan udara pada kondisi stoikiometrik:

$$\text{volume bahan bakar} : \text{volume udara} = 1 : 27,37$$

Maka di dapat rasio ekuivalen maksimal bahan bakar LPG $\Phi = \frac{27,37}{10,37} = 2,639$

- **b. Flame stabilization limit metana**

Berdasarkan Tabel 2.4 tentang batas mampu nyala api diatas, diketahui *flame stabilization limit* pada bahan bakar metana saat reaktan dalam keadaan diam yaitu 4,95 – 15,72 %.

- **Nilai rasio ekuivalen minimal bahan bakar metana**

Perbandingan volume metana dan udara dalam reaktan pada *lower flame stabilization limit*.

$$\begin{aligned}\text{Vol. metana} : \text{Vol. udara} \\ &= 4,95\% : 95,05\% \\ &= 1 : 19,2\end{aligned}$$

Dengan persamaan reaksi kimia pada pembakaran stoikometri dari metana (CH_4) dengan udara adalah



Perbandingan volume metana dan udara pada kondisi stoikiometrik:

$$\text{volume bahan bakar} : \text{volume udara} = 1 : 9,5$$

Maka di dapat rasio ekuivalen minimal bahan bakar metana (Φ) = $\frac{9,5}{19,2} = 0,494 \approx 0,5$

- **Nilai rasio ekuivalen maksimal bahan bakar metana**

Perbandingan volume metana dan udara dalam reaktan pada *upper flame stabilization limit*.

$$\begin{aligned}\text{Vol. metana} : \text{Vol. udara} \\ &= 15,72\% : 84,25\% \\ &= 1 : 5,3594\end{aligned}$$

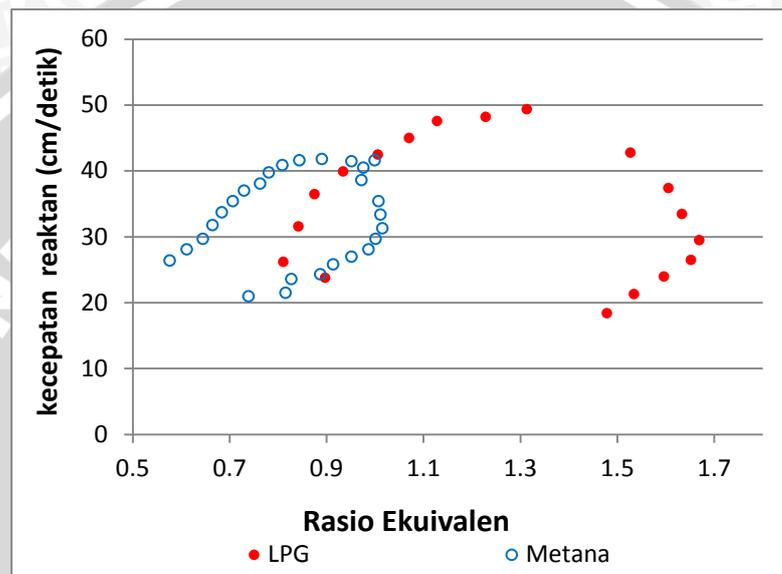
Perbandingan volume metana dan udara pada kondisi stoikiometrik:

volume bahan bakar : volume udara = 1 : 9,5

Maka di dapat rasio ekuivalen maksimal bahan bakar metana (Φ) = $\frac{9,5}{5,3594} = 1,77$

4.3.1 *Flame stabilization limit* saat aliran reaktan dalam *Meso-scale combustor*

Diagram kestabilan api dan *flame stabilization limit* pada *meso-scale combustor* dengan variasi jenis bahan bakar metana dan LPG.



Gambar 4.1 Diagram kestabilan api pada *meso-scale combustor* pada bahan bakar LPG dan metana

Pada gambar 4.1 dibandingkan tabel 2.1 dapat dilihat bahwa batas mampu nyala api pada *meso-scale combustor* dengan aliran reaktan stationer mencapai (Φ) 0,5 – 1,67 pada bahan bakar metana dan (Φ) 0,564 -2,82 pada bahan bakar LPG. Sedangkan pada *meso-scale combustor* mencapai (Φ) 0,57 – 1,015 pada bahan bakar metana dan (Φ) 0,81 – 1,67 pada bahan bakar LPG. Hal ini menunjukkan bahwa pada *meso-scale combustor* dengan aliran reaktan stationer memiliki batas mampu nyala api yang lebih lebar dibandingkan dengan batas mampu nyala api dengan aliran reaktan pada *meso-scale combustor*. Hal ini terjadi karena dengan semakin meningkatnya kecepatan reaktan, waktu yang ditempuh reaktan untuk mengalami proses reaksi pembakaran lebih singkat sehingga jumlah reaktan yang mampu terbakar pada kecepatan reaktan dalam pada *meso-scale combustor* lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah reaktan yang mampu terbakar pada pembakaran stasioner.

Pada gambar 4.1 juga menjelaskan *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG terlihat lebih luas dibandingkan dengan *meso-scale combustor* berbahan bakar

metana. Sehingga api dapat stabil dalam *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG pada kecepatan reaktan yang lebih tinggi.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG api mampu menyala hingga rasio ekuivalen 1,67 yang merupakan rasio ekuivalen tertinggi yang dapat dicapai pada saat debit bahan bakar 9 mL/menit, sedangkan pada *meso-scale combustor* berbahan bakar metana api dapat menyala dalam *meso-scale combustor* hingga mencapai rasio ekuivalen 1,01 pada debit bahan bakar 16 mL/menit.

Dapat dilihat juga pada Gambar 4.1 bahwa *meso-scale combustor* berbahan bakar metana memiliki daerah *flame stabilization limit* lebih sempit bila dibandingkan dengan *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG. Hal ini disebabkan karena densitas atau massa jenis gas metana yang jauh lebih rendah dari massa jenis LPG menyebabkan jumlah kandungan massa bahan bakar yang terbakar dengan udara tiap satuan massa yang sama dengan LPG lebih rendah dibandingkan dengan jumlah kandungan massa bahan bakar LPG yang terbakar dengan udara. Sehingga api mudah padam pada saat debit bahan bakar metana yang rendah.

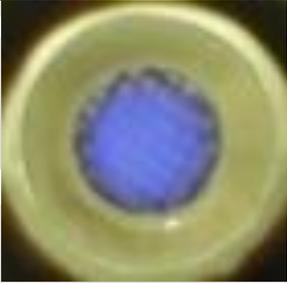
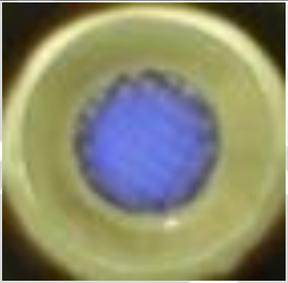
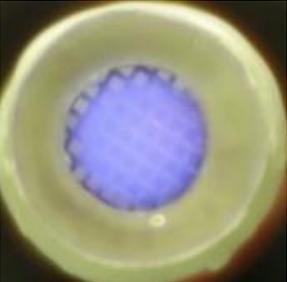
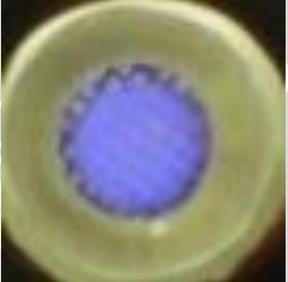
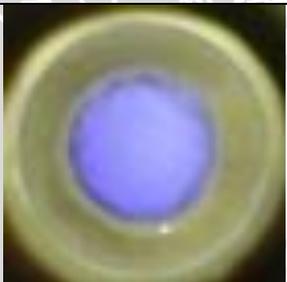
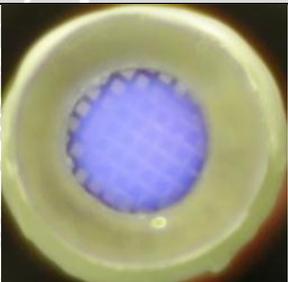
Lebih lanjut, api dapat stabil di dalam *meso-scale combustor* pada debit bahan bakar metana yang lebih besar dibandingkan dengan debit bahan bakar LPG, hal ini terjadi karena tiap perubahan debit yang sama, pada bahan bakar metana mengalami penambahan massa bahan bakar metana yang lebih sedikit dibandingkan dengan penambahan massa bahan bakar LPG akibat dari massa jenis gas metana yang lebih rendah jika dibandingkan dengan massa jenis gas LPG. Apabila debit bahan bakar atau udara terus menerus di tambah pada bahan bakar metana mengakibatkan kecepatan aliran reaktan semakin meningkat namun tidak lebih besar daripada peningkatan kecepatan reaktan dari penambahan debit bahan bakar LPG dan udara. Sehingga *flame stabilization limit* yang dihasilkan dari pembakaran di dalam *meso-scale combustor* berbahan bakar metana lebih kecil dibandingkan dengan pembakaran di dalam *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG.

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa pada *meso-scale combustor* dengan bahan bakar metana, api dapat menyala stabil di dalam *meso-scale combustor* adalah pada debit bahan bakar 8 - 21 mL/menit, dan debit 4 - 12 mL/menit pada bahan bakar LPG.

4.4 Visualisasi Nyala Api

A. Visualisasi nyala api *meso-scale combustor* pada rasio ekuivalen $\Phi=0,9$ dengan variasi kecepatan reaktan yang berbeda.

Gambar hasil pengambilan data visualisasi api dalam *meso-scale combustor* pada jenis bahan bakar LPG dan metana dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Kecepatan reaktan (cm/detik)	LPG	Metana
25		
35		
40		

Gambar 4.2 Hasil visualisasi api dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa warna api untuk masing-masing *meso-scale combustor* pada rasio ekuivalen yang sama yakni biru. Karena pada saat kondisi mendekati stoikiometri atau pada rasio ekuivalen $\Phi=0,9$ hampir semua bahan bakar dapat terbakar sempurna. Warna biru juga menunjukkan tidak ada proses pembentukan jelaga yang dihasilkan dalam pembakaran *meso-scale combustor*. Kemudian warna api untuk kecepatan reaktan yang semakin besar pada masing-masing *meso-scale combustor* juga memiliki kecenderungan yang sama yakni dengan bertambahnya kecepatan reaktan warna nyala api dalam *meso-scale combustor* terlihat semakin terang.

Hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan reaktan maka jumlah bahan bakar yang terbakar semakin banyak. Sehingga kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran, menyebabkan jarak celah antara api dengan dinding *combustor* menjadi semakin sempit serta temperatur pembakaran semakin tinggi pula. Hal tersebut yang mengakibatkan nyala api dalam *meso-scale combustor* semakin terang.

Pada kecepatan 30 cm/detik dan 35 cm/detik masing-masing juga menunjukkan perbedaan luas penampang api tetapi tidak begitu signifikan bila di bandingkan pada kecepatan reaktan 25 cm/detik. Kondisi ini dikarenakan dengan semakin bertambahnya laju alir reaktan atau kecepatan reaktan maka temperatur yang dihasilkan pada proses pembakaran juga meningkat. Dengan meningkatnya temperatur serta panas yang dihasilkan pada proses pembakaran menyebabkan temperatur nyala api dan ruang bakar juga meningkat sehingga *radical quenching* semakin rendah yang mengakibatkan jarak api dengan dinding *meso-scale combustor* menjadi semakin dekat. *Radical quenching* sendiri adalah berkurangnya jumlah radikal bebas karena bereaksi membentuk unsur yang stabil di daerah dekat dinding *meso-scale combustor*. Dalam kondisi ini perbedaan luas penampang api dalam masing-masing *meso-scale combustor* menjadi lebih kecil.

Pada *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG warna nyala api untuk setiap penambahan kecepatan reaktan yang sama terlihat sedikit lebih terang dari pada nyala api pada *meso-scale combustor* dengan bahan bakar metana. Hal ini karena dipengaruhi oleh kandungan nilai *heating value* yang dimiliki masing-masing bahan bakar serta jumlah debit bahan bakar yang mengalir dalam *meso-scale combustor* saat terjadinya proses pembakaran.

Heating value atau nilai kalor yang terkandung dalam setiap bahan bakar sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran yang berlangsung dalam *meso-scale combustor*. Hal itu terjadi karena nilai kalor bahan bakar dapat menentukan besarnya kecepatan pembakaran serta temperatur yang dihasilkan dalam *meso-scale combustor*. Dimana *heating value* sendiri adalah nilai panas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna suatu zat tertentu tiap satu satuan massa. *Heating value* juga akan dapat mempengaruhi nilai *heating release* atau nilai kalor yang dihasilkan pada saat proses pembakaran tiap satuan laju debit bahan bakar dalam *meso-scale combustor*. Semakin tinggi nilai *heating value* (kJ/gram) yang terkandung dalam bahan bakar, maka *heating release* yang dihasilkan juga semakin besar.

Dari salah satu data yang didapatkan, yakni pada kecepatan reaktan 35 cm/s dalam *meso-scale combustor* diketahui debit bahan bakar LPG sebesar 5,98 mL/mnt atau 0,099 mL/s.

Semua data debit yang didapat selama penelitian dikonversikan menjadi massa alir dengan menggunakan persamaan 4-1, sehingga satuan yang semula mL/mnt telah diubah ke dalam g/s.

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (4-1)$$

Dimana:

\dot{m} = Massa alir gas [gram/s]

ρ = Kerapatan gas [gram/cm³] atau [gram/mL]

Q = Debit gas [m³/s]

Mencari laju aliran massa bahan bakar LPG:

- **Laju aliran massa bahan bakar** = $\dot{m} = \rho \times Q$
 $= 0,00212562 \text{ gram/mL} \times 0,099 \text{ mL/s}$
 $= 0,000210436 \text{ gram/s}$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dicari *heating release* pada pembakaran LPG dalam *meso-scale combustor*.

$$\begin{aligned} \text{heating release} &= \dot{m} \times \text{heating value} \\ &= 0,000210436 \text{ gram/s} \times 47,118247 \text{ kJ/gram} \\ &= 0,009915 \text{ kJ/s} \\ &= \mathbf{9,98695 \text{ J/s}} \end{aligned}$$

Sedangkan pada kecepatan reaktan 35 cm/s dalam *meso-scale combustor* berbahan bakar metana diketahui debit bahan bakar metana sebesar 16,22 mL/mnt atau 0,27033 mL/s.

Mencari laju aliran massa bahan bakar :

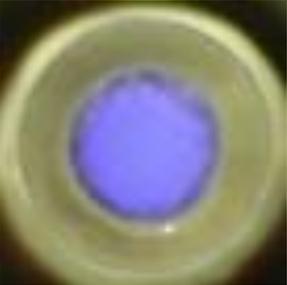
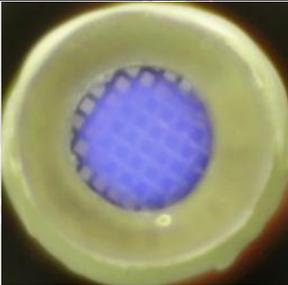
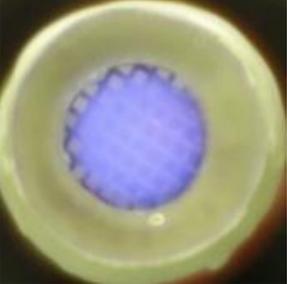
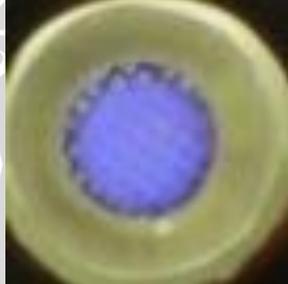
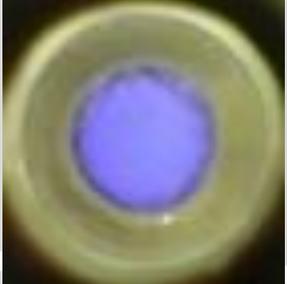
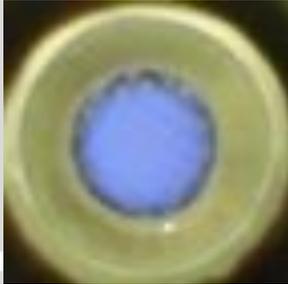
- **Laju aliran massa bahan bakar** = $\dot{m} = \rho \times Q$
 $= 0,000667209 \text{ gram/mL} \times 0,27033 \text{ mL/s}$
 $= 0,0001803 \text{ gram/s}$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dicari *heating release* pada pembakaran metana dalam *meso-scale combustor*.

$$\begin{aligned} \text{heating release} &= \dot{m} \times \text{heating value} \\ &= 0,0001803 \text{ gram/s} \times 52,75 \text{ kJ/gram} \\ &= 0,00954143 \text{ kJ/s} \\ &= \mathbf{9,54143 \text{ J/s}} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa bahan bakar LPG memiliki nilai *heating release* yang lebih besar dari pada bahan bakar metana pada kecepatan reaktan yang sama. Data tersebut merupakan data penelitian yang dilakukan pada salah satu contoh pengambilan data saat proses pembakaran dimana api stabil dalam dalam *meso-scale combustor* dengan kecepatan pembakaran 35 cm/s dengan rasio ekuivalen bahan bakar dengan udara (Φ) = 0,9. Semakin tinggi nilai *heating release* yang dihasilkan maka luas penampang api yang diciptakan pada pembakaran di dalam *meso-scale combustor* juga akan semakin luas.

B. Visualisasi nyala api pada *meso-scale combustor* dengan variasi rasio ekuivalen yang berbeda pada kecepatan reaktan yang tetap

Rasio Ekuivalen (Φ)	LPG	Metana
0,83		
0,9		
1		

Gambar 4.3 Hasil visualisasi api dengan variasi rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan 35 cm/detik

Pada gambar 4.3 dapat dilihat luas penampang api untuk setiap penambahan rasio ekuivalen pada masing-masing *meso-scale combustor*. Secara umum api dalam *meso-scale combustor* yang menggunakan bahan bakar LPG mempunyai luas

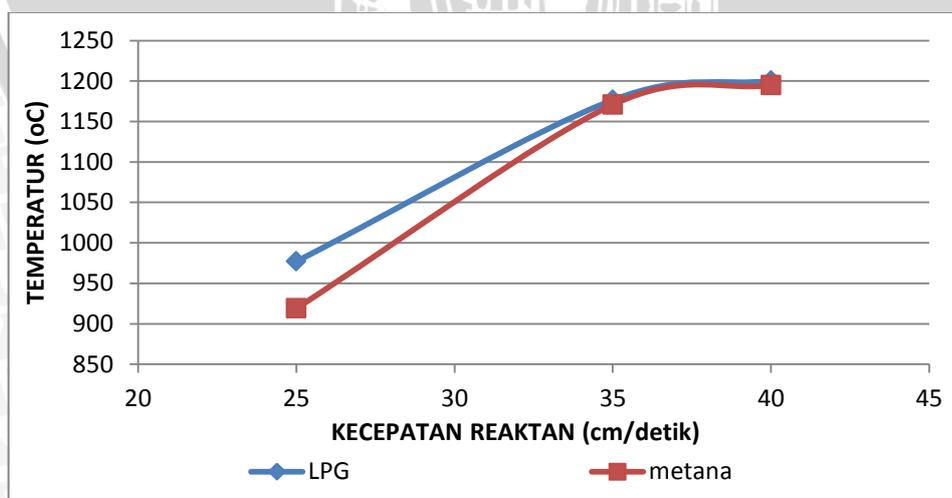
penampang yang lebih besar bila dibandingkan dengan api dalam *meso-scale combustor* yang menggunakan bahan bakar metana, baik pada rasio ekuivalen terendah $\Phi=0.83$ ataupun pada saat rasio ekuivalen $\Phi=1$. Perbedaan luas penampang api terlihat jelas pada rasio ekuivalen yang lebih kecil dan perbedaan luas penampang semakin berkurang pada rasio ekuivalen yang lebih besar.

Gambar diatas juga menunjukkan bahwa luas penampang api menjadi semakin besar dengan bertambahnya rasio ekuivalen. Pada rasio ekuivalen $\Phi=0.83$ *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar metana memiliki luas penampang paling kecil bila dibandingkan dengan luas penampang api pada *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar LPG. Hal ini disebabkan karena nilai *heating release* yang dihasilkan bahan bakar metana lebih rendah dibandingkan dengan nilai *heating release* yang dihasilkan bahan bakar LPG yang terbakar dalam *meso-scale combustor*. Sehingga luas penampang api pada *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar LPG memiliki luas penampang lebih besar.

4.5 Pengukuran Temperatur Api

A. Diagram temperatur api dalam *combustor* dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen tetap

Data hasil penelitian tentang temperatur api dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar *Liquid Petroleum Gas* (LPG) dan metana dapat dilihat pada gambar 4.4. Dimana data tersebut merupakan data hasil penelitian diambil pada jarak 1 mm atau digeser sampai didapatkan temperatur tertinggi.

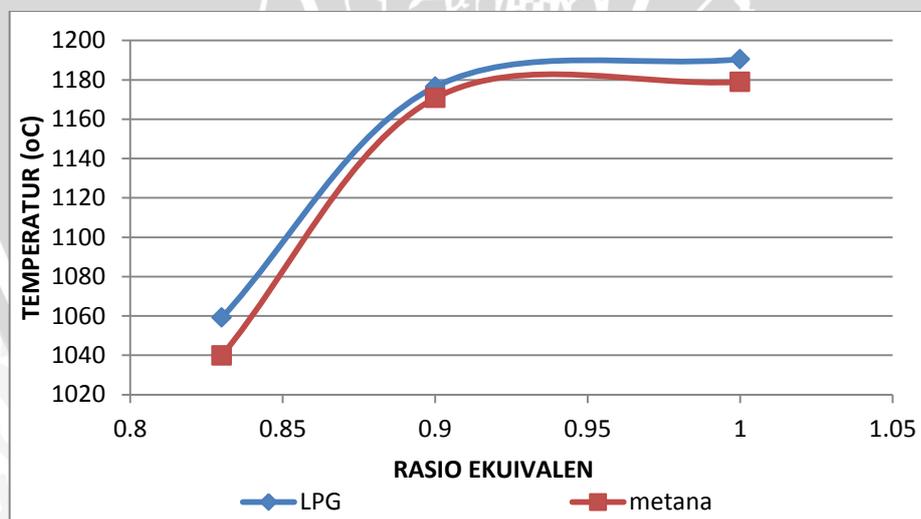


Gambar 4.4 Temperatur api dalam *meso-scale combustor* dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa dalam *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG memiliki temperatur api yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *meso-scale combustor* berbahan bakar metana. Hal ini disebabkan karena *heating release* yang dihasilkan *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG lebih besar dari pada *heating release* yang dihasilkan *meso-scale combustor* berbahan bakar metana. Sehingga menghasilkan nyala api yang lebih terang dan luas serta temperatur api yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kecepatan reaktan maka temperatur api yang dihasilkan juga akan meningkat.

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 kecenderungan kenaikan temperatur api semakin tajam dari kecepatan reaktan 25 cm/s menuju 35 cm/s namun akan melandai pada kecepatan reaktan 35 cm/s menuju 40 cm/s. Hal ini terjadi karena selisih jumlah debit total reaktan pada kecepatan reaktan 25 cm/s dengan 35 cm/s jauh lebih besar dibandingkan dengan selisih jumlah debit total reaktan pada kecepatan reaktan 35 cm/s 40, sehingga perbedaan temperatur yang dihasilkan pun juga akan semakin lebar.

B. Diagram temperatur api dalam *combustor* dengan variasi rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan tetap.



Gambar 4.5 Temperatur api dalam *meso-scale combustor* dengan variasi rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan 35 cm/detik

Pada kecepatan reaktan yang sama dengan rasio ekuivalen total yang berbeda, bisa dilihat pada Gambar 4.5. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar rasio ekuivalen, maka temperatur api yang dihasilkan juga akan meningkat. Hal ini karena pada rasio ekuivalen yang semakin mendekati 1, menunjukkan bahwa rekasi

pembakaran yang terjadi berlangsung secara sempurna yang mengakibatkan seluruh bahan bakar dapat bereaksi dengan udara menghasilkan produk berupa temperatur yang lebih tinggi dan cahaya yang lebih terang.

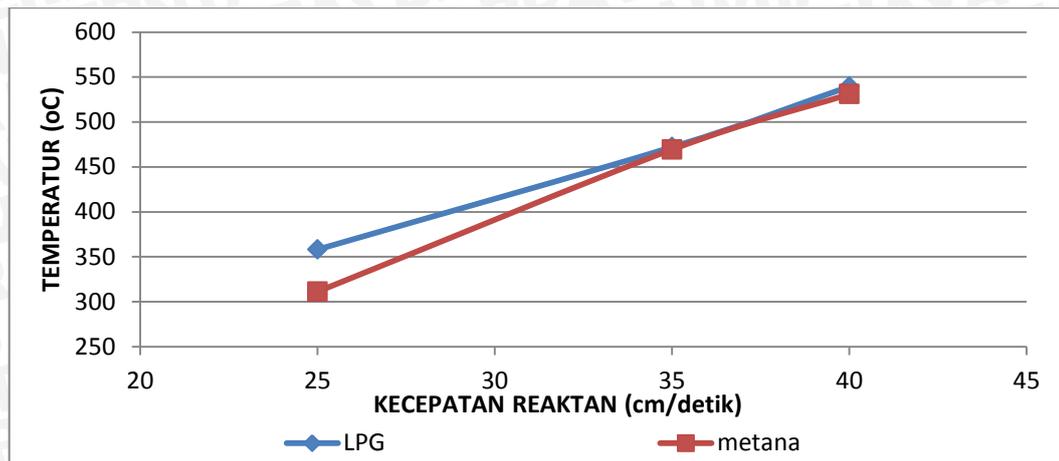
Pada Gambar 4.5 dapat dijelaskan bahwa pengukuran temperatur api pada kondisi rasio ekuivalen (Φ) = 0.83, jumlah udara yang mengalir terlalu banyak sehingga terdapat udara berlebih yang tidak ikut terbakar bersama bahan bakar dan mengakibatkan adanya kalor yang terserap oleh udara juga semakin banyak sehingga temperaturnya menurun. Sedangkan pada kondisi rasio ekuivalen (Φ) = 1 debit bahan bakar lebih banyak dari pada jumlah debit bahan bakar pada rasio ekuivalen (Φ) = 0,9. Sehingga kalor dan jumlah energi yang dihasilkan lebih besar menyebabkan temperatur api yang dihasilkan juga semakin meningkat.

Pada semua rasio ekuivalen, mulai dari (Φ) = 0.83, 0.9 dan 1, temperatur api yang mampu dihasilkan oleh pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar LPG masih lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur api yang mampu dihasilkan oleh pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar metana. Hal ini disebabkan karena *heating release* yang dihasilkan *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG lebih besar dari pada *heating release* yang dihasilkan *meso-scale combustor* berbahan bakar metana. Sehingga menghasilkan nyala api yang lebih terang dan luas serta temperatur api yang lebih tinggi.

4.6 Pengukuran Temperatur Gas hasil pembakaran

A. Diagram temperatur gas hasil pembakaran dalam *combustor* dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen tetap

Data hasil penelitian tentang temperatur gas hasil pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan bahan bakar *Liquid Petroleum Gas* (LPG) dan metana dapat dilihat pada gambar 4.6. Dimana data tersebut merupakan data hasil penelitian diambil pada jarak 10 mm di depan *mesh* atau tepat di mulut *meso-scale combustor*.

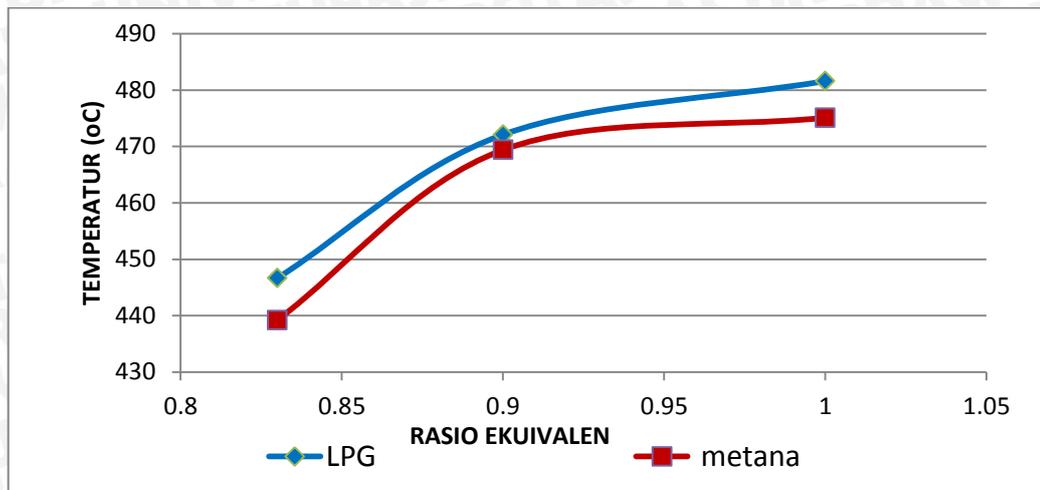


Gambar 4.6 Temperatur gas hasil pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$

Secara umum, temperatur gas hasil pembakaran dari proses pembakaran dalam *meso-scale combustor* menghasilkan nilai perbandingan temperatur yang tidak begitu berbeda dari temperatur api yang dihasilkan pada pembakaran dalam *meso-scale*. Gambar 4.6 menunjukkan temperatur gas hasil pembakaran yang dipengaruhi oleh kecepatan reaktan terhadap temperatur api dalam *meso-scale combustor* yang dihasilkan. Seiring dengan penambahan massa alir yang diikuti dengan kecepatan reaktan yang semakin meningkat mengakibatkan kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran dan temperatur api semakin tinggi serta daerah reaksi pembakaran semakin luas. Hal ini juga menyebabkan jarak api dengan mulut *combustor* akan semakin dekat seiring dengan meningkatnya kecepatan reaktan, temperatur gas hasil pembakaran akan semakin meningkat juga.

Meso-scale combustor berbahan bakar LPG memiliki temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *meso-scale combustor* berbahan bakar metana. Hal ini disebabkan karena temperatur api yang dihasilkan *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG lebih tinggi dari pada dengan bahan bakar metana, akibat dari area daerah reaksi pada pembakaran LPG yang lebih luas sehingga semakin mendekati titik pengukuran temperatur gas hasil pembakaran atau mulut *combustor* dan menghasilkan temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi.

B. Diagram temperatur gas hasil pembakaran dalam *combustor* dengan variasi rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan tetap.



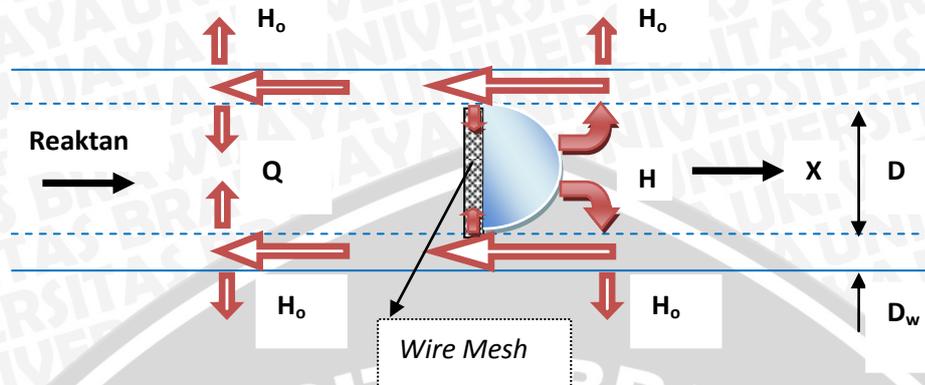
Gambar 4.7 Temperatur gas hasil pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan variasi rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan 35 cm/detik

Hasil pengambilan data pada variasi rasio ekuivalen dengan titik kecepatan reaktan yang sama bisa dilihat pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya rasio ekuivalen, maka temperatur gas hasil pembakaran yang dihasilkannya juga akan meningkat. Hal ini terjadi karena pada jumlah debit udara yang sama bahan bakar pada rasio ekuivalen $\Phi=1$ lebih banyak daripada bahan bakar pada rasio ekuivalen $\Phi=0.83$ dan $\Phi=0.9$, meski begitu pada kedua kondisi tersebut bahan bakar dapat terbakar sempurna. Hanya saja pada rasio ekuivalen $\Phi=1$ jumlah energi yang dihasilkan lebih besar sehingga menghasilkan temperatur yang lebih tinggi.

4.7 Pengukuran Temperatur Dinding *Meso-scale combustor*

Dalam proses pembakaran dalam *meso-scale combustor*, terjadi proses pelepasan kalor dan memancarkannya ke segala arah. Sebagian kalor tersebut berpindah ke dinding *meso-scale combustor*. Perpindahan kalor ini terjadi akibat dari adanya perbedaan temperatur antara api dan dinding *meso-scale combustor* yang mana temperatur api lebih tinggi dari pada temperatur dinding *meso-scale combustor*. Pada proses pembakaran api dalam *meso-scale combustor*, arah nyala api menuju ke luar atau stabil setelah *mesh*, sehingga kalor yang dipancarkan api ke dinding *meso-scale combustor* bagian depan lebih besar dari pada yang dipancarkan ke dinding *meso-scale combustor* bagian belakang. Proses perpindahan kalor dari api ke dinding *meso-scale combustor* ini terjadi secara konduksi, dan konveksi dan radiasi. Kalor yang berpindah

ini kemudian sebagian disimpan dinding *meso-scale combustor* dan bersamaan dengan itu sebagian kalor diteruskan atau ditransfer ke udara atau lingkungan di atas permukaan dinding *meso-scale combustor* secara konveksi.



Gambar 4.8 Skematik perpindahan panas dalam *meso-scale combustor* dengan *wire mesh* di dalamnya

Gambar 4.8 menjelaskan bagaimana perpindahan panas yang terjadi pada pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan *wire mesh* di dalamnya. D menyatakan diameter dalam *meso-scale combustor*, D_w menyatakan diameter luar *meso-scale combustor*. Sebagian energi yang dihasilkan dari proses pembakaran yang ikut terbuang bersama gas hasil pembakaran dinyatakan dengan X , sedangkan H menyatakan *heat loss* yang terjadi dari api ke dinding *meso-scale combustor* secara konveksi. Selanjutnya di koveksikan lagi ke lingkungan. Sebagian dari *heat loss* tersebut di konduksikan ke *wire mesh* dan ke arah *upstream* melalui dinding dinyatakan dengan Q . Panas yang dikonduksikan dari dinding *meso-scale combustor* ke *wire mesh* dan panas yang dikonveksikan dari dinding *meso-scale combustor* ke reaktan mempunyai peranan penting dalam proses pemanasan awal reaktan. Proses tersebut akan menghasilkan temperatur reaktan yang lebih tinggi yang dapat meningkatkan stabilitas pembakaran dalam *meso-scale combustor*.

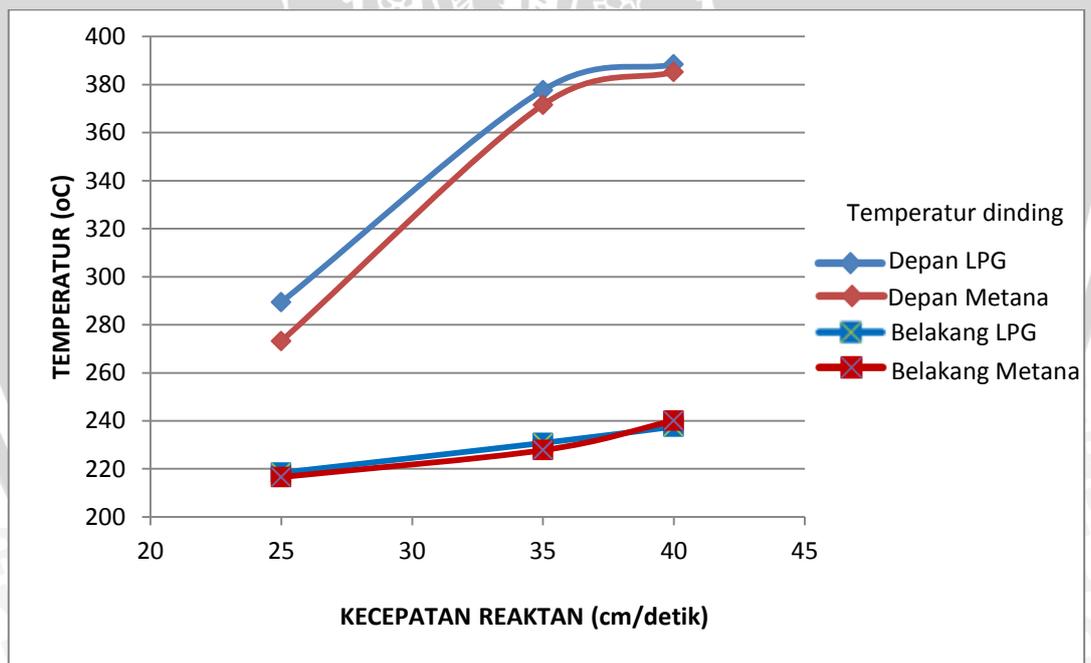
Dalam proses pengukuran data temperatur dinding *meso-scale combustor* ini, diamati beberapa titik pengukuran temperatur yang dihasilkan dalam proses pembakaran, diantaranya yakni pengukuran temperatur dinding *combustor* bagian depan serta pengukuran temperatur dinding *combustor* bagian belakang. Jika temperatur dinding *combustor* bagian belakang yang dihasilkan dari perpindahan kalor saat proses pembakaran berlangsung semakin tinggi atau memiliki selisih perbedaan temperatur dengan dinding *combustor* bagian depan yang semakin kecil menunjukkan bahwa *heat recirculation* yang terjadi pada proses pembakaran tersebut cukup tinggi. *Heat recirculation* yang semakin tinggi dapat berpengaruh terhadap proses pemanasan awal

reaktan sebelum terjadinya pembakaran, sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan untuk dapat menyala api dalam *meso-scale combustor* menjadi lebih kecil.

Setiap jenis bahan bakar memiliki karakteristik *heat recirculation* yang berbeda, dan dalam penelitian kali ini, didapatkan hasil bahwa proses pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar metana memiliki nilai *heat recirculation* yang lebih baik dibandingkan dengan pembakaran dalam *meso-scale combustor* dengan menggunakan bahan bakar LPG.

A. Diagram temperatur dinding luar *combustor* bagian depan dan belakang dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen tetap

Data hasil penelitian tentang temperatur dinding luar *meso-scale combustor* pada jenis bahan bakar *Liquid Petroleum Gas* (LPG) dan metana dapat dilihat pada gambar 4.9. Dimana data tersebut merupakan data hasil penelitian diambil di dinding *meso-scale combustor* bagian atas pada jarak 3 mm di depan *mesh* dan 3 mm di belakang *mesh*.



Gambar 4.9 Temperatur dinding luar *combustor* bagian depan dan belakang dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$

Gambar 4.9 diatas menunjukkan pengaruh kecepatan reaktan terhadap temperatur dinding *meso-scale combustor* yang dihasilkan. Pada *meso-scale combustor* yang mengalami peningkatan kecepatan reaktan, mengakibatkan kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran dan temperatur api semakin tinggi serta daerah reaksi

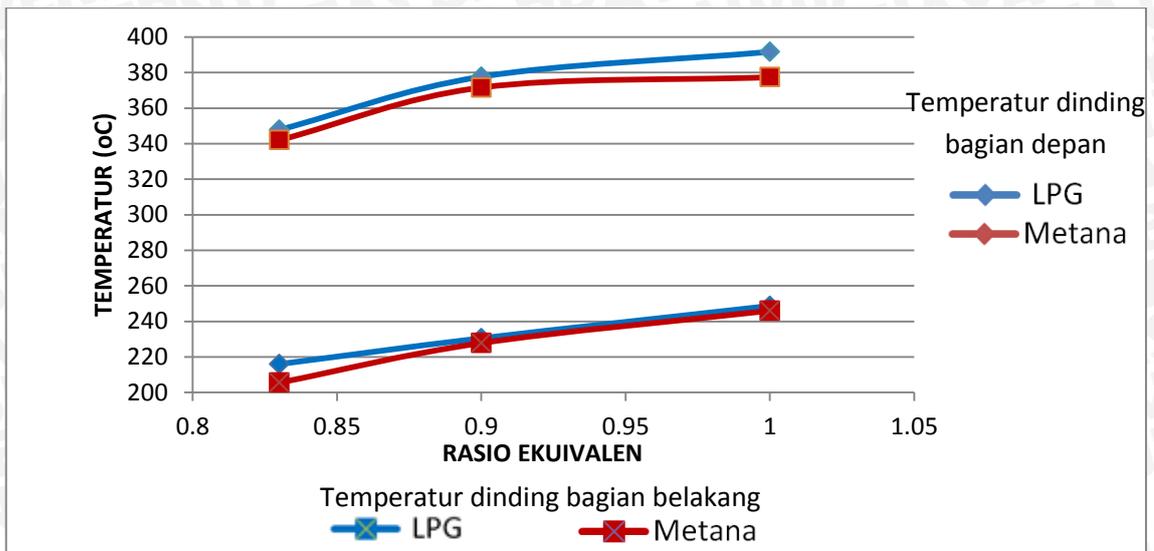
pembakaran semakin luas. Temperatur yang lebih tinggi ini dapat menekan terjadinya *radical quenching* dan pemadaman api disekitar dinding *meso-scale combustor*. Sehingga jarak antara dinding dan api menjadi lebih kecil dan luas penampang api menjadi lebih besar.

Pada gambar 4.9 juga menunjukkan bahwa temperatur dinding yang dihasilkan pada *meso-scale combustor* bagian depan lebih besar dari pada yang dipancarkan ke dinding *meso-scale combustor* bagian belakang. Hal ini dapat dijelaskan pada proses pembakaran api dalam *meso-scale combustor*, arah nyala api menuju ke luar atau stabil setelah *mesh*, sehingga kalor yang dipancarkan api ke dinding *meso-scale combustor* bagian depan lebih besar dari pada yang dipancarkan ke dinding *meso-scale combustor* bagian belakang. Proses perpindahan kalor dari api ke dinding *meso-scale combustor* ini terjadi secara konduksi, dan konveksi. Kalor yang berpindah ini kemudian sebagian disimpan dinding *meso-scale combustor* dan bersamaan dengan itu sebagian kalor diteruskan atau ditransfer ke udara atau lingkungan di atas permukaan dinding *meso-scale combustor* secara konveksi.

Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG memiliki temperatur dinding *meso-scale combustor* pada bagian depan dan belakang yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan *meso-scale combustor* berbahan bakar metana pada rentang rasio ekuivalen $\Phi = 0,9$ dengan kecepatan reaktan $v = 25$ cm/s, 35 cm/s dan 40 cm/s,. Hal ini disebabkan karena temperatur api yang dihasilkan *meso-scale combustor* berbahan bakar LPG lebih tinggi sehingga luas daerah reaksi pembakaran semakin luas dan jarak antara api dengan dinding semakin kecil, dan menyebabkan temperatur dinding yang dihasilkan *meso-scale combustor* pada bagian depan dan belakang dengan berbahan bakar LPG lebih tinggi dibanding dengan bahan bakar metana.

Dari Gambar 4.8 dan 4.9 juga dapat dilihat bahwa nilai temperatur gas hasil pembakaran yang dihasilkan pada pembakaran LPG dan metana lebih tinggi dari pada temperatur dinding *combustor*. Hal ini menunjukkan bahwa kalor yang terbawa oleh produk hasil pembakaran lebih besar dari pada kalor yang mengalir menuju dinding *combustor*.

B. Diagram temperatur dinding luar *combustor* bagian depan dan belakang dengan variasi kecepatan reaktan pada rasio ekuivalen tetap.



Gambar 4.10 Temperatur dinding luar *combustor* bagian depan dan belakang dengan variasi rasio pada kecepatan reaktan 35 cm/detik.

Gambar 4.10 diatas menunjukkan pengaruh variasi rasio ekuivalen pada kecepatan reaktan yang tetap terhadap temperatur dinding *meso-scale combustor* yang dihasilkan. Pada *meso-scale combustor* yang mengalami peningkatan rasio ekuivalen, mengakibatkan kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran dan temperatur api semakin tinggi serta daerah reaksi pembakaran semakin luas. Temperatur yang lebih tinggi ini dapat menekan terjadinya *radical quenching* dan pemadaman api disekitar dinding *meso-scale combustor*. Sehingga jarak antara dinding dan api menjadi lebih kecil dan luas penampang api menjadi lebih besar. Hal ini terjadi karena pada saat rasio $\Phi = 0.83$, dan $\Phi = 0.9$, jumlah udara yang mengalir dalam *meso-scale combustor* terlalu banyak sehingga terdapat sisa udara yang tidak bereaksi atau terbakar dengan bahan bakar metana saat proses pembakaran sedang berlangsung yang mengakibatkan molekul udara tersebut dapat menyerap kalor yang dihasilkan sehingga temperatur api serta temperatur gas hasil pembakaran pun menjadi lebih rendah.

Dapat dilihat pada gambar 4.10 bahwa dengan semakin meningkatnya rasio ekuivalen pada proses pembakaran maka temperatur dinding *combustor* bagian belakang juga semakin meningkat dan berdampak pada persebaran atau perpindahan kalor lebih tinggi sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan untuk proses pemanasan awal reaktan menjadi lebih kecil.