

Lampiran 1 Densitas (kg/m³) CH₄ dan CO₂ pada berbagai temperatur

TABLE A-10

Properties of gases at 1 atm pressure

Temp. T, °C	Density ρ, kg/m ³	Specific Heat c _p , J/kg · K	Thermal Conductivity k, W/m · K	Thermal Diffusivity α, m ² /s	Dynamic Viscosity μ, kg/m · s	Kinematic Viscosity ν, m ² /s	Prandtl Number Pr
<i>Carbon Dioxide, CO₂</i>							
-50	2.4035	746	0.01051	5.860 × 10 ⁻⁶	1.129 × 10 ⁻⁵	4.699 × 10 ⁻⁶	0.8019
0	1.9635	811	0.01456	9.141 × 10 ⁻⁶	1.375 × 10 ⁻⁵	7.003 × 10 ⁻⁶	0.7661
50	1.6597	866.6	0.01858	1.291 × 10 ⁻⁵	1.612 × 10 ⁻⁵	9.714 × 10 ⁻⁶	0.7520
100	1.4373	914.8	0.02257	1.716 × 10 ⁻⁵	1.841 × 10 ⁻⁵	1.281 × 10 ⁻⁵	0.7464
150	1.2675	957.4	0.02652	2.186 × 10 ⁻⁵	2.063 × 10 ⁻⁵	1.627 × 10 ⁻⁵	0.7445
200	1.1336	995.2	0.03044	2.698 × 10 ⁻⁵	2.276 × 10 ⁻⁵	2.008 × 10 ⁻⁵	0.7442
300	0.9358	1060	0.03814	3.847 × 10 ⁻⁵	2.682 × 10 ⁻⁵	2.866 × 10 ⁻⁵	0.7450
400	0.7968	1112	0.04565	5.151 × 10 ⁻⁵	3.061 × 10 ⁻⁵	3.842 × 10 ⁻⁵	0.7458
500	0.6937	1156	0.05293	6.600 × 10 ⁻⁵	3.416 × 10 ⁻⁵	4.924 × 10 ⁻⁵	0.7460
1000	0.4213	1292	0.08491	1.560 × 10 ⁻⁴	4.898 × 10 ⁻⁵	1.162 × 10 ⁻⁴	0.7455
1500	0.3025	1356	0.10688	2.606 × 10 ⁻⁴	6.106 × 10 ⁻⁵	2.019 × 10 ⁻⁴	0.7745
2000	0.2359	1387	0.11522	3.521 × 10 ⁻⁴	7.322 × 10 ⁻⁵	3.103 × 10 ⁻⁴	0.8815
<i>Methane, CH₄</i>							
-50	0.8761	2243	0.02367	1.204 × 10 ⁻⁵	8.564 × 10 ⁻⁶	9.774 × 10 ⁻⁶	0.8116
0	0.7158	2217	0.03042	1.917 × 10 ⁻⁵	1.028 × 10 ⁻⁵	1.436 × 10 ⁻⁵	0.7494
50	0.6050	2302	0.03766	2.704 × 10 ⁻⁵	1.191 × 10 ⁻⁵	1.969 × 10 ⁻⁵	0.7282
100	0.5240	2443	0.04534	3.543 × 10 ⁻⁵	1.345 × 10 ⁻⁵	2.567 × 10 ⁻⁵	0.7247
150	0.4620	2611	0.05344	4.431 × 10 ⁻⁵	1.491 × 10 ⁻⁵	3.227 × 10 ⁻⁵	0.7284
200	0.4132	2791	0.06194	5.370 × 10 ⁻⁵	1.630 × 10 ⁻⁵	3.944 × 10 ⁻⁵	0.7344
300	0.3411	3158	0.07996	7.422 × 10 ⁻⁵	1.886 × 10 ⁻⁵	5.529 × 10 ⁻⁵	0.7450
400	0.2904	3510	0.09918	9.727 × 10 ⁻⁵	2.119 × 10 ⁻⁵	7.297 × 10 ⁻⁵	0.7501
500	0.2529	3836	0.11933	1.230 × 10 ⁻⁴	2.334 × 10 ⁻⁵	9.228 × 10 ⁻⁵	0.7502
1000	0.1536	5042	0.22562	2.914 × 10 ⁻⁴	3.281 × 10 ⁻⁵	2.136 × 10 ⁻⁴	0.7331
1500	0.1103	5701	0.31857	5.068 × 10 ⁻⁴	4.434 × 10 ⁻⁵	4.022 × 10 ⁻⁴	0.7936
2000	0.0860	6001	0.36750	7.120 × 10 ⁻⁴	6.360 × 10 ⁻⁵	7.395 × 10 ⁻⁴	1.0386

Mencari nilai densitas CO₂ pada temperatur 27°C dan 75°C dengan metode interpolasi

Temperatur (°C)	Densitas (kg/m ³)	Temperatur (°C)	Densitas (kg/m ³)
0	1,9635	50	1,6597
27	x	75	x
50	1,6597	100	1,4373

$$\frac{0 - 27}{27 - 50} = \frac{1,9635 - x}{x - 1,6597}$$

$$\frac{-27}{-23} = \frac{1,9635 - x}{x - 1,6597}$$

$$-27x + 44,8199 = -45,1605 + 23x$$

$$-50x = -89,9724$$

$$x = \frac{-89,9724}{-50}$$

$$x = 1,7994 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{50 - 75}{75 - 100} = \frac{1,6597 - x}{x - 1,4373}$$

$$\frac{-25}{-25} = \frac{1,6597 - x}{x - 1,4373}$$

$$-25x + 35,9325 = -41,4925 + 25x$$

$$-50x = -77,425$$

$$x = \frac{-77,425}{-50}$$

$$x = 1,5485 \text{ kg/m}^3$$

Mencari nilai densitas CH₄ pada temperatur 27°C dan 75°C dengan metode interpolasi

Temperatur (°C)	Densitas (kg/m ³)
0	0,7158
27	x
50	0,6050

Temperatur (°C)	Densitas (kg/m ³)
50	0,6050
75	x
100	0,5240

$$\frac{0 - 27}{27 - 50} = \frac{0,7158 - x}{x - 0,6050}$$

$$\frac{-27}{-23} = \frac{0,7158 - x}{x - 0,6050}$$

$$-27x + 16,335 = -16,4634 + 23x$$

$$-50x = -32,7984$$

$$x = \frac{-32,7984}{-50}$$

$$x = 0,6560 \text{ kg/m}^3$$

$$\frac{50 - 75}{75 - 100} = \frac{0,6050 - x}{x - 0,5240}$$

$$\frac{-25}{-25} = \frac{0,6050 - x}{x - 0,5240}$$

$$-25x + 13,1 = -15,125 + 25x$$

$$-50x = -28,225$$

$$x = \frac{-28,225}{-50}$$

$$x = 0,5645 \text{ kg/m}^3$$



Lampiran 2 Konversi debit Q (l/min) ke massa alir \dot{m} (kg/s)
pada temperatur 27°C

DENGAN GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		\dot{m} (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000060	0.0000135
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000066	0.0000120
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000071	0.0000105
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000077	0.0000090
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000082	0.0000075

TANPA GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		\dot{m} (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000060	0.0000135
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000066	0.0000120
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000071	0.0000105
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000077	0.0000090
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000082	0.0000075

Keterangan : ρ CH₄ = 0.654 kg/m³ ; ρ CO₂ = 1.7994 kg/m³
pada temperatur 50°C

DENGAN GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		\dot{m} (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000055	0.0000124
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000061	0.0000111
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000066	0.0000097
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000071	0.0000083
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000076	0.0000069

TANPA GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		\dot{m} (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000055	0.0000124
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000061	0.0000111
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000066	0.0000097
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000071	0.0000083
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000076	0.0000069

Keterangan : ρ CH₄ = 0.605 kg/m³ ; ρ CO₂ = 1.6597 kg/m³

pada temperatur 75°C

DENGAN GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		ṁ (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000052	0.0000116
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000056	0.0000103
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000061	0.0000090
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000066	0.0000077
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000071	0.0000064

TANPA GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		ṁ (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000052	0.0000116
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000056	0.0000103
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000061	0.0000090
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000066	0.0000077
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000071	0.0000064

Keterangan : ρ CH₄ = 0.5645 kg/m³ ; ρ CO₂ = 1.5458 kg/m³

pada temperatur 100°C

DENGAN GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		ṁ (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000048	0.0000108
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000052	0.0000096
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000057	0.0000084
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000061	0.0000072
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000066	0.0000060

TANPA GAS MIXER								
No	Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		ṁ (kg/s)	
	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂
1	0.55	0.45	0.55	0.45	0.0000092	0.0000075	0.0000048	0.0000108
2	0.60	0.40	0.60	0.40	0.0000100	0.0000067	0.0000052	0.0000096
3	0.65	0.35	0.65	0.35	0.0000108	0.0000058	0.0000057	0.0000084
4	0.70	0.30	0.70	0.30	0.0000117	0.0000050	0.0000061	0.0000072
5	0.75	0.25	0.75	0.25	0.0000125	0.0000042	0.0000066	0.0000060

Keterangan : ρ CH₄ = 0.524 kg/m³ ; ρ CO₂ = 1.4373 kg/m³

PENGARUH PENGADUKAN MEKANIK DAN PEMANASAN AWAL CAMPURAN CH₄ – CO₂ TERHADAP NYALA API DIFUSI

Galih Wicaksono, Denny Widhiyanuriyawan, Mega Nur Sasongko

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail : galihw.art@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil yang terus - menerus membuat cadangan sumber energi fosil tersebut semakin menipis di alam. Oleh karena itu dibutuhkan suatu energi alternatif. Salah satu contoh yang saat ini sedang dikembangkan adalah biogas yang berasal dari pembusukan limbah - limbah organik. Pada penelitian ini akan diketahui bagaimana hasil tinggi nyala api kuning dan biru yang dihasilkan pada burner dari proses pembakaran secara difusi campuran bahan bakar dengan prosentase CH₄ sebesar 55%, 60%, 65%, 70%, 75% dan CO₂ sebesar 25%, 30%, 35%, 40%, 45% serta variasi temperatur pemanasan awal campuran bahan bakar sebelum dibakar 27°C, 50°C, 75°C, 100°C. Pengambilan data visual api pada burner dilakukan dengan dan tanpa penambahan gas mixer sebagai pengaduk mekanik campuran kedua gas sebelum dipanaskan. Hasil penelitian didapat semakin tinggi prosentase CH₄ dan semakin kecil prosentase CO₂ pada campuran bahan bakar maka api yang dihasilkan akan lebih banyak menghasilkan warna kuning. Dengan adanya penambahan pengaduk mekanik dan pemanasan awal membuat tinggi api meningkat. Tinggi api kuning paling tinggi ditunjukkan pada penggunaan gas mixer dengan temperatur pemanasan awal sebesar 100°C. Tinggi api biru paling tinggi pada penggunaan gas mixer dengan temperatur pemanasan awal sebesar 50°C.

Kata kunci : Biogas, CH₄, CO₂, gas mixer, heater, difusi, nyala api.

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil oleh manusia yang terus - menerus membuat cadangan sumber energi fosil tersebut semakin menipis di alam. Oleh karena itu dibutuhkan suatu energi alternatif. Salah satu contoh yang saat ini sedang dikembangkan adalah biogas yang berasal dari pembusukan limbah - limbah organik. Komposisi biogas terdiri dari CH₄ (55-75%), CO₂ (25-45%), N₂ (1-5%), H₂(0-3%), H₂S (0,1-0,5%), dan CO (0-0,3%) [1]. Semakin tinggi kadar CH₄ pada biogas maka nilai kalor yang dihasilkan juga semakin tinggi. Sedangkan untuk CO₂ semakin besar kadarnya pada biogas maka nilai kalor yang dihasilkan justru akan semakin rendah. Dalam pembakaran yang ingin dicapai adalah hasil nilai kalor yang tinggi. Dari adanya permasalahan tersebut dibutuhkan sebuah solusi yang diharapkan mampu memperbaiki kualitas pembakaran biogas agar lebih sempurna sehingga

perlu penelitian lebih lanjut untuk memaksimalkan proses pembakaran biogas dengan melakukan pengadukan campuran CH₄ dan CO₂ dengan gas mixer yang kemudian dilakukan pemanasan dengan bantuan gas mixer sebelum dibakar.

Penelitian [2] tentang pengaruh prosentase CO₂ terhadap karakteristik pembakaran difusi biogas diperoleh hasil bahwa jika kandungan CO₂ dalam biogas terus ditambah maka luas daerah warna api kuning yang dihasilkan dari pembakaran difusi semakin berkurang. Penelitian [3] tentang karakteristik pembakaran premiks CH₄/CO₂ dengan penambahan gas mixer diperoleh hasil bahwa adanya penambahan gas mixer mempengaruhi cepat rambat api dan pergeseran batas mampu nyala api ke arah kaya bahan bakar. Penelitian [4] tentang pengaruh kandungan CO₂ terhadap karakteristik pembakaran biogas didapatkan hasil bahwa semakin tinggi kandungan CO₂ dalam biogas

mengakibatkan penurunan kecepatan cepat rambat api.

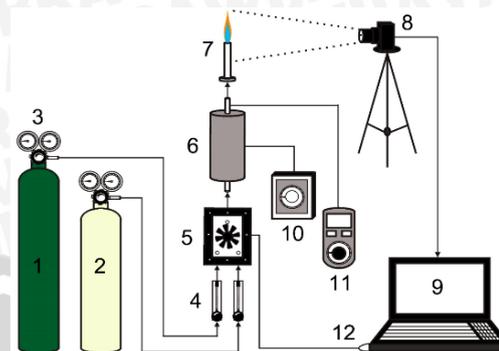
Penelitian [5] tentang pengaruh kadar karbondioksida (CO_2) dan nitrogen (N_2) pada karakteristik pembakaran gas metana didapatkan hasil bahwa kecepatan rambat api penyalaan bawah lebih cepat daripada penyalaan atas karena adanya pengaruh gaya apung yang besar. Penelitian [6] tentang pengaruh *inhibitor* terhadap kecepatan rambat api pembakaran LPG didapatkan hasil bahwa kecepatan rambat api maksimum pada campuran yang diberikan tambahan *inhibitor* berupa CO_2 berada dibawah kecepatan rambat api maksimum campuran tanpa penambahan *inhibitor* CO_2 .

Pembakaran [7] dengan cara difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan pengoksidasi (udara atau O_2) tidak bercampur sebelum terbakar namun bercampur pada zona reaksi akibat adanya difusi molekul.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen sehingga dapat mengetahui pengaruh pengadukan mekanik dan pemanasan awal campuran $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ terhadap nyala api difusi.

Dalam penelitian ini terdapat 3 macam variabel yang digunakan, yaitu: variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$, temperatur pemanasan awal, penggunaan *gas mixer*. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tinggi api kuning dan biru. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah ukuran diameter dalam burner 17 mm dan tinggi 170 mm, pengambilan data dilakukan malam hari, *burner* dikelilingi dinding agar api yang direkam tidak goyang karena adanya gangguan angin dari lingkungan sekitar.



Keterangan :

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Tabung CO_2 | 7. <i>Burner</i> |
| 2. Tabung CH_4 | 8. Kamera |
| 3. <i>Regulator</i> | 9. <i>Laptop</i> |
| 4. <i>Flowmeter</i> | 10. <i>Thermostat</i> |
| 5. <i>Gas mixer</i> | 11. <i>Thermometer</i> |
| 6. <i>Heater</i> | 12. <i>Usb adaptor</i> |

Gambar 1 Instalasi penelitian

Penelitian dilakukan dengan diawali dengan mengatur bukaan *regulator* ke arah terbuka sehingga gas dari tabung mengalir masuk ke saluran dalam selang, *flowmeter* tetap dalam keadaan tertutup. Selanjutnya nyalakan *gas mixer* kemudian atur suhu yang dikehendaki dengan mengatur putaran saklar *analog* pada *thermostat*, tunggu sampai suhu yang diinginkan tercapai. Nyalakan *fan* pada *gas mixer* yang sudah terhubung dengan *port usb laptop* dengan menekan saklar ke arah "ON".

Putar dan atur bukaan *flowmeter* sehingga debit masing-masing gas sudah sesuai dengan yang dikehendaki. Pengambilan data dilakukan apabila suhu gas campuran CH_4 dan CO_2 pada saluran *output gas mixer* sudah sesuai dengan yang diinginkan sebelum dibakar pada *burner*. Setelah campuran gas CH_4 dan CO_2 tersebut melewati *gas mixer* dan *heater* gunakan pemantik untuk menyalakan *burner*. Nyala api hasil pembakaran pada *burner* tersebut diambil gambarnya dengan bantuan kamera dalam bentuk *video*.

Lakukan pengujian tersebut beberapa kali sesuai dengan variasi temperatur dan komposisi campuran CH_4 dan CO_2 .

Video hasil rekaman nyala api di *convert* ke bentuk *.jpg* kemudian pilih gambar *visual* api yang terbaik untuk kemudian dibuat ukuran dimensi apinya dengan *software Corel Draw*.

prosentase dan temperatur pemanasan awal dengan dan tanpa menggunakan *gas mixer*. Tinggi api diukur dengan menggunakan *software Corel Draw X6* menggunakan satuan milimeter (mm).

PENGOLAHAN DATA

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 l/min

$$= 0.55 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}}$$

$$= 91.7 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$= 91.7 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 0.6540$$

$$[\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$= 59.97 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]$$

- debit CO₂ = 2.75 l/min
0.45 l/min

$$= 0.45 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}}$$

$$= 75 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \cdot \rho_{\text{Karbon dioksida}}$$

$$= 75 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 1.7994 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$= 134.95 \times 10^{-5} [\text{kg}/\text{s}]$$

Ket : ρ CH₄ = 0.6540 kg/m³; ρ CO₂ = 1.7994 kg/m³

[8]

Tabel 1 Konversi debit (Q) ke massa alir (ṁ)

Prosentase (%)		Q (l/min)		Konversi debit ke (m ³ /s)		ṁ (kg/s)	
CH ₄	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ x10 ⁻⁵	CO ₂ x10 ⁻⁵	CH ₄ x10 ⁻⁵	CO ₂ x10 ⁻⁵
55	45	0.55	0.45	92	75	60	135
60	40	0.60	0.40	100	67	66	120
65	35	0.65	0.35	108	58	71	105
70	30	0.70	0.30	117	50	77	90
75	25	0.75	0.25	125	42	82	75

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui tinggi nyala api kuning dan biru hasil dari pembakaran difusi campuran CH₄ – CO₂ pada berbagai

Tabel 2 Nyala Api Kuning Tanpa 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 3 Nyala Api Biru Tanpa Mixer

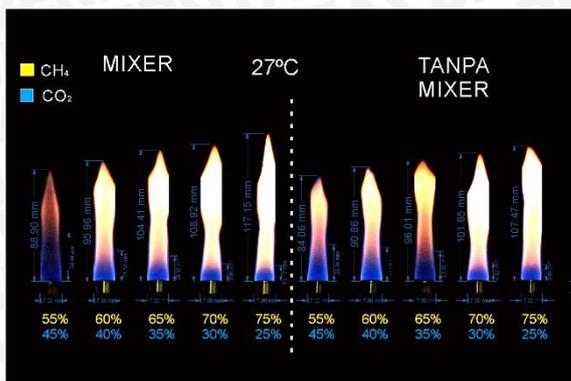
No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27 °C	50 °C	75 °C	100 °C
1	45	55	28.94	54.37	36.74	41.84
2	40	60	27.04	40.91	33.11	35.63
3	35	65	23.36	29.06	26.21	27.61
4	30	70	14.82	20.73	15.95	18.29
5	25	75	13.08	16.13	13.51	15.36

Tabel 4 Nyala Api Kuning Dengan Mixer

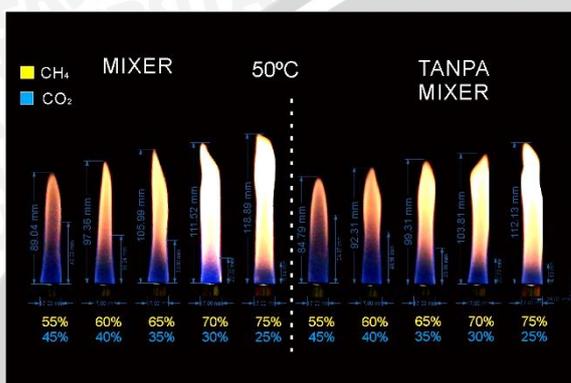
No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27 °C	50 °C	75 °C	100 °C
1	45	55	88.9	89.04	92.22	96.82
2	40	60	95.96	97.36	100.51	104.65
3	35	65	104.41	105.99	110.03	112.22
4	30	70	108.92	111.52	117.05	118.73
5	25	75	117.15	118.89	123.36	129.22

Tabel 5 Nyala Api Biru Dengan Mixer

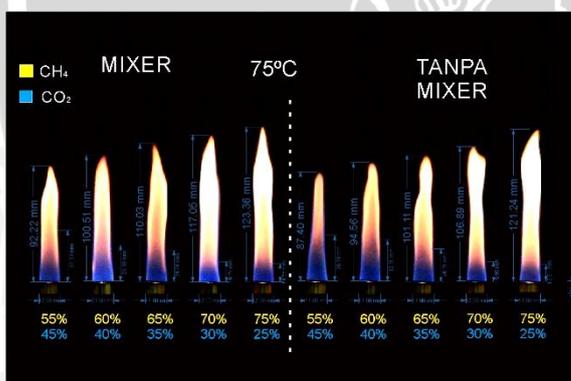
No	Prosentase (%)		Tinggi api (mm)			
	CO ₂	CH ₄	27 °C	50 °C	75 °C	100 °C
1	45	55	38.46	49.09	41.13	45.94
2	40	60	24.5	38.24	28.99	36.92
3	35	65	20.5	33.92	24.94	31.89
4	30	70	13.86	20.32	16.27	18.14
5	25	75	12.19	17.14	14.56	15.1



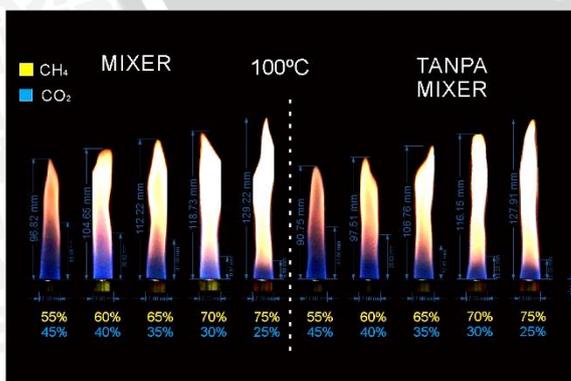
Gambar 2 Hasil nyala api 27°



Gambar 3 Hasil nyala api 50°

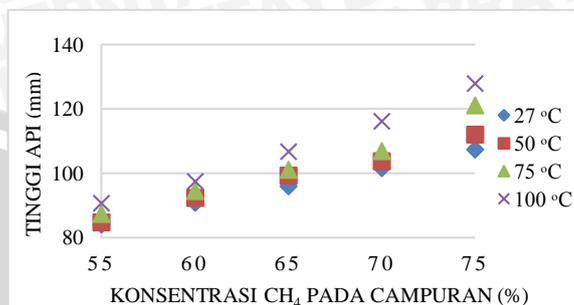


Gambar 4 Hasil nyala api 75°



Gambar 5 Hasil nyala api 100°

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



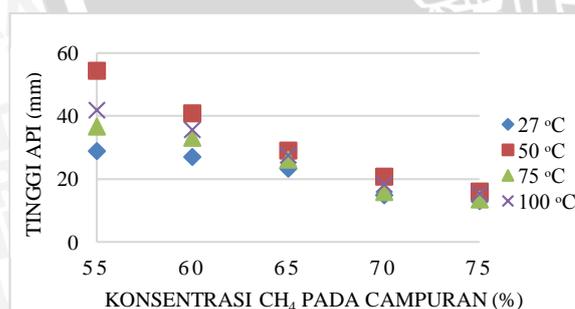
Gambar 6 Hubungan konsentrasi campuran CH₄-CO₂ dan pemanasan awal terhadap tinggi api kuning hasil pembakaran difusi.

Pada gambar 6 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 6 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 $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 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 7 Hubungan konsentrasi campuran $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ dan pemanasan awal terhadap tinggi api biru hasil pembakaran difusi.

Pada gambar 7 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api biru hasil

pembakaran semakin rendah. Menurunnya tinggi api biru ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH_4) 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 CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

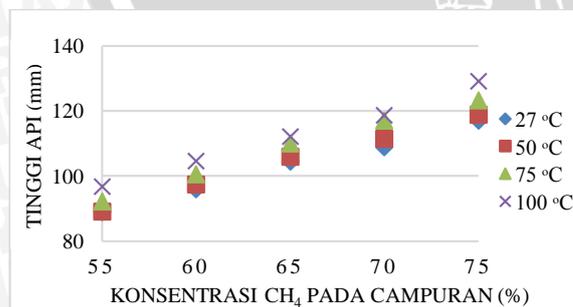
Pada gambar 7 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ sebelum dibakar maka api biru yang dihasilkan dari pembakaran akan semakin tinggi. Campuran bahan bakar yang dipanaskan pada suhu 100°C sebelum dibakar menghasilkan api biru lebih tinggi dibanding 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 $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 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 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.

Analisa Data Variasi Prosentase Campuran $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ dengan berbagai Variasi Temperatur Pemanasan Awal dengan menggunakan *Gas mixer*.



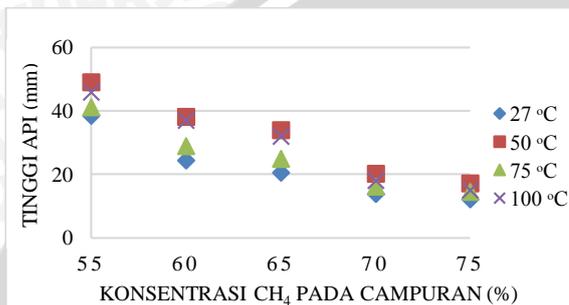
Gambar 8 Hubungan konsentrasi campuran $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ dengan penambahan *gas mixer* dan pemanasan awal terhadap tinggi api kuning hasil pembakaran difusi.

Pada gambar 8 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api kuning hasil pembakaran semakin tinggi. Meningkatnya tinggi api kuning ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH_4) 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 CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

Pada gambar 8 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ 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 $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ 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 9 Hubungan konsentrasi campuran $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ dengan penambahan *gas mixer* dan pemanasan awal terhadap tinggi api biru hasil pembakaran difusi.

Pada gambar 9 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan tinggi api biru hasil pembakaran semakin rendah. Menurunnya tinggi api biru ini disebabkan karena konsentrasi bahan bakar (CH_4) 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 CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung membuka, sedangkan semakin kecil konsentrasi CH_4 yang dicampur dengan CO_2 sebelum dibakar akan menyebabkan ujung api cenderung menguncup.

Pada gambar 9 juga ditunjukkan semakin tinggi temperatur pemanasan awal campuran $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 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 $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 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 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.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa pembahasan pengaruh pengadukan mekanik dan pemanasan awal campuran $\text{CH}_4 - \text{CO}_2$ terhadap nyala api difusi, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengadukan mekanik campuran $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ dengan menggunakan *gas mixer* pada temperatur 27°C menyebabkan nyala api kuning dan biru yang dihasilkan lebih tinggi dibanding tanpa menggunakan *gas mixer* karena persebaran molekul kedua gas tersebar lebih merata sehingga api yang dihasilkan dari pembakaran lebih tinggi.
2. Pemanasan awal bahan bakar yang terdiri dari campuran gas $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ dengan menggunakan *heater* menyebabkan nyala api kuning dan biru yang dihasilkan lebih tinggi dibanding tanpa pemanasan. Pada pemanasan awal sebesar

100°C hasil api kuning yang dihasilkan adalah yang paling tinggi sedangkan pada pemanasan awal sebesar 50°C hasil api biru yang dihasilkan adalah yang paling tinggi.

3. Semakin tinggi konsentrasi CH_4 dan semakin rendah konsentrasi CO_2 pada campuran bahan bakar menyebabkan api kuning yang dihasilkan semakin tinggi dan ujung api cenderung membuka karena pembakaran yang terjadi semakin tidak sempurna dan lebih banyak menghasilkan warna kuning (jelaga).
4. Semakin tinggi konsentrasi CH_4 dan semakin rendah konsentrasi CO_2 pada campuran bahan bakar menyebabkan api biru yang dihasilkan semakin rendah karena pembakaran yang terjadi semakin tidak sempurna akibat kelebihan bahan bakar dan lebih banyak menghasilkan warna kuning (jelaga).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karellas, S., Boukis, I., Kontopoulos, G. 2010. *Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste. Journal of National Technical University of Athens, Heroon Polytechniou 9, 15780 Athens, Greece.*
- [2] Sasongko, M. N. 2014. *Pengaruh Prosentase CO_2 terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas*. Vol. 12 Issue 2, page 93.
- [3] Purwanto, Rudi. Denny Widhiyanuriyawan, Mega Nur Sasongko. 2014. *Karakteristik Pembakaran Premiks CH_4/CO_2 Model Helle Shaw Cell dengan Penambahan Gas mixer*. Teknik Mesin. Universitas Brawijaya : Malang.
- [4] Widhiyanuriyawan, Denny., Hamidi, N., Wijayanti W. 2013. *Pengaruh Kandungan CO_2 terhadap Karakteristik Pembakaran*

(Flammability Characteristics) Biogas. Teknik Mesin. Universitas Brawijaya : Malang.

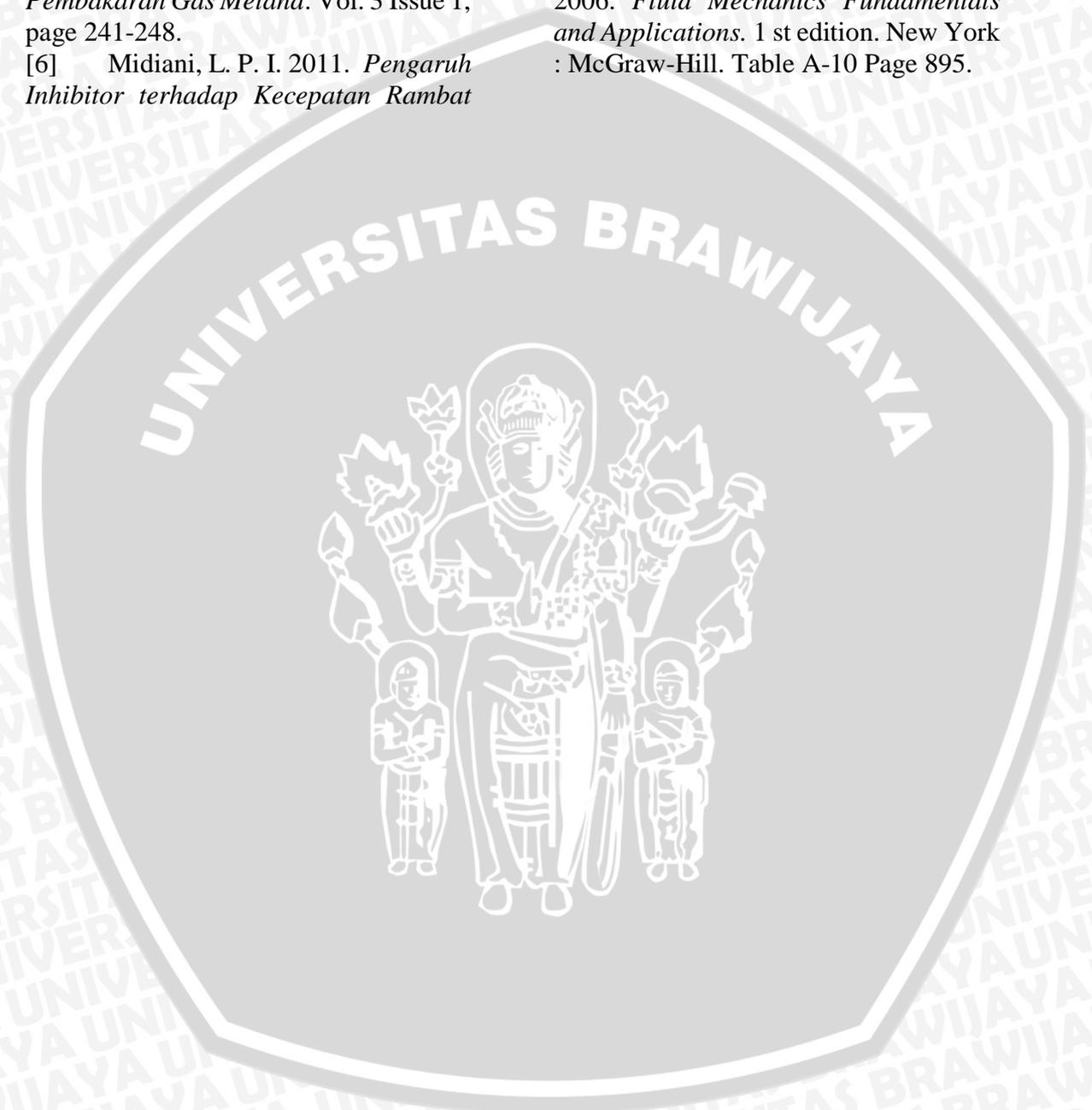
[5] Wahyudi, Djoko, ING Wardana, Nurkholis Hamidi. 2012. *Pengaruh Kadar Karbondioksida (CO₂) dan Nitrogen (N₂) pada Karakteristik Pembakaran Gas Metana*. Vol. 3 Issue 1, page 241-248.

[6] Midiani, L. P. I. 2011. *Pengaruh Inhibitor terhadap Kecepatan Rambat*

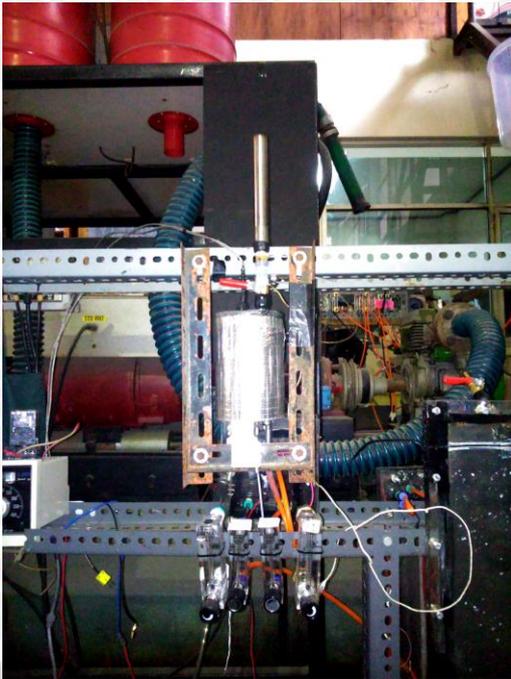
Api Pembakaran LPG. Vol. 11 Issue 4, page 52.

[7] Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang : Brawijaya University Press. Hal. 149.

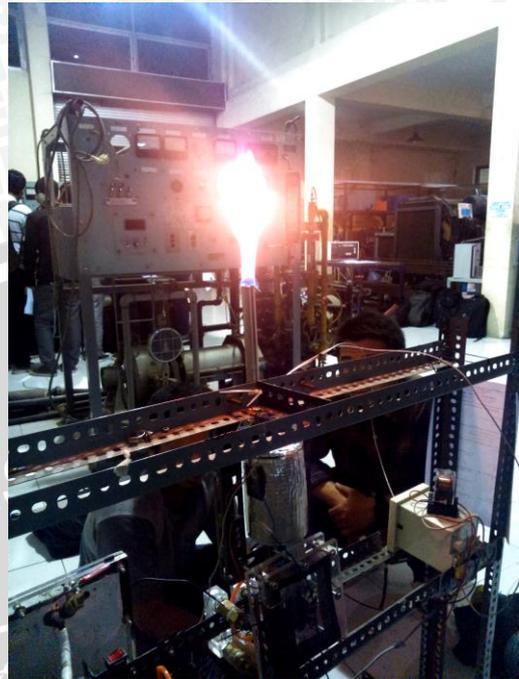
[8] Cengel, Y. A., Cimbala, J. M. 2006. *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. 1 st edition. New York : McGraw-Hill. Table A-10 Page 895.



Lampiran 4 Foto Instalasi Penelitian



Instalasi tampak depan



Instalasi tampak belakang

