

## Karakteristik Pembakaran CH<sub>4</sub> dengan Penambahan CO<sub>2</sub> untuk Model Sel Helle-Shaw pada Penyalaan Atas

### *Characteristics of CH<sub>4</sub> Combustion by Addition of CO<sub>2</sub> to Helle-Shaw Cell Model in Upper Ignition*

Nur Aini Uwar, Yuliana Anastasia Ngamel\*

Jurusan Teknologi Hasil Perikanan, Politeknik Perikanan Negeri Tual  
Jl. Raya Langgur-Sathean Km.6, Kabupaten Maluku Tenggara, Provinsi Maluku

Submitted: 20-05-2020 ; Accepted: 16-06-2020 ; Published: 30-06-2020

\*Corresponding author: [liangamel.polikant@gmail.com](mailto:liangamel.polikant@gmail.com)

#### Abstrak

Biogas yang dihasilkan oleh aktifitas anaerobik sangat populer digunakan untuk mengolah limbah biodegradable karena bahan bakar dapat dihasilkan sambil menghancurkan bakteri patogen dan sekaligus mengurangi volume limbah buangan. Metana dalam biogas, bila terbakar akan relatif lebih bersih daripada batu bara, dan menghasilkan energi yang lebih besar dengan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit. Biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 54%-70% metana (CH<sub>4</sub>), 27%-45% karbondioksida (CO<sub>2</sub>), 3%-5% nitrogen (N<sub>2</sub>), 1%-0% hidrogen (H<sub>2</sub>), 0,1% karbon monoksida (CO), 0,1% oksigen (O<sub>2</sub>) dan sedikit hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). Jika biogas dimurnikan dari pengotor dalam kasus ini, dari CO<sub>2</sub>, ia akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh CO<sub>2</sub> dalam proses pembakaran. Dalam penelitian ini menggunakan metana sebagai bahan bakar dan ruang bakar sel Helle-Shaw dengan ukuran 50 x 20 x 1 cm. Variasi yang digunakan adalah perbandingan AFR 7.5: 1, 8.5:1, 9 :1, 9.5:1 dan 10: 1 dengan penambahan 10% 20%, 30% CO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kadar CO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>

**Kata Kunci:** Pembakaran metana (CH<sub>4</sub>), Penambahan karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Helle-Shaw Cell

#### Abstract

Biogas produced by anaerobic activity is very popular used to process biodegradable waste because the fuel can be produced while destroying the pathogenic bacteria and while reducing the volume of waste. Methane in biogas, when burned will be relatively cleaner than coal, and produce greater energy with fewer carbon dioxide emissions. Biogas is produced by biodigester consisting largely of 54%-70% methane (CH<sub>4</sub>), 27%-45% carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), 3%-5% nitrogen (N<sub>2</sub>), 1%-0% hydrogen (H<sub>2</sub>), 0.1% carbon monoxide (CO), 0.1% oxygen (O<sub>2</sub>) and a bit of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S). If the biogas is purified from the impurities in this case from CO<sub>2</sub>, it will have the same characteristics as natural gas. The purpose of this study is to determine the influence of CO<sub>2</sub> in the combustion process. In this study used methane as a fuel and the fuel Helle-Shaw cell with a size of 50 x 20 x 1 cm. The variation used is the comparison of AFR 7.5:1, 8.5:1, 9:1, 9.5:1 and 10:1 with an addition of 10% 20%, 30% CO<sub>2</sub>. The results showed that the level of CO<sub>2</sub> affect the combustion characteristics of CH<sub>4</sub> with CO<sub>2</sub>.

**Keywords:** Combustion methane (CH<sub>4</sub>), Addition carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), Helle-Shaw Cell

**How to Cite:** Ngamel, Y.A., 2020, Karakteristik Pembakaran CH<sub>4</sub> dengan Penambahan CO<sub>2</sub> untuk Model Sel Helle-Shaw pada Penyalaan Atas, JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy), 4(01): 60-73

---

---

## PENDAHULUAN

Salah satu energi alternatif yang sekarang sedang dikembangkan adalah energi yang berasal dari bahan-bahan organik, hal ini dikarenakan senyawa organik tersebut tergolong energi yang dapat diperbarui. Keberadaan bahan-bahan organik tersebut mudah didapat, selain itu yang terpenting bahan-bahan organik tersebut ramah lingkungan. Hal ini yang menjadi faktor utama keberadaan bahan-bahan organik dipertimbangkan sebagai energi masa depan. Biogas merupakan salah satu produk yang sekarang sedang dikembangkan. Hal ini dikarenakan gas yang dihasilkan dari proses anaerobic digester mampu menghasilkan gas-gas seperti CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O dan gas-gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metana (CH<sub>4</sub>), karena CH<sub>4</sub> memiliki nilai kalor (panas) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Energi biogas didominasi gas metana yang terdiri dari CH<sub>4</sub> (55-75%), CO<sub>2</sub> (24-45%), N<sub>2</sub> (0-0.3%), O<sub>2</sub> (0.1-0.5%), H<sub>2</sub>S (0-3%), dan H<sub>2</sub> (1-5%)

Kemurnian CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari biogas tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting, hal ini dikarenakan berpengaruh terhadap nilai kalor (panas) yang dihasilkan. Sehingga CH<sub>4</sub> yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap komponen-komponen yang lain, Dalam hal ini komponen yang berpengaruh terhadap nilai kalor (panas) adalah CO<sub>2</sub>, keberadaan CO<sub>2</sub> dalam gas CH<sub>4</sub> sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> dalam CH<sub>4</sub> maka akan semakin menurunkan nilai kalor CH<sub>4</sub> dan sangat mengganggu dalam

proses pembakaran. Hal ini menyebabkan kemurnian CH<sub>4</sub> menjadi rendah. Jika CH<sub>4</sub> dimurnikan atau dibersihkan dari pengotor secara baik, ia akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Seberapa besar kadar CO<sub>2</sub> yang dapat mempengaruhi CH<sub>4</sub> dalam proses pembakaran, maka perlu adanya suatu penelitian. Pembakaran itu sendiri adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasian (oksigen dan udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi [1].

Beberapa peneliti yang membahas karakteristik pembakaran dan membuktikan bahwa penambahan CO<sub>2</sub> mempengaruhi laju pembakaran. Kecepatan pembakaran, dimana campuran metana - udara dibakar pada Bunsen burner dengan beberapa nilai equivalence ratio yang berbeda. Didapatkan semakin besar kecepatan pembakaran premixed metana - udara memiliki nilai tertinggi pada keadaan equivalence ratio=1, dimana campuran bahan bakar dengan udara pada kondisi stoikiometri [2].

Absorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan larutan NaOH secara kontinyu dalam suatu reaktor (absorber). Pada penelitian ini, variabel yang diteliti adalah pengaruh laju alir NaOH terhadap CO<sub>2</sub> yang terserap dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan [3].

Biodiesel dari *Jatropha curcas* tanpa pemurnian sangat cocok sebagai bahan bakar alternatif pengganti diesel. Perbaikan campuran biodiesel *Jatropha curcas* diperlukan untuk mendapatkan kinerja yang optimal, karakteristik

pembakaran yang baik dan emisi yang rendah [4].

Penambahan CO<sub>2</sub> pada pembakaran LPG menunjukkan bahwa tanpa CO<sub>2</sub> warna api pada campuran stoikiometri berwarna biru yang menunjukkan pembakaran berlangsung sempurna sedangkan dengan penambahan CO<sub>2</sub> sebesar 25% dan 50% warna api berubah kekuningan. Hal ini menunjukkan pembakaran terjadi tidak sempurna. Warna api menunjukkan jenis ion yang terbentuk selama proses pembakaran [5].

Penambahan inhibitor CO<sub>2</sub> terhadap refrigeran hidrokarbon dengan propane 99,5% juga mempengaruhi batas mampu nyala. CO<sub>2</sub> menurunkan kecepatan rambat api pembakaran karena molekul CO<sub>2</sub> menghambat reaksi tumbukan antara molekul refrigeran hidrokarbon kandungan 99,5% dengan molekul udara [6].

Pengaruh variasi equivalence ratio terhadap karakteristik pembakaran premixed minyak jarak pada perforated burner. Didapatkan penambahan massa alir udara yang semakin besar akan menyebabkan difusivitas massa reaktan lebih besar daripada difusivitas panas, sehingga api akan mengalami lift off sampai pada akhirnya api akan padam [7].

Kecepatan pembakaran LPG mencapai titik maksimum pada  $1 \leq \Phi \leq 1.1$ . Kestabilan nyala api merupakan hal yang berperan penting dalam proses pembakaran [8].

Dari sejumlah penelitian dan berdasarkan latar belakang di atas maka penelitian ini akan dikaji bagaimana karakteristik pembakaran CH<sub>4</sub> tanpa

dan dengan penambahan CO<sub>2</sub> terhadap laju rambat api.

Tujuan yang ingin dicapai dalam Penelitian ini adalah: (1) Mengetahui laju rambat api, jarak serta pola rambat api pada campuran perbandingan AFR metana (CH<sub>4</sub>) tanpa Penambahan CO<sub>2</sub>, (2) Menganalisa laju rambat api dengan perbandingan 10%, 20% dan 30% pada campuran CH<sub>4</sub> dengan penambahan CO<sub>2</sub> dan (3) Menganalisa Kadar CO<sub>2</sub> terhadap karakteristik pembakaran CH<sub>4</sub> dengan penambahan CO<sub>2</sub>.

## **METODE**

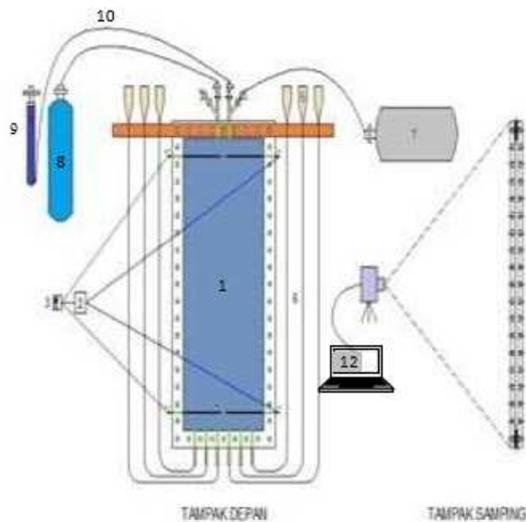
Metode penelitian yang digunakan adalah mengamati proses pembakaran yang terjadi pada helle-shaw cell dengan penyalaan dari bawah.

### *Variabel penelitian*

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah kecepatan rambat api premixed pada ruang bakar. Perlakuan yang diberikan adalah variasi campuran bahan bakar/udara tanpa dan dengan CO<sub>2</sub> pada berbagai bahan bakar-udara / Air Fuel Ratio (AFR) yang diberikan dari 7,5:1 sampai 10:1 dengan interval kenaikan bahan bakar sebesar 0.5 %. Penambahan CO<sub>2</sub> pada berbagai perbandingan bahan bakar-udara sebesar 10%, 20% dan 30%.

### *Instalasi Penelitian*

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Instalasi

Keterangan:

1. Ruang bakar model helle-shaw cell
2. Pemantik
3. Saklar pemantik
4. Kabel pemantik
5. Tabung pelimpah
6. Selang pembuangan
7. Tabung Metana
8. Tabung CO<sub>2</sub>
9. Pompa
10. Selang udara
11. Kamera Video
12. Komputer

#### *Prosedur Pengambilan Data*

Perbandingan volume campuran CH<sub>4</sub> dan penambahan CO<sub>2</sub> diperoleh dengan membagi volume dari ruang bakar. Misalnya untuk perbandingan 1 : 9, maka volume tabung dibagi menjadi 10 bagian yang sama. Sebelumnya ruang bakar diisi dengan air sampai penuh. Kemudian CH<sub>4</sub> (bahan bakar metana) dialirkan melalui katup ke ruang bakar sampai menempati 1 bagian volume tersebut. Tekanan dari bahan bakar akan menekan air pada ruang bakar menuju

ke tabung pelimpah melalui selang. Sisa 9 bagian dari volume ruang bakar diisi penambahan udara dengan katup kedua, yang akan menekan permukaan air sampai pada batas bawahnya menuju tabung pelimpah.

#### *Metode Pengolahan Data*

Hasil rekaman dari kamera video ditransfer ke computer menjadi file AVI kemudian dengan menggunakan Software Ulead 8 dari gambar bergerak diekstraksi menjadi gambar diam dalam sejumlah frame yang tersusun berurutan dari saat menyala pertama sampai padam. Setiap variasi dari perbandingan campuran CH<sub>4</sub> dan penambahan CO<sub>2</sub> akan menampilkan gambar bentuk dan pola rambatan yang berbeda-beda dalam setiap framenya. Dari hasil gambar ini dilakukan pengukuran jarak api setiap frame menggunakan software lunak ImageJ. Kecepatan kamera yang digunakan misalnya 25 frame/detik, maka waktu yang diperlukan untuk satu frame adalah 1/25 detik. Dengan demikian kecepatan rambat api bisa didapat dengan jalan membagi jarak api pada setiap frame dengan waktu. Dengan menggunakan Software Excel diperoleh tabel laju rambatan api yang kemudian dibuat grafik hubungan-hubungan yang dicari. Bentuk serta pola rambat api dapat ditampilkan dalam bentuk gambar transparan yang ditumpuk menggunakan Software Adope Photoshop CS3.

**HASIL & PEMBAHASAN**

*Perhitungan AFR Stoikiometri CH4 dan CO2*

Pembahasan data hasil penelitian perlu dilakukan perhitungan stoikiometri CH4 dan CO2 sebelumnya dengan data-data dari pengolahan sebagai berikut :

- Metana (CH4) = ( 12 + (1 x 4 )) = 16
- Carbondioksida (CO2) = ( 12 + (16 x 2 )) = 44
- Udara (2 (O2 + 3.76 N2) = 2 (( 16 x 2) + 3.76 (14x 2) = 274.56
- Ukuran volume ruang bakar 50 cm x 20 cm x 1 cm = 1000 cm3.

Dengan menggunakan Persamaan kesetimbangan masa, maka Air Fuel Ratio (AFR) bisa diperoleh :



$$AFR = \frac{2 (1+3,76)}{1} = 9,52 \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ bb}}$$

$$= \frac{2 (32+3,76 \times 28)}{(12+4 \text{ s } 1)} = \frac{274,56}{16}$$

$$= 17,16 \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ bahan bakar}}$$

Dengan menggunakan perbandingan volume maka untuk menghitung rasio campuran (AFR aktual) adalah setiap volume Gas Metana (CH4) dan volume udara dikalikan dengan densitas masing- masing sebagai berikut:

$$7,5:1 \rightarrow V \text{ Gas Metana} = \frac{50 \text{ cN}}{8,5} \times 20 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 117,647 \text{ cm}^3 = 117,647.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V \text{ udara} = 7,5 \times V \text{ Gas Metana} = 7,5 \times 117,647.10^{-6} \text{ m}^3 = 882,3525.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$AFR = \frac{V \text{ udara} \times \rho \text{ udara}}{(0,985 \text{ s } \rho_{CK_4} + \rho_{N_2}) V \text{ Gas Metana}}$$

$$= \frac{882,3529.10^{-6} \text{ N}^3 \text{ s } 1,4128 / \text{Nkg}^3}{(0,985 \text{ s } 0,68 \text{ kg} / \text{N}^3 + 0,0140 \text{ s } 1,165 \text{ kg} / \text{N}^3) 117,647.10^{-6} \text{ N}^3}$$

$$= \frac{1246,58.10^{-6}}{80,7188.10^{-6}} = 15,443 \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ Gas Metana}}$$

$$= \frac{1}{15,443} \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ Gas Metana}}$$

$$8,5:1 \rightarrow V \text{ Gas Metana} = \frac{50 \text{ cN}}{9,5} \times 20 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 105,263 \text{ cm}^3 = 105,263.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V \text{ udara} = 8,5 \times V \text{ Gas Metana} = 8,5 \times 105,263.10^{-6} \text{ m}^3 = 894,737.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$AFR = \frac{V \text{ udara} \times \rho \text{ udara}}{(0,985 \text{ s } \rho_{CK_4} + \rho_{N_2}) V \text{ Gas Metana}}$$

$$= \frac{894,737.10^{-6} \text{ N}^3 \text{ s } 1,4128 / \text{Nkg}^3}{(0,985 \text{ s } 0,68 \text{ kg} / \text{N}^3 + 0,0140 \text{ s } 1,165 \text{ kg} / \text{N}^3) 105,263.10^{-6} \text{ N}^3}$$

$$= \frac{1264,084.10^{-6}}{72,222.10^{-6}} = 17,503 \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ Gas Metana}}$$

$$= \frac{1}{17,503} \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ Gas Metana}}$$

$$9:1 \rightarrow V \text{ Gas Metana} = \frac{50 \text{ cN}}{10} \times 20 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 100 \text{ cm}^3 = 100.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V \text{ udara} = 9 \times V \text{ Gas Metana} = 9 \times 100.10^{-6} \text{ m}^3 = 900.10^{-6} \text{ m}^3$$

$$AFR = \frac{V \text{ udara} \times \rho \text{ udara}}{(0,985 \text{ s } \rho_{CK_4} + \rho_{N_2}) V \text{ Gas Metana}}$$

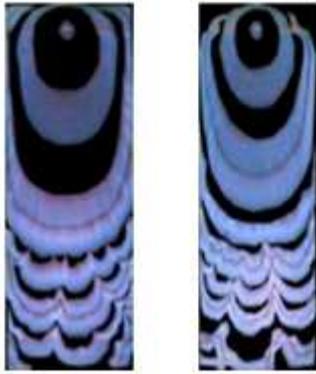
$$= \frac{900.10^{-6} \text{ N}^3 \text{ s } 1,4128 / \text{Nkg}^3}{(0,985 \text{ s } 0,68 \text{ kg} / \text{N}^3 + 0,0140 \text{ s } 1,165 \text{ kg} / \text{N}^3) 100.10^{-6} \text{ N}^3}$$

$$= \frac{1271,52.10^{-6}}{68,611} = 18,532 \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ Gas Metana}}$$

$$= \frac{1}{18,532} \frac{kg \text{ udara}}{kg \text{ Gas Metana}}$$

*Analisa struktur/bentuk laju rambatan api*

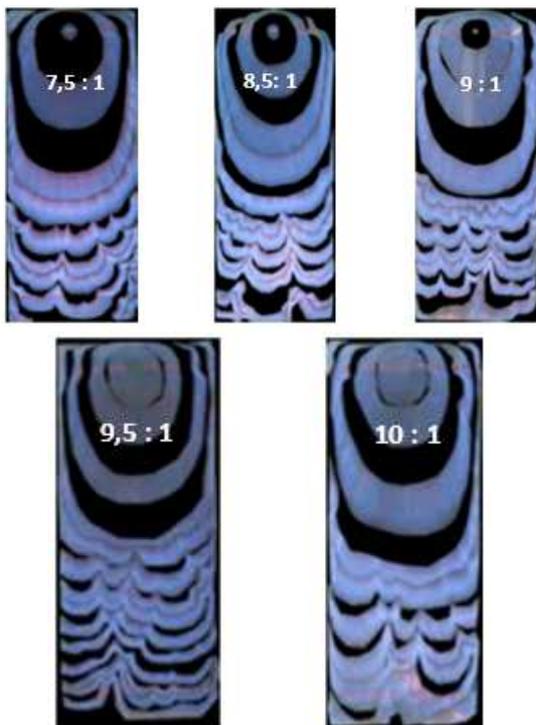
Pola rambatan api pada berbagai campuran AFR tanpa dan dengan penambahan CO2 ditunjukan pada Gambar 2. Hasil pengamatan secara visual dengan melihat kecepatan rambatan api diketahui bahwa bentuk rambatan api yang dihasilkan akibat variasi campuran bahan bakar gas CH4 dan CO2 menunjukkan perubahan yang berbeda-beda.



Gambar 2. Pola Rambatan api CH<sub>4</sub> tanpa dan dengan penambahan CO<sub>2</sub> pada 0 %

### *Analisa struktur/bentuk laju rambatan api CH<sub>4</sub> Tanpa CO<sub>2</sub>*

Dari hasil pengamatan didapatkan gambar pola perambatan dari api dengan penyalaan atas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Laju rambatan api CH<sub>4</sub> Tanpa CO<sub>2</sub> dengan menggunakan perbandingan

Bentuk laju rambatan api CH<sub>4</sub> Tanpa CO<sub>2</sub> pada Gambar 3, dengan penambahan AFR 7,5:1 sampai AFR 10:1

pada penyalaan dari atas. Menunjukkan pada AFR 7,5:1 dan 8,5:1 terlihat bahwa terjadi perubahan laju rambat api, rambatan apinya cenderung merenggang yang terjadi pada frame pertama karena terjadi perubahan laju rambat api. Kemudian untuk AFR 9:1 sampai 10:1 rambatan apinya kembali merapat dan terjadi pada frame pertama karena dipengaruhi oleh perubahan laju rambat api.

Dari bentuk frame pada umumnya, frame berbentuk parabola, dari parabola yang kecil yang dekat pemantik terus berkembang menjadi parabola yang besar, bahkan semakin jauh dari pemantik awalnya membentuk parabola yang mendatar dan akhirnya pecah menjadi parabola yang kecil-kecil. Pada pola rambatan api pada penyalaan atas membentuk sebuah frame pada awal penyalaan pecah menjadi beberapa frame seiring dengan rambatan berikutnya. Pada AFR 7,5:1 sampai 10:1 pola rambatan pada penyalaan dari atas akan membentuk lengkungan parabola pada awal penyalaan pecah menjadi beberapa parabola seiring dengan rambatan berikutnya.

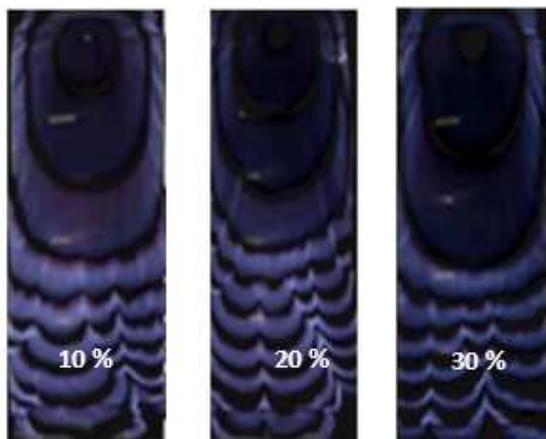
Pada AFR 7,5:1 sampai 9:1 dan 10:1 jumlah parabola yang terbentuk cenderung bertambah tetapi pola aliran terlihat lebih mendatar. Kemudian pada AFR stokiometri 9,5:1 akan terlihat pola rambat api pada bagian tengah akan cenderung melambat dibandingkan dengan rambatan dekat dinding. Hal ini dikarenakan pengaruh dari gaya apung dan berat jenis dari metana (unsur utama bahan bakar) yang lebih ringan akan melawan arah pergerakan api kebawah. Sehingga laju perambatan api

ke bawah akan lebih rendah jika dibandingkan dengan laju perambatan api keatas. Laju rambat api ke bawah yang lebih rendah akan semakin menonjolkan pengaruh hambatan aliran yang terjadi pada bagian tengah yang diakibatkan oleh tumbukan dua masa aliran bidang api.

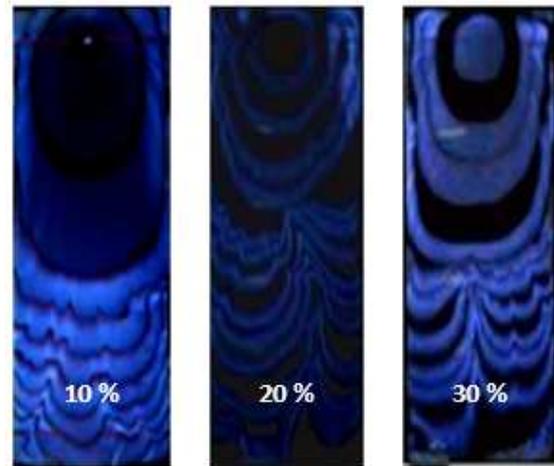
Dengan menggunakan software Image-J versi 1.43i pada Gambar 3, diukur jarak dari titik awal penyalaan sampai dengan ujung api dan sebelumnya sudah ditetapkan suatu skala yang diketahui sebagai acuan sehingga jarak yang dicari diperoleh. Secara horizontal pengukuran jarak dilakukan dari arah kanan dan kiri. Titik tepat penyala ditetapkan dengan titik nol (0) sedangkan posisi kearah kanan dari penyala dinyatakan dengan nilai positif (+) dan kearah kiri dari penyala dinyatakan dengan nilai negatif (-).

*Analisa struktur/bentuk laju rambatan api CH4 dengan CO2*

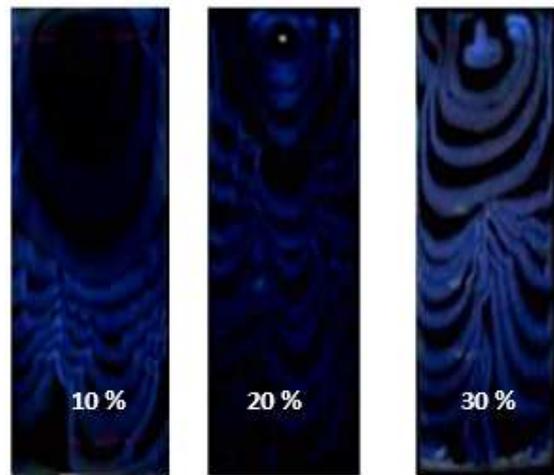
Dari hasil pengamatan didapatkan gambar pola perambatan dari api premixed dengan penyalaan atas pada campuran carbon 10%, 20% dan 30% sebagaimana ditunjukkan Gambar 4.a-e



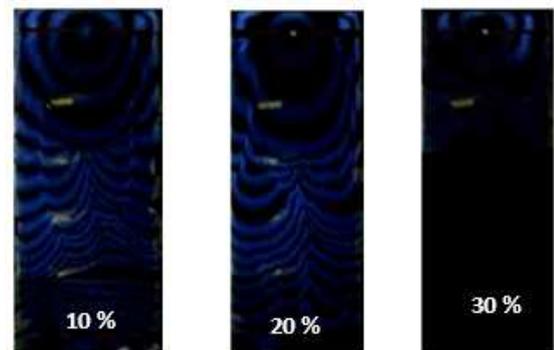
Gambar 4a. Menggunakan AFR 7,5 : 1



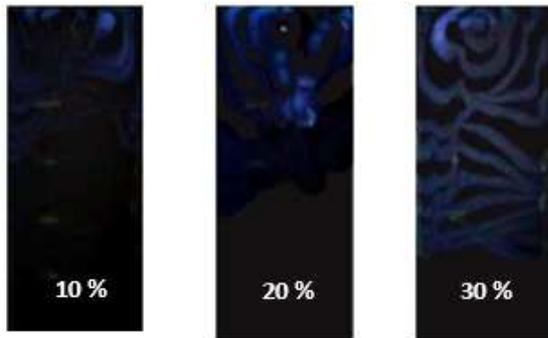
Gambar 4b. Menggunakan AFR 8,5 : 1



Gambar 4c. Menggunakan AFR 9 : 1



Gambar 4d. Menggunakan AFR 9,5 : 1



Gambar 4e. Menggunakan AFR 10 : 1

Pola perambatan api yang dihasilkan akibat variasi campuran bahan bakar dan udara dengan CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% yang diuji ternyata menunjukkan perubahan yang berbeda-beda, seperti terlihat pada gambar 4a sampai 4e. Hasil pengamatan menunjukkan pola rambatan api, warna api dan bentuk frame berbeda - beda. Warna api menunjukkan jenis ion yang terbentuk selama proses pembakaran. Warna api merupakan gelombang dari getaran yang dominan dalam api. Hasil pembakaran yang sempurna umumnya berwarna biru yang menunjukkan bahwa pembakaran didominasi oleh ion CH, sedangkan hasil pembakaran yang tidak sempurna umumnya berwarna kuning kemerah-merahan.

Campuran 10%, 20% dan 30% pada AFR 7,5:1 penyalaan atas menunjukkan api berwarna gelap dan tipis, bentuk frame pada campuran 10%, 20% dan 30% awalnya berbentuk parabola yang mendatar dan pecah menjadi beberapa parabola kecil-kecil, dan jarak antara rambatan cenderung merapat karena terjadi perubahan rambatan api.

Pada campuran 10%, 20% dan 30% pada AFR 8,5:1 penyalaan atas menunjukkan api berwarna biru, bentuk

frame pada campuran 10% awalnya berbentuk parabola yang mendatar dan pecah menjadi beberapa parabola, jarak antara rambatan cenderung merapat, kemudian pada campuran 20% dan 30% bentuk framenya mengerut dan pecah menjadi parabola kecil-kecil, dan jarak antara rambatan cenderung merenggang karena terjadi perubahan rambatan api. Pada campuran 10%, 20% dan 30% pada AFR 9:1 penyalaan atas dari ketiga gambar terlihat api berwarna biru, bentuk frame pada campuran 10%, 20% dan 30% awalnya berbentuk parabola yang mengerut dan pecah menjadi parabola kecil-kecil, dan jarak antara rambatan

merapat karena terjadi perubahan rambatan api.

Pada campuran 10%, 20% dan 30% pada AFR stoikiometri 9,5:1 penyalaan atas dari gambar 10%, 20%, dan 30%, menunjukkan api berwarna biru, bentuk frame pada campuran 10%, 20% dan 30% awalnya berbentuk parabola yang mendatar dan pecah menjadi parabola kecil-kecil, dan jarak antara rambatan merenggang karena terjadi perubahan rambatan api.

Pada campuran 10%, 20% dan 30% pada AFR 10:1 penyalaan atas, dari gambar 10%, 20%, dan 30%, menunjukkan api berwarna biru, bentuk frame pada campuran 10%, 20% dan 30%, awalnya berbentuk parabola yang mengerut dan pecah menjadi parabola kecil-kecil.

#### *Analisa data laju rambat api tengah pada CH<sub>4</sub> tanpa CO<sub>2</sub>*

Pada Gambar 5, pada penyalaan atas menjelaskan mengenai distribusi

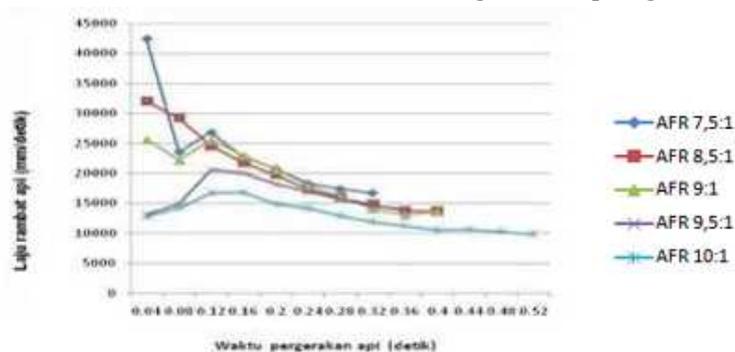
laju rambat api CH<sub>4</sub> tanpa CO<sub>2</sub> pada setiap titik dengan menggunakan titik penyalaan sebagai acuan. Pada gambar 5. dapat dilihat bahwa puncak laju rambat api berada pada AFR 7,5:1. Dari grafik juga dapat diketahui bahwa kecepatan api pada awal-awal penyalaan cenderung tinggi dan mencapai puncak kemudian berangsur-angsur mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pada awal penyalaan energinya yang dihasilkan lebih tinggi karena homogenitas campuran yang lebih merata pada awal penyalaan kemudian berangsur-angsur berkurang akibat dari gas produk pembakaran pada awal penyalaan akan mempengaruhi perbandingan campuran sehingga panas yang dihasilkan akan menurun begitu juga dengan laju rambat api yang dihasilkan.

#### *Analisa data laju rambat api tengah pada CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>*

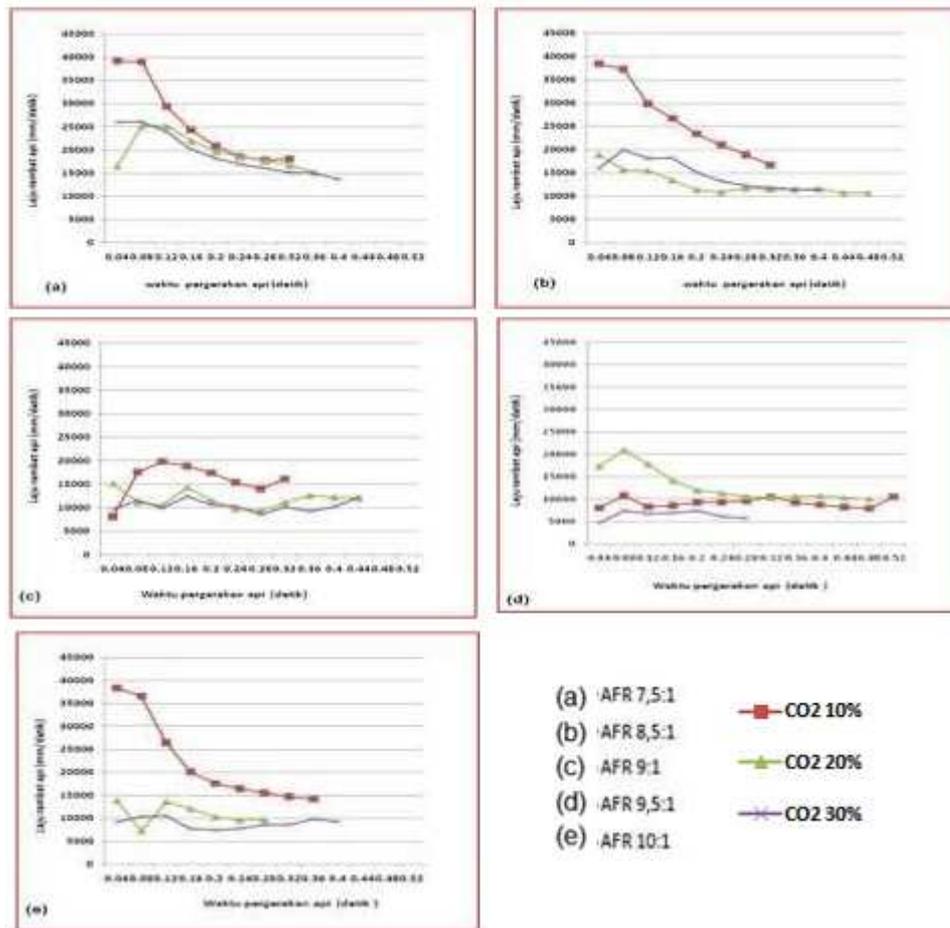
Gambar 6 menunjukkan bahwa puncak laju rambat api pada campuran dengan AFR CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> ada pada campuran dengan AFR 7,5:1, 8,5:1, 9:1 dan 10:1 berada pada campuran 10%. Dari grafik dapat diketahui bahwa laju rambat api pada awal-awal penyalaan cenderung tinggi dan mencapai puncak

kemudian berangsur-angsur mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pada awal penyalaan energinya yang dihasilkan lebih tinggi karena homogenitas campuran yang lebih merata pada awal penyalaan kemudian berangsur-angsur berkurang akibat dari gas produk pembakaran pada awal penyalaan akan mempengaruhi perbandingan campuran sehingga panas yang dihasilkan akan menurun begitu juga dengan kecepatan rambat api yang dihasilkan.

Laju rambat api yang tertinggi berada pada pada AFR yang berbeda-beda dan campuran yang berbeda-beda. Pada AFR 7,5:1, 8,5:1 9:1 dan 10:1 laju rambat api yang tertinggi berada pada campuran 10% sedangkan pada campuran 20% laju rambat api yang tertinggi berada pada AFR 9,5:1. Kemudian pada campuran 30% laju rambat api berada pada AFR 8,5:1. Pada AFR 7,5:1 pada campuran 10% laju rambat api sebesar 39301 mm/detik mengalami penurunan dari AFR 7,5:1 tanpa CO<sub>2</sub> yang laju rambat apinya sebesar 42411 mm/detik. Dengan demikian maka pada campuran dengan AFR CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada tiap-tiap AFR pada campuran 10%, 20% dan 30% sangat mempengaruhi laju rambat api.



Gambar 5. Grafik laju rambat api tengah pada penyalaan atas

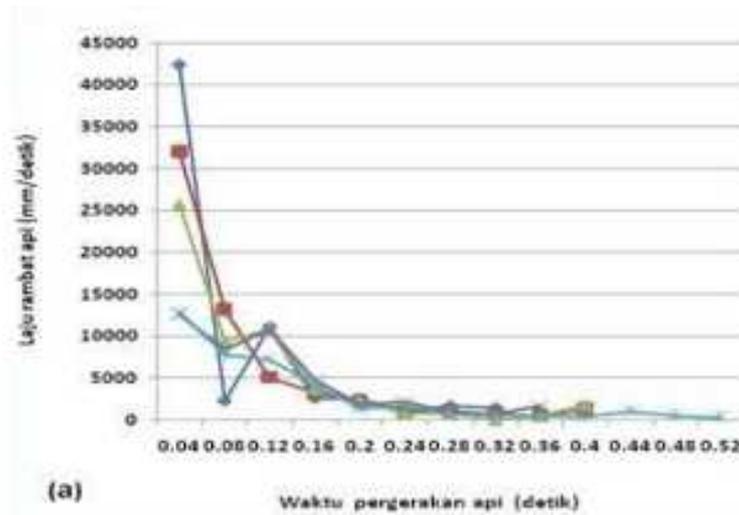


Gambar 6. Laju rambat api tengah untuk penyalan atas pada CH4 dengan CO2

*Analisa data laju rambat api pada penyalan atas dengan menggunakan CH4 tanpa CO2*

Pada Gambar 7 pada penyalan atas dapat dilihat bahwa puncak laju rambat api sesaat ada pada AFR 7,5:1 sama halnya dengan laju rambat api tengah. Dari grafik dapat diketahui bahwa laju rambat api pada awal-awal penyalan cenderung tinggi dan mencapai puncak kemudian berangsur-angsur mengalami penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh tekanan yang diberikan gaya apung yang menekan laju rambat api kebawah, sehingga menghambat pencapaian laju rambat api puncak pada awal penyalan.

Gaya apung timbul karena adanya perbedaan densitas campuran antara bahan bakar dan udara akibat adanya perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur timbul karena adanya panas yang dihasilkan akibat reaksi pembakaran antara bahan bakar dengan udara, dimana secara vertical temperatur pembakaran bagian bawah lebih besar dari temperatur pembakaran bagian atas, sehingga densitas reaktan dibawah lebih ringan dari densitas atas yang nantinya akan menyebabkan aliran secara vertical dari bawah ke atas, aliran ini akan menghambat rambatan api dari atas kebawah,



Gambar 7. Laju rambat api tengah untuk penyalaaan atas pada CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>

Begitu juga pada pembakaran atas temperatur pembakaran bagian atas lebih kecil dari temperatur bagian bawah, sehingga densitas reaktan diatas lebih berat dari densitas bawah yang nantinya akan menyebabkan aliran secara vertical dari atas ke bawah, aliran ini akan menghambat rambatan api dari atas ke bawah.

#### *Analisa data laju rambat api maksimum pada CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>*

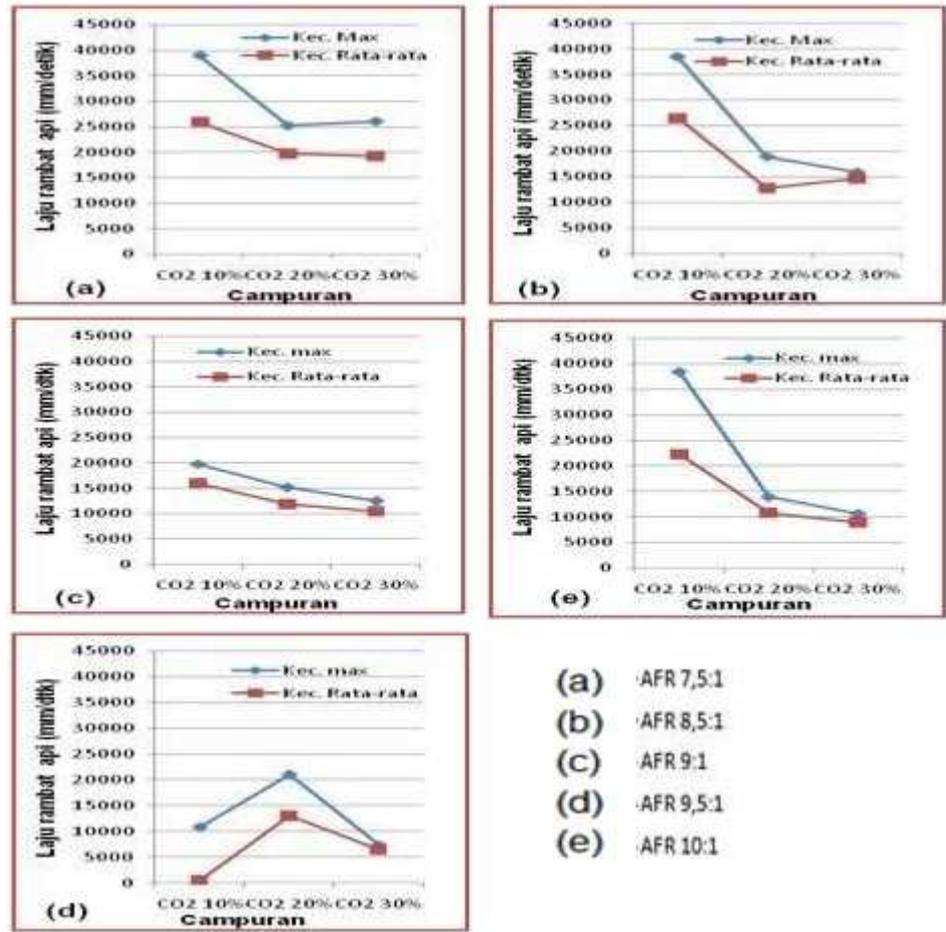
Pada Gambar 8 a sampai e laju rambat api maksimum juga dapat dilihat bahwa puncak laju rambat api yang tertinggi berada pada AFR 7,5:1, 8,5:1, 9:1 dan 10:1 pada campuran 10 % dan pada campuran 20 % dan 30 % berangsur-angsur mengalami penurunan. Sedangkan pada AFR stoikiometri 9,5:1 puncak laju rambatan api berada pada campuran 20% kemudian berangsur-angsur menurun.

#### *Laju rambat api sesaat pada penyalaaan atas CH<sub>4</sub> tanpa CO<sub>2</sub>*

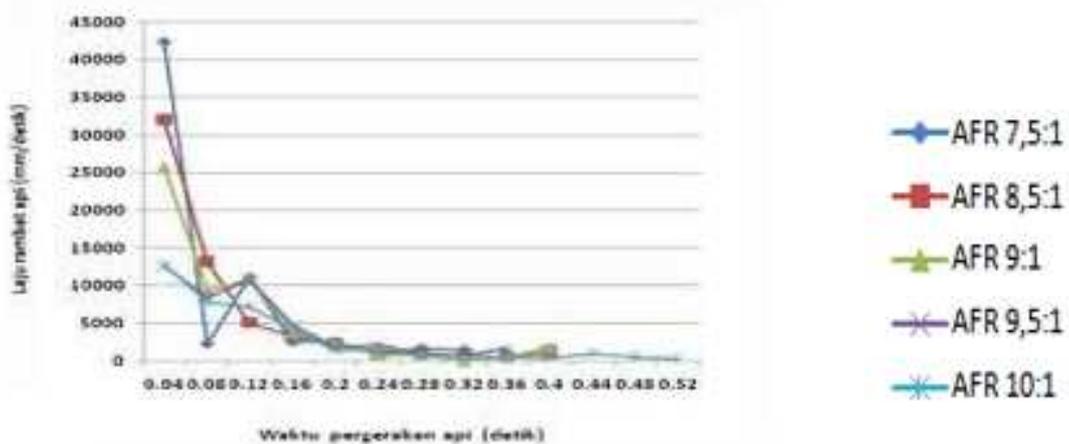
Dapat dilihat pada Gambar 9 pada penyalaaan atas bahwa puncak laju rambat api sesaat ada pada AFR 7,5:1 sama halnya dengan laju rambat api tengah. Dari grafik dapat diketahui bahwa laju rambat api pada awal-awal penyalaaan cenderung tinggi dan mencapai puncak kemudian berangsur-angsur mengalami penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh tekanan yang diberikan gaya apung yang menekan laju rambat api kebawah, sehingga menghambat pencapaian laju rambat api puncak pada awal penyalaaan.

#### *Laju rambat api sesaat pada penyalaaan atas CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>*

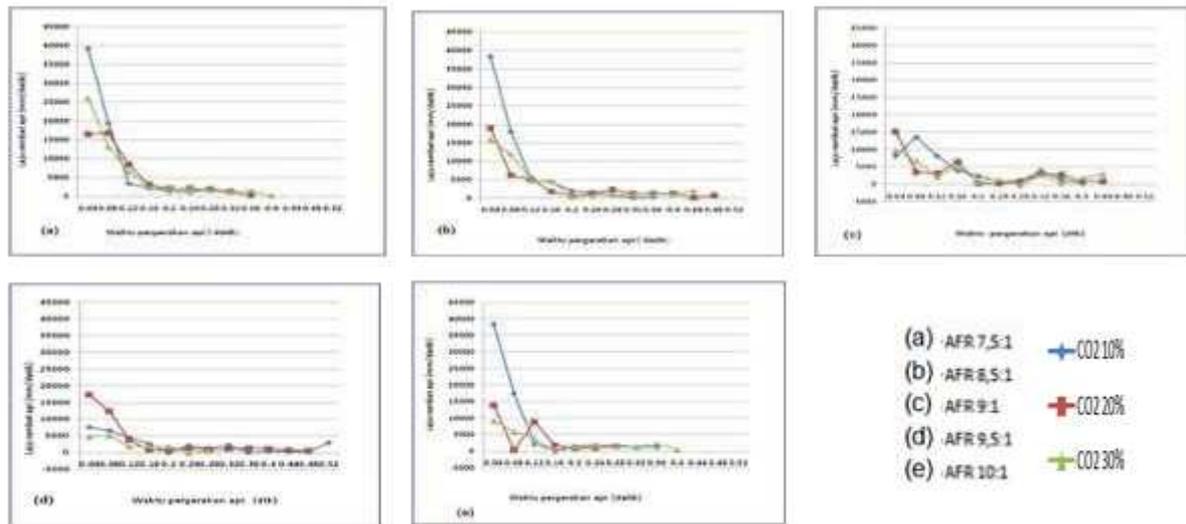
Grafik laju rambat api sesaat pada Gambar 10 a sampai e di atas menunjukkan bahwa laju rambat api maksimum hanya dicapai oleh campuran 10% pada AFR 7,5:1 dan 8,5 :1, campuran 20% pada AFR stoikiometri 9,5:1, dan AFR 10:1.



Gambar 8. a,b,c,d dan e. Pada grafik laju rambat api maksimum pada penyalan atas, pada CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>



Gambar 9. Grafik laju rambat api sesaat penyalan atas pada CH<sub>4</sub> tanpa CO<sub>2</sub>



Gambar 10. Grafik laju rambat api sesaat pada penyalan atas pada CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kadar CO<sub>2</sub> berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub>. Hal ini dapat dilihat pada perubahan laju rambat api.
2. Pembakaran campuran bahan bakar dan udara tanpa dan dengan CO<sub>2</sub> api berwarna biru, pembakaran berlangsung sempurna.
3. CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada tiap-tiap AFR pada campuran 10%, 20% dan 30% sangat mempengaruhi laju rambat api.

## REFERENCES

- [1] . I. N. Wardana, Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran, Malang: Brawijaya University Press, 2008.
- [2] J. Buffam and K. Cox, Measure of Laminar Burning Velocity of Methane-Air Mixture Using a Slot and Bunsen Burner, Worcester :

- Worcester Polytechnic Institute, 2008, pp. 91-110.
- [3] F. Maarif, Absorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Larutan NaOH Secara Kontinyu, Malang: Universitas Brawijaya Press, 2008.
  - [4] P. K. Sahoo and L. M. Das, "Combustion Analysis of Jatropha, Karanja, and Polanga Based Biodiesel as Fuel in a Diesel Engine," *Fuel*, vol. 88, no. 2, pp. 994-999, 2009.
  - [5] I. Ilminnafik, "Pengaruh Karbondioksida pada Kecepatan Pembakaran dari Refrigeran Hidrokarbon," in *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*, Palembang, 2010.
  - [6] N. Nurhadi, "Pengaruh Penambahan Inhibitor CO<sub>2</sub> terhadap Batas Mampu Nyala Refrigeran Hidrokarbon dengan kandungan Propane 99,5 %," Universitas Brawijaya Press, Malang, 2011.
  - [7] A. Dharma, "Pengaruh Variasi Equivalent Ratio Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Premixed Minyak Jarak Pada Burner," Universitas Brawijaya Press, Malang, 2013.
  - [8] S. Y. Liao, D. M. Jiang, Q. Cheng, J. Gao, Z. H. Huang and Y. Hu, "Correlations for Laminar Burning Velocities of Liquified Petroleum Gas-Air Mixtures," *Fuel*, vol. 46, no. 1, pp. 3175-3184, 2005.