

## Karakteristik Pembakaran CH<sub>4</sub> Dengan Penambahan Co<sub>2</sub> Pada Model *Helle-Shaw Cell* Pada Penyalaan Bawah

Nur Aini Uwar<sup>1)</sup>, ING.Wardana<sup>2)</sup>, Denny Widhiyanuriyawan<sup>2)</sup>

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Program Magister dan Doktor FT UB,  
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ambon<sup>1)</sup>

Jl. Raya Putuhena Wailele, Ambon

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang<sup>2)</sup>

Jl. MT. Haryono Malang 167 Malang 65145, Indonesia

E-mail: [nurainiuar@gmail.com](mailto:nurainiuar@gmail.com)

### Abstract

*Along with the development of industrial technologies is rapidly increasing the demand for renewable energy sources becomes a very important consideration. One of the alternative energy is now being developed is the energy derived from organic materials, this is because the organic compounds are classified as renewable energy. One energy technology in accordance with the requirements of the biogas technology. If biogas is purified or cleaned of impurities in this case CO<sub>2</sub> is good, he would have the same characteristics as natural gas. How big is the influence of CO<sub>2</sub> on heating value (heat) in the combustion process it is necessary to an investigation. one by looking at the characteristics of combustion, both the pattern and pace of rambatnya. Combustor used in this study is a model of Helle-shaw cell measuring 50 x 20 x 1 cm. Variation of the mixture used is the ratio 7,5:1 to 10: 1 with the addition of 10% 20%, 30% CO<sub>2</sub>. Performed on the ignition of ignition. Observation of the shape and rate of flame propagation is done using a high speed camera. The results showed that the ratio of 7,5:1 to 10: 1 blue color of the flame and the flame propagation speed greater penambahan but with 10% CO<sub>2</sub> 20%, 30% color changing flame reddish yellow which indicates incomplete combustion occurs, and the smaller the rate of flame propagation. This is influenced by the presence of buoyancy forces generated by the combustion.*

**Keywords:** energy, gas methane (CH<sub>4</sub>), CO<sub>2</sub>, the rate of propagation of flame

### 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%), [3].

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 aktifasi.[4]

Beberapa peneliti yang membahas karakteristik pembakaran dan membuktikan bahwa penambahan CO<sub>2</sub> mempengaruhi laju pembakaran. 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. Ini menunjukkan pembakaran terjadi tidak sempurna. Warna api menunjukkan jenis ion yang terbentuk selama proses pembakaran.[1]

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. [2]

Dari sejumlah penelitian dan berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini akan dikaji bagaimana karakteristik pembakaran CH<sub>4</sub> tanpa dan dengan penambahan CO<sub>2</sub> terhadap laju rambat api.

**METODE PENELITIAN**

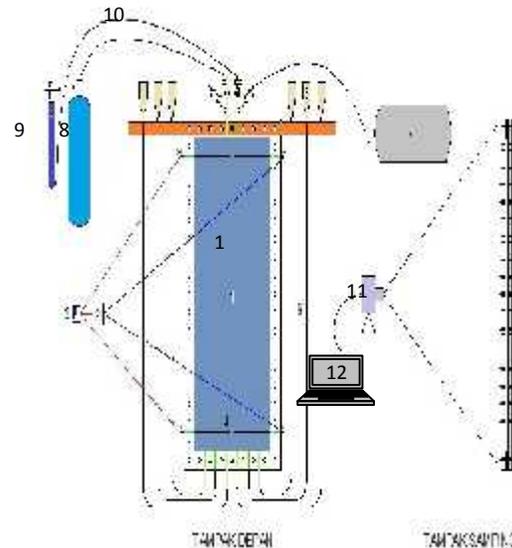
Metode penelitian yang digunakan adalah mengamati proses pembakaran yang terjadi pada *helle-shaw cell* dengan penyalaaan dari bawah.

**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 (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

Untuk mendapatkan 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 diekstrasi 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

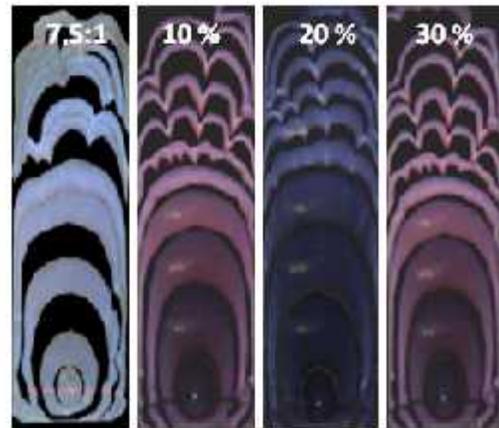
Software Excel diperoleh tabel laju rambatan api yang kemudian dibuat grafik hubungan-hubungan yang dicari.

Bentuk serta pola rambat api dapat ditampilkan dalam bentuk gambar transparan yang ditumpuk menggunakan Software Adobe Photoshop CS3.

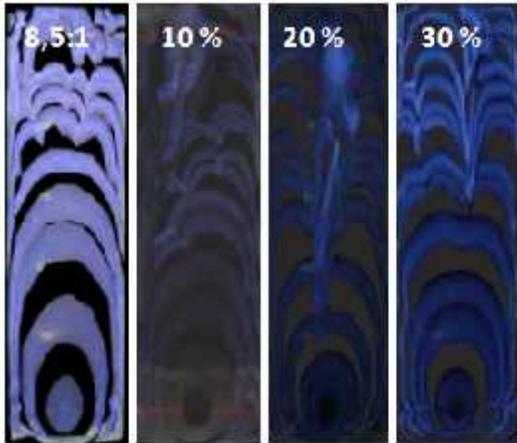
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian untuk pola rambatan api pada berbagai campuran AFR tanpa dan dengan penambahan CO<sub>2</sub> ditunjukkan pada Gambar 2.

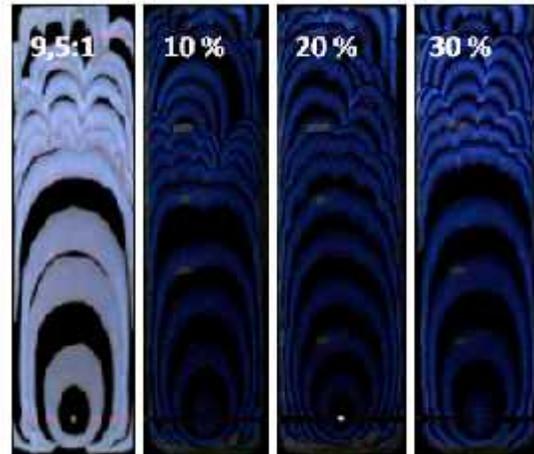
Pola Rambatan api CH<sub>4</sub> tanpa dan dengan penambahan CO<sub>2</sub>.



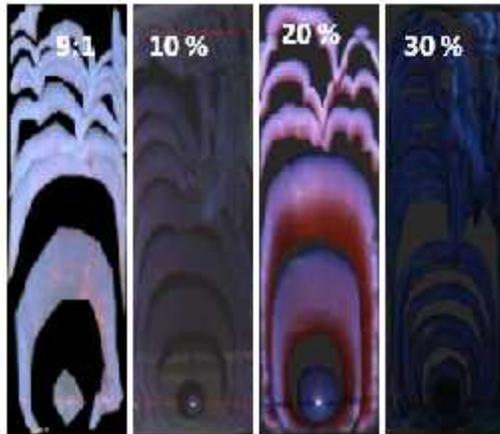
Gambar 2a. Pola rambat api pada berbagai campuran CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 7,5 : 1



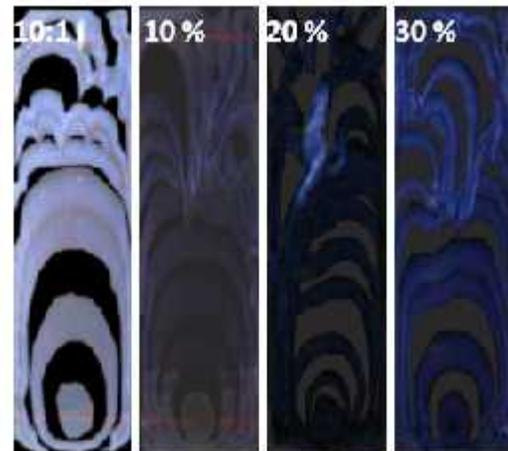
Gambar 2b. Pola rambat api pada berbagai campuran CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 8,5 : 1.



Gambar 2d. Pola rambat api pada berbagai campuran CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 9,5 : 1.



Gambar 2c. Pola rambat api pada berbagai campuran CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 9 : 1.



Gambar 2e. Pola rambat api pada berbagai campuran CO<sub>2</sub> 10%, 20% dan 30% pada AFR (mol bb/mol udara) 10 : 1.

Hasil pengamatan secara visual dengan melihat kecepatan rambat api diketahui bahwa bentuk rambatan api yang dihasilkan akibat variasi campuran bahan bakar gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> menunjukkan perubahan yang berbeda-beda.

### **Analisa Struktur/Bentuk Laju Rambatan Api CH<sub>4</sub> Tanpa Dan Dengan CO<sub>2</sub>**

Bentuk perambatan api yang dihasilkan akibat campuran bahan bakar/udara tanpa karbon, yang diuji ternyata menunjukkan perubahan yang berbeda-beda

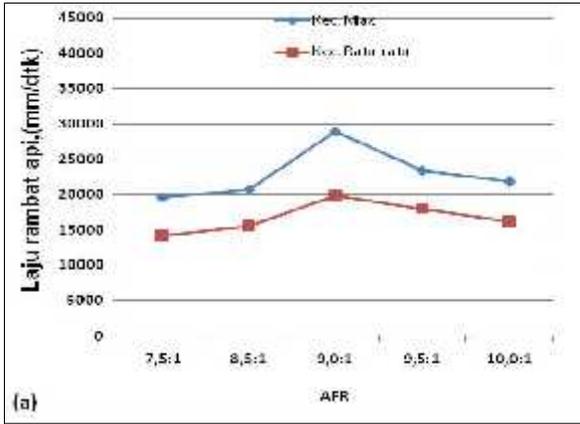
Gambar 2 dari bentuk frame menunjukkan jarak rambatan api pada AFR 7,5:1 bahwa jarak rambatan apinya merapat kemudian pada AFR 8,5:1 sampai 10:1 jarak rambatan apinya merenggang. Hal ini disebabkan karena pada AFR 7,5:1 pada frame pertama dan kedua laju rambat api pembakaran rendah sehingga terjadi kerapatan. Pada frame ketiga laju rambatan api pembakaran merenggang kemudian kembali merapat pada frame empat dan lima ini disebabkan karena laju rambatan api pada frame ketiga laju rambatan api pembakarannya tinggi. Sedangkan pada AFR 8,5:1 sampai 10:1 laju rambat api pembakaran pada frame pertama dan kedua tinggi sehingga terjadi kerenggangan, dan pada frame-frame berikutnya terjadi kerapatan yang disebabkan karena laju rambat api pembakaran rendah.

Untuk campuran CO<sub>2</sub>, 10%, 20%, 30% jarak antar rambatan api cenderung merapat kemudian AFR 8,5:1 campuran 10%, 20% jarak rambatan api merapat kemudian campuran 30% jarak rambatan api merenggang. AFR 9:1 pada campuran 10% jarak rambatan apinya merapat sedangkan campuran 20% dan 30% jarak rambatan apinya sedikit merenggang. AFR 9,5:1 dan 10:1 untuk campuran CO<sub>2</sub>, pada campuran 10%, 20%, 30% jarak antara rambatan apinya merenggang. Pada campuran 10%, 20% dan 30% pada gambar didapatkan dua warna api yakni biru dan kuning kemerahan-merahan yang merupakan pengaruh dari perbandingan bahan bakar dan udara yang digunakan pada pengujian. Warna biru yang dihasilkan merupakan pengaruh dari radikal-radikal CH dan C<sub>2</sub> yang umumnya terjadi pada pembakaran *premixed* metana. Sedangkan warna kuning kemerahan-merahan pada api merupakan pengaruh dari CO<sub>2</sub> dan uap air.

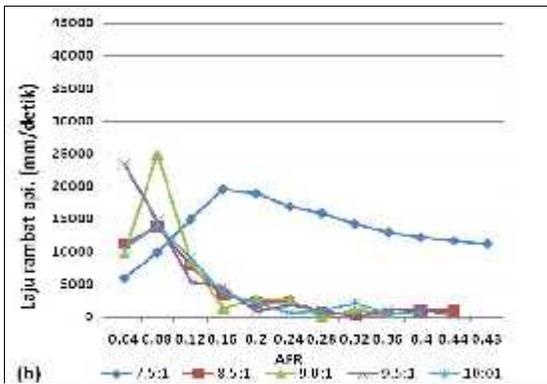
Pola rambatan api akan membentuk sebuah parabola pada awal penyalaan dan pecah menjadi beberapa parabola seiring dengan rambatan berikutnya. Dari jumlah frame pada umumnya berbentuk parabola. Jumlah frame pada tiap-tiap perbandingan juga menunjukkan jumlah yang berbeda-beda, hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur campuran bahan bakar gas dan udara maka jumlah framenya berkurang. Pada temperatur campuran bahan bakar dan udara yang semakin tinggi, semakin kebawah bentuk frame parabola pada posisi tepat segaris dengan titik penyalaan rambatan apinya tertahan sedangkan semakin jauh dari titik penyalaan kearah kanan dan kiri, rambatan api semakin cepat. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya apung.

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 dan udara, dimana secara vertical temperatur pembakaran dibagian atas lebih kecil dari temperatur pembakaran dibawah, sehingga densitas reaktan diatas lebih berat dari densitas reaktan bawah yang nantinya akan menyebabkan aliran secara vertical dari bawah ke atas, aliran ini akan menghambata rambatan api dari atas ke bawah.

**Analisa Data Laju Rambat Maksimum Dan Laju Rambat Api Sesaat CH<sub>4</sub> Tanpa CO<sub>2</sub>**



Gambar 3a. Grafik laju rambat api maksimum dan laju rambat api sesaat, CH<sub>4</sub> tanpa CO<sub>2</sub>.



Gambar 3b.. Grafik laju rambat api pada berbagai AFR

Gambar 3 menunjukkan distribusi laju rambat api maksimum, dan laju rambat api sesaat terhadap waktu pada campuran bahan bakar dan udara tanpa CO<sub>2</sub>. Laju rambat api yang dihasilkan akibat campuran bahan bakar gas metana dan udara, ternyata juga menunjukkan perubahan yang berbeda-beda.

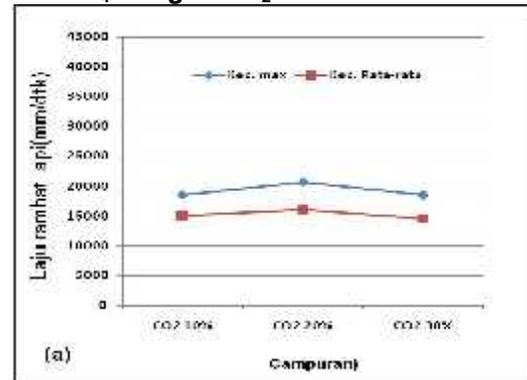
Pada AFR 10:1 cepat rambat api sebesar 21819 mm/detik dan pada AFR 7,5:1 sebesar 19654 mm/detik. Pada AFR 9:1 laju rambat api terjadi sempurna Hal ini karena

pada AFR 10:1 hanya sedikit dibawah 9:1 (jumlah udara bertambah sedikit). Penambahan jumlah yang lebih banyak lagi menyebabkan campuran sulit terbakar. Sedangkan nilai AFR 7,5:1 cukup jauh dibawah 9:1 (jumlah udara bertambah cukup banyak) yang berakibat cepat rambat api pembakaran lebih rendah.

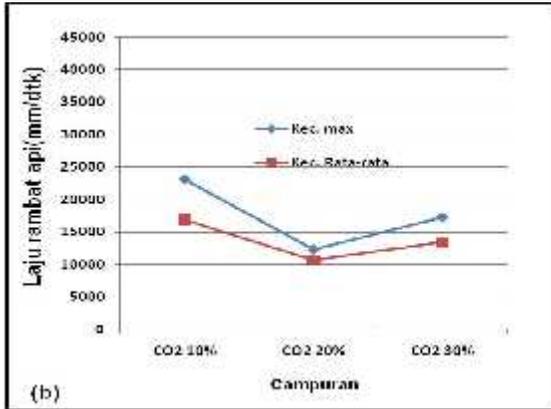
Kemudian pada laju rambat api sesaat juga terlihat perubahan yang berbeda-beda. Laju maksimum yang didapat pada laju rambat api sesaat yakni pada AFR 7,5:1 sebesar 19654 mm/detik. Pada AFR 8,5:1 laju rambat api sebesar 13826 mm/detik. AFR 9:1 laju rambat api sebesar 24946 mm/detik. AFR 9,5:1 laju rambat api sebesar 23400 mm/detik. AFR 10:1 laju rambat api sebesar 13950 mm/detik.

Pada AFR 7,5:1 sampai 10:1 mengalami penurunan dan rambatan api yang tertinggi berada pada perbandingan 9:1 dan 9,5:1 kemudian berangsur-angsur mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan laju rambat api pada penyalaan bawah dipengaruhi oleh gaya apung yang mendorong laju rambat api ke atas.

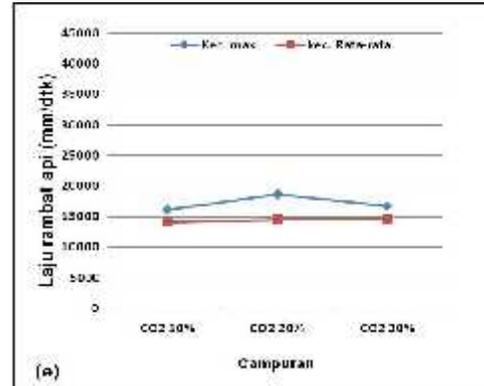
**Analisa Data Laju Rambat Maksimum Dan CH<sub>4</sub> Dengan CO<sub>2</sub>**



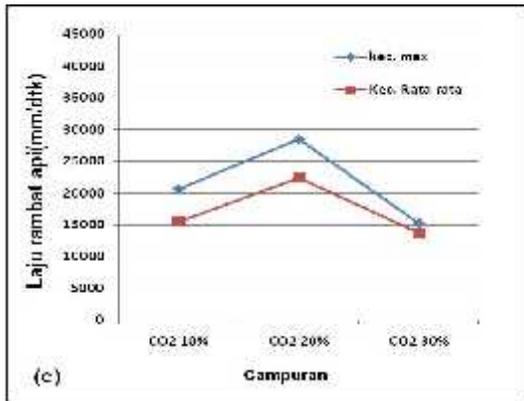
Gambar 4 a. Grafik laju rambat api maksimum CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 7,5:1



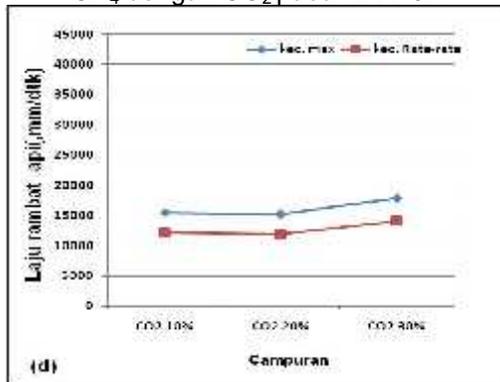
Gambar 4 b. Grafik laju rambat api maksimum CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 8,5:1



Gambar 4e. Grafik laju rambat api maksimum CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 10:1



Gambar 4c. Grafik laju rambat api maksimum CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 9:1

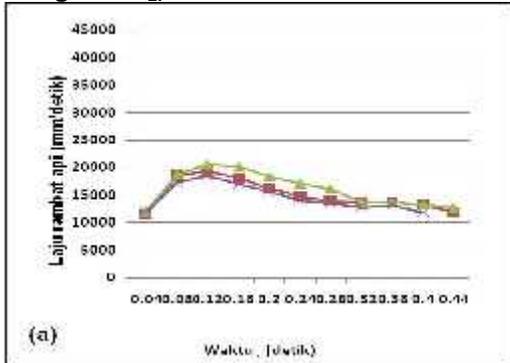


Gambar 4d. Grafik laju rambat api maksimum CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 9.5:1

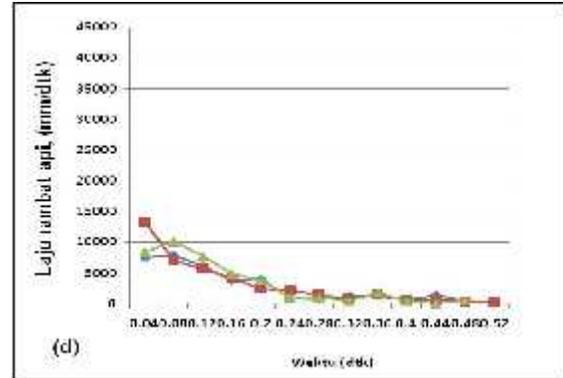
Dari grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa CO<sub>2</sub> bekerja pada semua proses pembakaran, baik awal pembakaran maupun diakhir pembakaran. Pada awal pembakara secara signifikan menurunkan cepat rambat api, pada AFR 7,5:1, sampai 10:1 pada masing-masing AFR laju rambat api maksimum mengalami penurunan.

AFR 7,5:1 pada campuran 10% sebesar 18452 mm/detik. 20% 20609 mm/detik 30% 18500 mm/detik. AFR 8,5:1 pada campuran 10% sebesar 23102 mm/detik. 20% 12315 mm/detik 30% 17194 mm/detik. AFR 9:1 pada campuran 10% sebesar 20700 mm/detik. 20% 28501 mm/detik 30% 15207 mm/detik. AFR 9,5:1 pada campuran 10% sebesar 15420 mm/detik. 20% 15227 mm/detik 30% 17869 mm/detik. AFR 10:1 pada campuran 10% sebesar 16100 mm/detik. 20% 18682 mm/detik 30% 16800 mm/detik.

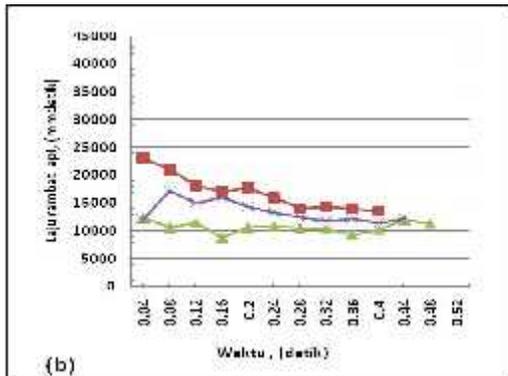
**Analisa Data Laju Rambat Api Sesaat CH<sub>4</sub> Dengan CO<sub>2</sub>**



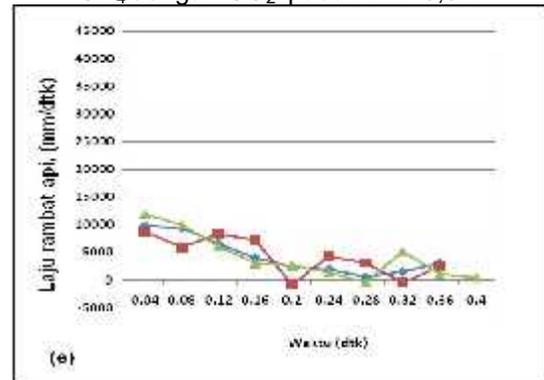
Gambar 5. Grafik laju rambat api sesaat CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 7,5:1.



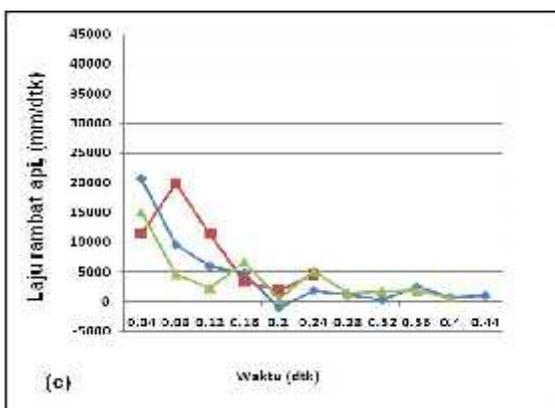
Gambar 5d. Grafik laju rambat api sesaat CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 9,5:1



Gambar 5b. Grafik laju rambat api sesaat CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 8,5:1



Gambar 5e. Grafik laju rambat api sesaat CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 10:1.



Gambar 5c. Grafik laju rambat api sesaat CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> pada AFR 9:1

Dari grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa dengan penambahan CO<sub>2</sub> pada laju rambat api sesaat dengan AFR 7,5:1 pada campuran 10% sebesar 12682 mm/detik. 20% 12568 mm/detik 30% 11944 mm/detik. AFR 8,5:1 pada campuran 10% sebesar 23102 mm/detik. 20% 12315 mm/detik 30% 12093 mm/detik. AFR 9:1 pada campuran 10% sebesar 20700 mm/detik. 20% 19948 mm/detik 30% 15012 mm/detik. AFR 9,5:1 pada campuran 10% sebesar 7885 mm/detik. 20% 13366 mm/detik 30% 10072 mm/detik. AFR 10:1 pada campuran 10% sebesar 9918 mm/detik. 20% 8705 mm/detik 30% 12004 mm/detik.

Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan CO<sub>2</sub>, membuat proses

pembakaran tidak stabil disebabkan karena konsentrasi CO<sub>2</sub> mampu menghalangi reaksi pembakaran sehingga laju rambatan api menurun.

## 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 CO<sub>2</sub> api berwarna biru, sedangkan dengan penambahan CO<sub>2</sub> api cenderung berwarna kuning kemerah-merahan yang menunjukkan bahwa pembakaran berlangsung tidak sempurna.
3. Pada campuran CH<sub>4</sub> dengan CO<sub>2</sub> laju rambat api turun lebih rendah karena molekul dari CO<sub>2</sub> menghambat reaksi tumbukan antara molekul hidokarbon dan molekul udara serta adanya gaya apung yang mendorong rambatan api dari bawah ke atas.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ilminnafik, 2010, "Pengaruh Karbondioksida pada Kecepatan Pembakaran dari Refrigeran Hidrokarbon", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin. (STNTTM) ke-9*, Palembang.
- [2]. Nurhad.i., 2011, Pengaruh Penambahan Inhibitor CO<sub>2</sub> terhadap Batas Mampu Nyala Refrigeran Hidrokarbon dengan kandungan Propane 99,5 %, Tesis. Universitas Brawujaya., Malang.
- [3]. Anonymous, 10 Januari 2012, a. wikipedia komposisi biogas. [Id.org/wiki/biogas](http://id.org/wiki/biogas).
- [4]. Wardana, ING., 2008, *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.