

## Pengaruh Kadar Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan Nitrogen (N<sub>2</sub>) Pada Karakteristik Pembakaran Gas Metana

Djoko Wahyudi<sup>1)</sup>, ING Wardana<sup>2)</sup>, Nurkholis Hamidi<sup>2)</sup>

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Program Magister dan Doktor FT UB,

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Panca Marga<sup>1)</sup>

Jl. Yos Sudarso 107 Pabean Dringu Probolinggo 67271

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

Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

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

### Abstract

*One of the renewable energy is biogas. Biogas has a great chance in its development. Biogas resulted from fermentation process is consists of: CH<sub>4</sub> (55-75%), CO<sub>2</sub> (25-45%), H<sub>2</sub> (1-5%), N<sub>2</sub> (0-0.3%), O<sub>2</sub> (0.1-0.5%), and H<sub>2</sub>S (0-3%). If biogas is cleared from polluter well it will have the same characteristics with natural gas. Components of the polluter water (H<sub>2</sub>O), hydrogen and as sulfide (H<sub>2</sub>S), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and some particulates should be eliminated to achieve pipeline quality gas. In order to understand how the influence of the levels of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> of the methane combustion characteristic. The observation was conducted experimentally by burning a mixture of stoichiometry (methane gas and air) with a percentage of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> in the transparent fuel square-shaped space with dimensions 500 x 200 x 10 mm. The results showed that the levels of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> affect the combustion process, it causing the blue flame to be fade. It indicated the combustion is not perfect and the levels of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> inhibits the collision reaction between molecules of methane gas and air molecules. The result also showed that CO<sub>2</sub> reduce the flame speed.*

**Keywords:** energy, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, combustion characteristic, methane gas, air

### PENDAHULUAN

Biogas sangat cocok digunakan sebagai bahan bakar alternative yang ramah lingkungan pengganti minyak tanah, LPG, batubara maupun bahan-bahan lain yang berasal dari fosil. Biogas banyak mengandung pengotor sehingga mempengaruhi karakteristik dari biogas tersebut. Jika biogas dibersihkan dari pengotor secara baik akan memiliki karakteristik yang sama dengan gas alam. Komponen pengotor berupa air (H<sub>2</sub>O), hidrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan beberapa partikulat harus dihilangkan untuk mencapai gas kualitas *pipeline*.

Proses penghilangan pengotor dalam biogas dapat dilakukan dengan menggunakan arang aktif sebagai absorber gas CO<sub>2</sub> dengan karbon aktif, biogas yang dihasilkan mempunyai komposisi CH<sub>4</sub> = 76.32%, CO<sub>2</sub> = 18.42 %, NH<sub>3</sub> = 1.63% dan H<sub>2</sub>S = 0.28% [1]. Hal ini menunjukkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> atau kadar lain dalam komposisi biogas dapat

meningkatkan kadar CH<sub>4</sub>. Dengan demikian karbondioksida dan nitrogen dalam kandungan biogas merupakan penghambat atau menurunkan kadar CH<sub>4</sub>.

Seberapa besar pengaruh kadar karbondioksida atau nitrogen jika ditinjau dari karakteristik pembakaran, maka perlu adanya suatu pengamatan atau penelitian. Pembakaran itu sendiri adalah reaksi kimia antara bahanbakar dan pengoksidan (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energy aktivasi.[2]

Beberapa penelitian yang membahas karakteristik pembakaran dan membuktikan bahwasannya karbondioksida merupakan penghambat atau menurunkan laju reaksi kimia, dalam hal ini reaksi kimia pembakaran, misalnya menambahkan karbondioksida sebesar 25% dan 50% pada pembakaran dengan bahan bakar LPG pada campuran stoikiometri. Pengamatan secara visual bahwa nyala api pembakaran sempurna

tanpa karbondioksida berwarna biru. Penambahan 25% dan 50% karbondioksida menyebabkan warna api cenderung kekuningan yang menunjukkan pembakaran tidak sempurna yaitu sebagian karbon tidak terbakar. Warna api menunjukkan jenis ion yang berbentuk selama proses pembakaran. Warna api merupakan panjang gelombang dari getaran ion yang dominan dalam api. [3]

CO<sub>2</sub> menurunkan kecepatan rambat api pembakaran karena molekul CO<sub>2</sub> menghambat reaksi tumbukan antara molekul refrigerant hidrokarbon kandungan propane 99.5% dengan molekul udara. Penambahan inhibitor CO<sub>2</sub> juga mempengaruhi batas mampu nyala refrigerant hidrokarbon dengan kandungan propane 99.5% pada berbagai AFR. [4]

Dari beberapa penelitian diatas dapat diketahui penambahan inhibitor merupakan salah satu faktor yang perlu menjadi perhatian dalam proses pembakaran. Maka penelitian ini menggunakan campuran (stoikiometri) gas metana dan udara dengan karbondioksida dan nitrogen sebagai inhibitor.

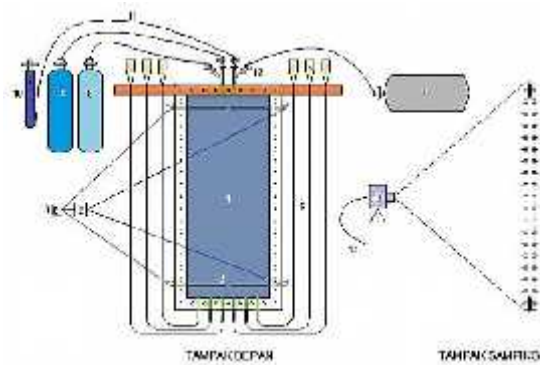
## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Variabel bebas berupa prosentase campuran CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% dan titik penyalaan dalam penelitian yaitu dari atas dan bawah. Variabel terikat berupa pola, jarak dan kecepatan rambat api dan variabel kontrolnya adalah campuran stoikiometri udara dan CH<sub>4</sub>.

Ruang bakar yang digunakan terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 10 mm. Berbentuk persegi panjang dengan dimensi seperti gambar 1, dengan ukuran 500 x 200 x 10 mm yang terbuat dari bahan akrilik dengan ukuran 580 x 280 x 30 mm. Bahan yang digunakan gas metana dengan kandungan 98.4% CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>.

Instalasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Skema Instalasi**

Keterangan gambar:

1. Ruang bakar model *Helle-Shaw Cell*
2. Pemantik
3. Saklar Pemantik
4. Tembaga
5. Tabung Pelimpah
6. Selang Air
7. Tabung Gas Metana
8. Tabung Gas Nitrogen (N<sub>2</sub>)
9. Tabung Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)
10. Pompa Udara
11. Selang Gas atau Udara
12. Katub
13. Kamera Video
14. Komputer

## Metode Pengambilan Data

Untuk mendapatkan perbandingan volume campuran udara dan gas metana (stoikiometri) 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 gas metana dialirkan melalui katup ke ruang bakar sampai menempati 1 bagian volume tersebut. Tekanan dari gas metana akan menekan air pada ruang bakar menuju ke tabung pelimpah melalui selang. Sisa 9 bagian dari volume ruang bakar diisi penambahan udara dari kompresor dengan katup kedua, yang akan menekan permukaan air sampai batas bawahnya menuju tabung pelimpah.

Urutan pelaksanaan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan semua peralatan yang diperlukan dan disusun sesuai dengan gambar instalasi yang direncanakan.

2. Mengisi ruang bakar dengan air.
3. Kamera video diatur dudukannya diatas *threepod*.
4. Penyala dihubungkan pada terminal.
5. Gas metana dan udara dimasukkan secara bergantian melalui kran sesuai dengan skala pada ruang bakar untuk memperoleh perbandingan gas metana dan udara tertentu yang akan diuji. Masuknya gas metana dan udara yang bertekanan akan menekan air dalam ruang bakar turun sampai batas skala yang ditetapkan dan air akan keluar melalui selang mengisi tabung pelimpahan yang ada di samping.
6. Setelah ruang bakar terisi campuran gas metana dan udara, kamera dihidupkan.
7. Tombol pemantik ditekan sampai api menyala. Gambar perambatan api ruang bakar diambil.
8. Setelah gambar rambatan api terekam kamera kemudian dimatikan dan gas hasil pembakaran yang tersisa dalam ruang bakar dibuang dengan membuka kran atas.
9. Kemudian dilakukan langkah-langkah seperti diatas untuk tiap-tiap variasi perbandingan campuran gas metana dan udara.

Untuk mendapatkan karbondioksida atau nitrogen pada campuran stoikiometri dengan menghitung jumlah volume dari *helle shaw cell*, kemudian menentukan prosentase karbondioksida atau nitrogen yang masuk ke ruang bakar, sesuai variasi prosentase karbondioksida atau nitrogen.

#### Metode Pengolahan Data

Hasil rekaman dari kamera video file.MOV ditransfer ke komputer menjadi file.AVI menggunakan software *Total Video Converter*. Dengan menggunakan Software *Ulead 8* mengedit hasil rekaman untuk mengambil video hanya proses pembakaran, sehingga waktu pembakaran tiap ledakan dapat diketahui. Dari gambar bergerak diekstrasi menjadi gambar diam dalam sejumlah frame yang tersusun berurutan dari saat menyala pertama sampai padam digunakan software *Free Video to JPG Converter*. Setiap variasi dari perbandingan campuran Stoikiometri  $\text{CO}_2$  atau  $\text{N}_2$  akan menampilkan gambar bentuk dan pola rambatan yang berbeda-beda dalam setiap

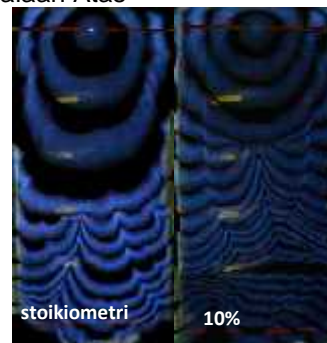
framena. Dari hasil gambar ini dilakukan pengukuran jarak api setiap frame menggunakan software lunak *ImageJ*. Kecepatan kamera yang digunakan adalah 25 frame/detik, maka waktu yang diperlukan untuk satu frame adalah 1/25 detik. Dengan demikian kecepatan rambat api bisa didapat dengan jalan membagi jarak api pada setiap frame dengan waktu. Dengan menggunakan Software *Excel* diperoleh tabel kecepatan yang kemudian dibuat grafik hubungan-hubungan yang dicari. Bentuk serta pola rambat api dapat ditampilkan dalam bentuk gambar transparan yang diproses menggunakan Software *Adobe Photoshop CS3*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

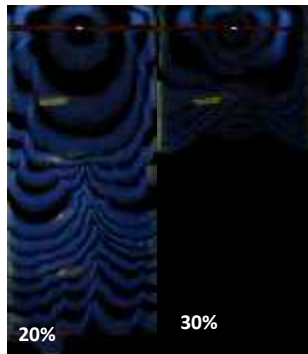
### Bentuk Rambatan Api

Setelah memproses gambar transparan dengan menggunakan software *Adobe PhotoshopCS3* maka akan didapatkan gambar bentuk serta pola rambatan api (satuan dalam mm) seperti pada Gambar 2a,2b dan 3a,3b berikut:

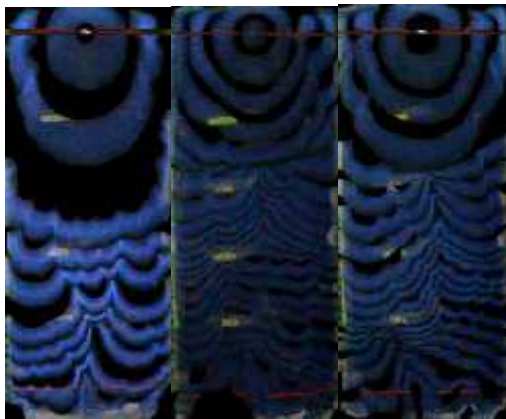
➤ Penyalaan Atas



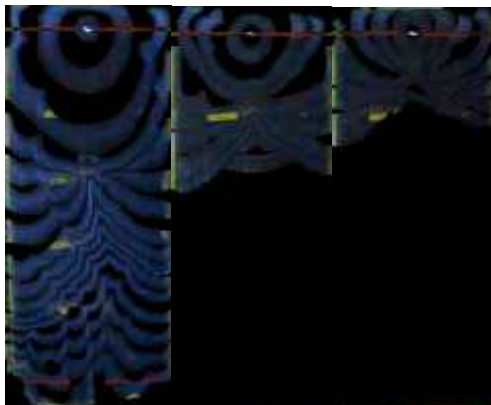
Gambar 2a. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar  $\text{CO}_2$  10% pada Penyalaan Atas



Gambar 2b. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar CO<sub>2</sub> 20% dan 30% pada Penyalaan Atas



Gambar 3a. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar N<sub>2</sub> 10%,20%, 30% pada Penyalaan Atas



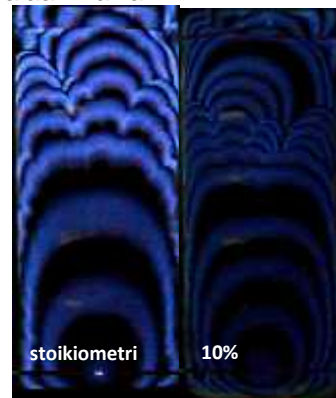
Gambar 3. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar N<sub>2</sub> 40%,50%, dan 60% pada Penyalaan Atas

Gambar 2a dan 2b. menunjukkan pola rambatan api hanya sampai pada campuran CO<sub>2</sub> 30% dan bentuk framenya berbentuk parabola, dari parabola yang kecil didekat pemantik terus berkembang menjadi parabola yang besar, bahkan semakin jauh dari pemantik awalnya berbentuk parabola yang mendatar dan akhirnya pecah menjadi beberapa parabola yang kecil-kecil.

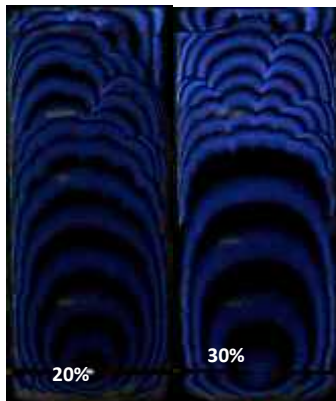
Sedangkan Gambar 3a dan 3b pola rambatan api bisa mencapai pada campuran N<sub>2</sub> 60%, pada campuran N<sub>2</sub> 60% masih ada penyalaan sedikit dan warna api lebih kelihatan mengarah keatas dari titik penyalaan.

Pada penyalaan atas campuran prosentase karbondioksida dan nitrogen, semakin kebawah bentuk frame parabola pada posisi mendekati garis 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 pengaruh dari gaya apung (rambat api dihambat oleh gaya apung).

➤ Penyalaan Bawah



Gambar 4a. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar CO<sub>2</sub> 10% pada Penyalaan Bawah



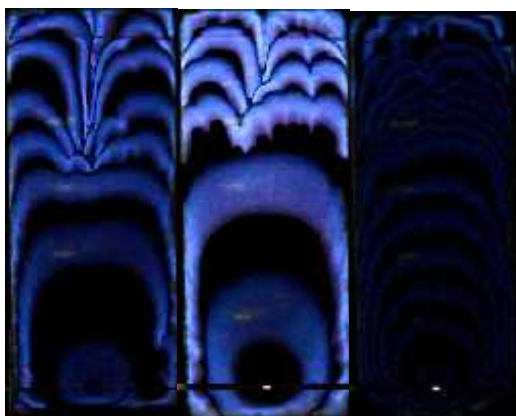
CO<sub>2</sub> 20%      CO<sub>2</sub> 30%

Gambar 4b. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar CO<sub>2</sub> 20% dan 30% pada Penyalaan Bawah

Pada campuran CO<sub>2</sub> penyalaan bawah terjadi proses pembakaran sama dengan penyalaan atas yaitu hanya sampai campuran CO<sub>2</sub> 30%, hanya saja pada penyalaan bawah pola rambatan api masih terlihat jelas, seperti tampak Gambar 4a dan 4b.

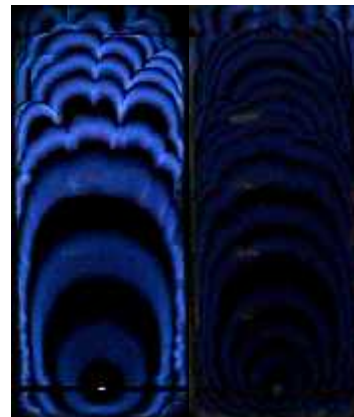
Pola rambatan api berbentuk parabola penuh kemudian terbentuk parabola semakin lama semakin kecil-kecil dan kecepatan rambat apinya semakin kecil, hal ini dapat dilihat dari kerapatan bentuk pola rambat apinya.

Dan bentuk dari setiap variasi campuran CO<sub>2</sub> yang dilakukan ternyata menunjukkan perubahan yang berbeda-beda.



N<sub>2</sub> 10%      N<sub>2</sub> 20%      N<sub>2</sub> 30%

Gambar 5a. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar N<sub>2</sub> 10%,20%, dan 30% pada Penyalaan Bawah



N<sub>2</sub> 40%      N<sub>2</sub> 50%

Gambar 5b. Pola Rambatan Api Campuran Stoikiometri dengan kadar N<sub>2</sub> 40% dan 50% pada Penyalaan Bawah

Pada campuran N<sub>2</sub> penyalaan bawah terlihat proses pembakaran terjadi hanya sampai campuran N<sub>2</sub> 50%. Warna dan bentuk rambatan api pada setiap variasi campuran menunjukkan perubahan yang berbeda-beda.

Pada penyalaan bawah campuran CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> nampak pola rambatan api berbentuk parabola penuh kemudian terbentuk parabola semakin lama semakin kecil-kecil dan kecepatan rambat apinya semakin besar jika dibandingkan dengan penyalaan atas, hal ini dipengaruhi daya dorong dari gaya apung yang cukup besar.

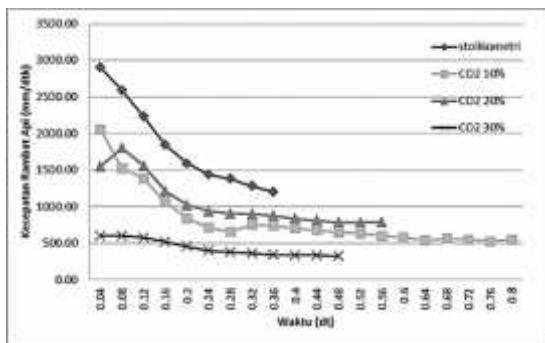
Gaya apung timbul karena adanya perbedaan densitas campuran antara bahan bakar dengan udara akibat adanya perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur timbul karena adanya panas yang dihasilkan akibat reaksi pembakaran antara bahan bakar dengan udara, dimana secara vertikal temperatur pembakaran dibagian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

#### Kecepatan Rambatan Api

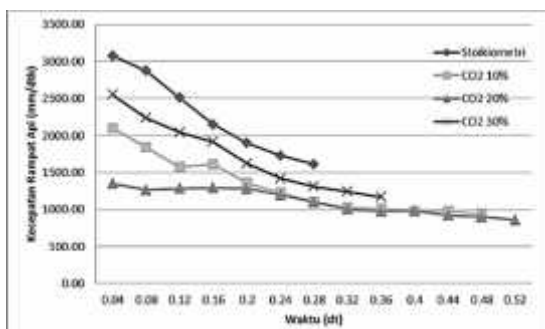
Data hasil pengukuran selanjutnya dengan *Microsoft Excel* diolah untuk mendapatkan grafik distribusi kecepatan rambat api. Data hasil pengukuran jarak api

dengan acuan jarak penyalu (titik penyalu) akan memberikan distribusi kecepatan rambat api maksimum, rata-rata dan sesaat sebagaimana digambarkan pada grafik berikut:

➤ Kecepatan Rambat Api Titik Tengah



Gambar 6. Kecepatan Rambat Api Stoikiometri dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> pada Penyalu Atas

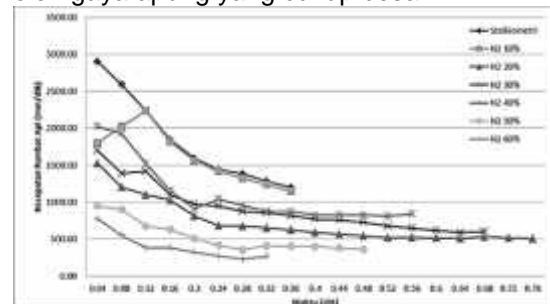


Gambar 6. Kecepatan Rambat Api Stoikiometri dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> pada Penyalu Bawah

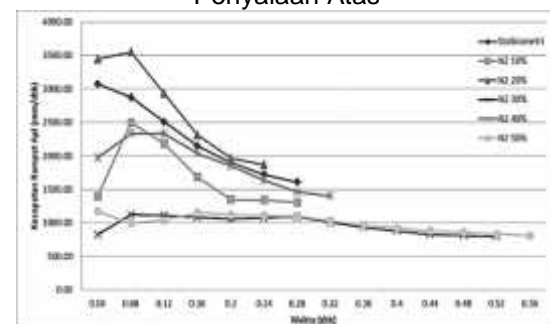
Gambar 6a menjelaskan mengenai distribusi kecepatan rambat api, yang menunjukkan kecepatan rambat cenderung menurun setelah ada penambahan CO<sub>2</sub>. Kecepatan maksimum 2900 mm/dtk dicapai pada 0.04 detik dari titik penyalu pada campuran stoikiometri dan kecepatan maksimum pada campuran karbondioksida adalah 2050.15 mm/detik pada CO<sub>2</sub> 10% pada 0.04 detik.

Pada campuran CO<sub>2</sub> 10% dapat dicapai panas maksimum dari reaksi pembakarannya. Hal ini dikarenakan jumlah CO<sub>2</sub> sebagai inhibitor sedikit, sehingga penyelesaian reaksi dari pembakaran mendekati sempurna.

Sedangkan gambar 6b kecepatan maksimum 3075.10 mm/dtk dicapai pada 0.04 detik dari titik penyalu pada campuran stoikiometri dan kecepatan maksimum pada campuran karbondioksida adalah 2550 mm/detik pada CO<sub>2</sub> 30% pada 0.04 detik. Pada campuran CO<sub>2</sub> 30% dapat dicapai panas maksimum dari reaksi pembakarannya. Hal ini dikarenakan campuran ini didorong oleh gaya apung yang cukup besar.



Gambar 7a. Kecepatan Rambat Api Stoikiometri dengan berbagai kadar N<sub>2</sub> pada Penyalu Atas



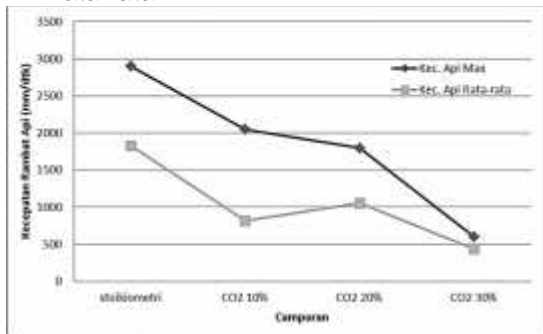
Gambar 7b. Kecepatan Rambat Api Stoikiometri dengan berbagai kadar N<sub>2</sub> pada Penyalu Bawah

Kecepatan rambat api cenderung menurun setelah ada penambahan N<sub>2</sub>. Kecepatan maksimum 2900 mm/dtk dicapai pada 0.04 detik dari titik penyalu pada campuran stoikiometri dan kecepatan maksimum pada campuran karbondioksida adalah 2233.33 mm/detik pada N<sub>2</sub> 10% pada 0.04 detik. Pada campuran N<sub>2</sub> 10% dapat dicapai panas maksimum dari reaksi pembakarannya (Gambar 7a).

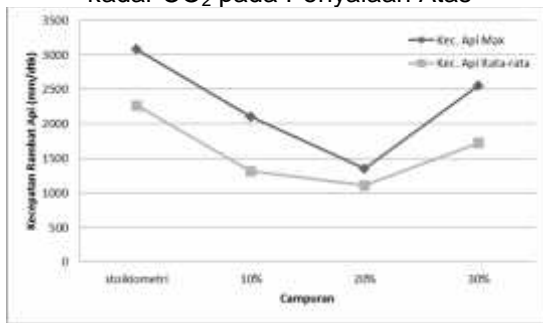
Sedangkan Gambar 7b Kecepatan maksimum 3075.10 mm/dtk dicapai pada 0.04 detik dari titik penyalu pada campuran stoikiometri dan kecepatan maksimum pada campuran karbondioksida adalah 3550.03 mm/detik pada N<sub>2</sub> 20% pada 0.04 detik. Pada

campuran N<sub>2</sub> 10% dapat dicapai panas maksimum dari reaksi pembakarannya, lebih besar dari stoikiometri. Hal ini disebabkan karena pengaruh gaya apung yang cukup besar.

➤ Kecepatan Rambat Api Maksimum dan Rata-rata

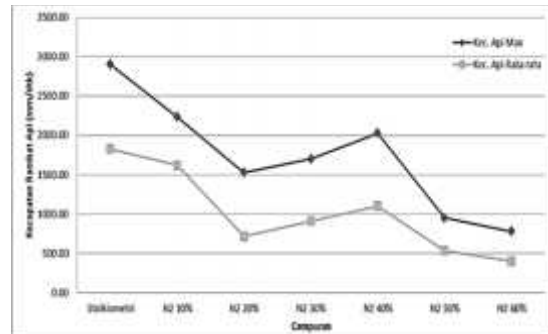


Gambar 8a. Kecepatan Rambat Api Maksimal dan Rata-rata Stoikiometri dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> pada Penyalaan Atas

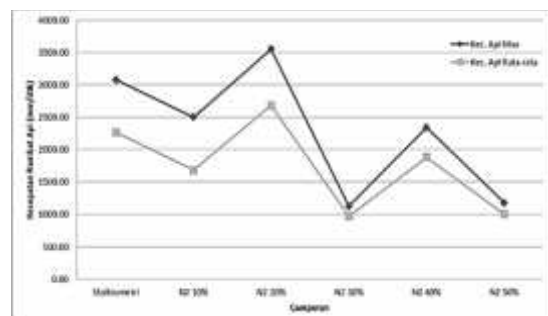


Gambar 8b. Kecepatan Rambat Api Maksimal dan Rata-rata Stoikiometri dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> Pada Penyalaan Bawah

Gambar 8a dan 8b menunjukkan kecepatan rambat api Stoikiometri dan campuran CO<sub>2</sub> maksimum dan kecepatan rambat api rata-rata cenderung menurun, tetapi pada CO<sub>2</sub> 30% Gambar 8b mengalami kenaikan dari CO<sub>2</sub> 20% hal disebabkan pengaruh gaya apung pada CO<sub>2</sub> 30% lebih besar.



Gambar 9a. Kecepatan Rambat Api Maksimal dan Rata-rata Stoikiometri dengan berbagai kadar N<sub>2</sub> Pada Penyalaan Atas

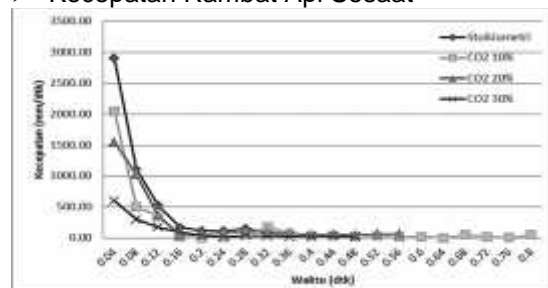


Gambar 9b. Kecepatan Rambat Api Maksimal dan Rata-rata Stoikiometri dengan berbagai kadar N<sub>2</sub> Pada Penyalaan Bawah

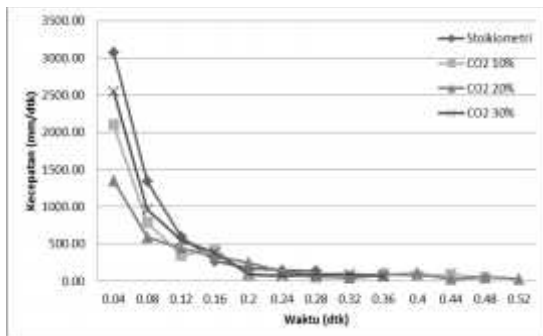
Gambar 9a menunjukkan kecepatan rambat api Stoikiometri dan campuran N<sub>2</sub> maksimum dan kecepatan rambat api rata-rata juga cenderung menurun, pada N<sub>2</sub> 30% dan N<sub>2</sub> 40% mengalami kenaikan disebabkan pengaruh gaya apung cukup besar.

Penurunan kecepatan rambat api terjadi dari stoikiometri ke N<sub>2</sub> 10%, kemudian naik pada N<sub>2</sub> 20% dan turun lagi N<sub>2</sub> 30%, hal ini menunjukkan kecepatan rambat api cenderung menurun Gambar 9b

➤ Kecepatan Rambat Api Sesaat

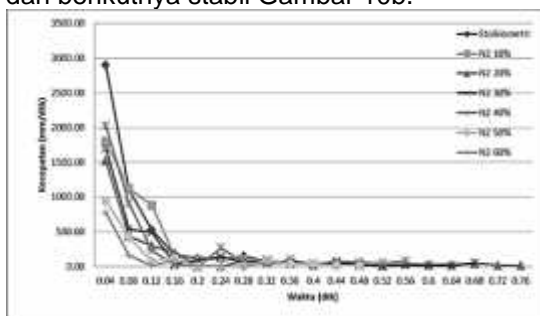


Gambar 10a. Kecepatan Rambat Api Sesaat Stoikiometri dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> Pada Penyalaan Atas

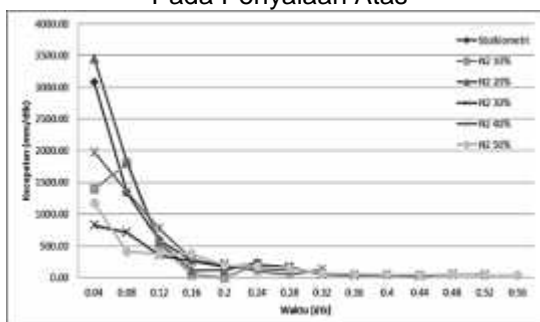


Gambar 10b. Kecepatan Rambat Api Sesaat Stoikiometri dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> Pada Penyalaan Bawah

Pada 0.04–0.16 detik kecepatan rambat api mengalami penurunan cepat dan 0.2 – 0.4 detik kecepatan rambat api stabil. Gambar 10 a Penurunan kecepatan besar terlihat pada detik 0.04-0.08, selanjutnya mengalami penurunan secara bertahap hingga detik 0.2 dan berikutnya stabil Gambar 10b.



Gambar 11a. Grafik Kecepatan Rambat Api Sesaat Stoikiometri dengan berbagai kadar N<sub>2</sub> Pada Penyalaan Atas



Gambar 11b. Grafik Kecepatan Rambat Api Sesaat Stoikiometri dengan berbagai kadar N<sub>2</sub> Pada Penyalaan Bawah

Dari beberapa gambar grafik diatas menunjukkan mengenai distribusi kecepatan rambat api, yang menunjukkan kecepatan rambat cenderung menurun. Kecepatan

rambat api penyalaan bawah lebih besar daripada penyalaan atas, hal ini disebabkan didorong gaya apung yang cukup besar.

**KESIMPULAN**

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

- a. Kadar CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> berpengaruh pada karakteristik pembakaran gas metana, hal ini dapat dilihat dari perubahan kecepatan rambat api yang terjadi.
- b. Kecepatan rambat api penyalaan bawah lebih besar dari penyalaan atas. Hal ini disebabkan pengaruh gaya apung yang cukup besar.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Kusrijadi, Triyono, Riswanda, 2009. "Proses Brazing Cu-Ag Berbahan Bakar Biogas Termurnikan", *Jurnal Pengajaran MIPA* Volume 14 No. 2 Oktober 2009.
- [2] Wardana, 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Danar Wijaya. Brawijaya University Press. Malang.
- [3] Ilminnafik, 2010, "Pengaruh Karbondioksida pada Kecepatan Pembakaran dari Refrigeran Hidrokarbon", *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9*, Palembang.
- [4] Nurhadi, 2011., Pengaruh Penambahan Inhibitor CO<sub>2</sub> terhadap Batas Mampu Nyala Refrigeran Hidrokarbon dengan Kandungan Propane 99.5%., *Tesis. Universitas Brawijaya*, Malang.