

## PENGARUH KANDUNGAN CO<sub>2</sub> TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN METANA PADA DAERAH BATAS MAMPU NYALA

Swastika Praba Ardi, Nurkholis Hamidi, Denny Widhiyanuriyawan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

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

E-mail : [swastika\\_pa@yahoo.com](mailto:swastika_pa@yahoo.com)

### ABSTRAK

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menjadi salah satu faktor penyebab berkurangnya sumber daya alam, sehingga saat ini banyak usaha – usaha untuk mengurangi ketergantungan tersebut diantaranya dengan menggunakan bahan bakar alternatif yaitu metana (CH<sub>4</sub>) yang terkandung pada biogas. Selain gas metana (50 – 70%) juga terdapat karbondioksida (25 – 45 %) dan sejumlah kecil hidrogen, nitrogen, hydrogen sulfide, yang mana gas – gas tersebut terutama CO<sub>2</sub> merupakan zat pengotor yang dapat mempengaruhi batas mampu nyala (flammability limit). Sehingga mempengaruhi kualitas dari metana. Oleh sebab itu perlu diketahui tentang pengaruh kandungan CO<sub>2</sub> terhadap batas mampu nyala. Penelitian ini dilakukan dengan membakar campuran metana dan udara dengan berbagai kadar CO<sub>2</sub> pada perbandingan kaya maupun miskin di dalam ruang bakar dengan dimensi tinggi 50 cm, panjang 20 cm, lebar 1 cm pada penyalaan atas. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa dengan adanya kandungan CO<sub>2</sub> mengakibatkan penurunan batas mampu nyala dari metana, baik pada campuran miskin maupun campuran kaya. Selain itu, penambahan CO<sub>2</sub> juga berpengaruh terhadap penurunan kecepatan rambat dari reaksi pembakaran metana-udara. Hal ini nampak pada campuran kaya, dimana kecepatan sesaat maksimum dengan variasi kadar 0% CO<sub>2</sub> sebesar 193.26 cm/s, dan ketika ditambah CO<sub>2</sub> hingga mencapai 60%, kecepatan sesaatnya menurun menjadi 73.70 cm/s. Sedangkan pola api yang terbentuk pada campuran kaya dapat merambat hingga mencapai dasar ruang bakar, dimana bertolak belakang dengan pola api pada campuran miskin yang pergerakannya cenderung menyamping.

**Kata Kunci:** Inhibitor CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, batas mampu nyala, kecepatan rambat api.

### PENDAHULUAN

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menjadi salah satu faktor penyebab berkurangnya sumber daya alam tersebut. Sehingga perlu adanya bahan bakar alternatif yang tentunya sangat ramah lingkungan. Salah satu bahan bakar alternatif yang digunakan adalah metana (CH<sub>4</sub>) yang terkandung dalam biogas. Akan tetapi dalam biogas terkandung gas – gas pengotor (inhibitor) yang mempengaruhi kualitas dari biogas, salah satunya adalah CO<sub>2</sub> (25 – 45%).

Karbondioksida merupakan molekul yang bersifat *non flammable* sehingga molekul tersebut akan menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran, molekul – molekul inhibitor akan terurai dan bekerja dengan mengganggu rantai reaksi kimia pembakaran, sehingga reaksi kimia pembakaran terhambat.

Dimana pembakaran merupakan suatu proses reaksi antara bahan bakar dan oksidator (segala substansi yang mengandung oksigen) yang berlangsung sangat cepat dimana dari proses tersebut

akan menghasilkan energi panas dan cahaya. Proses pembakaran bisa berlangsung jika terdapat bahan bakar, pengoksidasi (oksigen atau udara), panas atau energi aktivasi [1].

Selain itu, perbandingan campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting pula dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (produk) proses pembakaran. Bahkan telah banyak berbagai macam penelitian tentang perbandingan campuran bahan bakar gas dan udara terutama dengan penambahan zat inhibitor. Diantaranya meneliti tentang kecepatan rambat api pada refrigerant hidrokarbon (LPG) yang ditambah dengan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) [2], penambahan CO<sub>2</sub> dengan *propane* pada campuran stoikiometri [3], dan karakteristik pembakaran gas metana pada campuran stoikiometri dengan CO<sub>2</sub> sebagai inhibitor [4]. Dari penelitian – penelitian tersebut didapatkan bahwa

semakin banyak kadar gas karbondioksida pada campuran hidrokarbon ataupun bahan bakar menyebabkan kecepatan rambat api menurun. Penambahan campuran karbondioksida menyebabkan waktu yang digunakan oleh nyala api untuk merambat sepanjang ruang bakar mengalami perubahan, sehingga menunda terjadinya reaksi pembakaran.

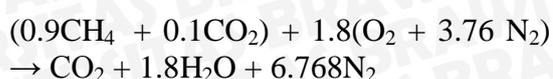
Oleh karena itu perlu diketahui lebih lanjut mengenai pengaruh kadar CO<sub>2</sub> terhadap batas mampu nyala pembakaran metana pada campuran kaya maupun miskin, sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan gas metana sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan memberikan masukan bagi industri otomotif tentang penggunaan biogas sebagai sumber energi alternatif.

#### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dicari perbandingan metana-udara dengan penambahan CO<sub>2</sub> hingga diketahui batas mampu nyala dari metana. Dari penelitian ini akan didapatkan kecepatan rambat api, pola rambat api, dan batas mampu nyala (*flammability limit*) pada berbagai perbandingan campuran kaya dan miskin. Sedangkan data-data dan informasi tambahan diperoleh melalui kajian literatur dari buku, internet dan jurnal penelitian.

#### Pengambilan Data

Sebelum pengambilan data kita perlu menghitung perbandingan volume gas metana (CH<sub>4</sub>), dan udara dengan penambahan CO<sub>2</sub>. Pertama, perhitungan dilakukan secara teoritis sesuai dengan reaksi kimianya. Misal, perhitungan AFR dengan dasar 1 kmol bahan bakar pada kandungan biogas (90% CH<sub>4</sub> + 10% CO<sub>2</sub>), adalah sebagai berikut :



$$\text{AFR} = \frac{1.8(1+3.76)}{8.568} = \frac{1}{1} \text{ mol udara/mol b.bakar}$$

Dalam reaksi pembakaran bahan bakar gas, perbandingan mol antara udara dan bahan bakar juga menunjukkan perbandingan volumenya. Sehingga, perbandingan gas – gas yang akan dibakar dapat dihitung berdasarkan volume tabungnya. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan perbandingan teoritis reaksi kimia dengan volume tabung tinggi 50 cm, panjang 20 cm, lebar 1 cm.

$$\frac{\text{volume keseluruhan pada reaksi kimia}}{1 \text{ satuan volume pada reaksi kimia}} = \frac{\text{volume keseluruhan pada tabung}}{1 \text{ satuan volume pada reaksi kimia}}$$

$$\frac{1 + 1.8(1 + 3.76)}{1} = \frac{50 \times 20 \times 1}{x \times 20 \times 1}$$

$$x = \frac{50}{10.5}$$

$$x = 5.2257 \text{ cm}$$

Jadi, dari rumusan tersebut kita mendapatkan nilai dari tiap volume gas, untuk kasus ini yang diambil hanya tinggi dari volume tabung.

Bahan bakar biogas (90% CH<sub>4</sub> + 10% CO<sub>2</sub>) = 5.2257 cm, sehingga

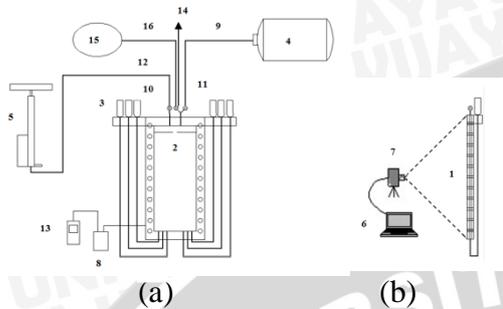
- CH<sub>4</sub> = 90% x 5.2257 = 4.703 cm
- CO<sub>2</sub> = 10% x 5.2257 = 0.522 cm

$$\text{Udara} = (1.8x(1+3.76)) \times 5.2257 = 44.77 \text{ cm}$$

Setelah menghitung volume dari metana, karbondioksida dan udara. Ruang bakar yang berukuran tinggi 50 cm, panjang 20 cm, lebar 1 cm diisi dengan air secara penuh. Setelah itu memasukkan metana, karbondioksida dan udara secara berurutan kedalam ruang bakar sehingga air tersebut terdorong dan melimpah ke tabung pelimpah. Kemudian pemantik dinyalakan sehingga terjadi

pembakaran dan hasil pembakaran tersebut direkam dengan kamera 18.0 megapixel dengan hasil rekaman yang dapat dibagi menjadi gambar diam dengan kecepatan 24 fps.

Instalasi pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram skematik berikut ini:



Gambar 1. Instalasi Penelitian : a) tampak depan, b) tampak samping.

Keterangan gambar:

1. Ruang bakar model *helle-shaw cell*
2. Pemantik
3. Tabung pelimpah
4. Tabung BBG
5. Kompresor
6. Komputer
7. Kamera video
8. Saklar pemantik
9. Selang bahan bakar
10. Katup udara
11. Katup bahan bakar
12. Selang udara
13. Tombol pemantik
14. Katup gas CO<sub>2</sub>
15. Balon berisi gas CO<sub>2</sub>
16. Selang gas CO<sub>2</sub>

### Pengolahan Data

Hasil rekaman proses pembakaran gas metana yang berupa video, terlebih dahulu dirubah menjadi gambar diam dengan menggunakan *software Video to JPG Converter*. Video tersebut dipotong dengan kecepatan 24 fps (*frame per sekon*), dimana dalam satu detik dapat menghasilkan 24 gambar diam. Setelah didapatkan potongan dari video tersebut, langkah selanjutnya yaitu mengambil potongan – potongan gambar disaat api

mulai terbentuk hingga padam. Kemudian gambar – gambar tersebut dipotong hanya pada bagian ruang bakar, dengan menggunakan *software Adobe Photoshop* sebesar 50 cm x 20 cm sesuai dengan ukuran sebenarnya. Gambar hasil dari *Adobe Photoshop* tersebut, kemudian disusun berjajar sehingga akan nampak pergerakan api dimana saat mulai terbentuk hingga padam.

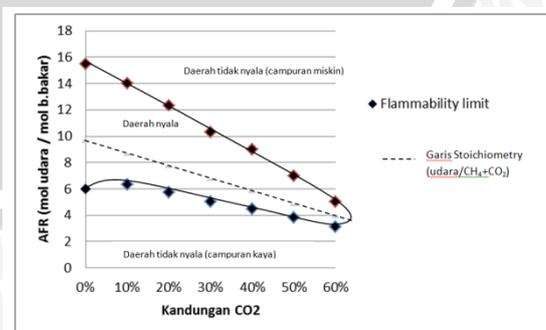
Untuk perhitungan cepat rambat api, gambar susunan rambatan api yang telah dihasilkan kemudian dimasukkan kedalam *software Autocad 2009*. Sehingga dapat dihitung jarak perpindahan api tiap *framennya*. Dari hasil jarak tersebut dapat diketahui cepat rambat api dengan membagi jarak per satuan waktu

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data kandungan CO<sub>2</sub> terhadap batas mampu nyala dapat dilihat pada tabel 1. Tabel 1 Flammability limit

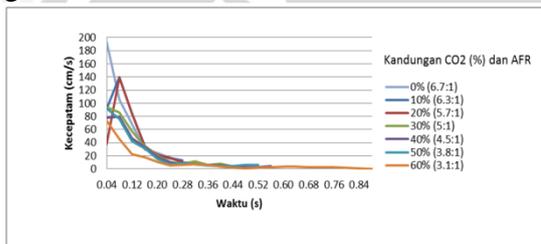
No	Kandungan CO <sub>2</sub>	AFR kaya	Stoikiometri	AFR miskin
1	0%	6	9.52	15.5
2	10%	6.30	8.56	14.00
3	20%	5.70	7.61	12.30
4	30%	5.00	6.66	10.30
5	40%	4.50	5.71	9.00
6	50%	3.80	4.76	7.00
7	60%	3.10	3.80	5.00

Berdasarkan tabel 1, dapat dilihat batas mampu nyala (*flammability limit*) gas metana menurun seiring dengan penambahan kandungan gas CO<sub>2</sub>, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 2 Hubungan Kandungan CO<sub>2</sub> Terhadap Batas Mampu Nyala (*flammability limit*).

Hal ini dikarenakan CO<sub>2</sub> merupakan inhibitor yang berfungsi sebagai penghambat suatu reaksi pembakaran. Selain itu, CO<sub>2</sub> dapat menyerap panas hasil pembakaran sehingga ketika panas yang diserap terlalu banyak maka dapat menyebabkan api berhenti merambat dan mati. Hal ini dikarenakan batas mampu nyala juga berhubungan dengan kehilangan panas dari sistem, dimana diakibatkan karena radiasi dari produk pembakaran bertemperatur tinggi kelingkungan bertemperatur rendah, sehingga api menjadi lebih dingin. Oleh sebab itu semakin banyak kadar CO<sub>2</sub> yang terkandung dalam gas metana maka akan menurunkan kemampuan nyala dari gas tersebut.

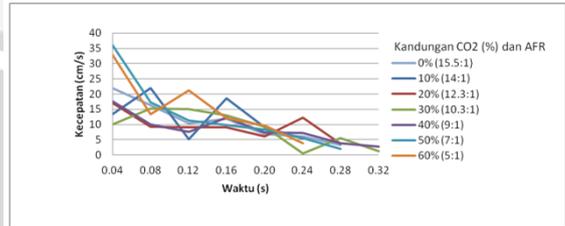


Gambar 3 Hubungan kandungan CO<sub>2</sub> terhadap kecepatan rambat sesaat pada daerah mendekati batas mampu nyala kaya.

Dari gambar 3 terlihat bahwa urutan kecepatan sesaat maksimum dari tinggi ke rendah dengan berbagai variasi kadar CO<sub>2</sub> adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 50%, 40%, 60%, dengan kecepatan masing – masing sebesar 193.26 cm/s, 139.50 cm/s, 138.92 cm/s, 94.23 cm/s, 92.32 cm/s, 79.31 cm/s, 73.70 cm/s. dimana semakin banyak CO<sub>2</sub> maka kecepatan yang dihasilkan oleh pembakaran metana semakin menurun. Hal ini dikarenakan CO<sub>2</sub> merupakan molekul yang bersifat *non flammable* sehingga molekul tersebut akan menghambat dan menurunkan laju reaksi pembakaran.

Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pada kecenderungan yang terjadi pada tiap kecepatan mulai dari kandungan CO<sub>2</sub> sebesar 0%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% memiliki kecepatan awal

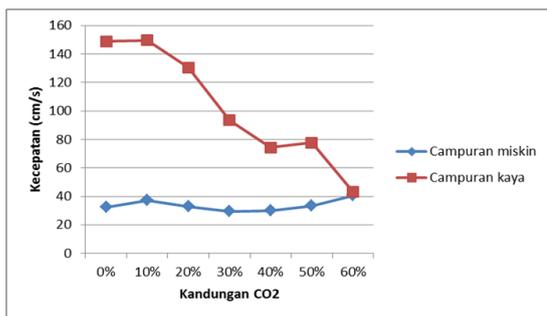
yang tinggi, kemudian menurun drastis hingga menjadi stabil. Hal ini dikarenakan adanya kontak dengan dinding ruang bakar sehingga menghambat laju dari rambatan api tersebut hingga akhirnya menjadi stabil.



Gambar 4 Hubungan kandungan CO<sub>2</sub> terhadap kecepatan rambat sesaat pada daerah mendekati batas mampu nyala miskin.

Sedangkan pada campuran miskin, seperti yang terlihat pada gambar 5a kecepatan maksimum terjadi pada campuran metana dengan variasi kandungan 50% CO<sub>2</sub> sebesar 36.04 cm/s. Bila diurutkan dari tinggi kerendah, kecepatan sesaat maksimum yang terjadi pada berbagai variasi kandungan CO<sub>2</sub> pada kandungan miskin adalah 50%, 60%, 0%, 10%, 40%, 20%, 30%, dengan kecepatan masing – masing sebesar 36.04 cm/s, 32.88 cm/s, 22 cm/s, 21.90 cm/s, 17.67 cm/s, 17.18 cm/s, 15.21 cm/s.

Pada grafik tersebut nampak bahwa kecepatan sesaat yang terjadi pada masing – masing perbandingan memiliki kecenderungan naik turun atau bersifat fluktuatif. Hal ini dikarenakan sedikitnya bahan bakar yang terkandung dalam campuran tersebut, sehingga tingkat homogenitas dari campuran bahan bakar menjadi kurang merata. Oleh sebab itu proses pembakaran yang terjadi menjadi tidak stabil.



Gambar 5 Hubungan kandungan CO<sub>2</sub> terhadap kecepatan rata-rata pada daerah mendekati batas mampu nyala kaya dan miskin.

Dari grafik di atas nampak bahwa semakin banyak kandungan CO<sub>2</sub> maka akan mempengaruhi kecepatan rata-rata suatu campuran bahan bakar. Hal ini dapat dilihat pada campuran kaya, semakin banyak kadar CO<sub>2</sub> yang terkandung dalam suatu reaksi pembakaran maka kecepatan rata-rata yang dihasilkan akan semakin menurun. Akan tetapi pada campuran miskin kecepatan rata-rata yang dihasilkan cenderung stabil. Hal ini dikarenakan proses pencampuran bahan bakar yang kurang merata sehingga pembakaran yang terjadi menjadi tidak stabil, oleh sebab itu kecepatan rambat rata-rata hasil pembakaran gas metana pada campuran miskin cenderung stabil.

Selain itu, pada grafik juga terlihat bahwa campuran kaya memiliki kecepatan rata-rata lebih tinggi dibandingkan campuran miskin. Hal ini disebabkan oleh jumlah bahan bakar yang terkandung di dalam campuran kaya lebih banyak jika dibandingkan dengan kandungan bahan bakar campuran miskin. Oleh sebab itu pada campuran kaya dapat menghasilkan pembakaran yang lebih besar sehingga kecepatan yang dihasilkanpun menjadi lebih tinggi.

Dari hasil pembakaran yang ditunjukkan pada gambar 7 dapat dilihat bahwa pada campuran kaya, api yang terbentuk cenderung mencapai dasar ruang bakar. Berbeda dengan api campuran miskin, api yang terbentuk

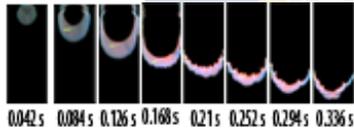
hanya pada bagian atas ruang bakar. Hal ini dikarenakan pada campuran kaya, kandungan CH<sub>4</sub> lebih banyak (kaya bahan bakar) sehingga bahan yang dapat dibakar lebih melimpah. Oleh sebab itu proses pembakaran hingga mencapai dasar ruang bakar. Selain itu pada kandungan 60% CO<sub>2</sub> api yang terjadi sempat merambat ke atas, hal ini dikarenakan adanya pengaruh gaya apung. 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 diatas, sehingga densitas reaktan di bawah lebih ringan dari densitas reaktan di atas yang nantinya akan menyebabkan aliran secara vertikal dari bawah keatas, aliran ini akan menghambat rambatan api dari atas ke bawah. sehingga api sempat merambat ke atas dikarenakan api yang terbentuk tidak mampu melawan gaya apung tersebut.



Gambar 6 Batas rambatan api pada ruang bakar.

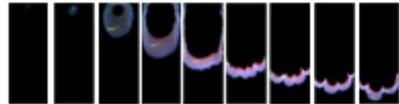
(a) Campuran kaya, (b) Campuran miskin.

Berbeda dengan campuran miskin, pada campuran miskin kandungan bahan bakar metana atau CH<sub>4</sub> sangat sedikit sehingga bahan yang dapat dibakar terbatas (gambar 6b), oleh sebab itu pembakaran yang terjadi tidak dapat



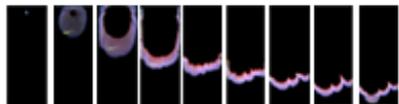
0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s

a. 0% (AFR 6.7)



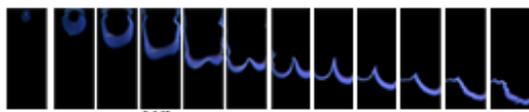
0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s 0.378 s

b. 10% (AFR 6.3)



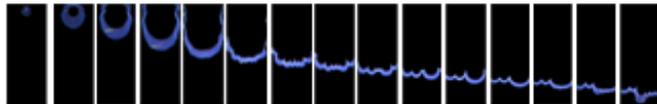
0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s 0.378 s

c. 20% (AFR 5.7)



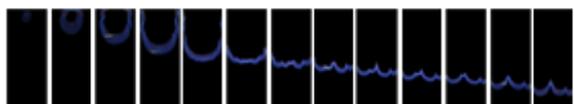
0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s 0.378 s 0.42 s 0.462 s 0.504 s

d. 30% (AFR 5)



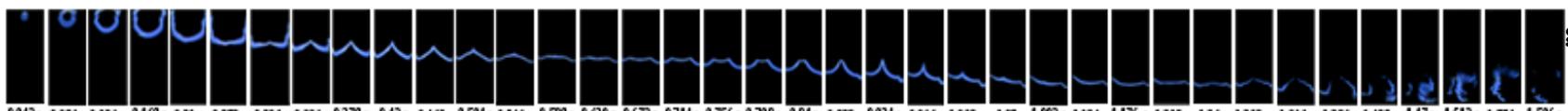
0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s 0.378 s 0.42 s 0.462 s 0.504 s 0.546 s 0.588 s 0.630 s

e. 40% (AFR 4.5)



0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s 0.378 s 0.42 s 0.462 s 0.504 s 0.546 s

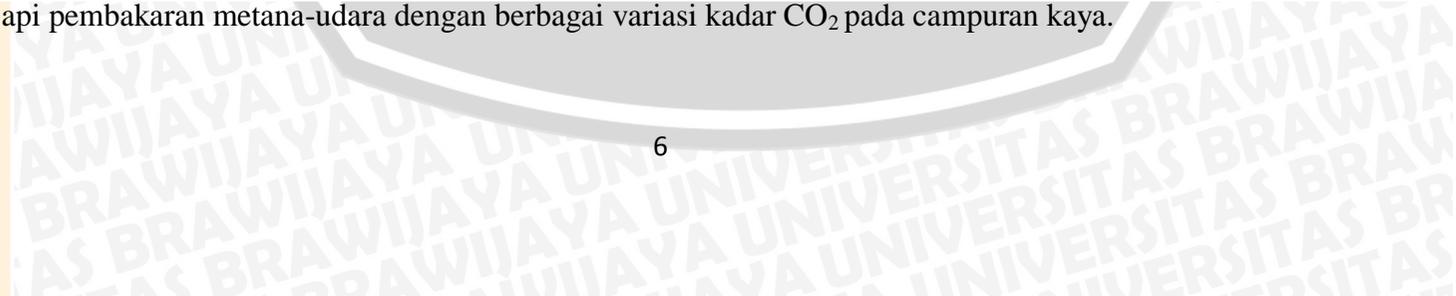
f. 50% (AFR 3.8)



0.042 s 0.084 s 0.126 s 0.168 s 0.21 s 0.252 s 0.294 s 0.336 s 0.378 s 0.42 s 0.462 s 0.504 s 0.546 s 0.588 s 0.630 s 0.672 s 0.714 s 0.756 s 0.798 s 0.84 s 0.882 s 0.924 s 0.966 s 1.008 s 1.05 s 1.092 s 1.134 s 1.176 s 1.218 s 1.26 s 1.302 s 1.344 s 1.386 s 1.428 s 1.47 s 1.512 s 1.554 s 1.596 s

g. 60% (AFR 3.1)

Gambar 7 Rambatan api pembakaran metana-udara dengan berbagai variasi kadar CO<sub>2</sub> pada campuran kaya.





a. 0% (AFR 15.5)

b. 10% (AFR 14)

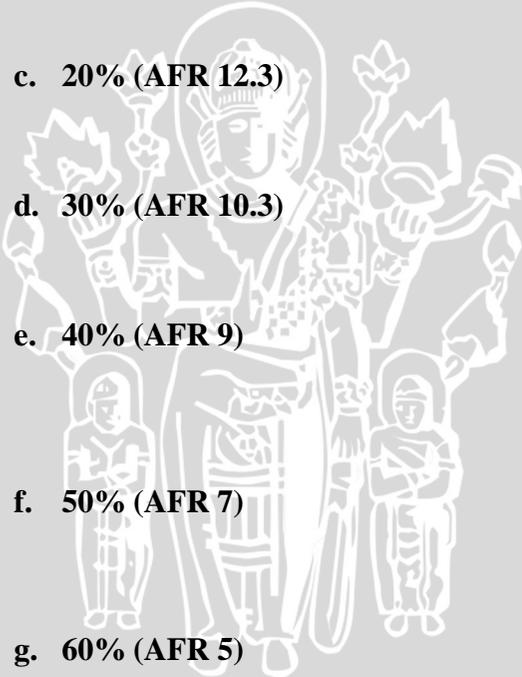
c. 20% (AFR 12.3)

d. 30% (AFR 10.3)

e. 40% (AFR 9)

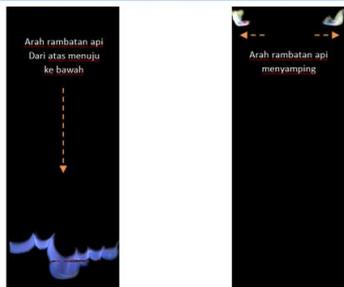
f. 50% (AFR 7)

g. 60% (AFR 5)



Gambar 8 Rambatan api pembakaran metana-udara dengan berbagai variasi kadar CO<sub>2</sub> pada campuran miskin.

mencapai dasar ruang bakar. Selain itu dikarenakan pengaruh dari gas CO<sub>2</sub> yang menyerap panas hasil pembakaran sehingga menyebabkan terjadinya kehilangan panas. Selain itu, akibat dari hilangnya panas pembakaran juga menyebabkan warna api yang dihasilkan menjadi sangat tipis, hampir tidak terlihat sehingga hanya nampak seperti gas.



Gambar 9 Arah rambatan api pada daerah mendekati batas mampu nyala.

(a) Campuran kaya, (b) Campuran miskin.

Selain itu pada awal pembentukan pola api campuran kaya cenderung stabil atau berbentuk parabola, akan tetapi pada saat mendekati bagian bawah ruang bakar, api yang terbentuk mengalami ketidakstabilan. Hal ini dikarenakan perbedaan densitas serta terjadinya proses pendinginan akibat adanya kontak dengan dinding ruang bakar. Sedangkan pada campuran miskin pergerakan api cenderung menyamping (gambar 9b), dikarenakan sedikitnya kandungan bahan bakar pada bagian bawah sehingga tidak terjadi pembakaran pada bagian bawah ruang bakar, oleh sebab itu api yang terbentuk cenderung bergerak menyamping, baik pada campuran 0% hingga 60% CO<sub>2</sub>.

### KESIMPULAN

Dari hasil dan analisa pembahasan pengaruh kandungan CO<sub>2</sub> terhadap karakteristik pembakaran metana pada daerah batas mampu nyala dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan adanya kandungan CO<sub>2</sub> di dalam suatu reaksi pembakaran mengakibatkan penurunan batas

mampu nyala dari campuran metana-udara baik pada campuran miskin maupun campuran kaya. Selain itu, didapatkan kandungan maksimal penambahan CO<sub>2</sub> yaitu sebesar 60%.

2. Penambahan CO<sub>2</sub> sangat berpengaruh besar terhadap penurunan kecepatan rambat baik sesaat maupun rata-rata dari reaksi pembakaran metana-udara. Hal ini terlihat jelas pada campuran kaya, dimana kecepatan sesaat maksimum dari tinggi ke rendah dengan berbagai variasi kadar CO<sub>2</sub> adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 50%, 40%, 60%, dengan kecepatan masing – masing sebesar 193.26 cm/s, 139.50 cm/s, 138.92 cm/s, 94.23 cm/s, 92.32 cm/s, 79.31 cm/s, 73.70 cm/s. Akan tetapi penambahan kadar CO<sub>2</sub> pada campuran miskin tidak terlalu berpengaruh atau cenderung stabil.

3. Pola api yang terbentuk pada campuran kaya dapat merambat hingga mencapai dasar ruang bakar, dimana bertolak belakang dengan pola api pada campuran miskin yang pergerakannya cenderung menyamping baik pada campuran 0% hingga 60% CO<sub>2</sub>. Selain itu pada campuran kaya, semakin mendekati dasar ruang bakar, api yang terbentuk cenderung mengalami ketidakstabilan akibat perbedaan densitas serta terjadi pendinginan karena adanya kontak dengan dinding ruang bakar pada dinding ruang bakar.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Dinar Wijaya Brawijaya University Press.
- [2] Ilminnafik (2010). *Pengaruh Karbondioksida pada Kecepatan Pembakaran dari Refrigeran*

*Hidrokarbon*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9. Palembang.

- [3] Munteanu V. dkk. 2002. Carbon Dioxide As Inhibitor for Ignition and Flame Propagation of Propane-Air Mixtures. *Journal of Engineering* . XXI (1): 141-146.
- [4] Anwar. 2012. Pengaruh Penambahan Kadar CO<sub>2</sub> Terhadap Karakteristik Pembakaran Campuran Stoikiometri Metana-Udara. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

