

## PENGARUH PROSENTASE CO<sub>2</sub> TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DIFUSI BIOGAS

Mega Nur Sasongko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Brawijaya

---

### Keywords :

Biogas  
Percentage CO<sub>2</sub>  
Flame stability  
Counterflow diffusion flame

### Abstract :

*This study aims to determine the effect of the percentage of CO<sub>2</sub> in the biogas to the characteristics of biogas diffusion flame. Counterflow configuration was used in this study to investigate detail structure of diffusion flame and the flame stability of biogas. The concentration of CO<sub>2</sub> in the biogas was varied from 0% to 50% while the mass flow rate of the reactants was varied from 4 to 14 L / min. The results showed that the CO<sub>2</sub> in the biogas fuel affect the diffusion flame characteristics, especially the area of luminous yellow flame formed in the fuel flow. In the fuel-rich mixture conditions, percentage of CO<sub>2</sub> did not affected the diffusion flame stability. However The stability flame was more influenced by the rate of diffusion between fuel and oxygen. Therefore, the combustion of biogas is more recommended to be done in the fuel-rich conditions.*

---

### PENDAHULUAN

Semakin menipisnya keberadaan bahan bakar fosil di muka bumi memaksa kita untuk mengembangkan sumber energi baru yang dapat diperbarui. Salah satunya adalah Biogas. Biogas adalah salah satu bahan bakar alternatif masa depan. Bahan bakar ini murah dan ramah lingkungan, karena biogas diolah dari limbah organik seperti sampah, sisa-sisa makanan, kotoran ternak dan limbah industri makanan. Kandungan metana dalam biogas merupakan komponen yang dapat menjadi bahan bakar alternatif sebagai sumber energi pengganti bahan bakar fosil. Sedangkan, komponen-komponen lain seperti CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> merupakan zat pengotor (impurities) yang memiliki sifat yang merugikan. Kompleksitas kandungan biogas, membuat penggunaan bahan bakar alternatif ini sebagai pengganti bakar fosil pada mesin-mesin konversi energi masih memerlukan kajian yang lebih mendalam. Terutama, bagaimana pengaruh zat-zat pengotor terutama CO<sub>2</sub> terhadap karakteristik pembakaran biogas dalam mesin konversi energi.

Penelitian terdahulu tentang penggunaan biogas sebagai bahan bakar mesin pembakaran busi dilakukan oleh Porpathan (2008). Kandungan gas CO<sub>2</sub> dalam biogas berpengaruh besar terhadap kinerja mesin. Menurunkan kandungan karbon dioksida dari 41 % menjadi 20 % akan meningkatkan secara signifikan prestasi dari mesin pembakaran busi. Di sisi lain, level emisi dari hidrokarbon HC dan NO hasil pembakaran di mesin bensin akan menurun dengan menurunkan kandungan CO<sub>2</sub>. Senada dengan mesin bensin, aplikasi biogas pada mesin diesel juga memiliki kecenderungan yang sama. Efek dari kandungan gas CO<sub>2</sub> akan menurunkan efisiensi termal dari mesin diesel (Yoon, 2010). Tetapi, aplikasi biogas pada mesin

diesel yang beroperasi pada mode HCCI menunjukkan hasil lebih menjanjikan. Efisiensi termal mesin diesel mode HCCI dengan bahan bakar biogas mendekati nilai yang sama dengan efisiensi mesin diesel bahan bakar fosil.

Dari beberapa hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa untuk mengaplikasikan biogas sebagai bahan bakar baru dalam sistem mesin konversi energi masih memerlukan pengetahuan tentang karakteristik dari proses pembakaran biogas yang lebih detail. CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam bahan bakar cenderung mempunyai sifat yang merugikan. Beberapa sifat tersebut adalah, yang pertama, CO<sub>2</sub> dalam campuran biogas akan secara signifikan menurunkan nilai kalor pembakaran. Rendahnya nilai kalor berakibat rendahnya energi pembakaran yang dihasilkan dari proses pembakaran (Karim, 1991). Yang kedua, CO<sub>2</sub> mempunyai kalor spesifik yang tinggi sehingga sebagian panas pembakaran akan terserap oleh zat ini seiring dengan meningkatnya temperatur. Yang ketiga, CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam bahan bakar akan menurunkan laju reaksi pembakaran, akibatnya lama waktu pembakaran biogas akan semakin lama.

Kerugian-kerugian akibat adanya gas CO<sub>2</sub> dalam biogas tidak bisa kita hindari. Hal kedepan yang perlu dilakukan adalah bagaimana menemukan metode-metode baru dalam proses pembakaran yang dapat meminimalisir pengaruh negatif dari gas CO<sub>2</sub> terhadap prestasi dari suatu proses pembakaran. Salah satu contoh adalah penelitian yang dilakukan oleh Karim (1992). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa laju reaksi oksidasi dari campuran gas metana dan CO<sub>2</sub> dapat ditingkatkan dengan jalan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar dan oksidatornya. Dari contoh diatas, masih

diperlukan metode-metode baru yang dapat dikembangkan untuk mengatasi masalah diatas.

Penelitian ini bertujuan khusus untuk mengetahui pengaruh dari kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas terhadap karakteristik dari pembakaran biogas. Perilaku dari nyala api dan batas mampu nyala api pada berbagai variasi kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas akan diteliti lebih mendalam.

Konfigurasi pembakaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan konfigurasi *counterflow flame*. Fenomena satu dimensi dari *counterflow flame* ini merupakan konfigurasi yang sangat cocok untuk mempelajari struktur dari api akibat pengaruh dari jenis kandungan bahan bakar, massa alir (AFR) bahan bakar maupun karakteristik reaktan bahan bakar dan oksidator (Tsuji, 1982; Li, 2002; Sasongko, 2011). Salah satu buktinya adalah penelitian dari Chen (2011) tentang karakteristik pembakaran biogas pada *counterflow diffusion flame*. Dengan teori flamellet yang dihasilkan dari konfigurasi ruang bakar *counterflow* ini, dapat diprediksikan bahwa penambahan gas hydrogen dapat memperbaiki proses pembakaran biogas.

Dengan menggunakan metode penelitian untuk melihat secara detil pengaruh penambahan CO<sub>2</sub> dalam karakteristik pembakaran bahan bakar biogas, diharapkan akan memunculkan skema baru tentang pengembangan atau perbaikan model pembakaran biogas yang lebih menjanjikan.

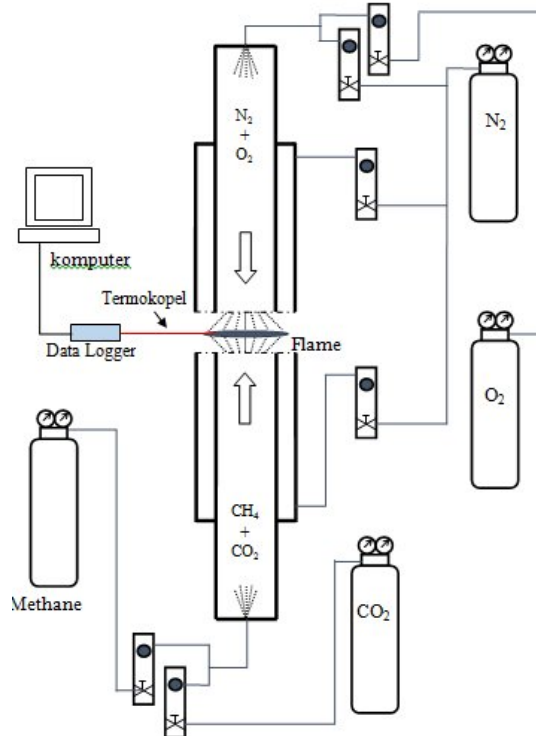
**METODE PENELITIAN**

Eksperimen tentang karakteristik pembakaran biogas dilakukan pada bentuk burner Counterflow Flame, seperti terlihat pada gambar 1 dibawah.

Ruang bakar terdiri dari 2 buah silinder konsentrik yang dipasang saling berlawanan atas dan bawah. Bahan bakar biogas digantikan oleh gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> yang merupakan komponen utama dalam biogas. Kedua gas ini dialirkan dari saluran bahan bakar pada sisi bagian bawah, sedangkan pengoksidasi yang merupakan campuran oksigen dan nitrogen dialirkan dari sisi yang berlawanan. Api difusi biogas akan terbentuk di daerah stagnasi antara dua aliran tersebut. Massa alir masing-masing gas dikontrol oleh 8 buah flowmeter yang ditempatkan seperti skema penelitian gambar 1. Prosentase CO<sub>2</sub> dalam aliran bahan bakar divariasikan dalam 0 % sampai 50 %, sedangkan total massa alir gas pada setiap saluran divariasikan dalam 4 L/min sampai 14 L/min. Gas nitrogen dialirkan pada sisi sebelah luar silinder konsentrik, dengan tujuan untuk menyelimuti api dari adanya oksigen yang masuk dari lingkungan ke dalam daerah pembakaran api difusi.

Selain itu gas nitrogen ini juga berfungsi untuk menstabilkan api difusi counterflow yang terbentuk. Proses pengambilan data dibagi menjadi 2 tahapan. Yang pertama adalah proses pengambilan foto warna dan lebarapi dilakukan oleh kamera digital D5000. Kamera tersebut diletakkan 20 cm dari pusat api dan

horizontal dengan api difusi. Setiap penurunan konsentrasi gas oksigen maupun gas CO<sub>2</sub> (variable penelitian) dilakukan proses pengambilan gambar untuk mengetahui evolusi perubahan warna api dan lebar api akibat pengaruh dari gas CO<sub>2</sub>. Tahap kedua pengambilan data adalah mengukur oksigen minimum yang diperlukan oleh api biogas (campuran CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>) agar api masih dapat dipertahankan sebelum api menjadi padam. Dari beberapa data tentang konsentasi minimum oksigen pada saat api padam untuk beberapa variasi konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam biogas ini, nantinya dapat digambarkan grafik batas kestabilan api biogas pada beberapa variasi kandungan gas CO<sub>2</sub> sebagai pengotor bahan bakar biogas.



Gambar 1 Skema penelitian

Selain itu gas nitrogen ini juga berfungsi untuk menstabilkan api difusi counterflow yang terbentuk. Proses pengambilan data dibagi menjadi 2 tahapan. Yang pertama adalah proses pengambilan foto warna dan lebarapi dilakukan oleh kamera digital D5000. Kamera tersebut diletakkan 20 cm dari pusat api dan horizontal dengan api difusi. Setiap penurunan konsentrasi gas oksigen maupun gas CO<sub>2</sub> (variable penelitian) dilakukan proses pengambilan gambar untuk mengetahui evolusi perubahan warna api dan lebar api akibat pengaruh dari gas CO<sub>2</sub>. Tahap kedua pengambilan data adalah mengukur oksigen minimum yang diperlukan oleh api biogas (campuran CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>) agar api masih dapat dipertahankan sebelum api menjadi padam. Dari beberapa data tentang konsentasi minimum oksigen pada saat api padam untuk beberapa variasi konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam biogas ini, nantinya dapat

digambarkan grafik batas kestabilan api biogas pada beberapa variasi kandungan gas  $\text{CO}_2$  sebagai pengotor bahan bakar biogas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Nyala Api

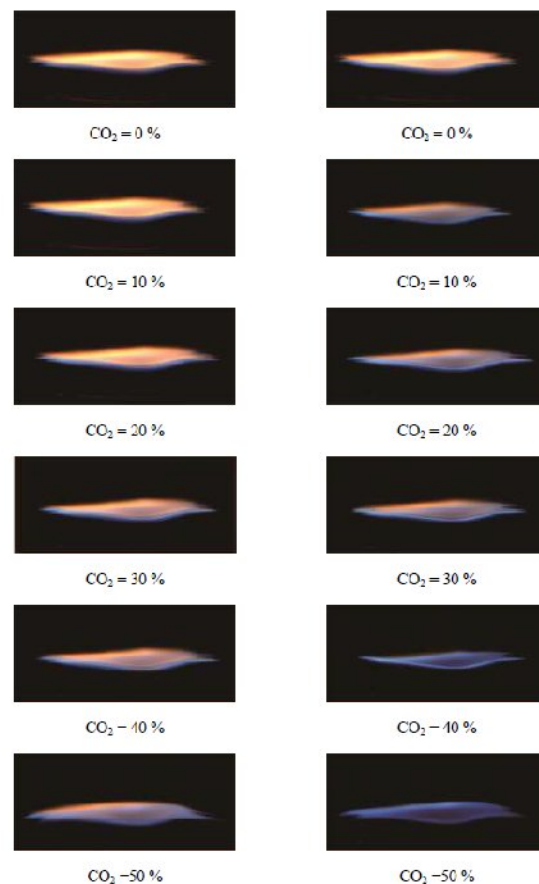
Gambar 2 memperlihatkan nyala api difusi biogas pada beberapa variasi konsentrasi  $\text{CO}_2$ . Selain itu, pada gambar tersebut juga memperlihatkan perbandingan nyala api pada dua variasi konsentrasi oksigen. Meningkatnya konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam bahan bakar akan menurunkan luas daerah api berwarna kuning. Seperti terlihat pada gambar 2 luas daerah warna api kuning menurun sedikit demi sedikit dengan meningkatnya konsentrasi karbon dioksida dalam bahan bakar. Bahkan untuk konsentrasi  $\text{CO}_2$  50 %, warna api kuning cenderung menghilang dan hanya warna api biru yang terbentuk dari api difusi biogas. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  yang semakin besar menyebabkan konsentrasi gas metana dalam biogas mengecil, sehingga suplai reaktan atau metana tidak mampu membentuk api kuning di daerah diatas api biru.

Gambar 3 memperlihatkan karakteristik nyala api difusi biogas pada beberapa variasi prosentase gas  $\text{CO}_2$  dalam bahan bakar dan perbandingan nyala api difusi biogas pada beberapa perbedaan massa alir reaktan ke daerah stagnasi counterflow. Pada gambar tersebut nyala api dibedakan pada massa alir 4 L/min 8 L/min dan 12 L/min. Seperti terlihat pada gambar, warna api kuning semakin menghilang pada massa alir reaktan yang semakin besar. Untuk massa alir 12 L/min hanya nyala api berwarna biru yang terbentuk. Perbandingan nyala api tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  akan menurunkan kekuatan nyala api difusi yang terbentuk, yang ditunjukkan oleh meredupnya warna biru pada nyala api. Nyala api difusi dasarnya dipengaruhi oleh seberapa cepat laju difusi antara bahan bakar dan oksidator pada daerah reaksi pembakaran. Konsekuensi dari hal tersebut, laju pembakaran akan sangat dipengaruhi oleh karakteristik waktu difusi reaktan. Pada aliran bahan bakar dan oksidator yang semakin besar, waktu difusi reaktan akan semakin pendek dan menyebabkan laju reaksi pembakaran yang semakin pendek juga. Hal ini menjadi alasan bahwa semakin besar kecepatan aliran reaktan nyala api difusi akan semakin melemah, yang ditunjukkan oleh berkurangnya warna api kuning ataupun menipisnya warna api biru yang terbentuk.

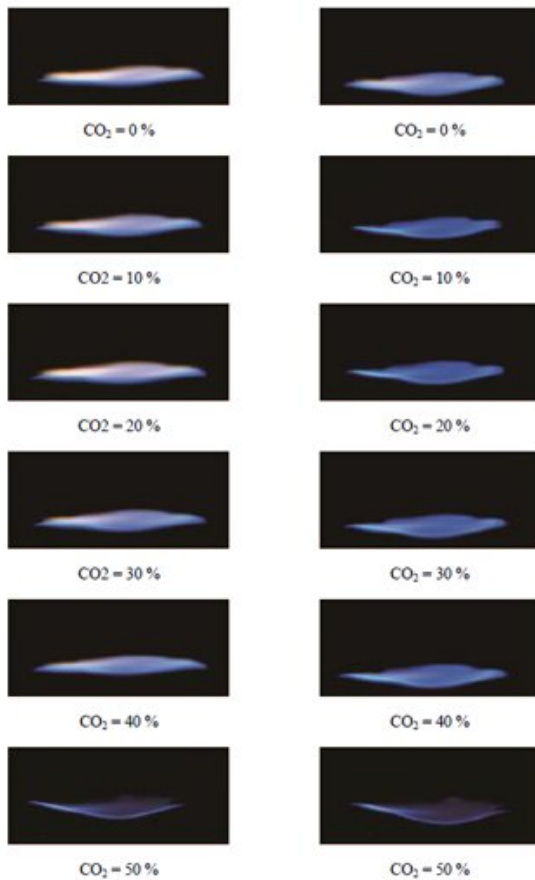
Gambar 4 dan 5 memperlihatkan dimensi api difusi counterflow pada beberapa variasi prosentase  $\text{CO}_2$  dalam bahan bakar biogas dan massa alir reaktan. Perbedaan antara kedua grafik adalah terletak pada konsentrasi oksigen dalam oksidator,

gambar 4 adalah dimensi api untuk  $Y_{\text{O}_2} = 0.25$  dan gambar 5 untuk  $Y_{\text{O}_2} = 0.20$ . Seperti terlihat pada gambar tersebut, pada konsentrasi oksigen yang sama lebar api cenderung tidak mengalami perubahan yang berarti. Lebar api menunjukkan daerah reaksi pembakaran difusi.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa prosentase  $\text{CO}_2$  yang berbeda tidak berpengaruh signifikan terhadap daerah reaksi pembakaran. Kandungan  $\text{CO}_2$  dalam bahan bakar lebih berpengaruh terhadap flame strength yang ditunjukkan oleh perubahan visualisasi warna api seperti gambar 4 sebelumnya. Pada konsentrasi oksigen yang cukup kecil dibandingkan dengan prosentase gas metana dalam bahan bakar, difusi antar reaktan lebih didominasi oleh jumlah terkecil spesies reaktan, yang dalam hal ini adalah konsentrasi oksigen.

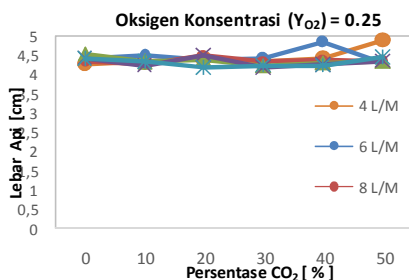


Gambar 3 Visualisasi api difusi pada massa alir reaktan 4 L/min dengan  $Y_{\text{O}_2} = 0.25$  (kiri) dan  $Y_{\text{O}_2} = 0.2$  (kanan)

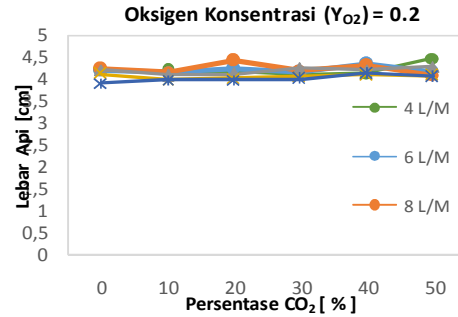


Gambar 3 Visualisasi api difusi pada massa alir reaktan 8 L/min dan 12 L/min (kanan) pada  $Y_{O_2} = 0.2$

Dalam penelitian ini perbandingan mol antara gas metana dan oksigen lebih dari dua kalinya untuk prosentase CO<sub>2</sub> terbesar atau CO<sub>2</sub>=50 %. Oleh karena itu efek dari kandungan CO<sub>2</sub> yang tidak banyak berpengaruh terhadap proses difusi reaktan sehingga dimensi api difusi cenderung tidak berubah seperti ditunjukkan oleh gambar 5. Konsekuensi lain dari hal tersebut, jika kandungan oksigen tidak sama maka akan sangat berpengaruh terhadap dimensi lebar api difusi. Semakin kecil konsentrasi oksigen, maka lebar api diprediksi juga ikut mengecil. Hal ini terbukti pada perbandingan gambar 4 dan gambar 5. Untuk  $Y_{O_2} = 0,25$ , lebar api berkisar 4.5 cm sedangkan pada konsentrasi oksigen yang lebih kecil  $Y_{O_2} = 0.2$  lebar api berkisar pada angka 4 cm.



Gambar 4 Nyala api counterflow diffusion flame biogas pada oksigen konsentrasi 0.25



Gambar 5 Nyala api counterflow diffusion flame biogas pada oksigen konsentrasi 0.20

**Kestabilan Api.**

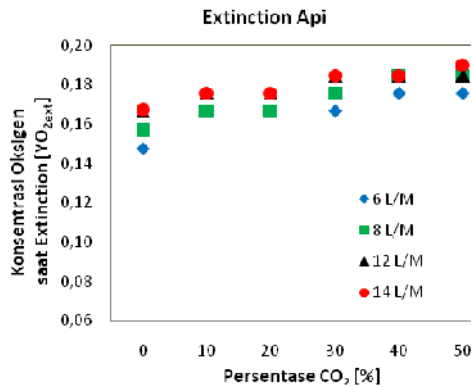
Pada penelitian ini, batas kestabilan api dinyatakan dalam karakteristik extinction api (api padam). Extinction api diperoleh dengan jalan menurunkan konsentrasi oksigen dalam oksidator sampai kondisi api padam. Harga minimum konsentrasi oksigen yang dibutuhkan api sebelum api padam ini  $[Y_{O_2}^{ext}]$  menjadi batas daerah kestabilan api difusi counterflow.

Gambar 6 menunjukkan konsentrasi oksigen saat api padam pada beberapa variasi prosentase kandungan CO<sub>2</sub> dalam bahan bakar biogas. Pada grafik itu juga ditunjukkan perbandingan konsentrasi oksigen pada beberapa perbedaan massa alir total reaktan pada saluran counterflow. Daerah di bawah garis grafik adalah daerah api padam sedangkan daerah diatas garis grafik adalah daerah api stabil. Seperti terlihat pada gambar 6 tersebut, kandungan CO<sub>2</sub> dalam bahan bakar berpengaruh terhadap konsentrasi oksigen yang dibutuhkan api untuk tetap stabil. Pada kandungan CO<sub>2</sub> yang semakin besar, minimum api stabil memerlukan oksigen yang semakin meningkat pula. Ini berarti kestabilan api semakin menurun dengan adanya CO<sub>2</sub> dalam bahan bakar. Pada dasarnya kestabilan pembakaran difusi dikontrol oleh perbandingan antara laju reaksi kimia pembakaran dengan laju difusi reaktan. Dan umumnya laju reaksi kimia jauh lebih besar dari laju difusi reaktan. Perbandingan ini sering disebut dengan istilah bilangan nondimensional Damkohler Number yang mempunyai rumusan :

$$Da = \frac{\text{Charact. aerodynamic time}}{\text{charact. chemical time}}$$

Aerodynamic time adalah waktu difusi reaktan atau dalam hal ini identik dengan laju difusi reaktan, sedangkan chemical time identik dengan laju reaksi kimia pembakaran. Suplai oksigen ke daerah reaksi pembakaran akan berpengaruh terhadap laju difusi reaktan. Jika laju difusi menurun sampai pada titik tertentu, akan menyebabkan laju kimia pembakaran menurun dan menyebabkan api menjadi padam. Dari kondisi ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa menurunnya daerah kestabilan api difusi akibat dari kandungan CO<sub>2</sub> yang semakin besar dalam bahan

bakar akan semakin menurunkan laju difusi bahan bakar dengan oksigen, seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Extinction api difusi biogas pada beberapa variasi prosentase kandungan CO<sub>2</sub>

Di sisi yang lain, jika dilihat kecenderungan kestabilan api difusi pada gambar diatas, terlihat bahwa batas kestabilan api tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antar variasi kandungan CO<sub>2</sub> dalam bahan bakar. Bahkan pada saat perubahan massa total aliran reaktan, hasil penelitian menunjukkan tendensi yang tidak berbeda jauh. Salah satu alasan yang mungkin dari kecenderungan diatas adalah proses pemadaman api berlangsung pada kondisi kaya bahan bakar. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kestabilan api dinyatakan dalam konsentrasi minimum oksigen pada saat api mati. Konsentrasi minimum oksigen menunjukkan bahwa garis kestabilan api difusi berada pada kondisi kaya bahan bakar. Hal ini berarti untuk mendapatkan batas kestabilan yang lebih baik, bahan bakar biogas harus dibakar pada kondisi yang kaya bahan bakar. Langkah kedepan, kecenderungan kestabilan api bahan bakar biogas pada kondisi yang stoikhiometri maupun miskin bahan bakar perlu penelitian lebih lanjut.

### KESIMPULAN

Penelitian ini mengamati pengaruh dari kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas terhadap karakteristik nyala api dan kestabilan api difusi counterflow. Beberapa kesimpulan utama dari hasil penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kandungan CO<sub>2</sub> dalam biogas berpengaruh terhadap karakteristik nyala api difusi, terutama terhadap luas daerah api bercahaya kuning yang terbentuk di sisi aliran bahan bakar. Luas daerah warna api kuning menurun sedikit demi sedikit dengan meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam bahan bakar.
2. Pada konsentrasi oksigen yang relatif kecil, kandungan CO<sub>2</sub> tidak berpengaruh terhadap dimensi api counterflow yang terjadi. Lebar api difusi lebih dipengaruhi oleh besar kecilnya konsentrasi oksigen dalam pengoksidasi.

3. Pada kondisi campuran kaya bahan bakar, kestabilan api difusi tidak banyak dipengaruhi oleh kandungan CO<sub>2</sub> dalam bahan bakar, tetapi lebih dipengaruhi oleh laju difusi antara bahan bakar dan oksigen. Oleh Karena itu, pembakaran biogas lebih disarankan berlangsung pada kondisi yang kaya bahan bakar.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Porpatham, E., Ramesh, A., Nagalingam, B., *Investigation on the Effect of Concentration of Methane in Biogas when Used as a Fuel for a Spark Ignition Engine*, Journal of Fuel, Vol.87, Issue 8-9, 2008, p. 1651-1659
2. Yoon, S.H., Lee, C.S., *Experimental Investigation on the Combustion and Exhaust Emission Characteristics of Biogas-Biodiesel Dual-fuel Combustion in a CI engine*, Journal of Fuel Processing Technology, Vol. 92, Issue 5, 2011, p. 992-1000
3. Karim, G.A., Hanafi, A. S., Zhou, G., *A kinetic Investigation of the Oxidation of Low Heating Value Fuel Mixtures of Methane and Diluents*, Journal of Emerging Energy Technology, Vol 41, 1992, page 103.
4. Karim, G.A., Hanafi, A. S., *An Analytical Examination of the Partial Oxidation of Rich Mixtures of Methane and a Oxygen*, Journal of Fossil Fuel Combustion, Vol 33, 1991, page 127.
5. Chen, S., Zheng, C., *Counterflow Diffusion Flame of Hydrogen Enriched Biogas under Mild Oxy-fuel Condition*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 36, Issue 23, 2011, p. 15403-15413
6. Li, S.C., *Spray Stagnation Flames*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 23, 1997, p. 303-347. Mikami, M., Miyamoto, S., Kojima, N., *Counterflow Diffusion Flame with Polydisperse Sprays*, Proceedings of the Combustion Institute vol. 29, 2002, p. 593-599.
7. Tsuji, H., *Counterflow Diffusion Flames*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 8, 1982, p. 93-119.
8. Sasongko, M.N., Mikami, M., Dvorjetski, *Extinction Condition of Counterflow Diffusion Flame with Polydisperse Water Spray*, Journal Of Proceedings of Combustion Institute, Vol. 33, Issue 2, 2011, p. 2555-2562