

PENGARUH GAS NITROGEN PADA KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN EKSTERNAL *PREMIXED* METANA

Kenny Purnomo¹⁾, Willyanto Anggono²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : kennypurnomo@hotmail.com¹⁾, willy@petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Biogas, mengandung lebih dari 50% metana (CH₄), merupakan sebuah bahan bakar ramah lingkungan dan terbarukan yang dihasilkan oleh aktivitas bakteri. Tidak hanya mengandung bahan bakar, biogas juga mengandung beberapa zat pengotor (inhibitors) seperti karbon dioksida dan nitrogen, juga sejumlah kecil beberapa zat seperti H₂, O₂, H₂S, dll. Beberapa penelitian terkait telah dilakukan dengan tujuan menganalisa karakteristik pembakaran biogas. Flame angle, flame height, dan dimensionless flame height adalah karakteristik penting dalam pembakaran eksternal. Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisa pengaruh N₂, yang merupakan pengotor kedua terbanyak di biogas, dengan membakar campuran stoikiometri (CH₄ and N₂ (0%-50% dari bahan bakar)) dan oksigen pada pembakar (burner) uji dengan diameter mulut (nozzle) 5 mm. Pembakar ini disambungkan dengan sebuah selang dari tangki oksigen dan sebuah selang lain dari tangki bahan bakar. Regulator dan flowmeter dipasangkan dengan masing-masing tangki untuk mengamati jumlah aliran menuju pembakar. Katub-katub (valves) digunakan untuk menutup atau membuka aliran fluida. Propagasi api yang dihasilkan kemudian direkam menggunakan high speed camera lalu diproses melalui sistem computer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa N₂ berpengaruh pada flame angle, flame height dan dimensionless flame height. Semakin tinggi konsentrasi N₂ di dalam bahan bakar, semakin pendek flame height dan semakin kecil dimensionless flame height. Lebih lagi, menambahkan konsentrasi N₂ menghasilkan flame angle lebih besar.

Kata kunci: metana, biogas, nitrogen, pembakaran eksternal, energi terbarukan, karakteristik api

1. Pendahuluan

Sebuah penelitian yang berfokus pada efek karbon dioksida sebagai pengotor dalam pembakaran metana murni dilakukan dengan memanfaatkan pembakar yang tersusun dari stainless mess. Percobaan ini menggunakan sebuah nozzle untuk membakar campuran bahan bakar, lalu karakteristik api dianalisa menggunakan rumus laminar burning velocity [1-3].

Banyak penelitian dan percobaan sudah dilakukan dalam bidang pembakaran gas alam dan telah menguji efek *air fuel ratio* (AFR) pada karakteristik pembakaran LPG dan metana [4-7]. Selain itu, pada sebuah *combustion bomb* volum konstan, karakteristik pembakaran dan propagasi api bahan bakar yang mengandung metana dan udara dipelajari dengan cara menganalisa gambar propagasi api setiap *equivalence ratio* nitrogen terhadap bahan bakar. Juga, pengaruh tekanan awal pada karakteristik pembakaran, termasuk propagasi api, dipelajari oleh beberapa peneliti. Diketahui bahwa jika fraksi masa nitrogen dalam bahan bakar melebihi 20%, propagasi api akan menjadi labil dan mudah padam [8].

Sebuah percobaan menggunakan *coaxial burner* menunjukkan bahwa ketiadaan nitrogen atau karbon dioksida dalam propana-oksigen menghasilkan warna api biru terang. Semakin tinggi konsentrasi kedua

pengotor, semakin redup dan mengkunging warna api yang dihasilkan. Dengan menambahkan konsentrasi nitrogen atau karbon dioksida dalam bahan bakar, api akan tidak stabil karena terjadi *lift-off* dan *blow-out* [9].

Penelitian lain menggunakan pembakar berbeda dan salah satunya menggunakan *porous radiant burner*, yang sangat sering digunakan untuk membakar LPG, untuk menganalisa karakteristik api, emisi dan efisiensi termal. Peneliti lain menemukan bahwa api yang dihasilkan oleh *McKenna Burner*, dibandingkan dengan *burner* lain, adalah api datar dan menyebabkan distribusi temperatur menjadi rata [10,11].

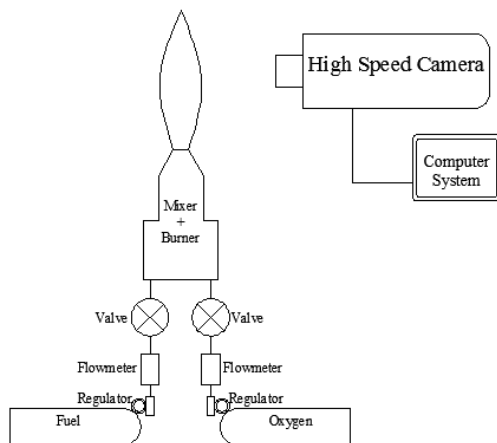
Biogas merupakan sebuah bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan yang didapatkan dari kotoran makhluk hidup dan sebagian besar tersusun atas metana (35%-65%). Biogas juga mengandung pengotor seperti karbon dioksida dan nitrogen, diikuti sejumlah kecil H₂, O₂, dan H₂S. Komposisi biogas ini sangat tergantung pada asal biogas itu sendiri. Metana merupakan komponen organik yang mudah terbakar, sedangkan karbon dioksida dan nitrogen adalah gas *inert*, yang berarti tidak bereaksi pada proses pembakaran. Selain itu, nilai kalor biogas sangat bergantung pada banyaknya metana di dalamnya [12-16].

Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisa pengaruh N₂, yang merupakan pengotor kedua terbanyak

di biogas, dengan membakar campuran stoikiometri (CH_4 and N_2 (0%-50% dari bahan bakar)) dan oksigen pada pembakar (*burner*) uji dengan diameter mulut (*nozzle*) 5 mm. Pembakar ini disambungkan dengan sebuah selang dari tangki oksigen dan sebuah selang lain dari tangki bahan bakar. *Regulator* dan *flowmeter* dipasangkan dengan masing-masing tangki untuk mengamati jumlah aliran menuju pembakar (*burner*). Katub-katub (*valves*) digunakan untuk menutup atau membuka aliran fluida. Propagasi api yang dihasilkan kemudian direkam menggunakan *high speed camera* lalu diproses melalui sistem komputer.

2. Metode Penelitian

Percobaan dilakukan di Laboratorium Fluida, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia. Variabel pada percobaan ini adalah konsentrasi nitrogen dalam bahan bakar (campuran $\text{CH}_4\text{-N}_2$), yang ditetapkan sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% berturut-turut. Setiap konsentrasi bahan bakar disimpan didalam sebuah tangki. Detail dari skema percobaan disajikan pada Gambar. 1.



Gambar. 1. Skema Percobaan.

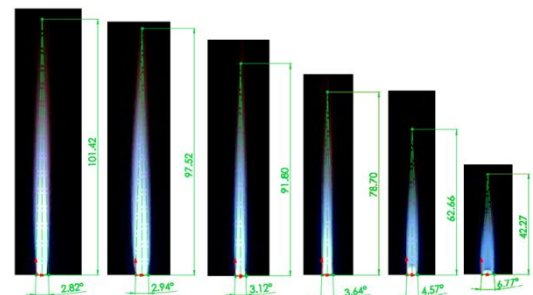
Semua peralatan yang dibutuhkan digambarkan pada Gambar. 1. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh nitrogen, pengotor kedua terbanyak di biogas, pada pembakaran eksternal *premixed* biogas. Penelitian dilakukan dengan membakar campuran stoikiometri (campuran $\text{CH}_4\text{-N}_2$ dengan konsentrasi 0-50%) dan oksigen yang keduanya ini dialirkan melalui sebuah pembakar (*burner*) dengan diameter *nozzle* (d) 5 mm. Pembakar dihubungkan dengan sebuah selang dari tangki oksigen dan sebuah selang lain dari tangki campuran bahan bakar. Sebuah komputer dimanfaatkan untuk menganalisa gambar-gambar yang sudah ditangkap *high speed camera*. Dua buah *regulator* dan *flowmeters* dipasang pada setiap tangki untuk memonitor aliran gas yang disalurkan menuju pembakar. Kran-kran dipakai untuk membuka atau menutup aliran fluida.

Pada proses percobaan, setiap campuran bahan bakar dan oksigen mengalir bersamaan menuju pembakar yang kemudian dipicu dengan pemantik

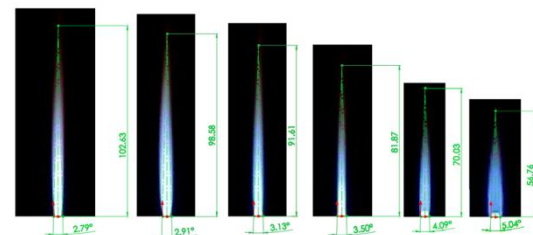
setelah 10 detik mengalir. Kedua *flowmeter* juga dicek agar tetap menghasilkan laju aliran volum stoikiometri. Kamera kecepatan tinggi dipakai untuk merekam api yang dihasilkan. Langkah-langkah yang sama diulang kembali untuk setiap konsentrasi nitrogen yang lain. Percobaan dilakukan pada suhu ruangan dan tekanan atmosfer.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar-gambar api pada replikasi pertama yang sudah ditangkap, dijadikan satu, Gambar. 2. Untuk replikasi ke-2, gambar disajikan pada Gambar. 3. Catatan: *dimensionless flame height* merupakan parameter bebas yang didapat dari hasil bagi antara *flame height*, H , dengan diameter *nozzle*, d (5 mm).



Gambar. 2. Gambar-gambar Api Pembakaran Replikasi Pertama pada Berbagai Konsentrasi Nitrogen (0-50%).



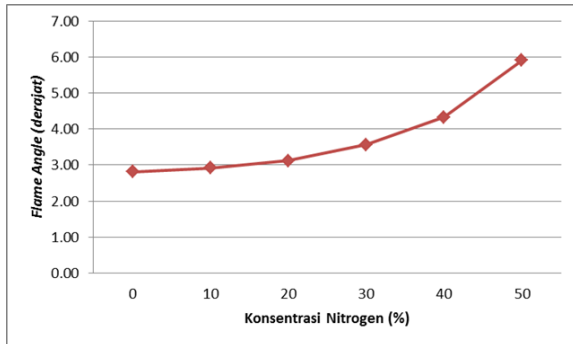
Gambar. 3. Gambar-gambar Api Pembakaran Replikasi Kedua pada Berbagai Konsentrasi Nitrogen (0-50%).

Tabel. 1. Rata-rata Data Hasil Eksperimen.

Konsentrasi N_2 dalam %	<i>Flame Angle</i> (θ) dalam derajat	<i>Flame Height</i> (H) dalam mm	<i>Dimensionless Flame Height</i> (H/d)
0	2,81	102,03	20,41
10	2,92	98,05	19,61
20	3,12	91,71	18,34
30	3,57	80,29	16,06
40	4,33	66,35	13,27
50	5,91	49,52	9,90

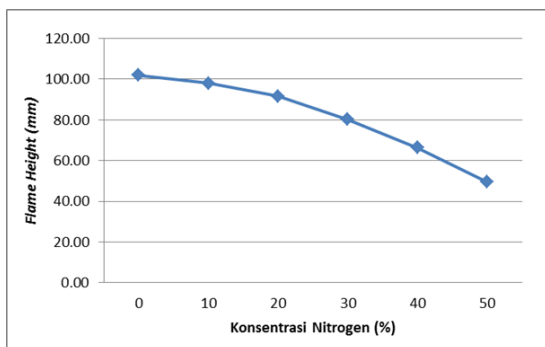
Kesimpulan yang dapat diambil adalah besarnya pengaruh nitrogen pada proses pembakaran metana. Semakin besar konsentrasi nitrogen, semakin pendek *flame height* dan semakin kecil nilai *dimensionless flame height*.

Lebih lanjut, menambahkan konsentrasi nitrogen membuat *flame angle* semakin besar. Gambar. 4 sampai 6 di bawah menunjukkan grafik rata-rata (replikasi pertama dan kedua) dari *flame angle*, *flame height*, dan *dimensionless flame height*.



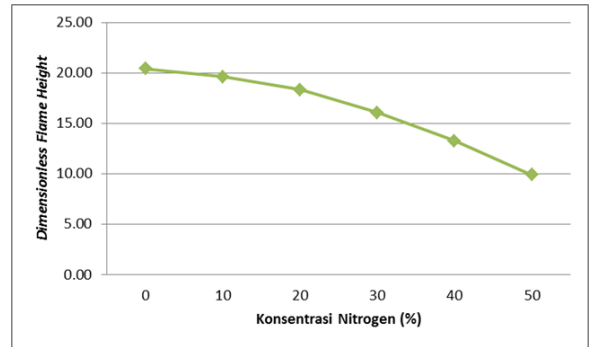
Gambar. 4. Grafik Rata-rata Hubungan antara *Flame Angle* dan Konsentrasi Nitrogen.

Perbedaan besar muncul diantara konsentrasi nitrogen 40% dan 50%, yang dapat dilihat pada Gambar. 4.3. Campuran dengan 50% nitrogen menghasilkan *flame angle* sebesar 5,91 derajat, dan campuran 40% nitrogen menghasilkan *flame angle* 4,33 derajat. perbedaannya adalah 1,58 derajat, diikuti dengan 0,76, 0,45, 0,20, 0,11 derajat perbedaan, yang berturut-turut dihasilkan oleh konsentrasi 30%-40%, 20%-30%, 10%-20%, 0-10% nitrogen. Perbedaan terkecil muncul diantara konsentrasi 0 dan 10% nitrogen.



Gambar. 5. Grafik Rata-rata Hubungan antara *Flame Height* dan Konsentrasi Nitrogen.

Grafik *flame height* pada Gambar. 4.4, cenderung untuk turun dengan meningkatnya konsentrasi nitrogen. Sama dengan kasus *flame angle*, perbedaan terbesar, 16,83 mm, muncul diantara 40% dan 50% nitrogen. Perbedaan diikuti oleh 13,94 mm, 11,42 mm, 6,34 mm, dan 3,98 mm, dimana perbedaan itu dihasilkan berturut-turut oleh 30%-40%, 20%-30%, 10%-20%, 0-10% nitrogen.



Gambar. 6. Grafik Rata-rata Hubungan antara *Dimensionless Flame Height* dan Konsentrasi Nitrogen.

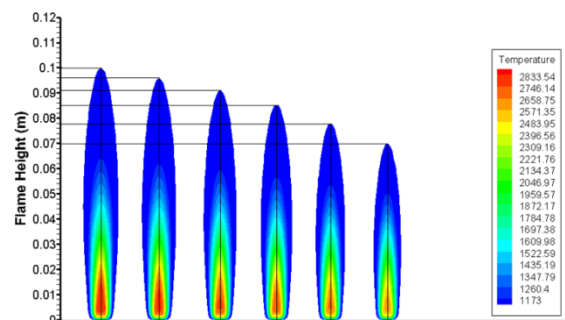
Grafik *dimensionless flame height* cenderung untuk turun, Gambar. 4.5, semakin meningkatnya konsentrasi nitrogen dalam campuran. Perbedaan terbesar, 3,37, muncul diantara 40% dan 50% nitrogen. Perbedaan diikuti oleh 2,79, 2,28, 1,27, 0,80, dimana perbedaan itu dihasilkan berturut-turut oleh 30%-40%, 20%-30%, 10%-20%, 0-10% nitrogen.

Semua data di atas menunjukkan bahwa nitrogen mempengaruhi *flame angle*, *flame height*, dan *dimensionless flame Height*. Semakin tinggi konsentrasi nitrogen di dalam campuran, semakin pendek *flame height* dan semakin kecil angka *dimensionless flame height*. lebih lagi, menambahkan konsentrasi nitrogen akan menaikkan *flame angle*.

Karena tujuan penelitian ini adalah memvalidasi simulasi dengan percobaan maka ketinggian api (*flame height*) dari hasil percobaan harus dibandingkan dengan ketinggian api (*flame height*) hasil simulasi. *Flame angle* merupakan parameter *dependent* terhadap *flame height*, sehingga dengan mengetahui *flame height*, *flame angle* dapat dihitung. Jadi, parameter yang ditekankan pada simulasi adalah *flame height*.

Karena FLUENT tidak bisa menempatkan hasil kontur pada diagram kartesius, dibutuhkan program lain. Program yang digunakan untuk membandingkan ketinggian api dengan menempatkan hasil kontur pada diagram kartesius adalah TECPLOT 360 2010.

File .cas dan *.dat* dari FLUENT dibuka di TECPLOT 360 2010. Program TECPLOT mampu menampilkan hasil kontur dengan sumbu X dan Y beserta legenda dari kontur. Gambar. 7 menampilkan hasil kontur temperatur dari konsentrasi 0 sampai 50% nitrogen.



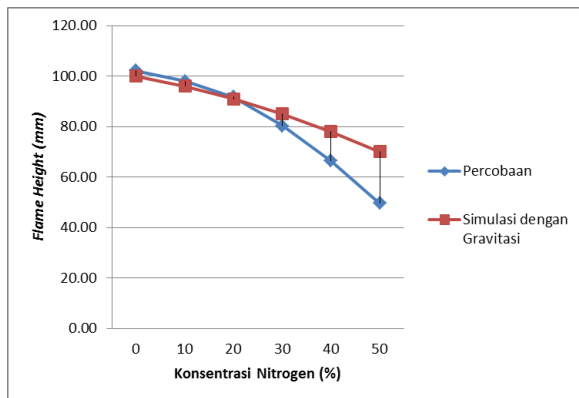
Gambar. 7. Kontur Temperatur Berbagai Konsentrasi Nitrogen (0-50%) dengan Gravitasi.

Tabel. 2 menunjukkan perbandingan *flame height* hasil percobaan dan simulasi dengan gravitasi.

Tabel. 2. Data Perbandingan *Flame Height* Percobaan dan Simulasi dengan Gravitasi.

Konsentrasi Nitrogen dalam %	Hasil Percobaan dalam mm	Hasil Simulasi dalam mm
0	102,03	100
10	98,05	96
20	91,71	91
30	80,29	85
40	66,35	78
50	49,52	70

Gambar. 8 menunjukkan grafik perbandingan *flame height* percobaan dan simulasi dengan gravitasi. Dapat dilihat bahwa kecenderungan simulasi dan percobaan merupakan kecenderungan *polynomial*.



Gambar. 8. Grafik Perbandingan *Flame Height* Percobaan dan Simulasi dengan Gravitasi.

Tabel. 3 menunjukkan perbandingan *flame angle* hasil percobaan dan simulasi dengan gravitasi. *Flame angle* dihitung dengan persamaan :

$$\theta = 2 \times \left(\arctan \frac{r}{H} \right) \quad (1)$$

dimana

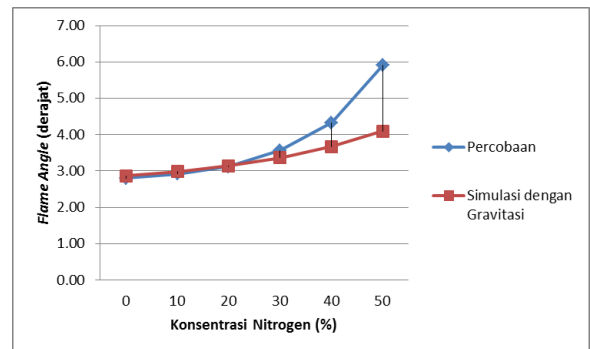
r adalah radius *nozzle* (2.5 mm)

H adalah *flame height*

Tabel. 3. Data Perbandingan *Flame Angle* Percobaan dan Simulasi dengan Gravitasi.

Konsentrasi Nitrogen dalam %	Hasil Percobaan dalam mm	Hasil Simulasi dalam mm
0	2,81	2,86
10	2,92	2,98
20	3,12	3,15
30	3,57	3,37
40	4,33	3,67
50	5,91	4,09

Gambar. 9 menunjukkan grafik perbandingan *flame angle* percobaan dan simulasi dengan gravitasi. Kecenderungan keduanya menunjukkan kecenderungan *polynomial*.



Gambar. 9. Grafik Perbandingan *Flame Angle* Percobaan dan Simulasi dengan Gravitasi.

4. Kesimpulan

Dari data dan analisa pada bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan. Semakin besar konsentrasi nitrogen dalam bahan bakar, semakin besar sudut api (*flame angle*). Hal ini dibuktikan dengan diperolehnya sudut api hasil percobaan senilai 2,81 derajat untuk bahan bakar 0% nitrogen dan 5,91 derajat untuk bahan bakar 50% nitrogen. Selain itu, bukti diperkuat dengan hasil simulasi yang menunjukkan sudut api 2,86 derajat untuk bahan bakar 0% nitrogen dan 4,09 derajat untuk bahan bakar 50% nitrogen.

Di sisi lain, semakin besar konsentrasi nitrogen dalam bahan bakar, semakin kecil tinggi api (*flame height*). Pada percobaan didapatkan angka ketinggian api 102,03 mm untuk bahan bakar 0% nitrogen dan 49,52 mm untuk bahan bakar 50% nitrogen. Bukti diperkuat juga dari hasil simulasi yang menunjukkan nilai ketinggian api 100 mm untuk bahan bakar 0% nitrogen dan 70 mm untuk bahan bakar 50% nitrogen.

Lebih lagi, peran gravitasi tidak dapat diabaikan pada proses pembakaran. Terutama pada bahan bakar dengan konsentrasi nitrogen tinggi (tinggi api akan jauh lebih rendah daripada tinggi api tanpa gravitasi).

Pada proses pembakaran aktual, pengaruh *air entrainment* selalu ada. Hal ini menyebabkan adanya perbedaan hasil percobaan dan simulasi.

5. Daftar Pustaka

1. Kobayashi, H., Hagiwara, H., Kaneko, H. & Ogami, Y. (2007). Effects of CO₂ dilution on turbulent premixed flames at high pressure and high temperature. *Proceedings of the Combustion Institute*. 31, 1451–1458.
2. Kobayashi, H., Seyama, K., Hagiwara, H. & Ogami, Y. (2005). Burning velocity correlation of methane/air turbulent premixed flames at high temperature and high pressure. *Proceedings of the Combustion Institute*. 30, 827–834.
3. Kobayashi, H. (2002). Experimental study of high pressure turbulent premixed flames. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 26, 375-387.
4. Chen, X., Zhang, Y. & Zhang, Y. (2012). Effects of CH₄-Air ratios on gas explosion flame microstructure and propagation behaviour. *Energies*. 5, 4132-4146.
5. César, C., Amell, A. & Burbano, H. (2013). Laminar burning velocity of natural gas/syngas-air mixture. *Dyna*. 80, 136-143.
6. Saroso, H., Wardana, I. N. G., Soenoko, R. & Hamidi, N. (2013). Burning characteristics of coconut vapor-air mixtures at premixed combustion. *Advanced Studies in Theoretical Physics*. 7, 941.
7. Muthukumar, P., Anand, P. & Sachdeva, P. (2011). Performance analysis of porous radiant burner used in LPG cooking stove. *International Journal of Energy and Environment*. 2, 367-374.
8. Liang, Y., Zeng, W. & Hu, E. (2013). Experimental study of the effect of nitrogen addition on gas explosion. *Journal of Prevention in The Process Industries*. 26, 1-9.
9. Kashir, B. et al. (2012). Experimental study on propane/oxygen and natural gas/oxygen laminar diffusion flames in diluting and preheating conditions. *Thermal Science*. 16, 1043-1053.
10. Migliorini, F., De Iulii, S., Cignoli, F. & Zizak, G. (2008). How “flat” is the rich premixed flame produced by your McKenna burner. *Combustion and Flame*. 153, 384–393.
11. Wu, C. Y., Chen, K. H. & Yang, S. Y. (2014). Experimental study of porous metal burners for domestic stove applications. *Energy Conversion and Management*. 77, 380-388.
12. Anggono, W. et al. (2012). Laminar burning characteristics of biogas-air mixtures in spark ignited premix combustion. *Journal of Applied Sciences Research*. 8, 4126-4132.
13. Anggono, W. et al. (2013). Laminar burning velocity and flammability characteristics of biogas-air mixtures in spark ignited premix combustion. *Journal of Physics Conference Series*. 423, 1-7.
14. Anggono, W. et al. (2013). Laminar burning velocity and flammability characteristics of biogas in spark ignited premix combustion at reduced pressure. *Applied Mechanics and Materials*. 376, 79-85.
15. Anggono, W., Suprianto, F. D., Wijaya, T. P. & Tanoto, M. S. (2014). Behavior of flame propagation in biogas spark ignited premix combustion with carbon dioxide inhibitor. *Advanced Materials Research*. 1044-1045, 251-254.
16. Anggono, W., Wardana, I. N. G., Lawes, M. & Hughes, K. J. (2014). Effect of Inhibitors on biogas laminar burning velocity and flammability limits in spark ignited premix combustion. *International Journal of Engineering and Technology*. 5, 4980-4987.