

FLAMMABILITY LIMIT GAS LPG DAN UDARA PADA CYLINDRICAL MESO-SCALE COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION

Puranggo Ganja Widtyo¹, Digdo Listyadi Setyawan¹, Gaguk Jatisukamto¹,
Rachmad Dwi Fitriansyah²

¹Staf Pengajar Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

²Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

E-mail : ganjarwidi.teknik@unej.ac.id

Naskah diterima: 28 Nopember 2017 ; Naskah disetujui: 28 Desember 2017

ABSTRAK

Nyala api pada sebuah combustor skala meso mempunyai batas nyala yang berbeda sesuai dengan jenis bahan bakar, debit bahan bakar dan udara serta geometri combustor. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti batas nyala api (*flammability limit*) pada combustor skala meso dengan *sudden expansion*. Alat penelitian yang digunakan adalah combustor dengan diameter dalam inlet 4,5 mm, diameter dalam *sudden expansion* 6 mm dan panjang saluran *sudden expansion* 20 mm, mixer dan pisco tube serta dengan jenis bahan bakar LPG mix. Parameter penelitian meliputi debit bahan bakar dan debit udara dimana debit bahan bakar dan udara pada combustor dicari titik terendah dan tertinggi untuk mampu nyala. Data debit bahan bakar dan udara tersebut digunakan untuk membuat grafik *flammability limit* yang merupakan hubungan dari rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan. Hasil penelitian menunjukkan rasio ekuivalen terendah pada angka $\phi = 0,80$ dengan kecepatan reaktan $V = 12$ cm/s dan rasio ekuivalen tertinggi $\phi = 1,09$ dengan kecepatan reaktan $V = 17,98$ cm/s. Batas kecepatan reaktan tertinggi $V = 19,84$ cm/s dan batas kecepatan terendah $V = 11,57$ cm/s. Grafik *flammability limit* yang terbentuk pada combustor dengan diameter dalam saluran *sudden expansion* 6 mm yang menggunakan bahan bakar gas LPG berada pada zona cenderung miskin, karena mempunyai rentang rasio ekuivalen dari $\phi = 0,80$ sampai $\phi = 1,09$.

Kata Kunci: *Flammability limit, Meso-scale Combustor, Sudden expansion*

PENDAHULUAN

Teknologi skala mikro berkembang sangat pesat di dunia. Sumber energi berskala mikro tidak dapat dihindari lagi. Untuk menanggulangi ketergantungan terhadap penggunaan baterai, maka dikembangkan suatu sumber energi mikro berbasis *microcombustion* yang disebut *micropower generator* (MPG). Pilihan tersebut diambil karena bahan bakar hidrokarbon memiliki densitas energi jauh lebih tinggi daripada densitas energi pada baterai. Dengan perbandingan ~40-45 MJ/kg untuk hidrokarbon dan ~1,2 MJ/kg untuk baterai (Li- ion) [1].

Batas nyala api atau yang biasa disebut *flammability limit* adalah kondisi kritis (miskin atau kaya suatu konsentrasi campuran bahan bakar) pada proses pembakaran [2].

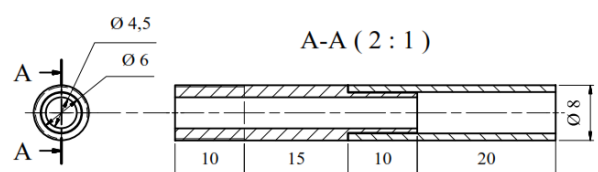
Pengetahuan tentang batas nyala api pada proses pembakaran sangat penting untuk pengembangan teknologi pembakaran yang bersih. Batas nyala api pada aliran yang tinggi telah dilakukan penelitian sebelumnya secara teori dan eksperimen [3]. Proses pembakaran mempunyai batas nyala api tergantung pada jenis bahan bakar dan oksidatornya seperti metana dan propana mempunyai kondisi campuran kaya dan miskin yang berbeda. Pengujian yang dilakukan juga menggunakan

metode yang berbeda seperti kecepatan persebaran api. *Flammability limit* akan memudahkan peneliti untuk mendapatkan rentang nyala api yang stabil dan letak api yang tidak stabil [4].

Penelitian ini akan dilakukan pengamatan terhadap *flammability limit* gas LPG dan udara pada combustor dengan diameter dalam outlet 6 mm dengan saluran *sudden expansion* sepanjang 20 mm.

METODOLOGI

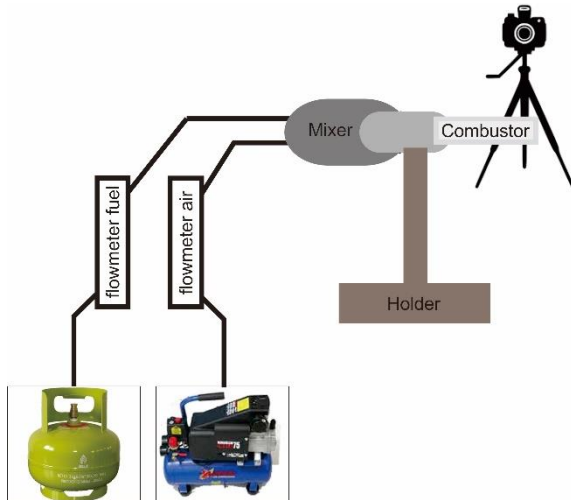
Penelitian ini menggunakan *combustor* dari bahan tembaga untuk inlet dan kaca PYREX untuk outlet. Diameter dalam inlet (d_{in}) *combustor* 4,5 mm sedangkan diameter dalam outlet (d_{out}) 6 mm. Panjang total *combustor* 55 mm dengan rincian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Meso-scale combustor dengan sudden

expansion

Bahan bakar yang digunakan adalah LPG Pertamina dengan udara sebagai oksidator dari kompresor dengan tekanan tetap 1,1 bar. Bahan bakar dan udara dihubungkan dengan *flowmeter* menggunakan *pisco tube*, *flowmeter* yang digunakan adalah Kofloc RK-1250. *Combustor holder* digunakan untuk menyangga *combustor* selama penelitian. Nyala api dalam *combustor* akan direkam menggunakan kamera dengan jarak dari *combustor* 30 cm. Skema peralatan dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2 Skema peralatan penelitian

Metode Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini yang pertama adalah mencari *flammability limit* dengan mencari dan mencatat debit bahan bakar (Q_f) dan udara (Q_a) yang mampu nyala selama 3 menit. Debit bahan bakar terendah untuk mampu nyala ditentukan, kemudian mencari debit udara terendah setelah itu *flowmeter* udara digeser naik untuk mendapatkan debit udara tertinggi sampai api dalam kondisi padam. Kondisi tersebut dilakukan sampai dengan variasi debit bahan bakar yang ditentukan. Data debit bahan bakar dan udara dapat dijadikan rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan dengan perhitungan.

$$\text{Air-fuel ratio} \quad AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{M_a N_a}{M_f N_f} \quad (1)$$

$$AFR_{\text{stoikiometri}} = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} = \frac{N \times M_r \text{ udara}}{N \times M_r \text{ Bahan Bakar}}$$

$$\text{Rasio ekuivalen} \quad \Phi = \frac{(AFR)_{\text{stoikiometri}}}{(AFR)_{\text{aktual}}} \quad (2)$$

Kecepatan reaktan

$$V_{\text{total}} (\text{minimal}) = \frac{Q_f(\text{vapor}) + Q_a(\text{min})}{\frac{60}{(3,14 \times r^2)}} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil variasi komposisi debit bahan bakar dan debit udara disajikan dalam Tabel 1.

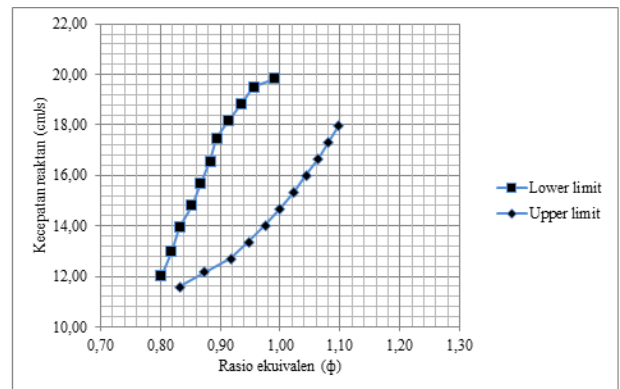
Tabel 1. Data komposisi debit bahan bakar dan debit udara

No	Q_f (ml/min)	Q_a (ml/min)	
		Q_a minimal	Q_a maksimal
1	5,79	190,5	198
2	6,39	200	213
3	6,99	208,5	229,6
4	7,58	219	243,3
5	8,18	229,6	258
6	8,77	240,2	272
7	9,37	250,8	287
8	9,97	261,3	298,3
9	10,56	272	309
10	11,16	282,4	319,4
11	11,75	293	324,7

Debit bahan bakar terendah mampu nyala pada combustor dengan saluran sudden expansion 6 mm adalah $Q_f = 5,79$ ml/min dengan debit udara minimal $Q_{a \text{ min}} = 190,5$ ml/min dan debit udara maksimal $Q_{a \text{ max}} = 198$ ml/min. Debit bahan bakar tertinggi yang teramati adalah $Q_f = 11,75$ ml/min dengan debit udara minimal $Q_{a \text{ min}} = 293$ ml/min dan debit udara maksimal $Q_{a \text{ max}} = 324,7$ ml/min.

1. Flammability Limit

Grafik *flammability limit* merupakan grafik hubungan rasio ekuivalen dengan kecepatan reaktan (cm/s) yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik *flammability limit*

Grafik diatas menunjukkan rasio ekuivalen terendah terdapat pada nilai 0,80 dengan kecepatan reaktan sebesar 12,01 cm/s. Titik rasio ekuivalen tertinggi

terdapat pada nilai 1.09 dengan kecepatan reaktan 17,98 cm/s, apabila komposisi debit diatur kurang dari rasio ekuivalen 0,80 dan lebih dari rasio ekuivalen 1,09 maka api akan padam. Grafik *flammability limit* diatas menunjukkan bahwa proses pembakaran berada paa campuran yang cenderung miskin.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa grafik *flammability* terbentuk pada rentang $\phi = 0,80$ sampai $\phi = 1,09$. Kecepatan reaktan terendah pada angka $V = 11,58$ cm/s dan kecepatan reaktan tertinggi pada angka $V = 19,85$ cm/s. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pembakaran terjadi pada kondisi campuran yang cenderung miskin namun mendekati stoikiometri $\phi = 1$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fernandez, C., dan Pello. 2002. Micropower Generation Using Combustion: Issues and Approaches. *Proceedings of the Combustion Institute* 29. 883-899.
- [2] Ju, Y., dan K. Maruta. 2011. Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37: 669-715.
- [3] Mokrin, S.N., E.S. Odintsov, G.V. Uriupin, T. Tezuka, S.S. Minaev, dan K. Maruta. 2017. Flammability limit of moderate and low stretched premixed flame stabilized in planar channel. *Combustion and Flame*. 185: 261 – 264.
- [4] Ishizuka, S., dan C.K. Law. 1982. An experimental study on extinction and stability of stretched premixed flame. *Nineteenth Symposium (international) on Combustio*. 327-33