

PENGARUH RASIO EKUIVALEN TERHADAP TRAVELING SPEED STATIONARY FLAME PADA MESO-SCALE COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION

Rachmad Dwi Fitriansyah¹, Digdo Listyadi Setyawan², Gaguk Jatisukanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl Kalimantan 37, Jember, 68121

e-mail : rachmaddwifitriansyah@gmail.com

ABSTRACT

The flame on a meso scale combustor has different stability and speed levels according to the regime flame and its characteristics. This study aims to examine the effect of the equivalent ratio of LPG and air gas to the traveling speed stationary flame on a meso combustor with a sudden expansion. The research tool used is a combustor with a diameter of a sudden expansion of 6 mm and a length of 20 mm expansion, mixer and pisco tube channels. The research parameters include fuel discharge, air discharge and flame regime where the fuel and air discharge is varied to get the regime flame and its characteristics are traveling speed. Flame regime visualization by photo flame of video cut off per frame and then processed using video editing software to get traveling speed. The results showed that the observed stationary flame was stationary asymmetric downward at the equivalent ratio $\phi = 0.82$ and $\phi = 0.86$ and stationary symmetric in the equivalent ratio $\phi = 0.90$ and $\phi = 0.95$. The lowest equivalent ratio $\phi = 0.82$ has traveling speed $\tilde{V} = 4.41 \text{ cm / s}$, and the highest equivalent ratio $\phi = 0.95$ has a traveling speed $\tilde{V} = 16.68 \text{ cm / s}$. The equivalent ratio $\phi = 0.82$ to $\phi = 0.95$ in the stationary regime flame shows that the higher the equivalence ratio, the traveling speed also increases with the number reaching 16.68 cm / s.

Keywords: Meso-scale combustor, traveling speed, stationary flame, sudden expansion,

PENDAHULUAN

Perangkat dengan teknologi nano dan mikro dengan sumber energi melalui proses pembakaran diharapkan tahan lama, ringan dan mampu memberikan tenaga dari beberapa miliwatt ke ratusan watt. Baterai merupakan sumber energi portable yang sering digunakan pada ponsel, kamera dan laptop, namun baterai mempunyai kepadatan energi yang rendah dan beberapa jam untuk isi ulang [2].

Bahan bakar hidrokarbon mempunyai kepadatan energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan baterai sebagai sumber energi. Pembakaran bahan bakar dan oksidator dapat diaplikasikan pada pembangkit energi mikro dengan mengkonversi energi panas pada proses pembakaran menjadi energi listrik [4]. *Micro-thermophotovoltaic* merupakan sistem pembangkit energi yang menggunakan sel *photovoltaic* yang mengubah radiasi panas dari proses pembakaran dari bahan bakar menjadi listrik [6]. Komponen *micro-thermophotovoltaic* terdiri dari tiga komponen: sumber panas, selektif *emitter* (yang merupakan dinding *micro combustor*) dan susunan sel *photovoltaic*. Selektif *emitter* atau bisa disebut *meso-scale combustor wall* berfungsi untuk mengubah panas pembakaran menjadi radiasi panas yang nantinya akan ditangkap sel *photovoltaic*. *Sudden expansion* yang diaplikasikan dalam

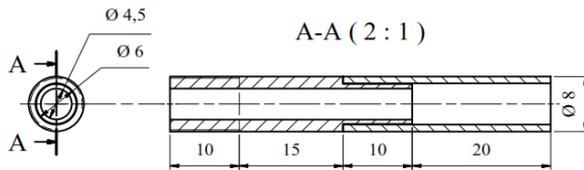
combustor akan meningkatkan pencampuran bahan bakar dengan udara dan mengontrol posisi nyala api dan memperluas jarak operasional kecepatan aliran dan rasio H₂/ udara [5].

Rasio ekuivalen mempunyai pengaruh terhadap *flame regime* dan *traveling speed* pada *combustor* dengan diameter dalam 5 mm. Hasil penelitian menunjukkan tujuh *flame regime* yang teramati dan karakteristiknya. Rasio ekuivalen juga berpengaruh terhadap *traveling speed*, kenaikan rasio ekuivalen akan menurunkan *traveling speed*. Selain itu, kenaikan kecepatan aliran juga menaikkan *traveling speed* pada pembakaran *meso-combustion* [1].

Penelitian ini akan dilakukan pengamatan pengaruh rasio ekuivalen terhadap *flame regime stationary* dan *traveling speed* pada *combustor* dengan diameter dalam outlet 6 mm dengan saluran *sudden expansion* sepanjang 20 mm.

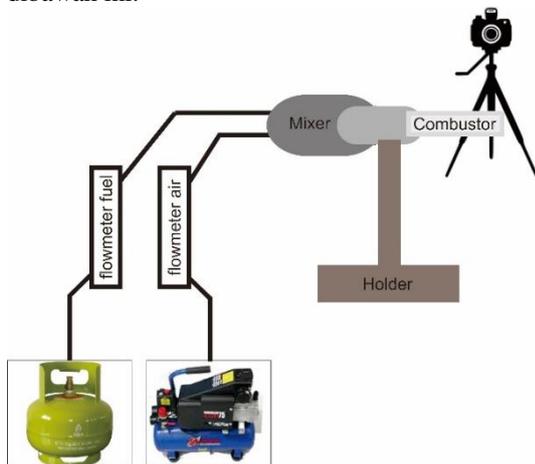
METODE PENELITIAN

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 cara mencari dan mencatat debit bahan bakar (Q_f) dan udara (Q_a) yang mampu nyala selama 3 menit. Variasi rasio ekuivalen ditentukan berdasarkan range *flammability limit*, selanjutnya diubah ke kondisi debit bahan bakar dan udara dengan perhitungan. Data debit bahan bakar dan udara ini yang akan diterapkan ke *flowmeter* untuk mendapatkan nyala api pada *combustor*. Visualisasi nyala api direkam menggunakan kamera Nikon D5100 yang selanjutnya diolah menggunakan software editing Adobe Premier Pro Cs 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

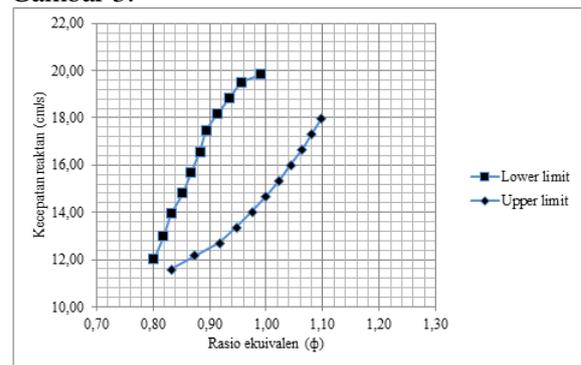
Hasil variasi komposisi debit bahan bakar dan debit udara disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data komposisi debit bahan bakar dan debit udara

No	Q_f (ml/min)	Q_a (ml/min)	
		$Q_{a\text{ minimal}}$	$Q_{a\text{ maksimal}}$
1	5,79	191	198
2	6,39	200	213
3	6,99	208	230
4	7,58	219	243
5	8,18	230	258
6	8,77	240	272
7	9,37	251	287
8	9,97	261	298
9	10,56	272	309
10	11,16	282	319
11	11,75	293	325

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

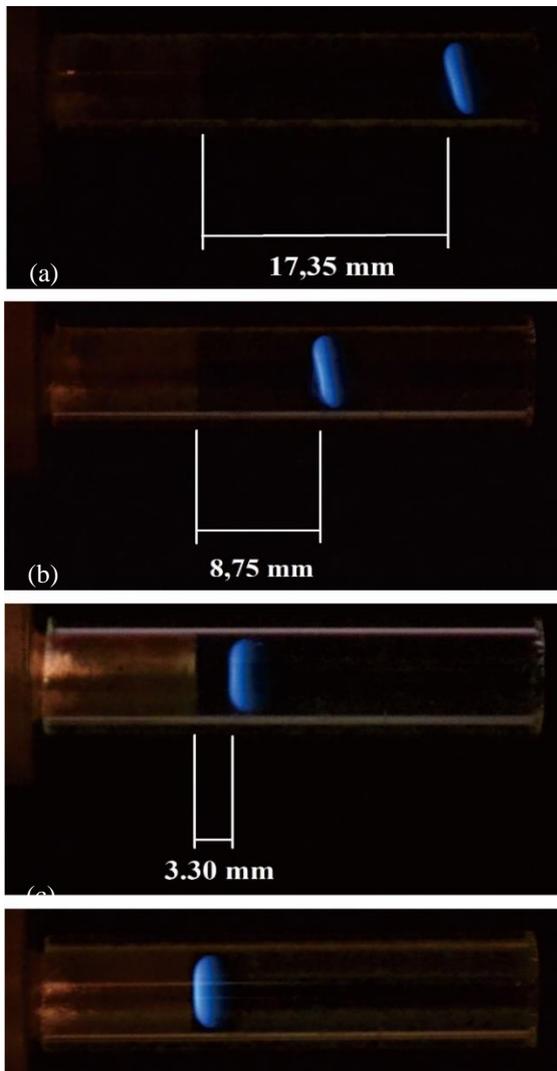
Grafik diatas menunjukkan rasio ekuivalen terendah terdapat pada nilai 0,80 dengan kecepatan reaktan sebesar 11,62 cm/s. Titik rasio ekuivalen tertinggi terdapat pada nilai 1,10 dengan kecepatan reaktan 17,98 cm/s, apabila komposisi debit diatur kurang dari rasio ekuivalen 0,80 dan lebih dari rasio ekuivalen 1,10 maka api akan padam. Grafik *flammability limit* diatas menunjukkan bahwa titik tengah rasio ekuivalen berada pada campuran miskin karean berada dibawah 1 ($\phi < 1$). Rasio ekuivalen selanjutnya divariasikan pada kecepatan reaktan tetap yaitu $V = 15,7$ cm/s dan diubah ke debit untuk diterapkan pada *flowmeter* untuk mencari nyala api. Variasi rasio ekuivalen, debit bahan bakar dan udara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi rasio ekuivalen dan debit bahan bakar serta udara

ϕ	$V_{reaktan}$	Q_f (ml/min)	Q_a (ml/min)
0,82	15,7	7,74	257,89
0,86	15,7	8,11	257,54
0,90	15,7	8,48	257,30
0,95	15,7	8,92	256,60

2. Visualisasi Nyala Api

Variasi rasio ekuivalen menyebabkan terbentuknya nyala api berbeda, dari variasi rasio ekuivalen pada Tabel 1 terbentuk nyala api *Stationary asymmetric downward* dan *stationary symmetric* yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flame regime (a) $\phi = 0,82$ *stationary asymmetric downward*, (b) $\phi = 0,86$ *stationary asymmetric downward*, (c) $\phi = 0,90$ *stationary symmetric*, (d) $\phi = 0,95$ *stationary symmetric*.

Nyala api pada Gambar 4 menunjukkan semakin meningkat rasio ekuivalen nyala api

semakin masuk ke dalam, hal ini terjadi karena debit bahan bakar yang semakin banyak dan debit udara yang semakin sedikit. Debit udara yang tinggi akan mendorong api menjauhi *sudden expansion*.

Bentuk nyala api pada rasio ekuivalen $\phi = 0,82$ dan $\phi = 0,86$ cenderung miring pada sisi bawah sehingga nyala api ini disebut *stationary asymmetric downward*. Nyala api ini dipengaruhi oleh efek buoyancy dan juga *preheating zone* dimana ketika sisi bawah *combustor* lebih panas daripada sisi atas maka kecepatan nyala api akan lebih cepat pada bagian bawah daripada atas sehingga nyala api miring ke bawah. Rasio ekuivalen $\phi = 0,82$ adalah rasio dengan jarak nyala api paling jauh dari *sudden expansion* sebesar 17,35 mm dan $\phi = 0,86$ mempunyai jarak dari *sudden expansion* sebesar 8,75 cm.

Rasio ekuivalen $\phi = 0,90$ dan $\phi = 0,95$ terbentuk nyala api *Stationary symmetric* yang lebih stabil karena paling mendekati *sudden expansion*. Rasio ekuivalen $\phi = 0,90$ mempunyai jarak 3,30 mm dari *sudden expansion* dan $\phi = 0,95$ tepat menempel pada *sudden expansion*. Bentuk nyala api ini simetris karena panas lebih merata antara dinding bagian atas dan bawah.

3. *Traveling speed stationary flame*

Traveling speed adalah kecepatan rata-rata pergerakan api dari saat awal menyala sampai posisi api berhenti. *Traveling speed* dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$\tilde{V} = \tilde{S}_L - \tilde{V}_{flow} = \frac{L}{n \times \Delta t} \tag{1}$$

dimana \tilde{S}_L adalah *flame speed*, \tilde{V}_{flow} adalah kecepatan aliran, L adalah jarak antara awal menyala sampai api berhenti, n adalah banyaknya *frame film* dan Δt adalah waktu antara *frame*.

Tabel 2. *Traveling speed* pada variasi rasio ekuivalen

Rasio	X	L(mm)	L(cm)	n	Δt	$\Delta t(s)$	$\tilde{V}(cm/s)$
0,82	17,35	2,65	0,265	6	1	0,01	4,41
0,86	8,75	11,25	1,125	10	1	0,01	11,25
0,90	3,3	16,7	1,67	10	1,1	0,011	15,18
0,95	0	20	2	11	1,09	0,0109	16,68

Tabel diatas menunjukkan semakin rasio ekuivalen meningkat nilai *traveling speed* juga meningkat. Rasio ekuivalen yang semakin meningkat pada kecepatan aliran konstan dapat menurunkan *traveling speed*, hal ini berhubungan dengan penurunan *flame speed* karena rasio ekuivalen yang meningkat pada campuran kaya [1]. Rasio ekuivalen meningkat seiring dengan debit dan *flame speed* juga meningkat, namun *flame speed* menurun ketika

kecepatan aliran meningkat pada campuran miskin [3].

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio ekuivalen menghasilkan *flame regime* yang berbeda. Rasio ekuivalen terendah menghasilkan *flame stationary asymmetric* dengan jarak api menjauh dari *sudden expansion*, semakin besar rasio ekuivalen *flame regime* berubah menjadi *stationary symmetric* dengan nyala api menempel pada *sudden expansion*. Semakin tinggi nilai rasio ekuivalen maka nilai *traveling speed* juga semakin tinggi karena seiring dengan meningkatnya debit dan *flame speed* pada campuran miskin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baigmohammadi, M., S. Tabejamaat dan Y. Farsiani. 2015. Experimental study of the effects of geometrical parameters, Reynolds number, and equivalence ratio on methane–oxygen premixed flame dynamics in non-adiabatic cylindrical meso-scale reactors with the backward facing step. *Chemical Engineering Science*. 132: 215-233.
- [2] Ju, Y., dan K. Maruta. 2011. Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37: 669-715.
- [3] Ju, Y., dan B. Xu. 2005. Theoretical and experimental studies on mesoscale flame propagation and extinction. *Proceedings of the Combustion Institute*. 30: 2445-2453.
- [4] Walther, D.C., dan J. Ahn. 2011. Advances and challenges in the development of power-generation systems at small scales. *Progress in Energy and Combustion Science*. 37: 583-610.
- [5] Yang, W.M., S.K. Chou, C. Shu, Z.W. Li, dan H. Xue. 2002. Combustion in micro-cylindrical combustors with and without a backward facing step. *Applied Thermal Engineering*. 22: 1777-1787.
- [6] Yang, W.M., S.K. Chou, C. Shu, Z.W. Li, dan H. Xue. 2003. Research on micro-thermophotovoltaic power generators. *Solar Energy Materials and Solar Cell*. 80: 95-104.