

ANALISIS FLAME REGIME PADA PEMBAKARAN BUTANA-UDARA DI MESO-SCALE COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION DAN WIRE MESH

Muhammad Fauzi^{1*}, Andi Sanata², Robertoes Koekoeh K.W²

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

Email : *fauzi7617@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pada zaman sekarang berkembang sangat pesat di kalangan masyarakat di dunia yang mempengaruhi ketersediaan sumber energi yang tidak dapat di perbaharui. Penggunaan bahan bakar sebagai sumber energi menjadi kebutuhan setiap aktifitas manusia. Perkembangan teknologi *micro/meso combustor* semakin pesat dan berkembang luas yang bertujuan untuk mengganti baterai sebagai sumber energi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengamatan terhadap *flame regime* yang terjadi variasi diameter inlet di *meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* dan *wire mesh*. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan penambahan *flame holder* berupa *wire mesh* yang dipasangkan di dekat *sudden expansion* pada kedua *combustor*. *Combustor* terdiri dari bagian input yang terbuat dari tembaga dan output dari bahan kaca *pyrex* silinder dengan variasi diameter input 3,3 mm dan 4,2 mm dan diameter outlet tetap 4,7 mm. Penambahan *wire mesh* tersebut diharapkan dapat menstabilkan *flame regime* yang terjadi pada *combustor*. Diperoleh hasil nyala api terbaik ada pada rasio *combustor* $D1/D2 = 0,9$ dimana mayoritas *flame regime* yang terbentuk yaitu *flame at flame holder*. Ada 4 *flame regime* yang terjadi di dalam variasi kedua *combustor* yaitu *blowout*, *flashback*, *flame in combustor* dan *flame at flame holder*

Keywords : *Meso-scale combustor*, *Sudden Expansion*, *Wire Mesh*, *Flame Regime*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi telah merambat dalam semua aspek di kehidupan manusia, salah satunya teknologi *portable* yang sudah menjadi keseharian kegiatan masyarakat Indonesia saat ini. Perkembangan teknologi *portable* sudah sangat pesat dikalangan masyarakat contohnya baterai, *smartphone*, dan lain lain. Penggunaan teknologi sangat dibutuhkan dalam beberapa sektor seperti industri, rumah tangga, transportasi, pembangkit listrik dan berbagai sektor lainnya. Salah satu perkembangan teknologi saat ini adalah *Micro Power Generator*[1].

Micro Power Generator adalah alat yang menghasilkan energi yang terbagi menjadi dua komponen yaitu *combustor* atau reaktor yang berskala kecil (*micro/meso*) yang berfungsi sebagai pengubah *chemical energy* dari bahan bakar hidrokarbon menjadi energi *thermal* dan yang kedua adalah *micro-*

thermophotovoltaic yang berfungsi sebagai alat perubah panas menjadi listrik. Perkembangan teknologi *micro/meso combustor* semakin pesat dan berkembang luas yang bertujuan untuk mengganti baterai sebagai sumber energi[2].

Masalah yang terjadi pada *micro/meso-scale* yaitu dimana cara menstabilkan api di dalam *combustor* atau reaktor. sangat penting sebagai pengaruh pada *output* pembakaran di *meso-scale combustor*. Beberapa penelitian baru-baru ini telah banyak dilakukan untuk meningkatkan stabilitas pembakaran di *meso-scale combustor* dengan berbagai cara yaitu mendesain *micro combustion* yang lebih baik dengan tujuan *output* pembakaran yang handal. Penambahan *Sudden Expansion* diharapkan sangat efektif dalam menstabilkan posisi nyala api. Dalam dekade akhir-akhir ini perkembangan mengenai *micro/meso-scale*

combustor mulai dikembangkan dengan pesat.

Penelitian ini dilakukan dengan penambahan *sudden expansion* dan *flame holder wire mesh* sehingga dapat meningkatkan kestabilan pada nyala api pada *combustor*.

METODOLOGI PENELITIAN

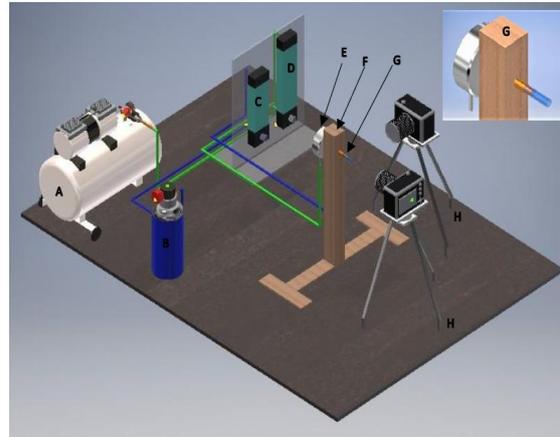
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen dan analisa yakni mengamati hasil *flame regime* yang terjadi pada *meso-scale combustor* dengan variasi diameter *inlet combustor*. Pengujian ini dilakukan dengan cara debit bahan bakar dan debit udara divariasikan dimana debit bahan bakar dimulai dari nilai 2 ml/min sedangkan debit udara mulai dari 50 ml/min hingga dimana nyala api padam atau *blowoff*. Pengujian dilakukan dimana api dapat menyala sampai 3 menit kemudian hasil data diambil menggunakan kamera dari sudut samping dan depan. Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- *Meso-scale combustor*
- *Flowmeter* butana
- *Flowmeter* bahan bakar
- *Mixer*
- *Holder combustor*
- *Compressor*
- Regulator butana
- Pemantik
- Kamera
- Bahan bakar butana

Prosedur penelitian

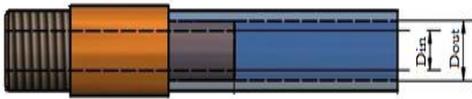
1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan di uji.
2. Mengecek kembali alat dan bahan dan pastikan tidak ada kerusakan atau cacat lalu lakukan instalasi alat.
3. Melakukan *setting* pada *flowmeter* udara dengan jalan membuka bukaan *flowmeter* secara penuh, lalu membuka tuas output kompresor sampai bola penunjuk debit udara pada *flowmeter* berada dalam posisi debit 50 ml/min - 500 ml/min.

4. Melakukan *setting* pada *flowmeter* bahan bakar dengan jalan membuka bukaan pada *flowmeter* secara penuh, lalu buka regulator butana secara perlahan sampai bola penunjuk debit bahan bakar pada *flowmeter* berada pada posisi debit 2 ml/min - 20 ml/min.
5. Memulai reaksi pembakaran pada *meso-scale combustor* dengan jalan memberikan pemantik api dengan menggunakan korek api pada mulut *outlet combustor*.
6. Ketika api menyala, atur debit bahan bakar dan udara dari debit terendah sampai tertinggi, cari komposisi bahan bakar-udara yang menghasilkan api stabil
7. Ambil gambar visualisasi api dengan kamera.
8. Analisa hasil data yang telah dilakukan.
9. Mengulangi prosedur pengambilan data dari awal dengan variasi *inlet* diameter *combustor* yang berbeda. Pengambilan data dilakukan dengan prosedur yang sama pada masing-masing variasi diameter *combustor*.



Gambar 1. Skema instalasi alat penelitian : a – *Kompressor*; b - Tabung gas butana; c - *Flowmeter* bahan bakar; d - *Flowmeter* udara; e - *Mixer*; f - *Combustor holder*; g - *Meso-scale combustor*; h - Kamera

Dalam penelitian ini data yang diambil adalah berupa visualisasi *flame regime* berupa kamera serta debit bahan bakar dan udara. Kemudian dilakukan pengolahan data dan analisis data yang telah dilakukan



Gambar 2. Meso-scale combustor

Tabel 1. Variasi diameter combustor

Diameter Inlet (mm)	Diameter outlet (mm)	Rasio $D1/D2$
3,3	4,7	0,7
4,2	4,7	0,9

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *flowmeter* udara dan *flowmeter* bahan bakar, dengan spesifikasi sebagai berikut :

1). *Flowmeter* udara

- a) Merek : Kofloc
- b) Seri : RK-1250
- c) Jenis : Flowmeter udara
- d) Tekanan Kerja : 0,1 MPa
- e) Aliran Maks. : 500 ml/min
- f) Aliran Min. : 50 ml/min
- g) Skala Terkecil : 5 ml/min

2). *Flowmeter* bahan bakar

- a) Merek : Kofloc
- b) Seri : RK-1250
- c) Jenis : Flowmeter Propana dan Butana
- d) Tekanan Kerja : 0,1 MPa
- f) Aliran Maks. : 20 ml/min
- g) Aliran Min. : 2 ml/min
- h) Skala Terkecil : 0,5 ml/min

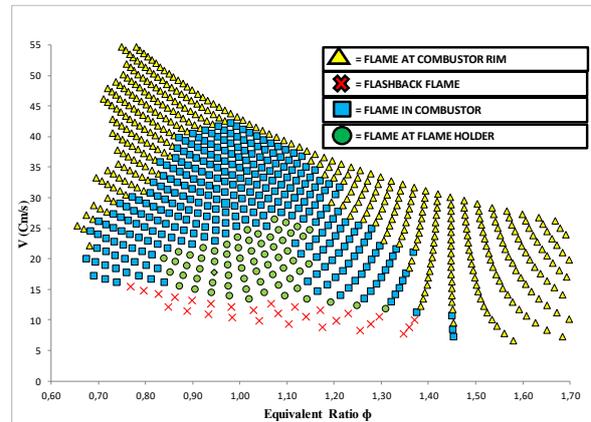


Gambar 3. *Flowmeter* udara dan *Flowmeter* bahan bakar.

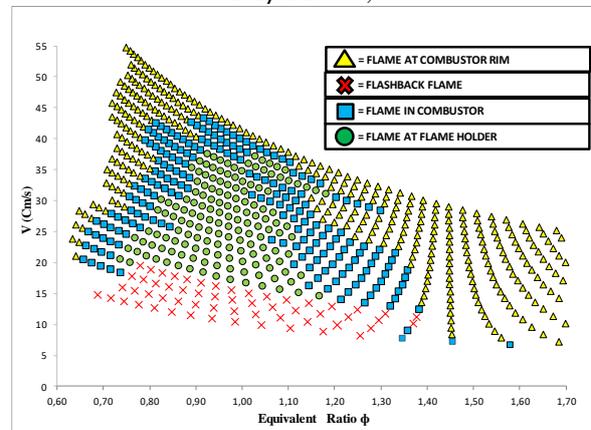
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan data yang telah diolah, maka

dapat diperoleh hasil grafik rentang nyala api sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik rentang nyala api $D1/D2 = 0,7$



Gambar 5. Grafik rentang nyala api $D1/D2 = 0,9$

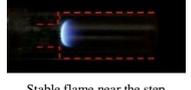
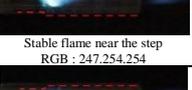
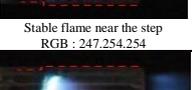
Pada gambar 4 dan 5 diatas menunjukkan grafik nyala api *meso-scale combustor* dengan rasio atau $D1/D2 = 0,7$ dan $D1/D2 = 0,9$. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan (V).

Table 2. *Flame Mode*

No	Flame Mode	$D1/D2 = 0,7$	$D1/D2 = 0,9$
1.	Stable flame at combustor rim	 $\phi=0,8$ $V=35,13$	 $\phi=0,8$ $V=35,13$
2.	Stable flame in combustor	 $\phi=0,79$ $V=27,26$	 $\phi=0,79$ $V=27,26$
3.	Stable flame near the step	 $\phi=1$ $V=18,40$	 $\phi=1$ $V=18,40$

Dari tabel diatas dikelompokkan lagi berdasarkan pembakaran *meso-scale combustor* dengan rasio ekuivalen yang bernilai $\phi=1$. Berikut Tabel 3. merupakan *flame mode meso-scale* $\phi=1$ di masing-masing *combustor*

Table 3. *Flame mode* rasio ekuivalen $\phi=1$

NO	V (at D2) (cm)	D1/D2= 0,7	D1/D2= 0,9
1	18,40	 Stable flame near the step RGB : 72.224.249	 Stable flame near the step RGB : 79.211.229
2.	20,10	 Stable flame near the step RGB : 79.238.253	 Stable flame near the step RGB : 167.237.243
3.	21,79	 Stable flame near the step RGB : 82.222.253	 Stable flame near the step RGB : 170.238.251
4	23,48	 Stable flame near the step RGB : 95.235.253	 Stable flame near the step RGB : 246.254.254
5	31,40	 Stable flame in combustor RGB : 109.246.253	 Stable flame near the step RGB : 247.254.254
6.	33,10	 Stable flame in combustor RGB : 114.250.254	 Stable flame near the step RGB : 247.254.254
7.	34,79	 Stable flame in combustor RGB : 126.248.254	 Stable flame near the step RGB : 247.254.254
8.	36,48	 Stable flame in combustor RGB : 134.246.254	 Stable flame in combustor RGB : 247.254.254
9.	38,18	 Stable flame in combustor RGB : 159.250.254	 Stable flame in combustor RGB : 247.254.254
10.	39,87	 Stable flame in combustor RGB : 173.240.254	 Stable flame in combustor RGB : 248.255.254

Analisa Hasil

1. Grafik nyala api

Pada gambar grafik 4 dengan *combustor* rasio $D1/D2 = 0,7$ menunjukkan api di dalam *combustor* atau *flame in combustor* lebih banyak terjadi dibandingkan api lainnya sedangkan pada gambar grafik 5 dengan *combustor* rasio $D1/D2 = 0,9$ menunjukkan api lebih banyak menempel di step atau bisa disebut *flame at flame holder*. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa api stabil ada

pada *combustor* dengan rasio $D1/D2 = 0,9$. Dalam penelitian Fitriansyah dkk, (2018) mengatakan bahwa api dapat dikatakan stabil apabila posisi nyala api tersebut menempel pada *flame holder* atau step.

2. Tabel flame mode

Pada penelitian “Analisis *Flame Regime* Pada Pembakaran Butana-Udara Di *Meso-Scale Combustor* Dengan *Sudden Expansion* Dan *Wire Mesh*” terdapat 4 macam terjadinya api di *combustor* yaitu nyala api *blowout* (*flame at combustor rim*), nyala api *flashback*, nyala api di dalam *combustor* (*flame in combustor*) dan nyala api di step (*flame at flame holder*). Berikut pembahasan mengenai penyebab terjadinya *flame regime* yaitu :

a. Flame at combustor rim

Nyala api *blow out* terjadi pada awal pembakaran dan akhir dari pembakaran tersebut. Api *blow out* dengan *combustor* rasio $D1/D2 = 0,7$ terjadi pada nilai rasio ekuivalen 0,76 dan kecepatan reaktan tertinggi 55,85 cm/s, sedangkan pada *combustor* dengan rasio $D1/D2 = 0,9$ terjadi pada nilai rasio ekuivalen 0,74 dan kecepatan reaktan 55,25 cm/s. Berdasarkan nilai kecepatan reaktan yang telah diolah maka bisa disimpulkan bahwa nyala api *flame regime blowout* terjadi pada kecepatan reaktan tertinggi. Dimana kecepatan reaktan lebih tinggi dibandingkan kecepatan nyala api sehingga nyala api terdorong keluar *combustor* sehingga membuat api *blowout* terjadi.

b. Flashback flame

Berdasarkan data dan grafik penelitian *meso-scale combustor* dengan *sudden expansion* dan *wire mesh* sebagai *flame holder*. Api *flashback* terjadi pada nilai bahan bakar rendah yaitu 2-3 ml/min pada *combustor* dengan rasio $D1/D2 = 0,7$ dengan kecepatan reaktan sebesar 0,77-1,37 cm/s, sedangkan api *flashback* pada *combustor* dengan rasio $D1/D2 = 0,9$ terjadi pada bahan bakar 2-3,5 ml/min dengan kecepatan reaktan sebesar 0,9-1,37 cm/s. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan rambat api lebih tinggi

dibandingkan kecepatan reaktan sehingga terjadinya api *flashback*.

c. *Flame in combustor*

Flame in combustor terjadi pada di tengah-tengah *combustor*. Berdasarkan grafik dan data penelitian *meso-scale combustor* yang telah dilakukan. Melihat dari gambar grafik diatas, dimana *flame in combustor* lebih banyak terjadi di *combustor* rasio $D1/D2 = 0,7$ dibandingkan dengan *combustor* rasio $D1/D2 = 0,9$. Berdasarkan data penelitian *flame regime in combustor* terjadi ketika penurunan nilai rasio ekuivalen. Hal ini menunjukkan bahwa *flame in combustor* terjadi ketika penurunan nilai rasio ekuivalen secara berkelanjutan dan oskidator tercampur secara ideal sehingga nilai kecepatan reaktan dan kecepatan nyala api seimbang serta penuruan dari aliran *vortex*. *Flame in combustor* terjadi pada kecepatan reaktan tinggi dan juga kecepatan reaktan rendah.

d. *Flame at flame holder*

Flame at flame holder terjadi pada dekat *sudden expansion* dan *wire mesh*. Berdasarkan data penelitian *meso-scale combustor* yang telah dilakukan. Nyala api *flame at flame holder* hampir sama dengan *flame in combustor* yaitu ketika penurunan nilai rasio ekuivalen secara berkelanjutan dan oskidator tercampur secara ideal sehingga nilai kecepatan reaktan dan kecepatan nyala api seimbang tetapi pada nyala api *flame at flame holder* nilai rasio ekuivalen hampir mendekati stokiometri. Pada *combustor* rasio $D1/D2 = 0,7$ dan $0,9$ mempunyai nilai rasio ekuivalen dengan rata rata $1,02$ dan $0,97$. Api *flame at flame holder* juga terjadi tegangan geser yang kuat dari *jet flow* sehingga membuat api menempel di *sudden expansion* atau *wire mesh*. Api inilah yang sebenarnya diinginkan, dimana api yang berada di dekat step akan nyala lebih lama dibandingkan nyala api yang lainnya.

3. Tabel *flame mode* berdasarkan $\phi=1$

Tabel 3 merupakan tabel penelitian “Analisis *flame regime meso-scale combustor* berdasarkan nilai rasio ekuivalen $\phi=1$. Tabel tersebut menampilkan hubungan antara rasio

ekuivalen dengan kecepatan reaktan yang terjadi pada kedua *combustor* tersebut. Pada tabel diatas dapat diketahui bahwa dengan nilai $\phi=1$ dengan kecepatan reaktan yang sama terjadi perbedaan nyala api. Semakin besar kecepatan reaktan maka nyala api semakin menjauhi *sudden expansion* dan *wire mesh*. Pada tabel *combustor* di atas api dengan kecepatan reaktan $39,87$ cm/s menunjukkan hasil bahwa pada *combustor* rasio $D1/D2 = 0,9$ lebih dekat dengan *flame holder* dibandingkan dengan *combustor* rasio $D1/D2 = 0,7$. Hal ini juga disebabkan karena perbedaan diameter *inlet combustor* dan perlakuan *vortex* sehingga membuat perbedaan terhadap nyala api pada masing-masing *combustor*. Kenaikan rasio diameter $D1/D2$ dari $0,7$ ke $0,9$ menyebabkan nyala api semakin dekat pada *sudden expansion* serta semakin besar ukuran *sudden expansion* atau $D1/D2$ maka *vortex* akan semakin kecil. Pada gambar grafik 4.1 dan 4.2 juga menunjukkan dimana api yang menyala di dekat *flame holder* lebih banyak di *combustor* $D1/D2 = 0,9$ dibandingkan *combustor* $D1/D2 = 0,7$. Api jenis ini yang merupakan api yang diinginkan, dimana menurut penelitian Fitriansyah dkk, (2018) menyebutkan bahwa api dapat dikatakan stabil, apabila posisi api dapat menempel pada *sudden expansion* sehingga api dapat menyala di dalam *combustor* lebih lama. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa rasio diameter *combustor* dapat mempengaruhi nyala api di *meso-scale combustor* dan kestabilan api.

Pada tabel diatas juga ditandai dengan adanya nilai RGB atau bisa disebut dengan *Red Green Blue*. Nilai RGB pada tabel di atas diperoleh hasil yaitu semakin besar kecepatan reaktan maka nilai RGB akan semakin besar. Semakin besar nilai RGB maka semakin cerah warna nyala api yang dihasilkan. Hal tersebut dapat berdampak dengan temperatur nyala api. Menurut Rohadi (2016) mengatakan bahwa semakin cerah warna api maka semakin tinggi pula temperatur yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian *meso-scale combustor* dengan variasi *diameter inlet* yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis data *flame regime* dengan variasi *diameter inlet meso-scale combustor* rasio $D1/D2 = 0,7$ dan $0,9$ yang telah dilakukan. Nyala api terbaik ada pada rasio *combustor* $D1/D2 = 0,9$ dimana mayoritas *flame regime* yang terbentuk yaitu *flame at flame holder*. Ada 4 *flame regime* yang terjadi di dalam variasi kedua *combustor* yaitu *blowout*, *flashback*, *flame in combustor* dan *flame at flame holder*. Semakin bertambah rasio *combustor* $D1/D2$ maka nyala api semakin dekat dengan *sudden expansion*.
2. Semakin tinggi kecepatan reaktan dapat terjadi api *blowout* karena kecepatan reaktan lebih tinggi dibandingkan kecepatan *flame speed* sehingga api terdorong keluar *combustor*. Semakin rendah kecepatan reaktan dapat terjadi api *flashback* karena kecepatan reaktan yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan rambat nyala api. Penurunan nilai rasio ekuivalen, aliran *vortex* dan tegangan geser dapat terjadi *flame in combustor* dan *flame at flame holder*.

SARAN

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan dari proses pembakaran pada *meso-scale combustor* menggunakan alat pengubah energi, sehingga dapat mengetahui proses konversi energi panas menjadi energi listrik (*thermophotovoltaic*) atau yang lain
2. Penggunaan optimasi dimensi *wire mesh* serta geometri *combustor* agar mendapatkan hasil *output* yang optimal.
3. Bahan bakar yang digunakan masih terbatas yaitu menggunakan gas butana, dalam penelitian selanjutnya bisa menggunakan bahan bakar lain seperti metana, propana, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ilminnafik, N., Kristianta, FX., Sanjaya, I. B. 2017. Karakteristik Pembakaran Pada Meso Scale Combustor Dengan Bahan Bakar Butan Dan Liquefied Petroleum Gas. *Jurnal ROTOR*, Vol 4(3), 18-21.
- [2] Chou, S.K., Yang, W.M., Chua, K.J., Li, J., Zhang, K. L., 2011. Development of micro power generators-a review. *Appl. Energy* 88, 1-16.
- [3] Fitriansyah, R. D. Setyawan, D. L., Jatisukamto, G. 2018. Pengaruh Rasio Ekuivalen Terhadap Traveling Speed Stationary Flame Pada Meso-Scale Combustor Dengan Sudden Expansion. *Jurnal STATOR*, volume 1(1), 107-110..
- [4] Rohadi, A. I. 2016. Pengaruh Panjang Saluran Sudden Expansion Terhadap Karakteristik Pembakaran Pada Meso-Scale Combustor. *Skripsi*. Jember: Progam Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- [5] Baigmohammadi, M., Tabejamaat, S., Farsiani, Y. 2015 (B). 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. Sci*, 132, 215-233
- [6] Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, K., Yulianti, L., 2013. Combustion of gaseous and liquid fuels in meso-scale tubes with wire mesh. *Proceedings of combustion*. Ins. 34, 3387-3394.
- [7] Sanata, A., Wardana, I. N. G., Yulianti, L., Sasongko, M. N. 2019. Effect Of Backward Facing Step On Combustion Stability In A Constant Contact Area Cylindrical Meso-Scale Combustor. *Energy-saving technologies and equipment*. Vol 9, 51-59.
- [8] Sanata, A., Yulianti, L., Sasongko, M. N., Wardana, I. N. G. 2020. Flame Behavior Inside Constant Diameter Cylindrical Meso-Scale Combustor With Different Backward Facing Step Size. *Eastern-*

European Journal of Enterprise Technologies. Vol 8, 44-51.

- [9] Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., Xue, H. 2002. Combustion in micro-cylindrical combustors with and without a backward facing step. *Appl. Thermal Engineering*. 22, 1777-1787.
- [10] Rahul, D. R. 2017. Experimental investigation of flame propagation and stabilization in a meso-combustor with sudden expansion. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 90, 299-309.