

KARAKTERISTIK *FLAME PROPAGATION* PEMBAKARAN *MESO SCALE COMBUSTOR* DENGAN KOMBINASI *SUDDEN EXPANSION* DAN *PLATE* SEBAGAI *FLAME HOLDER*

Ahmad Syaihuddin Hasim^{1*}, Andi Sanata^{2*}, Mochamad Edoward^{2*}

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

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37, Jember, 69121 Email:

Email: *syaihuddinh@gmail.com

ABSTRAK

Currently, the development of various electronic devices with sizes is portable increasing rapidly, this causes the need for energy sources with compact sizes with high density to be increasingly needed. An example of an energy source with size portable is a battery. Batteries are needed as a source of power in various electronic technologies, but when examined further the battery has many shortcomings that have not been covered until now. Batteries have a relatively low energy density, besides that they also require handling of their hazardous waste. These various factors have prompted various studies to be carried out to find a new energy source that is more dense and efficient, namely the Micro Power Generator (MPG). This research was conducted with experimental where meso scale combustor with sudden expansion added a flame holder in the form of a plate which is controlled by varying diameter outlet on the combustor. Of the two variations in the diameter outlet, namely 8 mm and 10 mm, the results show that at conditions of equivalent ratio (Φ) = 1, the combustor 10 mm has a better flammability limit, more stable fire, and shape of the fire tends to wide. Combustor 10 mm with an average reactant velocity of 0,1039 m/s resulted in an average flame propagation velocity of 0,0889 m/s and combustor 8 mm with an average reactant velocity of 0,1623 m/s resulted in an average flame propagation velocity of 0,1385 m/s, from these results indicate that the higher the value reactant velocity than the faster the value flame propagation.

Keyword: Meso scale combustor, sudden expansion, flame propagation.

PENDAHULUAN

Saat ini perkembangan berbagai alat elektronik dengan ukuran yang *portable* semakin pesat, hal ini menyebabkan kebutuhan akan sumber energi dengan ukuran yang ringkas dengan kepadatan yang tinggi semakin dibutuhkan. Sebagai contoh sumber energi dengan ukuran yang *portable* adalah baterai. Baterai dibutuhkan sebagai sumber tenaga pada berbagai teknologi elektronik, tetapi bila diteliti lebih jauh baterai memiliki banyak kekurangan yang belum dapat tertutupi hingga saat ini. Baterai memiliki kepadatan energi yang relatif rendah, selain itu baterai juga membutuhkan penanganan pada limbahnya yang berbahaya. Berbagai faktor tersebut yang mendorong dilakukan berbagai penelitian untuk menemukan sumber energi baru yang lebih padat dan efisien yaitu *Micro Power Generator* (MPG)[1].

Meso scale combustion atau pembakaran pada saluran ruang bakar dengan diameter sebesar 1-10 mm merupakan salah satu wujud pengembangan teknologi pemanfaatan bahan bakar

fosil. Pembakaran ini memiliki potensi untuk menghasilkan energi panas yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik skala mikro atau disebut *Micro Power Generator* (MPG). Komponen utama MPG adalah ruang bakar atau disebut *combustor*, dalam *combustor* tersebut berlangsung proses pembakaran skala meso[2].

Pengembangan *meso scale combustor* dengan *plate flame holder* yang dapat mengambil keuntungan dari resirkulasi aliran dan efek resirkulasi panas. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan penambahan *plate flame holder* bekerja sangat baik dalam menahan api dan nyala api dapat tetap stabil pada rasio ekivalensi yang sangat rendah[3]. Pengembangan selanjutnya *flame propagation* pada *meso scale combustor* diamati dalam waktu rata-rata ketika api stabil terjadi, dari sepanjang transisi rezim dari api yang dinyalakan di dinding ke api yang stabil di saluran, *flame propagation* melambat secara seketika dengan sedikit peningkatan kecepatan aliran untuk

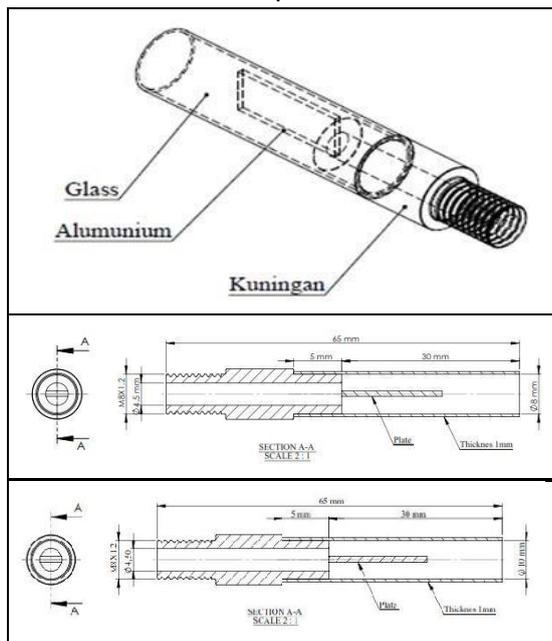
memberikan waktu yang cukup untuk pemanasan dinding yang memungkinkan stabilitas nyala api[4].

Merujuk dari penelitian sebelumnya disini dilakukan pengembangan penelitian mengenai karakteristik *flame propagation* yang terjadi pada pembakaran *meso scale combustor* dengan kombinasi *sudden expansion* dan *plate* sebagai *flame holder*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode desain eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan mengamati pengaruh variasi diameter *outlet* dengan penambahan *sudden expansion* dan *plate* sebagai *flame holder* pada *meso scale combustor* terhadap karakteristik *flame propagation* secara eksperimental.

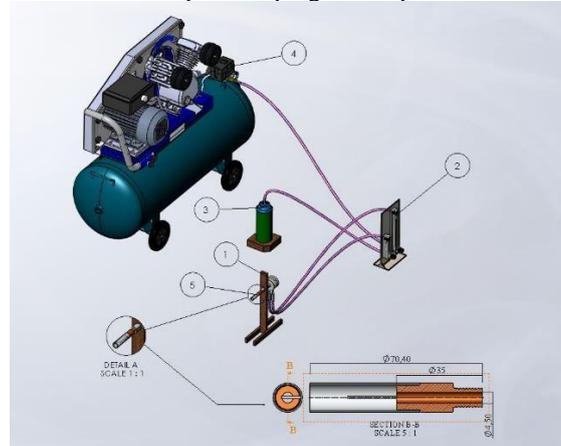
Proses pembakaran gas butana terjadi di dalam *combustor* yang dibuat dengan menggunakan bahan kuningan (CuZn). *Combustor* yang digunakan ini terdiri dari empat komponen yaitu komponen masukan (*input*), dinding pipa *combustor*, plat aluminium dan keluaran (*output*). Diameter inlet *combustor* 4,5 mm dengan variasi diameter outlet 8 mm dan 10 mm. Sketsa dimensi *meso scale combustor* dapat di lihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Meso scale combustor

Skema rangkaian pemasangan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2 dimana bahan bakar bersumber dari tabung gas butana yang dialirkan menggunakan *pisco tube* menuju *flowmeter* bahan bakar sedangkan udara dihasilkan melalui kompresor menuju *flowmeter* udara. Dalam *flowmeter* dapat diatur debit aliran yang akan disalurkan menuju *mixer* agar mencapai pembakaran yang diinginkan selanjutnya setelah

diatur debit bahan bakar dan udara yang diteliti maka fluida akan bercampur didalam *mixer* dan masuk kedalam ruang bakar atau *combustor*. Selanjutnya pengambilan data dapat dilakukan dengan memantik ruang *combustor* menggunakan korek api dan dapat diambil data foto beserta video menggunakan kamera dari tampak samping dan depan.

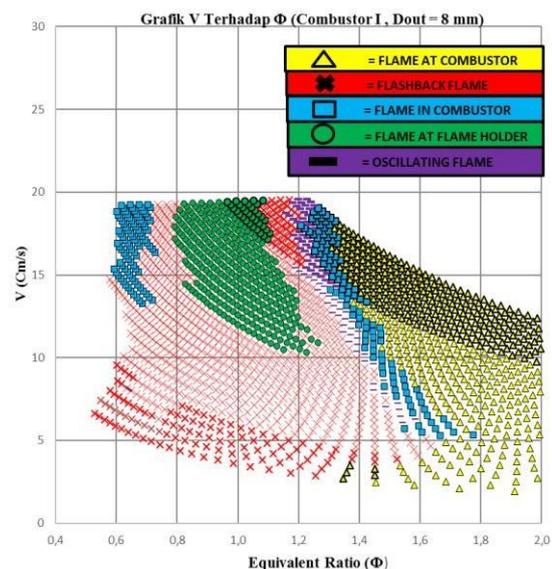


Gambar 2. Skema alat penelitian

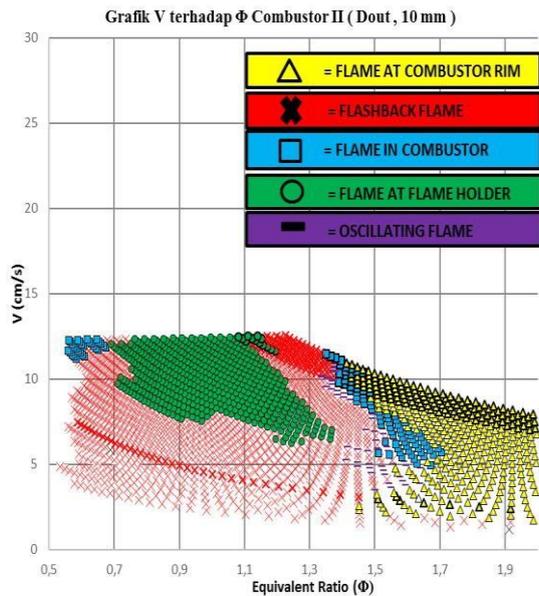
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Peta Nyala Api (*Mapping*)

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan nilai debit bahan bakar dan debit udara agar diperoleh data karakteristik nyala api didalam *meso scale combustor*. variasi nilai debit bahan bakar yg dipakai minimal 3,36 ml/min, sedangkan nilai debit udara minimal 54,43 ml/min, debit bahan bakar dan udara akan ditingkatkan hingga mencapai nyala api *blow off* (padam) untuk mendapatkan data karakteristik nyala api. Data hasil pengujian ditampilkan pada gambar 3 dan 4 sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik *mapping* api combustor 8 mm



Gambar 4. Grafik mapping api combustor 10 mm

Dari gambar 3 dan 4 menunjukkan visualisasi nyala api dalam combustor dengan variasi diameter out sebesar 8 dan 10 mm, terdapat lima macam bentuk nyala api yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu : *flashback flame*, *flame at combustor rim*, *flame in combustor*, *flame at flame holder* dan *oscillating flame*. Berdasarkan peta nyala api di masing-masing grafik menunjukkan bahwa combustor D_{out} 10 mm mempunyai rentan nyala api (*flammability limit*) yang lebih luas dibandingkan dengan combustor D_{out} 8 mm. Hal ini dapat dilihat dari sebaran simbol berwarna hijau (*flame at flame holder*) yang menandakan api dalam keadaan stabil.

Setelah pengambilan data sudah terlampirkan dalam bentuk grafik selanjutnya dapat di ambil data berupa tabel berdasarkan nilai rasio ekuivalen $\phi = 1$, dimana nilai $\phi = 1$ menunjukkan proses pembakaran yang berlangsung yaitu pembakaran stoikiometri. Berikut data yang menunjukkan pembakaran stoikiometri pada combustor diameter out 8 mm dan

10 mm.

Tabel 1. Data pembakaran $\phi = 1$ combustor 8 mm

Qbb (ml/min)	Qud (ml/min)	Eq Ratio	V (m/s)
11,87	367,71	1,00	0,1259
12,40	384,80	1,00	0,1318
12,94	401,89	1,00	0,1376
14,53	447,45	1,00	0,1533
15,06	464,54	1,00	0,1591
15,60	481,63	1,00	0,1650
16,13	498,72	1,00	0,1708
16,66	515,81	1,00	0,1766

17,19	532,89	1,00	0,1825
17,72	549,98	1,00	0,1883
18,25	567,07	1,00	0,1942

Tabel 2. Data pembakaran $\phi = 1$ combustor 10 mm

Qbb (ml/min)	Qud (ml/min)	Eq Ratio	V (m/s)
11,87	367,71	1,00	0,0806
12,40	384,80	1,00	0,0843
12,94	401,89	1,00	0,0881
14,53	447,45	1,00	0,0981
15,06	464,54	1,00	0,1018
15,60	481,63	1,00	0,1056
16,13	498,72	1,00	0,1093
16,66	515,81	1,00	0,1131
17,19	532,89	1,00	0,1168
17,72	549,98	1,00	0,1205
18,25	567,07	1,00	0,1243

Pada tabel 1 dan 2 nilai kecepatan reaktan yang didapat dari combustor dengan diameter out 8 mm minimal sebesar 0,1259 m/s dan maksimal sebesar 0,1942 m/s sedangkan untuk diameter out 10 mm minimal sebesar 0,0806 m/s dan maksimal sebesar 0,1243 m/s, bentuk api yang dihasilkan dari kecepatan reaktan masing-masing combustor adalah *flame at flame holder*, dimana *flame at flame holder* merupakan bentuk nyala api yang diinginkan karena ketika posisi api menempel pada *sudden expansion* menghasilkan waktu tinggal api lebih lama serta memiliki temperatur yang lebih tinggi.

2. Visualisasi Rambat Nyala Api

Setelah didapat data $\phi = 1$ pada tabel 1 dan tabel 2 maka dilanjutkan dengan pengambilan data berupa video yang akan dipecah per *frame* dari setiap titik nyala api, sehingga didapat visualisasi rambat nyala api sebagai berikut.

Tabel 3. Rambat nyala api combustor D_{out} 8 mm, $V_{reaktan}$ 0,1259 m/s

Frame ke	Rambat nyala api	Tampak depan
1		
2		
3		
4		
5		

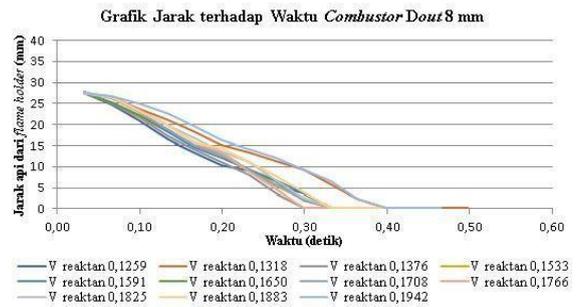


Dari tabel 3 menunjukkan dimana nilai kecepatan reaktan yang berbeda-beda pada setiap titik menghasilkan rambat nyala api yang berbeda dan juga jarak nyala api dari *flame holder* yang berbeda pada tiap *frame*, yang menunjukkan bahwa kecepatan rambat nyala api semakin menurun seiring nyala api menuju *flame holder* dan berakhir stabil.

Tabel 4. Hasil waktu, jarak titik api dari *flame holder* dan kecepatan rambat nyala api *combustor*

Frame ke n	Waktu (s)	Jarak titik api (mm)	Nyala api (m/s)
1	0,03	27,57	0,8305
2	0,07	24,71	0,3722
3	0,10	20,86	0,2094
4	0,13	16,57	0,1248
5	0,17	13,29	0,0800
6	0,20	10,29	0,0516
7	0,23	9,00	0,0387
8	0,27	5,43	0,0204
9	0,30	3,86	0,0129
10	0,33	0,29	0,0009
11	0,37	0,29	0,0008
12	0,40	0,29	0,0007
13	0,43	0,29	0,0007
14	0,46	0,29	0,0006
Rata-rata rambat nyala api			0,1315

Dari hasil waktu tiap *frame* dan jarak titik api dari *flame holder* didapat kecepatan rambat nyala api tiap *frame* yang kemudian diperoleh hasil rata-rata kecepatan rambat nyala api pada setiap titik kecepatan reaktan yang dapat dilihat pada tabel 4 dan kecepatan rata-rata rambat nyala api semakin cepat seiring dengan bertambahnya kecepatan reaktan, yang menyebabkan nyala api tetap stabil dikarenakan kecepatan reaktan selalu lebih besar daripada kecepatan rata-rata rambat nyala api.



Gambar 5. Grafik jarak terhadap waktu *combustor* D_{out} 8 mm

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada grafik gambar 5 dapat diketahui pada *combustor* D_{out} 8 mm menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kecepatan reaktan maka waktu yang dihasilkan cenderung menurun seiring api mendekati *flame holder* hal ini karena stabilitas api dan perbedaan kecepatan api dipengaruhi oleh lebar saluran.

3. Kecepatan Rambat Nyala Api

Setelah diperoleh hasil analisis dari jarak titik api terhadap waktu maka dilanjut dengan analisis kecepatan reaktan terhadap kecepatan rambat nyala api. Analisis ini dilakukan agar mengetahui kecepatan rambat nyala api pada setiap reaktan di masing-masing *combustor*.

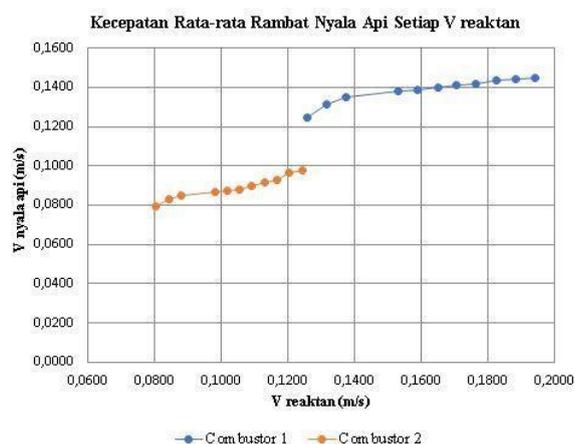
Tabel 5. Hasil rata-rata rambat nyala api

D_{out} (mm)	V reaktan (m/s)	V rata-rata (m/s)	
8	0,1259	0,1246	
	0,1318	0,1315	
	0,1376	0,1353	
	0,1533	0,1379	
	0,1591	0,1387	
	0,1650	0,1396	
	0,1708	0,1410	
	0,1766	0,1418	
	0,1825	0,1435	
	0,1883	0,1442	
	0,1942	0,1451	
	V rata2	0,1623	0,1385

	0,0806	0,0793
	0,0843	0,0831
	0,0881	0,0847
	0,0981	0,0865
	0,1018	0,0873
10	0,1056	0,0878
	0,1093	0,0900
	0,1131	0,0918
	0,1168	0,0931
	0,1205	0,0966
	0,1243	0,0978
V rata2	0,1039	0,0889

Setelah melakukan pengamatan serta perhitungan diperoleh hasil kecepatan rata-rata rambat nyala api pada setiap titik kecepatan reaktan yang dapat dilihat pada tabel 5. Setelah diperoleh hasil dari rata-rata rambat nyala api pada setiap titik kecepatan reaktan, hasil tersebut dihitung kembali nilai rata-ratanya untuk memperoleh hasil akhir kecepatan rambat nyala api pada setiap combustor.

Mengacu pada rata-rata kecepatan rambat nyala api pada setiap titik kecepatan reaktan dimasing-masing combustor, maka dihitung kembali rata-rata kecepatan rambat nyala api pada combustor pada tabel 5 dengan hasil combustor D_{out} 8 mm = 0,1385 m/s dan D_{out} 10 mm = 0,0889 m/s. Dengan demikian semakin kecil diameter out combustor maka semakin cepat kecepatan rata-rata rambat nyala apinya.



Gambar 6. Grafik kecepatan rambat nyala api setiap V reaktan

Dari gambar grafik 6 maka dapat disimpulkan bahwa hasil nilai kecepatan rambat nyala api (*flame propagation*) yang diperoleh menunjukkan semakin tinggi nilai kecepatan reaktan maka semakin cepat nilai kecepatan rambat nyala apinya dan menghasilkan karakteristik nyala api yaitu rezim api *stationary* asimetri.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa peta nyala api menunjukkan bahwa combustor D_{out} 10 mm mempunyai rentan nyala api (*flammability limit*) yang lebih luas dibandingkan dengan combustor D_{out} 8 mm. Hal ini dapat dilihat dari sebaran simbol berwarna hijau yang menandakan api berada di *flame holder* dan hasil nilai kecepatan rambat nyala api (*flame propagation*) yang diperoleh menunjukkan semakin tinggi nilai kecepatan reaktan maka semakin cepat nilai kecepatan rambat nyala apinya dan menghasilkan karakteristik nyala api yaitu rezim api *stationary* asimetri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ju, Y. dan K. Maruta. 2011. *Microscale Combustion: Technology Development and Fundamental Research*. Progress in Energy and Combustion Science. Vol. (37): 669-715.
- [2] Yang, W. M., Chou, S. K., Shu, C., Li, Z. W., dan Xue, H. 2002. *Combustion in Micro-Cylindrical Combustors With and Without a Backward Facing Step*. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore.
- [3] Jianlog Wan, Zuwei Xu, dan Haibo Zhao, 2018. *Methane/Air Premixed Flame Topology Structure in A Mesoscale Combustor with A Plate Flame Holder and Preheating Channels*. Energy.
- [4] Rahul DuttaRoy, Satyanarayanan R. Chakravarthy, dan Ashir Kumar Sen Ju. 2017. *Experimental Investigation of Flame Propagation and Stabilization in A Mesocombustor with Sudden Expansion*. Experimental Thermal and Fluid Science. Vol. (90): 299-309.