

KARAKTERISTIK NYALA API PADA PEMBAKARAN SKALA MESO DENGAN TAMBAHAN SUDDEN EXPANSION DAN PLATE FLAME HOLDER

Mahendra Bagaskara¹, Agus Triono², Andi Sanata²

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: bagasmahendra12@gmail.com

ABSTRACT

The availability of the number of fossil energy sources or that cannot be renewed will be depleted on the surface of the earth, where the increasing growth in technology is one of the factors affecting the availability of energy sources. Due to supporting technology activities human in the present still use fossil fuels One of the ways is by reducing the size of the combustion system and replacing fossil energy sources that originally used fuel oil to become natural gas. 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 widen and forms like 2 letter c or a semicircle in the plate holder.

Keywords: Meso-scale combustor, plate flame holder, sudden expansion.

PENDAHULUAN

Ketersediaan jumlah sumber-sumber energi fosil atau yang tidak dapat diperbarui semakin lama akan abis di permukaan bumi dimana pertumbuhan dibidang teknologi yang semakin meningkat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi ketersediaan sumber-sumber energi. Dikarenakan teknologi pendukung aktifitas manusia dimasa sekarang masih banyak menggunakan bahan bakar fosil. Kebutuhan akan sumber energi yang begitu besar namun tidak diimbangi dengan jumlah ketersediannya di alam menjadi faktor utama manusia untuk memulai menggunakan sumber energi yang ketersediannya akan terus ada jika dikelola dengan baik. Sudah banyak teknologi telah dikembangkan oleh para ilmuwan dalam bentuk risetnya dalam proses pembakaran bahan bakar fosil. Salah satunya dengan memperkecil skala peralatan atau mesin pengkonversi energi. Salah satu caranya dengan memperkecil ukuran sistem pembakaran serta mengganti sumber energi fosil yang awalnya menggunakan bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas [1]. Penelitian berdasarkan pengembangan *meso combustion* selanjutnya[2], menjelaskan tentang penambahan komponen berupa plat sebagai *flame holder* pada ruang bakar atau combustor menghasilkan nyala api yang berbeda dibandingkan ruang bakar dengan mekanisme saluran pipa.

Penelitian ini mengamati karakteristik nyala api pada pembakaran skala *meso* dengan tambahan *sudden expansion* dan *plate* sebagai *flame holder*. Penelitian ini merupakan pengembangan berdasarkan penelitian sebelumnya. Penambahan dimensi dan

flame holder dalam bentuk visualisasi nyala api berupa foto diharapkan dapat mengidentifikasi karakteristik nyala api yang terbentuk pada proses pembakaran pada *meso-scale combustor* seperti bentuk nyala api, posisi api dan warna api.

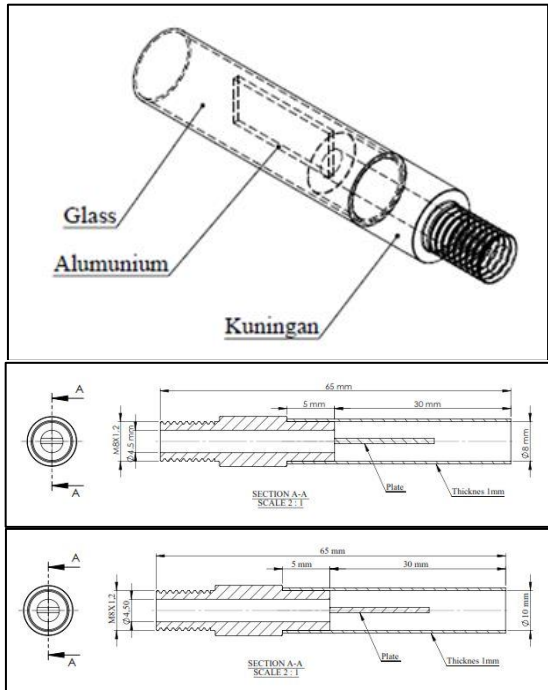
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan mengamati pengaruh variasi *outlet diameter* dengan penambahan *sudden expansion* dan *plate flame holder* pada pembakaran skala *meso* terhadap karakteristik nyala.

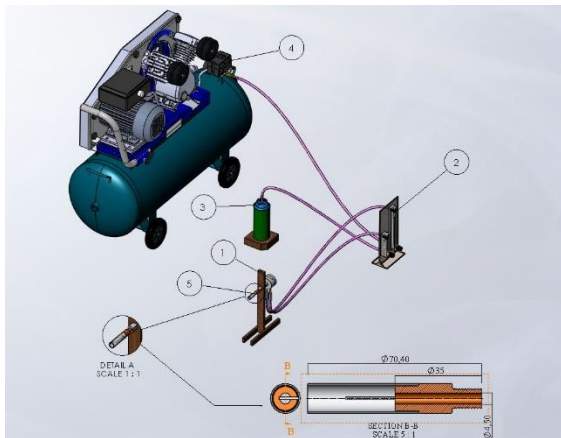
Proses pembakaran gas Butana terjadi di dalam *combustor* yang dibuat dengan menggunakan bahan kuningan (CuZn). *Combustor* yang digunakan ini terdiri dari empat komponen yaitu komponen masukan (*input*), dinding pipa *combustor*, plat aluminium dan keluaran (*output*). Sketsa dimensi *meso-scale combustor* dapat dilihat pada gambar 1.

Skema rangkaian pemasangan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2 dimana bahan bakar bersumber dari tabung gas butana yang dialirak menggunakan *pisco tube* menuju *flow meter* bahan bakar sedangkan udara dihasilkan melalui kompresor menuju *flow meter* udara. Dalam *flow meter* 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 menggunakan kamera dari tapak samping dan depan.



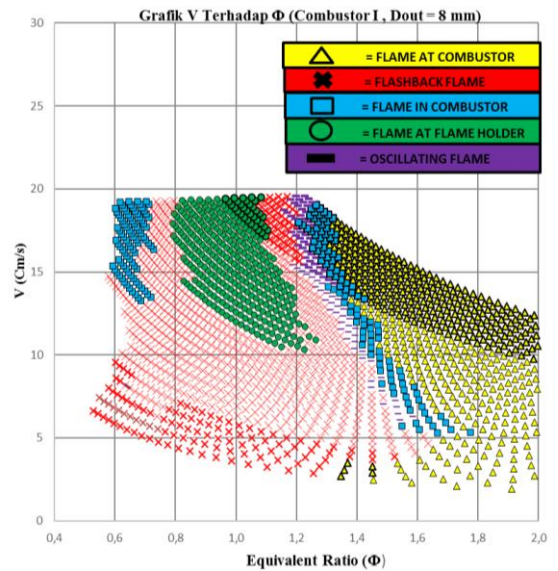
Gambar 1. Meso-scale combustor



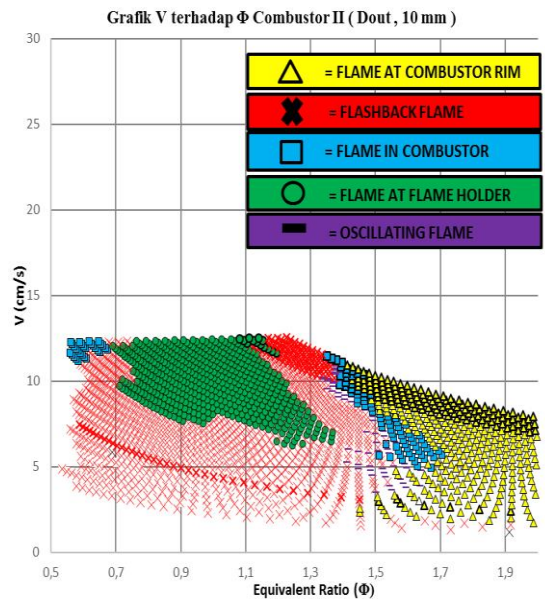
Gambar 2. Skema alat penelitian

METODE PENGAMBILAN DATA

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan nilai debit bahan bakar dan debit udara agar diperoleh data karakteristik nyala api didalam *mesoscale combustor* dengan penambahan *sudden expansion* dan *plate flame holder*. variasi nilai debit bahan bakar yg dipakai minimal 2 ml/min, sedangkan nilai debit udara minimal 50 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 v terhadap ϕ pada combustor dengan D out sebesar 8 mm



Gambar 4. grafik v terhadap ϕ pada combustor dengan D out sebesar 10 mm

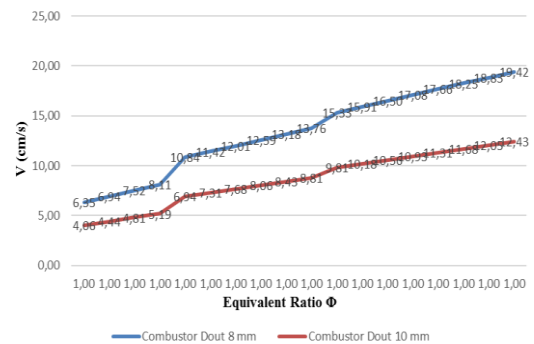
Dari gambar 3 dan gambar 4 merupakan grafik hubungan kecepatan (v) dan ratio ekuivalen (ϕ) dengan variasi diameter out sebesar 8 mm dan 10 mm , kedua variasi diameter dimulai dengan input debit bahan bakar yang sama yaitu sebesar 2 ml/min dan maksimal debit bahan bakar yg dapat dicapai kedua variasi diameter out 8 mm dan 10 mm sebesar 20 ml/min.

Setelah pengambilan data sudah terlampir dalam bentuk grafik selanjutnya dapat di ambil data berupa tabel berdasarkan nilai rasio ekuivalen $\phi = 1$, menghasilkan tabel sebagai berikut:

Tabel 1. data nyala api *combustor* dengan *diameter out 8 mm*

Qbb (ml/min)	Qud (ml/min)	Eq Ratio	V (cm/s)
6,02	185,44	1,00	6,35
6,55	202,53	1,00	6,94
7,09	219,61	1,00	7,52
7,62	236,70	1,00	8,11
10,28	316,45	1,00	10,84
10,81	333,53	1,00	11,42
11,34	350,62	1,00	12,01
11,87	367,71	1,00	12,59
12,40	384,80	1,00	13,18
12,94	401,89	1,00	13,76
14,53	447,45	1,00	15,33
15,06	464,54	1,00	15,91
15,60	481,63	1,00	16,50
16,13	498,72	1,00	17,08
16,66	515,81	1,00	17,66
17,19	532,89	1,00	18,25
17,72	549,98	1,00	18,83
18,25	567,07	1,00	19,42

dari tabel 1 dan tabel 2 dilanjutkan dengan pembuatan grafik untuk menampilkan hubungan nilai rasio ekuivalen dan kecepatan aliran sebagai berikut :



Gambar 5. grafik nyala api variasi diameter 8 mm dan 10 mm

Visualisasi Nyala Api

Setelah dilakukan pengeplotan grafik data nyala api pada irisan ketiga variasi *combustor* yang tersaji pada Gambar 6 dimana data tersebut beracuan pada Tabel 1 sebelumnya. Kemudian dilakukan pengambilan foto tampak samping dan tampak depan sesuai dengan titik-titik nyala api yang terdapat pada grafik tersebut. Sehingga didapatkan gambar visualisasi bentuk nyala api yang diinput pada Tabel 1 dan tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. data nyala api *combustor* dengan *diameter out 10 mm*

Qbb (ml/min)	Qud (ml/min)	Eq Ratio	V (cm/s)
6,02	185,44	1,00	4,06
6,55	202,53	1,00	4,44
7,09	219,61	1,00	4,81
7,62	236,70	1,00	5,19
10,28	316,45	1,00	6,94
10,81	333,53	1,00	7,31
11,34	350,62	1,00	7,68
11,87	367,71	1,00	8,06
12,40	384,80	1,00	8,43
12,94	401,89	1,00	8,81
14,53	447,45	1,00	9,81
15,06	464,54	1,00	10,18
15,60	481,63	1,00	10,56
16,13	498,72	1,00	10,93
16,66	515,81	1,00	11,31
17,19	532,89	1,00	11,68
17,72	549,98	1,00	12,05
18,25	567,07	1,00	12,43

Tabel 3. Nyala api pada *combustor diameter outlet 8 mm dengan $\Phi = 1$*

V reaktan (cm/s)	Foto tampak samping	Foto tampak depan	RGB
6,35			
6,94			
7,52			
8,11			
10,84			
11,42			
12,01			119,234,251
12,59			164,202,250
13,18			161,227,251
13,76			165,225,249
15,33			146,228,250
15,91			189,233,248
16,50			193,235,249
17,08			189,231,250
17,66			172,235,248
18,25			177,237,249
18,83			185,237,249
19,42			218,233,248

Tabel 4. Nyala api pada combustor diameter outlet 10 mm dengan $\Phi = 1$

V reaktan (cm/s)	Foto tampak samping	Foto tampak depan	RGB
4,06			
4,44			
4,81			
5,19			
6,94			
7,31			
7,68			
8,06			79,206,246
8,43			82,214,252
8,81			78,210,254
9,81			100,224,251
10,18			79,214,253
10,56			88,218,250
10,93			136,241,251
11,31			158,240,249
11,68			129,231,250
12,05			144,241,251
12,43			144,241,252

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik Stabilitas Nyala Api

Pada grafik 4.3 merupakan grafik nyala api dalam penelitian ini dimana *Combustor* menggunakan variasi diameter out 8 mm dan 10 mm dengan penambahan *sudden expansion* dan *plate flame holder* dengan rasio equivalen sebesar 1. Dalam grafik tersebut terlihat hubungan antara kecepatan reaktan dan rasio equivalen, dari grafik tersebut dapat diamati perbedaan kecepatan reaktan dipengaruhi besar diameter out dari variasi *combustor* yang dapat menghasilkan nyala api yang berbeda beda .

Visualisasi Bentuk Nyala Api

Bentuk bentuk nyala api dalam penelitian ini dapat dilakukan pengamatan pada tabel 3 dan 4 dimana tabel tersebut merupakan hasil pengambilan data berupa foto nyala api dengan rasio equivalen sebesar = 1, dimana nilai kecepatan reaktan yang berbeda beda pada setiap titik menghasilkan bentuk api yang berbeda. Semakin besar nilai kecepatan reaktan maka api yang dihasilkan semakin melebar dan membentuk seperti 2 huruf c atau setengah lingkaran dengan warna biru terang yang berada di bagian *plate holder*.

Berdasarkan perhitungan kecepatan reaktan (v) dan rasio ekuivalen (Φ), meningkatnya debit bahan bakar berbanding lurus dengan rasio ekuivalen (Φ) dan kecepatan reaktan (v) yang juga akan mengalami peningkatan,. Dimana, jarak nyala api ke *flame holder* juga dipengaruhi oleh debit udara dan bahan bakar.

Dalam penelitian ini terdapat 5 macam bentuk api yan dihasilkan yaitu : *flashback flame*, *flame at combustor rim*, *flame in combustor*, *flame at flame holder* dan *oscillating flame*. Sedangkan dengan jumlah equivalen ratio = 1 hanya terdapat 2 bentuk api yang dihasilkan yaitu : *flashback flame* dan *flame at flame holder*. *Flashback flame* merupakan bentuk api yang terjadi karena jumlah bahan bakar yang terlalu sedikit atau kecepatan reaktan yang terlalu rendah. *Flame at flame holder* merupakan bentuk api yang diinginkan, nyala api terbaik merupakan *flame regime* yang terbentuk *stationary symetric* yang stabil, dimana posisinya menempel pada *sudden expansion* [3].

Selanjutnya dari kedua variasi *diameter out combustor* 8 mm dan 10 mm, pada rasio equivalen = 1 dengan kecepatan reaktan yang rendah seperti pada *combustor* 8 mm dengan kecepatan reaktan sebesar 6,35cm/s – 11,42 cm/s menghasilkan bentuk api *flashback* dan untuk *combustor* dengan diameter out 10 mm kecepatan reaktan sebesar 4,06 cm/s – 7,68 cm/s menghasilkan bentuk api *flashback* juga. Kejadian ini berkaitan dengan menggunakan plat sebagai *flame holder* dimana fungsi plat sebagai *flame holder* selain berfungsi meningkatkan pencampuran udara dengan bahan bakar dan memperlama *residence time* yang mana dapat memberikan tambahan waktu bagi udara dan bahan bakar untuk berturbulensi dan bercampur, karena mengalami *residence time* / waktu tinggal maka untuk menghasilkan api yang stabil dibutuhkan kecepatan reaktan yang sesuai[2] , dapat diamati dari penelitian ini penggunaan *sudden expansion* dan *plate* sebagai *flame holder* dapat menghasilkan api yang stabil (*flame at flame holder*) dengan kecepatan reaktan lebih besar dari 11,42 cm/s untuk diameter out 8 mm meskipun dengan nilai rasio equivalen =1. Dan untuk diameter out 10 mm kecepatan reaktan lebih besar dari 7,68 cm/s agar menghasilkan api yang stabil juga.

Dalam penelitian “Karakteristik Nyala Api pada pembakaran skala *meso* dengan penambahan *Sudden Expansion* Dan *Plate Flame Holder*” selain pengambilan data berupa grafik stabilitas nyala api dan foto nyala api , juga penyajian data RGB (*Red, Green and Blue*) dimana berfungsi sebagai penomoran atau pemodelan yang dapat mendeskripsikan sebuah warna atau sinar. Dalam penelitian ini nilai RGB digunakan dalam suhu warna yang dipancarkan sebuah gambar atau warna gambar dalam pembacaan angka RGB hanya melihat dari hubungan radiasi benda hitam. Jadi suhu yang relatif rendah memancarkan warna merah kusam dan suhu tinggi memancarkan warna hampir putih dari prinsip bola lampu pijar sebagai radiasi termal.

Dapat dilihat dari tabel 3 dan 4 terdapat nilai RGB yang berbanding lurus dengan nilai kecepatan

reaktan dimana semakin besar kecepatan reaktan maka nilai RGB yang dihasilkan besar juga, maka dapat diamati semakin besar nilai RGB menunjukkan temperatur api yang tinggi.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa api stabil lebih banyak terjadi dengan variasi *combustor diameter out* 10 mm yang menghasilkan daerah nyala api yang lebih luas dengan posisi api yang menempel di *flame holder* berbentuk seperti huru C atau setengah lingkaran berwarna biru terang dan menghasilkan nilai RGB yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ju, Y., & Maruta, K. (2011). Microscale combustion: Technology development and fundamental research. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(6), 669–715. 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.
- [2] Wan, J., & Fan, A. (2015). Effect of solid material on the blow-off limit of CH₄/air flames in a micro combustor with a plate flame holder and preheating channels. *Energy Conversion and Management*, 101, 552–560.
- [3] Yang, W.M., S.K. Chou, C. Shu, Z.W. Li, dan H. Xue. 2003. Research on microthermophotovoltaic power generators. *Solar Energy Materials and Solar Cell*. 80: 95-104.
- [4] Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, T., dan Yuliati, L. 2012. *Combustion of Gaseous and Liquid Fuels in Meso-Scale Tubes with Wire Mesh*. Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Japan.
- [5] Yuliati, L. 2014. *Flame Stability of Gaseous Fuel Combustion Inside Meso-Scale Combustor with Double Wire Mesh*. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 664, pp. 231-235, 2014.
- [6] Fitriansyah, R. D. 2017. *Pengaruh Rasio Ekuivalen Gas LPG dan Udara terhadap Karakteristik Pembakaran Flame Regime pada Meso-Scale Combustor dengan Sudden Expansion*. Jember: Digital Repository Universitas Jember.
- [7] DuttaRoy, R., Chakravarthy, S. R., & Sen, A. K. (2018). Experimental investigation of flame propagation and stabilization in a meso-combustor with sudden expansion. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 90(September 2017), 299–309.
- [8] Zhang, C., Najafi, K., Bernal, L. P., & Washabaugh, P. D. (2001). An Integrated Combustor-Thermoelectric Micro Power Generator. *Transducers '01 Eurosensors XV*, 34–37.
- [9] Z.W. Li, S.K Chou, C. Shu, H. Xue, W.M. Yang 2005. *Characteristics of premixed flame in*

microcombustors with different diameters. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 119260, Singapore, Department of Mechanical Engineering, California State Polytechnic University, 3801 West Temple Avenue, Pomona, CA 91768, USA. 25 (2005) 271–281.