

## KARAKTERISTIK PEMBAKARAN PADA *MESO SCALE COMBUSTOR* DENGAN BAHAN BAKAR BUTAN DAN *LIQUEFIED PETROLEUM GAS*

Nasrul Ilminnafik<sup>1\*</sup>, FX.Kristianta<sup>1</sup>, Ivan Bagus Sanjaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: nasrul.teknik@unej.ac.id

### ABSTRACT

*Meningkatnya konsumsi energi menyebabkan masalah sumber daya alam khususnya energi fosil. Micro Power Generator (MPG) adalah sebuah terobosan teknologi yang mampu membantu penghematan energi fosil. Terdapat dua bagian utama pada MPG, yaitu micro atau meso scale combustor dan modul pengkonversi. Untuk pengoptimalan meso scale combustor dibutuhkan bahan bakar terbaik antara LPG dan Butana. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik pembakaran pada meso combustor pada variasi ekivalen rasio 1,15 dan 1,20 pada laju reaktan 30 cm/s. Penelitian dilakukan pada penyalaan api pada ruang meso scale combustor berdimensi 30 ml panjang dan 3,5 ml diameter, dengan variasi suplai udara pada suplai bahan bakar tetap. Karakteristik pembakaran meliputi temperatur dan warna api. Temperatur api butana pada variasi ekivalen rasio lebih tinggi dibandingkan pada api LPG. Adapun warna api yang dihasilkan Butana adalah biru tua dan LPG biru muda. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran butana dalam meso combustor lebih baik dibandingkan LPG.*

*Keyword : Butana, LPG, meso scale combustor, warna api, temperatur api.*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya laju pembangunan dan pola hidup masyarakat, konsumsi energi di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini terjadi hampir pada semua sektor yang mencakup sektor industri, transportasi, komersial, rumah tangga pembangkit listrik dan sektor lainnya.

Energi fosil khususnya minyak bumi, merupakan sumber utama dan sumber devisa negara. Kenyataan menunjukkan bahwa cadangan energi fosil yang dimiliki Indonesia jumlahnya terbatas. Sementara itu, konsumsi energi terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Dengan demikian sumber daya alam yang mampu menghasilkan energi semakin terkuras, karena sebagian besar sumber energi berasal dari sumber daya yang tidak terbarukan, misalnya minyak bumi, gas dan batubara (Ariwibowo, 2013).

Cadangan energi Indonesia hanya mampu bertahan beberapa puluh tahun lagi. Jika tidak ada tindakan efisiensi maka cadangan tersebut akan lebih cepat habis dan membuat harus lebih dipikirkan energi alternative yang sifatnya terbarukan. Sudah waktunya Indonesia tidak menggantungkan diri kepada energi yang tidak terbarukan dan harus mengembangkan energi alternative yang dapat terbarukan jika tidak ingin mengalami krisis energi di masa mendatang.

Salah satu pengembangan teknologi pemanfaatan bahan bakar fosil secara optimal adalah penggunaan teknologi *Micro Power Generator (MPG)*. Terdapat dua bagian utama pada *MPG*, yaitu *micro* atau *meso scale combustor* dan modul pengkonversi. *Meso-scale combustor* berfungsi sebagai penghasil energi termal dari pembakaran, sedangkan modul pengkonversi berfungsi untuk mengkonversikan energi termal menjadi energi listrik.

*Meso-scale combustor* adalah ruang bakar dengan diameter dalam sebesar 1-10 mm. Dengan ukuran diameter ruang bakar yang sangat kecil maka kestabilan pembakaran sangat tidak mudah, mengingat keterbatasan waktu pembakaran di ruang bakar (*fuel residence time*) dan laju kehilangan kalor (*heat loss*) yang cukup tinggi. Untuk menciptakan pembakaran yang baik maka harus meningkatkan *fuel residence time*, kecepatan reaksi dan mengurangi *heat loss* yang terdapat pada *meso-scale combustor*.

Mikami, *et al* (2013) menyebutkan bahwa dalam *meso-scale combustor* sudah diamati tingkat ukuran diameter yang semakin kecil akan menyempitkan daerah stabilitas api yang digambarkan oleh diagram kecepatan – *equivalent ratio*. Penyebabnya adalah kehilangan panas yang lebih tinggi dan keterbatasan waktu nyala api yang tidak memadai yang terkait dengan peningkatan perbandingan luas dan volume.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Pada penelitian karakteristik nyala api *Meso-Scale Combustor* menggunakan metode pengamatan secara langsung pada objek yang diteliti. Jenis Data yang digunakan adalah data kuantitatif. Kuantitatif merupakan jenis data yang bisa diukur maupun dihitung secara langsung, dan berisi informasi dalam bentuk angka

**Waktu dan Tempat penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-mesin fluida, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang dan waktu penelitian secara keseluruhan dilakukan pada bulan Agustus - September 2016.

**1. Alat**

- Meso scale combustor
- Mixer
- Kompresor
- Flowmeter udara dan bahan bakar
- Regulator butana
- Regulator LPG
- Pisco tube (selang)
- Korek / pemantik
- Kamera

**2. Bahan**

- LPG 3 kg
- Gas Butana

**Variabel Penelitian**

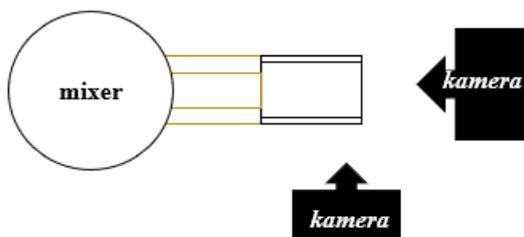
**Variabel Bebas**

Variabel Bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena hasil pengamatan, dengan parameter uji. Menggunakan variasi butana dan *LPG* 3 kg, Menggunakan variasi rasio ekuivalen ( $\phi$ ) dan kecepatan reaktan ( $V_{tot}$ )

**Variabel Terikat**

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya tergantung pada variasi variabel bebas, pada penelitian ini yang berperan sebagai variabel terikat antara lain: visualisasi nyala api, Warna nyala api.

**Skema Alat Uji**



Gambar 1. Skema Pengujian

**Prosedur Penelitian**

1. Menyiapkan peralatan *meso-scale combustor*
2. Memasang alat-alat penelitian sesuai dengan skema yang ada pada gambar 3.
3. Meletakkan kamera di depan dan di samping *meso scale combustor*.

Menggunakan *background* kertas / kain berwarna hitam untuk membantu mempertjelas kualitas gambar

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan secara eksperimental pada *meso scale combustor* dengan *sudden expansion* telah didapatkan suatu data hasil penelitian. Dari penelitian tersebut dilakukan pengamb ilan data *flammability limit* untuk masing-masing bahan bakar, yaitu campuran udara-butana dan campuran udara-LPG. Hasil keseluruhan masing – masing perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

**1. Penggunaan Bahan Bakar LPG**

$Q_f$ (ml/min)	$Q_{e\ min}$ (ml/min)	$Q_{e\ max}$ (ml/min)	$\phi$ <i>lower</i>	$\phi$ <i>upper</i>	$V_{min}$ (cm/s)	$V_{max}$ (cm/s)
3.82	97.20	100.19	1.04	1.08	17.51	18.03
4.54	100.19	112.15	1.11	1.24	18.15	20.22
5.25	107.16	125.11	1.15	1.34	19.48	22.59
5.96	117.13	135.07	1.21	1.39	21.33	24.44
6.68	135.07	140.06	1.31	1.35	24.57	25.43

Tabel 3.1 Hasil pengolahan *flammability limit* untuk bahan bakar LPG

**2. Penggunaan Bahan Bakar Butana**

$Q_f$ (ml/min)	$Q_{e\ min}$ (ml/min)	$Q_{e\ max}$ (ml/min)	$\phi$ <i>lower</i>	$\phi$ <i>upper</i>	$V_{min}$ (cm/s)	$V_{max}$ (cm/s)
3.48	97.20	100.19	0.95	0.98	17.45	17.97
4.20	100.19	112.15	1.02	1.15	18.09	20.16
4.92	110.15	122.12	1.10	1.22	19.94	22.02
5.35	120.12	125.11	1.17	1.22	21.75	22.61

Tabel 3.2 Hasil pengolahan *flammability limit* untuk bahan bakar Butana

Berdasarkan nilai rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan dari Tabel 3.1 sampai tabel 3.2 diatas. Sehingga didapat diagram hubungan rasio ekuivalen dengan kecepatan reaktan, diagram tersebut yang menjadi dasar analisa karakteristik pembakaran dan temperatur pada *meso scale combustor* dengan *sudden expansion*.

Pengambilan data visualisasi bentuk nyala api dan temperatur nyala api dilakukan dengan mengambil titik tengah pada grafik *flammability limit* ketika nilai rasio ekuivalen dan kecepatan reaktan berada pada titik yang sama. hal ini dikarenakan, pada titik nyala yang sama, maka pengaruh variasi bahan bakar pada *meso scale combustor* dapat dibandingkan. Titik yang ditentukan tersebut berada pada rasio ekuivalen 1.15 dan 1.20 dengan kecepatan reaktan 20 cm/s.

Bahan Bakar	$\phi$	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Tampak Samping	Tampak Depan
Butana	1.15	20		
Butana	1.20	20		
LPG	1.15	20		
LPG	1.20	20		

Tabel 4.4 nyala api dari tampak samping dan tampak depan pada *meso scale combustor* dengan *sudden expansion* untuk penggunaan bahan bakar butana ( $C_4H_{10}$ ) dan LPG.

Pada tabel 4.4 menunjukkan visualisasi nyala api dari tampak samping dan tampak depan pada *meso scale combustor* dengan *sudden expansion* untuk penggunaan bahan bakar butana ( $C_4H_{10}$ ) dan LPG. Visualisasi nyala api tersebut ditampilkan berdasarkan kecepatan reaktan konstan (variasi rasio ekuivalen). Dalam hal ini, hasil visualisasi dapat dianalisa berdasarkan pengaruh penggunaan bahan bakar dan pengaruh perbedaan nilai rasio ekuivalen untuk masing-masing bahan bakar. Hasil visualisasi nampak samping mampu memberikan pengetahuan bahwa penggunaan *sudden expansion* pada *meso scale combustor* mampu memberikan dampak yang signifikan untuk mengontrol posisi nyala api. Selain itu, visualisasi tampak samping mampu memberikan gambaran tentang pengaruh penggunaan bahan bakar dan variasi rasio ekuivalen terhadap karakteristik pembakaran. Penggunaan bahan bakar yang berbeda pada *meso scale combustor* dengan *sudden expansion* memberikan suatu pengetahuan baru tentang perbedaan pada setiap bahan bakar terhadap karakteristik pembakaran. Pada Tabel 4.4 terlihat

bahwa penggunaan kedua bahan bakar tersebut memiliki posisi nyala api dan warna nyala api yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh kandungan zat pada masing-masing bahan bakar. Selain itu, posisi nyala api dan warna nyala api dipengaruhi oleh variasi nilai rasio ekuivalen.

Penggunaan bahan bakar butana memiliki kontrol posisi nyala api yang lebih baik daripada penggunaan gas LPG. Selain itu, terlihat bahwa penggunaan gas butana menunjukkan warna nyala api yang lebih biru terang dibandingkan gas LPG yang menandakan suatu kelancaran proses reaksi pembakaran. Seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, proses reaksi pada gas butana mampu lebih baik daripada proses reaksi gas LPG. Hal tersebut akan berdampak pada posisi nyala api dimana dengan proses reaksi yang lancar, posisi nyala api akan semakin mendekati step, karena menandakan fungsi *sudden expansion* sebagai pensirkulasian ulang reaktan. Selain itu, proses reaksi yang lancar akan memberikan warna nyala yang lebih baik, karena reaktan yang terbakar jauh lebih sempurna.

Selain pengaruh penggunaan bahan bakar tersebut, kontrol posisi nyala api dan warna nyala api dipengaruhi oleh variasi rasio ekuivalen. Terlihat pada Tabel 4.4 posisi nyala api semakin menjauhi step seiring dengan peningkatan nilai rasio ekuivalen. Hal ini dikarenakan dengan peningkatan nilai rasio ekuivalen akan meningkatkan pula kandungan massa yang dikandung oleh campuran reaktan. Sehingga, apabila intensitas massa yang terkandung terlalu banyak, proses reaksi akan semakin sulit yang menyebabkan kecepatan reaksi menurun. Dengan demikian, posisi nyala api akan semakin menjauhi step karena proses reaksi tidak berlangsung baik. Sebaliknya, pada nilai rasio ekuivalen yang rendah, intensitas massa yang terkandung pada campuran reaktan tidak terlalu banyak, sehingga proses reaksi semakin baik dan mampu meningkatkan posisi nyala api mendekati step karena laju reaksi meningkat.

Beberapa kejadian tersebut juga berdampak pada warna nyala api yang dihasilkan, dimana warna nyala api nampak lebih biru terang pada nilai rasio ekuivalen yang rendah daripada nilai rasio ekuivalen yang tinggi. Pada nilai rasio ekuivalen yang rendah, intensitas massa yang dikandung oleh campuran reaktan tidak terlalu besar, sehingga proses reaksi akan lebih baik. Dengan kelancaran proses reaksi tersebut, reaktan akan mampu terbakar secara sempurna, sehingga warna nyala api akan nampak lebih biru terang. Hal ini berbanding terbalik ketika nilai rasio ekuivalen terletak pada angka yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan intensitas massa yang lebih banyak, mengakibatkan proses reaksi kurang lancar, sehingga masih banyak reaktan yang belum

terbakar. Hal tersebut akan berdampak pada warna api, dimana warna nyala api akan nampak biru pudar.

#### Temperatur Nyala Api

Temperatur nyala api diukur sesuai titik tengah pada grafik *flammability limit* atau titik yang sama pada pengambilan data visualisasi nyala api. Berikut merupakan hasil pengambilan data temperatur nyala api pada penggunaan masing-masing bahan bakar.

Bahan Bakar	$\Phi$	Kecepatan Reaktan (cm/s)	Temperatur Nyala Api (°C)
Butana	1.15	20	916,607
Butana	1.20	20	928,154
LPG	1.15	20	813.802
LPG	1.20	20	864.025

Tabel 4.5 Temperatur nyala api

Pada Tabel 4.5 menunjukkan perbedaan temperatur pada masing-masing penggunaan bahan bakar. Penggunaan bahan bakar butana memiliki temperatur nyala api yang lebih tinggi daripada penggunaan gas LPG. Seperti yang dijelaskan pada bagian sebelumnya, proses reaksi pada gas butana mampu lebih baik daripada proses reaksi gas LPG. Hal tersebut akan berdampak pada temperatur nyala api dimana dengan proses reaksi yang lancar, temperatur nyala api akan semakin tinggi, karena menandakan reaktan terbakar secara sempurna. Sebaliknya, ketika proses reaksi yang terjadi tidak terlalu lancar, akan menyebabkan penurunan temperatur sebagai akibat masih adanya reaktan yang tidak terbakar (pembakaran tidak sempurna).

Selain pengaruh penggunaan bahan bakar tersebut, temperatur nyala api juga dipengaruhi oleh variasi rasio ekuivalen. Terlihat pada Tabel 4.5 temperatur nyala api semakin menjauhi step seiring dengan peningkatan nilai rasio ekuivalen. Hal ini dikarenakan dengan peningkatan nilai rasio ekuivalen akan meningkatkan pula jumlah

campuran reaktan. Sehingga, dengan jumlah reaktan yang masuk kedalam meso scale combustor lebih banyak, maka reaktan yang terbakar akan semakin banyak pula dan mampu meningkatkan nilai temperatur nyala api. Begitu pula jika nilai rasio ekuivalen dikurangi, maka campuran reaktan yang masuk kedalam meso scale combustor tidak terlalu banyak dan menyebabkan reaktan yang terbakar tidak terlalu besar. Hal ini akan menurunkan nilai temperatur nyala api.

#### KESIMPULAN

Dari tahapan penelitian yang dilakukan, telah didapatkan beberapa kesimpulan yang dapat dijadikan pengetahuan mengenai pengaruh variasi bahan bakar butana dan LPG pada meso scale combustor dengan *sudden expansion* Penggunaan bahan bakar gas butana mampu memberikan kontrol posisi nyala api dan warna nyala api yang lebih baik daripada penggunaan gas LPG. Hal ini dikarenakan pembakaran gas butana mampu lebih sempurna daripada pembakaran gas LPG sehingga reaktan mampu terbakar lebih sempurna.

Penggunaan bahan bakar gas butana mampu memberikan temperatur nyala api yang lebih tinggi daripada penggunaan gas LPG. Hal ini dikarenakan proses pembakaran pada gas butana lebih baik, campuran reaktan mampu tereaksi secara sempurna sehingga temperatur nyala api mampu meningkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariwibowo. 2013. *Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan PLTMH di Desa Depok Kecamatan Lebakbarang Kabupaten Pekalongan*. Tesis. Semarang: Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. [Serial Online] <http://eprints.undip.ac.id/37844/> [9 Juni 2016]
- [2] Mikami, M., Maeda, Y., Matsui, K., Seo, T. & Yuliati, L. 2012. *Combustion of Gaseous and Liquid Fuels In Meso-scale Tubes With Wire Mesh*. *Proceeding of the Combustion Institute* 34. 3387-3394
- [3] Maruta, K. 2011. *Micro and Mesoscale Combustion*. *Science Direct*. *Proceedings of the Combustion Institute Vol (33)*: 125-150.