

PENGARUH UKURAN WIRE MESH TERHADAP KARAKTERISTIK NYALA API PADA MESO-SCALE COMBUSTOR DENGAN SUDDEN EXPANSION

Try Sandy Yudha¹, Franciscus Xaverius Kristianta², Andi Sanata²

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

Email: trysandy@gmail.com

ABSTRAK

Meso-scale combustor adalah pipa logam yang terdiri dari inlet dan outlet berdiameter 1-10 mm sebagai saluran bahan bakar dan oksidator yang sudah tercampur, lalu terjadi pembakaran skala meso. Metode penelitian ini menambahkan sudden expansion dengan memvariasikan ukuran wire mesh berukuran 30, 60, dan 90 mesh/in, dan menggunakan diameter inlet 3,3 mm dan diameter outlet 4,7 mm berguna pada api yang menyala didalam Meso-scale combustor lebih stabil. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi ukuran wire mesh terhadap karakteristik dan kestabilan nyala api pada meso-scale combustor.

Keywords: Meso-Scale Combustor, Wire Mesh, Sudden Expansion, Flame Mode.

PENDAHULUAN

Penduduk didunia pada era jaman sekarang ini sudah menggunakan peralatan yang memudahkan pekerjaan manusia. Sebagian besar peralatan itu menggunakan energi berupa energi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik, diperlukan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil jika digunakan terus menerus akan habis, karena jumlah yang sangat terbatas. Penggunaan menghemat bahan bakar fosil, dilakukan pengembangan teknologi yang menggunakan bahan bakar fosil yang minim. Perkembangan miniaturisasi peralatan pembangkit energi berskala kecil sedang berlangsung dengan pesatnya (Mikami dkk., 2013).

Penelitian pembakaran yang berskala *micro* atau *meso* bertujuan untuk pengembangan energi masa depan serta dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin berkembang (Maruta dkk., 2011). Pengembangan pembangkit listrik menggunakan skala *meso* (*meso-scale combustor*). Sulit untuk menjaga api stabil didalam *micro combustor*, karena keterbatasan tidak memadai waktu tinggal dan tingkat kehilangan panas yang tinggi terkait dengan peningkatan permukaan ke volume rasio, yang menyebabkan pendinginan termal (Mikami dkk., 2013). *Meso-scale combustor* terdapat dua komponen, yaitu *inlet* dan *outlet* berupa pipa logam yang berdiameter 1-10 mm sebagai saluran bahan bakar dan oksidator yang sudah tercampur, lalu terjadi pembakaran skala *meso*.

Pembakaran yang terjadi akan menghasilkan energi panas yang akan diubah menjadi energi listrik. Banyak penelitian telah dilakukan pada peningkatan kinerja dan stabilitas pembakaran skala *meso* dengan bahan bakar gas (Maruta dkk., 2011).

METODOLOGI PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan februari 2020 hingga selesai, bertempat di laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

b. Alat dan Bahan

1. *Meso-Scale Combustor*
2. Kompresor
3. *Pisco Tube*
4. *Flowmeter* Udara dan Bahan Bakar
5. *Mixer*
6. *Combustor Holder*
7. Kamera
8. Regulator Butana
9. Gas Butana
10. *Wire Mesh* 30, 60, 90

c. Prosedur Penelitian

Meso-Scale Combustor menggunakan *sudden expansion* memiliki ukuran *inlet* 3,3 mm berbahan pipa logam dan *outlet* 4,7 mm berbahan kaca pyrex bertujuan untuk pengambilan gambar *flame mode* menggunakan kamera. Untuk variasi ukuran *wire mesh* menggunakan bahan *stainless steel* berukuran 30, 60, dan 90 *mesh/in*.

Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah debit udara, debit bahan bakar, dan visualisasi nyala api berupa foto. Pengolahan data yang akan didapat adalah *flammability limit*, karakteristik nyala api, dan rasio equivalen (ϕ) = 1 pada setiap ukuran *wire mesh* 30, 60, 90 *mesh/in*. Persamaan yang digunakan dalam mengelolah data hasil penelitian sebagai berikut:

a) Massa alir bahan bakar

$$mf = \frac{Qf(vapor)}{60} pf(vapor)(mg/min)$$

b) Debit bahan bakar

$$Qf = \frac{mf}{pf} (ml/min)$$

c) *Air fuel ratio*

$$AFR = \frac{ma}{mf} = \frac{MaNa}{MfNf}$$

d) Rasio ekuivalen

$$\phi = \frac{(AFR)_{stoikiometri}}{(AFR)_{aktual}}$$

$$AFR_{stoikiometri} = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} = \frac{N \times Mr \text{ udara}}{N \times Mr \text{ bahan bakar}}$$

e) Kecepatan minimal reaktan

$$V_{total (minimal)} = \frac{Qf(vapor)/Qa(min)}{60} = \frac{60}{(3,14 + r^2)}$$

f) Kecepatan maksimal reaktan

$$V_{total (maksimal)} = \frac{Qf(vapor)/Qa(maks)}{60} = \frac{60}{(3,14 + r^2)}$$

Keterangan:

r: jari – jari dalam *combustor*(mm)

(AFR)*stoikiometri*: rasio udara dan bahan bakar *stoikiometri*

(AFR)*aktual*: rasio udara dan bahan bakar aktual

Qa minimal: debit udara minimal (ml/min)

Qmaksimal: debit udara maksimal (ml/min)

Qf(*vapor*): debit bahan bakar pada fase uap (ml/min)

$\rho f(vapor)$: densitas bahan bakar pada fase uap (mg/ml)

mf: massa alir bahan bakar (mg/min)

ma: massa alir udara (mg/min)

Mf: massa molar bahan bakar (g/mol)

Ma: massa molar udara (g/mol)

Nf: jumlah mol bahan bakar

Na: jumlah mol udara

Mr: molekul relative

Φ : rasio ekuivalen

V_(minimal): kecepatan minimal reaktan di dalam *combustor* (cm/s)

V_(maksimal): kecepatan maksimal reaktan di dalam *combustor* (cm/s)

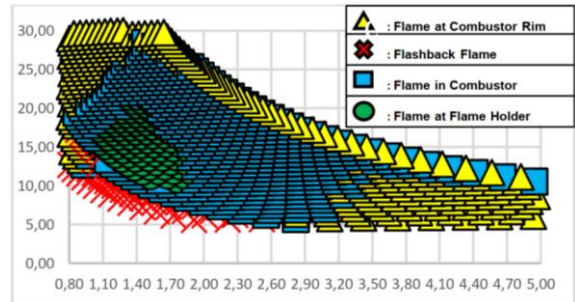
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitan, pengaruh *flame holder* berupa variasi ukuran *wire mesh* dengan penggunaan *sudden ekspansi* sebagai *flame holder* terhadap karakteristik nyala api pada pembakaran bahan bakar butana dan udara di *meso-scale combustor* didapatkan hasil sebagai berikut:

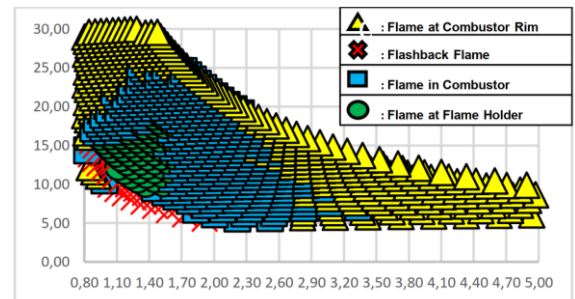
a. Grafik *flame ability limit*.

Terlihat pada ketiga grafik yang menjelaskan hubungan antara kecepatan reaktan dengan rasio ekuivalen, bahwa semakin besar kecepatan reaktan

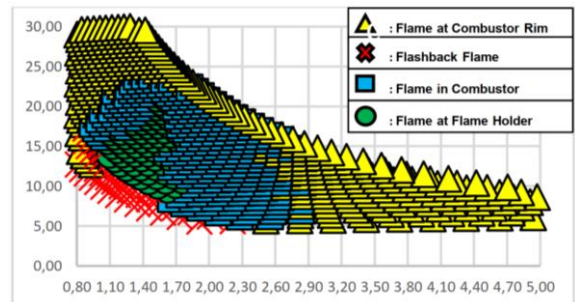
maka semakin kecil rasio ekuivalen yang didapatkan dari hasil perhitungan. Dengan begitu akan diketahui batas maksimal dari setiap variasi *wire mesh* yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Grafik *Flammability Limit Wire Mesh* 30



Gambar 2. Grafik *Flammability Limit Wire Mesh* 60





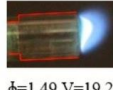



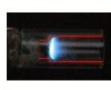

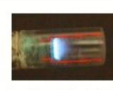
Gambar 3. Grafik *Flammability Limit Wire Mesh* 90

Perbedaan dari ketiga grafik tersebut adalah pada karakteristik api yang menempel pada *flame holder* (*Flame at Flame Holder*) titik berwarna hijau bahwa rentang nyala api penyebarannya paling luas pada *combustor* dengan *wire mesh* 90. Sedangkan rentang nyala api penyebarannya paling sempit terjadi pada *combustor* dengan *wire mesh* 30. Terlihat juga pada titik berwarna biru yang berarti *Flame in Combustor* penyebaran pada ketiga grafik yang tidak merata.

b. Karakteristik Nyala Api (*Flame Mode*)

Data grafik hasil penelitian tersebut kemudian dikelompokkan kembali berdasarkan foto *flame mode* atau foto karakteristik api pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Nyala Api

No	Karakteristik Nyala Api	Mesh 30	Mesh 60	Mesh 90
1	Flame at Combustor Rim	 $\phi=1,49$ V=19,26	 $\phi=1,49$ V=19,26	 $\phi=1,49$ V=19,26
2	Flame in Combustor	 $\phi=0,88$ V=30,15	 $\phi=0,88$ V=30,15	 $\phi=0,88$ V=30,15
3	Flame at Flame Holder	 $\phi=1,10$ V=25,83	 $\phi=1,10$ V=25,83	 $\phi=1,10$ V=25,83

Hasil penelitian mendapatkan pengaruh karakteristik nyala api yang berjumlah 4, yaitu *flame at combustor rim*, *flame in combustor*, *flashback flame*, dan *flame at flame holder*.

1. *Flame at Combustor Rim*

Flame at combustor rim bisa disebut dengan nyala api *blow out*. Letak karakteristik nyala api ini berada di ujung luar *combustor*. Api jenis ini lebih banyak muncul dari jenis api yang lain. Api *blow out* bisa diambil dengan contoh rasio equivalen 1,49 dan kecepatan reaktan 19,26 cm/s. Api yang terbentuk karena kecepatan aliran reaktif lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan nyala, sehingga api terdorong keluar *combustor*.

2. *Flame in combustor*

Flame in combustor berada di dalam *combustor*. *Flame in combustor* dengan *flame at flame holder* sama berada di dalam *combustor*, namun perbedaan dari keduanya adalah jarak dari *sudden expansion*. Semakin besar rasio ekuivalen, maka nyala api akan terjadi sebelum *flame at flame holder*. Begitu juga sebaliknya semakin kecil rasio ekuivalen, maka nyala api akan terjadi setelah *flame at flame holder*.

3. *Flashback flame*

Karakteristik nyala api jenis ini paling sedikit terjadi daripada jenis nyala api yang lain. Karakteristik nyala api ini terjadi karena kecepatan nyala rambat api atau *flame speed* lebih tinggi dari pada kecepatan aliran. Api *flashback* dengan variasi *wire mesh* 30 terjadi pada bahan bakar 2 sampai 3,5, sedangkan pada *wire mesh* 60 terjadi pada bahan bakar 2 sampai 3, lalu pada *wire mesh* 90 terjadi pada bahan bakar 2 sampai 3,5.

4. *Flame at flame holder*

Karakteristik api jenis ini menempel pada *sudden expansion* dan *wire mesh* sebagai *flame holder* di dalam *combustor*. Api ini terjadi ketika penurunan nilai rasio ekuivalen secara berkelanjutan dan oskidator tercampur secara ideal sehingga nilai kecepatan reaktan dan kecepatan nyala api seimbang tetapi pada *flame at flame holder* nilai rasio ekuivalen hamper mendekati stokiometri. Api inilah yang sebenarnya diinginkan, dimana api yang berada

didekat step akan nyala lebih lama dibandingkan nyala api yang lainnya.

Tabel 2. Nyala Api $\phi=1$

V (cm/s)	Mesh 30 $\phi=1,00$	Mesh 60 $\phi=1,00$	Mesh 90 $\phi=1,00$
18,40	 RGB= 165,225,237	 RGB= 72,224,249	 RGB= 82,223,253
20,10	 RGB= 182,229,242	 RGB= 79,238,253	 RGB= 106,225,254
21,79	 RGB= 188,234,246	 RGB= 82,222,253	 RGB= 84,227,254
23,48	 RGB= 207,239,249	 RGB= 95,235,253	 RGB= 86,234,255
31,40	 RGB= 213,246,255	 RGB= 109,246,253	 RGB= 118,248,254
33,10	 RGB= 219,250,255	 RGB= 114,250,254	 RGB= 186,250,254
34,79	 RGB= 224,254,255	 RGB= 126,248,254	 RGB= 250,255,255
36,48	 RGB= 228,254,255	 RGB= 134,246,254	 RGB= 250,255,255
38,18	 RGB= 235,254,255	 RGB= 159,250,254	 RGB= 252,254,255
39,87	 RGB= 242,255,255	 RGB= 173,240,254	 RGB= 254,254,255
44,40	 RGB= 248,255,255	Api Tidak Menyala	Api Tidak Menyala
46,10	 RGB= 250,255,255	Api Tidak Menyala	Api Tidak Menyala
47,79	 RGB= 254,255,255	Api Tidak Menyala	Api Tidak Menyala

c. Karakteristik Nyala Api $\phi=1$

Data grafik hasil penelitian tersebut kemudian dikelompokkan kembali berdasarkan foto *flame mode* atau foto karakteristik api pada tabel 2.

Nyala api pada hasil penelitian yang menghasilkan rasio equivalen (Φ) = 1 pada *combustor* dengan *mesh* 30 berjumlah 13 nyala api. *Combustor* dengan *mesh* 60 dengan rasio equivalen (Φ) = 1

berjumlah 10 nyala api, dengan sebagian besar karakteristik api yang dihasilkan adalah *flame in combustor* dan hanya ada 4 karakteristik *flame at flame holder*. *Combustor* dengan mesh 90 dengan rasio equivalen (Φ) = 1 berjumlah 10 nyala api. Untuk membedakan terdapat angka RGB pada penjelasan berikutnya.

Hasil pengujian pada tabel rasio equivalen (Φ) = 1 terdapat warna api yang di tandai oleh RGB (*red, green, blue*) pada setiap api. Hal ini terbukti bahwa semakin besar kecepatan reaktan pada api maka angka RGB yang dihasilkan akan semakin besar. Semakin besar angka RGB yang dihasilkan, maka warna api tersebut akan semakin terang dan otomatis temperature pada api akan semakin tinggi.

Hasil penelitian pada tabel adalah karakteristik api setelah melewati perhitungan dan menghasilkan rasio ekuivalen (Φ) = 1. pada kecepatan reaktan 18,40 sampai 23,48 pada tabel sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fitriansyah *et al.* (2018) menyebutkan bahwa nyala api terbaik merupakan *flame regime* yang terbentuk *stationary symmetric* yang stabil, dimana posisinya menempel pada *sudden expansion* sehingga waktu tinggal api lebih lama serta memiliki temperatur yang lebih tinggi. Semakin besar ukuran *wire mesh*, semakin luas pula penyebaran titik nyala api pada grafik *flammability limit*. Seperti pada *wire mesh* 90 memiliki penyebaran titik nyala api paling luas bisa dilihat dari jenis nyala api *Flame at flame holder* pada grafik di tandai dengan titik berwarna hijau. Sedangkan penyebaran titik nyala api yang paling sempit terjadi pada variasi *combustor* dengan *wire mesh* 30.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka pengaruh ukuran *wire mesh* terhadap karakteristik nyala api pada *meso-scale combustor* dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat empat jenis karakteristik nyala api yaitu *flame at combustor rim*, *flashback*, *flame in combustor*, dan *flame at flame holder*. Karakteristik nyala api *flame at flame holder* paling luas pada grafik *flame ability limit* variasi dengan *wire mesh* dengan ukuran 90 dibandingkan dengan *wire mesh* 30 dan *wire mesh* 60. Rentang *flame ability limit* lebih luas, sehingga nyala api dengan rasio equivalen $\phi=1$ semakin banyak. Pada penelitian ini paling banyak terdapat pada variasi *wire mesh* 30 yang berjumlah 13 nyala api, sedangkan pada variasi *wire mesh* 60 dan 90 hanya berjumlah 10 nyala api.
2. Pengaruh penggunaan variasi ukuran *wire mesh* dan *sudden expansion* pada *meso scale combustor*, api yang terjadi pada proses pembakaran di dalam *meso scale combustor* lebih mudah untuk mendapatkan nyala api stabil diam pada tempatnya selama 3 menit, sehingga lebih mudah untuk mendokumentasikan nyala api.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ju, Y., dan Maruta, K., 2011. *Microscale combustion: Technology development and fundamental research*. Progress in Energy and Combustionn. Sci. 37, 669-715.
- [2] 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.
- [3] Fitriansyah, R. D., Setyawan, D. L., Jatisukamto, G. 2018. Pengaruh Rasio Ekuivalen terhadap traveling speed stationary flame pada mesoscale combustor dengan sudden expansion.. *Jurnal STATOR, volume 1(1)* . 107–110.