

STUDI NUMERIK PEMBAKARAN BUTANA (C₄H₁₀) DALAM MESO SCALE COMBUSTOR DENGAN PERFORATED PLATE

Fauzan Baananto, Lilis Yulianti, Nurkholis Hamidi
Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167 Malang, Indonesia
Telp. +62 341 587710, 587711
E-mail: 92fauzanbaananto@gmail.com

Abstract

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan pembakaran dan temperatur nyala api di dalam meso-scale combustor dengan variasi bentuk perforated plate flame holder, serta temperatur gas hasil pembakaran pada sisi keluar combustor menggunakan metode numerik atau Computational Fluid Dynamics (CFD). Meso-scale combustor terbuat dari dua potong quartz glass tube dengan panjang 20 mm dan 10 mm, masing-masing memiliki diameter dalam 3.5 mm dan tebal dinding 0.7 mm. Dua macam perforated plate flame holder yang terbuat dari tembaga, yaitu perforated plate type I dan perforated plate type II, disisipkan diantara dua quartz glass tube. Bahan bakar yang digunakan adalah butana (C₄H₁₀) dengan oksidator udara. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan ANSYS Fluent 17.0. Hasil simulasi numerik dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pembakaran paling stabil diperoleh di dalam meso-scale combustor dengan menggunakan flame holder berupa perforated plate type II, yaitu pembakaran dapat terjadi dengan stabil di dalam combustor pada kecepatan reaktan yang lebih tinggi. Selain itu combustor dengan perforated plate flame holder type II juga menghasilkan temperatur api yang lebih tinggi pada kecepatan reaktan yang sama. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian eksperimental yang telah dilakukan sebelumnya pada combustor dengan spesifikasi yang sama. Pembakaran yang lebih stabil dan temperatur api yang lebih tinggi di dalam combustor dengan perforated plate flame holder type II terjadi karena distribusi temperature ke reaktan di dalam penampang combustor yang lebih merata dan heat recirculation dari nyala api ke reaktan melalui konduksi pada dinding combustor yang lebih baik. Heat recirculation yang lebih baik ditunjukkan oleh temperatur api dan dinding combustor yang lebih tinggi.

Keywords: CFD, Meso-scale combustor, perforated plate, heat recirculation, temperatur

PENDAHULUAN

Perkembangan akhir-akhir ini tentang nano dan pembuatan teknologi berskala mikro, secara signifikan telah berkembang pesat untuk meminimalisir kebutuhan dan multifungsi dari mesin berukuran mikro, komunikasi, pengambilan gambar, analisis kimia dan peralatan biomedik. Semakin cepatnya perkembangan peralatan yang mudah dibawa seperti telepon genggam, laptop, dan pengisi daya, pangsa pasar meminta untuk generator listrik berukuran kecil yang semakin meningkat [1]. Peralatan yang dibutuhkan memenuhi spesifikasi mudah dibawa, mempunyai umur pemakaian yang lama, dan dayanya dapat diisi ulang dengan mudah dari beberapa miliwatt menjadi ratusan watt. Belakang ini, dengan

keuntungan dari pembuatan teknologi berskala mikro untuk sistem dari *Micro Electro Mechanical System (MEMS)*, ketertarikan yang terjadi terhadap hubungan antara mikro elektronik dan sistem mesin mikro menjadi satu kesatuan. Tidak hanya diaplikasikan untuk sumber energi listrik, tetapi untuk sumber energi panas dan mekanik, pembakaran dengan skala (*micro* dan *mesoscale*) menjadi pusat perhatian yang berkembang [1, 2, 3]. Menggunakan pembakaran sebagai sumber energi listrik mempunyai keuntungan bila dibandingkan dengan menggunakan baterai.

Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) adalah peralatan elemen mesin yang didesain menggunakan teknik manufaktur dan menggunakan material pada industri *microchip* yang terintegrasi. MEMS berdasarkan pada

peralatan propulsi yang mempunyai potensi besar untuk mengembangkan daya spesifik yang tinggi. Tren perkembangan dari miniatur pada peralatan teknik elektro dan mesin (*micro transmitters, micro sensor, robot berukuran kecil, mesin jet, micro thermal-chemical power system, dll*) telah mendorong prospek baru untuk para ilmuwan ahli panas dan aliran pada bidang *micro-power generation* dengan daya yang memenuhi. Tujuan dari *Micro Power Generation* (MPG) adalah untuk mengganti baterai dari sensor mikro dan aktuator (*ultra-miniaturizing* sumber daya untuk meningkatkan kebutuhan energi) [2].

Keberhasilan dalam mestabilkan api dari bahan bakar gas pada pipa pembakaran *quartz glass* dengan penambahan wire mesh didalamnya, tanpa katalis ataupun panas dari luar telah dilakukan oleh Mikami dkk [4]. Kestabilan api terjadi sangat tergantung pada peranan penting dari *wire mesh* sebagai *flame holder*. Selanjutnya penelitian tentang kecepatan perambatan api dari bahan bakar gas pada *meso-scale combustor* dengan *wire mesh* menunjukkan bahwa kecepatan perambatan api pada disekitar daerah *wire mesh* meningkat. Hal itu disebabkan karena tingginya temperatur di daerah *wire mesh*. Fenomena tersebut mengindikasikan peranan yang lain dari *wire mesh* untuk memperbesar *heat recirculation* dari api pada reaktan yang belum terbakar oleh konduksi panas melalui dinding *combustor* [5].

Kemudian Fudhail dan Mikami (2015) melakukan penelitian numerik tentang pengaruh variasi nilai konduktivitas termal dinding *combustor* dalam *meso-scale combustors* dengan *concentric rings* sebagai *flame holder* terhadap kestabilan nyala api pada pembakaran campuran propana-udara. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa *concentric rings* sebagai *flame holder* dapat meningkatkan kestabilan nyala api dengan adanya pengaruh dari konduktivitas termal dinding *combustor* yang semakin rendah [6].

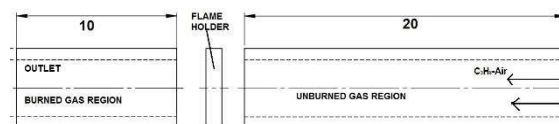
Pada tahun selanjutnya Basranto (2016) melakukan penelitian pembakaran campuran butana-air secara eksperimental dengan penambahan *perforated plate* sebagai *flame holder*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa daerah *flame stability limit* yang paling luas dan kecepatan reaktan

paling tinggi ditunjukkan pada *meso-scale combustor* dengan *flame holder perforated plate*. [7]

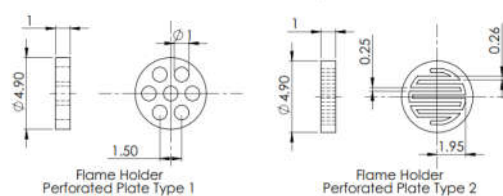
Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Basranto tersebut, studi numerik pembakaran campuran butana-udara dengan penambahan *perforated plate* sebagai *flame holder* perlu dilakukan lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh dari kestabilan api.

METODOLOGI PENELITIAN

Tiga dimensi (3D) simulasi numerik dengan kondisi *steady state* dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Fluent 17.0 yang berbasis *finite volume method*. *Combustor* yang digunakan memiliki diameter dalam 3,5 mm dengan tebal 0,7 mm. Ketebalan dinding dimodelkan sebagai fase *solid* dimana persamaan energi diselesaikan. Gambar 1. Menunjukkan *geometry* dari *meso-scale combustor* dengan panjang total dari *combustor* adalah 30 mm, dimana dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian *unburned gas* sebesar 20 mm dan bagian *burned gas* sebesar 10 mm. Pada gambar 2. diantara dua bagian tersebut terdapat *perforated plate flame holder* dengan diameter 4,9 mm dan tebal 1 mm.

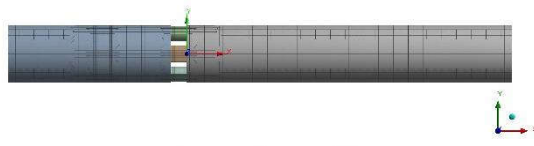


Gambar 1. Meso-scale combustor



Gambar 2. Variasi flame holder

Prosedur numerik yang dilakukan pertama kali adalah pemodelan *geometry combustor*. Kemudian langkah selanjutnya adalah proses *meshing* dengan metode *cutcell* yang digunakan pada *software* ANSYS Fluent 17.0 tersebut. Hasil dari proses *meshing* yang ditunjukkan pada gambar 3. menghasilkan rata-rata 17279 *elements*.



Gambar 3. Meshing

Setelah proses *meshing* sudah dilakukan, selanjutnya adalah pengaturan kondisi batas. Pada kondisi batas ini, pengaturan yang dilakukan divariasikan yaitu bentuk *flame holder* hingga iterasinya mencapai *convergen*. Kemudian tahap selanjutnya yaitu proses *solving* dan yang terakhir adalah *plot* hasil. Tabel 1. menjelaskan mengenai parameter-parameter yang ditentukan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pengaturan Parameter Simulasi

Parameter	Pengaturan
Solver	<i>Pressure-based, steady state</i> dan <i>axisymmetric</i>
Species model	<i>laminar</i> dengan <i>stiff chemistry solver</i> dan <i>finite-rate</i> dengan <i>stiff chemistry solver</i>
Press.-velocity coupling	<i>SIMPLE</i>
Density	<i>Ideal gas law</i>
Mixture specific heat	<i>Mixing law</i>
Species specific heat	<i>Piecewise-polynomial</i>
Convergence criteria	1×10^{-3} untuk <i>continuity</i> , <i>velocity</i> , dan <i>species equation</i> 1×10^{-6} untuk energi

Insulasi panas ($\text{heat flux}=0$) diinputkan pada kondisi batas pada kiri dan kanan dinding pada *combustor*. Kemudian untuk kondisi batas *outlet*, tekanan dikondisikan *fixed*. Dari kondisi-kondisi tersebut juga menggunakan aliran laminar dengan kecepatan 20 cm/s yang diinputkan pada kondisi batas *inlet* dengan *equivalent ratio* campuran 1.3.

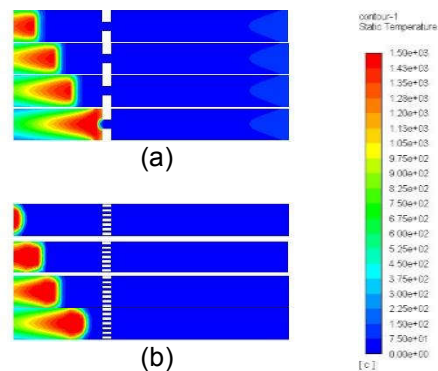
Pada tahap *solving* terdapat satu proses yang menjadi bagian terpenting dalam proses simulasi pembakaran, yaitu proses pemberian *patch temperature* atau memberikan energi panas dari luar. *Patch temperature* yang diberikan sebesar 1426,85 °C [6]. Hal ini bertujuan agar reaksi kimia yang terjadi pada

combustor dapat menghasilkan pembakaran dan produk dari reaksi kimia tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi Bentuk Nyala Api

Pada gambar 4. ditunjukkan data visualisasi nyala api yang terbentuk dengan posisi *flame holder* terdapat diantara *burned* dan *unburned gas*. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa simulasi reaksi kimia pada pembakaran campuran butane-udara dengan diberikan *patch temperature* sebesar 1426,85 °C dapat terjadi di berbagai variasi iterasi.



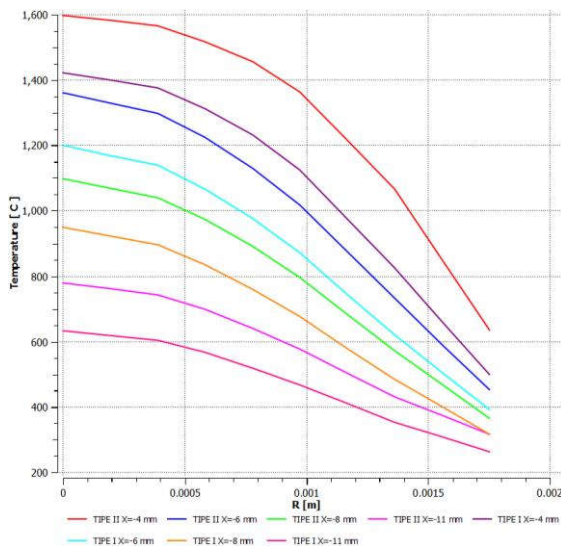
Gambar 4. Perbandingan posisi nyala api (a) Tipe I (b) Tipe II

Gambar 4. Menunjukkan visualisasi bentuk nyala api pada rasio ekuivalen (ϕ) 1.3 dan kecepatan reaktan (v) 20 cm/s dengan geometri *flame holder* yang bervariasi. Pada gambar 4.a yaitu posisi nyala api dengan *flame holder perforated plate flame holder* tipe I. Perambatan api yang terjadi mula-mula terjadi menjauhi *flame holder*, karena titik *ignition* diberikan pada daerah *outlet* ruang bakar dan selanjutnya mendekati *flame holder*. Hal ini dikarenakan karakteristik api dalam keadaan stabil dengan kecepatan reaktan yang sama, kecepatan di *burn gas area*, *flame holder* tipe I memiliki kecepatan reaktan lebih rendah jika dibandingkan dengan *flame holder* tipe II. Sehingga, jika kecepatan reaktan lebih rendah maka kecepatan pembakaran akan lebih cepat. Pada kondisi *steady* hasil iterasi yang menunjukkan kondisi stabil jika antara iterasi tidak terjadi perubahan visualisasi bentuk api.

Pada gambar 4.b diatas, dilakukan hal yang sama pada kondisi sebelumnya. Terlihat bahwa pada *flame holder perforated plate* tipe II, awal terbentuknya api terjadi ketika api menjauhi *flame holder*. Iterasi yang dilakukan dari kurang lebih 500 iterasi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa visualisasi bentuk api yang terjadi mempunyai perbedaan pada *geometry* sebelumnya. Hal tersebut tampak pada visualisasi bentuk api yang mempunyai kelengkungan pada bagian dasar api. Kecepatan reaktan setelah melewati bentuk *perforated plate* dari *flame holder* tipe II tersebut yang menyebabkan bagian dasar api mempunyai kelengkungan. Bentuk *perforated plate* tipe II menyebabkan banyak *velocity radial* yang terjadi di atas *flame holder*. Sehingga distribusi temperatur ke reaktan membentuk kelengkungan.

Temperatur Nyala Api

Pada Gambar 5. menunjukkan grafik perbandingan temperatur radial api di beberapa titik pada kedua variasi *flame holder*. Pengambilan koordinat arah sumbu X diambil pada kondisi api stabil. Titik yang diambil pada jarak 3,5,7, dan 10 mm dari titik pusat.

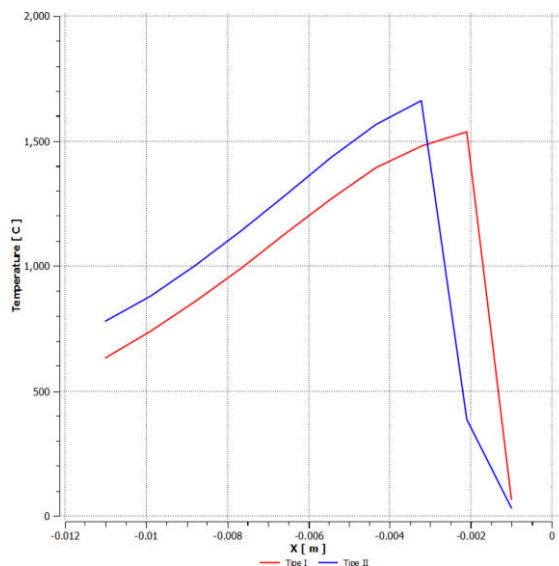


Gambar 5. Grafik perbandingan temperatur radial api

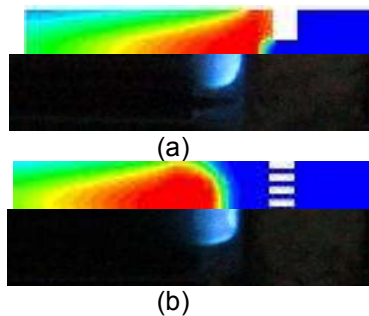
Dari gambar 5. menunjukkan bahwa semakin mendekati dinding *combustor*, temperatur api semakin rendah. Hal itu juga diikuti dengan kenaikan titik pengambilan

datanya, semakin jauh dari *flame holder* semakin rendah temperturnya. *Combustor* dengan *flame holder* tipe II menghasilkan temperatur api yang paling tinggi jika dibandingkan dengan *flame holder* lainnya. Hal ini dikarenakan *flame holder* tipe II luasan permukaan perpindahan panas yang lebih luas menyebabkan adanya *heat recirculation* dari api ke reaktan atau pemanasan awal reaktan sebelum zona pembakaran. Sehingga temperatur reaktan dan temperatur api yang dihasilkan akan meningkat.

Grafik temperatur api dan posisi nyala api pada perbandingan variasi *flame holder* ditunjukkan pada gambar 6. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa posisi nyala api dari *combustor* dengan variasi *flame holder* tipe I lebih dekat dengan *flame holder* jika dibandingkan dengan *flame holder* tipe II. Hal ini disebabkan karena proses pendistribusian temperatur yang terjadi pada *flame holder* tipe I mampu mendistribusikan temperatur ke reaktan dengan baik. Pendistribusian temperatur dimulai dari bentuk *perforated plate flame holder* yang dapat menyebabkan kecepatan reaktan lebih rendah dari pada kecepatan pembakaran. Sehingga pembakaran akan lebih maksimal.



Gambar 6. Grafik perbandingan temperatur aksial api



Gambar 7. Perbandingan Numerik dan Eksperimental Visualisasi Distribusi Temperatur Nyala Api *meso-scale combustor* dengan variasi geometri *flame holder* (a) tipe I (b) tipe II

Dari hasil simulasi numerik tersebut dapat dibuktikan bahwa hasil tersebut mendekati hasil eksperimental yang ditunjukkan pada gambar.7. Posisi api di atas *flame holder* dan juga api yang terbentuk sudah menyerupai hasil eksperimental. Temperatur simulasi numerik yang dihasilkan juga menyerupai hasil eksperimental.

KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pembakaran paling stabil diperoleh di dalam *meso-scale combustor* dengan menggunakan *flame holder* berupa *perforated plate* tipe II, yaitu pembakaran dapat terjadi dengan stabil di dalam *combustor* pada kecepatan reaktan yang lebih tinggi. Selain itu *combustor* dengan *perforated plate flame holder* tipe II juga menghasilkan temperatur api yang lebih tinggi pada kecepatan reaktan yang sama. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian eksperimental yang telah dilakukan sebelumnya pada *combustor* dengan spesifikasi yang sama. Pembakaran yang lebih stabil dan temperatur api yang lebih tinggi di dalam *combustor* dengan *perforated plate flame holder* tipe II terjadi karena distribusi temperatur ke reaktan di dalam penampang *combustor* yang lebih merata dan *heat recirculation* dari nyala api ke reaktan melalui konduksi pada dinding *combustor* yang lebih baik. *Heat recirculation* yang lebih baik ditunjukkan oleh temperatur api dan dinding *combustor* yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Ju and K. Maruta, "Microscale Combustion: Technology Development and Fundamental Research," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 37, pp. 669-715, 2011.
- [2] N. Chigier and T. Gemci, "A Review of Micro Propulsion Technology," *Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, vol. 41, 2003.
- [3] A. C. F. Pello, "Micropower Generation Using Combustion," *Proceedings of The Combustion Institute*, no. 29, 2002.
- [4] M. Mikami, Y. Maeda, K. Matsui, T. Seo and L. Yuliaty, "Combustion of Gaseous and Liquid Fuels in Meso-scale tubes with Wire Mesh," *Proceedings of The Combustion Institute*, vol. 34, pp. 3387-3394, 2012.
- [5] L. Yuliaty, "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] F.A. Munir, dan M. Masato. 2015. "A numerical Study of Propane-air Combustion in Meso-scale Tube Combustors with Concentric Rings", *Journal of Thermal Science and Technology* Vol.10 No. Halaman 15-29
- [7] M.E. Basranto, L. Yuliaty, dan Purnami. 2016. Pengaruh Variasi Geometri Flame Karakteristik Pembakaran dalam combustor menggunakan bahan bakar butana.