

STUDI NUMERIK PEMBAKARAN BUTANA (C_4H_{10}) DALAM MESO SCALE COMBUSTOR DENGAN PERFORATED PLATE

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

Abstract

This research was conducted to determine the combustion stability and flame temperature inside meso-scale combustor with variations of perforated plate flame holder and combustion gas temperature at combustor exit side using numerical method or Computational Fluid Dynamics (CFD). Meso-scale combustor is made of two pieces of quartz glass tube with a length of 20 mm and 10 mm. Each quartz glass tube having an internal diameter of 3.5 mm and a wall thickness of 0.7 mm. Two kinds of perforated plate flame holder made of copper i.e. perforated plate type I and perforated plate type II, inserted between two quartz glass tubes. Butane (C_4H_{10}) and air were used in this study as fuel and oxidizer, respectively. Numerical simulations were performed using ANSYS Fluent 17.0. The result of numerical simulation showed that the most stable combustion is obtained in meso-scale combustor by using flame holder in the form of perforated plate type II at higher reactant velocity. In addition, the combustor with perforated plate flame holder type II also produces a higher flame temperature at the same reactant speed. These phenomena occurred due to the temperature distribution into the reactants is more uniform and the recirculation heats into the reactants is better than the combustor with perforated plate flame holder type I. Flame and combustor walls temperatures increased with increasing recirculation heats.

Keywords: CFD, meso-scale combustor, perforated plate, heat recirculation, temperature.

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].

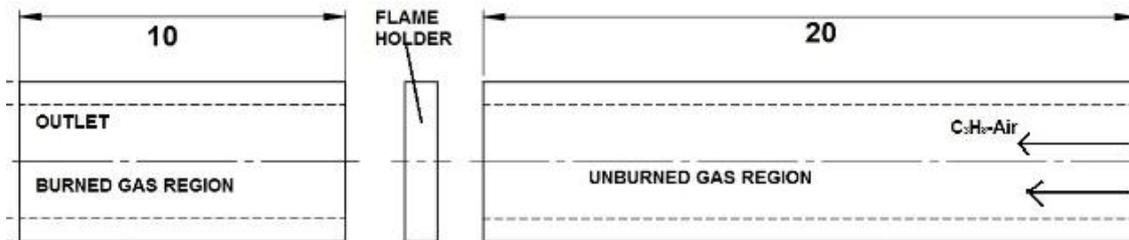
Keberhasilan dalam menstabilkan api dari bahan bakar gas pada pipa pembakaran *quartz glass* dengan penambahan *wire mesh* didalamnya, tanpa katalis ataupun panas dari luar telah dilakukan oleh Mikami dkk [4]. Kestabilan api terjadi sangat tergantung pada peranan penting dari *wire mesh* sebagai *flame 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*

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



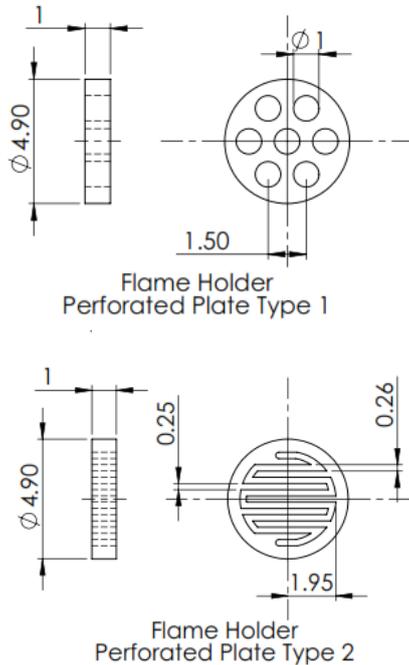
Gambar 1. *Meso-scale combustor*

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].

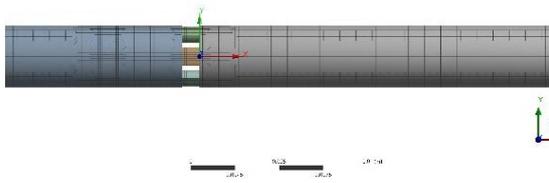
Fudhail dan Mikami melakukan penelitian numerik tentang pengaruh variasi nilai konduktivitas termal dinding *combustor* dalam *meso-scale combustors* dengan *concentric rings* sebagai *flame holder* terhadap kestabilan nyala api pada pembakaran campuran propana-udara. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan 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 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

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.

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 2. Variasi flame holder



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.

Insulasi panas ($heat\ flux=0$) 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.

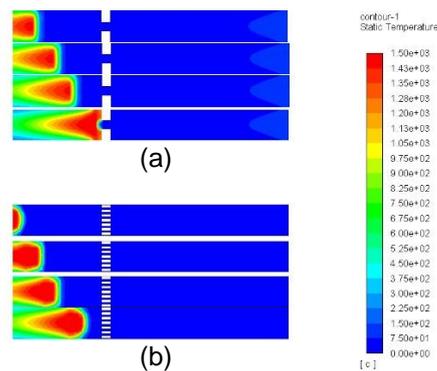
Tabel 1. Pengaturan Parameter Simulasi

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

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*. Selain itu, Gambar 4. juga menunjukkan bahwa simulasi reaksi kimia pada pembakaran campuran butane-udara dengan diberikan *patch temperature* sebesar 1426,85 °C dapat terjadi di berbagai variasi iterasi.

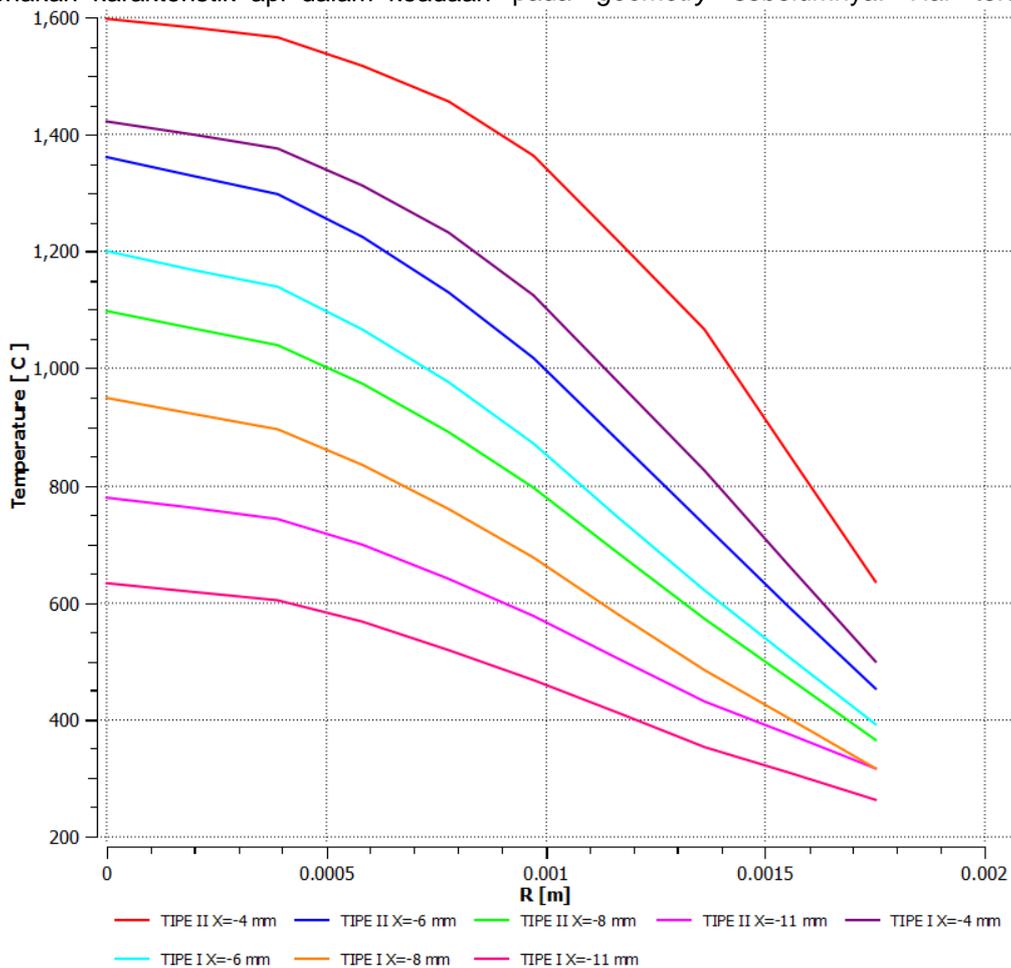


Gambar 4. Perbandingan posisi nyala api (a) Tipe I (b) Tipe II

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

menunjukkan kondisi stabil jika antara iterasi tidak terjadi perubahan visualisasi bentuk api.

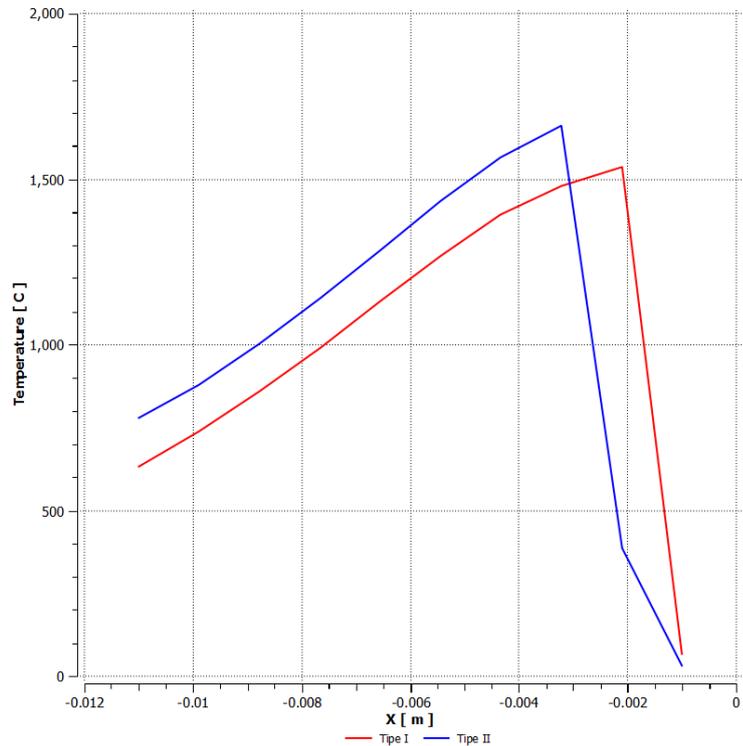
Pada Gambar 4.b diatas, dilakukan hal yang sama pada kondisi sebelumnya. Terlihat bahwa pada *flame holder perforated plate* tipe II, awal terbentuknya api terjadi ketika api menjauhi *flame holder*. Iterasi yang dilakukan dari kurang lebih 500 iterasi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa visualisasi bentuk api yang terjadi mempunyai perbedaan pada *geometry* sebelumnya. Hal tersebut



Gambar 5. Grafik perbandingan temperatur radial api

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

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*.



Gambar 6. Grafik perbandingan temperatur aksial api

Sehingga distribusi temperatur ke reaktan membentuk kelengkungan.

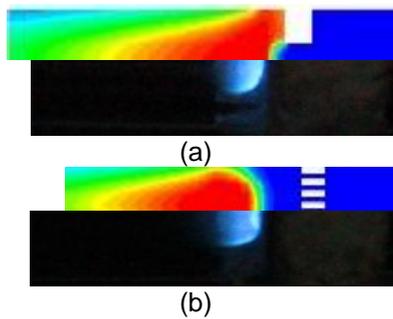
Temperatur Nyala Api

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.

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 temperaturnya. *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.

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



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

Selain itu, Tabel 2. menunjukkan bahwa temperatur simulasi numerik yang dihasilkan juga menyerupai hasil eksperimen dengan ditunjukkan pada nilai *error* yang rendah dari perbandingan distribusi temperatur. Hal ini sesuai dengan penelitian numerik yang dilakukan oleh Fudhail dan Mikami, bahwa penelitian yang telah dilakukan dengan simulasi numerik mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil penelitian eksperimental. Penambahan *flame holder perforated plate* pada *mesoscale combustor* dapat meningkatkan kestabilan nyala api.

Tabel 2. Distribusi Temperatur Gas Hasil Pembakaran pada *Flame holder* pada rasio equivalen (ϕ) 1.3

Tipe	Temperatur [°C]		Error [%]
	Eksperimental	Numerik	
I	529	615	16.39
II	859	908	5.67

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. Yuliati, "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. Yuliati, "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. Yuliati, dan Purnami. 2016. Pengaruh Variasi Geometri Flame Karakteristik Pembakaran dalam combustor menggunakan bahan bakar butana.