

KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS ALIRAN FLUIDA TERGANGGU PADA BILANGAN REYNOLD RENDAH

Saiful Anwar^{1,3} Sudjito Soeparman² Slamet Wahyudi² Agung Sugeng Widodo²

¹Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

³Program S3 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang

* No Telepon : 081230037925

*Email : saifulan2000@gmail.com

Abstract

Koefisien perpindahan panas konveksi dalam suatu aliran fluida yang memasuki saluran dipengaruhi oleh pola aliran fluidanya. Turbulensi mempunyai pengaruh terhadap besarnya laju perpindahan panas yang terjadi dari fluida ke salah satu dinding saluran yang didinginkan. Untuk menimbulkan efek turbulensi dilakukan dengan menempatkan deretan batang pengganggu profil square rod di tengah-tengah lebar penampang saluran segi empat (52 mm). Ada tiga variasi diameter hidraulik (d_b) yang digunakan yaitu 13 mm, 26 mm, dan 39 mm, sedangkan dua variasi jarak antar batang pengganggu (p_b) yaitu 52 mm, dan 104 mm. Eksperimen ini dilakukan dalam suatu test section. Artinya, saluran segi empat tersebut dialiri air bertemperatur $\pm 50^{\circ}$ C arah vertikal dari atas ke bawah dengan variasi angka Reynolds 50 sampai 500. Penelitian ini menghasilkan suatu bilangan Nuselt yang berbeda dengan variasi d_b dan variasi p_b pada fungsi bilangan Reynolds. Dari hasil eksperimen dan analisis didapat bahwa variasi $d_b = 39$ mm dengan $p_b = 52$ mm menghasilkan bilangan Nuselt yang paling besar dibandingkan dengan variasi lainnya. Sedangkan besarnya bilangan Rayleigh relatif menurun dengan aliran bilangan Reynolds yang meningkat.

Keywords: Perpindahan panas konveksi, bilangan Reynolds, bilangan Reyleigh, bilangan Nuselt, Batang pengganggu square rod

PENDAHULUAN

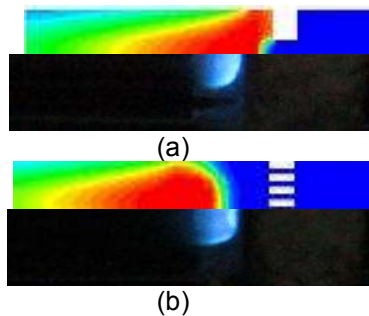
Latar Belakang

Perpindahan panas antara fluida ke batas padat atau sebaliknya, terjadi karena adanya suatu gabungan dari perpindahan panas konveksi dan konduksi. Jika fluida tersebut bertemperatur lebih tinggi dari pada batas benda padat, maka terlebih dahulu panas mengalir dengan cara konveksi dari fluida ke permukaan benda padat.

Pendinginan serta pemanasan fluida yang mengalir didalam saluran merupakan suatu di antara proses – proses perpindahan panas yang terpenting dalam bidang perekayasaan. Di dalam aliran laminar yang melalui saluran, tidak terdapat pencampuran antara fluida yang lebih panas dan fluida yang lebih dingin

oleh gerakan pusar. Garis aliran (*streamlines*) fluida bergerak dalam lapisan – lapisan dengan lintasan yang lancar dan kontinu. Sedangkan dalam aliran peralihan sampai aliran turbulen, terjadi sejumlah pencampuran tertentu oleh pusaran – pusaran aliran fluida yang mengangkut fluida yang lebih panas ke daerah – daerah yang lebih dingin. Gerakan mecampur ini akan mempercepat proses perpindahan panas sehingga terjadi kenaikan koefisien perpindahan panas.

Eksperimen ini akan menganalisis proses perpindahan panas yang terjadi di dalam saluran segi empat yang dialiri air bertemperatur kurang lebih 50° C dengan variasi bilangan dari 50 sampai 500. Di dalam saluran, akan di tempatkan deretan batang pengganggu



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.

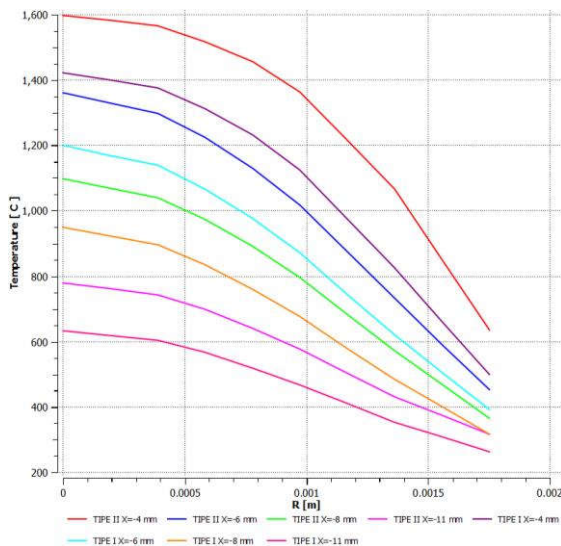
DAFTAR PUSTAKA

- [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.

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.

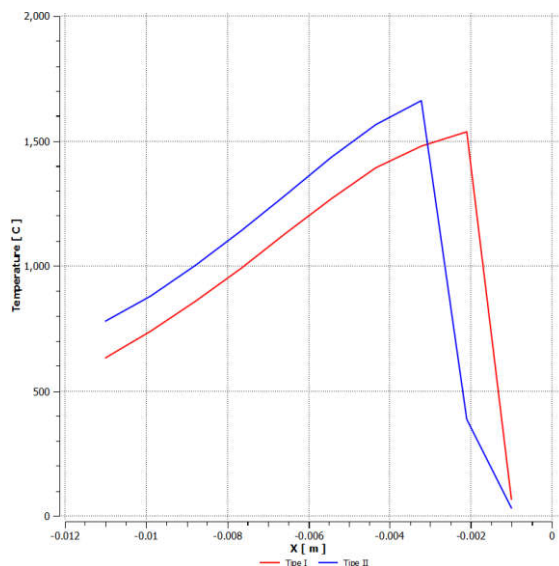


Gambar 5. Grafik perbandingan temperatur radial api

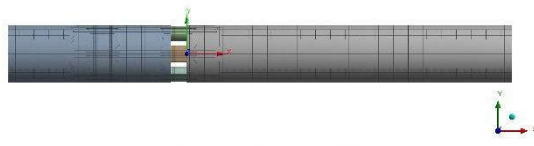
Dari gambar 5. menunjukkan bahwa semakin mendekati dinding *combustor*, temperatur api semakin rendah. Hal itu juga diikuti dengan kenaikan titik pengambilan

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 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> <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.

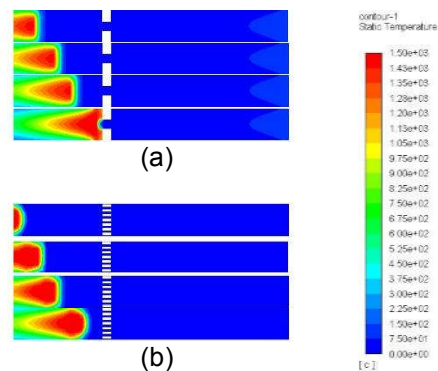
Pada tahap *solving* terdapat satu proses yang menjadi bagian terpenting dalam proses simulasi pembakaran, yaitu proses pemberian *patch temperature* atau memberikan energi panas dari luar. *Patch temperature* yang diberikan sebesar 1426,85 °C [6]. Hal ini bertujuan agar reaksi kimia yang terjadi pada

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.