

SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS PADA DINDING TUNGKU PEMBAKARAN LAPIS BANYAK BERONGGA UDARA DENGAN METODE BEDA HINGGA

Saiful Ahmad¹, Eko Prasetyo B.², Purwadi Joko Widodo²

¹Mahasiswa, ²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords:

conduction
natural convection
heat transfer
finite difference
furnace wall

Abstract:

Numerical simulation of heat transfer on furnace multilayer wall with cavity is used to find out temperature distribution and air flow pattern on the furnace wall with isothermal and adiabatic boundary condition. The inside of the wall has higher temperature than the outside of the wall. This work is a two dimensional unsteady state problem. The ADI (Alternating Directional Implicit) method is used to discretize for conduction and natural convection heat transfer equation within the furnace wall. The Thomas Algorithm is used to compute the temperature distribution and air flow pattern on the wall. The present method is validated by comparing its numerical results with available data in the literatur. Good agreement had been achieved.

1. PENDAHULUAN

Desain tungku pembakaran yang efisien merupakan hal penting untuk bisa mengurangi konsumsi bahan bakar dan kerugian panas, serta untuk mengurangi dampak buruk pada lingkungan akibat penggunaan bahan bakar hidrokarbon. Dinding lapis banyak berongga udara yang bertindak seperti isolator panas dapat diterapkan pada tungku pembakaran industri kecil untuk mengurangi kerugian panas.

Salah satu metode penyelesaian perpindahan panas dapat dilakukan dengan metode numerik. Kelebihan metode numerik yaitu dapat memberikan hasil yang cepat dan akurat. Pemilihan metode penyelesaian perpindahan panas harus diperhatikan dan disesuaikan dengan kondisi batas dan geometri. Pada penelitian ini dinding tungku pembakaran mengalami perpindahan panas konduksi pada lapisan padat dan konveksi alami pada lapisan udara dengan kondisi batas isothermal dan adiabatik. Metode beda hingga merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini.

2. TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menampilkan distribusi temperatur pada dinding tungku pembakaran lapis banyak yang mengalami perpindahan panas konduksi dan konveksi *unsteady state*.
2. Mengetahui pengaruh nilai konduktivitas termal material penyusun dinding tungku pembakaran terhadap distribusi temperatur.
3. Mengetahui pengaruh ketebalan lapisan udara terhadap kapasitas isolasinya.

3. TINJAUAN PUSTAKA

Aydin (2000) melakukan penelitian tentang ketebalan optimal lapisan udara pada jendela dengan kaca ganda. Ketebalan lapisan udara harus sedemikian rupa sehingga tidak memungkinkan pergerakan udara. Gerakan bebas dari udara meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi, menyebabkan perpindahan panas konveksi alami pada lapisan udara semakin besar sehingga mengurangi kapasitas isolasi.

Penelitian tentang persoalan konveksi alami pada kotak dua dimensi dengan variasi kemiringan dilakukan Aris (2006) dengan menyelesaikannya menggunakan metode beda hingga untuk memperoleh vektor kecepatan, distribusi suhu, dan distribusi tekanan dengan fluida udara.

Balderas dkk. (2007) melakukan penelitian perpindahan panas pada dinding lapis banyak yang mana dia mengamati adanya ketebalan kritis yang mengidentifikasi awal terjadinya proses konveksi alami di lapisan udara.

Armando dkk. (2011) mengembangkan penelitian mengenai simulasi perpindahan panas pada dinding tungku pembakaran dengan software komputasi dinamika fluida (Fluent 6.2.16). Perpindahan panas yang diteliti adalah perpindahan panas konduksi dan perpindahan panas konveksi alami *steady state* dua dimensi dengan kondisi batas isothermal dan adiabatik pada dinding tungku pembakaran empat lapis material.

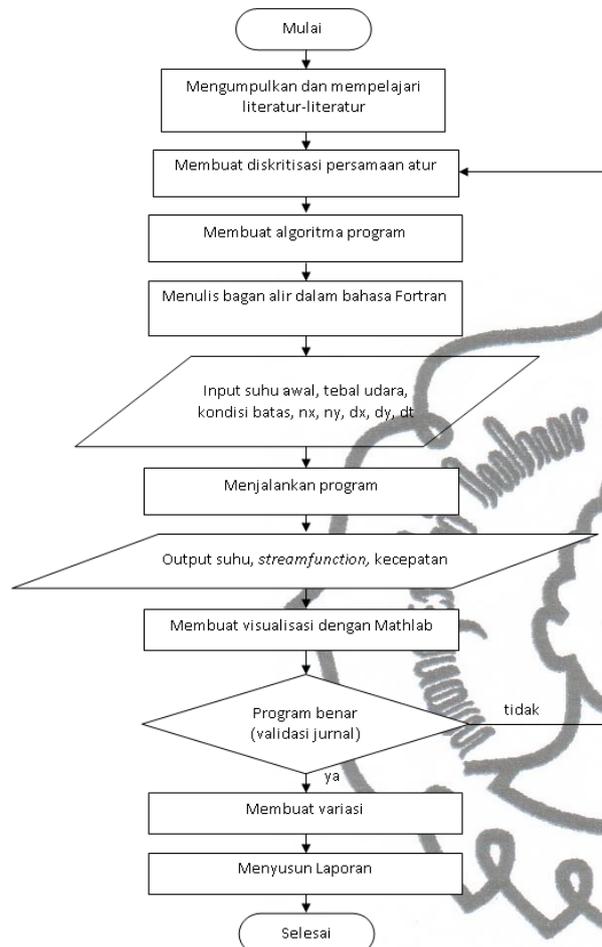
4. METODE PENELITIAN

4.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan Fortran dan Matlab sebagai *software* pendukung dalam pemodelan. Penentuan geometri, kondisi batas dan proses iterasi dinding tungku pembakaran menggunakan Fortran

dan selanjutnya visualisasi distribusi temperatur dan pola aliran udara menggunakan Matlab.

Penelitian dilakukan dengan studi pustaka dengan langkah-langkah penelitian secara garis besar sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

4.2 Persamaan Atur Beda Hingga

Persamaan atur dalam penelitian ini diselesaikan dengan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*). Persamaan atur konveksi alami sebagai berikut:

Persamaan Kontinuitas:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Persamaan Navier Stokes:

➤ Persamaan Momentum arah x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \text{Pr} \theta \cos \phi$$

➤ Persamaan Momentum arah y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\text{Pr}}{\text{Ra}^{0.5}} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \text{Pr} \theta \sin \phi$$

Persamaan Energi:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{\text{Ra}^{0.5}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right)$$

Persamaan atur konduksi menggunakan persamaan energi dengan kecepatannya sama dengan nol, sebagai berikut:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{\text{Ra}^{0.5}} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right)$$

Streamfunction dihitung menggunakan metode Line Gauss-Siedel. Persamaan untuk mencari *streamfunction* pada lapisan udara adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = - \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

Angka Rayleigh didefinisikan sebagai satuan tak berdimensi hasil kali antara angka Grashof dengan angka Prandtl (Pr) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} = \frac{g \beta (T_i - T_o) L^3 \text{Pr}}{\nu^2}$$

Heat flux yang melalui dinding tungku pembakaran lapis banyak dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$q'' = \frac{T_i - T_o}{\frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{l_3}{k_3} + \frac{l_4}{k_{eff}}}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi dapat dihitung melalui angka Nusselt yang didasarkan pada persamaan Churchill dan Chu sebagai berikut:

$$\bar{Nu}_L = 1,333 \left\{ \frac{\text{Gr}_L}{4} \right\}^{0.25} g(\text{Pr})$$

$$g(\text{Pr}) = 0,75 \frac{\text{Pr}^{0.5}}{(0,609 + 1,221 \text{Pr}^{0.5} + 1,238 \text{Pr})^{0.25}}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dirumuskan:

$$\bar{h}_L = \bar{Nu}_L \frac{k_{eff}}{H} \quad \text{dimana, } k_{eff} = \bar{Nu}_L k_{udara}$$

4.3 Geometri Dinding Tungku Pembakaran

Dinding tungku pembakaran yang diteliti Armando dkk. (2011) mempunyai propertis seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Propertis dinding Armando dkk. (2011)

Lapis	Material	Tebal (m)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
1	Fire brick	0,1	1,1
2	Ceramic fiber	0,1	0,22
3	Udara	0,1	0,05298
4	Common brick	0,2	0,72

Dinding tungku pembakaran lapis banyak yang diteliti oleh Armando dkk. (2011) tersebut terdiri dari empat lapis material yaitu: *fire brick*, *ceramic fiber*, udara dan *common brick* dengan tinggi 1,9 m.

Armando dkk. (2011) melakukan penelitian simulasi perpindahan panas dua dimensi *steady state* pada dinding tungku pembakaran empat lapis material dengan kondisi batas isothermal. Pada sisi atas dan bawah dinding tungku pembakaran lapis banyak ini diasumsikan adiabatik.

Adapun dinding tungku pembakaran yang diteliti pada penelitian ini mempunyai propertis seperti tabel 2.

Tabel 2. Propertis dinding yang diteliti

Lapis	Material	Tebal (m)	Konduktivitas Termal (W/m.K)
1	Fire brick	0,1	1,1
2	Ceramic fiber	0,1	0,22
3	Udara	0,05 0,1 0,15 0,2	0,05298
4	Common brick	0,2	0,72

Pada penelitian ini dinding tungku pembakaran empat lapis yang diteliti mempunyai material yang sama dengan dinding tungku pembakaran yang diteliti oleh Armando dkk. (2011) tetapi dengan tinggi 1,1 m. Ketebalan masing-masing lapisan juga sama kecuali pada lapisan udara. Ketebalan lapisan udara divariasikan dari 0,05 m sampai 0,2 m. Iterasi nilai temperatur dan pola aliran udara menggunakan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*).

Asumsi pada penelitian ini yaitu:

1. Masalah yang diteliti adalah kondisi tidak tunak
2. Perpindahan panas konduksi dan konveksi alami pada dinding merupakan perpindahan panas dua dimensi
3. Kondisi batas bagian atas dan bawah dinding adalah adiabatik
4. Kondisi batas bagian dalam dan luar dinding adalah isothermal ($T_i = 1173 \text{ K}$, $T_o = 300 \text{ K}$)
5. Konduktivitas termal material penyusun dinding konstan
6. *Interface* antar material penyusun dinding berkontak sempurna

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Validasi Metode ADI (*Alternating Direction Implicit*)

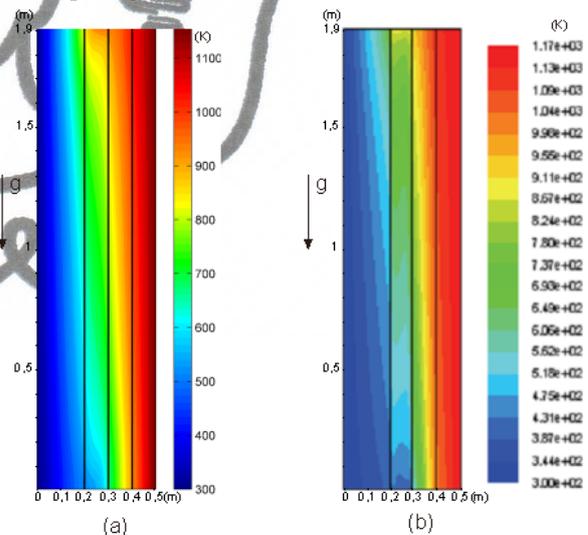
Untuk menguji kevalidan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) yang digunakan dalam penelitian ini maka perlu dibandingkan dengan metode lainnya. Software komputasi dinamika fluida (Fluent 6.2.16) akan digunakan sebagai validasi penelitian ini.

5.1.1 Validasi Software Komputasi Dinamika Fluida (Fluent 6.2.16)

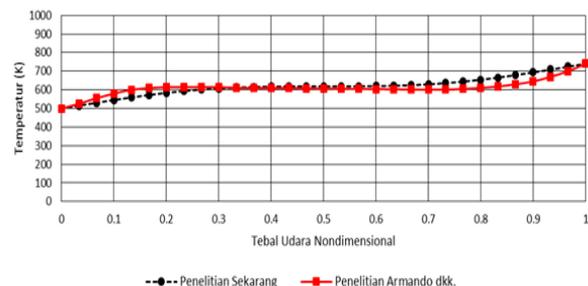
Armando dkk. (2011) mengembangkan penelitian mengenai simulasi perpindahan panas pada dinding tungku pembakaran dengan software komputasi dinamika fluida (Fluent 6.2.16). Perpindahan panas yang diteliti adalah perpindahan panas konduksi dan konveksi alami *steady state* dua dimensi dengan kondisi batas isothermal pada dinding bagian dalam dan bagian luar, sedangkan bagian atas dan bawah dengan kondisi batas adiabatik. Temperatur sisi dalam dinding tungku pembakaran adalah 1173 K dan temperatur sisi luar dinding tungku pembakaran adalah 300 K.

Adapun simulasi perpindahan panas konduksi dan konveksi alami dua dimensi *unsteady state* pada dinding tungku pembakaran lapis banyak pada penelitian ini menggunakan metode beda hingga. Metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) digunakan untuk iterasi menghitung distribusi temperatur dan pola aliran udara pada dinding tungku pembakaran lapis banyak.

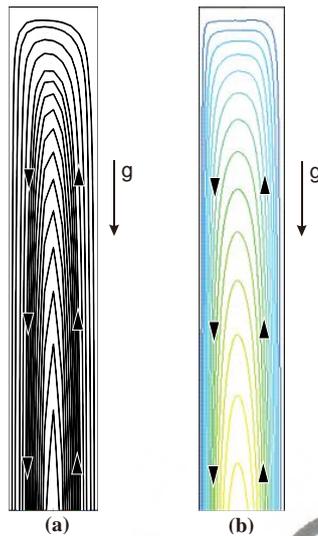
Perbandingan hasil visualisasi metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dengan software komputasi dinamika fluida (Fluent 6.2.16) dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Visualisasi distribusi temperatur pada dinding tungku pembakaran (a) metode ADI (b) software Fluent 6.2.16 (Armando dkk.)



Gambar 3. Grafik perbandingan distribusi temperatur pada lapisan udara penelitian sekarang terhadap penelitian Armando dkk.



Gambar 4. Visualisasi pola aliran udara pada dinding tungku pembakaran (a) metode ADI (b) software Fluent 6.2.16 (Armando dkk.)

Gambar 2 menunjukkan bahwa distribusi temperatur dari dinding tungku pembakaran dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal material penyusunnya. Semakin rendah nilai konduktivitas termal material maka perambatan temperaturnya juga semakin sulit. Hal ini ditunjukkan dengan kontur warna yang semakin rapat. Hasil visualisasi distribusi temperatur di atas antara metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dengan software komputasi dinamika fluida (Fluent 6.2.16) menunjukkan hasil distribusi temperatur yang relatif sama.

Gambar 3 adalah grafik perbandingan distribusi temperatur pada lapisan udara dinding tungku pembakaran lapis banyak hasil penelitian sekarang terhadap penelitian Armando dkk. Grafik menunjukkan pola dan nilai yang relatif sama dengan error terbesar: 7,2% dan error rata-rata: 3,6%. Hal itu bisa digunakan untuk validasi karena hasil penelitian dianggap valid jika nilai error di bawah 10%.

Gambar 4 menunjukkan pola aliran udara yang terjadi di lapisan udara pada dinding tungku pembakaran lapis banyak. Pergerakan udara tersebut terjadi karena adanya gaya apung yang timbul karena perbedaan massa jenis akibat perbedaan tekanan di dalam aliran. Hasil visualisasi pola aliran udara pada dinding tungku pembakaran lapis banyak di atas antara metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dengan software komputasi dinamika fluida (Fluent 6.2.16) menunjukkan hasil pola aliran udara yang relatif sama.

5.2 Simulasi Perpindahan Panas 2D Unsteady State pada Dinding Tungku Pembakaran Empat Lapis dengan Variasi Ketebalan Lapisan Udara

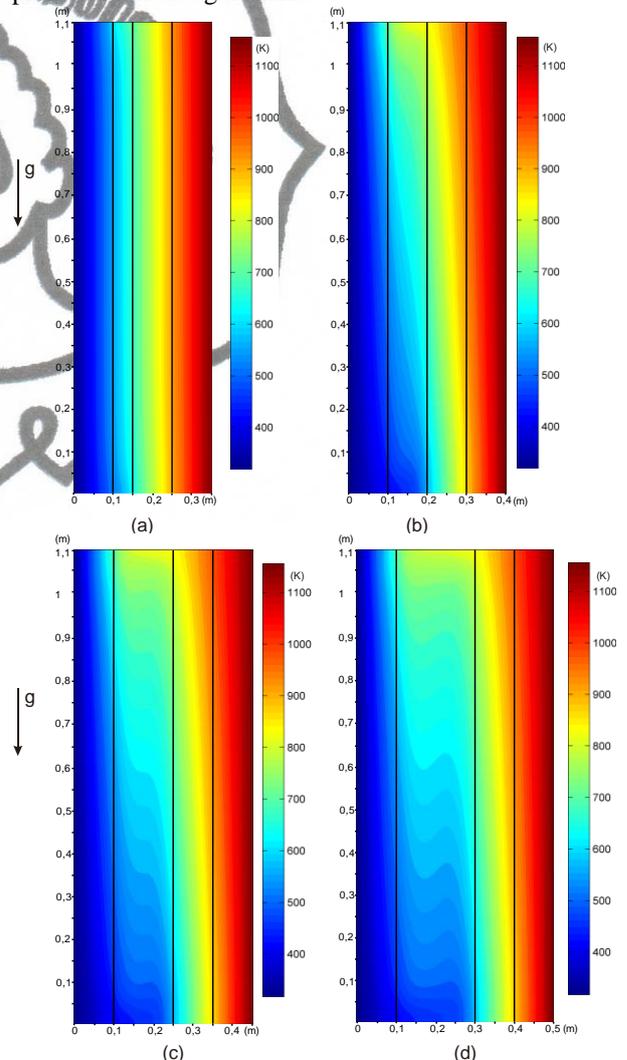
Simulasi kasus perpindahan panas konduksi dan konveksi pada dinding tungku pembakaran empat lapis dua dimensi ini dikerjakan dengan metode ADI

(*Alternating Direction Implicit*) dengan kondisi batas di bagian dalam dinding 1173 K dan di bagian luar dinding 300 K. Ketebalan lapisan udara divariasi dengan tinggi dinding tungku pembakaran yang konstan yaitu 1,1 m dan $\Delta x = \Delta y$ sebesar 0,005 m. Variasi ketebalan lapisan udara dan jumlah grid ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Variasi tebal lapisan udara dan jumlah grid

Tebal Lapisan Udara	Jumlah Grid Arah X	Jumlah Grid Arah Y
0,05 m	71	221
0,1 m	81	221
0,15 m	91	221
0,2 m	101	221

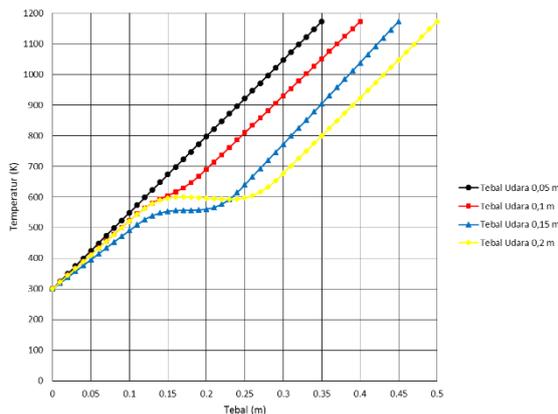
Visualisasi distribusi temperatur pada dinding tungku pembakaran empat lapis dengan variasi ketebalan lapisan udara yang mengalami perpindahan panas adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Visualisasi distribusi temperatur pada dinding tungku pembakaran dengan tebal lapisan udara (a) 0,05 m (b) 0,1 m (c) 0,15 m (d) 0,2 m.

Dari gambar 5 menunjukkan bahwa visualisasi distribusi temperatur dari dinding tungku pembakaran dengan variasi ketebalan pada lapisan udara. Pada gambar bisa diketahui bahwa semakin besar ketebalan udara maka akan semakin terlihat terjadinya perpindahan panas konveksi alami pada lapisan udara.

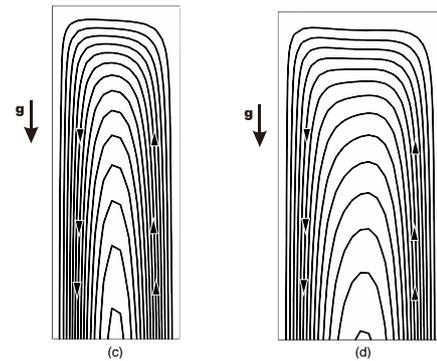
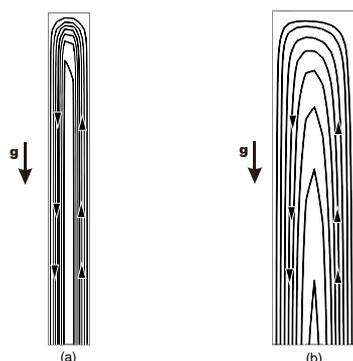
Hubungan ketebalan lapisan udara dengan distribusi temperatur pada pada dinding tungku pembakaran lapis banyak di $Y=0,55$ dengan variasi ketebalan dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 6. Grafik hubungan ketebalan lapisan udara dengan distribusi temperatur pada dinding tungku pembakaran pada $Y=0,55$ m

Gambar 6 menunjukkan hubungan ketebalan lapisan udara dengan distribusi temperatur pada dinding tungku pembakaran lapis banyak di $Y=0,55$. Pada variasi pertama dengan ketebalan lapisan udara 0,05 m mempunyai grafik yang linear pada lapisan udara. Hal itu menunjukkan pada ketebalan lapisan udara 0,05 m perpindahan panas yang terjadi pada lapisan udara didominasi oleh perpindahan panas konduksi. Sedangkan pada variasi kedua, ketiga dan keempat mempunyai grafik yang tidak linear (melengkung) pada lapisan udara. Hal itu menunjukkan pada ketebalan lapisan udara 0,1 m, 0,15 m dan 0,2 m perpindahan panas yang terjadi pada lapisan udara adalah perpindahan panas konveksi alami dan perpindahan panas konduksi hanya terjadi pada udara yang menempel pada dinding.

Pola aliran udara yang terjadi di lapisan udara pada dinding tungku pembakaran empat lapis dengan variasi ketebalan lapisan udara adalah sebagai berikut:



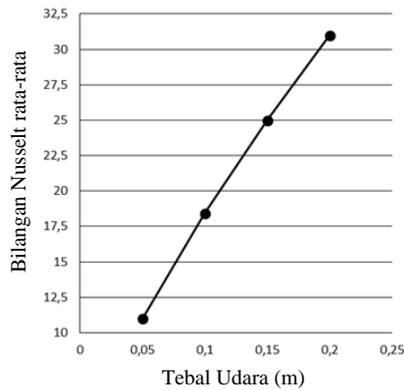
Gambar 7. Visualisasi pola aliran pada dinding tungku pembakaran dengan tebal lapisan udara (a) 0,05 m (b) 0,1 m (c) 0,15 m (d) 0,2 m.

Pada gambar 7 menunjukkan pola aliran udara yang terjadi di lapisan udara pada dinding tungku pembakaran dengan variasi ketebalan lapisan udara. Pada gambar dapat dilihat bahwa udara yang dekat dengan dinding kanan bergerak ke atas sedangkan udara yang dekat dengan dinding kiri bergerak ke bawah. Hal itu terjadi karena dinding kanan lebih panas daripada dinding kiri sehingga udara yang dekat dengan dinding kanan akan mempunyai temperatur yang lebih tinggi dan massa jenis yang lebih rendah membuat udara akan bergerak ke atas sedangkan udara yang dekat dengan dinding kiri akan mempunyai temperatur yang lebih rendah dan massa jenis yang lebih besar membuat udara akan bergerak ke bawah.

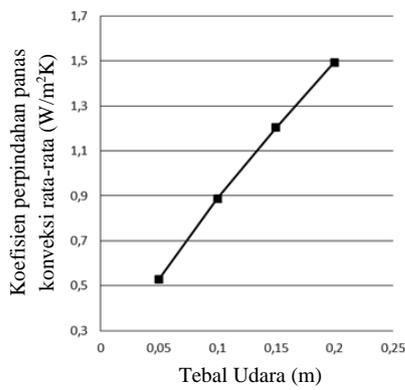
Hubungan variasi ketebalan lapisan udara dengan bilangan Nusselt rata-rata, koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dan heat flux adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Ketebalan lapisan udara, bilangan Nusselt rata-rata, koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata dan heat flux

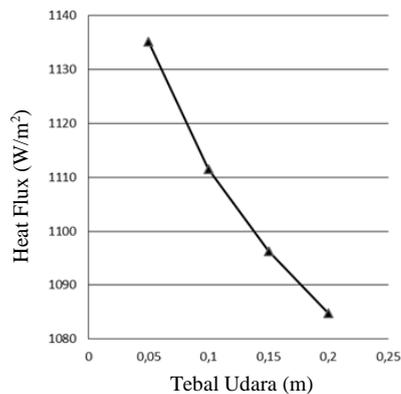
Tebal Udara (m)	Bilangan Nusselt rata-rata	Koefisien Perpindahan Panas rata-rata (W/m^2K)	Heat Flux (W/m^2)
0,05	10,959	0,527	1135,068
0,1	18,431	0,887	1111,521
0,15	24,981	1,203	1096,271
0,2	30,996	1,492	1084,758



Gambar 8. Hubungan ketebalan lapisan udara dengan bilangan Nusselt rata-rata



Gambar 9. Hubungan ketebalan lapisan udara dengan koefisien perpindahan panas rata-rata



Gambar 10. Hubungan ketebalan lapisan udara dengan heat flux

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara ketebalan lapisan udara dengan nilai bilangan Nusselt rata-rata. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan udara maka nilai bilangan Nusselt rata-rata juga meningkat. Bilangan Nusselt adalah rasio perbandingan antara koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan dengan konduktivitas termal (k) pada suatu permukaan. Jadi, semakin besar bilangan Nusselt maka perpindahan panas konveksi alami juga semakin besar.

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara ketebalan lapisan udara dengan koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan udara maka koefisien perpindahan panas konveksi (h) rata-rata juga meningkat sehingga perpindahan panas konveksi yang terjadi pada lapisan udara juga semakin besar. Hal tersebut menyebabkan berkurangnya kapasitas isolasi pada lapisan udara (Armando dkk. 2009).

Gambar 10 menunjukkan hubungan antara ketebalan lapisan udara dengan heat flux. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan udara maka heat flux (q'') semakin kecil. Hal tersebut terjadi karena ketebalan total dari dinding juga bertambah seiring bertambahnya ketebalan udara sehingga heat flux yang melalui dinding berkurang seiring bertambahnya ketebalan dinding.

6. KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian dan pembahasan hasil yang telah dilakukan antara lain:

- Metode beda hingga berhasil menampilkan distribusi temperatur dan pola aliran udara pada dinding tungku pembakaran lapis banyak yang mengalami perpindahan panas.
- Nilai konduktivitas termal suatu material penyusun dinding tungku pembakaran mempengaruhi distribusi temperaturnya. Semakin kecil nilai konduktivitas termal suatu material maka semakin sulit untuk menghantarkan panas karena material tersebut mempunyai sifat isolasi panas yang baik. Pada penelitian ini material penyusun dinding tungku pembakaran yang mempunyai konduktivitas termal paling kecil adalah udara dengan nilai konduktivitas termal sebesar $0,05298 \text{ W/m.K}$.

- Ketebalan lapisan udara mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi pada lapisan udara. Semakin besar ketebalan lapisan udara maka perpindahan panas konveksi alami yang terjadi juga semakin besar. Hal tersebut ditunjukkan oleh meningkatnya nilai koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata seiring bertambahnya ketebalan lapisan udara. Ketebalan lapisan udara yang mempunyai kapasitas isolasi yang paling baik adalah pada ketebalan lapisan udara $0,05 \text{ m}$ dengan nilai koefisien perpindahan panas rata-rata paling kecil sebesar $0,527 \text{ W/m}^2\text{K}$.

7. DAFTAR PUSTAKA

Alloui, Z. dan Vasseur, P. 2014. *Natural Convection Of Carreau–Yasuda Non-Newtonian Fluids In A Vertical Cavity Heated From The Sides. International Journal of Heat and Mass Transfer*. 84 (2015), 912–924.

- Aris, S. 2006. *Simulasi Numerik Konveksi Alami dalam Kotak 2D dengan Variasi Kemiringan dengan Metode Beda Hingga*. Universitas Sebelas Maret. Indonesia.
- Armando, G. M., Christian, V. C., José, A., Balderas, B., Víctor, H., Rangel, H., José, M. dan Belman, F. 2011. *Analysis of the Conjugate Heat Transfer in a Multi-Layer Wall including an Air Layer*. *Heat Transfer-Mathematical Modelling, Numerical Methods and Information Technology*. ISBN: 978-953-307-550-1.
- Aydin, O. 2000. *Determination of Optimum Air-Layer Thickness in Double-Pane Windows*. *Energy and Building*. 32, 303-308. ISSN: 0378-7788.
- Aydin, O. 2006. *Conjugate Heat Transfer Analysis of Double Pane Windows*. *Building and Environment*. 41, 109-116. ISSN: 0360-1323.
- Balderas, B. A., Gallegos, M. A., Riesco, Á. J. M., Violante, C. C. dan Zaleta, A. A. 2007. *Analysis Of The Conjugate Heat Transfer In A Multi-Layer Wall: Industrial Application*. *Proceedings of the XIII International Annual Congress of the SOMIM*. 869-876. ISBN: 968-9173-02-2.
- Cengel, A.Y. 2008. *Heat Transfer A Practical Approach Second Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Danielle, E. M. B., William W. C. dan Mark, K. 2013. *Configuring Wall Layers For Improved Insulation Performance*. *Applied Energy*. 112 (2013), 235–245.
- Hoffman, K. A. 2000. *Computation Fluid Dynamics for Engineering Volume I. Engineering System*TM. Kansas.
- Holman, J. P. 2010. *Heat Transfer Tenth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Incropera, F. M. 1996. *Introduction to Heat Transfer*. USA: John Wiley & Sons.
- Kreith, F. 1986. *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta: Erlangga.
- Missoum, A., Elmir, M., Belkacem, A., Nabou, M. dan Draoui, B. 2013. *Numerical Simulation Of Heat Transfer Through A Double-Walled Facade Building In Arid Zone*. *Energy Procedia*. 36 (2013), 834 – 843.
- Oosthuizen, P. H. and Naylor, D. 1999. *An Introduction to Convective Heat Transfer Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Quere, P. L. 1990. *Accurate Solutions to The Square Thermally Driven Cavity at High Rayleigh Number*. *International Journal of Computers & Fluids*. Vol.20 No. 1, (hal. 29-41).
- Suvash, C. S., Khan, M. M. K. dan Gu, Y. T. 2013. *Unsteady Buoyancy Driven Flows And Heat Transfer Through Coupled Thermal Boundary Layers In A Partitioned Triangular Enclosure*. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 68 (2014), 375–382.