

Simulasi numerik kombinasi perpindahan panas konveksi alami dan radiasi pada *square cavity*

Syamsuri^{1*}, Suheni², HS Maulana³, Muhammad Syafii⁴

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2,3,4}

Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya

*Corresponding author: syamsuri@itats.ac.id

Abstract

Natural convection is very important in some cases such as glass windows, solar collectors, electronic measuring devices (cooling devices for electronic instruments) and building materials that use insulation. In this research, will be seen the phenomenon of natural convection that occurs in square cavity. The method used for simulation is computational fluid dynamics or CFD. The model used is the 2D cavity model. In this simulation the value of Rayleigh Number (Ra) was varied i.e. 10^3 , 10^4 , 10^5 and 10^6 . From this research, it is found that the higher the value of Ra in cavity, the higher the value of the average Nusselt Number (\bar{N}_u) on the wall which has a high temperature. Ra = 10^3 so that $\bar{N}_u = 1.17$. Ra = 10^4 , so that $\bar{N}_u = 2.2$. Ra = 10^5 , so that $\bar{N}_u = 4.47$. Ra = 10^6 , and then so that $\bar{N}_u = 8.95$. Based on the value and contour of the flow the smaller the Ra value in the square cavity, the isothermal line phenomenon that appears will be more vertical. The greater the Ra value in the cavity, the contour of the stream function will change to an ellipse and finally two vortices will appear.

Keywords: Numerical simulation, konveksi, radiasi, square cavity.

Abstrak

Konveksi alami sangat penting dalam beberapa kasus misalnya jendela *double glass*, solar kolektor, alat ukur elektronik (alat pendingin untuk instrument elektronik) dan bahan material bangunan yang bersifat isolasi. Pada penelitian kali ini ingin melihat fenomena konveksi alami yang terjadi pada *square cavity*. Metode yang digunakan untuk adalah simulasi komputasi fluida atau CFD. Model yang digunakan adalah model *square cavity* 2D. Pada simulasi kali ini nilai Rayleigh Number (Ra) divarasi yakni 10^3 , 10^4 , 10^5 dan 10^6 . Dari sini didapatkan bahwa semakin tinggi nilai dari Ra pada *cavity* maka semakin tinggi juga nilai *Nusselt Number* rata-rata (\bar{N}_u) pada dinding yang bertemperatur tinggi. Ra = 10^3 maka $\bar{N}_u = 1.17$. Ra = 10^4 , maka $\bar{N}_u = 2.2$. Ra = 10^5 , maka $\bar{N}_u = 4.47$. Ra = 10^6 , maka $\bar{N}_u = 8.95$. Berdasarkan nilai dan kontur dari aliran, semakin kecil harga Ra pada *square cavity* maka fenomena garis isothermal yang muncul akan semakin vertikal. Semakin besarnya nilai Ra pada *cavity* maka kontur dari *stream function* akan berubah menjadi elips dan muncul dua vortex.

Kata kunci: Simulasi numerikal, konveksi, radiasi, square cavity.

Pendahuluan

Saat ini Negara berkembang di dunia, banyak membuat teknologi teknologi yang semakin berkembang dan modern. Teknologi tersebut banyak digunakan untuk penelitian tentang kombinasi perpindahan panas konveksi bebas dan perpindahan panas radiasi.

Pada konveksi alamiah, fluida yang ada disekitar sumber panas akan menerima

panas sehingga kerapatannya berkurang, berkurangnya kerapatan ini menyebabkan fluida dingin disekitarnya akan mengisi daerah tersebut selanjutnya fluida dingin ini menerima panas dan proses akan terus berlanjut sehingga membentuk sebuah siklus.

Konveksi alami sangat penting dalam beberapa kasus misalnya jendela *double glass*, solar kolektor, alat ukur elektronik

(alat pendingin untuk instrument elektronik) dan bahan material bangunan yang bersifat isolasi, pada penelitian kali ini saya ingin melihat fenomena konveksi alami yang terjadi pada *square cavity*. Objek penelitian kali ini saya memilih simulasi kombinasi perpindahan panas konveksi bebas dan perpindahan panas radiasi dalam *square cavity* menggunakan software CFD. Di sisi lain, CFD juga mampu digunakan untuk mensimulasikan berbagai model turbulensi, konveksi dan radiasi dan aliran multifase lainnya [1-3]. Sehingga perangkat lunak software CFD ini digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian tentang *square cavity* sudah banyak dilakukan oleh para peneliti, antara lain: Reyad Omari (2013) [4] meneliti tentang simulasi cfd dari aliran melintasi *cavity* pada Reynolds number moderat. Pada penelitian ini divariasikan geometri dari *square cavity* (rongga segi empat) yakni $AR = 0,5 ; 1,0$ dan $1,5$. Hasil menunjukkan bahwa untuk profil dari *special case* dari *square cavity* ($AR = 1$) ditemukan memiliki kesamaan yang baik dengan hasil penelitian sebelumnya. Ditemukan juga bahwa dinamik dan struktur dari *vortex primer* sangat dipengaruhi oleh Reynold number serta aspek rasio dari *cavity*.

A Muthuvel dkk (2014) [5] meneliti tentang simulasi numerik dari aliran yang berada di dalam *square cavity* (rongga segi empat). Pada penelitian kali ini divariasikan jenis mesh yang digunakan antara lain: hexahedral, hexahedra cell dengan perlakuan khusus (*mesh* yg bagus) dekat dinding, tetrahedral grid, polyhedral, tetrahedral cell dengan perlakuan khusus dekat dinding dan polyhedral mesh dengan layer cell prisma berdasar pada ketebalan dekat dinding. Hasil dari penelitian ini polyhedral cells dengan perlakuan khusus dekat dinding dan hexahedral cell dengan perlakuan khusus dekat dinding memberikan hasil yg sesuai dengan hasil referensi untuk *Reynold number* 1000 dan 10.000.

M Ghalambaz dkk (2016) [6] melakukan penelitian tentang pengaruh dari disipasi kental dan efek radiasi pada perpindahan panas konveksi alami dalam suatu rongga segi empat (*cavity*) yang diisi dengan media berpori yang penuh dengan cairan nano dipelajari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angka Nusselt di dinding panas dan dingin tidak sama karena adanya efek disipasi kental. Peningkatan bilangan Eckert menurunkan bilangan Nusselt di dinding panas, tetapi meningkatkan bilangan Nusselt di dinding dingin. Juga ditemukan bahwa peningkatan bilangan Lewis meningkatkan perpindahan panas di rongga.

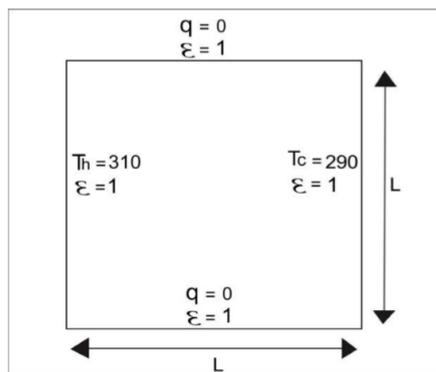
K Lari dkk (2011) [7] melakukan studi tentang perpindahan panas gabungan radiasi dan konveksi natural dalam suatu rongga persegi (*cavity*) yang berisi gas dibawah kondisi ruangan yang normal menggunakan metode simulasi komputasi *Discrete Ordinate Method* (DOM) dan Boussinesq Assumption. Pada penelitian kali ini divariasikan pengaruh bilangan Rayleigh dari 102 sampai 106 dan ketebalan optik pada range 0 sampai dengan 100 pada temperatur dan distribusi kecepatan dan bilangan Nuselt. Hasilnya menunjukkan bahwa bahkan dalam kondisi ruangan normal dengan perbedaan suhu rendah, radiasi memainkan peran penting pada distribusi suhu dan pola aliran di rongga (*cavity*).

Tujuan penelitian ini adalah: untuk mengetahui pengaruh nilai Ra pada kombinasi perpindahan panas konveksi alami dan perpindahan panas radiasi pada *square cavity*. Disamping itu juga untuk mengetahui fisik aliran yang terjadi pada *square cavity*, yang disebabkan oleh kombinasi perpindahan panas konveksi alami dan perpindahan panas radiasi menggunakan *software* CFD berbasis FVM.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan kasus ini adalah metode komputasi numerik menggunakan *software*

Computational Fluid Dynamics (CFD). Geometri *square cavity* yang digunakan pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Geometri *square cavity*

Sifat-sifat udara pada temperature 300° K adalah: $\rho = 1.1614 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 1007 \text{ J/kg.K}$, $\mu = 184,6 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2$, $\nu = 15.89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $k = 26.3 \times 10^{-3} \text{ W/m.K}$, $\alpha = 22.5 \text{ m}^2/\text{s}$, $\beta = 1/T_f = 1/300 = 3.33 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ dan $Pr = 0.707$.

Adapun variasi pada penelitian ini adalah memvariasikan Rayleigh Numbers yakni $Ra = 10^3, 10^4, 10^5$, dan 10^6 . Ada 3 tahapan yang dilakukan pada penelitian dengan menggunakan metode CFD kali ini yakni [8]:

1. *Pre-processing*

Tahap pertama adalah tahap *pre-processing*. Tahap ini merupakan tahap awal sekali untuk melakukan pemodelan dengan CFD. Adapun tahapan ini antara lain terdiri dari pembuatan suatu geometri, melakukan meshing, dan menentukan kondisi batas dan kondisi awal dari suatu kasus yang mau diselesaikan. Titik nodal yang digunakan pada penelitian kali ini adalah 100×100 .

2. *Solver*

Pada tahap ini menggunakan *software* CFD komersial (*Fluent*) yang dimulai dengan memasukkan data hasil *meshing*. Laminer model pada penelitian ini digunakan untuk menyamakan dengan penelitian yg lain sebagai validasi. Persamaan radiasi sesuai dengan

studi ini dan sesuai dengan *benchmark problem* dari peneliti sebelumnya, maka persamaan radiasi dan persamaan energi juga diaktifkan.

3. *Post-processing*

Tahap terakhir adalah *post-processing* yakni proses menampilkan hasil serta analisa terhadap hasil yang diperoleh. Adapun data yang akan diambil antara lain adalah: kontur temperatur statik, kontur dari *stream function*, kontur *velocity vector* dan plot 2D distribusi temperatur di tengah-tengah *square cavity*.

Hasil dan Pembahasan

Validasi

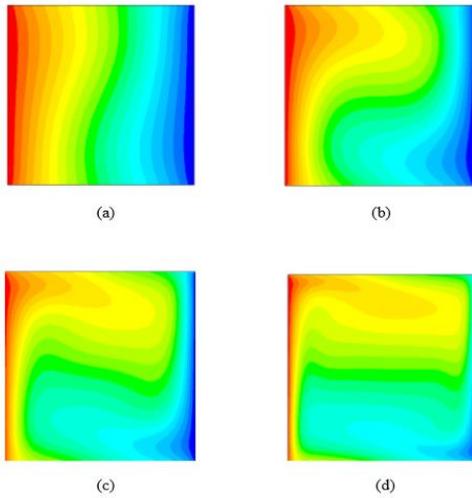
Validasi dilakukan dalam rangka untuk memastikan bahwa cara yang digunakan sudah sesuai dibuktikan dengan membandingkan hasil dengan peneliti sebelumnya.

Tabel 1. Perbandingan nilai \bar{N}_u

| Ra | K.Lari, M. Baneshi (2011) | Studi sekarang (2014) | Error (%) |
|-----|---------------------------|-----------------------|-----------|
| 103 | 1,122 | 1,17 | 4,3 |
| 104 | 2,244 | 2,2 | 1,96 |
| 105 | 4,518 | 4,47 | 1,06 |
| 106 | 8,814 | 8,95 | 1,54 |

Dari Tabel 1 terlihat bahwa hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil peneliti sebelumnya oleh K. Lari dan M. Baneshi (2011) terlihat ada kesesuaian, dimana perbedaannya sangat kecil antara 1,06% sampai 4,3% atau kurang dari 10%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil \bar{N}_u pada simulasi kali ini sudah cukup baik.

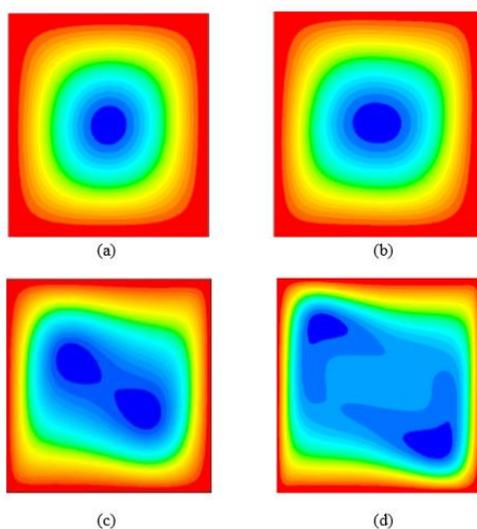
Perbandingan kontur dari temperatur statik untuk berbagai variasi Ra



Gambar 2. Kontur dari temperature static (a)Ra=10³, (b)Ra=10⁴, (c)Ra=10⁵, (d)Ra=10⁶

Gambar 2. adalah gabungan kontur dari temperatur static untuk berbagai nilai Ra. Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin kecil harga Ra pada *square cavity* maka fenomena garis isothermal yang muncul akan semakin vertikal dan jika Ra pada *square cavity* semakin besar maka fenomena garis isothermalnya akan semakin adalah horizontal.

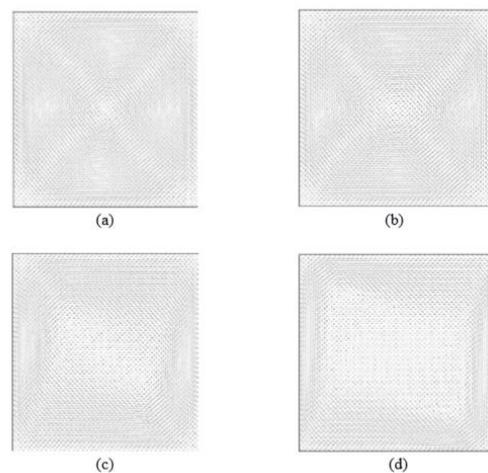
Perbandingan kontour dari stream function untuk variasi Ra



Gambar 3. Kontur dari stream function (a)Ra=10³, (b)Ra=10⁴, (c)Ra=10⁵, (d)Ra=10⁶

Gambar 3 adalah merupakan gambar gabungan kontur dari *stream function* pada masing-masing *cavity*. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa pertama-tama bentuk kontur dari *stream function* itu adalah lingkaran dan hanya mempunyai satu vortex pada tengah *cavity*, kemudian bentuk dari kontur *stream function* perlahan-lahan akan berubah menjadi elips, ini bisa dilihat pada gambar diatas, dengan semakin besarnya nilai Ra pada *cavity* maka kontur dari *stream function* akan berubah menjadi elips dan muncul dua vortex.

Perbandingan velocity vector untuk berbagai harga Ra

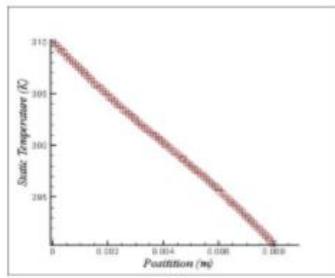


Gambar 4. *Velocity vector* (a)Ra=10³, (b) Ra=10⁴, (c)Ra=10⁵, (d)Ra=10⁶

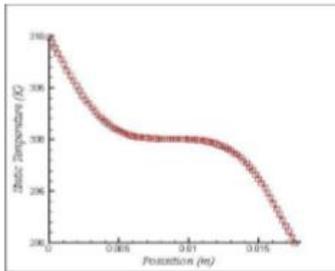
Gambar 4 merupakan gambar gabungan dari *velocity vector* untuk berbagai bilai Ra. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pertama-tama pada *cavity* dengan nilai Ra yang rendah hanya membentuk satu vortex ditengah, dan semakin besar nilai Ra pada *cavity* maka akan muncul 2 vortex yang terletak pada ujung kiri atas dan kanan bawah.

Plot distribusi temperature pada tengah cavity untuk berbagai Ra

Gambar 5 adalah gambar plot distribusi temperatur di tengah-tengah *cavity* untuk berbagai nilai Ra,

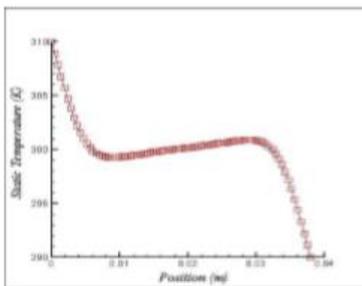


(a)

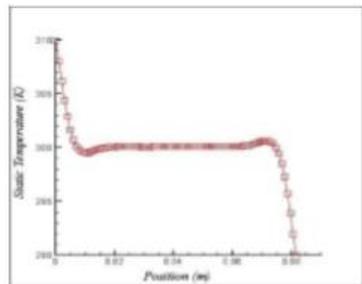


(b)

Gambar 5. Distribusi temperatur
(a) $Ra=10^3$ (b) $Ra=10^3$



(a)



(b)

Gambar 6. Distribusi temperatur
(a) $Ra=10^5$ (b) $Ra=10^6$

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan gabungan dari plot distribusi temperatur untuk berbagai Ra dengan pengambilan data di tengah-tengah *cavity*. Terlihat bahwa semakin besar harga Ra pada *square cavity*, maka perubahan temperatur yang terjadi sangat lambat dan secara umum terlihat temperatur statiknya mendekati stabil ditunjukkan pada garis datar dan hampir menguasai seluruh daerah pengukuran.

Kesimpulan

Dalam analisa data hasil simulasi pada bab sebelumnya telah didapatkan fenomena dan karakteristik aliran melintasi *square cavity*, tidak hanya itu dalam analisa tersebut juga diketahui pengaruh variasi Ra number. Maka dalam studi ini dapat diambil kesimpulan bahwa hasil validasi yang diperoleh telah mendekati hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Terbukti dengan hasil \bar{N}_u yang sudah mendekati dengan penelitian sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa langkah-langkah simulasi yang dilakukan sudah tepat, sehingga layak digunakan untuk simulasi dalam studi ini.

Pada kontur dari temperatur statik semakin kecil harga Ra pada *square cavity* maka fenomena garis isothermal yang muncul akan semakin vertikal dan jika Ra pada *square cavity* semakin besar maka fenomena garis isothermalnya adalah horizontal.

Bentuk kontur dari *stream function* pada *square cavity* pertama-tama adalah lingkaran dan hanya mempunyai satu vortex pada tengah *cavity*, kemudian bentuk dari kontur *stream function* perlahan-lahan akan berubah menjadi elips, dengan semakin besarnya nilai Ra pada *cavity* maka kontur dari *stream function* akan berubah menjadi elips dan muncul dua vortex.

Referensi

- [1]. Syamsuri, Hasan Syafik, M., Iswanto, Y.P. 2018. Study the effect of angle of attack on flow characteristics at racing bike helmet using CFD, MATEC Web of Conferences 204, 06001.
- [2]. Syamsuri, N.I. Riani .2017. Numerical cooling simulation on laptop heat sinks with variations of different airflow speeds, VANOS Journal of Mechanical Engineering Education Vol.2, No.2, December 2017, Page.97-104.

- [3]. Syamsuri, Chern, MJ. & Vaziri, N. 2019 . Effect of Porous Media on Hydraulic Jump Characteristics by Using Smooth Particle Hydrodynamics Method, Int J Civ Eng (2019). <https://doi.org/10.1007/s40999-019-00465-8>.
- [4]. Reyad Omari .2013. CFD simulations of lid driven cavity flow at moderate reynolds number, European Scientific Journal, vol.9, No.15, pp.22-35.
- [5]. Muthuvel, N. Prakash, C. Manikandan, J. Godwin John. 2014. Numerical simulation of flow inside the *square cavity*, International Journal of Technical Research and Applications, Vol.2, Issue 3, pp. 87-94.
- [6]. M. Ghalambaz, M. Sabour, I. Pop. 2016 .Free convection in a *square cavity* filled by a porous medium saturated by a nanofluid: Viscous dissipation and radiation effects, Engineering Science and Technology, an International Journal 19, pp.1244-1253.
- [7]. K. Lari, M. Baneshib, S.A. Gandjalikhan Nassaba, A. Komiyab, S. Maruyama. 2011. Combined heat transfer of radiation and natural convection in a *square cavity* containing participating gases, International Journal of Heat and Mass Transfer 54, pp.5087–5099.
- [8]. Firman Tuakia. 2008. Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent, Cet. 1. Bandung: Informatika.