

SIMULASI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS ALIRAN UDARA VENTILASI 2 DIMENSI DENGAN METODE BEDA HINGGA

Eko Prasetya Budiana¹, Zainal Arifin¹, Fajar Rohim Suryono²

¹ Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

² Alumnus Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Force convection

Heat transfer

Finite different method

Navier Stokes equations

Abstract :

Numerical simulation of heat transfer in two dimensional ventilation's air flow has been done to find out the convection phenomenon that occurs in 2D with variation of ventilation, which consist of fluid flow profile, distribution of temperature. The simulation is done by solving governing equation of forced convection including continuity equation, momentum equation and energy equation using finite difference approximations. The solving of governing equations is done by ADI method for calculation momentum equation of x and y direction without enclose pressure unsure to get temporary velocity (u^ and v^*). Then pressure is calculated by Line Gauss Seidel Iteration method, and used to find out true u and v value. Energy equation that contain temperature is also solved by ADI method. Visualization's result show that finite difference method can be applied to analyze the phenomenon that occurs on variation of ventilation. This research can be used to analyze the equipments which use the principle of force convection heat transfer, especially the equipments is used for variation of ventilation's air flow system.*

PENDAHULUAN

Sistem ventilasi sangat penting bagi penghuni bangunan, diantaranya untuk kenyamanan dan penghematan energi dan kesehatan penghuninya. Sistem ventilasi berkaitan dengan sistem aliran sirkulasi udara dalam bangunan tersebut.

Sistem ventilasi pada bangunan menjadi salah satu hal penting dalam perancangan bangunan di masa kini. Di masa lalu sistem ventilasi bangunan hanya dibuat seperlunya tanpa memperhatikan perpindahan panas dan aliran udara dalam bangunan tersebut. Hal ini akan mengakibatkan sistem ventilasi tidak bekerja dengan baik.

Pada awalnya perancang bangunan melakukan percobaan dengan membuat bangunan rancangan dalam skala yang diperkecil untuk mengetahui apakah rancangan ventilasi baik atau tidak. Tetapi percobaan tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar dan waktu yang lama.

Pada dasarnya perancangan aliran udara ventilasi dalam ruang berhubungan dengan proses perpindahan panas yang terjadi dalam ruangan tersebut. Proses perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga cara, yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi di antara permukaan benda dengan fluida yang bergerak ketika temperatur keduanya berbeda. Perpindahan panas secara konveksi berdasarkan jenis penyebab aliran fluida yang terjadi dikategorikan menjadi dua kategori, yaitu konveksi paksa dan konveksi alami.

Konveksi paksa (*forced convection*) adalah konveksi yang mana aliran fluida yang terjadi

disebabkan adanya alat-alat eksternal, seperti fan dan pompa. Sedangkan konveksi alami (*natural convection*) adalah konveksi yang terjadi karena fluida yang berubah densitasnya disebabkan proses pemanasan dan fluida ini bergerak naik karena adanya gaya apung (*bouyancy force*).

Seiring dengan perkembangan komputer maka metode komputasi juga berkembang, antara lain CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Dengan CFD maka perancang bangunan dapat mendesain sistem ventilasi yang baik dengan biaya yang relatif lebih murah dan waktu yang lebih singkat. Di zaman komputerisasi ini percobaan-percobaan dengan program komputer atau simulasi sangat diperlukan, hal ini bertujuan untuk menghemat waktu dan biaya. Maka dari itu, dikembangkanlah penelitian secara numerik yang membutuhkan biaya jauh lebih murah.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan simulasi numerik perpindahan panas aliran udara ventilasi 2 dimensi dengan metode beda hingga. Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan El Hadidi, sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada aliran di kotak 2D dengan berbagai variasi ventilasi. Metode numerik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode beda hingga (*finite difference*) pada non staggered grid, dimana variable kecepatan, tekanan dan temperatur berada pada satu titik (*collocated grid*).

TINJAUAN PUSTAKA

Berbagai metode telah digunakan untuk meneliti perpindahan aliran udara dalam kotak. Lemos (1993) melakukan penelitian aliran fluida tak mampat 2 dimensi yang algoritmanya berdasarkan pendekatan beda hingga dari persamaan Navier – Stokes dan persamaan momentum dengan perangkat lunak Fortran 77.

Simulasi numerik untuk aliran udara ventilasi yang dilakukan El Hadidi (1998) menggunakan formula SIMPLER (*Semi Implicit Method for Linked Equations Revised*). Metode SIMPLER adalah perbaikan dari metode SIMPLE (*Semi Implicit Method for Linked Equations*) yang tidak dapat memperkirakan dan mengoreksi nilai tekanan dan tingkat konvergensi yang sama.. Dalam formula SIMPLER, kecepatan diprediksi dengan menggunakan koreksi tekanan sama seperti formula SIMPLE. Perbedaan formula SIMPLER dengan formula SIMPLE adalah pada formula SIMPLER, tekanan langsung dihitung dan tidak dikoreksi.

Pranowo dan Iswanto (1999) meneliti analisis numerik konveksi alami dalam kotak 2 dimensi. Penelitian ini menjelaskan solusi dari persamaan Navier – Stokes 2 dimensi dengan variabel primitif pada *non staggered grid* dan diskritisasi beda hingga. Langkah algoritmanya menggunakan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dan metode Line Gauss Seidel.

Dhana (2006) mengembangkan penelitian yang didasari pada penelitian yang dilakukan Lemos (1993), El Hadidi (1998) dan Pranowo dan Istanto (1999) dengan metode ADI (*Alternating Direction Implicit*) dengan *non staggered grid* untuk mensimulasikan aliran udaran ventilasi 2D.

Aris (2006) melakukan penelitian untuk mengetahui fenomena yang terjadi konveksi alami pada kotak 2D dengan berbagai variasi kemiringan, penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan Pranowo dan Priyo Tri Iswanto dengan menambahkan variasi kemiringan pada kotak.

Sumon Saha, Goutam Saha, Mohammad Ali dan Md. Quamrul Islam (2006) meneliti fenomena yang terjadi pada konveksi bebas dan konveksi paksa dalam kotak 2 dimensi. Penelitian ini menjelaskan solusi dari persamaan Navier – Stokes 2 dimensi dengan metode elemen hingga.

DASAR TEORI

Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan energi dengan cara konveksi terjadi dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Sehingga akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Lalu partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah, bercampur lalu memindahkan sebagian energinya ke partikel-partikel fluida lainnya (*Frank Kreith, 1986*).

Pada perbatasan suatu permukaan dan suatu fluida akan terjadi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Tanpa adanya aliran yang dipaksakan terhadap fluida, maka sekitar permukaan akan terjadi konveksi secara alamiah. Perbedaan temperatur antara bagian-bagian fluida menyebabkan perbedaan densiti dan karena itu timbul gerakan dan aliran dalam fluida. Cara perpindahan panas semacam ini disebut konveksi alamiah atau konveksi bebas ;(*Z.Masyithah dan Bode H.2006*).

Konveksi paksa adalah perpindahan panas yang terjadi akibat adanya aliran fluida yang melintas atau melalui suatu permukaan yang memiliki perbedaan temperatur dengan fluida itu sendiri. Aliran fluida yang terjadi pada kasus konveksi paksa adalah aliran yang disebabkan oleh sebab luar misalnya pompa atau fan.

Persamaan atur untuk proses transfer panas konveksi paksa dapat dituliskan sebagai berikut:

Persamaan Kontinuitas :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Persamaan Momentum arah x :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{\partial P}{\partial X} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \tag{2}$$

Persamaan Momentum arah y :

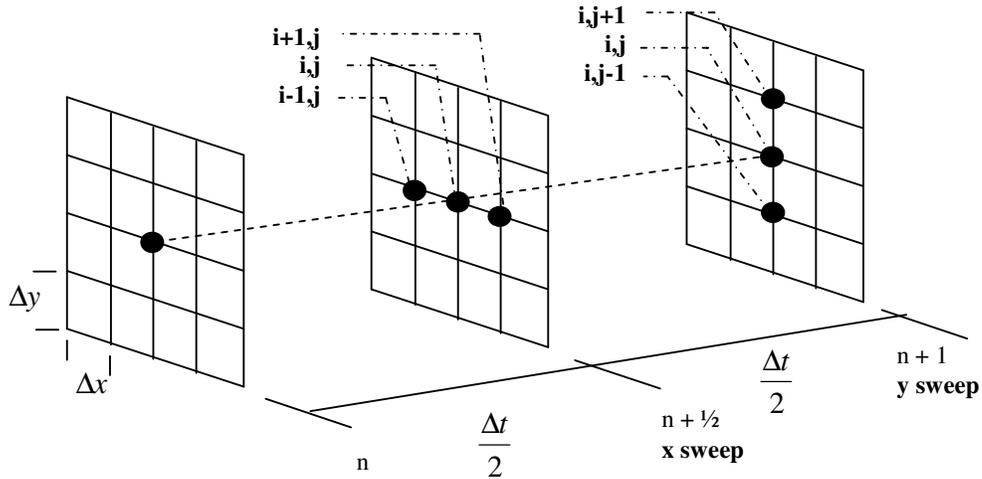
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{3}$$

Persamaan Energi :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{1}{Pe} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

Metode ADI (Alternating Directing Implicit)

Metode ini akan lebih mudah jika dijelaskan melalui gambar berikut :

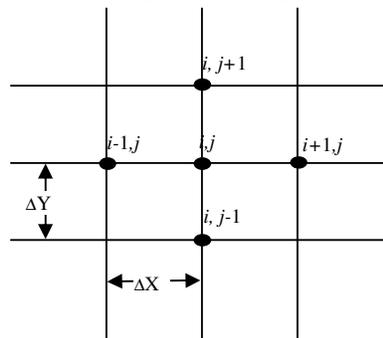


Metode ADI dilakukan dengan dua langkah, pertama adalah menyelesaikan dulu penentuan nilai-nilai searah x saja, disebut x-sweep, dilanjutkan dengan penentuan nilai-nilai searah sumbu y atau y-sweep. Tiap langkah yang dilakukan adalah

setengah langkah dari n+1, sehingga langkah-langkah tersebut menjadi : untuk x-sweep menggunakan langkah n + 1/2 dan kemudian y-sweep menggunakan setengahnya lagi sampai langkah n+1.

Metode Line Gauss – Seidel

Pada metode ini digunakan untuk menyelesaikan persamaan Laplace.



Gambar 2 Titik-titik grid untuk formula 5 titik

Persamaan Laplace :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \tag{5}$$

diselesaikan dengan metode iterasi Line Gauss Seidel menjadi :

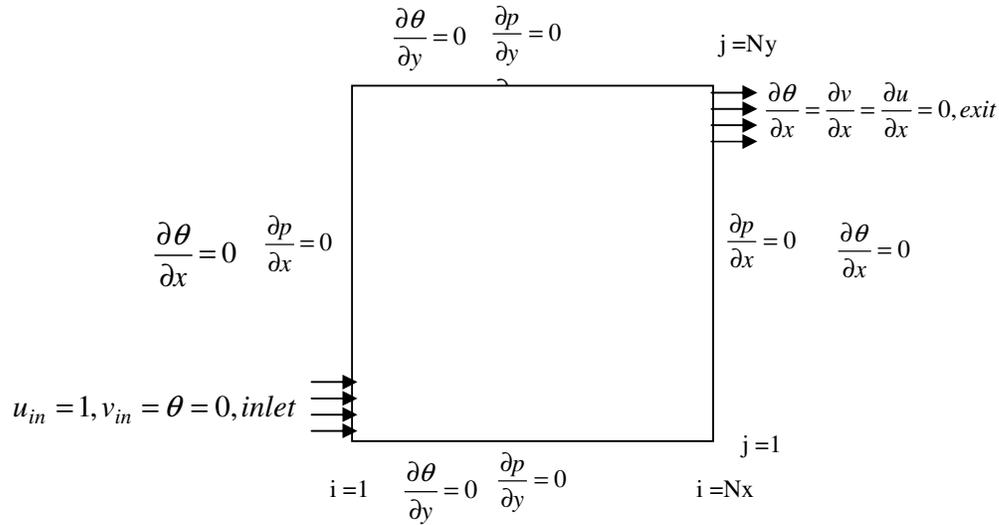
$$\frac{u_{i+1,j}^{k+1} - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1}^k - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta y^2} = 0 \tag{6}$$

$$u_{i-1,j}^{k+1} - 2(1 + \beta^2)u_{i,j}^{k+1} + u_{i+1,j}^{k+1} = -\beta^2 U_{i,j+1}^k - \beta^2 U_{i,j-1}^{k+1} \tag{7}$$

dimana $\beta = \frac{\Delta x}{\Delta y}$, persamaan di atas menghasilkan

sebuah sistem persamaan linear yang membentuk persamaan matriks tridiagonal.

Domain Dan Kondisi Batas



Gambar 3. Domain dan kondisi batas.

Diskritisasi Persamaan Atur

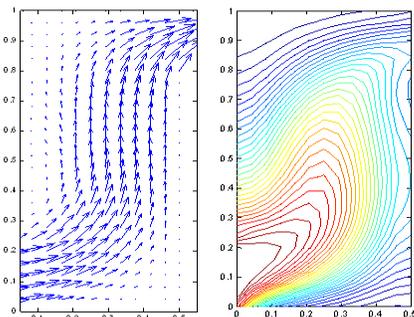
Persamaan atur diselesaikan dengan metode ADI untuk penghitungan persamaan momentum arah x dan y tanpa menyertakan unsur tekanan sehingga diperoleh kecepatan sementara (u^* dan v^*). Tekanan dihitung menggunakan metode iterasi Line Gauss-Seidel, kemudian digunakan untuk mencari u dan v yang sesungguhnya. Persamaan energi diselesaikan dengan menggunakan metode ADI, kemudian kondisi batas temperatur juga ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

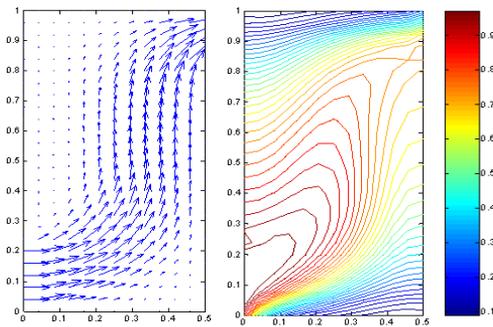
Ukuran dan geometri ruang dalam hubungannya dengan gerakan udara sangat besar pengaruhnya pada tipe aliran yang dihasilkan oleh ruang tersebut. Aspek rasio untuk aliran dua dimensi ditunjukkan oleh persamaan :

$$A_R = L/H \quad (8)$$

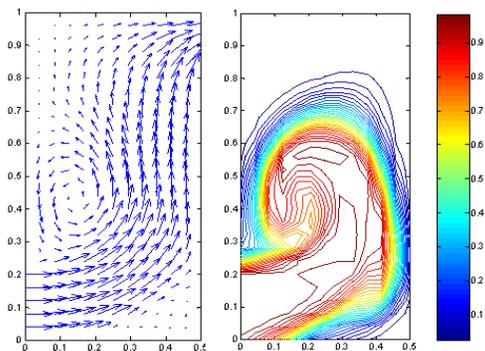
Nilai dari aspek rasio berbeda-beda tergantung dari tujuan penggunaan ruang itu sendiri. Pada umumnya aspek rasio untuk ruangan kantor adalah $1 < A_R < 3$. Pada ruang koridor nilai A_R dapat melebihi tiga (El Hadidi,1998).



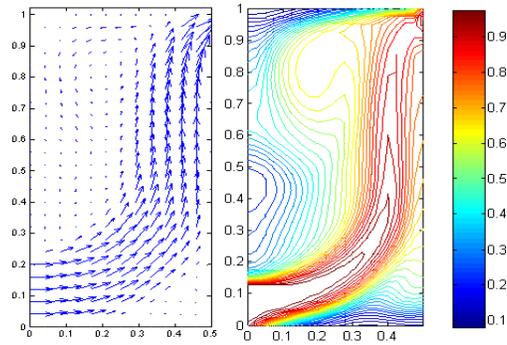
Gambar 4. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, Re=100, AR=0,5 dan t=1



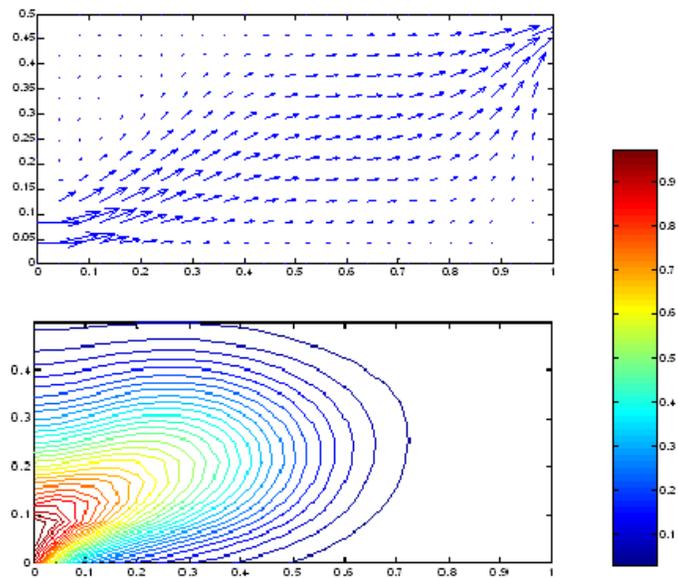
Gambar 5. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, Re=100, AR=0,5 kondisi steady



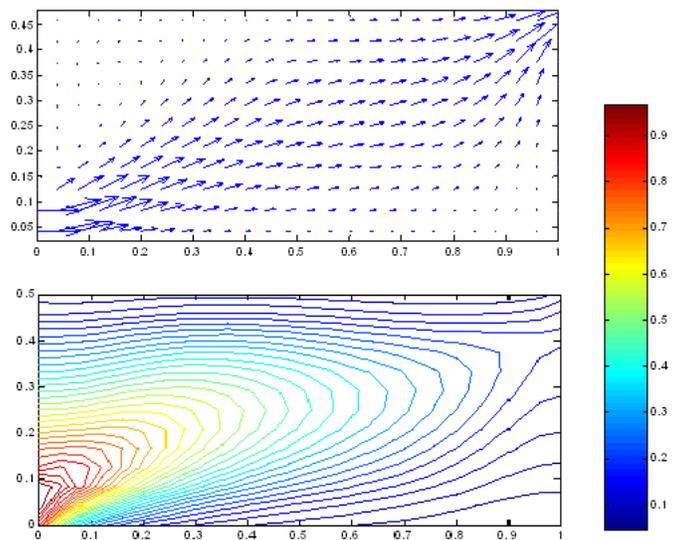
Gambar 6. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, Re=1000, AR=0,5 dan t=1



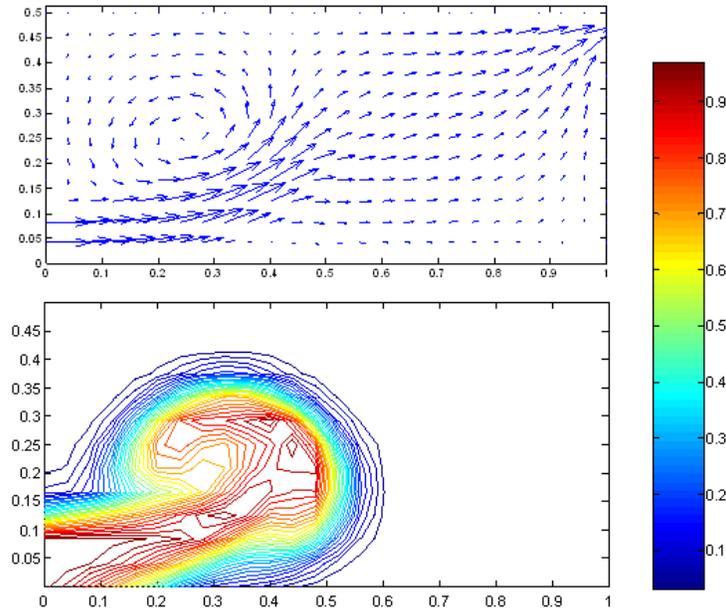
Gambar 7. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, $Re=1000$, $AR=0,5$ kondisi steady



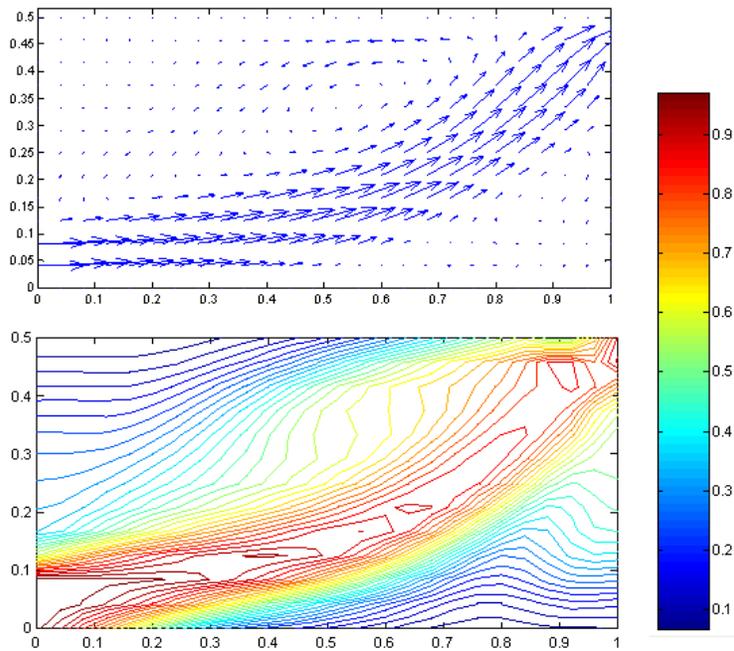
Gambar 8. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, $Re=100$, $AR= 2$ dan $t=1$



Gambar 9. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, $Re=100$, $AR= 2$ kondisi steady



Gambar 10. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, $Re=1000$, $AR=2$ dan $t=1$



Gambar 11. Vektor kecepatan dan kurva isotermal, $Re=1000$, $AR=2$ kondisi steady

Gambar 4. sampai gambar 11. menunjukkan pengaruh perubahan A_R terhadap vektor kecepatan dan kurva isotermal internal ruang. Gambar-gambar tersebut juga menunjukkan efek dari perubahan nilai Re . Nilai Re yang rendah akan membantu terjadinya “*piston ventilation*” dan nilai Re yang tinggi akan mempunyai peran yang besar untuk terjadinya “*mixing ventilation*”. Sedangkan untuk isotermnya

selalu mengikuti vektor kecepatan, terlihat dari perbandingan visual antara gambar vektor kecepatan dengan isoterm, terlihat dari perbandingan visual antara gambar vektor kecepatan dengan isoterm, dimana angka $Pe = 70$ untuk $Re=100$, sedangkan angka Peclet =700 untuk $Re = 1000$.

“Piston Ventilation” terjadi ketika udara dalam ruang “disapu” secara terus-menerus oleh udara dari

luar. Metode ventilasi ini digunakan pada ruangan bersih seperti ruang operasi dan agar metode ini dapat bekerja efektif, turbulensi udara harus diminimalkan dikarenakan turbulensi akan memicu aliran yang tak beraturan. "Mixing ventilation" terjadi ketika udara masuk dan udara dalam ruang bersirkulasi secara merata. Metode ini umumnya digunakan untuk ruang berpendingin atau berpemanas udara (El Hadidi, 1998).

Sistem "piston ventilation" dan "mixing ventilation" dapat diketahui dari gambar karena ukuran pola aliran udara yang berputar pada kasus sistem ventilasi dengan $Re = 1000$ jauh lebih besar daripada ukuran pola aliran udara yang berputar pada kasus sistem ventilasi dengan $Re = 100$. Perbedaan kurva isothermal antara aliran $Re=100$ dengan $Re=1000$ adalah pada meratanya distribusi temperatur udara, untuk $Re=100$ saat mencapai steady temperatur udara ruangan kurang merata. Akan tetapi pada $Re=1000$ saat mencapai steady, temperatur udara akan lebih merata walaupun aliran cenderung tidak beraturan

Meningkatkan angka Reynolds akan meningkatkan terjadinya pencampuran dan hal ini dapat dilihat dari vektor kecepatan yang berputar dan kurva isothermal yang lebih merata di seluruh ruang.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Metode yang digunakan mampu mensimulasikan aliran fluida incompressible dengan variasi ventilasi yang meliputi vektor kecepatan dan kurva isothermal dalam domain 2 dimensi.
2. Dari data penelitian dapat disimpulkan bahwa walaupun rasio ruang berubah, karakteristik udara untuk angka Re dan angka Pe yang sama tidak menunjukkan perbedaan karakteristik pola aliran dan isotherm yang signifikan.
3. Peningkatan nilai angka Reynolds akan meningkatkan sirkulasi udara dan isotherm dalam ruang. Hal ini sangat penting, terutama untuk sistem ventilasi *mixing ventilation* yang kinerja dan efeksitasnya sangat bergantung pada pencampuran udara.

DAFTAR PUSTAKA

El Hadidi, 1998, "A Computational Study of Flow in Mechanically Ventilated Space."

Gelfgat. A. Y., 1999, Different Modes of Rayleigh-Benard Instability in Two- and Three-Dimensional Rectangular Enclosures. *Journal of Computational Physics*, 156, (hal. 300-324).

Hoffmann. K.A., 1989, *Computational Fluid Dynamic for Engineers*, A Publication of Engineering Education System Austin, Texas.

Holman. J.P., 1988, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta.

Incropera. F.M., 1996, *Introduction to Heat Transfer*. USA: John Wiley & Sons.

Kreith. F., 1986, *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta.

Lemos. C. M., 1994, *Computers & Geosciences*, "FDFlow: a Fortran-77 Solver for 2-D Incompressible Fluid Flow." Vol. 20: pp.265-261.

Lewis. R. W. and K. Morgan., 1983, *Numerical Methods in Heat Transfer*, John Wiley & Sons, USA.

Patrick. H.O. and David. N., 1999, *An Introduction to Convective Heat Transfer Analysis*.

Pranowo dan P. T. Iswanto., 1999, *Analisis Numerik Konveksi Alami Dalam Kotak dengan Primitive Variable pada Grid Kolokasi*. Makalah Seminar Regional Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Priatna. D., 2006, *Simulasi numerik aliran udara ventilasi 2 dimensi dengan metode beda hingga*.

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).

Ramaswamy, 1983, "Finite Element Solution for Advection and Natural Convection Flows", *International Journal of Computers & Fluids*, Vol. 16.

Saha. S., Saha. G., Ali. M, dan Quamrul I. Md., 2006, Combined Free And Forced Convection Inside A Two-Dimensional Multiple Ventilated Rectangular, *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol.1, No.3, (hal.23-35).

