

PENGARUH BILANGAN RAYLEIGHT PADA KONVEKSI BEBAS DALAM RUANG UDARA REKTANGULAR TERTUTUP

LYDIA SALAM

Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10, Tamalanrea, Makassar, 90245
Telp/Fax : (0411) 588-400

ABSTRAK

Pengaruh bilangan Rayleigh (Ra) pada konveksi bebas dalam ruang udara rectangular tertutup telah diteliti dengan analisis numerik pada range $10^3 - 10^6$ dan diselesaikan dengan menggunakan finite difference dan alternating direction implicit method, kemudian system diasumsi dalam kondisi laminar steady. Hasil analisis menunjukkan bahwa bilangan Rayleigh (Ra) mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap profil temperatur, aliran, kecepatan dan vortisitas fluida di dalam ruang udara rectangular tertutup. Pada $Ra = 10^3$, konduksi di dalam ruang udara dominant tetapi pada $Ra = 10^4$ konveksi mulai muncul dan menjadi dominant pada $Ra = 10^6$.

Kata Kunci : Bilangan Rayleigh

1. Pendahuluan

Konveksi bebas atau alamiah adalah suatu mekanisme transport panas dimana gerakan fluida tidak disebabkan karena adanya pengaruh dari luar seperti pompa, fan, dsb, tetapi hanya dengan perbedaan densitas didalam fluida, yang terjadi karena timbulnya gradient temperatur. Akibat dengan adanya pengaruh gravitasi maka akan menimbulkan suatu gaya apung (buoyancy forces) yang merupakan driving forces pada konveksi bebas.

Persoalan konveksi bebas masih tetap banyak menarik perhatian peneliti-peneliti karena aplikasinya dalam bidang engineering, misalnya konveksi bebas dalam ruang rektanguler tertutup, meskipun telah banyak dilakukan penelitian mengenai hal ini seperti de Vahl Davis et al, tetapi tetap dianggap penting karena dalam aplikasi masih banyak digunakan terutama karena perlunya penghematan dalam penggunaan energy, sebagai contoh pada isolasi thermal gedung, pada reactor daya nuklir, dsb.

Melihat hal ini, maka masih tetap perlu diadakan analisis lebih lanjut terutama mengenai gerakan dari fluida di dalam ruang udara tersebut yang disebabkan oleh gaya apung (Buoyancy forces) dan dapat diekspresikan dengan bilangan Rayleigh (Ra) sehingga dapat diperkirakan kapan konveksi mulai terjadi pada fluida, karena hal ini akan mempengaruhi gerakan udara yang akan mentransfer panas, oleh karenanya perlu dianalisis bagaimana pengaruh dari bilangan Rayleigh terhadap mekanisme transport tersebut yaitu dengan menganalisis profil temperatur aliran, kecepatan dan vortisitasnya.

2. Metode Analisis

Dalam hal ini, konveksi bebas dalam ruang udara tertutup yang terdiri dari dua permukaan vertikal akan dianalisis secara numerik dengan mengabaikan radiasi. Persoalan numerik diselesaikan dengan menggunakan finite difference dan alternating direction implicit method. Sedangkan kondisi batas kedua permukaan rektanguler vertikal tersebut yaitu pada permukaan dingin temperaturnya uniform dan pada permukaan panas fluks kalornya konstan. Sedangkan dinding horizontalnya diperlakukan sebagai permukaan adiabatik. Perbedaan temperatur antara kedua dinding tersebut diambil pada interval 15°C sampai 50°C dan range dari bilangan Rayleigh adalah $10^3 \leq Ra \leq 10^6$.

2.1 Persamaan Dasar Konveksi Bebas :

- a. Bilangan Grasshof modifikasi (Gr^*) adalah rasio dari gaya apung dan gaya viskos dan diekspresikan sebagai berikut :

$$Gr^* = \frac{g\beta qw^2}{\nu^2 k} \dots \dots \dots (1)$$

- b. Bilangan Prandtl (Pr) adalah rasio dari viskositas kinematik dan difusivitas thermal dan diekspresikan sebagai berikut :

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \dots \dots \dots (2)$$

- c. Bilangan Rayleigh (Ra) adalah rasio tak berdimensi antara perkalian gaya apung dan panas advection



dengan perkalian gaya viskos dan panas konduksi dalam suatu fluida dan dapat diperoleh dari :

$$Ra = Gr \cdot Pr \dots \dots \dots (3)$$

atau

$$Ra = \frac{g\beta(\Delta T)w^3}{\nu\alpha k} \dots \dots \dots (4)$$

Dalam penelitian ini digunakan bilangan Rayleigh modifikasi (untuk kondisi batas fluks kalor pada dinding)

$$Ra^* = Ra \cdot Nu \dots \dots \dots (5)$$

$$Ra^* = \frac{g\beta(\Delta T)w^3}{\nu\alpha k} \cdot \frac{qw}{\Delta T k}$$

atau

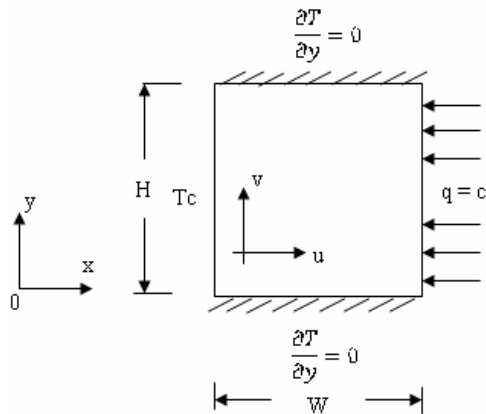
$$Ra^* = \frac{g\beta qw^4}{k\nu\alpha} \dots \dots \dots (6)$$

2.2 Persamaan Dasar Numerik

Dalam analisis diasumsi aliran 2 dimensi, kondisi steady laminar, fluida incompressible dan semua sifat-sifat fluida konstan.

Meskipun diasumsi kondisinya steady tetapi persamaan dasar tetap ditulis dalam kondisi tidak steady agar persamaan menjadi parabolic dengan waktu.

Persamaan dasar yang mempengaruhi aliran fluida dalam ruang adalah :



Dengan kondisi batas :

$t > 0, u = v = 0, T = T_c$, pada $x=0, 0 \leq y \leq H$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T}{\partial x} = q, \text{ pada } x=w, 0 \leq y \leq H \\ & \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \text{ pada } y=0, H, 0 \leq x \leq W \\ & u = v = 0, T = T_o \text{ untuk } 0 \leq y \leq H \text{ dan } 0 \leq x \leq W \end{aligned}$$

a. Persamaan Kontinuitas :

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} = 0 \dots \dots \dots (7)$$

b. Persamaan Momentum :

x – momentum

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots (8)$$

y – momentum

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T-T_r) \dots (9)$$

Dalam kondisi 2 dimensi, kecepatan u dan v dapat diekspresikan dalam bentuk stream function (ψ) sebagai berikut :

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad \text{dan} \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \dots (10)$$

Sedangkan (vortisitas) (ω) adalah :

$$\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \dots (11)$$

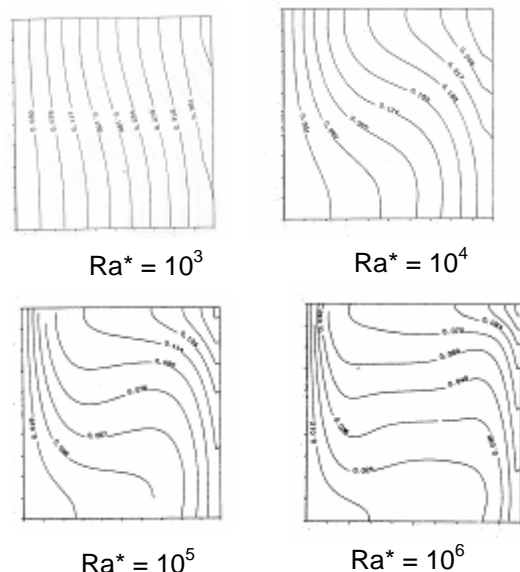
$$\omega = -\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right)$$

atau $\omega = -\nabla^2 \psi \dots (12)$

3. Pembahasan

3.1 Profil Temperatur

Profil distribusi temperature dalam arah x & y pada bilangan Rayleigh, $Ra^* = 10^3, 10^4, 10^5$ dan 10^6 dapat dilihat pada gambar:

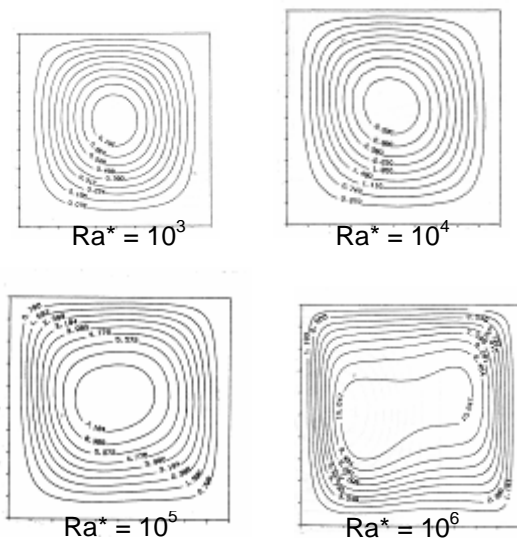


Menunjukkan bahwa pada $Ra^* = 10^3$ gradient temperature dalam arah y, panas berpindah dari dinding panas ke dinding dingin umumnya secara konduksi, pada $Ra^* = 10^4$ gradient temperature dalam arah x mulai muncul pada bagian center ruang, pada $Ra^* = 10^5$ dan 10^6 gradient temperature dalam arah x menjadi dominant pada center, cenderung berbentuk 'S'

Penurunan yang tajam dalam arah y muncul dekat lapisan batas panas dan dingin, ini menunjukkan bahwa temperatur adalah konstan pada bagian center dan panas berpindah secara konveksi disepanjang kedua lapisan batas, berarti konveksi menjadi signifikan dalam ruang bila Ra^* menjadi lebih besar.

3.2 Profil Aliran

Dari profil aliran dalam ruang udara pada gambar :

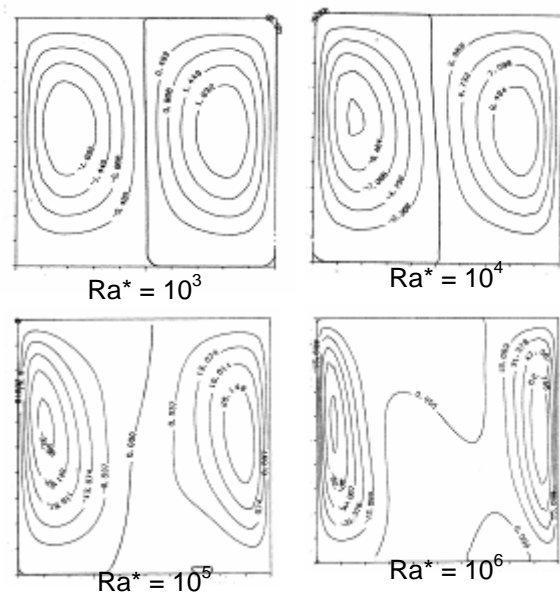


Memperlihatkan garis-garis aliran (streamline). Pada $Ra^* = 10^3$, core (inti) dari aliran pada bagian center ruang. Fluida bersirkulasi merata di sekeliling ruang dari dinding panas ke dinding dingin. Fluida mengalir ke arah bawah pada dinding dingin dan bergerak ke atas pada bagian dinding panas. Tetapi pada umumnya tidak ada aliran pada bagian center dari core aliran. Untuk Ra^* yang lebih tinggi pada $Ra^* = 10^4$ & $Ra^* = 10^5$, menunjukkan konveksi bertambah, core cenderung berputar pada bagian atas dinding panas dan pada bagian bawah dinding dingin. Pada $Ra^* = 10^6$, luas core aliran menjadi lebih besar dan aliran dapat dibagi atas 2 bagian, bagian pertama adalah dekat lapisan panas dan dingin, tebal dari lapisan menjadi lebih tipis dan aliran disekitar daerah ini menjadi lebih cepat, dan dapat disimpulkan bahwa pada daerah ini terjadi konveksi bebas sedangkan pada bagian kedua, aliran disekeliling daerah core, aliran hampir stagnant.

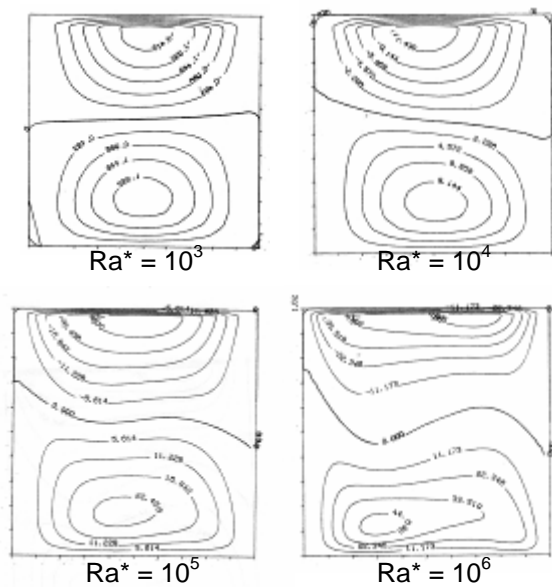
3.3 Profil Kecepatan:

Dari gambar profil nampak bahwa;

Kecepatan v:



Kecepatan u

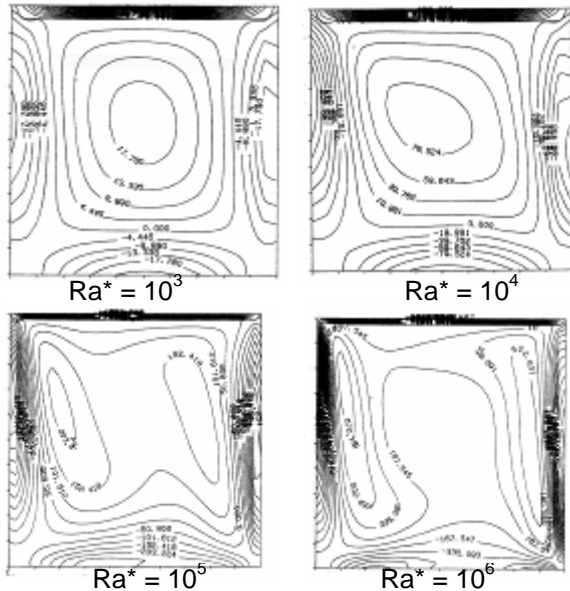


Nampak bahwa kecepatan bertambah dengan bertambahnya bilangan Ra^* , pada $Ra^* = 10^3$, kecepatan v bergerak merata disepanjang dinding panas & dingin, begitupun juga pada dinding horizontal kecepatan u bergerak lebih cepat pada bagian atas dan mendorong udara dingin ke bawah disepanjang permukaan dingin. Pada Ra^* yang lebih tinggi ($Ra^* = 10^4$ & $Ra^* = 10^5$) kecepatan udara makin bertambah dan pada $Ra^* = 10^6$, kecepatan v pada dekat dinding panas dan dingin, makin tinggi begitupun kecepatan pada dinding horizontal.



3.4 Vortisitas

Dari gambar profil vortisitas, nampak bahwa



pada $Ra^* = 10^3$, vortisitas bersirkulasi merata pada permukaan panas dan dingin, begitu juga pada bagian center ruang. Tetapi begitu Ra^* bertambah, vortisitas pada bagian center mulai berubah, hal ini dapat dilihat pada $Ra^* = 10^4$. Kemudian $Ra^* = 10^5$ dan $Ra^* = 10^6$, core pada bagian center terbagi. Ada yang merapat kepermukaan dingin dimana sirkulasi udara bergerak dengan cepat ke permukaan dinding.

Kesimpulan

Dari hasil analisis secara numeric diperoleh :

- 1) Bilangan Rayleigh dengan range $10^3 \leq Ra^* \leq 10^6$ mempunyai pengaruh yang cukup besar pada profil temperatur, aliran, kecepatan dan vortisitas.
- 2) Dari gambar profil memperlihatkan bahwa pada $Ra^* = 10^3$, konduksi yang dominant dan pada $Ra^* = 10^4$ & 10^5 , konveksi mulai muncul. dan konveksi menjadi dominant dalam ruang udara pada $Ra^* = 10^6$.

Referensi

1. de Vahl Davis G. Numerical Methods in Engineering and science, Allen & Unwin, Inc, Sidney, Australia, 1986
2. Landis. F. and Yanowits, H. Natural Convection in a Narrow Vertical Cell, International Heat Transfer Conference, Vol 2 pp.139-151,1996
3. Prasad V, and Kulachi, F,. Natural Convection in a Rectangular Porous Cavity With Constant Heat

Flux on One Vertical Wall, Journal of Heat Transfer, Vol.106,pp.152-157.1984

4. Peacemen, D.W,. and Rachford, H.H,. The Numerical Solution of Parabolic and Elliptic Differential Equation, J. Soc. Industry Applied Maths, 3, pp 28-41,1955
5. Said, M.N.A,. and Trapp, A.C,. Laminar Free Convection in Vertical Air, Filled Cavities With Mixed Boundary Condition, ASME, Pape No. 79-HT-110,1979
6. Wilkes J.O., and Churchiel, S.W., The Finite Differensial Computation of Natural Convection in a Rectangular Enclosure, A.I.Ch E Journal Vol.12 N0.1,pp 161-166,1966.

