

Studi Numerik
Pengaruh GAP Ratio terhadap Karakteristik Perpindahan Panas
(Heat Exchanger) dalam Enclosure

Petrus Sampelawang¹
sampelawangp@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Kajian pengaruh gap ratio (S/d) terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas konveksi alamiah heat exchanger dalam enclosure dengan 12 array silinder isothermal yang tersusun vertikal dilakukan secara numerik. Gap ratio (S/d) divariasikan antara 1.58 – 4.73 dengan beban panas awal yang konstan. Fluent 6.0 digunakan untuk mendapatkan vektor kecepatan aliran, distribusi temperatur didalam enclosure serta angka Nusselt lokal (\bar{Nu}) pada permukaan silinder. Pada $S/d = 1.58$ proses laju perpindahan panas (q) mencapai maksimum dengan peningkatan sebesar 17 %. Peningkatan $S/d = 2.63$ mengakibatkan peningkatan laju perpindahan panas yang semakin kecil dan peningkatan S/d yang lebih besar lagi yaitu untuk $S/d \geq 3.68$ sudah tidak signifikan mempengaruhi laju perpindahan panas yang ditandai dengan peningkatan yang relatif konstan yaitu hanya sebesar 5.68 % sebagaimana pola aliran aliran maupun contour temperatur pada $S/d \geq 3.68$ menunjukkan trend yang relatif sama.

Kata Kunci : *bouyancy forced, gap ratio, koefisien perpindahan panas, konveksi alamiah*

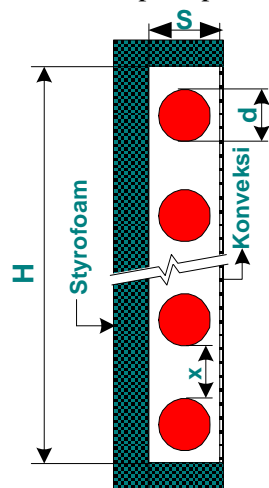
¹ Staff Pengajar Fak. Teknik Jur. Teknik Mesin UKI Toraja

PENDAHULUAN

Aplikasi dari fenomena perpindahan panas konveksi alamiah dalam berbagai sistem penukar kalor misalnya pada proses pendinginan alat elektronik, sistem pendinginan pada reaktor nuklir, pembuangan kalor pada kondensor untuk refrigerator baik pada sistem dengan kapasitas yang besar maupun kecil seperti pada lemari es merupakan suatu tema kajian yang cukup menarik. Karena pada sistem tersebut pindahan kalor cukup sensitif terhadap perubahan-perubahan yang kecil sekalipun, baik perubahan dimensi geometri maupun kondisi sekeliling dengan proses yang fenomenal.

Penelitian ini mencoba memodifikasi penempatan Heat exchanger yang ditempatkan ditengah-tengah diantara styrofoam dengan pelat dinding untuk mengoptimalkan luas permukaan perpindahan panasnya, sehingga diharapkan dapat memperbaiki performa dari sistem tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Objek penganalisan adalah aspek perpindahan panas secara konveksi dari permukaan luar tube sehingga parameter properties fluida didalam tube merupakan parameter independent.

Beberapa kajian sebelumnya menyangkut fenomena perpindahan panas secara konveksi baik pada udara bebas maupun pada ruangan tertutup (*enclosure*) telah dilakukan dengan boundary condition yang berbeda daripada penelitian ini.



Gbr 1. Posisi Tube dalam enclosure

Newport [2], melakukan kajian dengan silinder isothermal tunggal didalam cubical enclosure, dengan mengkondisikan semua dinding sebagai dinding konveksi.

Prabowo dan Kikuchi [3] melakukan kajian secara eksperimen dan numerik yang terfokus pada interaksi *force convection* dan *natural convection* terhadap pengaruh jarak longitudinal antar silinder pada susunan silinder horizontal sebagai sumber panas yang ditempatkan didalam channel.

Sadeghipur dan Ashegi [4], Tanda dan Tagliafio [5] juga melakukan penelitian secara eksperimental untuk fenomena perpindahan panas konveksi dari suatu sumber panas pada udara terbuka juga memberikan gambaran tentang pengaruh jarak antar silinder terhadap fenomena perpindahan panas pada permukaan silinder di ruangan terbuka.

Velusamy [6] melakukan kajian secara numerik yang difokuskan pada interaksi permukaan radiasi dengan natural convection turbulen dalam enclosure, dengan mengkondisikan kedua dinding vertical enclosure sebagai dinding isothermal dengan temperature yang berbeda (hot wall and cold wall) tanpa menggunakan tube sebagai sumber panas melainkan dengan pemanasan langsung pada kedua dinding vertikal.

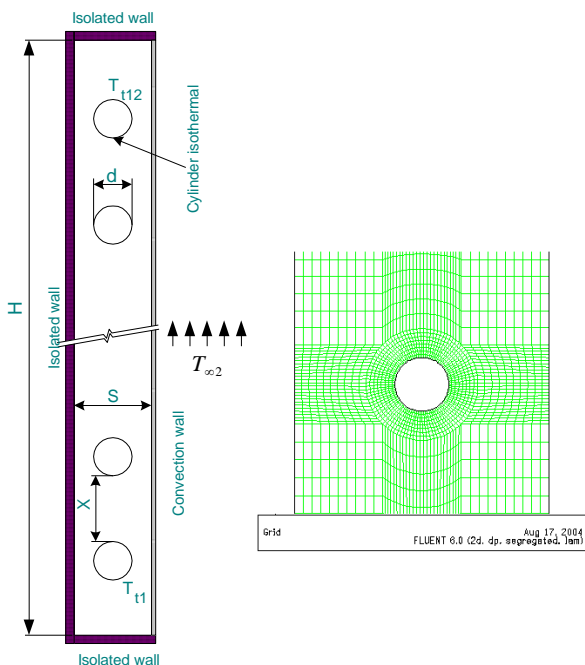
Dari beberapa penelitian diatas maka dapat dinyatakan bahwa fenomena laju perpindahan perpindahan dalam suatu enclosure dipengaruhi oleh dimensi dan geometri enclosure, jumlah silinder dalam enclosure, jarak pith antara silinder, dimensi dan geometri silinder dalam enclosure, gap ratio, beban panas yang masuk, temperatur operasional, fluida kerja, material yang digunakan, boundary condition dan lain sebagainya. Penelitian sebelumnya secara umum lebih terfokus pada jarak antar silinder maupun pengkondisian dinding vertikal maupun horisontal enclosure, maka pada penelitian ini dilakukan kajian yang lebih terfokus pada pengaruh jarak dinding vertikal terhadap heat exchanger dalam enclosure dengan jarak antar silinder konstan, yang dinyatakan dalam parameter tanpa dimensi S/d (*GapRatio*) yaitu perbandingan antara jarak dinding vertikal dengan diameter silinder (d).

METODE PENELITIAN

Studi numerik ini dilakukan dengan membuat model uji yang disesuaikan dengan dimensi dan geometri pada studi eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 2 dengan menggunakan software *Gambit*. Meshing dilakukan dengan struktur grid yang lebih kecil didaerah dekat permukaan silinder

dan ukuran grid yang lebih besar diluar daerah tersebut .

Pemberian boundary condition pada komponen-komponen model yaitu ; setiap silinder didefinisikan sebagai *wall isothermal* dengan temperatur masing-masing silinder didapat dari hasil eksperimen berupa temperature permukaan silinder (T_{tube}). Kedua dinding vertikal didefinisikan sebagai *wall*, dimana dinding sebelah kiri dikondisikan sebagai dinding adiabatik, sedang dinding sebelah kanan dinding konveksi, dimana besarnya koefisien konveksi didapatkan dari hasil eksperimen. Kedua dinding horizontal didefinisikan sebagai *wall* dengan kondisi batas sebagai dinding adiabatik setebal 0.05 m .

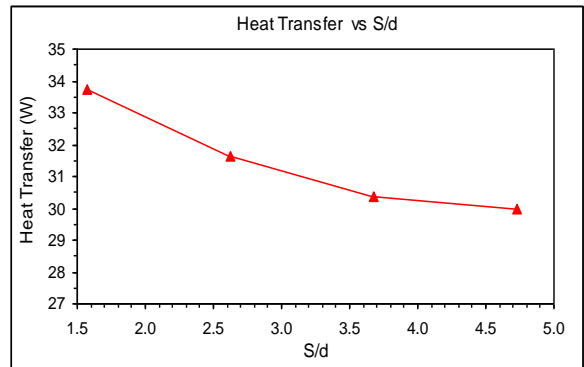


a) Komputational Domain (b) Struktur grid

Gbr 2. Komputational Domain dan Struktur Grid

ANALISIS DAN DISKUSI

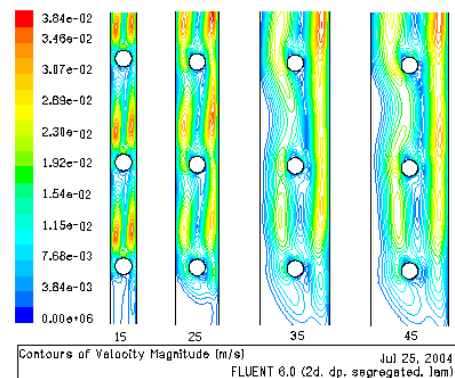
Peningkatan gap ratio (S/d) menghasilkan laju perpindahan panas dengan trend yang semakin kecil, dimana peningkatan $S/d \geq 3,68$ sudah tidak signifikan lagi merubah laju perpindahan panas seperti ditunjukkan pada gambar 3.



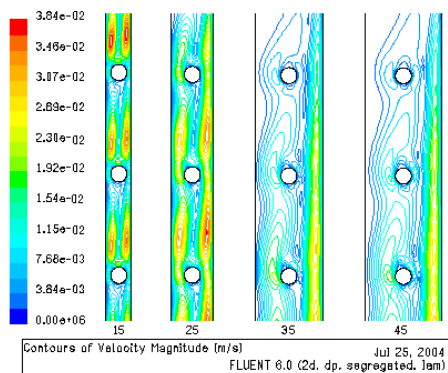
Gambar 3. Heat Tansfer (q) Total

Fenomena laju perpindahan panas didalam enclosure dapat dijelaskan dengan karakter aliran fluida pendingin didalam enclosure yang ditunjukkan dengan Contour velocity magnitude dan Contour temperatur (gambar 4 dan 5). Kedua contour tersebut menunjukkan bahwa perubahan (S/d) mengakibatkan terjadinya perubahan kualitas contour yang ditandai dengan perubahan pola maupun kerapatannya. Contour velocity menunjukkan bahwa pada $S/d \leq 2.63$ terbentuk twin vortex disetiap downstream aliran untuk semua silinder, namun kondisi demikian tidak terjadi pada dua gap ratio yang lebih besar ($S/d \geq 3.68$).

Hal tersebut memberikan gambaran bahwa akibat peningkatan S/d maka terjadi perubahan free stream velocity pada setiap silinder yang mempengaruhi pembentukan vortex pada downstream aliran. Perubahan vortex jelas berpengaruh pada distribusi Nusselt number pada setiap silinder, dimana bentuk dan value dari vortex yang terjadi menentukan karakter mixing fluid pada permukaan silinder dan daerah disekitarnya.



(a). Silinder 1-3

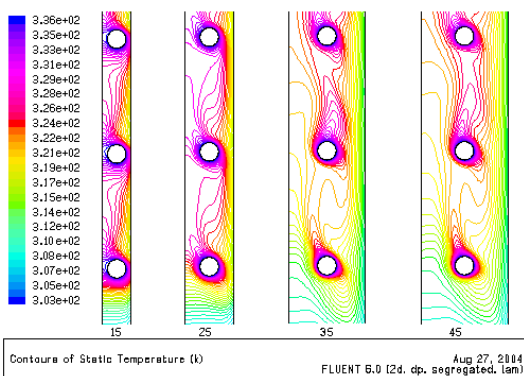


(b). Silinder 10-12

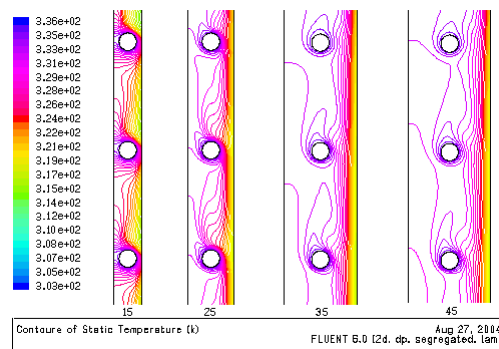
Gambar 4. Contour Velocity Magnitude

Peningkatan S/d juga berdampak pada kualitas kecepatan udara didalam enclosure yang semakin menurun. Hal ini dapat berarti bahwa jarak antara dinding pembatas (dinding enclosure) menentukan kualitas akselerasi aliran pada permukaan silinder maupun pada dinding enclosure, yang selanjutnya merupakan salah satu faktor yang membentuk karakteristik laju perpindahan panas dari silinder keruangan enclosure yang selanjutnya ditransfer dari dinding konveksi enclosure ke udara sekelilingnya.

Gambar 5 menunjukkan contour temperatur didalam enclosure pada beberapa silinder untuk ke empat variasi S/d. Contour temperatur untuk setiap posisi silinder menunjukkan perbedaan dengan variasi S/d.. Hal tersebut menggambarkan laju perpindahan panas dari silinder kesekelilingnya yang semakin kecil dengan semakin meningkatnya S/d.



(a). Silinder 1-3

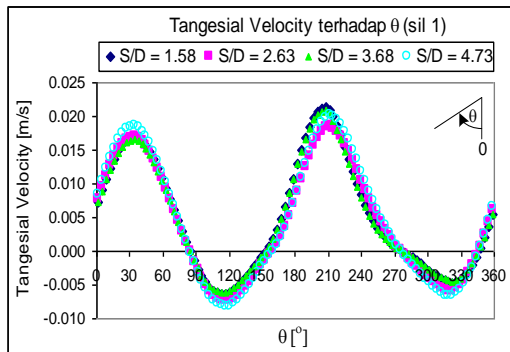


(b). Silinder 10-12

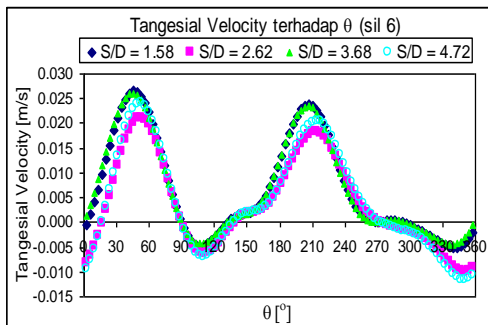
Gambar 5. Contour Temperatur

Silinder dengan elevasi yang berbeda menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi posisi silinder dalam enclosure maka kualitas contour temperatur didalam enclosure semakin meningkat pula. Hal ini menggambarkan bahwa dengan semakin tinggi posisi silinder didalam enclosure maka selisih temperatur ($T_t - T_{\infty}$) semakin kecil pula. Kondisi demikian juga memberi gambaran bahwa jumlah silinder dalam enclosure merupakan salah satu faktor yang menentukan karakter laju perpindahan panas. Fenomena perpindahan panas yang terjadi pada setiap silinder tidak terlepas dari kondisi silinder dibawahnya dimana plume silinder yang lebih rendah menentukan selisih temperatur udara yang melintasi silinder diatasnya.

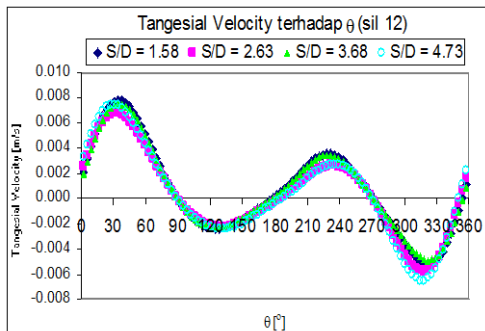
Fenomena Laju perpindahan panas lokal untuk setiap silinder dapat dijelaskan dengan distribusi tangensial velocity maupun Nusselt number berikut ini (gambar 6-7). Variasi gap ratio menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap letak stagnasi maupun separasi aliran yang ditunjukkan melalui distribusi kecepatan tangensial pada permukaan silinder khususnya pada gap ratio yang kecil ($S/d \leq 2.625$), yang menyebabkan distribusi Nusselt number berbeda-beda pada silinder dengan elevasi yang sama untuk setiap perubahan gap ratio. Kondisi tersebut tidak terjadi pada gap $S/d \geq 3.675$ yang ditandai dengan distribusi Nusselt number yang relatif sama dan merata dari permukaan silinder. Hal tersebut mengakibatkan laju perpindahan panas total dari permukaan silinder pada $S/d \geq 3.675$ relatif sama (gambar 3).



(a) silinder-1



(b) silinder 6



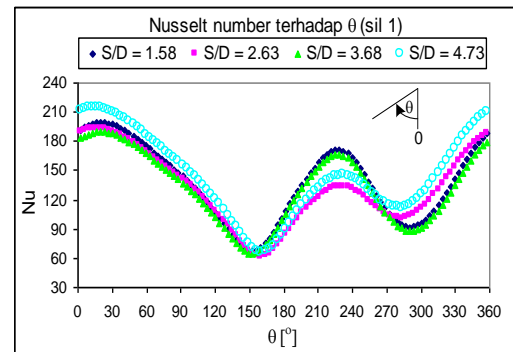
(c) Silinder 12

Gambar 6. Tangensial Velocity dengan variasi S/d

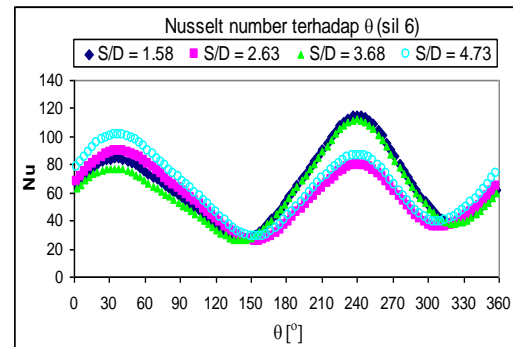
Distribusi Nusselt number yang ditunjukkan pada gambar diatas, memperlihatkan fluktuasi untuk setiap perubahan gap ratio. Fluktuasi tersebut dimungkinkan oleh dua faktor dominan yang berpengaruh, yaitu koefisien konduktifitas dan koefisien konveksi udara pada permukaan silinder. Dengan perbedaan temperatur rata-rata yang relatif kecil, maka koefisien konduktifitas udara relatif konstan. Sehingga dapat dinyatakan bahwa pengaruh konduktivitas pada permukaan silinder relatif konstan dengan berubahnya gap ratio. Dengan demikian maka dominasi perubahan adalah koefisien konveksi pada permukaan silinder. Dimana dengan berubahnya gap ratio maka terjadi perubahan vektor kecepatan aliran

udara silinder, maupun pergerakan udara didalam enclosure.

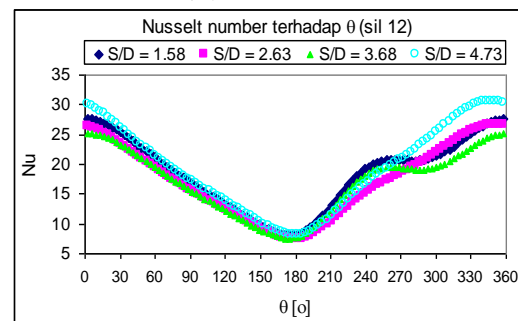
Jadi dapat dinyatakan bahwa terjadinya perbedaan harga maupun posisi Nusselt number maksimum dan minimum permukaan silinder dengan perubahan gap ratio lebih didominasi oleh perubahan karakter aliran udara didalam enclosure.



(a). Silinder-1



(b) Silinder -6



(c) Silinder -12

Gambar 8. Distribusi Nusselt number dengan variasi S/d

KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Karakteristik laju perpindahan panas heat exchanger dalam enclosure didominasi karakter aliran fluida pendingin untuk kondisi sekeliling

yang konstan dan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Peningkatan gap ratio mengakibatkan laju perpindahan panas dari heat exchanger menurun. Peningkatan gap ratio (S/d) dari 1.575 ke 2.625 memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap penurunan laju perpindahan panas dari heat exchanger dengan penurunan rata-rata sebesar 17 % untuk setiap mass flow rate oil, namun peningkatan gap ratio yang lebih besar lagi tidak memberikan pengaruh signifikan yang ditandai dengan penurunan rata-rata sebesar 6.36 % pada gap ratio 2.625 ke 3.675 dan 5.68 % pada gap ratio 3.675 ke 4.725.
2. Peningkatan gap ratio mengakibatkan Nusselt number rata-rata dari permukaan silinder menurun. Pada gap ratio yang lebih besar dari 3.675 pengaruh gap ratio terhadap perubahan Nusselt number rata-rata sudah kurang berarti dimana penurunan Nusselt number hanya rata-rata sebesar 1.42 % .

DAFTAR PUSTAKA

- Chouikh, R, Giuzani, et. al, 1999,** " Numerical Study of the Laminar Natural Convection flow around an Array of Two Horizontal Isothermal Cylinders ", Int. Comm. Heat Mass Transfer, vol 26 No.3 P 329 - 338.
- Newport, D,T, 2001,** " On the Thermal Interaction Between an Isothermal Cylinder and Its Isothermal Enclosure for Cylinder Rayleigh Numbers of Order 104 ", Journal of Heat Transfer vol. 133 P 1052-1061.
- Prabowo, and Kikuchi, 2000,** " Hysteretic Phenomena of Combine Forced and Natural Convection from Single Row of five Cylinders ", Mem. Fac. Eng. Hiroshima Univ. Vol 49, p 236.
- Ashegi, M., 1994,** " Free Convection Heat Transfer from Arrays of Vertically Separated Horizontal Cylinders at Low Rayleigh Numbers ", Journal of Heat Transfer vol. 37 P 103-109
- Tanda, G, Tagliafico, 1997,** " Free Convection Heat Transfer from Wire and Tube Heat Exchanger ", Journal of Heat Transfer, vol 119, p 370-372
- Velusamy, K, Sundarajan, 2001,** " Interaction Effect Between Surface Radiation and Turbulent Natural Convection In Square and Rectangular Enclosures " Journal of Heat Transfer, vol 123, p 1062-1070.
- Versteeg, H,K., Dan Malasekera,W., 1995,** "An Introduction to Computational Fluids Dynamics, The Finite Volume Method", Longman Scientific and Technical