

Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas Udara Disekeliling Pipa Kondensor dalam Saluran Tegak

Prabowo dan Mangkona

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITS
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
E-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak

Karakteristik aliran dan perpindahan panas konveksi alamiah pada susunan 20 pipa kondensor dalam saluran tegak telah diteliti dengan studi numerik menggunakan CFD Fluent 6,0 dengan memvariasikan gap ratio (S/d) pada range 1.05 – 4.2. Pada gap ratio (S/d)=1.05 diperoleh harga Q_{kond} terkecil kemudian naik drastis pada $S/d=2.1$. Hal ini terjadi karena udara pada S/d yang kecil hanya bersirkulasi diantara pipa dengan intensitas vektor kecepatan yang rendah sehingga berdampak pada laju perpindahan panas yang kecil. Distribusi bilangan Nusselt lokal (Nu_{ϕ}) menunjukkan nilai yang rendah pada permukaan depan dan belakang pipa, hal yang sama untuk distribusi kecepatan tangensial (V_{ϕ}) di sekitar tube. Sedangkan pada $S/d=2.1$, udara mendapatkan gaya bouyancy yang besar sehingga proses pendinginan terjadi lebih baik. Efek cerobong mengakibatkan udara bergerak naik lebih cepat. Pada $S/d=3.15-4.2$, laju perpindahan panas pada kondensor naik seiring dengan naiknya S/d tetapi tidak signifikan. Hal ini ditunjukkan pada kecepatan udara disekitar pipa kondensor yang relatif sama pada range S/d ini.

Kata Kunci : Konveksi alamiah, Kondensor, Saluran tegak, Gap ratio, Karakteristik Aliran, Bilangan Nusselt.

Pendahuluan

Karakteristik aliran dan perpindahan panas dari kondensor (penukar panas) pada sistem refrigerasi mempunyai fenomena perpindahan konveksi alamiah dari multi tube sangat dipengaruhi oleh temperatur udara bebas dalam *enclosure*. Davies [2000] juga mengatakan bahwa perubahan temperatur udara bebas berpengaruh terhadap bilangan Nusselt dimana semakin tinggi temperatur udara bebas dalam *enclosure* maka semakin rendah bilangan Nusselt.

Penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Prabowo dkk [1997] dengan menempatkan dua tube dalam duct untuk mengamati karakteristik perpindahan panas konveksi alamiah secara eksperimen dan numerik. Studi dilakukan dengan memvariasikan Re , Ra dan jarak tube (L/d). Pada L/d kecil tube kedua dilingkupi wake dari tube pertama menyebabkan Nu_{ϕ} tube kedua lebih rendah di daerah depan sehingga laju perpindahan panas tube tersebut lebih kecil. Choich dkk [1999] melakukan studi numerik untuk aliran konveksi alamiah sepanjang jajaran dua tube horizontal yang isothermal dengan memvariasikan Ra dan jarak tube. Pada Ra besar, gradient temperatur udara pada tube lebih curam sehingga laju perpindahan panas meningkat dan sebaliknya. Sadeghipour dan Asheighi [1994] melakukan penelitian eksperimen untuk mengkaji fenomena perpindahan panas konveksi alamiah dari multi tube dengan perbandingan jarak tube (L/D) bervariasi. Untuk L/D kecil temperatur udara yang melintasi tube diatas lebih tinggi mengakibatkan penurunan laju perpindahan panas dari tube tersebut. Bejan dkk [1995] melakukan studi eksperimen dan numerik perpindahan panas konveksi alamiah terhadap jarak tube horizontal dalam volume konstan. Volume array dan diameter tube bervariasi tetapi tertentu dengan jumlah tube 8, 14 dan 20 disejajarkan secara vertikal dengan jumlah kolom 3-5 pada $Ra = 350, 1 \times 10^3, 1 \times 10^4$ dan jarak tube bervariasi 0.5, 1 dan 2. Lebih lanjut dinyatakan pada S/D kecil Ra lebih tinggi sehingga densitas volumetric perpindahan panas akan meningkat.

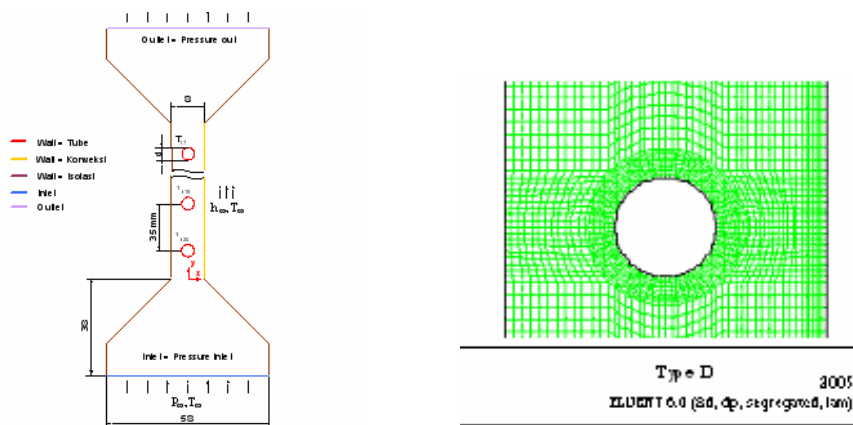
Selain itu Manca dkk [2002] melakukan penelitian pengaruh jarak antara plat miring yang dipanasi secara diskrit terhadap karakteristik perpindahan panas konveksi alamiah. Pada sudut tidak lebih besar dari 85° , meningkatkan jarak dinding tidak menurunkan temperatur dinding sehingga laju perpindahan panasnya lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh terhambatnya aliran keluar.

Untuk itu dalam penelitian ini, akan modelkan suatu heat exchanger dalam saluran tegak dengan harapan akan terjadi sirkulasi udara bebas guna menurunkan temperatur tube dan menaikkan bilangan Nusselt dalam hal ini laju perpindahan panas.

Metodologi Penelitian

Pemodelan dilakukan dengan menempatkan 20 (dua puluh) tube dalam saluran tegak seperti terlihat dalam Gambar 1. Dinding vertikal sebelah kiri didefinisikan dinding isolasi dan dinding sebelah kanan didefinisikan sebagai dinding konveksi. Jarak antara tube (L)= $5d$ dengan diameter tube 0.09525 m. Gap ratio (S/d) = $1,05, 2,10, 3,15$ dan $4,20$. Boundary kondisi untuk temperatur dinding vertikal dan tube didapatkan dari hasil eksperimen. Saluran masuk didefinisikan pressure inlet dengan jarak $2,5d$ dan saluran keluar didefinisikan pressure outlet dengan jarak $3d$.

Pembuatan mesh generation digunakan jenis meshing quadrilateral map untuk permukaan tube jarak lebih rapat guna mengamati perubahan property fluida di daerah dekat tube sedangkan jarak yang agak jauh dari permukaan tube dibuat lebih renggang seperti diperlihatkan Gambar 1(b). Solusi numerik diselesaikan dengan menggunakan metode *upwind differencing* serta metode *SIMPLE* untuk pressure correction.



(a) Domain komputasi

(b) Meshing

Gambar 1. Domain komputasi dan Meshing

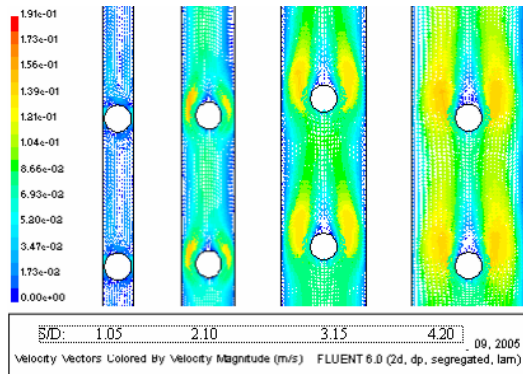
Hasil dan Pembahasan

Pola Aliran

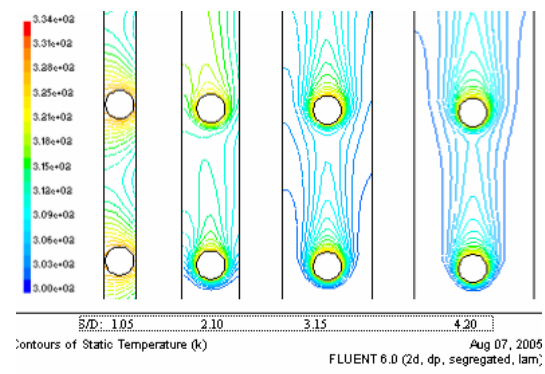
Vektor kecepatan udara di daerah tube 1-2 dengan variasi gap ratio (S/d) ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada $S/d=1.05$ (terkecil), udara bersirkulasi diantara tube dengan kecepatan yang rendah hal ini ditandai dengan vektor warna biru tua. Udara bergerak naik dengan bouyancy dari tube 1 karena mengalami pemanasan melalui dinding adiabatik kemudian tertumbuk pada tube 2 yang relatif rapat dengan kedua dinding. Aliran kemudian berbalik arah ke bawah pada daerah dinding konveksi karena terjadi proses pendinginan sehingga aliran bergerak turun dengan density yang lebih besar demikian seterusnya sehingga terjadi recirculation diantara tube. Saat gap dibuka ($S/d=2.1$), kecepatan udara meningkat pesat karena berkurangnya blockage effect sehingga udara dengan leluasa bergerak melalui channel. Hal ini ditandai dengan warna kuning dan biru muda. Sementara peningkatan S/d $3.15 - 4.2$, kecepatan udara relatif tidak berubah. Hal ini ditandai dengan warna vektor yang sama dengan kenaikan S/d . Kecepatan udara pada dinding adiabatik dan konveksi terlihat mempunyai warna yang sama tentunya mempunyai kecepatan yang sama pada tube 1 dan 2.

Gambar 3 menunjukkan kontur temperatur di daerah tube 1-2 dengan variasi gap ratio (S/d). Peningkatan gap ratio menyebabkan temperatur udara menjadi semakin rendah, hal ini disebabkan

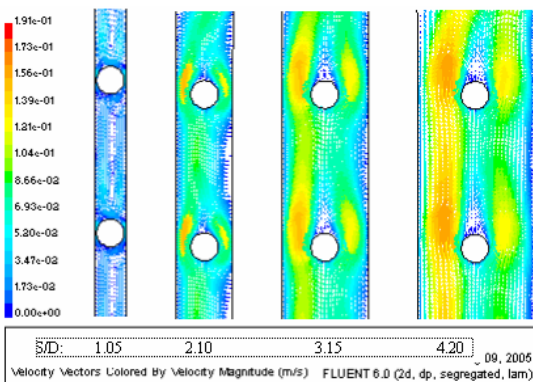
oleh semakin meningkatnya laju massa udara yang masuk kedalam vertikal channel. Pada S/d 1.05 garis-garis isothermal terlihat mengarah ke dinding adiabatik dengan warna yang kuning menandakan arah aliran keatas melewati dinding adiabatik dengan temperatur yang lebih tinggi. Pada S/d 2.1 – 4.2 terlihat kontur temperatur yang lebih merata dengan kenaikan S/d, disamping itu garis isothermal terlihat lebih rapat dengan warna biru muda hal ini menunjukkan proses pendinginan yang lebih baik.



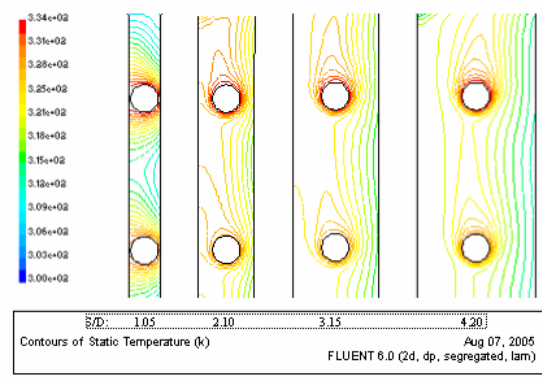
Gambar 2 Vektor kecepatan pada tube 1 - 2



Gambar 3 Kontur Temperatur pada tube 1- 2



Gambar 4 Vektor kecepatan pada tube 19-20

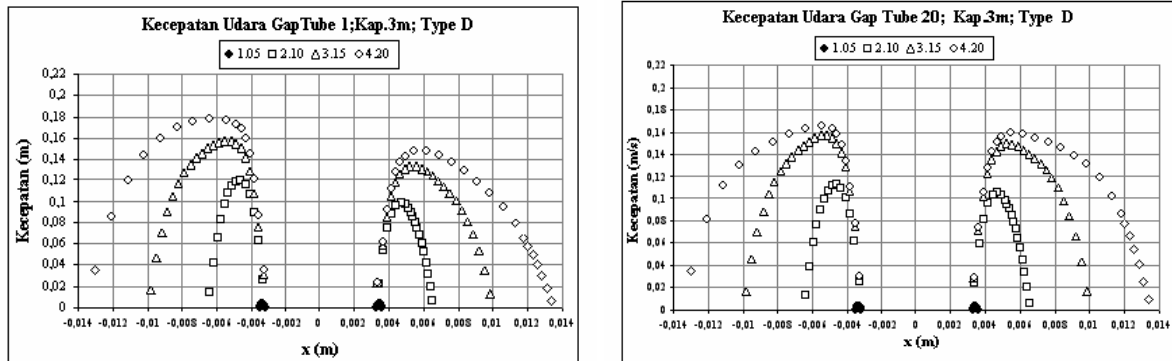


Gambar 5 Kontur Temperatur pada tube 19-20

Vektor kecepatan udara di daerah tube 19-20 dan kontur temperatur dengan variasi gap ratio (S/d) ditunjukkan dalam Gambar 4 dan 5 secara berurutan. Posisi Tube 19 dan 20 adalah pada daerah outlet (paling atas) sedangkan Tube 1 dan 2 terletak pada inlet udara (paling bawah). Fenomena aliran dan kontur temperatur yang terjadi adalah sama dengan pada tube 1 dan 2. Pola aliran yang terjadi dekat dinding adiabatik dan dinding konveksi terlihat tidak sama. Kecepatan udara di dekat dinding adiabatik lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan udara pada dinding konveksi. Hal ini karena perbedaan gaya buoyancy yang terjadi, disamping itu pada dinding konveksi sebagian udara mengalami pendinginan sehingga menghambat kecepatan udara keatas. Hal ini identik dengan garis isothermal pada dinding konveksi lebih rapat dan berwarna biru muda.

Gambar 6 menunjukkan profile kecepatan udara melintasi gap antara tube dan dinding pada tube 1 (a) dan 20 (b) untuk setiap gap ratio. Pada peningkatan S/d 1.05 -2.1 menyebabkan kecepatan udara meningkat dengan gradien yang terjal terjadi pada gap tube 1 dan 20. Kecepatan maksimum meningkat dari 0.2 cm/sec menjadi 11-12 cm/sec (naik dratis). Peningkatan gap ratio S/d 3.15 -4.2 memberikan akselerasi dengan gradien yang landai. Pengaruh peningkatan gap ratio memberikan peningkatan kecepatan yang berbeda-beda, yang menandakan perubahan geometri saluran sangat mempengaruhi besarnya hambatan aliran udara. Demikian juga semakin tinggi posisi tube (tube 20)

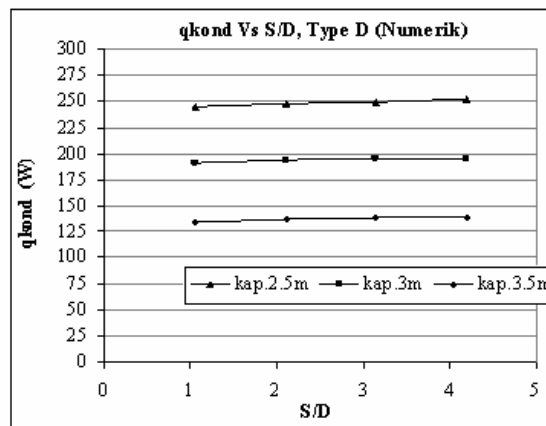
kecepatan udara dekat dinding konveksi semakin menurun. Sebaliknya kecepatan udara dekat dinding adiabatik semakin meningkat. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan gaya buoyancy yang kuat dampak dari perbedaan temperatur pada posisi tersebut.



(a) Tube 1 (b) Tube 20
 Gambar 6. Distribusi kecepatan melintasi gap tube untuk variasi S/d

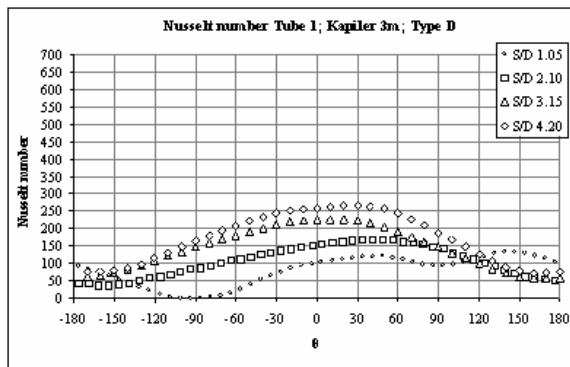
Disamping itu posisi kecepatan maksimum bergeser menjauhi permukaan tube untuk kecepatan yang semakin besar. Sehingga peningkatan gap ratio berpengaruh pada peningkatan massa udara yang melewati channel yang berdampak pada gradien temperatur antara permukaan tube dan udara semakin besar.

Laju Perpindahan panas

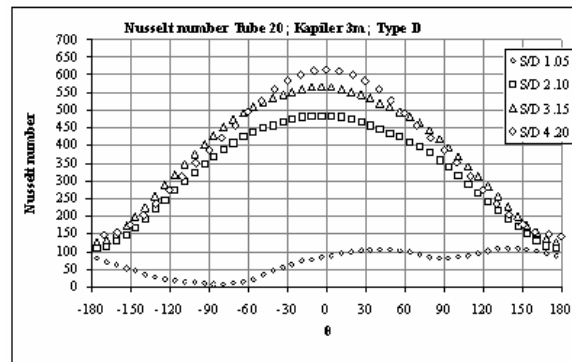


Gambar 7. Laju perpindahan panas (Q_{kond})

Gambar 7 menunjukkan pengaruh gap ratio terhadap total laju perpindahan panas pada kondensor secara numerik. Pada $S/d=1,02$, Q_{kond} mempunyai harga yang terendah kemudian naik cukup signifikan terjadi pada S/d 2.1-3.15 dengan gradient kenaikan yang curam 4 %, ini berarti semakin kuatnya kecepatan aliran akibat gaya buoyancy dalam saluran. Kemudian mencapai maksimum pada $S/d=3,15$. Sedangkan pada $S/d=3,15-4,20$ total laju perpindahan panas cenderung mendatar ini berarti penambahan gap ratio sudah tidak berpengaruh lagi terhadap Q_{kond} . Hal ini identik dengan pola aliran yang sudah dijelaskan pada Gambar 2 – 5, dimana pada S/d 1,02 terjadi recirculasi aliran udara yang berdampak pada yang Q_{kond} yang paling rendah sedangkan pada S/d 2.1-4.2 terjadi akselari kecepatan disekitar tube yang berdampak pada kenaikan Q_{kond} akibat jumlah udara pendingin yang melewati tube semakin meningkat.



(a) Tube 1



(b) Tube 20

Gambar 8. Distribusi bilangan Nusselt

Gambar 8 menunjukkan distribusi Bilangan Nusselt Lokal di permukaan tube 1 (a) dan tube 20 (b) secara berurutan. Peningkatan gap ratio pada range 1.05 – 2.1 menghasilkan bilangan Nusselt meningkat dengan gradien yang terjal. Dimana pada S/d 1.05, bilangan Nusselt dominan pada bagian upstream dan downstream tube, disebabkan karena aliran didominasi oleh recirculation pada daerah antar tube. Pada S/d 2.1, bilangan Nusselt kemudian meningkat karena adanya akselerasi yang kuat. Sedangkan pada range S/d 3.15 – 4.2, bilangan Nusselt meningkat dengan gradien yang landai. Distribusi bilangan Nusselt di daerah upstream lebih tinggi bila dibandingkan dengan downstream tube. Sedangkan untuk masing-masing gap ratio, bilangan Nusselt pada tube 20 lebih tinggi bila dibandingkan dengan tube 1. Hal ini disebabkan gradien temperatur udara dan permukaan tube 20 yang lebih curam bila dibandingkan dengan tube 1.

Kesimpulan

Penelitian numerik menggunakan software CFD Fluent 6.0 dengan variasi gap ratio (S/d) = 1,02-4,20 dihasilkan beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Pola aliran udara sangat dipengaruhi oleh S/d , kenaikan S/d menyebabkan aliran yang awalnya recirculasi diantara tube berubah menjadi terakselerasi akibat blockage effect yang semakin mengecil. Pola aliran udara pada posisi tube yang semakin keatas akan semakin terakselerasi oleh gaya bouyancy yang semakin besar.
2. Gradien kecepatan yang melintasi gap antara tube dan dinding semakin besar dengan kenaikan gap ratio.
3. Pada $S/d=1,02$ (terkecil) fenomena laju perpindahan panas (Q_{kond}) terjadi seperti dalam enclosure sehingga Q_{kond} terendah. Aliran udara bersirkulasi diantara tube dengan intensitas kecepatan yang rendah sehingga Q_{kond} terkecil. Kenaikan S/d 2.1, terjadi peningkatan laju perpindahan panas (Q_{kond}) sebesar 4 % . Sedangkan pada $S/d=3.15 - 4.2$, pengaruh peningkatan S/d tidak signifikan terhadap perubahan Q_{kond} cenderung konstan.
4. Total laju perpindahan panas maksimum pada gap ratio (S/d) = 3.15 sebesar 76,88 W. Sedangkan $S/d > 3.15$, pengaruh S/d terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas sudah tidak signifikan lagi.

5. Kecepatan udara disekitar tube mengalami percepatan dengan kenaikan S/d. Hal ini mengakibatkan didaerah downstream tube 1 hingga 20 didominasi oleh vortex separasi yang mempunyai dampak positif terhadap karakteristik perpindahan panas disamping itu akan menaikkan driving force temperatur tube dan udara.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih pengarang di sampaikan kepada DP3M DIKTI yang telah memberikan bantuan dana dalam Hibah Pasca 2005 sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Bejan, A., Fowler, A. J dan Stanescu, G., 1995, **"The Optimal Spacing between Horizontal Cylinder in Fixed Volume Cooled by Natural Convection"**, International Journal Heat and Mass Transfer, vol.38, pp 2047-2055.
- Choickh, R., Guizani, A dan Malej, M., 1999, **"Numerical Study of the Laminar Natural Convection Flow Around an Array of the Two Horizontal Isothermal Cylinder"**, International Com. Heat Mass Transfer, vol. 26-3, pp 329-338.
- Davies, M. R. D., 2000, **"On Gaseous Free Convection Heat Transfer with Well-Defined Boundary Condition"**, Journal of Heat Transfer, vol. 122, pp. 3-10.
- Manca, O., Nardini, S dan Naso, V., 2002, **"Effect on Natural Convection of the Distance Between an Inclined Discretely Heated Plat and a Parallel Shroud Below"**, Journal of Heat Transfer, vol.124, pp. 441-451.
- Prabowo., Irie, M., Fujie, K., Suzuki, H dan Kikuchi, Y., 1997, **"Combined Forced and Free Convection Around Two In-line Cylinders in Cross flow"**, Int. Conference on Fluid and Thermal Eng. Con, Indonesia.
- Prabowo dan Kikuchi., 1999, **"Combined Forced and Free Convection from Tube Banks in Cross flow"**, symposium of Heat Transfer, May 26-27, Kumamoto Japan.