

“TEKNOLOGI”

Jurnal Ilmu - Ilmu Teknik dan Sains
Volume 11 No .1 April 2014

Penanggung Jawab

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Pattimura

Penerbit

Fakultas Teknik
Universitas Pattimura

Ketua Dewan Redaksi

Pieter Th. Berhиту ST. MT

Penyunting Pelaksana

Max Rumaherang, ST., MS.Eng., Ph.D
Jonny Latuny, ST., M.Eng., Ph.D
Danny S. Pelupessy, ST., M.Eng

Penyunting Ahli

Prof. Dr. Ir. Sutanto Soehodho, M.Eng
Prof. Ir. Harsono T., MSIE, Ph.D
Prof. Dr. Ir. N. V. Huliselan, M.Sc
Prof. Dr. Ir H Manalip, M.Sc., DEA
Prof. Aryadi Suwono
Dr. H. Soefyan Tsauri, M.Sc., APU
Dr. Ir. A. A Masroeri, M. Eng
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., SE
Dr. M. K. J Norimarna, M.Sc
Ir. R. G. Wattimury, M.Eng

Sekretariat Redaksi

Fakultas Teknik Universitas Pattimura
Jln Ir. M. Putuhena - Poka Ambon
e-mail: teknologi@mail.unpatti.ac.id
www: <http://paparisa.unpatti.ac.id/paperrepo>

PENGARUH FIN PITCH DAN KECEPATAN FLUIDA AIR TERHADAP KARAKTERISTIK DAN POLA ALIRAN PADA WAVY FIN EVAPORATOR.

Hendrik S Latumaerissa^{*)}, Ridolf R Kermite^{**)}

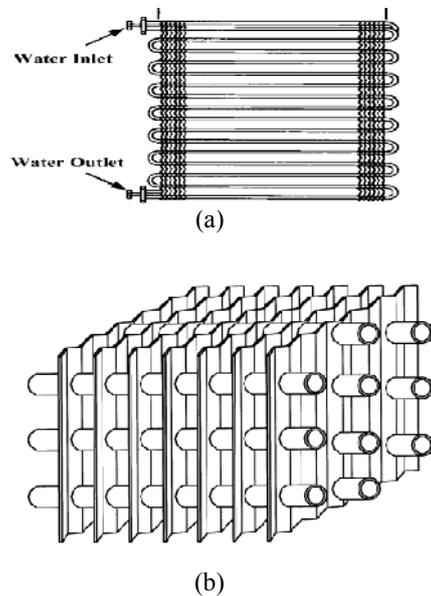
Abstrak

Heat Exchanger adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, baik cair (panas atau dingin) maupun gas, dimana fluida ini mempunyai temperatur berbeda. Heat Exchanger banyak digunakan di berbagai industri tenaga atau industri lainnya dikarenakan mempunyai beberapa keuntungan, antara lain Konstruksi sederhana dan kokoh, Biaya yang digunakan relatif murah, Kemampuannya untuk bekerja pada tekanan dan temperatur yang tinggi dan tidak membutuhkan tempat yang luas. Compact heat exchanger banyak digunakan baik dalam industri maupun rumah tangga seperti pada pendinginan oli, kondensor dan evaporator pada system refrigerasi dan tata udara serta radiator pada mesin-mesin otomotif. Salah satu bentuk fin yang sering digunakan adalah berbentuk wavy. Variasi yang digunakan untuk simulasi adalah dengan memvariasikan jarak fin (fin pitch) yaitu: 1,5 mm, 3,0 mm, 6,0 mm dengan kecepatan pada aliran Air masuk 0.01 m/s, 0.02 m/s, 0.03 m/s, 0.04 m/s, 0.05 m/s. Tinggi wavy adalah 2 mm dan 3 tube tersusun secara staggered dengan jarak tube arah transversal (ST), 25 mm dan arah longitudinal (SL), 22 mm, sedang diameter luar tube 10.2 mm. Kecepatan aliran tertinggi pada permukaan tube terjadi pada fin pitch 3 mm dan terendah pada fin pitch 1.5 mm. Kecepatan aliran di sepanjang permukaan fin tertinggi terjadi pada fin pitch 1.5 mm dan terendah pada fin pitch 6 mm

Kata Kunci: Wavy Fin Dan Tube, Heat Exchanger, Fin Pitch, Tekanan, Fluent, Gambit, Nusselt Number.

I. PENDAHULUAN

Fin dan *tube* merupakan suatu jenis *heat exchanger* yang banyak digunakan pada berbagai bidang industri yang diantaranya bekerja pada sistem refrigerasi dan tata udara karena bentuknya yang ringkas (*compact*) dan ringan. Pada umumnya fluida cair mengalir sepanjang pipa dan gas mengalir pada saluran diantara *fin*. Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan dalam *heat exchanger* adalah perpindahan panasnya pada sisi udara. Untuk mendapatkan efisiensi *fin* yang tinggi perlu diperhatikan bahan dan geometri dari *fin* tersebut. Bentuk *fin* yang umum digunakan adalah *plain* (datar) dan *wavy* (bergelombang). Bentuk *wavy* banyak digunakan karena pola tersebut dapat memperpanjang aliran udara di dalam *heat exchanger* dan memperbaiki *mixing* (pencampuran) dari aliran udara jika dibandingkan dengan *plate fin*.



Gambar 1 (a) Wavy fin dan (b) tube heat exchanger

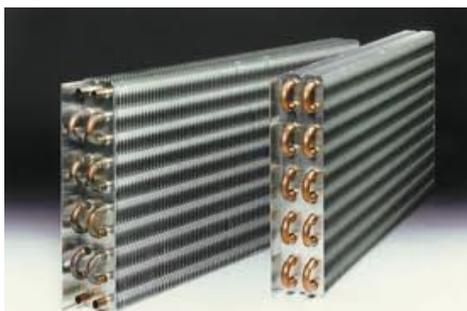
Untuk mendapatkan unjuk kerja heat exchanger yang optimal, maka laju perpindahan panas yang terjadi harus sebesar mungkin dan penurunan

^{*)}H. Latumaerissa; Dosen Politeknik Negeri Ambon

^{**)}R.R Kermite; Dosen Politeknik Negeri Ambon

tekanan (pressure drop) yang terjadi relatif kecil. Untuk memperluas permukaan heat exchanger ada yang dilakukan dengan memperbesar permukaan pipa bagian dan ada yang dilakukan dengan penambahan sirip (fin) pada bagian dalamnya yang sekaligus membentuk aliran turbulen pipa bagian luarnya, namun ada sirip tersebut yang menaikkan penurunan tekanan (pressure drop)

Penelitian oleh *Lozza G. dan Merlo, U. (2001)* dengan membandingkan beberapa konfigurasi *fin* diantaranya *plain, wavy, corrugated, louvered, extended louvered* dan *winglet* pada *fin* dan *tube heat exchanger* secara eksperimen. *Islamoglu Y. dan Parmaksizoglu Cem. (2003)* mengadakan penelitian secara numerik pada satu *wavy* dengan sudut 20° dan laju aliran bervariasi pada *Reynolds number* 1200 – 4000. Dari penelitiannya ini diperoleh bahwa semakin besar *Reynolds number* menyebabkan peningkatan koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan juga meningkat. *Wongwises S. dan Chokeman Y. (2004)* juga melakukan penelitian tentang pengaruh *fin pitch (fin pitch)* dan jumlah baris pipa terhadap *performance* dari *wavy fin* and *tube heat exchanger*. Dari hasil penelitiannya diperoleh bahwa *fin pitch* pada *Reynolds number* yang sama tidak memberikan pengaruh pada terhadap karakteristik perpindahan panas. sedangkan *friction* faktor meningkat pada peningkatan *fin pitch*. Dan peningkatan jumlah baris pipa menurunkan koefisien perpindahan panas dan menurunkan *friction* factor.



Gambar 2 Compact Heat Exchanger

Jenis compact heat exchanger adalah tipe yang memiliki luasan perpindahan panas sangat besar ($\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$) per satuan volume.

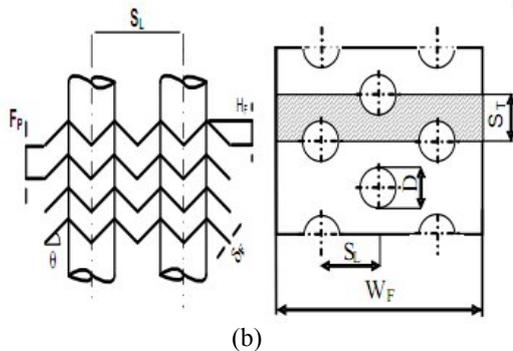
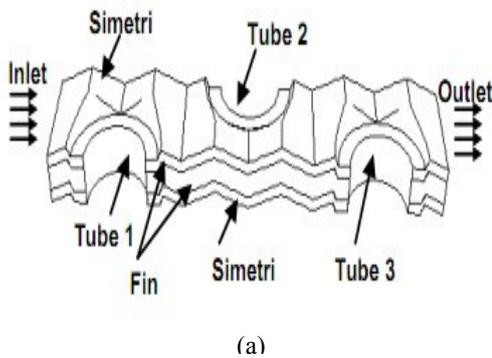
Kuvannarat dkk. (2006) meneliti tentang pengaruh ketebalan *fin* pada *heringbone wavy fin* dan *tube* terhadap perpindahan panas dan karakteristik gesekan. Diperoleh bahwa

ketebalan *fin* berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan. *Saiz Jabardo, dkk. (2006)* meneliti secara eksperimen *performance* pada sisi udara heat exchanger *fin* dan *tube*, penelitian dilakukan dengan membandingkan antara *louvered fin* dengan *wavy fin*. Dari hasil penelitiannya pada kedua konfigurasi dengan meningkatkan kecepatan permukaan dan mengurangi *fin pitch* terjadi peningkatan koefisien perpindahan panas. *Kanaris et al. (2006)* meneliti secara numeric karakteristik aliran dan perpindahan panas pada *corrugated plate heat exchanger*. Dihasilkan bahwa unjuk kerja dari heat exchanger dipengaruhi oleh geometri dari saluran. Dalam penelitiannya yang lain dilakukan dengan membandingkan antara dinding pelat yang *plain* dengan pelat *wavy* pada *plate heat exchanger*. *J. Huang, dkk (2006)* juga melakukan penelitian *Numerical study of local heat transfer coefficient and fin efficiency of wavy fin-and-tube heat exchangers* Untuk bilangan *Reynolds* berdasarkan tabung luar diameternya berkisar 500-4000, deviasi rata-rata 3,3% untuk bilangan *Nusselt*, 1,9% untuk faktor gesekan dan 3,6% untuk efisiensi *fin*. Distribusi angka *Nusselt* lokal dan efisiensi *fin* di permukaan *fin* yang dipelajari pada sudut yang bergelombang sama dengan 0° (untuk *fin* datar), 10° dan 20° . *Y.B. Tao, dkk (2006)* meneliti tentang *Three-dimensional numerical study of wavy fin-and-tube heat exchangers and field synergy principle analysis*, Dalam penulisan ini, simulasi numerik 3-D yang dilakukan untuk mentransfer aliran laminar panas dan karakteristik aliran fluida penukar panas *wavy fin* dan *tube* oleh bagian body pada sistem koordinat. Pengaruh dari empat faktor yang diteliti adalah bilangan *Reynolds*, jarak antara *fin, wavy fin* dan jumlah baris pada tabung. *Reynolds number* berdasarkan diameter tabung bervariasi 500-5000, area *fin* 0,4-5,2 mm, sudut *wavy* berkisar antara 0° ke 50° dan baris tabung berkisar dari 1 sampai 4. Penelitian juga dilakukan oleh *I Wayan Temaja (2007)* tentang Studi Numerik Pengaruh *Fin pitch* dan Kecepatan Terhadap Karakteristik Aliran Dan Perpindahan Panas Pada *Wavy fin* dan *tube Heat Exchanger*, dimana pada penelitian ini dikaji pengaruh dari perubahan *fin* terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas pada *wavy fin* dan *tube heat exchanger*, dimana variasi yang dilakukan adalah perubahan jarak antara *fin (fin pitch)* yaitu; 1.5 mm, 3.0 mm, 6.0 mm dengan kecepatan udara masuk 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s. penilitan menghasilkan beberapa perubahan *fin pitch* yang akan berpengaruh pada pola aliran udara yang

melintasi permukaan *tube*, dan kecepatan terbesar pada aliran melintasi *tube* pada posisi diantara dua *fin* adalah 3.0 mm dan 6.0 mm dan terendah adalah 1.5 mm.

II. METODOLOGI

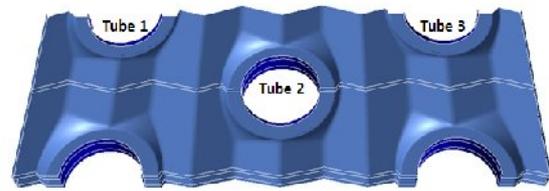
Metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode simulasi numeric dengan menggunakan aliran paksa 3 – D. pembuatan model komputasi dibagi menjadi 3 bagian variasi jarak antar sirip (*Fin Pitch*). Sedangkan geomteri dan model dimensi dibuat dengan menggunakan Software GAMBIT 2.4 dan FLUENT 6.3 untuk dapat menghasilkan data – data yang diperlukan dalam melakukan simulasi. Ada beberapa tahap dalam menggunakan Software FLUENT 6.3 diantaranya : *pemilihan model, identifikasi material, set – up boundary conditions, pemilihan solution, dan preliminary result* . terjadi proses pengulangan dalam melakukan pengambilan data dengan menggunakan FLUENT 6.3 apabila hasil simulasi tidak mencapai Konvergen (*Error*). konvergensi (*error*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan beberapa informasi penting terkait dengan variasi jarak sirip dan kecepatan Air yaitu: *Pathline, Vektor Kecepatan air, serta distribusi kecepatan.*



Gambar.3. Model Wavy Fin dan Tube Heat Exchanger

Tabel 1. Dimensi *wavy fin dan tube*

Nama-nama Material	Nilai (mm)
Fin Pitch (Fp)	1.5, 3, dan 6
Diameter luar tube (D)	10.2
Jarak tube transversal (S _T)	25
Jarak tube longitudinal (S _L)	22
Lebar sirip (W _F)	66
Tinggi wavy (H _F)	1.5
Tebal fin (d _F)	0.3



Gambar 3. Bentuk tabung pada mesing

Tabel 2 :Boundary Condition pada model wavy

Variabrel	Nilai
Kec air masuk (V _{in})	0.0102 m/s
Temp air masuk (T _{in})	368 K
Temp dinding tube (T _w)	353 K
Pressure outlet	1 atm
Kriteria Konvergensi	10 ⁻⁶

Untuk menghitung nilai *Nu_φ* maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Nu_{\phi} = \frac{h.L_c}{k_f} = \frac{q''}{T_w - T_{in}} \cdot \frac{L_c}{k_f}$$

dimana: *q''* adalah local heat flux (W /m²), *T_w* adalah temperatur permukaan dinding tube (K), *T_{in}* adalah temperatur air masuk (K), *L_c* adalah panjang karakteristik (m). sedangkan untuk mendapatkan nilai dari Nusselt rerata adalah sebagai berikut:

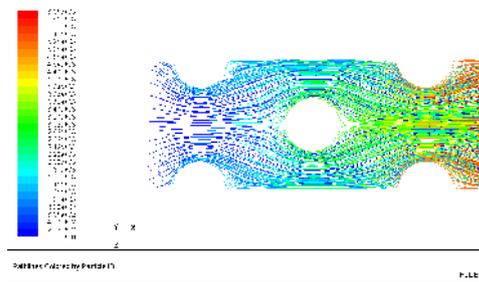
$$\overline{Nu} = \frac{\int Nu_{\phi} \cdot dA_s}{\int dA_s}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh *fin pitch* terhadap pola aliran

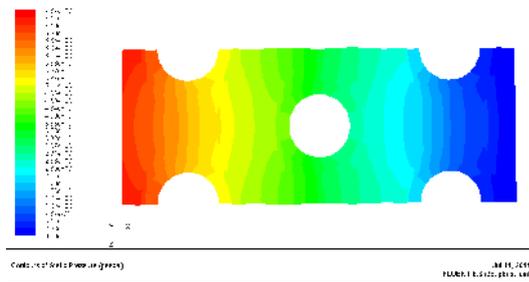
Pengaruh *fin pitch* dalam hal ini *Fin pitch* 1.5 mm , *fin pitch* 3 mm dan *fin pitch* 6

mm terhadap pola aliran akan dibahas dalam sub bab dibawah ini. Pada Gambar 5 ditunjukkan pathline untuk pengaruh fin pith. Pada *fin pitch* 1.5 mm, pengaruh wavy *fin* sangat dominan, hal ini dapat dilihat pada gambar 5(a) dimana daerah antara *tube* row pertama, terjadi kenaikan kecepatan. Hal ini mengakibatkan aliran yang mengenai *tube* row kedua terjadi separasi lebih ke *downstream*. Sedangkan pada gambar 5 (c) *fin pitch* 6 terlihat warna biru pada daerah dominan tentunya mengindasikan kecepatan aliran yang tidak besar. Maka titik separasi pada gambar 5 (c) *fin pitch* 6 mm terjadi lebih awal dibandingkan gambar 5 (a) *fin pitch* 1.5 mm dan gambar 5 (b) *fin pitch* 3 mm

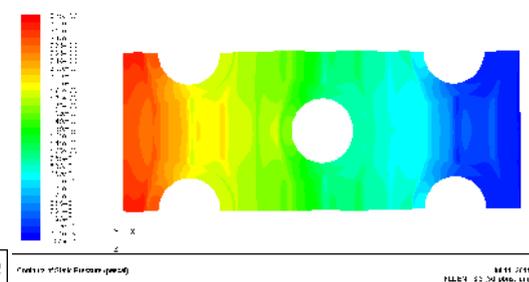


(a) Fp 1,5 mm

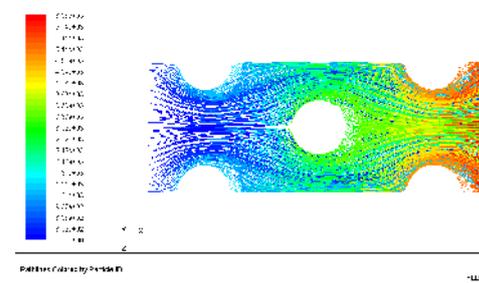
a. Pengaruh *fin pitch* dan kecepatan terhadap tekanan



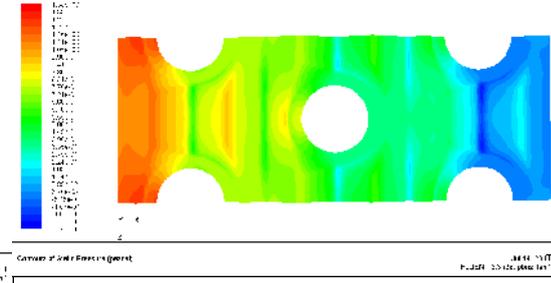
(b) Fp 1.50 mm



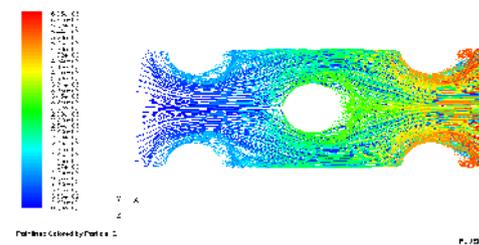
(d) Fp 3.00 mm



(b) Fp 3,0 mm



Gambar. 6 Gambar kontur tekanan statis pada wavy *fin* (a) fp 1.50 mm, (b) fp 3.00 mm, (c) fp 6.00 mm



(c) Fp 6,0 mm

Gambar 6 merupakan visualisasi dari kontur tekanan statis pada *fin* dengan *fin pitch* yang berbeda-beda. Terlihat bahwa terjadi perubahan untuk tekanan statis sebagai akibat dari perbedaan dari *fin pitch* tersebut. Untuk *fin pitch* 1.5 mm pada bagian awalnya terjadi tekanan yang sangat tinggi yang di karenakan oleh gangguan aliran air yang mengalir pada *fin* untuk pertama kalinya, serta pola wavy *fin* tersebut, dimana aliran yang mengalir pada *fin pitch* 1.5 sangat sempit sehingga tekanan yang ada sangat tinggi. Untuk *fin pitch* 3 mm jarak antar *fin* dan ujung wavy sangat dekat sehingga tekanan yang terjadi tidak terlalu tinggi. Dan

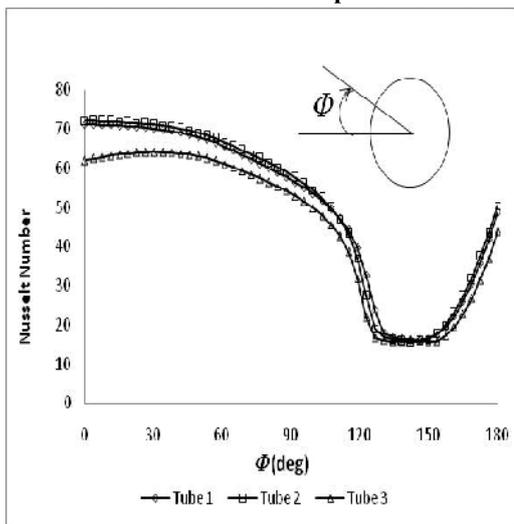
Gambar .5. Path line melewati tiga susunan tube secara staggered
 (a) Fp 1.5 mm, (b) Fp 3 mm,
 (c) Fp 6 mm

untuk *fin pitch* 6 mm tekanannya sangat rendah akibat dari jarak *fin pitch*nya agak besar sehingga kecepatan aliran yang masuk mempunyai tekanan yang sangat rendah.

3.2. Pengaruh *fin pitch* terhadap karakteristik perindahan panas pada permukaan *tube*.

Diserap oleh *fin* dan *tube* akibat dari pola wavy *fin* dan dominan aliran berwarna hijau. Untuk *fin pitch* 6 mm hampir semua warnanya berwarna merah yang disebabkan oleh besarnya jarak *fin pitch*nya sehingga aliran yang mengalir pada *fin pitch* ini tidak dipengaruhi oleh pola wavy tersebut. Pada *fin pitch* 1.5 mm separasinya tidak terjadi pada waktu awal, sedangkan untuk *fin pitch* 3 mm dan 6 mm separasinya terjadi pada waktu awal. Jadi semakin besar kecepatan yang didapat semakin kecil panas yang diserap oleh *fin*, hal itu dapat dilihat dari bentuk warna pada wavy *fin* tersebut. Dengan semakin besar kecepatan pada fluida yang mengalir pada *fin pitch* maka perubahan temperatur antara fluida dengan permukaan *fin* akan semakin kecil, dan domain warnanya merah tetapi untuk bagian permukaan *tube* terjadi perubahan warna yang tidak terlalu signifikan. Untuk kecepatan yang rendah aliran yang mengalir mengikuti pola wavy, sedangkan untuk kecepatan yang tinggi fluida yang mengalir hanya mengenai bagian ujung dari pola wavy tersebut.

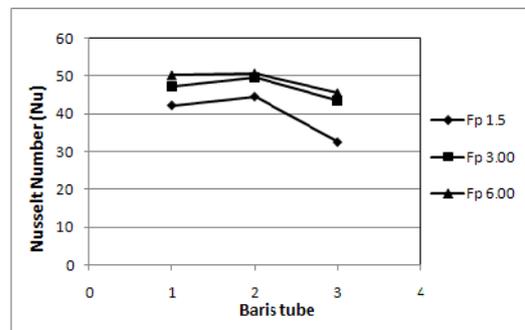
3.3 Karakteristik Aliran Perpindahan Panas



(a). Nusselt number lokal pada permukaan tube 1,2 dan 3 wavy fin pada *fin pitch* 3.0



(b) *Nusselt number* lokal pada permukaan *tube* pengaruh dari *fin pitch*



(c) *Nusselt number* rata-rata pada permukaan *tube*

Gambar 7. Distribusi *Nusselt Number*

- (a) *Nusselt number* lokal pada permukaan tube 1,2 dan 3 wavy fin pada *fin pitch* 3.0 mm,
- (b) *Nusselt number* lokal pada permukaan tube pengaruh dari *fin pitch*,
- (c) *Nusselt number* rata-rata pada permukaan *tube*

Pada gambar 7 (a) merupakan visualisasi dari *Nusselt number* (Nu_{ϕ}) lokal yang merupakan fungsi dari sudut teta (Φ) pada bagian permukaan *tube* untuk baris pertama, kedua dan ketiga. Pada *fin pitch* 3 mm yang ditunjukkan pada gambar 4.13. pada bagian depan permukaan *tube* dari titik stagnasi ($\Phi=0$) sampai titik separasi ($\Phi=140$) terlihat adanya perbedaan yang besar diantara setiap *tube*. Dari ketiga *tube* yang tesusun secara staggered dimana *Nusselt number* terbesar terjadi permukaan *tube* bagian kedua dan kemudian diikuti oleh permukaan dari *tube* pertama dan *tube* ketiga. Hal ini disebabkan oleh karena aliran dipercepat saat memasuki susunan staggered *tube* pertama sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas secara konveksi.

Sedangkan nilai *Nusselt number* untuk *tube* pertama lebih tinggi dari *tube* ketiga yang disebabkan oleh perbedaan distribusi heat flux akibat dari perbedaan temperatur dinding *tube* dan temperatur air disekitar permukaan *tube*.

Dari adanya pengaruh *fin pitch* yang diperlihatkan pada visualisasi gambar 7 (b) terlihat bahwa adanya perbedaan *Nusselt number* diantara masing-masing *fin pitch* untuk *tube* kedua. Pada titik stagnasi sampai pada bagian akhir akselerasi *Nusselt number* yang mempunyai nilai terbesar terjadi pada *fin pitch* 3 mm dan *fin pitch* 6 mm, dimana ditunjukkan bahwa *Nusselt number*nya hampir sama, sedangkan untuk *fin pitch* 1.5 mm nilainya sangat rendah. Hal ini disebabkan oleh karena adanya perbedaan temperatur antara temperatur dinding dengan temperatur dari fluida air pada titik stagnasi sampai pada bagian akhir dari akselerasi terendah yang terjadi pada *fin pitch* 1.5 mm jika dibandingkan dengan *fin pitch* yang lain. Beda temperatur disebabkan juga oleh karena *mass flow rate* fluida air dan juga sirkulasi yang baik. Untuk daerah deselerasi beda temperatur dinding dengan temperatur dari fluida air menjadi turun. Untuk *fin pitch* 6 mm perbedaan temperaturnya juga sangat besar.

Gambar 7 (c) merupakan visualisasi dari distribusi *Nusselt number* rata-rata untuk permukaan setiap *tube* dengan *fin pitch* yang berbeda-beda. Untuk semua *fin pitch*, *tube* kedua mempunyai nilai yang tertinggi bila dibandingkan dengan *tube* pertama dan ketiga. Hal tersebut tentunya sudah dijelaskan pada gambar 4.14. pada *fin pitch* 3 mm mempunyai nilai tertinggi untuk semua *tube*. Pada posisi antara dua fin yang berdekatan dengan ketinggian ($H_f = 1.5$ mm) mengakibatkan kecepatan menuju setiap *tube* semakin besar dan akan meningkatkan laju perpindahan panas. Untuk *fin pitch* 1.5 mm nilai *Nusselt number* rata-ratanya yang terendah. Hal ini disebabkan pola aliran air mengikuti bentuk dari wavy sehingga aliran air mengenai fin terdahulu sebelum mengenai permukaan *tube*. Sedangkan untuk *fin pitch* 6 mm nilai *Nusselt number*nya sangat besar, hal ini disebabkan oleh karena adanya perbedaan antara temperatur aliran air dengan dinding *tube*, dimana jarak fin untuk *fin pitch* 6 mm sangat besar sehingga aliran yang mengalir tidak mengikuti pola dari wavy *fin* tersebut.

IV. KESIMPULAN

Pengaruh pola wavy fin menyebabkan kecepatan aliran air pada permukaan tube baris pertama, kedua dan ketiga besarnya sama. Dan

juga perubahan dari fin pitch berpengaruh untuk pola aliran air yang melintasi permukaan fin, fin pitch yang kecil oleh karena itu menyebabkan aliran mengikuti pola wavy dan kecepatan dekat permukaan fin menjadi tinggi. Semakin besar fin pitch pola aliran air semakin lurus dan kecepatan di dekat permukaan fin semakin rendah, sehingga tekanan pada fin pitch yang kecil mengalami peningkatan yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A., **Heat Transfer**, John Wiley and Sons, Inc, New York, 1993.
- Hewitt, G. F., Shires, G.L. and Bott T. R., **Process Heat Transfer**, CRC Press, Florida 1994.
- Incopera, F P., and DeWitt, D.P, **Fundamental of Heat and Mass Transfer**, 5th John Wiley and Sons, New York., 2002.
- Islammoglu Yasar and Parmaksizoglu Cem, **Numerical Investigation of Convective Heat Transfer and Pressure Drop in a Corrugated Heat Exchanger Channel**, Applied Thermal Engineering 24 (2003) 141-147.
- I Wayan Temaja, **Studi Numerik Pengaruh Fin Pitch dan Karakteristik Aliran dan Perpindahan Panas Pada Wavy Fin dan Tube Heat Exchanger**, Thesis TM 2702 (2007).
- Kanaris, A.G., Mouzaa, A.A. and Paras, S.V., **Flow and Heat Transfer in Narrow Channels with Corrugated Walls a CFD Code Application**, ICheme journal (2005).
- Kanaris, A.G., Mouzaa, A.A. and Paras S.V., **Flow and Heat Transfer Prediction in a Corrugated Plate Exchanger using a CFD Code**, Chem. Eng. Technol Journal (2006) No. 8, 923-930.