

STUDI NUMERIK PENGARUH *TRANVERSE PITCH* TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS PADA SUSUNAN PIPA TIPE *STAGGERED*

Yusuf¹, Kurniawan Tardi²

^{1,2}Politeknik Negeri Ketapang, Jl. Rangka Sentap-Dalong, Sukaharja Kabupaten Ketapang
Email: yusufpolitap@gmail.com¹, kurniaformula1@gmail.com²

Abstrak

Karakteristik aliran dan perpindahan panas fluida terhadap silinder sirkular dengan pola tertentu sering digunakan dalam berbagai cabang teknologi modern saat ini. Aplikasi praktisnya banyak digunakan pada dunia industri seperti menentukan desain susunan pipa pada sistem alat penukar panas. Besarnya nilai perpindahan panas saat aliran fluida melintasi silinder sirkular yang ditunjukkan dengan parameter *Nusselt number*, baik itu *Nusselt number* lokal (Nu) maupun *Nusselt number* rata-rata. Perpindahan panas konveksi paksa pada silinder sirkular tipe *staggered* menggunakan 3 variasi bilangan *Reynolds* (ReD) yaitu 80; 200; 5000 sedangkan *transverse pitch* 1.5D; 2D. Temperatur *inlet fluida* masuk *shell* 350 K dan temperatur tube 300 K, dimodelkan dengan Gambit 2.4.6 dan disimulasikan menggunakan Fluent 6.3.26 dengan model turbulen $k-\omega$ SST 2D *steady-Flow* untuk memperoleh data yang berhubungan dengan profile kecepatan dan distribusi temperatur. Dari hasil simulasi ini didapatkan visualisasi kontur kecepatan, temperatur dan distribusi *Nusselt number*. Terjadi peningkatan perpindahan panas dengan menurunnya *transverse pitch* (ST). Pada ReD 200, terjadi penurunan nilai *Nusselt number* rata-rata di row ketiga dan keempat sedangkan pada ReD 5000 nilai *Nusselt number* rata-rata pada row kedua, ketiga dan keempat terus mengalami peningkatan.

Kata Kunci - perpindahan panas, *nusselt number*, *staggered*, *reynolds number*, *transverse pitch*.

Abstract

The characteristic of fluid flow and heat transfer on a circular cylinder with particular pattern is frequently used in various branches of modern technology today. The practical application is extensively used in the world of industry such as to determine tube structure design on system of heat exchangers. The amount of heat transfer when fluid current passes through circular cylinder is expressed by Nusselt number parameter, either local Nusselt number (Nu) or average Nusselt number. Forced convection heat transfer on the circular cylinder with a staggered-type of using 3 Reynolds number (ReD) varied as the value of 80; 200; 5000 while the tranverse pitch 1.5D; 2D. The fluid inlet temperature entering shell is 350 K and the tube temperature is 300 K, which is modeled with Gambit 2.4.6 and simulated using Fluent 6.3.26 with turbulent model $k-\omega$ SST 2D *steady-flow* to obtain data related to the velocity profile and temperature distribution. From the simulation results obtained visualization contour of velocity, temperature and Nusselt number distribution. An increase in heat transfer with decreasing tranverse pitch (ST). At ReD 200, a decline in the value of the average Nusselt number in the third row and fourth grades, while at ReD 5000 the average Nusselt number in the second row, third and fourth constantly increasing.

Keywords - heat transfer, *nusselt number*, *staggered*, *reynolds number*, *transverse pitch*.

1. PENDAHULUAN

Silinder sirkular merupakan bentuk yang sering digunakan pada teknologi modern saat ini. Bentuk yang melengkung serta aliran melintasi permukaan silinder merupakan konsep yang digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas pada alat penukar panas (*heat exchanger*). Didalam *heat exchangers* terjadi proses pertukaran panas antara fluida cair maupun gas, dimana fluida ini mempunyai temperatur berbeda. *Heat Exchanger* banyak digunakan diberbagai industri tenaga atau industri lainnya dikarenakan mempunyai beberapa keuntungan yaitu konstruksi sederhana, kokoh,

kemampuannya untuk bekerja pada tekanan dan temperatur yang tinggi.

Studi numerik karakteristik perpindahan panas pada Tandem Silinder, *Inline* dan *Staggered tube bank* aliran udara *Cross flow* (Buyruk, 2002), analisa numerik digunakan untuk mengetahui perpindahan panas pada susunan silinder tandem, *inline* dan *staggered* dengan aliran udara *cross flow* pada geometri dan kondisi aliran yang berbeda. Untuk tandem silinder geometrinya dengan $L/D = 1.13, 2, 3, 6$ dan bilangan *Reynolds* konstan 400. Sedangkan pada *tube bank*: tiga silinder *isothermal* untuk tipe *staggered*, empat silinder *isothermal* untuk tipe *inline* dan masing-masing

ST x SL = 2 x 2 dan bilangan *Reynolds* divariasikan pada angka 80, 120, 200.

Perpindahan panas konveksi *cross flow* pada *tube bank* (Khan, Culham, dan Yovanovich, 2006), perpindahan panas pada susunan *tube bank* dengan variasi susunan ST dan SL yang berbeda. Dengan variasi tersebut didapat perpindahan panas pada susunan tube tipe *staggered* lebih besar dibandingkan dengan susunan *tube* tipe *in-line*. Terjadi peningkatan perpindahan panas dengan menurunnya *longitudinal* dan *tranverse pitch* Perpindahan panas meningkat secara linier dengan meningkatnya bilangan *Reynolds*.

Studi numerik perpindahan panas konveksi paksa *cross flow* untuk susunan *tube staggered* (Tahseen, Ishak dan Rahman, 2011) studi numerik perpindahan panas konveksi paksa untuk *tube* tipe *staggered* pada aliran *cross-flow* dengan kondisi *incompressible* dan *steady-state*. Penyelesaiannya menggunakan *Body Fitted Coordinates* (BFC) dengan metode *Finite Difference Method* (FDM). Rasio antara *Tranverse Pitch* dengan diameter tube (ST/D) 1,25; 1,5 dan 2 dengan variasi *Reynolds Numbers* 25 sampai dengan 250.

Pada penelitian ini akan diteliti secara numerik mengenai pengaruh bilangan *Reynolds*, *tranverse* dan *longitudinal pitch* terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas pada silinder sirkular tipe *staggered* yang menggunakan 3 variasi bilangan *Reynolds* yaitu 80, 200 dan 5000 sedangkan *tranverse pitch* (1.5D; 2D) dan *longitudinal pitch* (1.5D; 2D), disimulasikan dengan menggunakan CFD Fluent 6.3.26.

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas pada susunan *tube* tipe *staggered* akibat pengaruh *Reynolds number*, *tranverse pitch* dan *longitudinal pitch*.

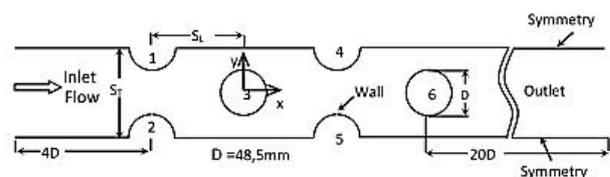
2. METODE

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yaitu suatu ilmu pengetahuan yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida dan perpindahan

panas menggunakan persamaan-persamaan matematika. Pada dasarnya persamaan-persamaan tersebut dibangun dan dianalisa berdasarkan persamaan diferensial parsial yang mempresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum dan energi. Pada penelitian ini, aliran diasumsikan sebagai 2-D, *steady flow*, *external flow*, *incompressible fluid* dan *viscous fluid*.

Metode Numerik

Proses pembuatan geometri dan *meshing* dilakukan dengan menggunakan *software* Gambit 2.4 yang kemudian *dieksport* keFluent 6.3.26 untuk disimulasi. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum proses iterasi dilakukan. Antara lain : pemilihan model, identifikasi material, *setup Boundary condition*, pemilihan solusi.



Gambar 1 *Computation Domain*

Gambar 1, merupakan visualisasi dari *computation domain* yang dibuat berdasarkan geometri dimana aliran melintasi silinder sirkular pada sebuah channel, aliran *fluida* dikondisikan mengalami konveksi paksa.

Pembuatan *meshing* pada model merupakan aspek yang penting guna menentukan keakurasian dan kemampuan konvergen pada saat *post processing*, maka digunakan jenis *quadrilateral map* untuk permukaan *tube* jarak lebih rapat guna mengamati perubahan properti *fluida* di daerah dekat *tube* sedangkan jarak yang agak jauh dari permukaan *tube* dibuat lebih renggang. Hasil dari pada *meshing* pada model diperlihatkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 *Meshing* Silinder Sirkular Tipe *Staggered*

Tabel 1 *Setting Fluent*

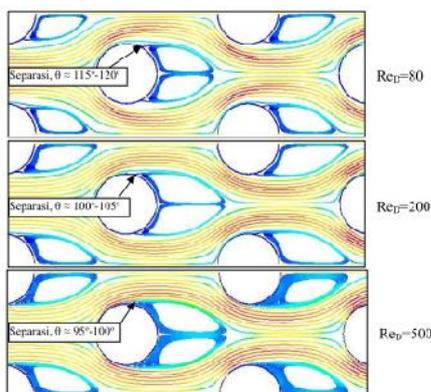
Setting	Identifikasi
Solver	2-D, Unsteady Pressure based, 2 nd order implicit
Turbulence model	k- ϵ , SST
Pressure-velocity coupling	SIMPLEC
Pressure	2 nd order upwind
Momentum	2 nd order upwind
Turbulent kinetic energy	2 nd order upwind
Turbulence dissipation rate	2 nd order upwind
Specific dissipation rate	2 nd order upwind
Konvergensi	Energy 10 ⁻⁶ Continuity 10 ⁻³

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *post-processing* dari simulasi numerik dengan CFD solver FLUENT 6.2 yang terjadi pada *tube bank* tipe *staggered* dengan fluida kerja udara menghasilkan data kuantitatif berupa kontur kecepatan, kontur *vorticity*, *pathlines* dan *velocity vector*, sedangkan data kualitatif berupa grafik distribusi kecepatan yang berkaitan dengan karakteristik aliran.

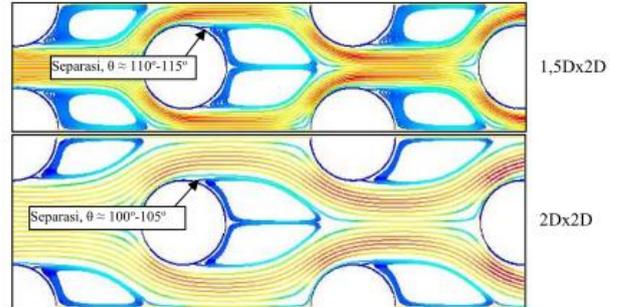
A. Karakteristik Aliran

Karakteristik aliran yang melintasi (*cross flow*) silinder sirkular ditandai dengan adanya titik stagnasi, separasi *shear layer*, terbentuknya *laminar boundary layer* pada *upstream* dan terjadinya *turbulent wake* secara periodik (*periodik vortek*).



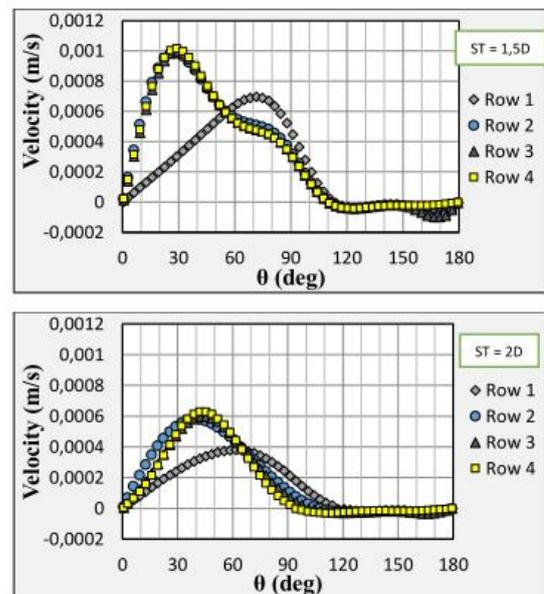
Gambar 3 *Pathlines* dengan Variasi Re_D

Gambar 3 memperlihatkan *pathlines* untuk pengaruh *Reynolds Number*. Berdasarkan visualisasi *pathlines* pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa peningkatan *Reynolds Number* mengakibatkan titik separasi terjadi lebih awal.



Gambar 4 *Pathlines* Untuk Variasi $S_T \times S_L$ pada Re_D 200

Pada gambar 4 merupakan visualisasi *pathlines* pada susunan *tube staggered* dengan variasi $S_T \times S_L$ masing-masing 1,5D x 2D dan 2D x 2D. Pada $S_T \times S_L$ 1,5D x 2D pengaruh *transverse pitch* sangat dominan, hal ini dapat dilihat dimana daerah antara *tube row* pertama terjadi kenaikan kecepatan dibandingkan dengan $S_T \times S_L$ 2D x 2D, dimana $u(x)$ berbanding terbalik dengan $P(x)$. Pada S_T 1,5D $u/x > p/x$, sedangkan pada S_T 2D $u/x < p/x$. Hal ini mengakibatkan aliran pada S_T 1,5D mengalami penundaan separasi lebih *downstream*.



Gambar 5 Distribusi Kecepatan pada Re_D 200

Pada gambar 5 menunjukkan distribusi kecepatan aliran untuk S_T 1,5D dan 2D. Pada S_T 1,5D kecepatan aliran pada row pertama dimulai dari titik stagnasi yaitu pada sudut 0° hingga mencapai kecepatan maksimum pada sudut 72° kecepatan aliran yang terjadi tegak lurus dipermukaan *tube* atau naik secara linier, setelah mencapai titik maksimum kecepatan aliran diperlambat dan terjadi separasi pada sudut θ 112° , kemudian kecepatan kembali naik karena ada efek *wake* dibelakang *tube*. Untuk row kedua, ketiga dan keempat kecepatan maksimum terjadi pada sudut θ 32° , dan kecepatan aliran yang terjadi lebih tinggi dari kecepatan aliran pada row pertama karena adanya efek *wake* dari tube row pertama yang mempengaruhi kecepatan permukaan tube pada row berikutnya.

Sedangkan pada S_T 2D kecepatan maksimum pada row pertama terjadi pada sudut 65° dan kecepatan mengalami perlambatan hingga terjadi separasi aliran pada permukaan silinder pada sudut θ 120° kemudian kecepatan kembali naik yang diakibatkan oleh *vortek* pada *downstream* silinder. Peningkatan kecepatan pada row kedua, ketiga dan keempat tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan S_T 1,5D, kecepatan maksimum tercapai pada sudut θ 40° dan mengalami perlambatan kecepatan hingga terjadi separasi aliran pada permukaan silinder pada sudut θ 112° .

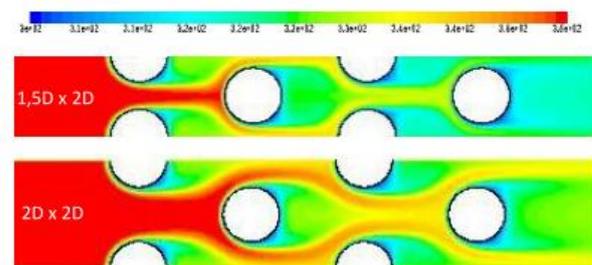
B. Karakteristik Perpindahan Panas

Pada gambar 6 diperlihatkan visualisasi kontur temperatur susunan tube tipe *staggered* dengan variasi transverse pitch (ST) pada Re_D 200. Pada transverse pitch (ST) 1,5D kontur temperatur row pertama masih terlihat merah karena pada daerah ini merupakan posisi inlet sehingga pengaruh dari temperatur *free stream* masih besar yang menyebabkan temperatur silinder pada row pertama masih tinggi, sedangkan kontur temperatur pada row kedua berwarna kuning, pada row ketiga warna kuningnya semakin pudar dan pada row keempat kontur temperaturnya kelihatan lebih ke arah warna biru kehijauan. Pada konfigurasi

ini penurunan temperatur dari row pertama, kedua, ketiga dan keempat sangat signifikan yang ditunjukkan dengan perbedaan warna kontur temperatur pada masing-masing row.

Pada transverse pitch (ST) 2D kontur temperatur pada row pertama dan kedua di daerah sekitar dinding silinder sirkular kelihatan berwarna merah yang menunjukkan pada silinder tersebut memiliki temperatur yang tinggi, sedangkan kontur temperatur pada row ketiga dan keempat berwarna kuning kehijauan. Dari hasil simulasi kontur temperatur pada (ST) 1,5D dan 2D maka dapat diketahui distribusi temperatur pada setiap konfigurasi tidak sama.

Perpindahan panas yang paling efektif dan efisien terlihat pada kontur temperatur susunan tube dengan transverse pitch (ST) 1,5D dimana kontur temperatur pada row berikutnya semakin berkurang. Distribusi temperatur yang baik akan menaikkan nilai Nusselt number.



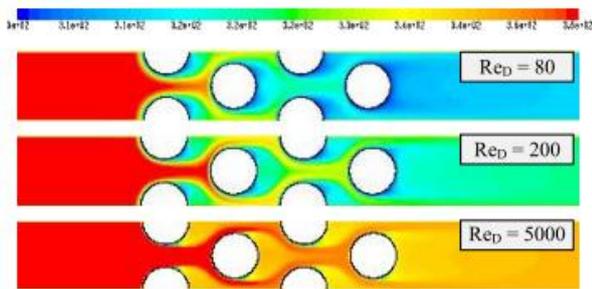
Gambar 6 Kontur Temperatur pada Re_D 200

Dari visualisasi kontur temperatur diatas, susunan tube dengan transverse pitch (ST) 1,5D mempunyai distribusi temperatur dan *convective heat transfer* yang lebih baik jika dibandingkan dengan susunan tube dengan transverse pitch (ST) 2D.

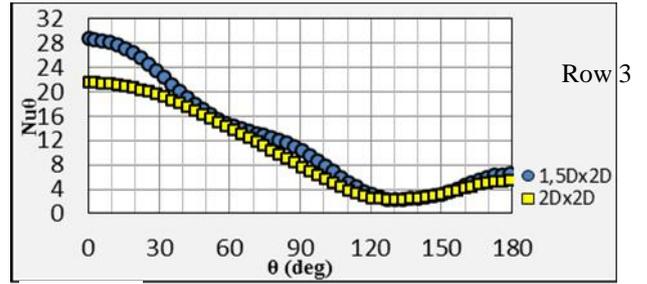
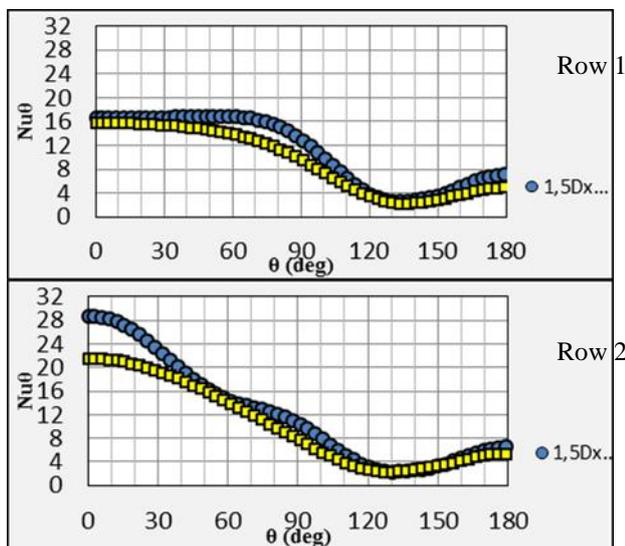
Untuk variasi *Reynolds number*, terjadi perpindahan panas yang cukup signifikan. Pada Re_D 80, kontur temperatur pada row pertama sudah mengalami penurunan temperatur yang cukup signifikan, hal ini dapat dilihat dari warna kuning kehijauan pada daerah *downstream tube* row pertama. Pada *upstream tube* row kedua warna merahnya sudah sangat pudar dan pada daerah *dowstream* warna hijau semakin dominan.

Pada daerah *tube* row ketiga sudah terlihat warna biru kehijauan sedangkan pada *tube* row keempat sudah berwarna biru.

Penurunan temperatur pada Re_D 200 tidak terlalu signifikan, hal ini dapat dilihat dari kontur temperatur yang terjadi pada masing-masing *row* seperti pada gambar 7. Pada daerah *upstream* row kedua masih terlihat warna merah sedangkan pada *upstream* row ketiga dan keempat sudah berwarna kuning dan pada daerah *downstream* row keempat berwarna hijau. Untuk Re_D 5000, perpindahan panas yang terjadi pada setiap *row* sangat kecil hal ini dapat dilihat dari kontur temperatur daerah disekitar dinding silinder sirkular pada row pertama dan kedua kelihatan berwarna merah yang menunjukkan pada silinder tersebut memiliki temperatur yang tinggi, sedangkan kontur temperatur pada daerah *upstream* row ketiga dan keempat berwarna merah pudar dan pada daerah *downstream* berwarna kuning.



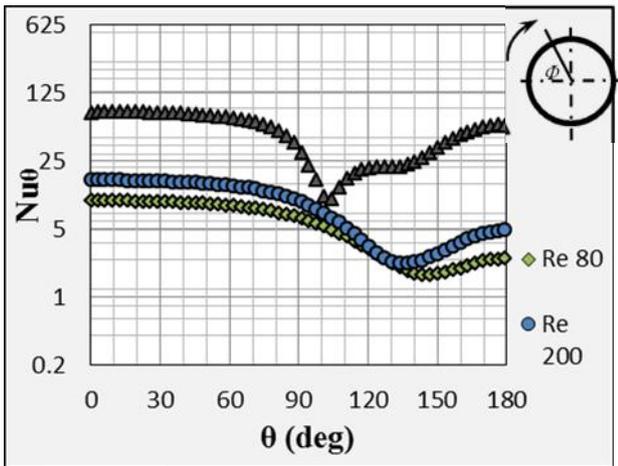
Gambar 7 Kontur Temperatur Variasi Reynolds Number



Gambar 8 Distribusi Local Nusselt Number pada Re_D 200

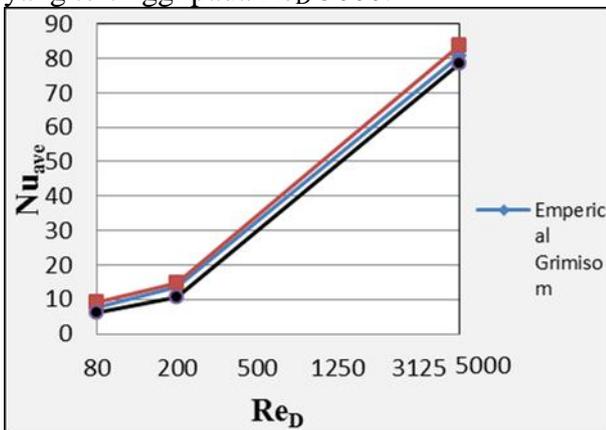
Pengaruh *transverse pitch* untuk distribusi *Local Nusselt Number* diperlihatkan pada gambar 8, pada titik stagnasi besarnya nilai *Nusselt number* tidak terlalu berbeda karena pada daerah ini merupakan posisi inlet sehingga pengaruh dari temperatur *free stream* masih besar, menyebabkan temperatur silinder pada row pertama masih tinggi, hal ini dapat mempengaruhi distribusi temperatur pada row pertama masing-masing konfigurasi kemudian mempengaruhi distribusi *local Nusselt number* (Nu). Untuk daerah *downstream* terjadi perbedaan distribusi *local Nusselt number* (Nu) dimana nilai Nu_{S_T} 1,5D lebih besar dibandingkan dengan Nu pada S_T 2D. Hal ini diakibatkan oleh penundaan separasi pada S_T 1,5D, penundaan separasi menyebabkan daerah *wake* sempit dan daerah yang tidak dilewati aliran akibat turbulensi akan kecil, sehingga koefisien konveksi akan naik dan angka *Nusselt* juga meningkat dimana angka *Nusselt* berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas konveksi.

Pada row kedua Nilai *local Nusselt number* pada titik stagnasi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *local Nusselt number* (Nu) row pertama. Hal ini disebabkan oleh aliran yang mengalami percepatan saat melewati celah susunan *tube* pada row pertama sehingga kecepatan fluida sesaat sebelum menumbuk *tube* row kedua lebih besar dibandingkan dengan kecepatan fluida sesaat sebelum menumbuk *tube* row pertama, sehingga meningkatkan koefisien perpindahan panas secara konveksi pada titik stagnasi *tube* row kedua.



Gambar 9 Distribusi Nu pada $S_T \times S_L$ (2Dx2D).

Angka Nusselt merupakan fungsi dari angka Reynolds sehingga dengan meningkatnya angka Reynolds maka angka Nusselt-nya juga meningkat. Selain itu peningkatan angka Reynolds mengakibatkan separasi terjadi lebih awal. Pada $Re_D = 80$ titik separasi terjadi pada $\theta = 135-140^\circ$, $Re_D = 200$ titik separasi terjadi pada $\theta = 120-130^\circ$ sedangkan $Re_D = 5000$ titik separasi terjadi pada $\theta = 90-100^\circ$. Nilai Nusselt terkecil pada $Re_D = 80$ kemudian $Re_D = 200$ dan yang tertinggi pada $Re_D = 5000$.



Gambar 10 Nusselt Number rata-rata (2Dx2D).

Gambar 10 merupakan visualisasi Nusselt Number rata-rata terhadap Reynolds Number untuk $S_T \times S_L$ (2D x 2D). Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa hasil simulasi sudah mendekati dengan hasil perhitungan berdasarkan persamaan empiris *grimisom* dan *zhukauskas*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh jarak *transverse pitch* terhadap karakteristik aliran dan perpindahan panas pada *tube bank* tipe *staggered* terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Pada aliran yang melintasi silinder sirkular dengan susunan tube tipe *staggered*, *transverse pitch* dapat mempengaruhi kecepatan maksimum aliran fluida yang melintasi *tube bank*, akan berdampak pada bilangan Reynolds maksimum.

Variasi *transverse pitch* dapat mempengaruhi karakteristik perpindahan panas pada permukaan tube. Semakin kecil jarak *transverse pitch* menyebabkan bilangan Nusselt semakin meningkat.

Proses perpindahan panas yang terbaik terjadi pada *transverse pitch* 1,5D dibandingkan *transverse pitch* 2D, dimana terjadi peningkatan Nusselt number rata-rata dari $S_T = 2D$ ke $S_T = 1,5D$ sebesar 18,42%

Bilangan Reynolds dapat mempengaruhi bilangan Nusselt. Apabila bilangan Reynolds meningkat maka bilangan Nusselt ikut meningkat, karena bilangan Nusselt merupakan fungsi dari bilangan Reynolds.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih peneliti ucapkan kepada Politeknik Negeri Ketapang yang telah memberikan dukungan. Sehingga terselesainya paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, P.F. Dewit, P.D. Bergam, L.T. Lavine, S.A. (2011), *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer*, 7th edition, Jhon Wiley and Son, Inc.
- [2] Buyruk, E. (1999), "Heat Transfer and Flow Structures Around Circular Cylinder in Cross-Flow", *Internatioanal Journal of Engineering and Environmental Science*, Vol. 23, hal. 299 - 315.
- [3] Buyruk, E. (2002), "Numerical Study of Heat Transfer Characteristics On Tandem Cylinders, Inline and Staggered Tube Banks in Cross-Flow of Air", *Int. Comm. Heat mass Transfer*, Vol. 29, No. 3, pp. 355 – 366.

- [4] Sanijai S., Goldstein R.J. (2004), “Forced convection heat transfer from a circular cylinder in crossflow to air and liquids”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 47, hal. 4795–4805.
- [5] Tahseen, T. A., Ishak, M., Rahman, M. M. (2011), A Numerical Study of Forced Convection Heat Transfer for Staggered Tube Banks in Cross-Flow”, *Internasional Conference in Mechanical Engineering Research*.
- [6] Khan, W. A., Culham, J. R., Yovanovich, M. M. (2006), “Convection Heat Transfer from Tube Banks in Crossflow”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, hal. 4831-4838.
- [7] Mahir, N. Altac, Z. (2008), “Numerical Investigation of Convective Heat Transfer in Unsteady Flow Past Two Cylinders in Tandem Arrangements”, *Internatioanal Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 29, hal. 1309 - 1318.