

Pengaruh Penambahan Plat Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Lokal pada *Surface Condenser* PLTU Paiton

Eky Novianarenti

TeknikMesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

Article history: Recieved 15/11/2016 Revised 10/12/2016 Accepted : 25/12/2017

ABSTRAK

Penelitian untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas diluar pipa yang mengalir secara *crossflow* telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Salah satunya dengan melakukan modifikasi susunan pipa pada daerah *surface condenser* untuk mengurangi gaya dinamik akibat tumbukan aliran fluida di jajaran pipa kritis dengan tidak mengurangi tujuan dari desain sebuah *surface condenser* yaitu untuk mengembunkan *exhaust steam* dari *steam turbine* untuk memperoleh efisiensi maksimum dan juga mengubah *exhaust steam* menjadi air murni (disebut sebagai *condensate steam*) sehingga mungkin kembali ke generator uap sebagai *boiler feed water*. *Surface condenser* ini menjadi penting peranannya karena dengan adanya kondensasi dari *exhaust steam* pada tekanan di bawah tekanan atmosfer, penurunan tekanan uap antara *inlet* dan *exhaust* turbin meningkat yang meningkatkan jumlah panas yang tersedia untuk konversi ke tenaga mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa sudut *plate* yang optimal untuk mengatasi tekanan tinggi di daerah kritis. Pemodelan numerik 3D dengan menggunakan CFD *software* ANSYS 14.5 dengan turbulensi berupa *k-ε standard solver pressure based solution*. Hasilnya dengan melakukan penambahan *plate* maka nilai Nu_{ϕ} pada *tube* ke-1 pada kondisi *baseline* pada kondisi ditambah *plate* dengan variasi sudut (α) 15° , 30° dan 45° berurutan yaitu 511,5; 293,3; 273 Nilai dan. Tren grafik Nu_{ϕ} cenderung turun. Namun, pada *tube* ke-4 trennya naik dengan nilai 120,04; 117; 175,8; 149,0. Dalam penelitian tentang variasi penambahan sudut *plate*, kombinasi sudut optimal (α) diperoleh pada $\alpha=30^{\circ}$.

Keywords: *surface condenser, ANSYS 14.5, penambahan plat, turbulent model k-ε standard.*

ABSTRACT

Research to determine the characteristics of heat transfer outside a pipe in cross flow has been progressing very rapidly. One of them by modifying or rearrangement composition of the tube in the condenser to reduce the dynamic forces from the impact of fluid flow in critical region without missing the purpose design of surface condenser to condense an exhaust steam from steam turbine to reach a maximum efficiency and change exhaust steam become pure water (condensate water) that may be returned to the steam generator as boiler feed water. This become important because of the presence of condensation of exhaust steam below atmospheric pressure, vapor pressure drop between inlet and exhaust turbine increases which increases the amount of heat available for conversion into mechanical power. The optimal angle to cope in high pressure in critical area is the main object from this research. 3D numerical model using CFD software ANSYS 14.5 with *k-ε standard solver pressure based solution*. The result is Nu_{ϕ} in first tube at baseline condition with adding a plate in variation of angle (α) 15° , 30° and 45° sequentially 511.5; 293.3; 273. The value and trend graphics Nu_{ϕ} is absolutely decrease. However, increase on the fourth tube for variation baseline, angle 15, angle 30, and angle 45 is 120.04; 117; 175.8; 149.0. In this paper, angle optimal from addition of plate is $\alpha=30^{\circ}$.

Keywords: *surface condenser, ANSYS 14.5, plate addition; turbulent model k-ε standard.*



Eky Novianarenti S.T.,M.T. , menyelesaikan progam pascasarjana di Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya dari tahun 2013 dan berkesempatan mendapatkan BPPDN- Dikti dan terdaftar dengan NRP. 2113 202 006. Di Jurusan Teknik Mesin ini penulis mengambil Bidang Minat Rekayasa Konversi Energi

karena ketertarikan penulis dengan mata kuliah Mekanika Fluida dan Penukar kalor. Dibawah arahan dan bimbingan oleh Bapak Ary Bachtiar, S.T, M.T., Ph.D ini Penulis meneliti tentang Perpindahan panas di sebuah *condenser* PLTU Paiton.

PENDAHULUAN

Penukar kalor ialah suatu alat yang memfasilitasi

*Corresponding author.

E-mail address: ekynr@itats.ac.id, Telp . (+62)82300005356

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2017 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lain yang berbeda temperatur dan menjaga agar kedua fluida tersebut tidak saling bercampur. Fungsi dari alat penukar kalor ini tidak hanya terbatas untuk proses pendinginan saja, tetapi juga di fungsikan untuk proses pemanasan. Penukar kalor disini banyak diaplikasikan oleh dunia industri karena tidak menimbulkan kebisingan yang berarti di dalam ruang mesin. Selain itu dengan menggunakan alat penukar kalor jenis *shell and tube* sebagai pendingin, penempatannya dapat dilakukan sesuai dengan keadaan ruangan. [1]

Shell and tube heat exchanger banyak di aplikasikan pada industri petrokimia dan energi karena pembuatan yang relatif sederhana dan kemampuan beradaptasi penukar kalor tersebut dalam kondisi operasi yang berbeda. Penukar kalor tersebut membedakan dirinya dengan tekanan rendah dan kecepatan aliran tinggi. Salah satu bagian dari *heat exchanger* yang sangat penting adalah *surface condenser*. *Surface condenser* adalah sebuah istilah yang biasa digunakan untuk *shell and tube heat exchanger* yang berpendingin udara dipasang pada *exhaust steam* dari *steam turbine* pada *thermal power plant*. Kondensor ini mengubah uap dari gas untuk bentuk cair pada tekanan dibawah tekanan atmosfer. Ketika pasokan *cooling water* sedikit, *air cooled condenser* sering digunakan. Namun, kondensor jenis ini secara signifikan lebih mahal dan tidak dapat mencapai tekanan gas buang turbin serendah mungkin.

Tujuan utama dari *surface condenser* adalah untuk mengembunkan *exhaust steam* dari *steam turbine* untuk memperoleh efisiensi maksimum dan juga mengubah *exhaust steam* menjadi air murni (disebut sebagai *condensate steam*) sehingga mungkin kembali ke generator uap sebagai *boiler feed water*. *Surface condenser* ini menjadi penting peranannya karena dengan adanya kondensasi dari *exhaust steam* pada tekanan di bawah tekanan atmosfer, penurunan tekanan uap antara *inlet* dan *exhaust* turbin meningkat yang meningkatkan jumlah panas yang tersedia untuk konversi ke tenaga mesin. Sebagian panas dibebaskan karena kondensasi dari *exhaust steam* terbawa oleh media pendingin (air atau udara) yang digunakan oleh *surface condenser* [2].



Gambar 1. *Surface Condenser* PLTU

Penurunan *performance* pada *surface condenser* yang diindikasikan dengan menurunnya nilai perpindahan panas serta tingkat kebisingan yang cukup tinggi dapat mempengaruhi efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap secara keseluruhan. Oleh karena itu, dilakukanlah sebuah penelitian secara numerik untuk dapat menjelaskan mekanisme aliran pada daerah kritis dengan berkas silinder tersusun *staggered* dalam aliran *cross flow*. Fokus dari penelitian ini adalah bagaimana upaya untuk meningkatkan perpindahan panas pada *tube* dengan tetap mempertimbangkan koefisien perpindahan panas lokal.

METODOLOGI

Komputasi Numerik

Penelitian ini menggunakan metode numerik dengan CFD yang akan dilakukan pada tiga tahapan pengerjaan, yaitu *pre-processing* (permodelan atau pembuatan geometri, penentuan domain, dan pembuatan *meshing*), tahapan *processing* atau *solving*, dan *post-processing* (hasil berupa data kualitatif dan kuantitatif). Tahapan *pre-processing* dilakukan dengan bantuan *software Design Modeller* pada ANSYS 14.5, sedangkan tahapan *processing* dan *post-processing* menggunakan *software CFD package* Fluent 14.5. Algoritma SIMPLE juga digunakan untuk *velocity-pressure coupling*.

Computational Mesh

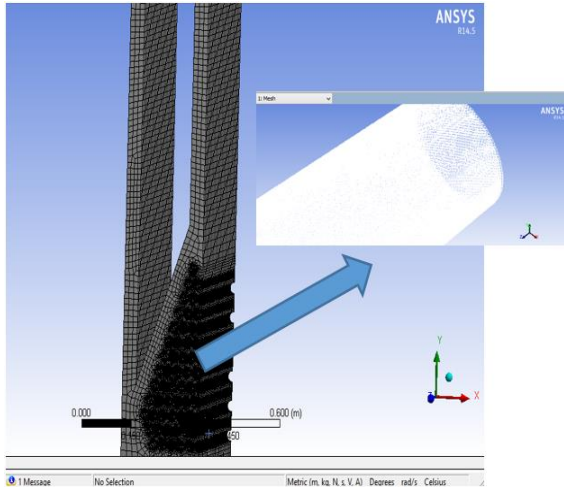
Geometri yang kompleks membuat mesh yang besar lebih *resolve* dalam mevisualisasikan kontur aliran dan termal. Geometri dibuat sesuai dengan kondisi yang sebenarnya yaitu daerah kritis pada *heat exchanger* yang berjenis *compact shell and tube heat exchanger*.



Gambar 2. Potongan melintang dari kondensor

Dimensi geometri:

- Diameter Pipa (D) : 25,4 mm
- Jarak Transversal (ST) : 33,25 mm
- Jarak Longitudinal (SL) : 28,1 mm
- *Transverse Pitches* (PT) : 1,31
- *Longitudinal Pitches* (PL) : 1,11
- Jarak antar pipa (horizontal) : 7,85 mm



Gambar 3. Meshing

Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*), sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen kecil tersebut. Bentuk *meshing* yang dipilih untuk permodelan ini adalah *hex*.

Tabel 1. Variasi parameter geometri plat

Case	α^0	R_l (mm)
A	15	50
B	30	50
C	45	50

Model

Model *viscous* yang digunakan adalah $k-\epsilon$ standard dengan *standard wall function* diaktifkan sedangkan untuk *viscous heatingnya* tidak diaktifkan dan *model constant* dibuat *default*, dimana model ini didasarkan pada penelitian Paul [3], dan Kanninen [4] sehingga model turbulensi ini lebih akurat dan lebih dapat diandalkan.

Boundary condition

Penentuan kondisi batas adalah salah satu tahap *solver* yang penting. Kesalahan asumsi kondisi batas dapat mengakibatkan hasil simulasi berbeda jauh dengan hasil eksperimen. *Inlet* didefinisikan sebagai *velocity*

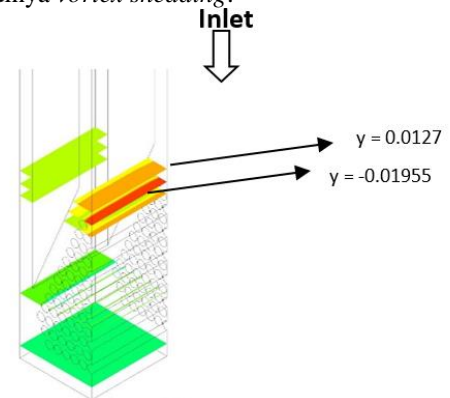
inlet dengan nilai sebesar 37 m/s, sedangkan temperaturnya adalah 312°K. Pipa didefinisikan sebagai *wall* dengan nilai momentum seperti *Fluent default* dan temperaturnya adalah 305°K. Daerah di luar pipa didefinisikan sebagai uap dengan material *water vapor*.

Tabel 2. *Boundary condition*

Boundary condition	Parameter
<i>Inlet</i>	Tipe = <i>Velocity inlet</i> $V_{in} = 37 \text{ m s}^{-1}$ $T_{in} = 312 \text{ K}$
<i>Outlet</i>	<i>Outflow</i>
<i>Tube daerah kritis</i>	<i>Stationary wall</i>
<i>Tube selain daerah kritis</i>	<i>Porous media</i> $T=305 \text{ K}$

HASIL

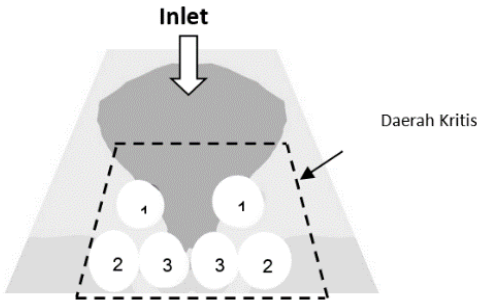
Struktur penulisan pada subbab ini diawali dengan pengecekan grid (*grid independency test*) pada beberapa *mesh* yang telah dibuat. Selanjutnya dijelaskan mengenai karakteristik perpindahan panas pada *tube* di daerah kritis sesuai penomoran *tube* pada konfigurasi *baseline* dibandingkan dengan konfigurasi variasi penambahan *plate* dengan sudut (α) = 15°, 30°, 45°. Kemudian dilakukan analisis perbandingan hasil numerik dengan referensi yang terkait. Pembahasan tentang pengurangan *drag* ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya separasi awal sehingga mempersempit daerah *wake* yang terbentuk dan dapat menekan terjadinya *vortex shedding*.



Gambar 4. Posisi pengambilan data *iso-surface* pada *XZ plane*.

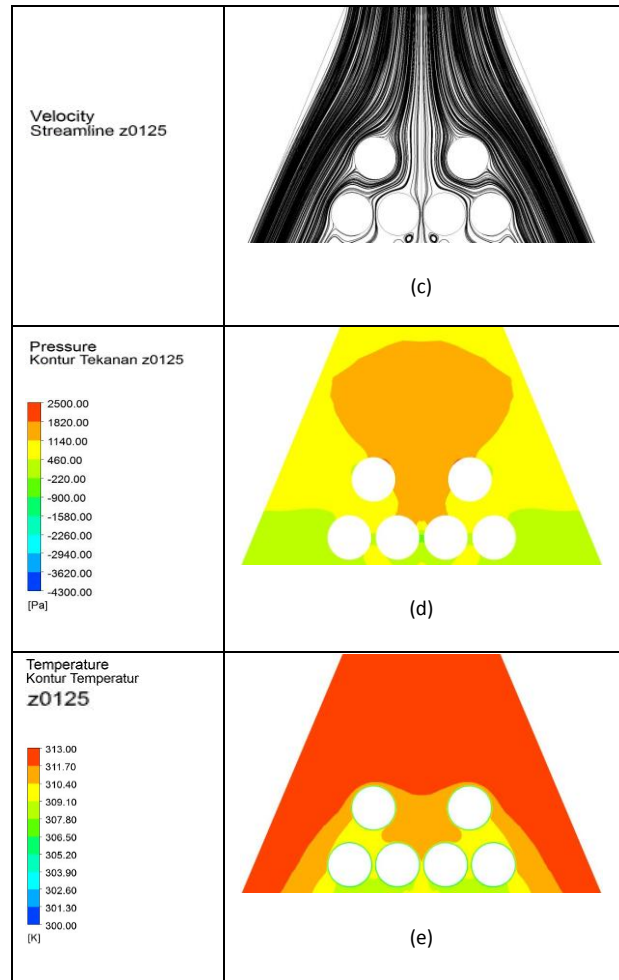
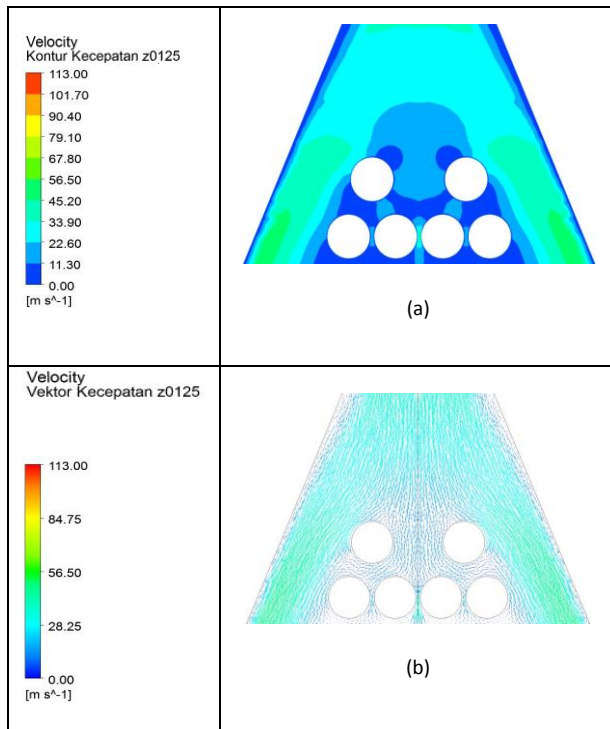
Post Processing dilakukan dengan melihat *Nusselt number* pada setiap *tube* di daerah kritis, temperatur pada masing-masing variasi penambahan *plate* pada *tube* di daerah kritis. Posisi pengambilan data hasil simulasi dilakukan dengan melakukan *iso-surface* pada sumbu *y* konstan seperti ditunjukkan pada gambar 4 yang merupakan posisi pengambilan data (*iso-surface*) dari arah *XZ plane*. Pengambilan data distribusi *pressure coefficient* (C_{dp}),

Nusselt average, turbulent intensity, velocity secara kuantitatif dilakukan dengan membuat interior pada masing-masing *tube* secara vertikal memotong sumbu Z untuk memperoleh nilai *pressure coefficient*. Penomoran *tube* sesuai dengan urutan dari posisi *inlet* ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Penomoran *tube* dari *inlet*

Fenomena 3D dan visualisasi aliran pada bidang XY Pada *section* ini menampilkan visualisasi aliran berupa kontur tekanan untuk melengkapi penjelasan terkait koefisien tekanan yang terjadi pada susunan *tube staggered* di daerah kritis.



Gambar 6. Visualisasi kontur pada *baseline z = 0,125*
 (a) Kontur kecepatan (b) Vektor kecepatan (c) *Streamline* kecepatan (d) Kontur tekanan (e) Kontur temperatur

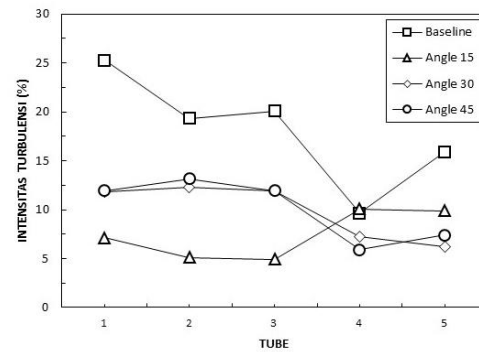
Data kualitatif berupa kontur tekanan, kecepatan, vektor dan *streamline* untuk kondisi *baseline* ditunjukkan pada gambar 6. Untuk kontur kecepatan pada kondisi *baseline* dapat dilihat pada Gambar 6 (a). Kontur kecepatan ini hanya difokuskan pada daerah kritis. Berdasarkan kontur tersebut terlihat bahwa kecepatan aliran sebelum menumbuk *tube* adalah 22,6 s/d 33,9 m/s. Kecepatan yang berasal dari *inlet* menuju *tube* 1 di daerah kritis semakin lama semakin berkurang hingga pada salah satu sisi *tube* 1 dan *tube* 1' mempunyai kecepatan 0 m/s. Penurunan kecepatan ini disebabkan oleh adanya pelebaran jalur aliran ke arah samping atau tepi *tube*. Pada daerah kritis tersebut sesuai kontur kecepatan mempunyai kecepatan yang rendah sehingga tekanan pada daerah tersebut lebih tinggi dibandingkan daerah lain. Adanya penurunan kecepatan di daerah kritis berkontribusi terhadap kenaikan tekanan. Kontur kecepatan juga berkorelasi dengan vektor kecepatan seperti pada Gambar 6 (b) dimana arah aliran yang berasal dari *inlet* memasuki lorong yang seperti *diffuser* kemudian aliran terbagi menjadi tiga bagian. Aliran yang melintasi

daerah yang tidak terdapat *tube* bergerak bebas maka kecepatannya meningkat ditandai dengan kontur yang berwarna hijau dengan kisaran angka 56,5 s/d 67,8 m/s. Selain itu kecepatan fluida juga akan meningkat ketika memasuki susunan *tube* yang mempunyai jarak antar *tube* yang sempit. Posisinya adalah diantara *tube* 3 dan *tube* 3'. Hal tersebut terjadi karena aliran melintasi daerah antar *tube* sehingga mengalami *flow accelerated* yang diindikasikan dengan kenaikan kecepatan lokal akibat dari jarak *tube* yang cukup dekat.

Gambar 6 (c) menunjukkan *streamline* pada posisi *xy plane* memotong sumbu $z=0.125$ di daerah kritis. *Streamwise vortices* berinteraksi dengan lapisan batas dinyatakan dalam dua dimensi dan menghasilkan aliran yang berputar-putar (*swirling flow*) yang mana aliran tersebut terjadi pada celah antara baris 2 (*row* 2) dan baris 3 (*row* 3).

Visualisasi aliran pada kontur tekanan yang terjadi pada susunan *tube staggered* pada kondisi *baseline* ditunjukkan pada gambar 6 (d). Pada gambar kontur tersebut tekanan tertinggi ditunjukkan dengan warna *orange* yang terdapat pada bagian atas *tube* sekitar 1140 s/d 1820 Pa. Tekanan maksimal terjadi pada sisi bagian kanan *tube* 1 di daerah kritis yaitu berkisar 1820 Pa. Tekanan statik yang menuju ke daerah kritis semakin meningkat dikarenakan terjadi pelebaran bertahap pada jalur lintasan fluida saat menuju ke daerah kritis.

Data kualitatif berupa kontur temperatur juga ditunjukkan pada gambar 6 (e) dimana pada masukan daerah kritis warna merah masih mendominasi kemudian temperatur semakin lama semakin turun yang mana terjadi degradasi warna secara bertahap ditandai dengan kontur warna *orange*. Selanjutnya, semakin ke bawah mendekati *downstream* konturnya berwarna kehijauan yaitu sekitar 307,8 – 309 K. Daerah dengan kontur berwarna kuning menandakan sebagian panas sudah terserap oleh *tube* di bagian atasnya. Kontur berwarna hijau menandakan adanya perpindahan panas yang terjadi dan daerah dekat dengan permukaan *tube* merupakan daerah dengan perpindahan panas yang lebih baik. Pada daerah baris ketiga (*row* 3). Semakin ke bawah panas semakin terserap oleh *tube* di atasnya sehingga warna hijau yang lebih mendominasi.



Gambar 7. Intensitas Turbulensi vs tube

Tingginya intensitas turbulensi yang ditunjukkan pada gambar 7 mengindikasikan bahwa aliran disekitar *tube* bersifat turbulen, gradien kecepatan antar lapisan fluida dalam aliran turbulen akan menimbulkan *vortex* yang akan berpengaruh pada peningkatan *Nusselt number* (Nu),

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} \quad (1)$$

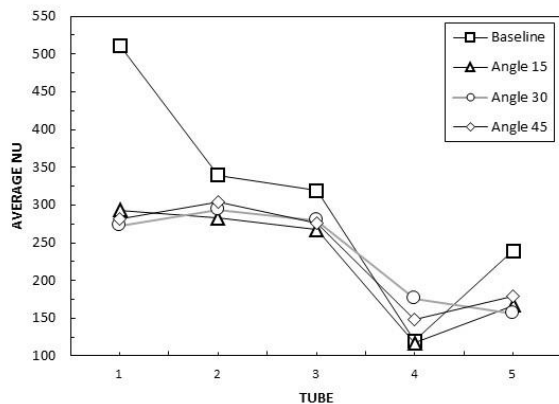
sehingga akan meningkatkan koefisien perpindahan panas yang berarti peningkatan laju perpindahan panas secara konveksi. Dapat juga dikatakan bahwa semakin tinggi intensitas turbulensi suatu aliran maka aliran tersebut bersifat turbulen. Aliran turbulen memiliki gerakan molekul fluida yang acak (baik paralel maupun tegak lurus dengan aliran) yang menimbulkan fluktuasi kecepatan. Gerakan molekul fluida yang tegak lurus dengan aliran akan membuat perpindahan massa dan momentum yang cukup besar karena meningkatkan tegangan geser, dimana tegangan geser berbanding lurus secara linier dengan gradien kecepatan yang tegak lurus dengan arah geseran. Tegangan geser yang tinggi akan menurunkan viskositas dinamik, dimana semakin kecil viskositas dinamik fluida, maka akan meningkatkan bilangan *Reynolds*nya yang kemudian akan meningkatkan bilangan *Nusselt* dan koefisien perpindahan panasnya sesuai persamaan :

$$\overline{Nu}_L = C Re_L^m Pr^n \quad (2)$$

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa ketika gradien kecepatan tinggi, maka meningkatkan tegangan geser yang membuat semakin besar perpindahan panasnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan geser di dalam lapisan batas turbulen tidak hanya dipengaruhi oleh viskositas fluida itu sendiri, tetapi juga dipengaruhi oleh *Reynolds Shear Stresses* yang merupakan besaran yang menunjukkan fluktuasi kecepatan molekul fluida.

Penambahan *plate* dengan variasi sudut 30° merupakan variasi dengan intensitas turbulensi yang optimal. Namun, dilihat dari grafik Nu rata-rata (Gambar 8), penggunaan *plate* tidak terlalu efektif dari segi perpindahan panas, dibuktikan dengan kontur temperatur pada setiap variasi penambahan

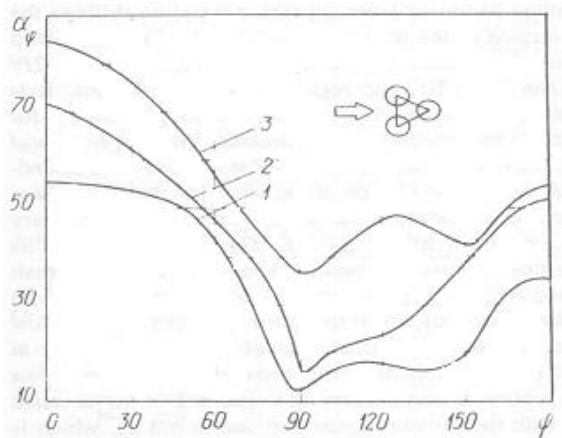
plate berwarna orange yang menandakan perpindahan panas yang tidak lebih baik dari kondisi *baseline* nya.



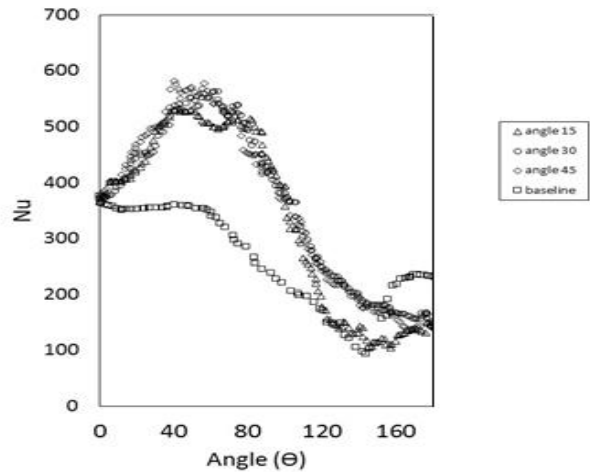
Gambar 8. Nu average vs tube

Model validation

Validasi distribusi *Nusselt number* hampir sama dengan *trend* grafik hasil penelitian Zukauskas dan Ulinkas [5]. (Gambar 9) untuk distribusi Nu pada *single tube* dengan Re sebesar 170000.



Gambar 9. Grafik *Nusselt number* terhadap *angle* (Zukauskas dan Ulinkas) [5]



Gambar 10. Grafik *Nusselt number* terhadap *angle* dengan variasi sudut *plate*

Distribusi lokal Nu ditunjukkan pada Gambar 10. Pada kondisi *baseline* titik stagnasi terjadi pada sudut 50° , kemudian terjadi penurunan Nu lokal hingga mencapai sudut 150° . Adanya kenaikan Nu lokal sampai pada sudut 170° kemudian terjadi separasi kembali hingga sudut 220° . Setelah sudut 220° Nu lokal mengalami peningkatan kembali hingga sudut 270° . Meningkatnya nilai Nu disebabkan oleh fluida mengalami perubahan dari fase transisi ke turbulen. Pada sudut penambahan *plate* sebesar 15° , 30° , dan 45° Nu lokal minimum terjadi pada 150° . Penurunan Nu lokal disebabkan oleh penebalan lapisan batas turbulen dan adanya *mixing fluid* dan *mixing temperature* sehingga *heat transfer*nya semakin berkurang.

KESIMPULAN

Penggunaan *device* berupa *rectangular plate* yang ditambahkan di daerah kritis pada *tube banks condenser* yang tersusun *staggered* memiliki pengaruh terhadap karakteristik perpindahan panas. Penggunaan *device* ini mampu mengurangi gaya *drag* yang timbul di daerah kritis. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan kecepatan di daerah sekitar *tube* tersebut dan berkontribusi terhadap penurunan tekanan. Nilai Nu_Φ pada *tube* ke-1 pada kondisi *baseline* dan pada kondisi ditambah *plate* dengan variasi sudut (α) 150° , 300° dan 450° berurutan yaitu 511,5; 293,3; 273. Tren grafik Nu_Φ cenderung turun. Namun, pada *tube* ke-4 trennya naik dengan nilai 120,04; 117; 175,8; 149,0. Dalam penelitian tentang variasi penambahan sudut *plate*, kombinasi sudut optimal (α) diperoleh pada $\alpha=300^\circ$.

REFERENSI

- [1] Incropera, F . P., and DeWitt, D. P., R.S. Introduction to Heat Transfer. John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002.
- [2] Samir El Sayed Ali. Investigation into the Effect of Heat and Mass Transfer on Flow across Tube Bundles, Ph. D Thesis, University of Glasgow, United Kingdom. 1979
- [3] Paul, S.S., Ormiston, ncropera, S.J., Tachi, M.F. Experimental and Numerical Investigation of Turbulent Cross-flow in a Staggered Tube Bundle, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 29, hal. 387-414. 2008.
- [4] Kanninen, Pekka. ,Air to Air Heat Exchanger. Postgraduate Seminar on Heat and Fluid Flow, hal. 4551. 2010.
- [5] Žukauskas, A. Heat Transfer from Tubes in Cross flow, Advances in Heat Transfer, Vol. 8, hal. 93–160. , 1972.