

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**Studi Numerik Unjuk Kerja Penggunaan Winglet
Pada Heat Exchanger Tipe Compact****Chandra Siregar^{*)} dan Irfansyah**

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 20238, Indonesia

Email: *chandra@umsu.ac.id

ABSTRAK

Compact heat exchanger merupakan salah satu tipe dari alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang memiliki luasan perpindahan panas per unit volume yang paling besar ($\geq 400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ for liquids dan $\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ for gases) yang tersusun dari *fin and tube*. Namun sering kali ditemukan penurunan performa perpindahan panas pada alat penukar kalor. Untuk meningkat performa perpindahan panas dilakukan perubahan pada permukaan fin atau dengan penambahan *vortex generator*. Dalam studi numerik ini dilakukan penambahan *vortex generator* jenis *curve delta winglet* yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas yang dihasilkan. Studi numerik ini menggunakan software *solidworks flow simulation* sebagai alat simulasi numeriknya. Variasi kecepatan pada sisi masuk adalah 0,5 m/s, 1,15 m/s dan 1,8 m/s. Hasil simulasi diperoleh dengan membandingkan fin yang menggunakan *curve delta winglet* dengan yang tanpa menggunakan *curve delta winglet* serta mebandingkan dengan penambahan lubang pada *curve delta winglet*. Dari hasil simulasi diperoleh *compact heat exchanger* yang menggunakan *curve delta winglet* tanpa dan dengan lubang mengalami peningkatan laju perpindahan panas berkisar 16,43 % - 30,67 % dibandingkan dengan *heat exchanger* tanpa *curve delta winglet*.

Kata Kunci : Compact Heat Exchanger, Vortex Generator, Curve Delta Winglet, Solidworks Flow Simulation

Numerical Study Of Performance Using Winglets In The Compact Type Heat Exchanger**ABSTRACT**

The compact heat exchanger is one type of heat exchanger which has an area of heat transfer per unit volume the largest ($\geq 400 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ for liquids and $\geq 700 \text{ m}^2 / \text{m}^3$ for gases) which is composed of fin and tube. But often found a decrease in heat transfer performance on a heat exchanger. To increase the heat transfer performance, changes are made on the surface of the fin or by adding a vortex generator. In this numerical study vortex generator was added to the winglet delta curve type which aims to determine the flow characteristics and the transfer of heat produced. This numerical study uses solidworks flow simulation software as a numerical simulation tool. Speed variations on the inlet side are 0.5 m / s, 1.15 m / s and 1.8 m / s. Simulation results were obtained by comparing fin using winglet delta curve with those without the winglet delta curve and compared to adding holes on the winglet delta curve. From the simulation results obtained compact heat exchanger which uses the winglet delta curve without and with holes the increase in heat transfer rate ranges from 16.43% - 30.67% compared to a heat exchanger without a winglet delta curve.

Keywords: Compact Heat Exchanger, Vortex Generator, Curve Delta Winglet, Solidworks Flow Simulation

PENDAHULUAN

Alat penukar kalor atau dikenal dengan *heat exchanger* merupakan peralatan yang banyak diaplikasikan dalam dunia *engineering* maupun industri. Salah satu tipe *heat exchanger* adalah *compact heat exchanger*. Alat penukar kalor jenis *compact* banyak digunakan untuk *heating*, *ventilating*, *air conditioning* (HVAC), otomotif, refrigerasi, pembangkit listrik, industri kimia dan lain sebagainya. *Fin and tube* merupakan salah satu jenis alat penukar kalor *compact* dimana salah satu fluida perpindahan panas adalah gas. *Compact heat exchanger* merupakan salah satu tipe dari alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang memiliki luasan perpindahan panas per unit *volume* yang paling besar ($\geq 400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ for liquids dan $\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ for gases) yang tersusun dari *fin and tube*. Berdasarkan konfigurasi *tube*, *compact heat exchanger* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *inline* dan *staggered*.

Kinerja dan efisiensi yang baik dibutuhkan dalam pengoperasian *compact heat exchanger*, namun seringkali ditemukan penurunan performa perpindahan panas pada sisi eksternal dan internal penukar kalor. Seiring dengan berkembangnya jaman, *fin and tube heat exchanger* dituntut untuk dapat menyajikan performa yang sesuai dengan fungsi kerjanya melalui perubahan bentuk tipe permukaan *fin* ataupun modifikasi penambahan pada permukaan *fin*, seperti penambahan *Vortex Generator* (VG) atau penambahan *Obstacle*.

Peningkatan koefisien perpindahan panas menggunakan *vortex generator* telah dipaparkan oleh Jacobi and Shah [1]. Mereka membahas tentang *vortex longitudinal* dan *vortex transversal*. *Vortex longitudinal* sangat efektif untuk peningkatan perpindahan panas dibandingkan dengan *vortex transversal* oleh karena bentuknya yang tiga dimensi.

Oleh karena itu, dibutuhkan studi sebelumnya mengenai penambahan atau modifikasi pada bagian permukaan *fin* untuk menunjang studi numerik ini. Karakteristik termal diperoleh dengan membandingkan *fin* yang menggunakan CDWPs dan tanpa menggunakan *vortex generator* serta membandingkan penggunaan perbedaan jumlah pasangan *vortex generator* [2]. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa koefisien perpindahan panas konveksi untuk *fin* yang menggunakan 1, 3, dan 7 CDWPs berturut – turut meningkat berkisar antara 7,4 – 23,9%, 18,6 – 60,6% dan 41 – 100% dibandingkan *fin* tanpa *vortex generator* (*baseline*). Nilai $h_{\text{CDWPs}}/h_{\text{DWP}}$ dari *fin* yang menggunakan 1, 3, dan 7 VG berturut – turut berkisar antara 1,06 – 1,1; 1,1 – 1,4 dan 1,2 – 1,4.

Berdasarkan studi literatur di atas dilakukan studi numerik untuk mengetahui karakteristik aliran dan perpindahan panas berdasarkan pengaruh penambahan *vortex generator* tipe *curve delta winglet* (CDW) seperti studi yang dilakukan oleh Syaiful dan Salam. Akan tetapi pada studi numerik ini, penulis menggunakan konfigurasi susunan *tube banks* jenis *staggered* dan penambahan lubang pada *curve delta winglet*.

TINJAUAN PUSTAKA

Model Fisik

Pada studi numerik ini, *heat exchanger* yang digunakan adalah tipe *compact heat exchanger* jenis *fin and tube* dan *vortex generator* yang digunakan tipe *winglet* jenis *curve delta winglet*. Untuk geometri *curve delta winglet* dengan sudut serang, $\beta = 15^\circ$ dapat dilihat pada gambar 1. VG jenis CDW dalam studi numerik ini memiliki aspek rasio, $\Lambda = 1,31$ dan jari – jari kelengkungan permukaan cekungnya adalah 11 mm. CDW yang digunakan pada studi numerik ini adalah tanpa lubang, dengan lubang 1 mm dan dengan lubang 1,5 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

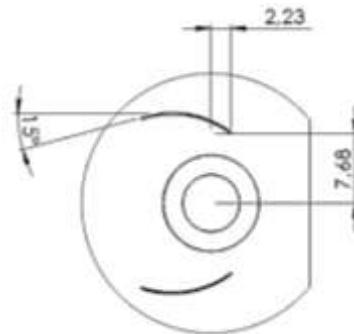
Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

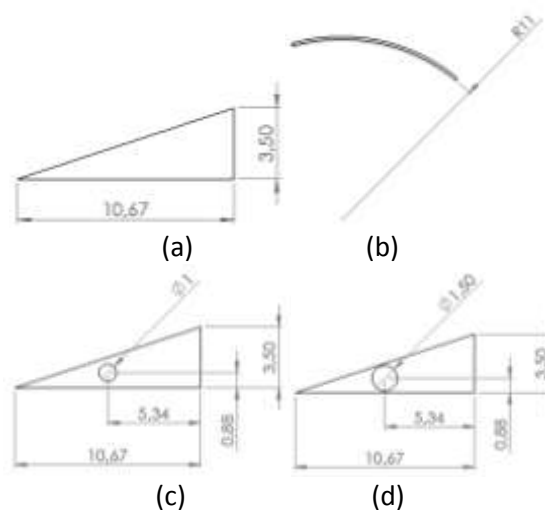
Untuk *heat exchanger* yang digunakan adalah dengan susunan *tube staggered* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. *Heat exchanger* jenis *fin and tube* ini memiliki ukuran, seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Dimensi *heat exchanger*

Panjang <i>fin</i>	153,98 mm
Lebar fin	114,30 mm
Diameter tube	10,67 mm
Diameter hidrolis	4,33 mm
<i>Pitch tube</i> = S_T	25,4 mm
S_L	21,997 mm
<i>Fin pitch</i>	3,63 mm

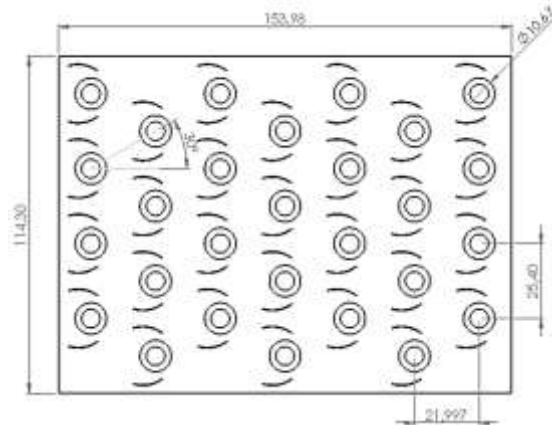


Gambar 1. Geometri VG

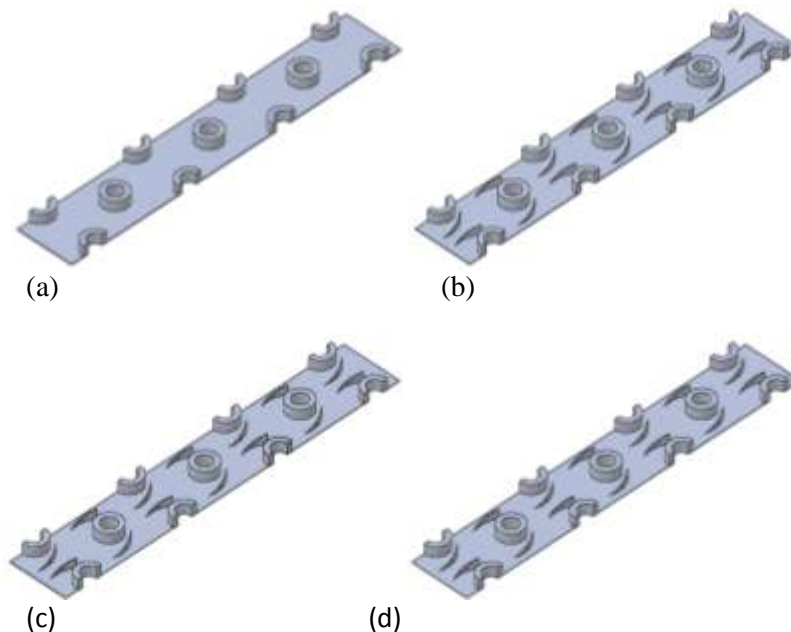


Gambar 2. (a) CDW tanpa lubang, (b) jari – jari kelengkungan CDW, (c) CDW dengan lubang 1 mm dan (d), CDW dengan lubang 1,5 mm

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>Gambar 3. Dimensi *heat exchanger*

Pada studi numerik ini, ada 4 model yang akan di simulasikan yaitu, *heat exchanger* tanpa CDW, *heat exchanger* dengan CDW tanpa lubang, *heat exchanger* dengan CDW berlubang 1 mm dan *heat exchanger* dengan CDW berlubang 1,5 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.

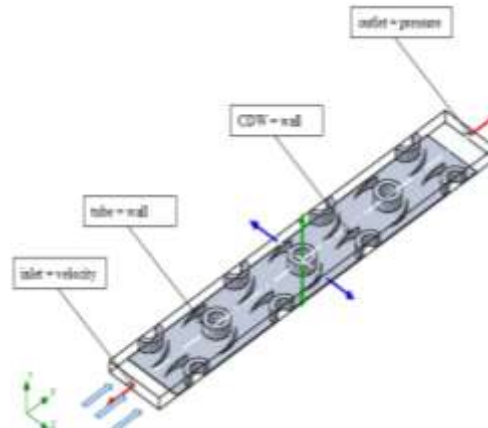


Gambar 4. Model yang akan disimulasikan ; (a) tanpa CDW, (b) dengan CDW tanpa lubang, (c) dengan CDW berlubang 1 mm dan (d) dengan CDW berlubang 1 mm

Prosedur Numerik

Studi numerik ini dilakukan secara tiga dimensi dengan menggunakan perangkat lunak berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamic*) yaitu *solidworks flow simulation*. Adapun skema geometri model untuk studi numerik dapat dilihat pada gambar 5.

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>Gambar 5. Geometri model *heat exchanger*

Untuk mendapatkan *fully developed flow* pada daerah masuk dan daerah keluar diperpanjang. Pada studi numerik ini kecepatan pada sisi masuk di variasikan yaitu 0,5 m/s, 1,15 m/s dan 1,8 m/s. Kecepatan pada sisi masuk dalam arah *streamwise* (x). Pada sisi keluar ditentukan tekanannya yaitu 1 atm. Temperatur pipa dijaga konstan yaitu 291,77 K dan temperatur udara pada sisi masuk yaitu 310,6 K.

Langkah – langkah studi numerik menggunakan *software solidworks* dimulai dari penentuan desain, pembuatan bagian – bagian *heat exchanger* (*fin and tube*), pembuatan *curve delta winglet* dan penggabungan bagian – bagian tersebut (*assembly*). Untuk langkah – langkah simulasi menggunakan *software solidworks flow simulation* dimulai dengan penentuan *project name*, *unit system*, *analysis type*, *default fluid*, *wall conditions*, *initial and ambient conditions* dan *result and geometry resolution* pada *toolbar wizard*. Selanjutnya pada *menu inputdata* dimulai dengan menentukan *computational domain*, *fluid subdomain*, *boundary conditions* (*inlet*, *outlet* dan *wall*) dan menentukan *goals*. Selanjutnya menjalankan simulasi.

Pendefinisian Parameter

Perhitungan bilangan reynold ditentukan berdasarkan persamaan.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu} \quad (1)$$

Dimana :

- Re = bilangan reynold
- ρ = massa jenis fluida (Kg/m^3)
- v = kecepatan (m/s)
- Dh = diameter hidrolik (m)
- μ = viskositas dinamik (N/m.s)

Penurunan tekanan (*pressure drop*) dapat dihitung dengan persamaan.

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \quad (2)$$

Dimana :

- ΔP = penurunan tekanan (Pa)
- P_{in} = tekanan sisi masuk (Pa)
- P_{out} = tekanan sisi keluar (Pa)

Perdindahan panas konveksi dapat dihitung dengan persamaan.

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

$$q = h \cdot A_T \cdot (T_{in} - T_{out}) \quad (3)$$

Dimana :

- q = perpindahan panas (Watt)
h = koefisien konveksi (W/m²K)
A_T = luas permukaan transfer (m²)
T_{in} = temperatur udara masuk (K)
T_{out} = temperatur udara keluar (K)

Koefisien konveksi dapat dihitung dengan persamaan.

$$h = \frac{Nu_m \cdot k}{D_h} \quad (4)$$

Dimana :

- h = koefisien konveksi (W/m²K)
Nu_m = bilangan Nusselt
k = konduktivitas thermal (W/mK)

untuk bilangan nusselt dapat dihitung dengan menggunakan korelasi Hausen pada kondisi aliran laminar.

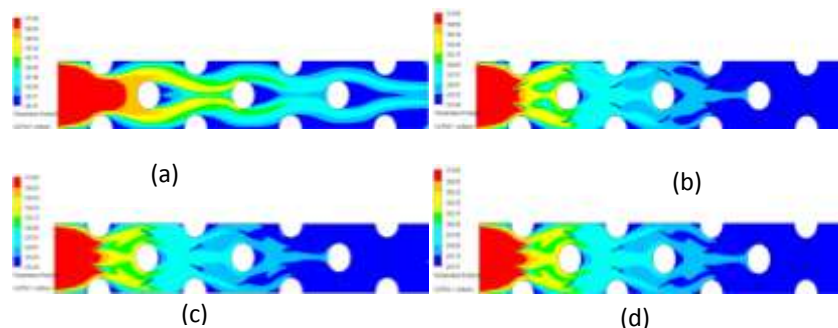
$$Nu_m = 3,66 + \frac{0,0668(D/L)R_e P_r}{1 + 0,04[(D/L)R_e P_r]^{2/3}} \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan antara *heat exchanger* tanpa CDW dengan *heat exchanger* yang menggunakan CDW dapat dilihat melalui *cut plots*, *flow trajectories* dan grafik.

Perbandingan yang dapat dilihat melalui *cut plots* adalah perbandingan distribusi temperatur dan tekanan seperti pada gambar 6.

Perbandingan yang dapat dilihat melalui *flow trajectories* adalah pola aliran yang terjadi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.

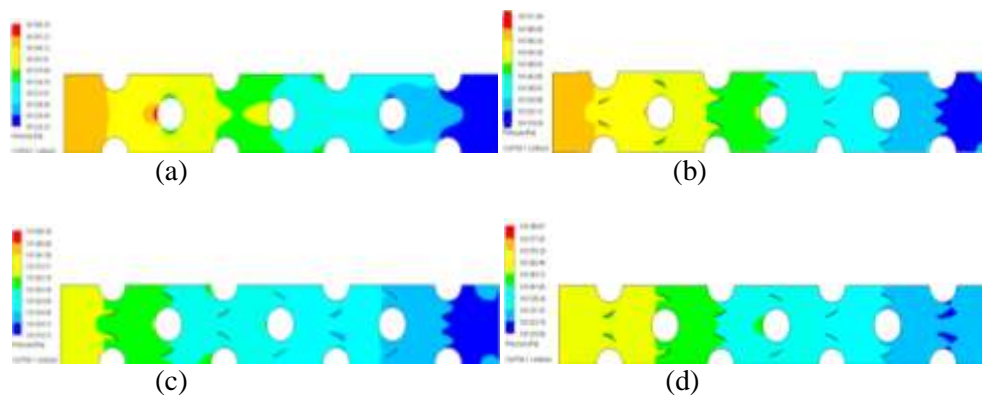


Gambar 6. Distribusi temperatur ; (a) tanpa CDW, (b) CDW tanpa lubang, (c) CDW dengan lubang 1 mm dan (d) CDW dengan lubang 1,5 mm

Published September 2018

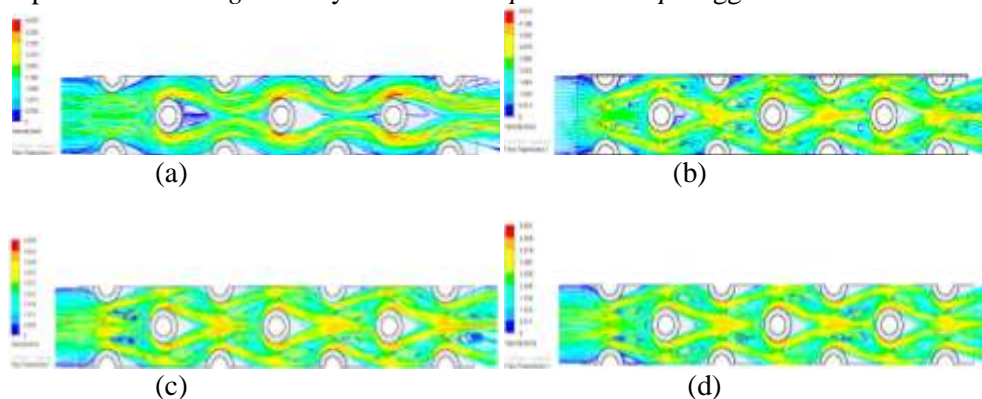
Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Dari gambar 6. dijelaskan pengaruh penambahan *curve delta winglet*, pada baris kedua sudah mengalami penurunan temperatur yang signifikan dan merata pada sisi keluar. Berbeda dengan *heat exchanger* tanpa *curve delta winglet*, temperatur pada sisi keluar tidak merata.



Gambar 7. Perbandingan tekanan ; (a) tanpa CDW, (b) CDW tanpa lubang, (c) CDW dengan lubang 1 mm dan (d) CDW dengan lubang 1,5 mm

Dari gambar 7. dapat dijelaskan bahwa tekanan meningkat pada saat aliran menabrak sisi *tube* dan *winglet*. Akibat yang ditimbulkan dari peningkatan tekanan yang disebabkan oleh aliran yang menabrak sisi *tube* dan *winglet* adalah tekanan pada sisi masuk semakin meningkat. Jadi pengaruh penambahan *winglet* menyebabkan nilai *pressure drop* tinggi.



Gambar 8. Pola aliran ; (a) tanpa CDW, (b) CDW tanpa lubang, (c) CDW dengan lubang 1 mm dan (d) CDW dengan lubang 1,5 mm

Dari gambar 8. dapat dijelaskan pada percobaan tanpa *curve delta winglet*, vorteks terjadi setelah aliran melewati *tube*. Berbeda dengan percobaan menggunakan *curve delta winglet*, vorteks terjadi setiap aliran melewati *curve delta winglet* dan juga terjadi setelah melewati *tube*.

Untuk perbandingan yang dilihat menggunakan grafik adalah reynold vs perpindahan panas, reynold vs koefisien konveksi dan reynold vs *pressure drop* seperti yang ditunjukkan pada gambar 9, 10 dan 11.

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Gambar 9. Grafik Re Vs q

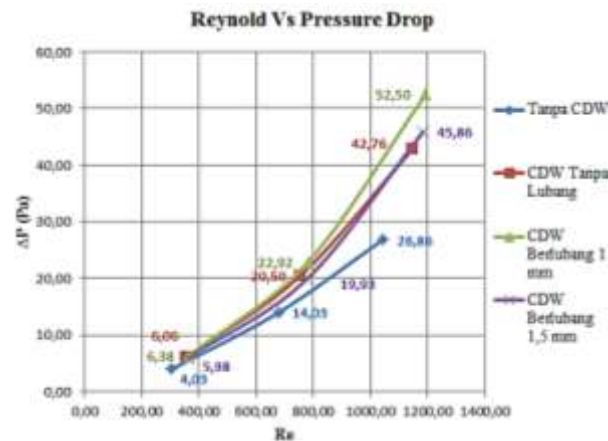
Dari gambar 9. dapat dijelaskan bahwa laju perpindahan panas pada *heat exchanger* yang menggunakan *curve delta winglet* lebih tinggi dibandingkan dengan *heat exchanger* yang tidak menggunakan *curve delta winglet*. Laju perpindahan panas tertinggi terjadi pada *heat exchanger* yang menggunakan *curve delta winglet* tanpa lubang yaitu sebesar 3,11 Watt. Untuk *heat exchanger* yang menggunakan *curve delta winglet* dengan lubang berdiameter 1 mm mengalami penurunan laju perpindahan panas pada bilangan reynold 1193,85. Berbeda dengan *curve delta winglet* dengan lubang berdiameter 1,5 mm, laju perpindahan panas yang terjadi terus mengalami peningkatan. Jadi ukuran lubang pada *curve delta winglet* juga mempengaruhi laju perpindahan panas.



Gambar 10. Grafik Re Vs h

Dari gambar 10. menunjukkan koefisien konveksi semakin meningkat. Koefisien konveksi pada *heat exchanger* yang menggunakan *curve delta winglet* lebih besar dibandingkan dengan *heat exchanger* yang tidak menggunakan *curve delta winglet*.

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>Gambar 11. Grafik Re Vs ΔP

Dari gambar 11. semakin besar bilangan reynold maka semakin besar *pressure drop* yang terjadi. *Pressure drop* yang terjadi pada *heat exchanger* yang menggunakan *curve delta winglet* lebih besar dibandingkan dengan *heat exchanger* yang tidak menggunakan *curve delta winglet*. Untuk perbandingan antara *curve delta winglet* yang menggunakan lubang, dari gambar 4.19. dapat dijelaskan bahwa semakin besar ukuran lubang maka semakin kecil nilai *pressure drop* yang terjadi.

KESIMPULAN

Dari studi numerik yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan *curve delta winglet* mampu meningkatkan laju perpindahan panas. Namun juga mengakibatkan *pressure drop* mengalami peningkatan.
2. Semakin besar bilangan reynold maka semakin besar koefisien konveksi yang terjadi.
3. Untuk pengaruh yang diakibatkan oleh perbedaan diameter lubang pada *curve delta winglet* seperti pada percobaan ketiga dan keempat, dapat disimpulkan bahwa pada percobaan keempat laju perpindahan panas lebih besar dan *pressure drop* lebih rendah. Jadi semakin besar lubang maka semakin rendah nilai *pressure drop* yang terjadi.
4. Pengaruh penambahan *curve delta winglet* mengakibatkan terjadinya vorteks pada aliran fluida yang melintasinya.
5. Dari hasil simulasi keempat percobaan diperoleh *heat exchanger* yang paling baik adalah *compact heat exchanger* dengan *curve delta winglet* tanpa lubang. Pada percobaan dengan kecepatan masuk 1,8 m/s diperoleh hasil laju perpindahan panas tertinggi sebesar 3,11 Watt dan penurunan tekanan sebesar 42,76 Pa yang lebih baik dibanding *curve delta winglet* yang menggunakan lubang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.M. Jacobi & R. K. Shah, 1995, "Heat Transfer Surface Enhancement Through The Use of Longitudinal Vortices: A Review of Recent Progress", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 11 : 295 – 309.
- [2] Syaiful & Abdul Rohman Salam, 2015, "Simulasi Numerik Peningkatan Perpindahan

Published September 2018

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Panas Menggunakan Concave Delta Winglet Vortex Generators Didalam Penukar Kalor Jenis Fin and Tube, jurnal.ftumj.ac.id.

J.D. Anderson, 1995, *“Computational Fluid Dynamics”*, United States Of America: The McGraw-Hills Companies, Inc.

J.P. Holman, 2010, *“Heat Transfer Tenth Edition”*, New York : The McGraw-Hills Companies, Inc.

R.K. Shah & D.P. Sekulic, 2003, *“Fundamentals of Heat Exchanger Design”*, United States of America : John Wiley & Sons, Inc.

Robert W. Serth, 2007, *“Process Heat Transfer Principles and Application”*, April 2007 ISBN : 0123735882.

T. Kuppan, 2000, *“Heat Exchanger Design Handbook”*, New York Marcel Dekker, Inc.

A. Joardar & A.M. Jacobi, 2008, *“Heat Transfer Enhancement by Winglet Type Vortex Generator Arrays in Compact Plain Fin and Tube Heat Exchanger”*, International Journal of Refrigeration, 31 : 87 – 97.

Guobing Zhou & Qiuling Ye, 2011, *“Experimental Investigations of Thermal and Flow Characteristics of Curve Trapezoidal Winglet Type Vortex Generators”* 10.1016/j.applthermaleng.2011.11.024

L.O. Salviano, 2014, *“Optimization of Vortex Generators Positions and Angle in Fin – Tube Compact Heat Exchanger at Low Reynolds Number”*, Sao Paulo.

SolidWorks Flow Simulation 2014, Solving Engineering Problems

SolidWorks Flow Simulation 2014, Technical Reference

SolidWorks Flow Simulation 2014, Tutorial

<http://nptel.ac.in/courses/103103032/module4/lec18/2.ht>