

EFEK LONGITUDINAL VORTEX DIHASILKAN DARI VORTEX GENERATOR JENIS CONCAVE DELTA DAN RECTANGULAR WINGLET TERHADAP PERBAIKAN PERPINDAHAN PANAS: VISUALISASI ALIRAN/STUDI EKSPERIMENTAL

Syaiful

Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah

081228501462

E-mail: syaiful.undip2011@gmail.com

Abstract

The generation of longitudinal vortex to enhance the rate of heat transfer is a passive method that has been widely considered recently. This consideration is based on improving the energy efficiency and optimum design of a heat exchanger. Therefore, this study is focused on the experimental test and flow visualization of effects of longitudinal vortex generated from concave delta and rectangular winglet vortex generators on the increase of heat transfer rate. This is performed by draining the air inside the channel with variations in velocities ranging from 0.4 m/s - 2 m/s through a rectangular plate mounted with the vortex generators. The attack angle of the flow against the vortex generator is 15°. The flow visualization is performed by firing a laser beam on a cylindrical glass rod at certain locations to capture the longitudinal vortex formed on the cross-section plane. Inlet and outlet air temperatures and wall temperature are measured using the thermocouples. The results show that the longitudinal vortices are formed in the wake region of the vortex generators. By using the concave delta winglet, the heat transfer rate can be increased up to 51% and increased to 85% using the concave rectangular winglet.

Keywords: longitudinal vortex, concave delta winglet, concave rectangular winglet, convection coefficient and flow visualization.

PENDAHULUAN

Compact heat exchanger telah banyak digunakan pada pendingin AC dan refrigerasi, industri kimia, pembangkit listrik, otomotif dan lain-lain. Sehingga peningkatan performa compact heat exchanger adalah hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Performa ini dapat ditingkatkan dengan memperbesar nilai koefisien konveksi pada sisi gas. Salah satu caranya adalah dengan membangkitkan longitudinal vortex menggunakan vortex generator [1,2,3].

Longitudinal vortex ini mampu menimbulkan ledakan pada aliran, pemecahan aliran dan kecepatan aksial di daerah bebas aliran bisa lebih besar dari kecepatan di aliran utama [4]. Swirl yang muncul dari longitudinal vortex generator berakibat pada pencampuran antara fluida di dekat dinding dengan fluida di aliran utama [5,6]. Hal ini menyebabkan peningkatan perpindahan panas antara fluida panas dekat dinding dengan fluida dingin.

Penggunaan vortex generator untuk meningkatkan laju perpindahan panas pada evaporator fin-and-tube heat exchanger telah dilakukan secara eksperimental oleh Joardar dan Jacobi [7]. Modifikasi terhadap rectangular longitudinal vortex generator telah dipelajari secara eksperimen oleh Min dkk [8]. Tiga dimensi delta wing vortex generator digunakan untuk meningkatkan performa termal pada heat pipe telah diteliti oleh Aris dkk. [9]. Wu dan Tao mempelajari secara eksperimen dan numerik dampak yang diakibatkan dengan penggunaan delta winglet vortex generator terhadap perpindahan panas konveksi di dalam saluran segiempat [10]. Ya-Ling He dkk. mencoba untuk mempelajari secara numerik penggunaan rectangular winglet vortex generator pada evaporator jenis fin-and-tube heat exchanger merujuk pada eksperimen Joardar dan Jacobi [7] [11].

Rahmat dan Syaiful mempelajari efek orientasi sudut rectangular winglet vortex generator terhadap performa termal dan

hidrodinamik pada fin-and-tube heat exchanger [12]. Untuk meningkatkan laju perpindahan panas dengan pressure drop yang rendah, beberapa jenis vortex generator terbaru dikembangkan seperti yang dinyatakan oleh Zhou dan Feng [13]. Syaiful dkk. mengembangkan vortex generator terbaru dan meneliti secara eksperimen dan numerik efek concave vortex generator terhadap peningkatan perpindahan panas di dalam saluran segiempat [14]. Efek susunan dari delta winglet vortex generator terhadap peningkatan perpindahan panas diteliti secara eksperimen oleh Aliabadi dkk. [15].

Syaiful dkk. juga mencoba mempelajari efek sudut serang dari delta winglet vortex generator terhadap peningkatan perpindahan panas fin-and-tube heat exchanger untuk penggunaan EGR cooler melalui simulasi numerik [16]. Penelitian untuk mengetahui performa termal dan hidraulik dengan menggunakan vortex generator jenis terbaru juga dilakukan oleh Lotfi dkk. [17]. Penggunaan vortex generator pada pin fin heat sink dalam hubungannya terhadap peningkatan laju perpindahan panas dipelajari secara eksperimen dan numerik oleh Li dkk. [18]. Syaiful dkk. mempelajari secara eksperimen

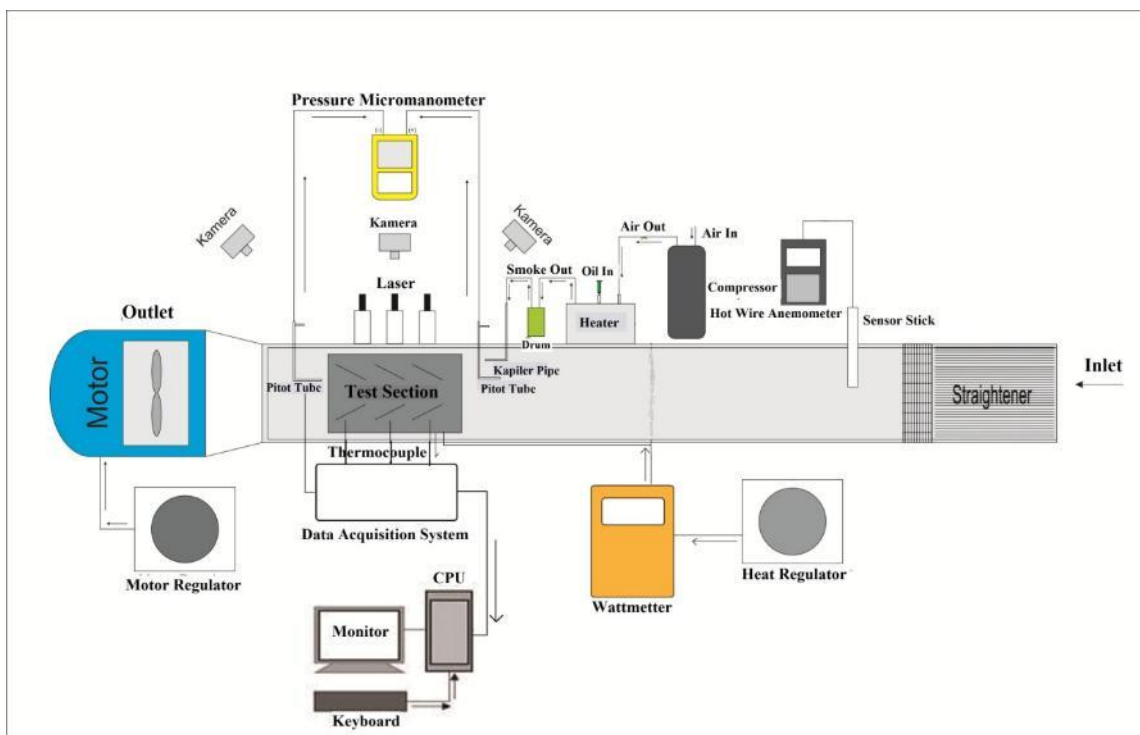
penggunaan concave rectangular winglet vortex generator dalam peningkatan perpindahan panas di dalam saluran segiempat [19].

Berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, penulis berkeinginan untuk melihat secara visual longitudinal vortex pada paper ini. Paper ini juga diperlihatkan perbedaan secara visual longitudinal vortex yang muncul dengan penggunaan vortex generator permukaan concave dan datar.

METODOLOGI PENELITIAN

Pelengkapan penelitian

Pengujian ini dilakukan di dalam sebuah saluran udara (*wind tunnel*) persegi panjang yang terbuat dari kaca dengan ketebalan 1 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Ukuran penampang saluran udara adalah 8 cm x 18 cm. Udara masuk melalui *straightener* yang berfungsi untuk menyeragamkan aliran udara. Sebuah *hot wire anemometer* (Lutron AM-4204, resolusi 0.1 m/det) dipasang 15 cm dibelakang *straightener* untuk mengukur kecepatan udara masuk. Temperatur udara masuk diukur menggunakan termokopel tipe K (akurasi 0,75%) yang terpasang diatasnya *hot wire anemometer*. Seksi uji diletakkan 3 m dari



Gambar 1. Skema alat pengujian

inlet dimana plat tanpa/dengan *vortex generator* dipasang. Tabung pitot dipasang pada bagian depan dan belakang dari seksi uji dan kemudian dihubungkan dengan sebuah mikromanometer (Fluke 922 dengan keakurasian 1%) untuk mengukur *pressure drop* aliran udara yang seksi uji. Beberapa termokopel tipe K dipasang dibagian belakang seksi uji dan di atas permukaan plat dari seksi uji untuk mengukur berturut-turut temperatur *outlet* dan temperatur permukaan. Beberapa termokopel ini kemudian dihubungkan dengan data akuisisi lalu ke komputer. Sebuah blower dengan motor dipasang pada bagian belakang untuk menghisap udara dengan dikontrol oleh motor regulator. Tiga buah laser pena yang ditembakkan di daerah seksi uji melalui tiga buah silinder transparan digunakan untuk menangkap longitudinal vortex pada bidang melintang arah aliran. Sebuah kamera dipasang pada bagian atas saluran udara miring di depan seksi uji untuk melihat secara visual pola aliran melalui plat dengan/tanpa vortex generator. Sebuah plat pemanas 35 W ditempelkan pada plat uji dengan wattmeter untuk mengontrol daya disuplai. Sebuah regulator pemanas dipasang untuk mengatur besarnya daya panas yang digunakan. Sebuah kompressor digunakan untuk mendorong cairan yang dipanaskan oleh sebuah pemanas. Uap cairan ini akan masuk

melalui nosel untuk memperlihatkan pola aliran melewati seksi uji.

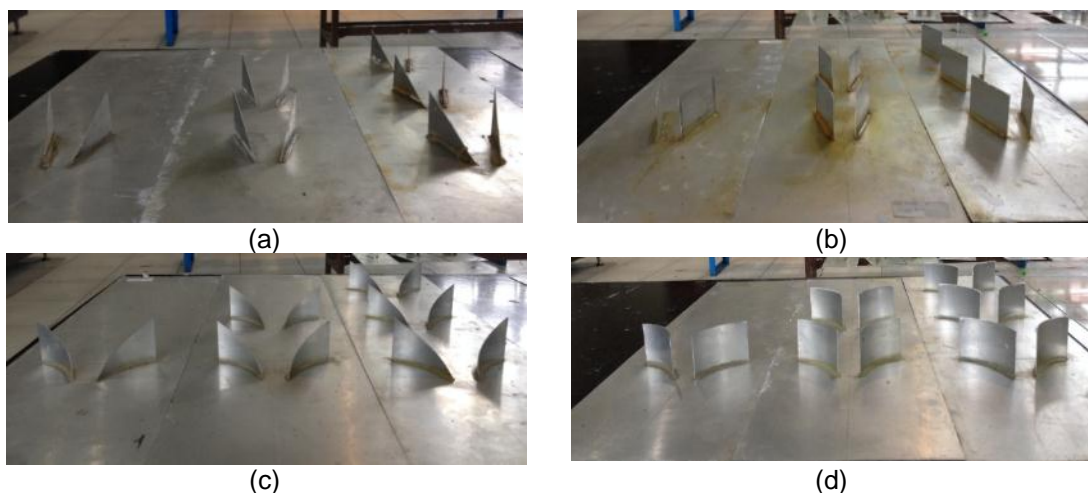
Spesimen pengujian

Pada pengujian ini jenis vortex generator adalah delta dan rectangular winglet serta concave delta dan concave rectangular winglet dengan tiga variasi jumlah baris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Delta dan concave delta winglet dengan 1, 2 dan 3 baris pasang vortex generator dengan sudut serang 15° ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 2 (a) dan (c). Sedangkan Gambar 2 (b) dan (d) mendemonstrasikan berturut-turut rectangular dan concave rectangular winglet vortex generator dengan 1, 2 dan 3 baris pasang untuk sudut serang yang sama. Tinggi vortex generator adalah 27 mm dengan panjang 60 mm. Jarak vortex generator dari bagian depan plat uji dan jarak antar vortex generator untuk jumlah 2 dan 3 baris adalah 125 mm. Jarak ujung depan antar dua vortex generator adalah 20 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen untuk mengetahui efek penggunaan concave delta dan rectangular vortex generator terhadap performa termal dan visualisasi aliran telah dilakukan. Visualisasi aliran ditampilkan untuk kasus plat tanpa vortex generator (baseline) dan dengan vortex generator jenis delta, concave delta, rectangular dan concave rectangular winglet. Performa termal direpresentasikan oleh nilai koefisien konveksi (h).

Visualisasi aliran

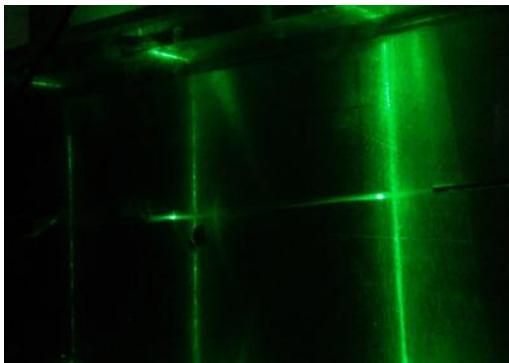


Gambar 2. Spesimen uji dengan vortex generator untuk (a) Delta winglet, (b) Rectangular winglet, (c) Concave delta winglet dan (d) Concave rectangular winglet

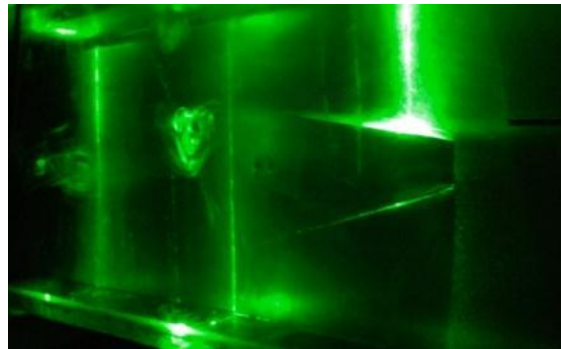
Gambar 3 menunjukkan pola aliran udara melewati baseline (plat tanpa vortex generator). Dari gambar ini dapat diamati bahwa aliran udara mengalir streamline tanpa adanya longitudinal vortex oleh karena tidak adanya vortex generator. Pola aliran ini dapat diperlihatkan dengan aliran asap yang lurus.

Gambar 4 memperlihatkan longitudinal vortex yang terbentuk di aliran bagian belakang dari sepasang delta winglet vortex generator.

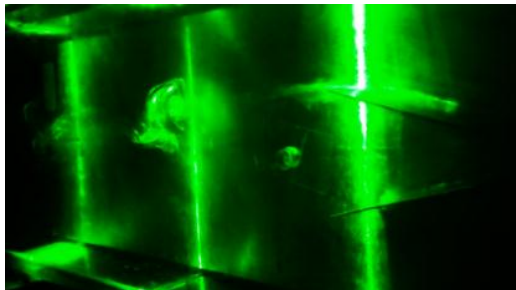
Dua longitudinal vortex teramati pada dua bidang melintang arah aliran. Bidang melintang aliran ini terbentuk ketika sinar laser ditembakkan pada silinder transparan berdiameter 5 mm diteruskan pada saluran udara, sehingga berbentuk seperti penampang saluran udara. Sayangnya, arah putaran longitudinal vortex tidak dapat dilihat dengan jelas. Timbulnya longitudinal vortex di bagian belakang aliran juga dinyatakan oleh Syaiful



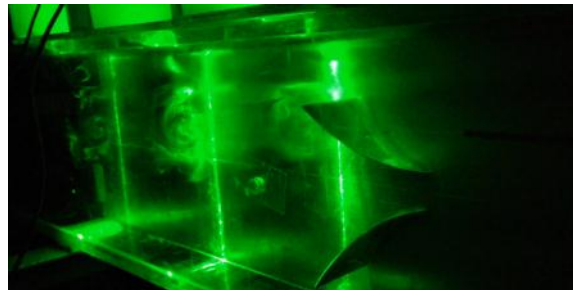
Gambar 3. Pola aliran udara melewati baseline



Gambar 4. Longitudinal vortex teramati pada aliran bagian belakang dari sepasang delta winglet vortex generator



Gambar 5. Longitudinal vortex teramati pada aliran bagian belakang dari sepasang rectangular winglet vortex generator



Gambar 6. Longitudinal vortex teramati pada aliran bagian belakang dari sepasang concave delta winglet vortex generator



Gambar 7. Longitudinal vortex teramati pada aliran bagian belakang dari sepasang concave rectangular winglet vortex generator

dkk. melalui simulasi numerik [14]. Longitudinal vortex ini semakin melemah dengan semakin jauh jaraknya terhadap lokasi vortex generator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini disebabkan salah satunya oleh adanya interaksi antara dua vortex yang berputar berlawanan (*counter-rotating*) [20].

Gambar 5 menunjukkan terbentuknya longitudinal vortex ketika aliran udara melewati sepasang rectangular vortex generator. Longitudinal vortex yang terbentuk dari rectangular winglet mempunyai radius yang lebih besar daripada longitudinal vortex yang terbentuk dari delta winglet. Hal ini mungkin disebabkan oleh lebih besarnya permukaan rectangular winglet vortex generator terhadap tumbukan aliran. Jika dibandingkan dengan longitudinal vortex yang dihasilkan dari delta winglet, kekuatan sirkulasi longitudinal vortex lebih lemah. Longitudinal vortex ini akan cepat melemah ketika semakin menjauh dari vortex generator oleh karena interaksi counter-rotating longitudinal vortex.

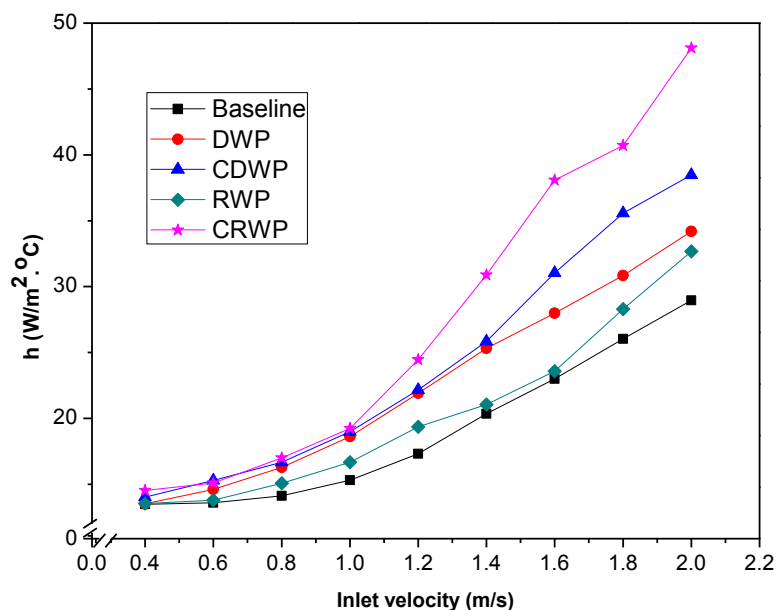
Dengan menggunakan concave delta winglet vortex generator, longitudinal vortex yang terbentuk berdiameter lebih besar dan lebih kuat dibandingkan dengan longitudinal vortex yang terbentuk dari delta winglet vortex generator seperti yang diekspresikan pada

Gambar 6. Hal ini disebabkan oleh karena ketidakstabilan gaya sentrifugal ketika aliran udara melewati permukaan cekung, sehingga kekuatan dan besarnya radius longitudinal vortex lebih besar [21]. Bahkan longitudinal vortex terbentuk di daerah *wake* dari vortex generator.

Dengan memasang concave rectangular winglet vortex generator, longitudinal vortex yang terbentuk mempunyai diameter yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan concave delta winglet vortex generator seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Selain itu longitudinal vortex yang terbentuk lebih banyak. Besarnya radius longitudinal vortex ini hingga menyentuh dinding saluran kecepatan vortex arah ke bawah (*downwash*) dan ke atas (*upwash*) menjadi semakin besar. Pelemahan longitudinal vortex terhadap jarak dari vortex generator lebih cepat oleh karena tingginya interaksi antar pasang longitudinal vortex (*counter-current*) dan interaksi dengan dinding saluran.

Performa termal

Performa termal dalam hal ini direpresentasikan dengan nilai koefisien perpindahan panas konveksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dari Gambar 8



Gambar 8. Perbandingan nilai koefisien konveksi untuk berbagai bentuk vortex generator dan baseline dengan variasi kecepatan udara masuk untuk sudut serang 15°

didapati bahwa koefisien perpindahan panas konveksi meningkat dengan meningkatnya kecepatan udara masuk. Dengan menggunakan vortex generator, nilai koefisien perpindahan panas konveksi meningkat pada kecepatan udara masuk yang sama. Hal ini disebabkan adanya longitudinal vortex generator yang dihasilkan dari vortex generator [5,6,12,14,16]. Longitudinal vortex ini menyebabkan pencampuran fluida panas dan dingin sehingga perpindahan panas jadi meningkat. Dari hasil eksperimen ini dapat diperoleh bahwa nilai koefisien perpindahan panas untuk kasus yang memasang sepasang delta winglet vortex generator (DWP) adalah lebih tinggi dibandingkan dengan yang memasang sepasang rectangular winglet vortex generator (RWP) pada kecepatan udara yang sama. Hal ini disebabkan oleh besarnya sirkulasi dari vortex yang terbentuk pada penggunaan DWP seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sebaliknya nilai koefisien perpindahan panas konveksi untuk kasus dengan menggunakan sepasang concave rectangular winglet (CRWP) adalah lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien perpindahan panas konveksi untuk kasus yang menggunakan sepasang concave delta winglet vortex generator (CDWP). Hal ini disebabkan adanya ketidakstabilan gaya sentrifugal yang lebih besar dari CRWP oleh karena luasan permukaan cekung yang lebih besar.

KESIMPULAN

Dari hasil visualisasi aliran dan eksperimen dapat disimpulkan bahwa longitudinal vortex dihasilkan oleh vortex generator di bagian belakang aliran (*downstream*). Longitudinal vortex melemah terhadap jarak dari vortex generator. Longitudinal vortex yang dihasilkan dari DWP lebih kuat sirkulasinya dengan radius vortex yang lebih kecil dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh RWP. Sebaliknya longitudinal vortex yang dihasilkan dari CRWP adalah lebih baik dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh CDWP. Performa termal terbaik ditunjukkan oleh CRWP dibandingkan dengan jenis vortex generator lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan dana DIPA yang diberikan oleh

Fakultas Teknik UNDIP, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penulis juga mengucapkan terimakasih pada Departemen Mesin UNDIP.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fiebig, A. Valencia and N. K. Mitra, 1993, *Wing-Type Vortex Generators for Fin-and-Tube Heat Exchangers*, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 7, pp. 287-295.
- [2] J. X. Zhu, M. Fiebig and N. K. Mitra, 1995, *Numerical investigation of turbulent flows and heat transfer in a rib-roughened channel with longitudinal vortex generators*, International Journal Heat and Mass Transfer, Vol. 38, No. 3, pp. 495-501.
- [3] A. M. Jacobi and R. K. Shah, 1995, *Heat Transfer Surface Enhancement through the Use of Longitudinal Vortices: A Review of Recent Progress*, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 11, pp. 295-309
- [4] Martin Fiebig, 1995, *Embedded vortices in internal flow: heat transfer and pressure loss enhancement*, International Journal Heat and Fluid Flow, Vol.16, pp. 376-388
- [5] J.M. Wu and W.Q. Tao, 2008, *Numerical study on laminar convection heat transfer in a rectangular channel with longitudinal vortex generator. Part A: Verification of field synergy principle*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 51, pp. 1179-1191.
- [6] J.M. Wu and W.Q. Tao, 2008, *Numerical study on laminar convection heat transfer in a channel with longitudinal vortex generator. Part B: Parametric study of major influence factors*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 51, pp. 3683-3692.
- [7] A. Joardar and A.M. Jacobi, 2008, *Heat transfer enhancement by winglet-type vortex generator arrays in compact plain-fin-and-tube heat exchangers*, International Journal of Refrigeration, Vol. 31, pp.87-97.
- [8] Chunhua Min, Chengying Qi, Xiangfei Kong and Jiangfeng Dong, 2010, *Experimental study of rectangular channel with modified rectangular longitudinal vortex generators*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, pp.3023-3029.

- [9] M.S. Aris, R. McGlen, I. Owen and C.J. Sutcliffe, 2011, *An experimental investigation into the deployment of 3-D, finned wing and shape memory alloy vortex generators in a forced air convection heat pipe fin stack*, Applied Thermal Engineering, Vol. 31, pp. 2230-2240.
- [10] J.M. Wu and W.Q. Tao, 2012, *Effect of longitudinal vortex generator on heat transfer in rectangular channels*, Applied Thermal Engineering, Vol. 37, pp. 67-72.
- [11] Ya-Ling He, Pan Chu, Wen-Quan Tao, Yu-Wen Zhang dan Tao Xie, 2013, *Analysis of heat transfer and pressure drop for fin-and-tube heat exchangers with rectangular winglet-type vortex generators*, Applied Thermal Engineering, Vol. 61, pp. 770-783.
- [12] Rahmat Purnomojati dan Syaiful, 2014, *Efek Orientasi Sudut Rectangular-Winglet Vortex generator Terhadap Performa Termal dan Hidrodinamik Penukar Kalor Jenis Fin-Tube dengan Susunan Pipa Sejajar*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIII (SNTTM XIII), Depok, 15 – 16 Oktober 2014
- [13] Guobing Zhou dan Zhizheng Feng, 2014, *Experimental investigations of heat transfer enhancement by plane and curved winglet type vortex generators with punched holes*, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 78, pp. 26-35.
- [14] Syaiful, Rochman Jalil, Imam Hambali dan Myung-whan Bae, 2015, *Numerical Simulation of Concave Delta Winglet Vortex Generator Effect on Heat Transfer Augmentation in Airflow inside A Channel*, Proceedings of the Seventh International Symposium on Mechanics, Aerospace and Informatics Engineering, Jinju, Korea, September 17 ~ 19, 2015.
- [15] M. Khoshvaght-Aliabadi, O. Sartipzadeh dan A. Alizadeh, 2015, *An experimental study on vortex-generator insert with different arrangements of delta-winglets*, Energy, Vol. 82, pp. 629-639.
- [16] Syaiful, Geny Reviansyah dan Myung-whan Bae, 2016, *Attack Angle Effect of Concave Delta Winglet Vortex Generator on Heat Transfer Augmentation in Fin-and-Tube Heat Exchanger for EGR Cooler Application by Numerical Simulation*, FISITA 2016 World Automotive Congress, 26-30 September 2016, Busan, Korea.
- [17] Babak Lotfi, Bengt Sundén dan Qiuwang Wang, 2016, *An investigation of the thermo-hydraulic performance of the smooth wavy fin-and-elliptical tube heat exchangers utilizing new type vortex generators*, Applied Energy, Vol. 162, pp. 1282–1302.
- [18] Hung-Yi Li, Wan-Rong Liao, Tian-Yang Li dan Yan-Zuo Chang, 2017, *Application of vortex generators to heat transfer enhancement of a pin-fin heat sink*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 112, pp.940–949.
- [19] Syaiful, Gladys Sugiri, Maria F. Soetanto dan Myung-whan Bae, 2017, *Effect of concave rectangular winglet vortex generator on convection coefficient of heat transfer*, American Institute of Physics, 1788.
- [20] KeWei Song dan LiangBi Wang, 2016, *Effects of longitudinal vortex interaction on periodically developed flow and heat transfer of fin-and-tube heat exchanger*, International Journal of Thermal Sciences, Vol. 109, pp.206-216.
- [21] Vinicius Malatesta, Leandro F. Souza, Joseph T. C. Liu dan Markus J. Kloker, 2015, *Heat transfer analysis in flow over concave wall with primary and secondary instabilities*, Procedia IUTAM, Vol.14, pp.487 – 495.