

Efek Sudut Serang Concave Delta Winglet Vortex Generators Terhadap Kenaikan Laju Perpindahan Panas Di Dalam Aliran Fluida

Syaiful*, MSK Tony Suryo Utomo, Hengky Dwi Febriandy

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, Kampus Teknik Mesin UNDIP, Tembalang, Semarang

*E-mail: syaiful.undip2011@gmail.com

Abstract

Fin and tube heat exchanger is one of the compact heat exchangers used in various applications, such as in petroleum industry, chemical industry, HVAC industry and automotive industry. Therefore, an increase in thermal performance in heat exchangers is necessary. One way to improve the thermal performance of a heat exchanger is to increase the convection heat transfer coefficient on the fluid. In the present study, experiments were conducted to find out some parameters that affect heat transfer improvement. Experimental was performed by installing vortex generators at attack angles of 15°, 30° and 45° with one, two and three rows in a rectangular channel. In this experiment, concave delta winglet vortex generators (CDW VGs) and without vortex generator (baseline) were investigated. The velocity of air entering into a rectangular channel was determined in the range of 0.4-2.0 m/s with an interval of 0.2 m/s with a constant heat rate of 35 W on the plate where the vortex generators were mounted. In the case of three rows of DWP VG with a 45° attack angle, the average convection heat transfer coefficient increases 1.68 times more than that of the baseline. In the case of three rows of CDWP VGs with a 45° attack angle, the average convection heat transfer coefficient increases 1.76 times greater than that for the three rows of DWP VG.

Keywords: Attack angle; Concave delta winglet; Vortex generator; Convection coefficient; Pressure drop

Abstrak

Fin and tube heat exchanger adalah salah satu penukar kalor compact yang digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada industri petroleum, industri kimia, industri HVAC dan industri otomotif. Oleh karena itu peningkatan performa termal pada heat exchanger perlu untuk dilakukan. Salah satu cara untuk meningkatkan performa termal pada heat exchanger adalah dengan meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi pada fluida. Pada studi sekarang ini, eksperimen dilakukan untuk mengetahui beberapa parameter yang mempengaruhi perbaikan perpindahan panas. Eksperimental dilakukan dengan memasang vortex generators pada sudut serang 15°, 30° dan 45° dengan susunan satu, dua dan tiga baris di dalam saluran persegi empat. Pada eksperimen ini, concave delta winglet vortex generators (CDW VGs) dan tanpa vortex generator (baseline) diinvestigasi. Kecepatan udara masuk ke dalam saluran persegi empat ditentukan pada rentang 0.4-2.0 m/s dengan interval 0.2 m/s dengan laju panas konstan 35 W pada plat dimana vortex generators ditempelkan. Pada kasus tiga baris DWP VG dengan sudut serang 45°, koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata meningkat 1,68 kali lebih besar daripada baseline. Sedangkan pada kasus tiga baris CDWP VGs dengan sudut serang 45°, koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata meningkat 1,76 kali lebih besar daripada tiga baris DWP VG.

Kata kunci: Sudut serang; Concave delta winglet; vortex generator; Koefisien konveksi; Pressure drop

1. Pendahuluan

Tube-fin heat exchangers banyak digunakan pada proses petroleum, industri kimia, industri HVAC dan industri otomotif. Pada umumnya, penerapan penukar panas ini melibatkan baik suhu atau perubahan fasa [1]. Salah satu cara untuk meningkatkan perpindahan panas dengan menggunakan vortex generator. Vortex generator tidak hanya berfungsi mengganggu aliran dan pertumbuhan lapisan batas termal, tetapi juga menghasilkan *longitudinal vortex* yang dapat memicu perputaran aliran fluida [2]. Jiong Li dkk. [3] melakukan penelitian mengenai *vortex generator* jenis fin yang didesain untuk menciptakan longitudinal vortices dengan meningkatkan tingkat turbulensi, penelitian tersebut menghasilkan performa perpindahan panas yang lebih baik. M. Fiebig dkk. [4] melakukan penelitian secara numerik

dan eksperimental yang menunjukkan bahwa vortex jenis longitudinal menghasilkan peningkatan perpindahan panas yang lebih baik daripada vortex transversal.

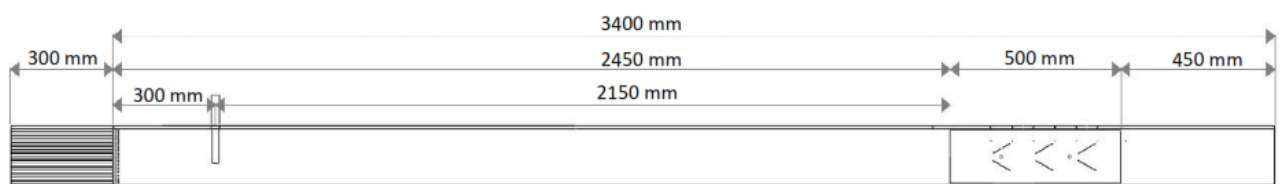
Semakin besar bilangan Reynolds maka koefisien perpindahan panas konveksi semakin besar. Hal ini disebabkan karena intensitas turbulensi semakin tinggi dan mengakibatkan selisih antara temperatur base dengan temperatur ambient semakin kecil [5] S.M. Pesteei dkk. [6] melakukan penelitian mengenai pengaruh dari letak vortex generator jenis winglet terhadap perpindahan panas. Pada penilitan ini, bilangan Nusselt berhasil ditingkatkan 46%. Zhu dkk. [7] melakukan percobaan dengan menggunakan vortex generator jenis rectangular winglet, bilangan Nusselt rata-rata berhasil ditingktakan hampir 450 %. M.C.Gentry dkk. [8] melakukan penelitian terhadap delta winglet vortex generator dengan sudut serang 40°. Pada hasil penelitian ini, perpindahan panas rata-rata berhasil ditingkatkan 50%. J.M. Wu dkk.[9] melakukan penelitian terhadap 2 vortex generator jenis delta winglet dengan diameter berbeda. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan bilangan Nusselt sebesar 15–18% dan 17–21% terhadap baseline . M.A.M.S. Shoshe dkk. [10] menganalisa delta winglet vortex generator dengan sudut serang 25°, 30°, 35°,40°. Hasil penelitian yang dilakukan M.A.M.S. Shoshe dkk menunjukkan peningkatan perpindahan panas rata-rata dengan nilai terbesar 205.7%. Michael J. Lawson dkk [11-13] menganalisa vortex generator jenis delta wing. Pada penilitan ini, perpindahan panas dapat ditingkatkan namun mengakibatkan penurunan tekanan terhadap baseline. Munish Gupta dkk. [14] melakukan penelitian vortex generator berjenis rectangular winglet dengan sudut serang 20°, 26° dan 37°. Pada hasil penilitian Munish Gupta dkk, bilangan Reynold meningkat 100% terhadap baseline. Chi-Chuan Wang dkk. [15] menganalisa delta winglet vortex generators pada fin-and-tube heat exchanger. Mereka berhasil meningkatkan bilangan Reynold 10–65% terhadap baseline. S.R. Hiravennavar dkk [16] melakukan penilitian terhadap vortex generator tipe winglet. Hasil penelitian menunjukkan perpindahan panas dapat ditingkatkan 67%. Syaiful dkk [17] melakukan eksperimen terhadap vortex generator jenis delta winglet dan concave delta winglet. Perpindahan panas dapat ditingkatkan 69,6% untuk jenis DWP dan 96% untuk jenis CDWP. Jiin-Yuh Jang dkk[18] melakukan penelitian vortex generator jenis rectangular winglet pada plate-fin and tube heat exchanger. Pada penelitian ini, bilangan Reynold meningkat antara 400–1200. A. Joardardkk[19]. meneliti terhadap vortex generator jenis winglet. Hasil penilitan Joardar dkk menunjukkan koefisien perpindahan dapat ditingkatkant 16.5-44% .Chunhua Min dkk [20] melakukan penelitian terhadap longitudinal vortex yang dihasilkan rectangular winglet. Hasil penilitian ini, perpindahan panas dapat ditingkatkan 104% terhadap baseline.

Pengujian eksperimental ini menggunakan vortex generator bertipe concave delta winglet yang dialiri aliran udara pada rectangular channel. Kecepatan udara masuk diatur sebesar 0.4-2.0 m/s dengan interval 0.2 m/s, dan suplai pemanas konstan 35 Watt. Concave delta winglet menggunakan sudut serang (α) : 15°, 30° dan 45° serta jumlah susunan 1 baris, 2 baris, dan 3 baris. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut serang dan jumlah baris vortex generator terhadap peforma perpindahan panas.

2. Skema Alat Pengujian dan Metode Penilitan

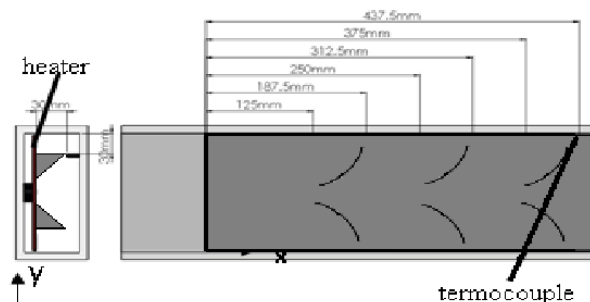
2.1. Rectanguar Channel

Pengujian ini dilakukan pada rectangular channel yang terbuat dari kaca dan dilengkapi dengan blower, pipa kapiler, heater, serta anemometer. geometri rectangular channel ditunjukkan pada Gambar 1.



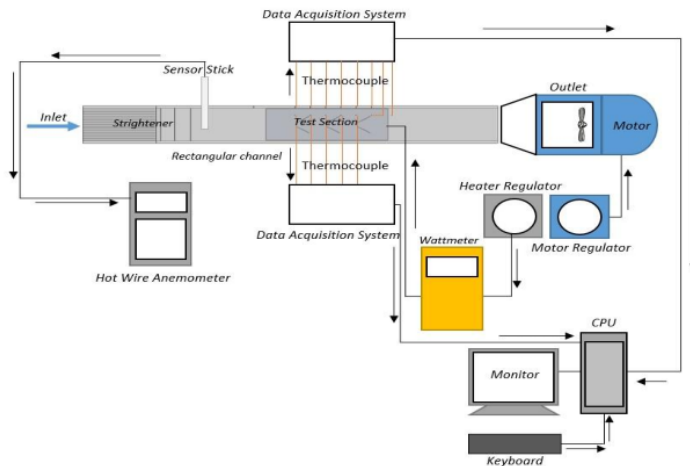
Gambar 1. Konfigurasi letak hot wire anemometer dan test section

Blower yang terpasang pada rectangular channel memiliki fungsi sebagai penghisap udara, yang mengatur varisai kecepatan udara pada sisi masuk (inlet) antara 0.4 -2.0 m/s dengan interval 0.2 m/s. Temperatur plat dibaca oleh sensor termokopel yang diletakkan pada titik-titik tertentu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram pemasangan termokopel pada alat pengujian

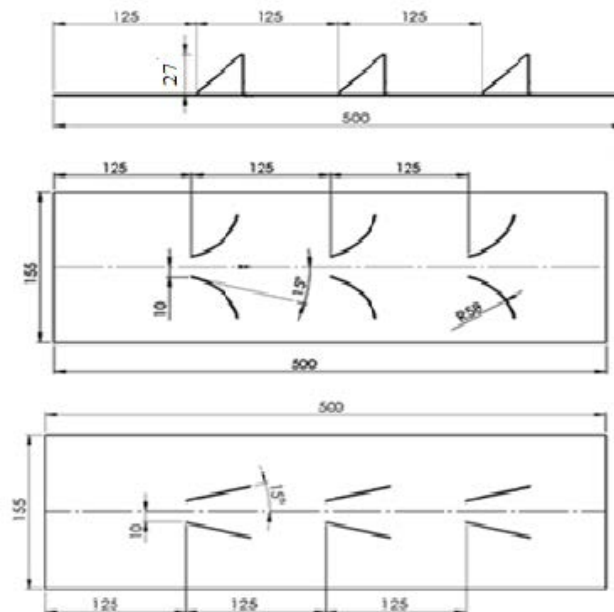
Diagram skematik alat eksperimental ditunjukkan Gambar 3. Heater atau pemanas berfungsi untuk memanaskan plat dimana plat dijaga dalam kondisi steady dengan daya konstan 35 Watt. Lubang anemometer berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan sensor anemometer, sehingga kecepatan udara dapat diatur dengan blower. Anemometer ini juga berfungsi untuk mengetahui nilai temperatur pada sisi inlet. Wattmeter berfungsi mengatur besar kecilnya daya pada heater. Termokopel berfungsi sebagai sensor yang membaca suhu. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berada dalam keadaan steady dan memiliki ketelitian yang berbeda-beda. Hot wire anemometer memiliki ketelitian $\pm 0,1^\circ\text{C}$, wattmeter memiliki ketelitian ± 1 Watt, termokopel berada dalam keadaan steady $54^\circ\text{-}55^\circ\text{C}$ dengan ketelitian $\pm 1^\circ\text{C}$.



Gambar 3. Diagram skematik alat eksperimental.

2.2. Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan terbuat dari plat aluminum dengan dimensi 500x155 mm. Vortex generator yang dipasang pada plat memiliki tinggi 27 mm dengan jarak antar vortex generator 125 mm. Pengujian ini menggunakan vortex generator jenis concave delta winglet dengan variasi sudut serang 15° , 30° dan 45° serta jumlah baris 1, 2 dan 3 baris. Spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model spesimen uji (dalam mm)

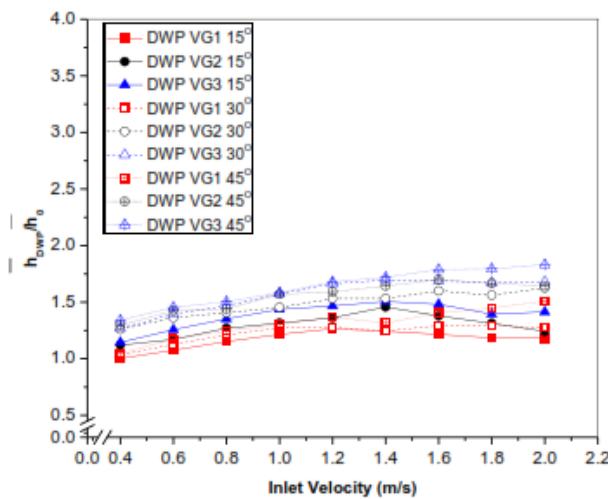
2.3. Prosedur Pengujian

Tahap pertama dalam pengujian ini adalah melakukan pemodelan delta winglet vortex generator dan concave delta winglet vortex generator dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, yang bertujuan untuk memudahkan pembuatan spesimen uji. Setelah spesimen uji dibuat, alat uji dan alat ukur berupa rectangular channel, anemometer, blower, watt meter, heater, perangkat komputer, regulator, data akuisisi, dan termokopel dipersiapkan. Kemudian spesimen uji dipanaskan dengan menggunakan heater yang diatur dengan daya konstan 35 watt sampai suhu steady yaitu antara 54°C - 55°C . Setelah vortex generator mencapai kondisi steady, udara dialirkan melalui regular channel

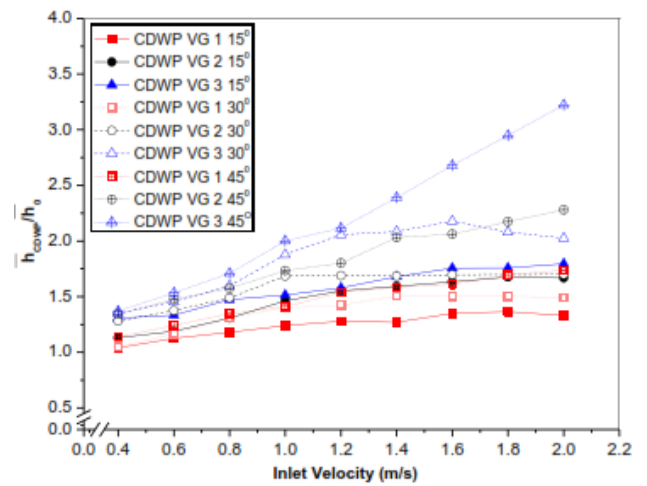
dengan variasi kecepatan 0.4 m/s- 2.0 m/s. Data temperatur inlet diambil setiap interval kecepatan 0.2 m/s. Dalam penelitian ini, vortex generator yang digunakan memiliki variasi sudut serang (α) 15°, 30° dan 45°.

3. Hasil dan Pembahasan

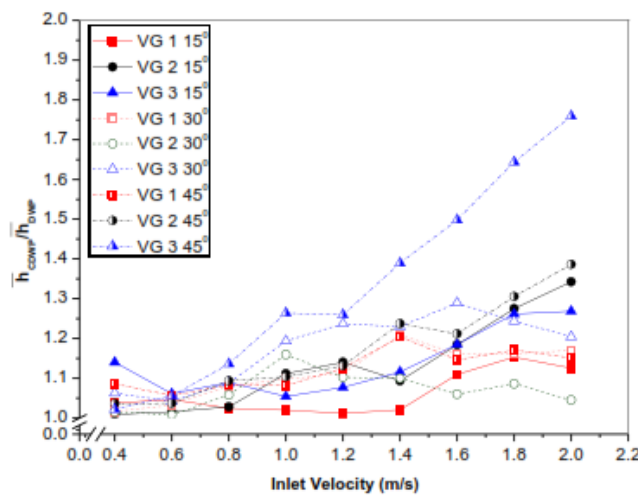
Gambar 5. menunjukkan pebandingan koefisien perpindahan panas konveksi dengan berbagai sudut serang pada rentang kecepatan masuk 0,4 m/det sampai 2 m/det. Gambar 5(a) memperlihatkan rasio koefisien konveksi untuk kasus plat dengan DWP VG dengan baseline. Dari Gambar 5(a) ini teramati bahwa nilai koefisien konveksi untuk plat dipasang DWP VG nilainya diatas satu. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan DWP VG dapat memperbaiki laju perpindahan panas dibandingkan tanpa menggunakan VG (baseline). Nilai koefisien konveksi meningkat 1,18 kali terhadap baseline pada plat yang dipasang sepasang DWP VG pada kecepatan udara masuk 2 m/det dengan sudut serang 15°. Dengan memasang 3 pasang DWP VG, koefisien konveksi menjadi 1,4 kali lebih besar dibandingkan baseline pada kecepatan udara masuk maksimum pada sudut serang 15°. Hal ini disebabkan oleh adanya longitudinal vortex yang dibangkitkan oleh VG mempertinggi pencampuran fluida yang berakibat pada kenaikan perpindahan panas. Pada sudut serang 30°, laju perpindahan panas meningkat hingga 1,68 kali terhadap baseline untuk plat dipasang 3 pasang DWP VG pada kecepatan masuk 2 m/det. Nilai perpindahan panas ini meningkat hingga 1,83 kali lebih besar daripada baseline pada kecepatan masuk maksimum dengan sudut serang 45°. Tendensi serupa ditunjukkan oleh Gambar 5(b), nilai koefisien konveksi meningkat hingga 2,28 kali lebih besar daripada baseline pada sudut serang 45° untuk pemasangan 3 CDWP VG. Penggunaan CDWP VG 3 pasang dengan sudut serang 45 mampu memperbaiki laju perpindahan panas 1,76 kali lebih tinggi daripada 3 pasang DWP VG dengan sudut serang yang sama pada kecepatan masuk 2 m/det.



(a) Nilai koefisien konveksi untuk kasus dengan menggunakan DWP relative terhadap baseline



(b) Nilai koefisien konveksi untuk kasus dengan menggunakan CDWP relative terhadap baseline



(c) Nilai koefisien konveksi untuk kasus dengan menggunakan CDWP relative terhadap DWP

Gambar 5. Nilai koefisien perpindahan panas konveksi untuk vortex generator jenis DWP dan CDWP relatif terhadap baseline pada berbagai variasi sudut serang dan kecepatan masuk

4. Kesimpulan

Penggunaan CDWP VG untuk perbaikan perpindahan panas lebih baik dibandingkan dengan penggunaan DWP VG. Perbaikan perpindahan panas dengan memasang 3 baris CDWP VG 1,76 kali lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan 3 pasang DWP VG pada kecepatan udara masuk maksimum 2 m/s.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada rekan-rekan penelitian di Laboratorium Thermofluida. Ucapan terimakasih utamanya ditujukan pada Departemen Teknik Mesin UNDIP atas bantuan dana yang diberikan sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Allison, C.B., Dally, B.B., 2007, Effect of a delta-winglet vortex pair on the performance of a tube-fin heat exchanger, School of Mechanical Engineering, University of Adelaide, SA 5005, Australia
- [2] Hiravennavar, S.R., Tulapurkara, E.G., Biswas, G., 2006, A note on the flow and heat transfer enhancement in a channel with built-in winglet pair, Department of Aerospace Engineering and Department of Mechanical Engineering, IIT Madras, Chennai 600036, India
- [3] Jiong Li, Shuangfeng Wang, Jinfang Chen, Yong-Gang Lei, 2011, Numerical study on a slit fin-and-tube heat exchanger with longitudinal vortex generators, Key Lab. of Enhance Heat Transfer and Energy Conversion, Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, PR China
- [4] Fiebig, M., Valencia, N., Mitra, K., Wing-Type Vortex Generators for Fin-and-Tube Heat Exchangers, Elsevier Science Publishing Co., Inc., 655 Avenue of the Americas, New York, NY 10010
- [5] Yunianto, B., 2008, Pengujian Perpindahan Panas Konveksi Pada Heat Sink Jenis Extrude, Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP
- [6] S.M. Pesteei a, P.M.V. Subbarao b, R.S. Agarwal, 2004, Experimental study of the effect of winglet location on heat transfer enhancement and pressure drop in fin-tube heat exchangers, Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Orumiyeh, 0441, Iran
- [7] Zhu, J.X., Fiebig, M., Mitra, N.K., 1995, Numerical investigation of turbulent flows and heat transfer in a rib-roughened channel with longitudinal vortex generators, Int. J. Heat Mass Transfer 38 (3), 495-501.
- [8] Gentry, M.M.C., Jacobi, A.M., 1997, Heat Transfer Enhancement by Delta-Wing Vortex Generators on a Flat Plate: Vortex Interactions with the Boundary Layer, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801, USA 1997; 14:231-242.
- [9] J.M. Wua, W.Q. Tao, Impact of delta winglet vortex generators on the performance of a novel fin-tube surfaces with two rows of tubes in different diameters, State Key Laboratory for Mechanical Structural Strength and Vibration and School of Energy and Power Engineering, School of Aerospace, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China
- [10] M.A.M.S. Shoshe, R. Ahmed and M.A.R. Sarkar, 2014, Heat Transfer Augmentation in Turbulent Flow through a Circular Tube with Delta Winglet Vortex Generators, Department of Mechanical Engineering Bangladesh University of Engineering & Technology, Dhaka 1000, Bangladesh
- [11] Michael Lawson, Practical Applications of Delta Winglet Vortex Generators in Compact Heat Exchangers with Louvered Fins, 2006, Blacksburg, Virginia
- [12] Michael J. Lawson and Karen A. Thole, 2006, Heat Transfer Augmentation along the Tube Wall of a Compact Louvered Fin Heat Exchanger Using Delta Winglets with Simulated Piercings, Mechanical Engineering Department Virginia Tech Blacksburg, VA 24061
- [13] Michael J. Lawson, Paul A. Sanders, and Karen A. Thole, 2006, Computational and Experimental Comparisons of Tube Wall Heat Transfer Augmented by Winglets in Louvered Fin Heat Exchanger, Mechanical Engineering Department Virginia Tech Blacksburg, VA 24061
- [14] Munish Gupta, Prof. K.S. Kasana, Dr. V.K. Bajpai, 2010, Numerical Study of Heat Transfer Enhancement in a Plate-Fin Heat Exchanger Using Rectangular Winglet Type Vortex Generator, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology (Institution of National Importance) KURUKSHETRA-136119, INDIA.
- [15] Chi-Chuan Wang a,*, Jerry Lo b, Yur-Tsai Lin b, Chung-Szu Wei, 2002 Flow visualization of annular and delta winglet vortex generators in fin-and-tube heat exchanger application, Energy and Resources Laboratories and Industrial Technology Research Institute, Bldg. 64, 195-6 Section 4, Chung Hsing Road, Chutung, Hsinchu, 310, Taiwan
- [16] S.R. Hiravennavar a, E.G. Tulapurkara, G. Biswas, 2005, A note on the flow and heat transfer enhancement in a channel with built-in winglet pair, Department of Aerospace Engineering, IIT Madras, Chennai 600036, India
- [17] Syaiful, Rochman Jalil, Imam Hambali, Myung-whan Bai, 2015, Effect of Concave Delta Winglet Vortex Generator on Thermal Characteristic of Airflow Inside a Channel by Numerical Simulation, proceedings of seventh international symposium on mechanics, aerospace and informatics engineering 2015 [SMAI10-SL-01]

- [18] Jiin-Yuh Jang, Ling-Fang Hsu, Jin-Sheng Leu, 2012, Optimization of the span angle and location of vortex generators in a plate-fin and tube heat exchanger Department of Mechanical Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan 70101, Taiwan
- [19] A. Joardar1, A.M. Jacobi, 2008, Heat transfer enhancement by winglet-type vortex generator arrays in compact plain-fin-and-tube heat exchangers, Department of Mechanical Science and Engineering, University of Illinois, Urbana-Champaign, 2125 Mechanical Engineering Laboratory, MC-244, 1206 West Green Street, Urbana, IL 61801, United States
- [20] Chunhua Min, Chengying Qi, Enyu Wang, Liting Tian, Yaju Qin, 2010, Numerical investigation of turbulent flow and heat transfer in a channel with novel longitudinal vortex generators, School of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, PR China