

# SIMULASI NUMERIK PENINGKATAN PERPINDAHAN PANAS MENGUNAKAN CONCAVE DELTA WINGLET VORTEX GENERATORS DI DALAM PENUKAR KALOR JENIS FIN-AND-TUBE

Syaiful<sup>1\*</sup>, Abdul Rohman Salam<sup>2</sup>

Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang,  
Jl. Prof. Sudarto, Tembalang

\*[syaiful.undip2011@gmail.com](mailto:syaiful.undip2011@gmail.com).

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari penggunaan vortex generator terhadap karakteristik termal penukar kalor jenis plain fin and tube menggunakan simulasi numerik. Concave delta winglet pairs (CDWPs) digunakan sebagai vortex generator. Karakteristik termal diperoleh dengan membandingkan fin yang menggunakan CDWPs dengan yang tanpa menggunakan vortex generator serta membandingkan penggunaan perbedaan jumlah pasangan *vortex generator*. Aliran udara di dalam saluran fin diasumsikan sebagai fluida *incompressible* dan laminar yang mana bilangan Reynolds berada pada rentang 280 sampai dengan 960. 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  $h_{CDWPs}/h_{DWP}$  dari fin yang menggunakan 1, 3, dan 7 VGs berturut-turut berkisar antara 1,06-1,1; 1,1-1,4; dan 1,2-1,4.

**Kata kunci:** Koefisien konveksi, Concave delta winglet, vortex generator, fin-and-tube, simulasi numerik

## ABSTRACT

*The aim of this study is to investigate an effect of vortex generator (VG) on thermal characteristics of fin-and-tube heat exchanger using numerical simulation. Concave delta winglet pairs (CDWPs) was used as a vortex generator. Thermal characteristics was obtained by comparing the fin using CDWPs with fin without using vortex generator (baseline) and comparing the use of difference number of VG pairs. Airflow inside the gap of fin was assumed as incompressible and laminar in which the Reynolds number was in the range of 280 to 960. The results show that the convection heat transfer coefficient for fin mounted by 1,3 and 7 CDWPs increase approximately 7.4 – 23.9%, 18.6 – 60.6% and 41 – 100%, respectively compared with the baseline case. The ratio of  $h_{CDWPs}$  and  $h_{DWP}$  of fin mounted by 1,3 and 7 VGs are approximately 1.06 – 1.1, 1.1 – 1.4 and 1.2 – 1.4, respectively.*

**Keywords:** Convection coefficient, Concave delta winglet vortex generator, fin-and-tube, numerical simulation

## PENDAHULUAN

Penukar kalor jenis compact banyak digunakan untuk HVAC, otomotif, refrigerasi, pembangkit listrik, industri kimia dan lain sebagainya. Fin-and-tube merupakan salah satu jenis penukar kalor compact dimana salah satu fluida perpindahan panas adalah gas. Oleh karena rendahnya konduktifitas panas sisi gas berakibat pada tingginya hambatan panasnya. Oleh karena itu diperlukan peningkatan

koefisien perpindahan panas sisi gas dengan memanipulasi aliran menggunakan turbulator atau vortex generator (VG).

Peningkatan koefisien perpindahan panas menggunakan vortex generator telah dipaparkan oleh Jacobi and Shah (A. M. Jacobi dan R. K. Shah, 1995). 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. Pada tahun 1997, Gentry dan Jacobi meneliti peningkatan perpindahan panas dengan menggunakan vortex generator jenis delta-wing (M. C. Gentry dan A. M. Jacobi, 1997).

Pengukuran momentum dan transport panas di aliran turbulen di dalam sebuah saluran dengan adanya pembangkit vortex longitudinal telah dilakukan oleh Lau dkk (Susanne Lau dkk, 1999). Wang dkk telah memvisualisasikan aliran melewati VG jenis gelombang pada fin-tube dengan pipa tersusun searah (Chi-Chuan Wang dkk, 2002). Analisis perpindahan panas dan aliran fluida pada penukar kalor jenis fin-tube dengan adanya VG telah dilakukan oleh Leu dkk (Jin-Sheng Leu, 2004). Joardar dan Jacobi telah mempelajari efek penggunaan VG jenis delta winglet pada penukar kalor jenis fin-and-tube untuk aplikasi refrigerasi (A. Joardar dan A.M. Jacobi, 2008).

Penelitian tentang penggunaan VG yang menghasilkan vortex longitudinal pada penukar kalor jenis fin-and-tube menggunakan simulasi numerik telah dilakukan oleh Li dkk. (Jiong Li dkk, 2011). Analisis perpindahan panas dan kerugian tekanan pada penukar kalor jenis fin-and-tube menggunakan VG jenis rectangular secara numerik telah dikerjakan oleh He dkk. (Ya-Ling He dkk, 2013).

Zhou dan Feng meneliti secara eksperimen peningkatan perpindahan panas dengan menggunakan VG jenis winglet berbentuk datar dan lengkung yang dipasang dengan melubangi permukaan (Guobing Zhou dan Zhizheng Feng, 2014). Salviano dkk. mengoptimasi posisi dan sudut serang VG jenis winglet pada penukar kalor jenis plate-fin (Leandro O dkk, 2015).

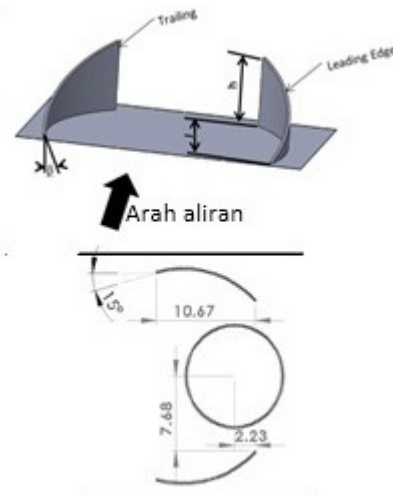
Berdasarkan studi literatur di atas, penelitian ini mencoba untuk mengembangkan VG jenis winglet berbentuk kurva seperti yang dilakukan oleh Zhou dan Feng. Akan tetapi, penelitian ini berusaha mengungkap efek sisi cekung (concave) dari VG jenis delta winglet terhadap peningkatan perpindahan panas.

## MODEL FISIK

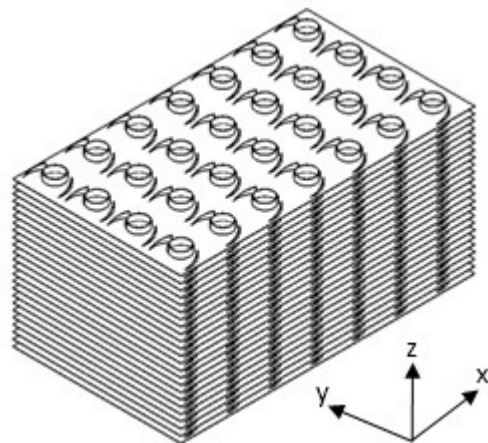
Pada penelitian ini, VG jenis concave delta winglet dipasang pada sisi sirip dari penukar kalor jenis fin-and-tube yang digunakan dalam proses refrigerasi seperti

yang tertera pada penelitian Joardar dan Jacobi [6]. Ukuran fin dan gap antar fin dibuat sama dengan yang di [6]. Jadi perbedaan penelitian ini dan penelitian Joardar dan Jacobi terletak pada jenis VG nya. Geometri VG jenis CDW dapat diperlihatkan pada Gambar 1. VG jenis CDW dalam penelitian ini mempunyai aspect ratio,  $\Lambda = 1,31$  dan sudut serang,  $\beta = 15^\circ$ . Jari-jari kelengkungan permukaan cekungnya 11 mm. Pemasangan VG jenis CDW di dalam penukar kalor jenis fin-and-tube dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.

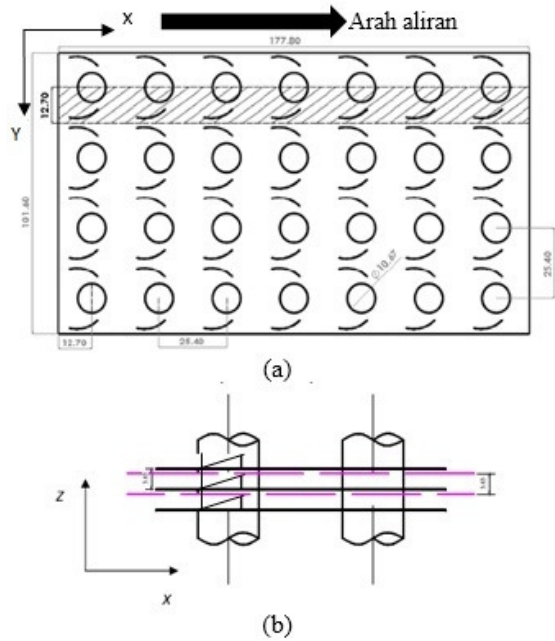
Untuk melakukan pemodelan aliran udara di ruang antar fin pada penukar kalor jenis fin-and-tube seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2, daerah pemodelan dipilih untuk 1 ruang antar fin dengan VG di dalamnya. Daerah pemodelan ini tidak digunakan semua, akan tetapi dipilih pada daerah tertentu yang dapat mewakili seluruh



Gambar 1 Geometri VG jenis CDW



Gambar 2 Skema penukar kalor fin-and-tube dengan VG jenis CDW yang terpasang

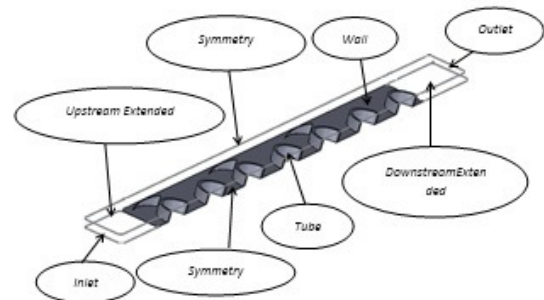


Gambar 3 Daerah asal pemodelan; a. Tampak atas dan b. Tampak samping

daerah lainnya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. X menunjukkan arah streamwise, Y mengindikasikan arah spanwise dan Z menyatakan arah dari jarak antar fin. Jarak antar fin,  $H = 3,63$  mm, lebar fin  $12,7$  mm dan panjang fin  $177,8$  mm. Pipa dengan diameter  $10,67$  mm terletak  $12,7$  mm dari inlet. Jarak antar pipa  $25,4$  mm dan pipa disusun sejajar. Daerah yang diarsir itu merupakan daerah asal pemodelan. Daerah ini dipilih karena daerah lain mempunyai geometri yang sama. Sehingga dalam pemodelan hanya dibutuhkan jumlah mesh yang lebih dikit. Temperatur pipa dijaga konstan pada  $291,77$  K. Udara panas memasuki ruang antar fin dengan temperatur  $310,6$  K. Untuk mendapatkan fully developed flow pada daerah masuk dan daerah keluar diperpanjang.

**PROSEDUR NUMERIK**

Kondisi batas ditentukan berdasarkan pembagian daerah perhitungan, yaitu daerah perpanjangan masuk, daerah fin-tube dan daerah perpanjangan keluar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Di daerah inlet kecepatan ditentukan seragam dalam arah streamwise. Tanpa slip di dinding. Di outlet ditentukan semua gradien parameter sama dengan nol kecuali tekanan. Permukaan samping kiri dan kanan simetri. Grid independent ditentukan untuk mencari jumlah optimum mesh yang tepat.



Gambar 4 Skema kondisi batas daerah pemodelan

Dalam pemodelan ini aliran udara di daerah antar fin diasumsikan laminar, steady dan incompressible. Mesh hexahedral digunakan pada perpanjangan daerah masuk dan keluar. Sedangkan di daerah fin coil mesh tetrahedral digunakan. Second order upwind differencing scheme digunakan untuk persamaan momentum dan energi. Metode iterasi SIMPLE digunakan untuk menentukan tekanan dan kecepatan. Kriteria konvergensi untuk momentum dan kecepatan adalah  $10^{-5}$ , sedangkan energi  $10^{-8}$ .

**PENDIFINISIAN PARAMETER**

Bilangan takberdimensi, bilangan Reynolds, ditentukan berdasarkan diameter hidraulik.

$$Re = \frac{\rho V_m D_h}{\mu} \tag{1}$$

dimana  $\rho$  adalah masa jenis fluida,  $V_m$  adalah kecepatan rata-rata fluida melalui penampang minimum di dalam ruang antar fin dan  $D_h$  adalah diameter hidraulik.

Penurunan tekanan (pressure drop) ditentukan berdasarkan Persamaan (2),

$$\Delta P = \bar{P}_{in} - \bar{P}_{out} \tag{2}$$

dimana  $\Delta P$  adalah penurunan tekanan,  $\bar{P}_{in}$ ,  $\bar{P}_{out}$  adalah berturut-turut tekanan rata-rata disisi masuk dan keluar.

Koefisien konveksi dihitung berdasarkan Persamaan (3),

$$h = \frac{Q}{A_T \Delta T} \tag{3}$$



dimana Q adalah total perpindahan panas yang dapat ditentukan menggunakan Persamaan (4)

$$Q = \dot{m}c_p(\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \quad (4)$$

$\dot{m}$  adalah laju masa udara,  $c_p$  adalah panas jenis udara pada tekanan konstan, sedangkan  $\bar{T}_{out}$  dan  $\bar{T}_{in}$  adalah temperatur rata-rata udara di outlet dan di inlet. Temperatur rata-rata ini dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (5).

$$\bar{T} = \frac{\iint uT dA}{\iint u dA} \quad (5)$$

dimana u adalah kecepatan lokal.  $A_T$  adalah luas total permukaan perpindahan panas.  $\Delta T$  adalah beda temperatur rata-rata logaritmik, yang ditentukan berdasarkan Persamaan (6).

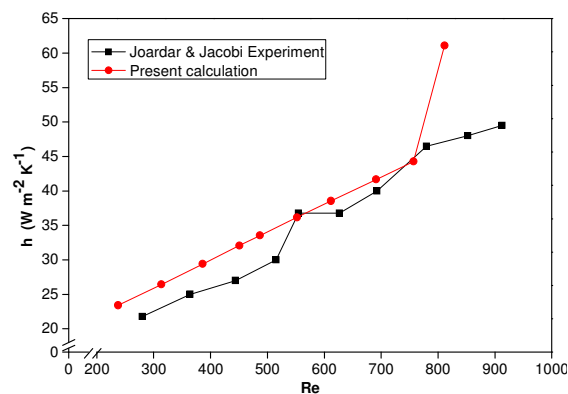
$$\Delta T = \frac{(T_w - T_{in}) - (T_w - T_{out})}{\ln[(T_w - T_{in}) / (T_w - T_{out})]} \quad (6)$$

dimana  $T_w$  adalah temperatur dinding.

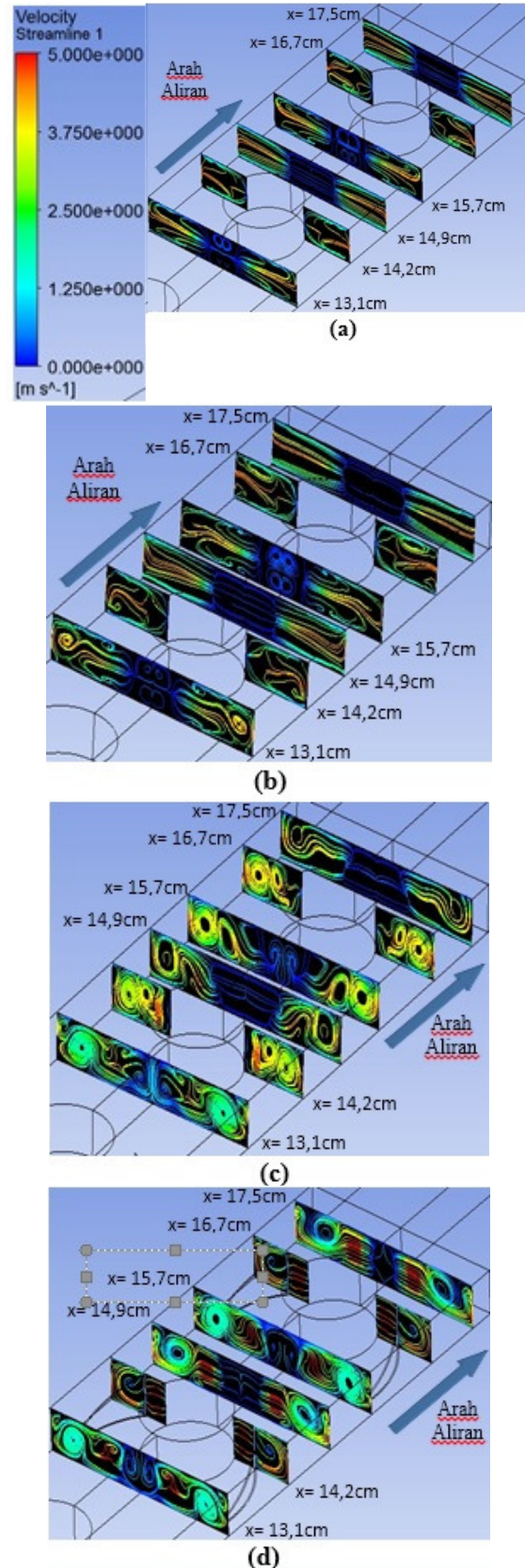
**VALIDASI**

Untuk memastikan hasil simulasi telah dilakukan dengan benar, maka koefisien konvksi hasil simulasi dibandingkan dengan hasil eksperimen dari penelitian yang dilakukan oleh Joardar dan Jacobi [6] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dari Gambar 5 dapat ditunjukkan bahwa nilai h antara eksperimen dan simulasi mempunyai kecenderungan yang sama.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**



Gambar 5 Perbandingan koefisien konveksi antara hasil simulasi dan eksperimen Joardar dan Jacobi.

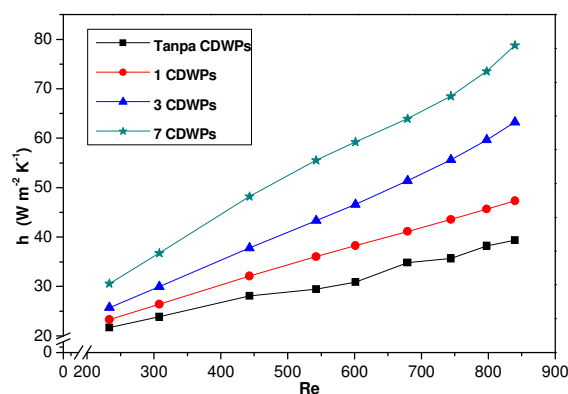


Gambar 6 Kecepatan streamline di penampang arah spanwise di beberapa lokasi sepanjang streamwise untuk: a. Baseline, b. 1 CDWP VG, c. CDWP 2 VGs dan d. CDWP 3 VGs.

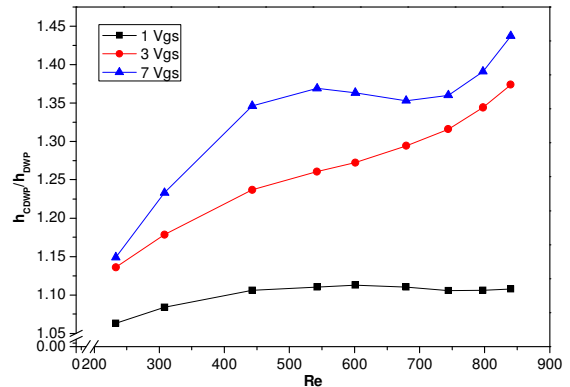
Gambar 6 menunjukkan kecepatan streamline di beberapa lokasi dalam arah aliran pada penampang yang frontal dengan arah aliran. Gambar 6 juga menampilkan kecepatan streamline pada beberapa kasus mulai dari baseline, 1 pasang sampai 3 pasang VG. Dari gambar ini terlihat jelas munculnya vortex longitudinal setelah aliran melewati VG. Untuk kasus baseline, vortex longitudinal tidak tampak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6(a). Dengan memasang satu pasang VG pada plat, vortex sudut muncul di sisi kiri dan kanan pada jarak 13,1 cm dari inlet seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6(b). Dengan bertambahnya pasangan VG yang dipasang, vortex longitudinal semakin banyak muncul, tidak hanya vortex sudut juga ada vortex utama dan vortex inti yang saling berpasangan.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan nilai koefisien perpindahan panas konveksi untuk kasus tanpa menggunakan VG (baseline), dengan 1 pasang VG, 3 pasang VG dan 7 pasang VG. Terlihat dari gambar nilai koefisien konveksi untuk kasus dengan 7 pasang VG mempunyai nilai tertinggi disusul dengan 3 pasang VG kemudian 1 VG dan terakhir baseline untuk bilangan Reynolds yang sama. Hal ini dapat dimengerti karena VG menghasilkan vortex longitudinal yang menimbulkan pencampuran fluida, sehingga terjadi transport fluida dari dinding ke pusat aliran dan sebaliknya. Hal ini akan mempertinggi transfer panas konveksi dari fluida.

Gambar 8 menunjukkan rasio antara koefisien konveksi untuk kasus dengan menggunakan CDWP dan DWP VG. Dari Gambar 8 dapat diperoleh bahwa koefisien



Gambar 7 Perbandingan koefisien konveksi untuk berbagai kasus baseline, 1, 3 dan 7 VGs pada berbagai variasi bilangan Reynolds



Gambar 8 Rasio koefisien konveksi untuk kasus yang menggunakan CDWP dan DWP dengan berbagai variasi bilangan Reynolds

konveksi untuk kasus dengan menggunakan VG jenis CDWP mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kasus yang menggunakan VG jenis DWP. Hal ini disebabkan banyaknya vortex longitudinal yang terbentuk untuk kasus yang menggunakan VG jenis CDWP dibandingkan dengan yang menggunakan VG jenis DWP.

**SIMPULAN**

Analisis efek penggunaan VG jenis CDWP terhadap peningkatan perpindahan panas telah dilakukan secara numerik. Hasil simulasi juga telah dibandingkan dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Joardar dan Jacobi. Penggunaan VG jenis CDWP untuk meningkatkan laju perpindahan panas terbukti lebih baik dibandingkan dengan menggunakan VG jenis DWP yang telah banyak dipakai.

**DAFTAR PUSTAKA**

A. M. Jacobi dan 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

A. Joardar dan 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*, 31: 87 – 97

Chi-Chuan Wang, Jerry Lo, Yur-Tsai Lin dan Min-Sheng Liu. 2002. Flow visualization of wave-type vortex generators having inline fin-tube

- arrangement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 1933–1944
- Guobing Zhou dan Zhizheng Feng. 2014. Experimental investigations of heat transfer enhancement by plane and curved winglet type vortex generators with unched holes. *International Journal of Thermal Sciences*, 78: 26-35.
- Jin-Sheng Leu, Ying-Hao Wu dan Jiin-Yuh Jang. 2004. Heat transfer and fluid flow analysis in plate-fin and tube heat exchangers with a pair of block shape vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47: 4327–4338
- Jiong Li, Shuangfeng Wang, Jinfang Chen dan Yong-Gang Lei. 2011. Numerical study on a slit fin-and-tube heat exchanger with longitudinal vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54: 1743–1751
- Leandro O. Salviano, Daniel J. Dezan dan Jurandir I. Yanagihara. 2015. Optimization of winglet-type vortex generator positions and angles in plate-fin compact heat exchanger: Response Surface Methodology and Direct Optimization. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 82: 373–387
- M. C. Gentry dan A. M. Jacobi. 1997. Heat Transfer Enhancement by Delta-Wing Vortex Generators on a Flat Plate: Vortex Interactions with the Boundary Layer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 14: 231-242.
- Susanne Lau, Kerstin Meiritz dan Venkatesa I. Vasanta Ram. 1999. Measurement of momentum and heat transport in the turbulent channel flow with embedded longitudinal vortices. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20: 128-141
- 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*, 61: 770-783