

PENGARUH PERBEDAAN JUMLAH *CONVEX-STRIPS VORTEX GENERATOR* DALAM LAJU PERPINDAHAN PANAS

*Nurthariq Aditya Kusuma¹, Syaiful², Bambang Yunianto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: thariq.aditya@gmail.com

Abstrak

Para peneliti telah memperhatikan peningkatan perpindahan panas pada *heat exchanger* yang menggunakan *generator vortex*. Akibatnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana jumlah *convex-strips vortex generator* mempengaruhi peningkatan perpindahan panas dan resistansi aliran pada *heat exchanger*. Pemodelan tiga dimensi dilakukan dengan jumlah *strip convex* yang berbeda dari 4 hingga 8, 12 hingga 16, 20 hingga 24, dan 28. *Strip convex* tersebut ditempatkan di sekitar pipa panas. Model turbulen k- ϵ digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida pada rentang bilangan Reynolds dari 3.438 hingga 15.926. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *fin* dengan 24 *convex-strips* menunjukkan laju perpindahan panas tertinggi sebesar 58,45% dibandingkan dengan *plain fin*.

Kata kunci: *convex-strips; fin and tube; perpindahan panas; vortex generator*

Abstract

Researchers have noticed increased heat gain in heat exchangers that use vortex generators. Consequently, the aim of this research is to see how the number of convex strip vortex generators affects the heat gain and flow resistance in the heat exchanger. Three-dimensional modeling is carried out with different numbers of convex strips from 4 to 8, 12 to 16, 20 to 24, and 28. The convex strips are placed around the heat pipe. The k- ϵ turbulent model is used to rotate fluid flow in the Reynolds number range from 3,438 to 15,926. The results showed that the fin with 24 convex strips showed the highest heat transfer rate of 58.45% compared to the plain fin.

Keywords: *convex-strips; fin and tube; heat exchange; vortex generator*

1. Pendahuluan

Vortex generators (VGs) dapat meningkatkan efisiensi energi fin dan tube heat exchanger dengan meningkatkan laju perpindahan panasnya dengan menambah geometri tonjolan pada permukaan [1-2]. VGs menghasilkan longitudinal vortex (LV), yang meningkatkan pencampuran fluida panas dengan fluida dingin, yang meningkatkan laju perpindahan panas [3]. Akibatnya, peningkatan efisiensi energi dengan menggunakan berbagai geometri tonjolan pada permukaan menggunakan berbagai bentuk VG telah menjadi perhatian para peneliti [4].

Ada banyak penelitian baru-baru ini tentang pengaruh vortex generator terhadap kinerja perpindahan panas. Pair VG rectangular dan delta winglet yang digunakan untuk pendinginan lubang film silindris dipelajari secara numerik dengan menggunakan turbulen k- ϵ pada pemodelan [5]. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa model dengan winglet VG berbentuk rectangle adalah yang terbaik dibandingkan dengan model lain. Studi ini menemukan bahwa model yang tidak menggunakan VG menghasilkan pengurangan aliran panas 0,08–0,29 lebih tinggi daripada model yang tidak menggunakan VG. Selain itu, koefisien perpindahan panas *film cooling* dengan VG adalah 11,45% lebih tinggi daripada *film cooling* tanpa VG.

Para peneliti juga melakukan investigasi terhadap VGs dengan melakukan variasi perbedaan sudut serang, perbedaan tata letak VGs, jarak antar VGs, tinggi dan panjang geometri VGs, serta variasi bilangan Reynolds [6]. Dari kerja mereka didapati banyak perbedaan Nu/Nu_0 dan f/f_0 . Mereka mengamati bahwa perbedaan ketinggian VG merupakan faktor yang paling berpengaruh daripada faktor variasi geometri. Banyak peneliti mempelajari peningkatan laju perpindahan panas dengan memvariasikan geometri VG. Telah disimulasikan *trapezoidal cross-section longitudinal vortex generator* dengan variasi panjang bagian depan *longitudinal vortex generator (LVG)*, panjang bagian belakang LVG, dan tinggi LVG [7].

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas adalah dengan menggunakan variasi geometri. Banyak peneliti melakukan penelitian numerik untuk meningkatkan laju perpindahan panas [8]. Ini termasuk mengoptimalkan jumlah geometri dari *vortex generator convex strip*, yang terdiri dari 4,8,12,16,20,24, dan 28. Simulasi numerik menghasilkan model turbulensi k- ϵ dengan variasi bilangan Reynolds antara 3,438 dan 15,926. Studi mereka

menunjukkan bahwa VG dengan 24 *convex strip* memiliki laju perpindahan panas yang paling tinggi dibandingkan dengan jumlah *convex strip* lainnya. Dalam studi lain, peneliti menggunakan variasi VG berbentuk *delta winglet pairs* dan *concave delta winglet pairs*[9]. Studi ini menemukan bahwa, dibandingkan dengan VG tanpa winglet, perpindahan panas meningkat 53,58% pada instalasi 3 pasang *concave delta winglet pairs*. Mengingat jumlah *convex-strips* yang ideal yang dapat menghasilkan perpindahan panas tertinggi, fokus studi saat ini adalah untuk mendapatkan jumlah porsi *convex-strips* yang paling optimal untuk mencapai peningkatan perpindahan panas tertinggi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan model tiga dimensi yang kemudian dilakukan simulasi dengan kondisi batas tertentu.

2.1 Deskripsi Model

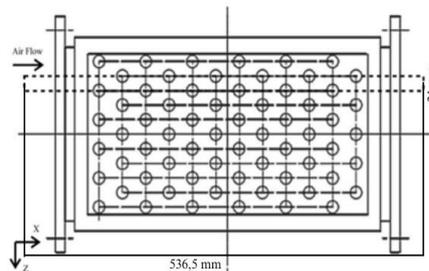
Untuk melakukan penelitian ini, aliran fluida tiga dimensi disimulasikan pada fin dan pipa. Ini terkait dengan eksperimen yang dilakukan oleh Li et al. [10]. Tembaga adalah bahan pipa, yang disusun secara staggered dengan jumlah baris dan kolom 12 dan 6. Dalam kasus empat *convex strip*, dimensi mengacu pada penelitian sebelumnya. Namun, jumlah *convex-strips* pada kerja saat ini bervariasi dari 4, 8, 12, 16, 20, 24, dan 28. Ini adalah jumlah *convex-strips* yang ideal untuk meningkatkan perpindahan panas. Geometri tapak sisi dan atas vortex generator dengan 24 *convex-strips* di sekitar pipa ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 24 *convex-strips* tampak sisi



Gambar 2.2 24 *convex-strips* tampak atas



Gambar 2.3 *Fin and tube heat exchanger*

3. Model Matematika

Pada studi sekarang ini, fluida diasumsikan *incompressible* dengan sifat – sifat fisik konstan serta *steady state*. Kecepatan fluida di dalam rectangular channel divariasikan pada rentang bilangan Reynolds 3.438 sampai 15.926. Dalam simulasi numerik ini, perpindahan panas conjugate diperhitungkan untuk mengetahui distribusi temperatur pada permukaan fin.

Persamaan – persamaan pembangun yang diterapkan dalam pemodelan sekarang adalah:

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial}{\partial x_1} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum

$$\frac{\partial}{\partial x_1} (\rho u_i u_k) = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\mu \frac{\partial u_k}{\partial x_1} \right) - \frac{\partial p}{\partial x_k} \quad (2)$$

Persamaan energi

$$\frac{\partial}{\partial x_1} (\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) \quad (3)$$

Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} \quad (4)$$

Bilangan Nusselt

$$Nu = \frac{h D_h}{\lambda} \quad (5)$$

4. Metode Numerik

Pada keseluruhan domain pemodelan (upstream extended region, downstream extended region, dan fin region), polyhedral mesh digunakan. Ini dipilih karena memiliki permukaan sel yang lebih berdekatan satu sama lain, memiliki tingkat sensitifitas yang lebih rendah terhadap peregangan dibandingkan dengan mesh tetrahedral, dan memiliki kualitas mesh yang lebih stabil.

Persamaan pembangun (Persamaan (1)–(3)) didiskritisasi dan diselesaikan dalam dinamik fluida komputasi. Model k-ε dengan fungsi kolom standar digunakan untuk mensimulasikan kasus turbulen. Untuk menghitung medan tekanan dan kecepatan, Algoritma Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations (SIMPLE) digunakan. Persamaan turbulensi diskritisasi oleh pendekatan upwind pertama, sedangkan persamaan kontinuitas, momentum, dan energi diskritisasi oleh pendekatan upwind kedua. Determinasi standar konvergensi persamaan kontinuitas, momentum, dan energi berturut – turut adalah 10^{-5} , 10^{-5} , dan 10^{-8} .

4.1 Pendefinisian Parameter

Parameter yang digunakan pada studi ini sebagai berikut :

Bilangan *Reynolds*

$$Re = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} \quad (6)$$

Bilangan *Nusselt*

$$Nu = \frac{h D_h}{\lambda} \quad (7)$$

dimana ρ , u_m , μ , λ , dan D_h adalah berturut-turut massa jenis, kecepatan rata – rata fluida, viskositas dinamik, konduktivitas termal fluida dan diameter hidraulik.

$$h = \frac{q}{A \Delta T_{LMTD}} \quad (8)$$

4.2 Uji Grid Independen

Uji grid independen pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan jumlah grid optimum dimana hasil simulasi numerik tidak dipengaruhi oleh jumlah grid. Simulasi dilakukan dengan 5 variasi jumlah grid pada rentang 825.000 hingga 1.250.000 dengan bilangan Reynolds 15.926. Simulasi ini dilakukan dengan menghitung bilangan Nusselt untuk berbagai jumlah grid. Dari hasil uji *independent grid* didapatkan bahwa 1.200.000 grid dipilih sebagai *independent grid* pada studi ini.

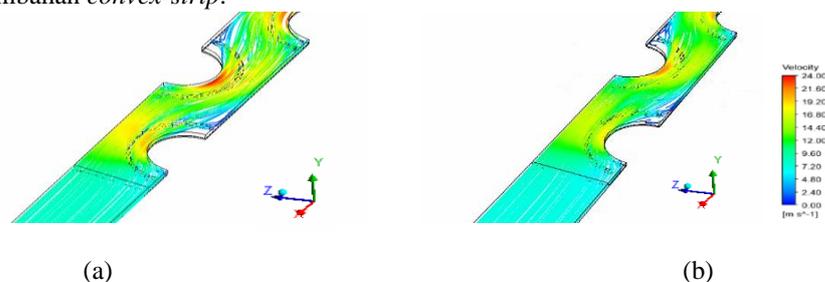
5. Hasil dan Pembahasan

5.1 Validasi

Membandingkan hasil perhitungan studi saat ini dengan hasil eksperimen Li dkk. dilakukan untuk validasi pekerjaan saat ini [10]. Bilangan Nusselt dan penurunan tekanan simulasi dibandingkan dengan hasil eksperimen mereka untuk kasus empat buah strip convex pada variasi bilangan Reynolds 3.438–15.926. Namun, hasil simulasi menghasilkan angka yang lebih rendah daripada hasil eksperimen Li et al., dengan deviasi berturut-turut kurang dari 5% dan lebih besar daripada eksperimen Li et al. pada bilangan Reynolds 3.438–12.613.

5.2 Pengaruh convex-strips terhadap struktur aliran

Untuk kasus plain fin, daerah yang diamati adalah 24 dan 28 *convex strips*. Untuk model convex strip 20, 24 dan 28, serta plain fin pada bilangan Reynolds 15.926, struktur aliran berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Struktur aliran diamati pada bidang searah aliran (streamwise) pada $Y = 0,88$ mm untuk mengevaluasi perbedaan struktur streamline setelah penambahan *convex-strip*.



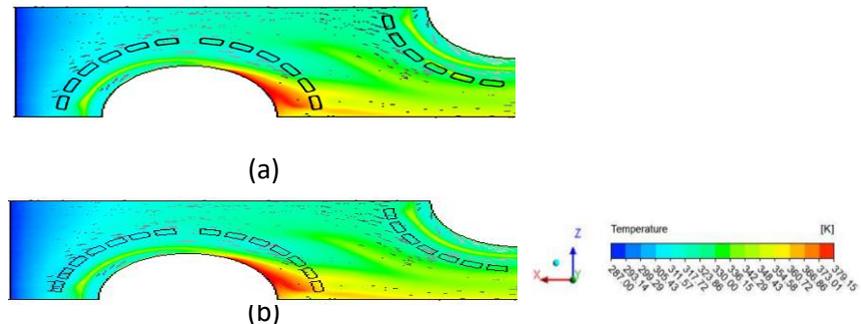
Gambar 3.1 Kecepatan *streamline* aliran di dalam saluran pada Re 15.926 untuk : (a) 24 *convex strips*; (b) 28 *convex strips*

5.3 Pengaruh *convex-strips* terhadap laju perpindahan panas

Temperatur fin tersebar di sepanjang aliran dipengaruhi oleh intensitas vortex yang dihasilkan oleh strip convex. Gambar 3.2 menunjukkan distribusi temperatur untuk masing-masing kasus pada bidang searah aliran (bidang XZ) pada

$Y = 0,88$ mm. Dalam kasus plain, daerah wake memiliki temperatur fluida tertinggi karena aliran recirculation menghambat laju perpindahan panas dari permukaan pipa ke aliran utama [11]. Namun, ketika *strip convex* ditambahkan, fluida dingin diinduksi ke fluida panas di daerah wake, yang meningkatkan laju perpindahan panas dan temperatur terdistribusi lebih seragam.

Distribusi temperatur pada ujung *fin* relative sama pada kasus 24 & 28 *convex-strip*. Hal ini berakibat pada distribusi temperatur yang lebih seragam pada kasus 24 *convex strips* daripada yang dari kasus lainnya. Sedangkan pada kasus *plain fin*, temperatur tidak terdistribusi secara merata karena LV tidak diproduksi yang berakibat pada lambatnya pencampuran fluida



Gambar 3.2 Distribusi temperatur pada ujung *fin* untuk kasus (a) 24 *convex strips*; (b) 28 *convex strips*

6. Kesimpulan

Pada studi ini, simulasi numerik telah dilakukan untuk menentukan jumlah porsi *convex strips* optimum dalam peningkatan laju perpindahan panas pada penukar kalor jenis *fin and tube*. Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Jumlah variasi *convex strips* optimum didapati pada pemasangan 24 *convex strip* dengan peningkatan rata – rata rasio bilangan Nusselt yang lebih tinggi dibandingkan 28 *convex-strips*.
2. Dari hasil studi ini diperoleh bahwa *fin* dengan 24 *convex-strips* menunjukkan peningkatan laju perpindahan panas tertinggi hingga 58,45% dibandingkan bentuk *plain fin*. Dengan kenaikan kecepatan aliran streamline dan distribusi temperature terbaik pada 24 *convex-strip*.

7. Daftar Pustaka

- [1] Song, K. W., Hu, D. L., Zhang, Q., Zhang, K., Wu, X., and Wang, L. B. (2022). Thermal-hydraulic characteristic of a novel wavy fin-and-circle tube heat exchanger with concave curved vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123023>.
- [2] Wu, J., Liu, P., Yu, M., Liu, Z., and Liu, W. (2022). Thermo-hydraulic performance and Exergy analysis of a fin-and-tube heat exchanger with sinusoidal wavy winglet type vortex generators. *International Journal of Thermal Sciences*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.107274>.
- [3] Tepe, A. (2021) Heat transfer enhancement of fin-tube heat exchangers using punched triangular ramp vortex generator on the fin surface. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121326>.
- [4] Oh, Y., and Kim, K. (2021). Effects of position and geometry of curved vortex generators on fin-tube heat-exchanger performance characteristics. *Appl. Therm. Eng.*, vol. 189, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116736>.
- [5] Deng, H., Teng, J., and Zhu, M. (2022). Overall cooling performance evaluation for film cooling with different winglet pairs vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117731>.
- [6] Gonül, A., Okbaz, A., & Kayaci, N. (2022). Flow optimization in a microchannel with vortex generators using genetic algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117738>
- [7] Zheng, S., Feng, Z., and Lin, Q. (2022). Numerical investigation on thermal–hydraulic characteristics in a mini-channel with trapezoidal cross-section longitudinal vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.11731>
- [8] Syaiful, Kurniawan, H. A., and Utomo, M. S. (2022). Optimal convex-strip configuration for enhancing heat transfer in fin and tube heat exchanger with field synergy principle. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- [9] Syaiful, Nabilah, H., Suryo Utomo, M. S. K. T., Suprihanto, A., and Soetanto, M. F. (2022). Numerical simulation of heat transfer enhancement from tubes surface to airflow using concave delta winglet vortex generators. *Results in Engineering*, 16, 100710. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100710>
- [10] Li, X. Y., and Li, Z. H.. (2018). Experimental study on heat transfer and pressure drop characteristics of fin-and-tube surface with four convex-strips around each tube. *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 116, pp. 1085–1095. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.09.076>
- [11] Syaiful, Syarifudin, I., Soetanto, M. F., and Bae, M. W. (2018). Numerical simulation of heat transfer augmentation in fin-and-tube heat exchanger with various number of rows of concave rectangular winglet vortex generator. *MATEC Web Conf.*, vol. 159. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815902012>