

## STUDI NUMERIK PENGARUH ASPEK RASIO DARI PERFORATED *CONCAVE* DELTA WINGLET TERHADAP PERFORMA TERMAL-HIDROLIK ALIRAN UDARA MELEWATI TUBE DI DALAM SALURAN

Mochamad Fahri Fadlu Robbi<sup>1</sup>, Bambang Yunianto<sup>2</sup>, Syaiful<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: [mfahrifadlurobbi@gmail.com](mailto:mfahrifadlurobbi@gmail.com)

### Abstrak

Aspek rasio merupakan faktor penting dalam meningkatkan perpindahan panas dengan menggunakan vortex generator. Oleh karena itu, penelitian ini berkonsentrasi pada meningkatkan laju perpindahan panas dari permukaan pipa ke aliran dengan menggunakan vortex generator delta winglet *concave* yang perforated untuk berbagai aspek rasio. Dipasang di dalam saluran persegi empat, generator vortex delta winglet *concave* dengan dan tanpa lubang memiliki sudut serang  $15^\circ$  dan berbagai aspek rasio dari 1 hingga 3 dengan interval 0,5. Studi numerik ini dilakukan dengan jumlah pasang vortex generator satu, dua, dan tiga. Kecepatan aliran udara di dalam saluran adalah 0,4 hingga 2 m/det, dengan 0,2 m/det di luar pipa panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada *perforated concave delta winglet* (PCDW) tiga pasang dengan aspek rasio 3 menunjukkan peningkatan laju perpindahan panas 54,8% lebih tinggi daripada yang dari baseline dan memperlihatkan penurunan *pressure drop* sebesar 48% lebih rendah dari *concave delta winglet* (CDW) tiga pasang dengan aspek rasio yang sama.

**Kata kunci:** laju perpindahan panas; *perforated concave delta winglet*; *pressure drop*; *vortex generator*

### Abstract

*Aspect ratio is an important factor in increasing heat transfer using a vortex generator. Therefore, this research concentrates on increasing the rate of heat transfer from the pipe surface to the flow by using a perforated concave winglet vortex generator for various aspect ratios. Installed in a rectangular duct, the concave vortex delta winglet generators with and without orifices have an angle of attack of  $15^\circ$  and various aspect ratios from 1 to 3 at 0.5 intervals. This numerical study was carried out with the number of pairs of vortex generators one, two, and three. Airflow velocity inside the duct is 0.4 to 2 m/s, with 0.2 m/s outside the heat pipe. The results showed that three pairs of perforated concave delta winglets (PCDW) with an aspect ratio of 3 showed an increase in the heat transfer rate of 54.8% higher than that of the baseline and showed a decrease in pressure drop of 48% lower than the concave delta winglet (CDW). three pairs with the same aspect ratio.*

**Keywords:** *heat transfer rate; perforated concave delta winglet; pressure drop; vortex generator*

### 1. Pendahuluan

*Fin-and-tube* merupakan salah satu jenis *heat exchanger* yang banyak digunakan pada berbagai bidang industri kimia, pembangkit listrik, otomotif, dan sistem refrigerasi dan tata udara (AC) oleh karena geometri yang *compact*. Kondensor merupakan salah satu komponen utama dari AC yang menggunakan udara sebagai fluida pendingin refrigerant. Rendahnya konduktivitas termal udara mengakibatkan rendahnya laju perpindahan panas dari permukaan tube ke udara pada kondensor. Salah satu metode untuk meningkatkan laju perpindahan panas adalah dengan melakukan modifikasi pada permukaan perpindahan panas menggunakan *vortex generator* [1].

Pengaruh *rectangle-winglet vortex generator* terhadap kinerja perpindahan panas dan karakteristik resistansi aliran telah diamati dalam penelitian yang dilakukan oleh Qian et al. [2], di mana *rectangle-winglet vortex generator* ditempatkan di belakang pipa dekat dengan area yang lemah. Hasil analisis mereka menunjukkan bahwa fin dengan *rectangle-winglet vortex generator* dapat memperbaiki area yang lemah, yang membantu meningkatkan kinerja perpindahan panas dan sifat resistansi aliran. Menurut simulasi yang mereka lakukan, ukuran VG yang lebih panjang meningkatkan kinerja perpindahan panas, tetapi membutuhkan lebih banyak energi. Gupta dkk [3] menginvestigasi pengaruh *punched winglet* berlubang terhadap perpindahan panas dan *pressure drop* pada *fin-tube heat exchanger*. Hasil analisa mereka menginformasikan bahwa *punched winglet* berlubang meningkatkan kinerja termo-hidrolik jika *winglet* ditempatkan di daerah *upstream*. *Pressure drop* dari *winglet* pada lokasi *upstream* (CFD<sub>U</sub>) adalah lebih tinggi daripada yang dari *winglet* pada lokasi *downstream* (CFD<sub>D</sub>). *Winglet* menghasilkan *wake region* yang lebih luas di daerah

*downstream*, sehingga performa termal dari *winglet* lebih besar di daerah *upstream*. Aliran fluida dan karakteristik perpindahan panas dari perbedaan posisi *rectangular winglet pairs* (RWP) *vortex generator* yang disusun *inline* dan *staggered* pada *fin-tube heat exchanger* telah diteliti oleh Naik dan Tiwari [4]. Berdasarkan penelitian mereka diperoleh bahwa RWP dengan susunan *inline* pada posisi *adjacent* memberikan perpindahan panas maksimum dan kenaikan *pressure loss* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang susunan *staggered*.

Beragam studi terkait penggunaan VGs terhadap intensitas longitudinal vortexes untuk meningkatkan laju perpindahan panas. Sun dkk [5] melakukan studi experiment dan numerik pada penggunaan rectangular VG pada *circular heat exchanger tube*. Hasil studi menyatakan terbentuknya longitudinal vortex menghasilkan peningkatan pencampuran fluida dan dapat meningkatkan performa termal hidrolis (TEF) sebesar 1.27. Sementara itu, Syaiful dkk [6] melakukan studi numerik pada aliran udara yang melawati tabung panas dengan menggunakan modifikasi RW VGs dengan bentuk *concave*. Hasil studi mereka menunjukkan peningkatan perpindahan panas diikuti dengan besarnya intensitas LV pada *concave delta winglet VGs* dibandingkan dengan *delta winglet VGs*.

Pengaruh modifikasi permukaan *rectangular vortex generator* terhadap laju perpindahan panas telah diteliti oleh Kashyap dkk [7]. Dari hasil penelitian mereka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *multiple concave* di permukaan depan dan *single convex* di permukaan belakang pada satu VG dapat memperkuat vortex utama yang meningkatkan laju perpindahan panas dari plat ke fluida. Song dkk [8] mempelajari karakteristik perpindahan panas dari VG yang memiliki permukaan *concave* dan *convex* pada aliran laminar. Dari hasil studi mereka didapati bahwa *concave VG* memiliki kinerja perpindahan panas yang lebih baik daripada yang dari *convex VG* karena kenaikan Nu pada penggunaan *concave VG* adalah lebih tinggi daripada yang dari *convex VG*. Xie dan Lee [9] melakukan studi tentang karakteristik aliran dan perpindahan panas dari *curved-rectangular vortex generators* pada *compact fin-tube heat exchanger*. Hasil studi mereka menggambarkan adanya peningkatan bilangan Nusselt (Nu) dan factor gesekan (*f*) dengan penambahan tinggi dan radius VG. Bagheri dkk. [10] melakukan investigasi secara numerik pada penggunaan *micro-vortex generators* pada struktur *shock wave* di dalam saluran *aspect ratio* rendah. Hasil penelitian mereka mengungkapkan bahwa penggunaan VG menyebabkan penurunan kekuatan *shock wave* dan *energy loss* di sepanjang aliran. Shi dkk [11] mempelajari pengaruh lokasi longitudinal dari *curved delta winglet vortex generator* pada *finned-tube heat exchanger*. Dari hasil penelitian mereka didapati bahwa *pressure loss* dari VG yang melengkung adalah lebih kecil daripada VG yang lurus.

Studi terhadap *perforated concave delta winglet* di dalam rectangular channel telah dilakukan oleh Syaiful dkk [12]. Hasil studi mereka membuktikan bahwa efek lubang pada VG terhadap perpindahan panas adalah kecil. Performa termal dan hidrolis aliran udara melalui *perforated concave rectangular winglet VG* telah diteliti oleh Syaiful dkk [13]. Hasil penelitian mereka menunjukkan perpindahan panas pada VG tipe *concave* lebih baik dari pada VG datar. Selain itu, penggunaan VG berlubang dapat menurunkan *pressure drop* hingga 21,5%.

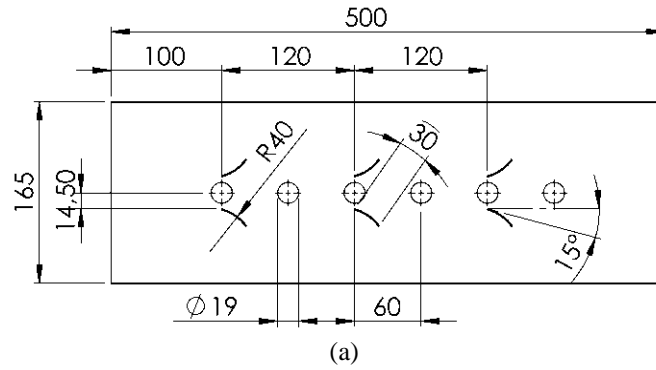
Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penggunaan *concave delta winglet* dalam perbaikan perpindahan panas selalu diikuti oleh tingginya *pressure drop*. Oleh karena itu, studi ini difokuskan pada pengurangan *pressure drop* dengan menggunakan *perforated concave delta winglet* dengan variasi aspek rasio. Pada studi ini, aliran udara melewati susunan tube panas di dalam saluran persegiempat. Pengujian laju perpindahan panas, *pressure drop*, dan visualisasi aliran dilakukan untuk mendapatkan performa termal dan hidrolis. Tujuan yang ingin dididapai dari studi ini adalah pengaruh aspek rasio dari *perforated concave delta winglet* (PCDW) terhadap peningkatan performa termo-hidrolis dan keekonomian penukar kalor *fin and tube*.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Model Fisik

Pada studi ini, spesimen uji yang digunakan yaitu enam baris silinder (diameter 19 mm dan tinggi 60 mm) dengan *fin* (tebal 1 mm, panjang 500 mm, dan lebar 165 mm) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3. PCDW dan PDW dipasang pada plat uji dengan konfigurasi *common flow down* (CFD). Jarak *leading edge VG* dengan pusat silinder adalah 1,5 mm. Enam silinder dengan diameter 29 mm disusun *in-line* pada jarak antar pusat silinder 60 mm. Sudut serang ditentukan 15° dari arah aliran utamanya.

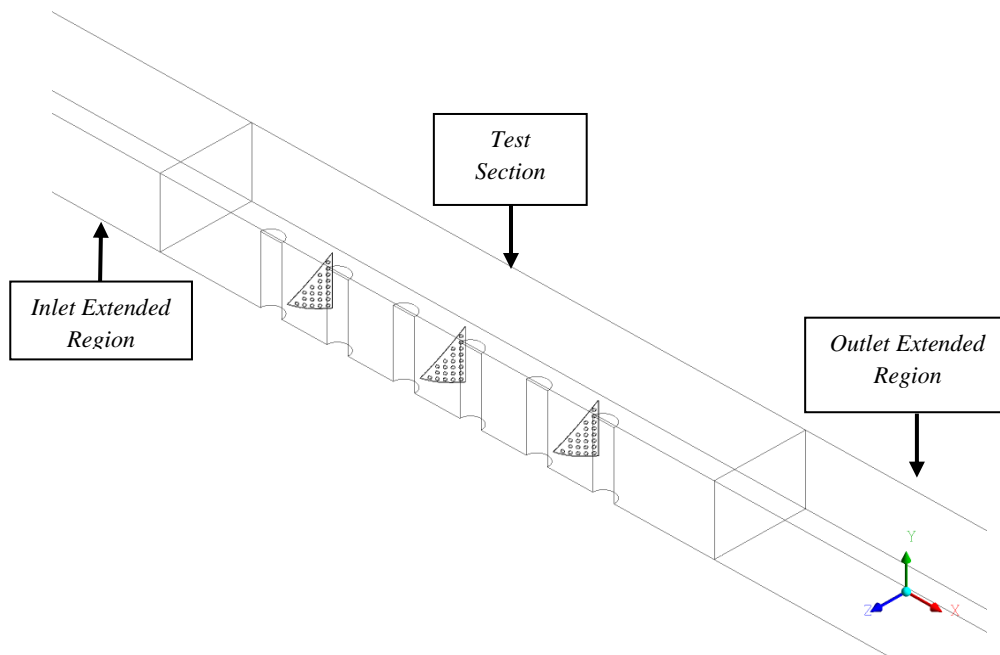
Pengujian dilakukan untuk variasi jumlah pasang VG (satu, dua dan tiga pasang) dengan susunan *in-line*. Jarak antara satu pasang VG dengan satu pasang lainnya adalah 120 mm. Geometri dari spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 2.3 untuk PCDW tiga pasang *in-line*. *Concave delta winglet* berlubang dan tidak berlubang dengan variasi aspek rasio 1 sampai 3 dengan interval 0,5 digunakan dalam studi ini.



**Gambar 2.1** Geometri spesimen uji (a) tampak atas PCDW VG tiga pasang *in-line*, (b) tampak samping PCDW VG tiga pasang *in-line* dan (c) geometri lubang pada VG

## 2.2 Model Numerik

Komputer dinamik fluida (CFD) Ansys-Fluent digunakan untuk memulai penelitian dalam kondisi steady. Untuk memecahkan korelasi antara kecepatan dan tekanan, Algoritma Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equation (SIMPLE) digunakan. Dengan menggunakan skema upwind second-order, persamaan kontinuitas, momentum, dan energi didiskritisasi pada aliran laminar dan turbulen. Dalam penelitian ini, model laminar digunakan pada kecepatan inlet 0,4 m/s ( $Re = 2.100$ ) dan model turbulen  $k-\omega$  digunakan pada kecepatan inlet yang lebih besar dari 0,4 m/s ( $Re = 2.300$ ). Kriteria konvergensi persamaan kontinuitas, momentum, k, dan omega lebih kecil dari  $10^{-5}$ , dan kriteria energi lebih kecil dari  $10^{-8}$ .



**Gambar 2.2** Domain komputasi PCDW VGs AR = 3

## 2.3 Parameter Penelitian

Dalam studi ini, beberapa persamaan digunakan untuk mengevaluasi performa termo-hidrolik. Koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) dihitung dengan Persamaan (1).

$$h = \frac{Nu k}{D_h} \quad (1)$$

dimana  $Nu$ ,  $k$ , dan  $D_h$  berturut-turut merupakan bilangan Nusselt, konduktivitas termal fluida, dan diameter hidrolis ( $D_h = \frac{2(W \times H)}{(W + H)}$ ). Nilai bilangan Nusselt dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2).

$$Nu = \frac{Q}{A LMTD} \cdot \frac{D_h}{k} \quad (2)$$

dimana  $Q$  adalah perpindahan kalor dari silinder menuju fluida,  $A$  merupakan luas permukaan enam silinder spesimen uji,  $LMTD$  adalah logarithmic mean temperature difference dari fluida. Nilai  $Q$  dan  $LMTD$  berturut-turut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) dan (4).

$$Q = \dot{m}C_p(\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \quad (3)$$

$$LMTD = \frac{(\bar{T}_w - \bar{T}_{in}) - (\bar{T}_w - \bar{T}_{out})}{\ln((\bar{T}_w - \bar{T}_{out})/(\bar{T}_w - \bar{T}_{in}))} \quad (4)$$

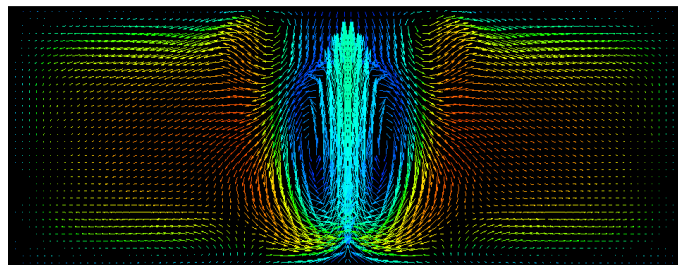
## 2.4 Validasi

Eksperimen pada studi sekarang ini divalidasi dengan menggunakan hasil eksperimen dari Whitaker [14]. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai bilangan  $Nu$  pada aliran udara yang melewati satu silinder pada rentang  $Re$  dari 2.100 sampai 11.200. Hasil dari validasi ini dapat dilihat pada Referensi [15].

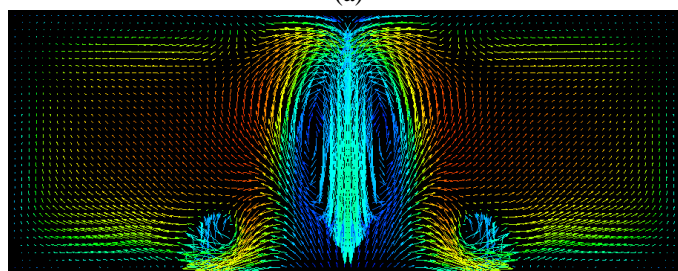
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengaruh VG terhadap perbaikan perpindahan panas

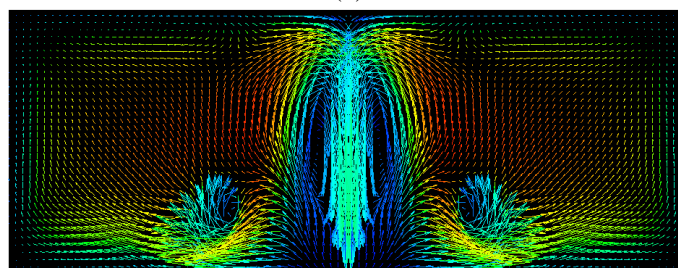
Gambar 3.1 menunjukkan distribusi temperature pada bidang  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  pada  $Re = 2100$  untuk semua kasus. Dari gambar ini, terlihat bahwa penggunaan PCDW VGs dan CDW VGs menghasilkan distribusi temperatur yang lebih luas. Hal ini disebabkan oleh LV yang terbentuk oleh PCDW VGs dan CDW VGs meningkatkan percampuran fluida dingin dan panas di daerah wake. Peningkatan percampuran fluida yangmana meningkatkan laju perpindahan panas, dipengaruhi oleh bentuk dan luas permukaan VGs. Peningkatan laju perpindahan panas adalah lebih besar dengan kenaikan AR VGs.

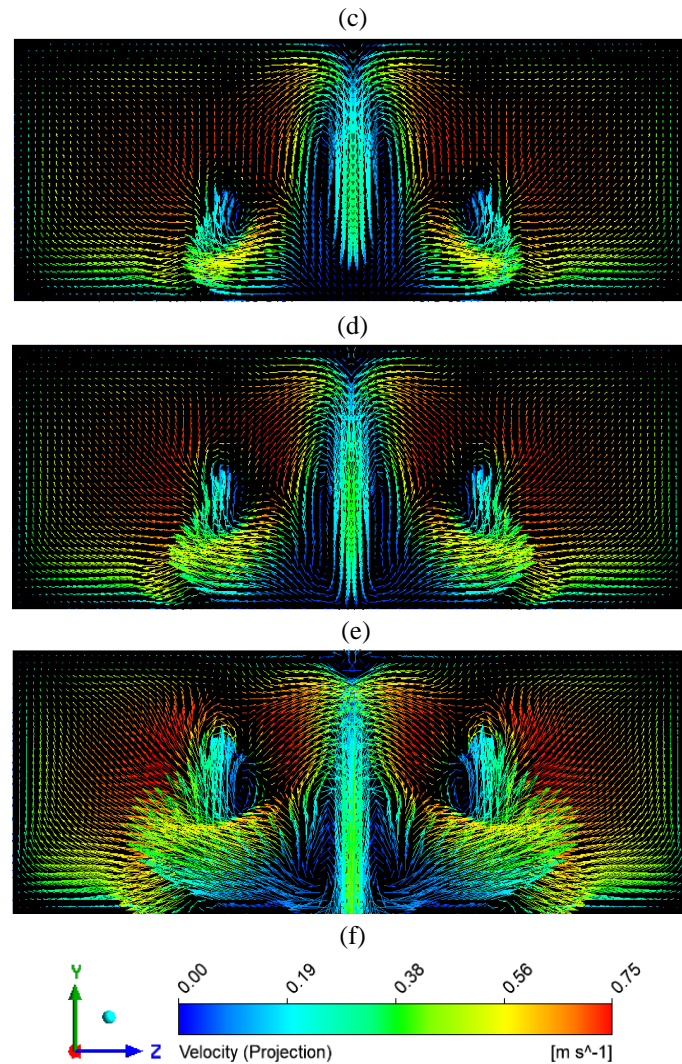


(a)



(b)





**Gambar 3.1.** Vektor Kecepatan penampang  $X_1$  pada bidang YZ pada kasus (a) *baseline*, (b) PCDW VGs AR 1 (c) PCDW VGs AR 1,5, (d) PCDW VGs AR 2, (e) PCDW VGs AR 2,5, (f) PCDW VGs AR 3

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, telah dilakukan evaluasi performa termo-hidrolik untuk mendapatkan performa yang maksimal dari penggunaan VG dengan variasi aspek rasio dan jumlah pasangannya. Berdasarkan hasil eksperimen ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pemasangan VGs dengan AR = 3 mampu meningkatkan laju perpindahan panas 15,98% lebih tinggi daripada yang dari VGs dengan AR = 1.
2. Peningkatan laju perpindahan panas ditandai dengan kuatnya intensitas LV sehingga berdampak pada pencampuran fluida panas dan dingin di aliran utama.
3. Semakin besar aspek rasio mengakibatkan kenaikan rasio bilangan Nusselt yang membuat laju perpindahan panasnya semakin tinggi.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Oh, Y. and Kim, K., 2021. Effects of position and geometry of curved vortex generators on fin-tube heat-exchanger performance characteristics. *Applied Thermal Engineering*, 189, p.116736.
- [2] Qian, Z., Wang, Q. and Cheng, J., 2018. Analysis of heat and resistance performance of plate fin-and-tube heat exchanger with rectangle-winglet vortex generator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, pp.1198-1211.

- [3] Gupta, A., Roy, A., Gupta, S. and Gupta, M., 2020. Numerical investigation towards implementation of punched winglet as vortex generator for performance improvement of a fin-and-tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 149, p.119171.
- [4] Naik, H. and Tiwari, S., 2021. Numerical investigations on fluid flow and heat transfer characteristics of different locations of winglets mounted in fin-tube heat exchangers. *Thermal Science and Engineering Progress*, 22, p.100795.
- [5] Sun, Z., Zhang, K., Li, W., Chen, Q., & Zheng, N. (2020). Investigations of the turbulent thermal-hydraulic performance in circular heat exchanger tubes with multiple rectangular winglet vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 168, 114838.
- [6] Syaiful, Kusuma, N., Muchammad, Wulandari, R., Sinaga, N., Siswantara, A., Bae, M. W. (2020). Numerical investigation of heat transfer and pressure loss of flow through a heated plate mounted by perforated concave rectangular winglet vortex generators in a channel. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2227, No. 1, p. 020040). AIP Publishing LLC.
- [7] Kashyap, U., Das, K. and Debnath, B.K., 2018. Effect of surface modification of a rectangular vortex generator on heat transfer rate from a surface to fluid. *International Journal of Thermal Sciences*, 127, pp.61-78.
- [8] Song, K., Tagawa, T., Chen, Z. and Zhang, Q., 2019. Heat transfer characteristics of concave and convex curved vortex generators in the channel of plate heat exchanger under laminar flow. *International Journal of Thermal Sciences*, 137, pp.215-228.
- [9] Xie, J. and Lee, H.M., 2020. Flow and heat transfer performances of directly printed curved-rectangular vortex generators in a compact fin-tube heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 180, p.115830.
- [10] Bagheri, H., Mirjalily, S.A.A., Oloomi, S.A.A. and Salimpour, M.R., 2021. Effects of micro-vortex generators on shock wave structure in a low aspect ratio duct, numerical investigation. *Acta Astronautica*, 178, pp.616-624.
- [11] Shi, W., Liu, T., Song, K., Zhang, Q., Hu, W. and Wang, L., 2021. The optimal longitudinal location of curved winglets for better thermal performance of a finned-tube heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 167, p.107035.
- [12] Syaiful, et al., 2019. Numerical Analysis of Heat and Fluid Flow Characteristics of Airflow Inside Rectangular Channel with Presence of Perforated Concave Delta Winglet Vortex Generators. *International Journal of Heat and Technology*, 37(<https://doi.org/10.18280/ijht.370415>), pp. 1059-1070.
- [13] Syaiful, S., Syarif, A., Yunianto, B. and Sinaga, N., 2020. Performa Termal dan Hidrolik Aliran Udara Melalui Vortex Generator Berlubang Tipe Concave Rectangular Winglet di dalam Saluran Persegiempat: Studi Eksperimen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(2), pp.233-245.
- [14] S. Whitaker, "Forced convection heat transfer correlations for flow in pipes, past flat plates, single cylinders, single spheres, and for flow in packed beds and tube bundles," *AIChE J.*, vol. 18, no. 2, pp. 361–371, Mar. 1972, doi: 10.1002/aic.690180219.
- [15] Effendi, Y., Prayogo, A., Syaiful, Djaeni, M., Yohana, E. (2021). Effect of perforated concave delta winglet vortex generators on heat transfer and flow resistance through the heated tubes in the channel. *Experimental Heat Transfer*, 1-24.