

# Studi Eksperimental Peningkatan Perpindahan Panas dengan Menggunakan Perforated Concave Delta Winglet Vortex Generators

Yafid Effendi<sup>1\*</sup>, Rohmat Taufiq<sup>2</sup> dan Putra Dafa Pratama<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang  
Jl. Perintis Kemerdekaan 1/33 Cikokol-Tangerang

\*Corresponding author: [yafid\\_effendi@yahoo.com](mailto:yafid_effendi@yahoo.com)

## Abstract

*One way to increase heat transfer is by using vortex generators. The use of perforated concave delta winglet vortex generators (PCDWP VGs) aims to obtain maximum heat transfer increase in the heat exchanger by air flow passing through the hot cylinder in a rectangular channel. This research method uses an experimental method to determine the increase in heat transfer using PCDWP VGs compared to without VGs (baseline), angle of attack ( $\beta$ ) 15°, one, two, and three pairs of VGs, in-line and staggered arrangement, heated cylinder 35 W at a temperature of 38 °C, with speed varying from 0.4 to 2 m/s. The inlet, outlet and cylinder temperatures are measured using thermocouples. Experimental results show that there is an increase in Nu when using VGs. The highest Nu in perforated VGs was obtained staggered PCDWP followed by in-line PCDWP, staggered PDWP and in-line PDWP with an increase of 46.3%, 44.7%, 32.4% and 31.0% compared to baseline. The highest Nu occurred when using PCDWP three staggered pairs with a value of Nu = 462.16 at Re = 11,000.*

**Keywords:** Heat transfer, perforated vortex generators, Nusselt number, Heat exchanger.

## Abstrak

Salah satu cara peningkatan perpindahan panas dengan menggunakan vortex generators. Penggunaan perforated concave delta winglet vortex generators (PCDWP VGs) ini bertujuan untuk mendapatkan peningkatan perpindahan panas yang maksimal pada heat exchanger dengan aliran udara melewati silinder panas didalam saluran persegi panjang. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang mana untuk mengetahui peningkatan perpindahan panas dengan menggunakan PCDWP VGs dibandingkan dengan tanpa VGs (baseline), sudut serang ( $\beta$ ) 15°, satu, dua dan tiga pasang VGs, susunan in-line dan staggered, silinder dipanasi 35 W pada temperatur 38 °C, dengan kecepatan divariasikan 0.4-2 m/s. Temperatur masuk, keluar dan silinder diukur menggunakan termokopel. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terjadi peningkatan Nu ketika menggunakan VGs. Nu tertinggi pada perforated VGs didapatkan pada PCDWP staggered diikuti oleh PCDWP in-line, PDWP staggered dan PDWP in-line dengan peningkatan 46.3%, 44.7%, 32.4% dan 31.0% terhadap baseline. Nu tertinggi terjadi pada penggunaan PCDWP tiga pasang staggered dengan nilai Nu = 462.16 pada Re = 11.000.

**Kata kunci:** Perpindahan panas, perforated vortex generators, Nusselt number, Heat exchanger.

## 1. Pendahuluan

Penukar kalor tipe *fin* dan *tube* sering dipakai di industri otomotif, kimia, serta sistem pendingin. Performa penukar kalor fin and tube perlu dilakukan untuk mendapatkan produk penukar kalor yang kompetitif dipasaran. Salah satu cara peningkatan perpindahan panas dengan mempertinggi koefisien perpindahan panas konveksi yaitu menggunakan vortex generator [1]. Tingginya hambatan thermal sisi udara pada *heat exchanger* menjadi permasalahan utama. Salah satu cara untuk menurunkan hambatan termal sisi udara

pada heat exchanger dengan menggunakan vortex generators karena dapat mempertinggi koefisien perpindahan panas konveksi. Keterbaruan dalam penelitian ini adalah penggunaan *vortex generators* jenis *perforated* (berlubang).

Berbagai metode dilakukan untuk meningkatkan perpindahan panas dan meminimalkan kerugian [2]. Biasa prosedur untuk meningkatkan perpindahan panas dan pencampuran adalah penggunaan VGs seperti winglet [3], turbulator [4-5] dan, sirip [6], baffles [7-8]. [9] menginvestigasi secara numerik performa termal aliran paralel *heat*

*exchanger* dengan menggunakan *vortex generators* jenis novel polyhedral longitudinal. Karakteristik thermal hydraulic dari susunan sejajar *tube bank fins heat exchanger* dengan mengaplikasikan *curve delta winglet vortex generators* telah dilakukan oleh Lin dkk.[10].

Efek perbedaan aspek rasio, sudut serang, konfigurasi *delta winglet pair vortex generators* didalam dinding akhir di dalam saluran terhadap performa thermal hidraulik dipelajari secara eksperimen oleh [11]. Evaluasi longitudinal dan transversal *vortex generators* jenis *delta winglet* dan *conical* terhadap peningkatan performa termal [12]. Pengaruh modifikasi *rectangular winglet vortex generators* terhadap performa termal perpindahan panas *fin tube heat exchanger* (FTHE) dilakukan secara eksperimen [13]. Peningkatan performa termal perpindahan panas untuk aliran internal turbulen pada tabung bulat menggunakan *curved vortex generators* telah diteliti secara eksperimen [14]. Pengaruh pemasangan lubang terhadap performa termal hidraulik dan pola aliran di saluran persegi panjang dengan menggunakan *perforated delta winglet pair vortex generators* [15].

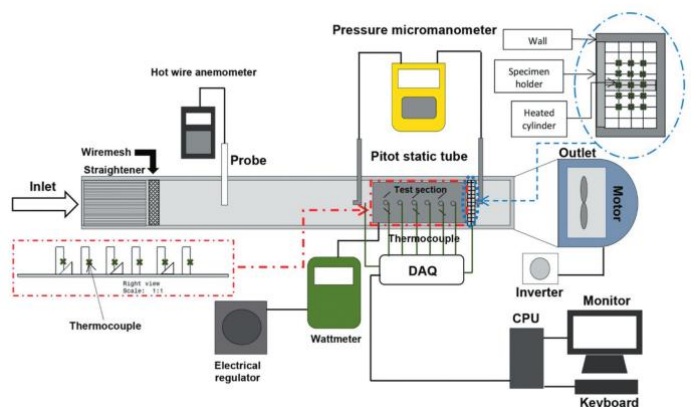
Optimal sudut serang, radius *perforated delta winglet vortex generators* terhadap performa termal di dalam wind tunnel telah diteliti secara eksperimen [16]. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa *pressure drop heat sink* dapat direduksi secara signifikan dengan adanya *perforated VGs*. Penurunan *pressure drop* diakibatkan oleh mengecilnya luas permukaan yang dilalui aliran udara, dan melemahnya LV. VGs berlubang menimbulkan *jet flow* yang dapat mengurangi aliran stagnasi dan recirculation zone [17]. Menginvestigasi efek pemasangan vortex generators jenis louvered V winglet (LVW) terhadap performa termal hidraulik didalam silinder heat exchanger [18]. Mempelajari secara

numerik pengaruh sudut serang, dimensi, susunan *vortex generators* jenis *sinusoidal wavy winglet* terhadap performa thermo hidrolis *fin* dan *tube heat exchanger* [19].

Berdasarkan penelitian yang ada, penggunaan *perforated concave delta winglet* bisa meningkatkan laju perpindahan panas. Informasi mengenai peningkatan perpindahan panas pada silinder masih sangat terbatas. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengurangi kehilangan tekanan sehingga terjadi peningkatan perpindahan panas konveksi.

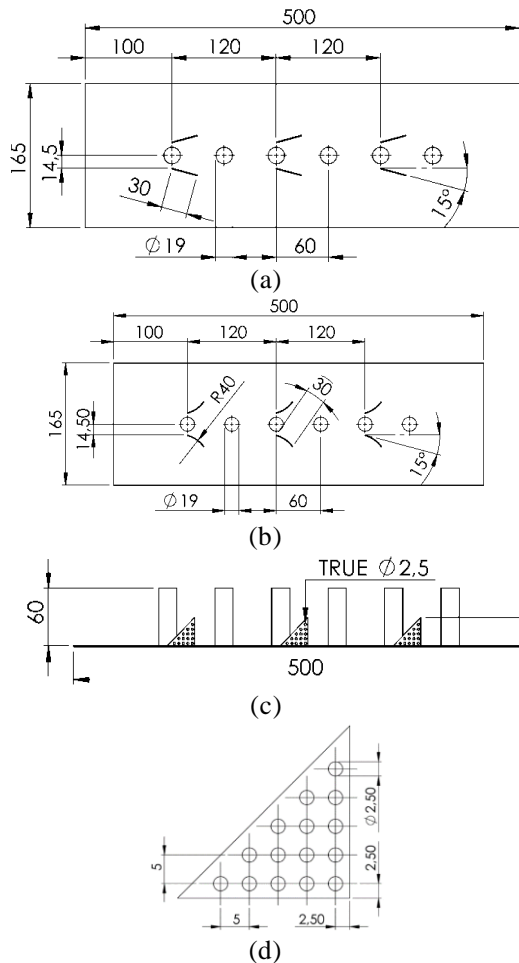
## 2. Metode Penelitian

Metode eksperimen ini dilakukan pada *rectangular channel* dengan bahan dari kaca berdimensi tebal 10 mm, panjang 3700 mm, lebar 80 mm, dan tinggi 180 mm. *Rectangular channel* ini terdiri dari kipas, *hot wire* anemometer, micromanometer, *pitot tube*, pipa kapiler, motor regulator. Variasi kecepatan aliran udara antara 0.4-2  $\text{ms}^{-1}$  melewati tabung dengan panas tetap 35W. Percobaan ini dibagi menjadi empat tahap: *inlet*, *straightener*, *test section*, dan *outlet*. Gambar 1 memperlihatkan alat percobaan.



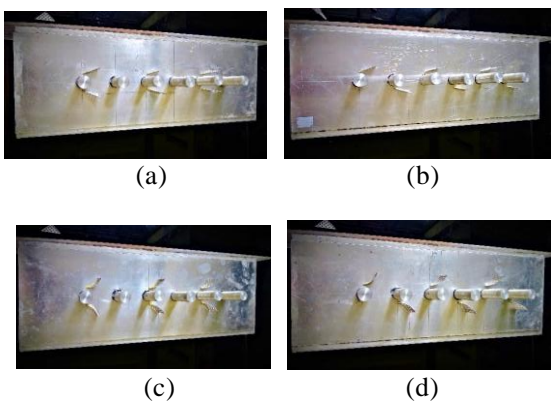
Gambar 1. Alat percobaan

Dalam percobaan ini, objeknya yaitu *vortex generators* jenis *perforated concave delta winglet* (PCDWP) dan *perforated delta winglet* (PDWP) pada silinder panas. Objek pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar **Error! No text of specified style in document.** Geometri bahan uji VGs tiga pasang *in-line* (a) tampak atas PDWP VGs (b) PCDWP VGs, (c) tampak samping PCDWP VGs dan (d) *perforated* VGs

Variasi percobaan ini meliputi VGs jenis PCDWP dan PDWP disusun *in-line* dan *staggered* serta jumlah tiga pasang. Contoh spesimen uji (Gambar 3).



Gambar 3. Bahan uji (a) PDWP tiga pasang *in-line* (b) PDWP tiga pasang *staggered* (c) PCDWP tiga

pasang *in-line* dan (b) PCDWP tiga pasang *staggered*

Untuk mengidentifikasi peningkatan perpindahan panas digunakan beberapa persamaan berikut.

Reynolds number ( $Re$ ):

$$Re = \frac{\rho U D_h}{\mu} \quad (1)$$

Dimana  $\rho$  densitas ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $U$  adalah kecepatan ( $\text{m/s}$ ),  $D$  adalah diameter hidrolis channel ( $\text{m}$ ), dan  $\mu$  viskositas dinamik ( $\text{Pa s}$ ). Rumus diameter hidrolis adalah  $D_h = \frac{4(ab)}{2(a+b)}$

Dimana  $Nu$  (*Nusselt number*):

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (2)$$

Hasil percobaan ini telah divalidasi oleh Yafid dkk. [20].

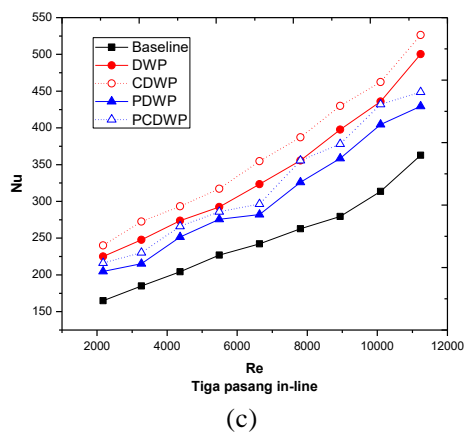
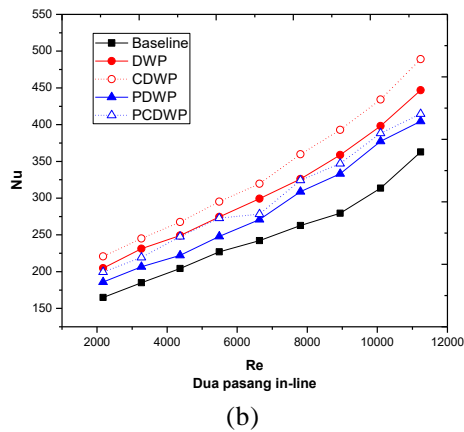
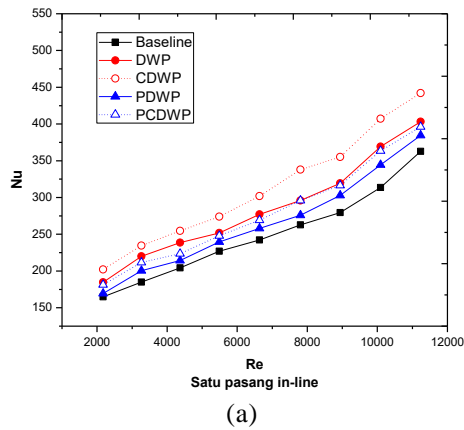
### 3. Hasil dan Pembahasan

Studi ini dilakukan untuk mengevaluasi laju perpindahan panas dengan menggunakan parameter *Nusselt number* dengan mengaplikasikan susunan dan jumlah pasang VGs dan *Reynolds*.

Gambar 4 dan Gambar 5 memperlihatkan pengaruh VGs dalam peningkatan  $Nu$  disebabkan adanya LV. Bertambahnya jumlah pasang VGs pada benda uji, terjadi peningkatan perpindahan panas. Kondisi ini dikarenakan terbentuknya LV yang diakibatkan oleh penggunaan VGs [21]. Besarnya LV menghasilkan campuran fluida menjadi lebih baik sehingga berdampak terhadap laju perpindahan panas [22].

Pengaruh VGs tanpa atau dengan *perforated* (berlubang) terhadap peningkatan  $Nu$  diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Hasil eksperimen ini menerangkan bahwa penggunaan *perforated* VGs berpengaruh adanya sedikit penurunan  $Nu$  untuk kasus VGs susunan *in-line* dan *staggered*. Pengaruh *jet flow* dapat mengurangi LV berakibat pada laju perpindahan panas. Namun, pengaruh *jet flow perforated* aliran

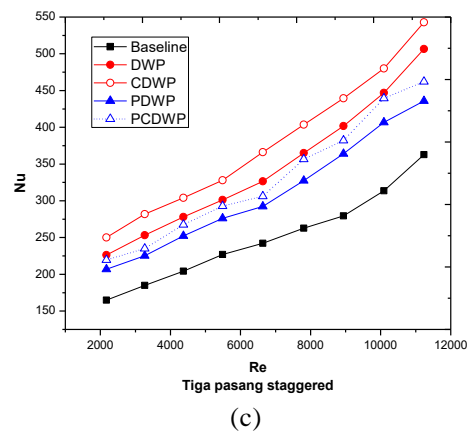
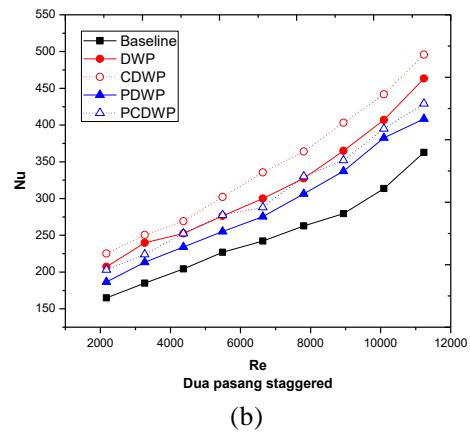
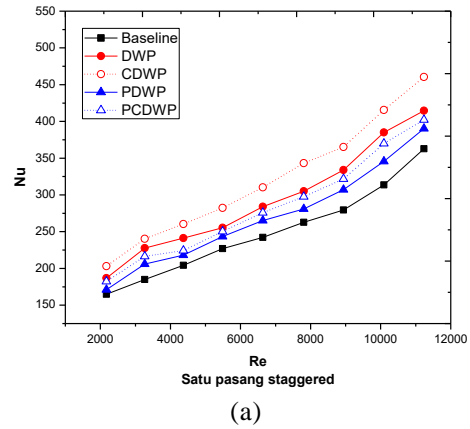
stagnasi berkurang di belakang VGs berdampak meningkatnya perpindahan panas lokal [23].



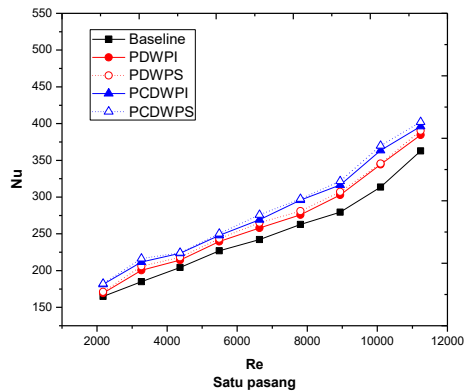
Gambar 4. Nusselt number pada VGs dengan variasi in-line, Re dan jumlah pasang VGs

*Jet flow* yang dilepaskan melalui *perforated* (lubang) memberikan energi tambahan pada aliran fluida, yang dapat meningkatkan turbulensi lokal di sekitar permukaan dan memperkuat efek VGs. Berkurangnya aliran stagnasi di belakang

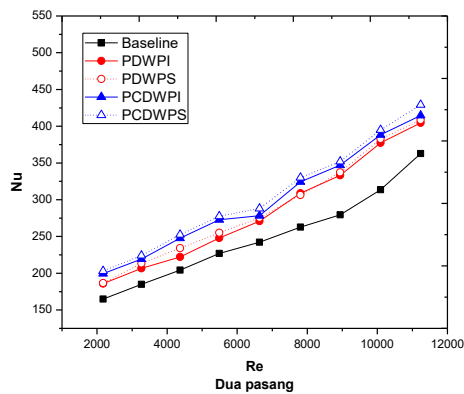
VGs, aliran lebih dinamis dan terjadi pencampuran yang lebih baik antara fluida panas dan dingin. Hal ini menyebabkan gradien temperatur di dekat permukaan menjadi lebih tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan perpindahan panas lokal.



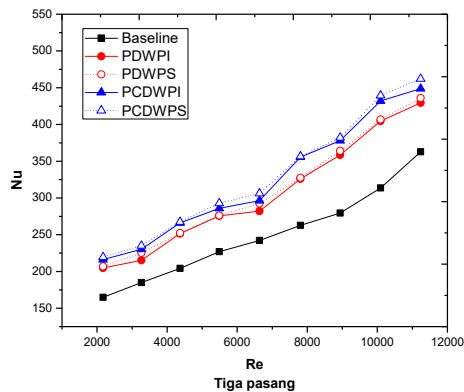
Gambar 5. Nusselt number pada pemasangan VGs dengan variasi susunan *staggered*, Re dan jumlah pasang VGs



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. *Nusselt number* pada PDWP dan PCDWP VGs dengan susunan *in-line* dan *staggered*,  $Re$  serta jumlah pasang VGs

$Nu$  terbaik untuk kasus VGs susunan *in-line* terjadi pada pengaplikasian CDWP diikuti oleh DWP, PCDWP dan PDWP VGs dengan peningkatan berturut-turut 45.09%, 37.93%, 23.73%, dan 18.38% dibandingkan *baseline*. Sedangkan,  $Nu$  terbaik untuk kasus VGs susunan *staggered* terdapat pada pemasangan CDWP diikuti oleh DWP,

PCDWP dan PDWP VGs dengan peningkatan berturut-turut 49.66%, 39.64%, 27.42% dan 20.18% dibandingkan *baseline*. Mekanisme peningkatan laju perpindahan panas yang diakibatkan oleh pemasangan vortex generators (VGs) diawali dengan reduksi lapisan batas, adanya swirling motion dan peningkatan intensitas turbulen [24]

Hasil studi ini diperoleh bahwa pengaplikasian CDWP VGs adalah lebih baik laju perpindahan panasnya. Sehingga, nilai  $Nu$  tertinggi terdapat pada  $Re$  tertinggi (11.000).

Peningkatan laju perpindahan panas pada pengaplikasian PCDWP lebih baik daripada PDWP. kondisi ini dikarenakan cekung (*concave*) membentuk tidak stabilnya gaya sentrifugal aliran fluida yang mengakibatkan kuatnya vortisitas aliran [25]. Kuatnya vortisitas aliran mengakibatkan campuran fluida panas dan dingin dari aliran utama menjadi lebih baik [25], [26]. VGs susunan *staggered* terbukti lebih baik laju perpindahan panasnya dibandingkan dengan VGs susunan *in-line*. Kondisi ini disebabkan VGs susunan *staggered* membentuk intensitas turbulen yang lebih tinggi [27]. Hasil percobaan ini didapatkan bahwa  $Nu$  tertinggi untuk kasus *perforated* VGs diperoleh saat pengaplikasian PCDWP *staggered*, PCDWP *in-line*, PDWP *staggered* dan PDWP *in-line* meningkat sebesar 46.3%, 44.7%, 32.4% dan 31% dibandingkan *baseline*.

#### 4. Kesimpulan

Penggunaan *perforated vortex generators* dapat meningkatkan laju perpindahan panas. Hasil riset ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh lubang VGs berakibat pada sedikit penurunan *Nusselt number*. Efek *jet flow perforated* VGs mengurangi LV sehingga berefek terhadap laju perpindahan panas. Laju perpindahan panas VGs *staggered* lebih baik dibandingkan dengan VGs *in-line*, karena susunan *staggered* menghasilkan turbulen yang lebih besar. Pengaplikasian *perforated*

VGs dapat meningkatkan *Nusselt number* terlihat pada penggunaan PCDWP tiga pasang *staggered* dengan nilai  $Nu = 462$  pada  $Re = 11.000$ . Pengaplikasian PCDWP VGs memiliki radius yang lebih besar dibandingkan PDWP VGs sehingga LV meningkat.

### Ucapan terimakasih

Terima kasih atas dukungan dana hibah dari RisetMU 2023, serta bantuan dari para laboran di laboratorium termofluid UNDIP, Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro, dan program studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

### Referensi

- [1] M. Fiebig, "Embedded vortices in internal flow: heat transfer and pressure loss enhancement," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 16, no. 5, hal. 376–388, 1995.
- [2] Y. A. Cengel, *HEAT TRANSFER A practical Approach*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Companies, Inc. All, 2002.
- [3] R. Maithani, A. Silori, J. Rana, dan S. Chamoli, "Numerical analysis of heat transfer and fluid flow of a wavy delta winglets in a rectangular duct," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 2, hal. 15–25, 2017.
- [4] A. H. Altun, M. Gurdal, dan B. Adnan, "Effects of sinusoidal strip element with different amplitudes on heat transfer and flow characteristics of circular channels," *Heat Transf. Res.*, vol. 50, no. 6, hal. 605–616, 2019.
- [5] A. H. Altun, M. Gurdal, dan A. Berber, "Effects of sinusoidal turbulator in cylindrical channel on heat transfer and flow characteristics," *Maejo Int. J. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 1, hal. 27–42, 2020.
- [6] A. Berber, M. Gurdal, dan K. Bağırsakçı, "Prediction of heat transfer in a circular tube with aluminum and Cr-Ni alloy pins using artificial neural network," *Exp. Heat Transf.*, vol. 00, no. 00, hal. 1–17, 2020.
- [7] A. Phila, S. Eiamsa-ard, dan C. Thianpong, "Thermal performance evaluation of a channel installed with inclined-baffle turbulators," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 45, no. 2, hal. 609–621, 2020.
- [8] P. Promvong dan S. Skullong, "Thermal characteristics in solar air duct with V-shaped flapped-baffles and chamfered-grooves," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 172, hal. 121220, 2021.
- [9] C. Yu, Y. Wang, H. Zhang, M. Zeng, B. Gao, dan Z. Fang, "Numerical investigation on turbulent thermal performance of parallel flow heat exchanger with a novel polyhedral longitudinal vortex generator in shell side," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 166, no. April, hal. 106962, 2021.
- [10] Z. M. Lin, S. F. Li, C. P. Liu, L. B. Wang, dan Y. H. Zhang, "Thermal and flow characteristics of a channel formed by aligned round tube bank fins stamped with curve delta-winglet vortex generators," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 26, no. October, hal. 101113, 2021.
- [11] L. Luo, Z. Zhao, D. Qiu, S. Wang, Z. Wang, dan B. Sundén, "An experimental investigation on the thermal augmentation of internal endwall in a two-pass duct using an array of delta-winglet vortex generator pair," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 182, hal. 122043, 2022.
- [12] Z. Zhao, L. Luo, D. Qiu, X. Zhou, Z. Wang, dan B. Sundén, "Experimental evaluation of longitudinal and transverse vortex generators on the endwall of a serpentine passage," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 176, 2022.
- [13] A. J. Modi dan M. K. Rathod, "Experimental investigation of heat

- transfer enhancement and pressure drop of fin-and-circular tube heat exchangers with modified rectangular winglet vortex generator,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 189, hal. 122742, 2022.
- [14] P. W. Deshmukh, S. V. Prabhu, dan R. P. Vedula, “Heat transfer augmentation for turbulent flow in circular tubes using inserts with multiple curved vortex generator elements,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 171, no. June 2021, hal. 107203, 2022.
- [15] A. Menéndez Pérez, C. Fernández-Aballí Altamirano, dan R. Borrajo Pérez, “Parametric analysis of the influence of geometric variables of vortex generators on compact louver fin heat exchangers,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 27, no. May 2021, hal. 0–2, 2022.
- [16] C. H. Huang dan L. W. Liu, “Optimal position and perforated radius of punched vortex generators for heat sink,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 32, no. February, hal. 101916, 2022.
- [17] S. Syaiful, S. A. Rakha, U. T. Suryo, Y. Yurianto, dan W. Retno, “2019 Numerical Analysis of Heat and Fluid Flow Characteristics of Airflow Inside Rectangular Channel with Presence of Perforated Concave Delta Winglet Vortex Generators .pdf.” hal. 12, 2019.
- [18] P. Promvong, P. Promthaisong, dan S. Skullong, “Thermal performance augmentation in round tube with louvered V-winglet vortex generator,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 182, 2022.
- [19] J. Wu, P. Liu, M. Yu, Z. Liu, dan W. Liu, “Thermo-hydraulic performance and exergy analysis of a fin-and-tube heat exchanger with sinusoidal wavy winglet type vortex generators,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 172, no. PA, hal. 107274, 2022.
- [20] Y. Effendi, A. Prayogo, Syaiful, M. Djaeni, dan E. Yohana, “Effect of perforated concave delta winglet vortex generators on heat transfer and flow resistance through the heated tubes in the channel,” *Exp. Heat Transf.*, hal. 1–24, 2021.
- [21] M. Awais dan A. A. Bhuiyan, “Enhancement of thermal and hydraulic performance of compact finned-tube heat exchanger using vortex generators (VGs): A parametric study,” *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 140, no. March 2018, hal. 154–166, 2019.
- [22] Syaiful, A. Siwi, T. Utomo, Yurianto, dan R. Wulandari, “Numerical Analysis of Heat and Fluid Flow Characteristics of Airflow Inside Rectangular Channel with Presence of Perforated Concave Delta Winglet Vortex Generators,” *Int. J. Heat Technol.*, vol. 37, no. 4, hal. 1059–1070, Des 2019.
- [23] Z. Han, Z. Xu, dan J. Wang, “Numerical simulation on heat transfer characteristics of rectangular vortex generators with a hole,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 126, hal. 993–1001, 2018.
- [24] N. Chimres, C.-C. Wang, dan S. Wongwises, “Optimal design of the semi-dimple vortex generator in the fin and tube heat exchanger,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 120, no. 2018, hal. 1173–1186, 2018.
- [25] S. Syaiful, A. Ayutasari, M. F. Soetanto, A. Indra Siswantara, dan M. Bae, “Thermo-hydrodynamics Performance Analysis of Fluid Flow through Concave Delta Winglet Vortex Generators by Numerical Simulation,” *Int. J. Technol.*, vol. 8, no. 7, hal. 1276, Des 2017.
- [26] A. Arora, P. M. V. Subbarao, dan R. S. Agarwal, “Development of parametric space for the vortex generator location for improving thermal compactness of an existing inline fin and tube heat exchanger,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 98, hal. 727–742, Apr 2016.

- [27] A. Sinha, H. Chattopadhyay, A. K. Iyengar, dan G. Biswas, "Enhancement of heat transfer in a fin-tube heat exchanger using rectangular winglet type vortex generators," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 101, hal. 667–681, Okt 2016.