

EFEK *VORTEX GENERATOR* BERLUBANG DENGAN VARIASI ASPEK RASIO TERHADAP *PERFORMANCE EVALUATION CRITERION*

*Boby Alfian Ahmad¹, Nazaruddin Sinaga², Syaiful²

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: boby.alfian17@gmail.com

Abstrak

Fin-tube adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang umum digunakan karena memiliki performa dan efisiensi perpindahan panas yang baik. Untuk meningkatkan performa perpindahan panas pada *fin-tube* dilakukan dengan menggunakan *vortex generator*. *Vortex Generator* menginduksi pola aliran melingkar untuk meningkatkan perpindahan panas. Namun, masalah yang terjadi adalah *pressure drop* yang dihasilkan lebih besar sehingga membutuhkan daya yang lebih besar. Oleh sebab itu, studi ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan laju perpindahan panas dengan nilai *pressure drop* yang kecil dengan menggunakan *vortex generator* (VG). VG tipe *concave delta winglet* berlubang yang divariasikan aspek rasionya digunakan dalam penelitian ini. Studi ini dilakukan pada sebuah saluran persegi yang di dalamnya terdapat tabung silinder yang diberi panas. Kecepatan alirannya diberi variasi mulai dari 0,2 sampai 2,0 m/s. VG yang digunakan divariasikan jumlah barisnya mulai dari satu, dua, dan tiga baris VG. Hasil yang didapat dari studi ini menunjukkan adanya peningkatan laju perpindahan panas untuk kasus VG tidak berlubang yang memiliki aspek rasio tertinggi dengan nilai 1,61 dan kenaikan *pressure drop* tertingginya adalah 1,56. Sedangkan untuk kasus VG berlubang yang memiliki aspek rasio tertinggi dengan nilai 1,58 dan kenaikan *pressure drop* tertingginya adalah 1,24. Pengaruh VG tidak berlubang dan berlubang terhadap nilai PEC diteliti di dalam paper ini.

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

Abstract

Fin-tube is one type of *heat exchanger* that is commonly used because it has good heat transfer performance and efficiency. To improve the heat transfer performance on the *fin-tube*, it is carried out by using a *vortex generator*. The *Vortex Generator* induces a circular flow pattern to improve heat transfer. However, the problem that occurs is that the resulting *pressure drop* is greater so that it requires greater power. Therefore, this study was conducted with the aim of increasing the heat transfer rate with a small *pressure drop* value using a *vortex generator* (VG). A perforated *concave delta winglet*-type VG varied aspect ratio was used in this study. This study was conducted on a square channel in which there is a cylindrical tube that is heated. The flow velocity is varied from 0.2 to 2.0 m/s. VG used varies the number of rows ranging from one, two, and three VG rows. The results obtained from this study show an increase in the heat transfer rate for non-perforated VG cases which have the highest aspect ratio with a value of 1.61 and the highest *pressure drop* increase is 1.56. As for the case of perforated VG, which has the highest aspect ratio with a value of 1.58 and the highest *pressure drop* increase is 1.24. The effect of non-perforated and perforated VG on pec value is studied in this paper.

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

1. Pendahuluan

Fin-tube heat exchanger, seperti yang diketahui sebagai salah satu performa terbaik pada efisiensi perpindahan panas dan *high compactness*, yang biasanya digunakan pada aplikasi *heat exchanger* dari cairan ke udara dan *refrigerant* ke udara [1]. Sebagaimana diketahui, pengembangan lapisan batas laminar di sepanjang fins memblokir perpindahan panas. Oleh karena itu, rangkaian pola geometri fins diproduksi untuk memecah lapisan laminar untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas. Salah satu metodenya adalah dengan menerapkan *vortex generator* (VG).

Telah dilakukan banyak penelitian tentang upaya untuk meningkatkan laju perpindahan panas. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan memperluas area kontak pada perpindahan panas. Namun, terdapat keterbatasan ruang yang tersedia. Terdapat cara lain untuk meningkatkan perpindahan panas pada *fin-and-tube* yaitu dengan meningkatkan

koefisien perpindahan panas konveksinya. Ada dua metode yang bisa dilakukan yaitu metode aktif dan metode pasif [2]. Metode aktif membutuhkan energi eksternal seperti medan listrik, surface vibration, dan lainnya. Sedangkan metode pasif tidak memerlukan energi eksternal, namun memerlukan modifikasi pada permukaan perpindahan panas sehingga penggunaannya lebih ekonomis dan efisien. Menurut Sadeghianjahromi dkk, tahanan termal sisi udara dapat diturunkan dengan menempatkan LVG di sisi udara pada penukar kalor *fin and tube* [3]. LVG menginduksi *longitudinal vortex* (LV) di dalam aliran utama. LV meningkatkan fluktuasi aliran dan memberi aksi *swirling* yang menyebabkan penipisan lapisan batas termal pada permukaan *fin* yang berakibat pada peningkatan laju perpindahan panas. Selain itu, LV dapat meningkatkan laju perpindahan panas pada *wake region* di belakang *tube*. Modi dan Rathod [4] mempelajari efek konfigurasi *rectangular winglet vortex generator* (RW VG) jenis *flat*, *wavy down*, *wavy up*, *curve down* dan *curved up*. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa penggunaan RW VG jenis *wavy-up* menghasilkan peningkatan perpindahan panas terbaik. Akan tetapi, nilai *j/f* terbaik teramati pada penggunaan RW VG jenis *curved-down*. Nilai *j/f* yang tinggi mengindikasikan bahwa performa perpindahan panas adalah lebih besar daripada *pressure drop*. Selain itu, nilai *j/f* yang tinggi mengindikasikan bahwa *pressure drop* pada penukar kalor *fin and tube* adalah lebih kecil.

Ada empat konfigurasi dasar dari vortex generator, yaitu: delta wing, rektangular wing, delta winglet, dan rektangular winglet [5]. Berdasarkan sumbu vortex terhadap arah aliran utama, vortex dibagi menjadi longitudinal vortex dan transverse vortex. Vortex generator tipe wing menghasilkan transverse vortex dan winglet menghasilkan longitudinal vortex. Longitudinal vortex mampu meningkatkan perpindahan panas yang lebih efektif dibandingkan dengan transverse vortex [6]. Boukhadia dkk [7] meneliti secara numerik pada penggunaan *baffle* dengan dan tanpa lubang. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa lubang pada *baffle* mengurangi zona stagnasi dimana perpindahan panasnya adalah rendah. Perbaikan perpindahan panas dibuktikan dengan besarnya LV dari *delta winglet* yang berakibat pada perpindahan panas konvektif lebih tinggi [8]. Li dkk [9] menginvestigasi performa termo-hidrolik pada penukar kalor *finless* dengan LVG. Untuk kasus kondisi kering, hasil riset mereka membuktikan bahwa performa termo-hidrolik dari penukar kalor *finless* dengan LVG adalah lebih rendah daripada yang dari penukar kalor *fin and tube*. Berdasarkan studi secara numerik yang dilakukan oleh Ke dkk [10], *aspect ratio* VG (tinggi/panjang) dan orientasi VG mempengaruhi performa termo-hidrolik. Jika *aspect ratio* adalah kecil, maka performa termo-hidrolik adalah optimal dengan orientasi CFU. Sebaliknya jika *aspect ratio* adalah besar, maka orientasi CFD adalah lebih baik. Besarnya *aspect ratio* VG berakibat pada tingginya performa termo-hidrolik oleh karena lebarnya LV yang terbentuk.

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penggunaan perforated concave delta winglet dalam perbaikan perpindahan panas selalu diikuti oleh tingginya *pressure drop*. Informasi yang berkaitan dengan perbaikan perpindahan panas dari silinder adalah sangat jarang. Oleh karena itu, studi ini difokuskan pada pengurangan *pressure drop* dengan menggunakan perforated concave delta winglet dengan variasi aspek rasio. Tujuan yang ingin dicapai dari studi ini yaitu peningkatan performa termo-hidrolik penukar kalor *fin and tube* akibat penurunan *pressure drop* pada penggunaan *perforated concave delta winglet* (PCDW).

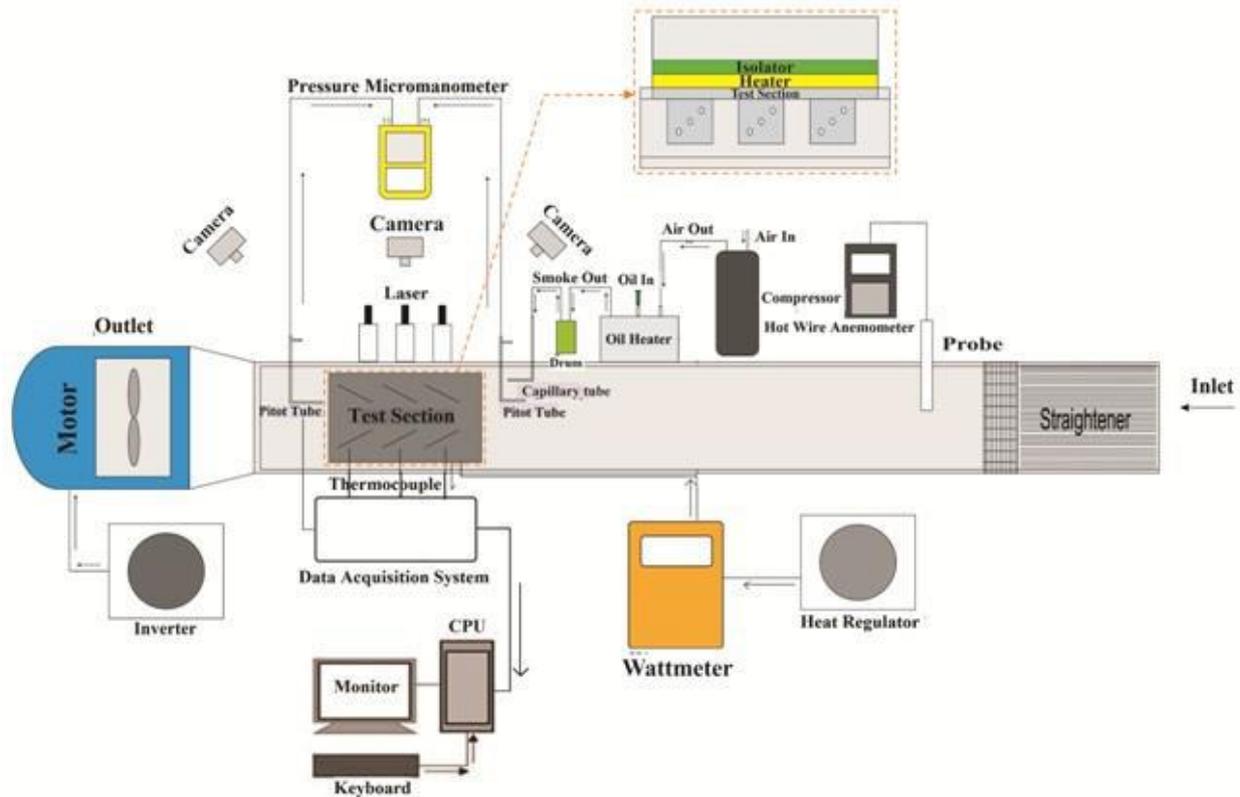
2. Metode Penelitian

2.1 Perlengkapan dan prosedur pengujian

Eksperimen dilakukan di Laboratorium Termofluida Teknik Mesin Universitas Diponegoro dengan skema alat pengujian ditunjukkan pada Gambar 1. Saluran segi empat ini memiliki panjang 370 cm, tinggi 18 cm, dan lebar 8 cm yang terbuat dari kaca dengan ketebalan 1 cm. Sebuah blower (Wipro) ditempatkan pada ujung lainnya untuk menghisap udara. Besarnya kecepatan aliran udara masuk yang diinginkan ditentukan dengan mengatur inverter (Mitsubishi Electric tipe FR-D700 dengan ketelitian ± 0.01). Udara mengalir melewati straightener yang terdiri dari susunan pipa aluminium dengan diameter 5 mm yang panjangnya 290 mm dan wiremesh untuk menyeragamkan aliran. Sebuah hot wire anemometer (Lutron tipe AM-4204 dengan ketelitian ± 0.1) ditempatkan 27 cm di belakang straightener untuk mengukur kecepatan udara masuk di dalam saluran. Kecepatan aliran udara masuk divariasikan dari 0.4 m/det hingga 2.0 m/det dengan interval 0.2 m/det. Kemudian udara mengalir melewati spesimen uji pada test section.

Pada studi ini, pengujian performa termal, hidrodinamik, dan visualisasi aliran dilakukan secara terpisah. Untuk pengujian performa termal, beberapa termokopel digunakan untuk mengukur temperatur udara masuk, udara keluar, dan spesimen uji. Termokopel dihubungkan dengan data acquisition yang terhubung dengan CPU sehingga temperatur dapat dimonitor dan disimpan. Kemudian, spesimen uji dipanaskan pada laju panas konstan 35 W hingga temperatur steady 54°C - 55°C dicapai. Laju panas pada heater diatur menggunakan heater regulator yang dihubungkan dengan untuk memonitor laju panas yang diinduksikan ke dalam plat. Heater diisolasi menggunakan isolator pada salah satu sisinya sehingga panas ditransfer hanya ke salah satu sisi dimana vortex generator dipasang. Selanjutnya, hasil pengukuran temperatur dengan variasi kecepatan aliran masuk direkam dan disimpan di dalam CPU.

Pressure micromanometer digunakan untuk mengukur *pressure drop* pada uji hidrodinamik aliran. Dua tabung pitot masing-masing diletakkan 26 cm di depan inlet dari test section dan 2.5 cm di belakang outlet dari test section. Kedua tabung pitot tersebut dihubungkan dengan micromanometer untuk memonitor *pressure drop*. Hasil pengukuran *pressure drop* yang terbaca ketika udara dialirkan dengan variasi kecepatan dicatat setiap 5 detik.

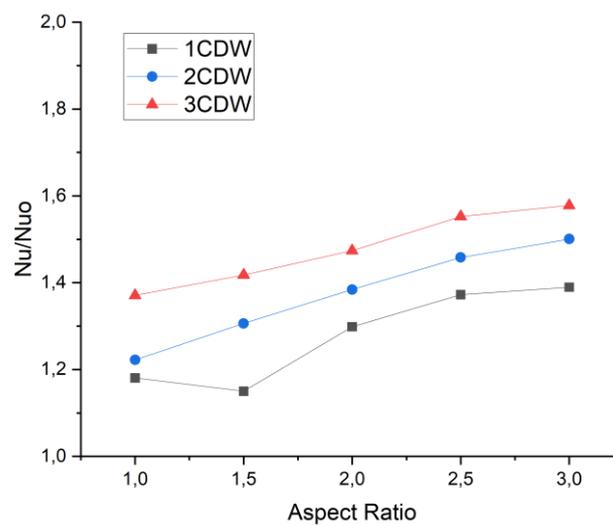


Gambar 1. Skema alat pengujian laju perpindahan panas dan *pressure drop*

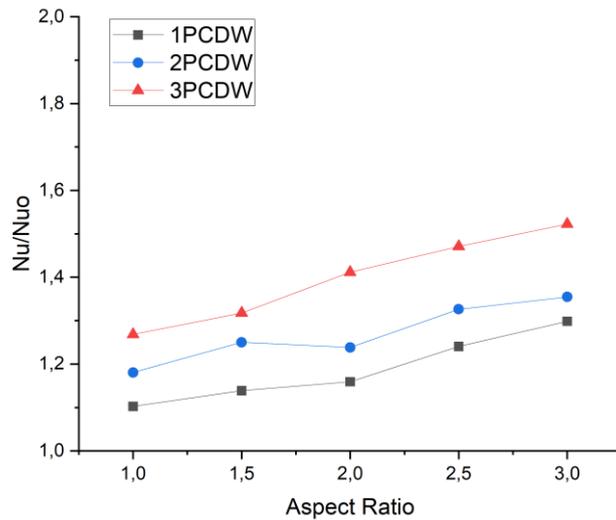
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Efek VG terhadap rasio perpindahan panas

Studi ini dilakukan untuk mengetahui rasio perpindahan panas pada VG dengan variasi aspek rasio dan jumlah pasang. Pada Gambar 2 ditunjukkan pengaruh VG terhadap laju perpindahan panas. Pada kasus penggunaan VG tidak berlubang nilai Nu/Nu_0 meningkat seiring dengan besarnya aspek rasio, terlihat pada Gambar 2 nilai tertinggi Nu/Nu_0 ditunjukkan pada penggunaan CDW yang memiliki aspek rasio 3 dengan nilai 1,61. Sedangkan pada kasus VG berlubang nilai Nu/Nu_0 tertinggi ditunjukkan pada penggunaan PCDW yang memiliki aspek rasio 3 dengan nilai 1,58. Semakin banyak jumlah pasang pada VG maka peningkatan nilai rasio bilangan Nusselt akan semakin besar.



(a)

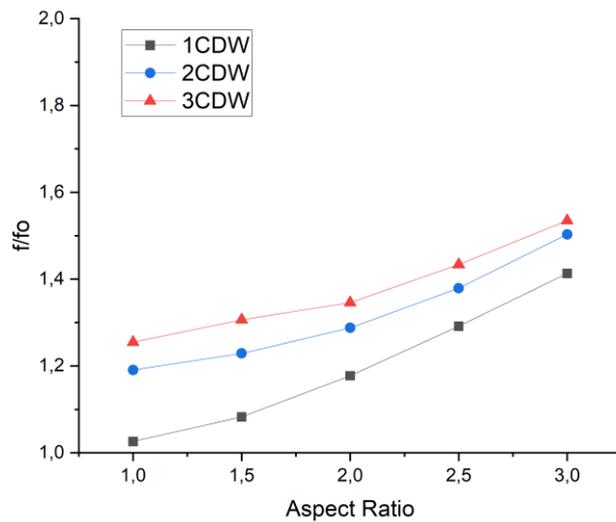


(b)

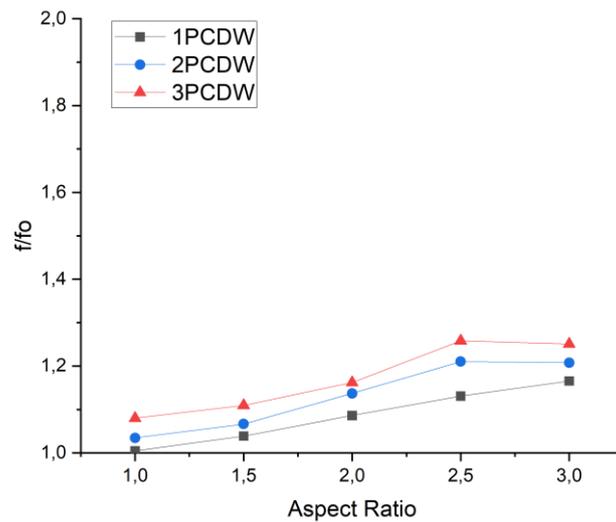
Gambar 2. Peningkatan laju perpindahan panas pada penggunaan VG berlubang dan tidak berlubang

3.2 Pengaruh VG terhadap Pressure drop

Penelitian ini dilakukan untuk upaya mengurangi kenaikan pressure drop pada penggunaan VG. Lubang- lubang pada VG dapat memperkecil nilai pressure drop yang terjadi. Hal tersebut terjadi karena lubang-lubang pada VG dapat memperkecil terjadinya gesekan. Pada kasus VG tanpa/ dengan lubang terjadi peningkatan rasio gaya gesek seiring dengan semakin besarnya aspek rasio. Pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa pada penggunaan VG tanpa lubang nilai tertinggi dari rasio gaya gesek terjadi pada CDW yang memiliki aspek rasio 3 dengan nilai 1,56. Sedangkan pada kasus VG berlubang nilai tertinggi didapati pada PCDW yang memiliki aspek rasio 3 dengan nilai 1,24. Pengaruh VG terhadap peningkatan rasio gaya gesek ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)

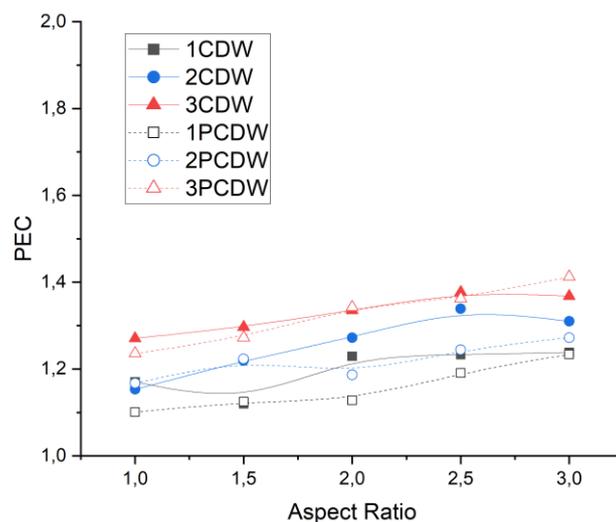


(b)

Gambar 3. Peningkatan rasio gaya gesek terhadap penggunaan VG dengan variasi aspek rasio dan jumlah pasang

3.3 Efek Vortex Generator terhadap nilai PEC

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *vortex generator* terhadap kenaikan nilai PEC. *Vortex generator* yang digunakan berjenis *concave delta winglet* (CDW) VG berlubang dan tidak berlubang yang divariasikan aspek rasio dan jumlah pasangannya. Pada Gambar 4 terlihat pada kasus VG tanpa lubang nilai PEC tertinggi ditunjukkan pada CDW yang memiliki aspek rasio 3 dengan nilai 1,36. Sedangkan untuk kasus VG berlubang nilai PEC tertinggi ditunjukkan pada PCDW yang memiliki aspek rasio 3 dengan nilai 1,41. Hal ini menandakan bahwa penggunaan PCDW VG dengan aspek rasio 3 menghasilkan perbaikan perpindahan panas yang lebih baik.



Gambar 4. Peningkatan nilai PEC terhadap penggunaan VG dengan variasi aspek rasio dan jumlah pasang

4. Kesimpulan

Pada studi ini, pengaruh penggunaan CDW VG berlubang dan tidak berlubang terhadap perpindahan panas, pressure drop dan PEC aliran di dalam saluran persegi empat telah diuji secara eksperimen. Hasil eksperimen dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kenaikan laju perpindahan panas tertinggi dihasilkan oleh *concave delta winglet* (CDW) tidak berlubang tiga pasang yang memiliki aspek ratio 3 dengan nilai 1,61 dan untuk kasus berlubang oleh PCDW tiga pasang yang memiliki nilai 1,58. Dari studi ini didapati bahwa VG tidak berlubang memiliki perpindahan panas yang lebih baik daripada VG yang berlubang.

2. *Pressure drop* tertinggi dihasilkan pada kasus *concave delta winglet* (CDW) tiga pasang yang memiliki aspek ratio 3 memiliki nilai 1,56 dan PCDW tiga pasang yang memiliki aspek rasio 3 yang memiliki nilai 1,24.
3. PEC susunan PCDW VG berlubang menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan VG yang tidak berlubang. Semakin banyak susunan baris dan semakin besar aspek rasio maka semakin besar pula nilai PEC yang dihasilkan sehingga performa perpindahan panasnya lebih baik.

5. Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Alam, T. & Kim, M.-H., 2018. A comprehensive review on single phase heat transfer enhancement techniques in heat exchanger applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.060>), pp. 813-839.
- [3] Sadeghianjahromi, A., Kheradmand, S., Nemati, H. & Wang, C.-C., 2020. Heat transfer enhancement of wavy fin-and-tube heat exchangers via innovative compound designs. *International Journal of Thermal Sciences*, 149(<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106211>), p. 106211.
- [4] Modi, A. J. & Rathod, M. K., 2019. Comparative study of heat transfer enhancement and pressure drop for fin-and-circular tube compact heat exchangers with sinusoidal wavy and elliptical curved rectangular winglet vortex generator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 141(<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.06.088>), p. 310–326.
- [5] Du, X. et al., 2014. Heat transfer enhancement of wavy finned flat tube by punched. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 75, p. 368–380.
- [6] He, Y.-L. et al., 2013. Analysis of heat transfer and pressure drop for fin-and-tube heat exchangers with rectangular winglet-type vortex generators. *Applied Thermal Engineering*, 61(<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.02.040>), pp. 770-783.
- [7] Boukhadia, K., Ameer, H., Sahel, D. & Bozit, M., 2018. Effect of the perforation design on the fluid flow and heat transfer characteristics of a plate fin heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*, 126(<https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.12.025>), p. 172–180.
- [8] Wu, H., Ting, D. S.-K. & Ray, S., 2018. The effect of delta winglet attack angle on the heat transfer performance. The effect of delta winglet attack angle on the heat transfer performance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 120(<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.12.030>), p. 117–126.
- [9] Li, J., Dang, C. & Hihara, E., 2019. Heat transfer enhancement in a parallel, finless heat exchanger using a longitudinal vortex generator, Part B: Experimental investigation on the performance of finless and fin-tube heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128(<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.06.048>), p. 66–75.
- [10] Ke, Z. et al., 2019. Vortex dynamics and heat transfer of longitudinal vortex generators in a rectangular channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 132(<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.12.064>), p. 871–885.