

## Perbaikan Perpindahan Panas Pada Aliran Melewati *Heated Tube* Menggunakan Permukaan Buatan

<sup>1</sup>Yafid Effendi, <sup>2</sup>Ali Rosyidin

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang  
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang  
e-mail: yafid\_effendi@yahoo.com, yafid.effendi@umt.ac.id

### Abstrak

Secara luas permukaan buatan atau vortex generators (VGs) digunakan untuk perbaikan performa perpindahan panas pada fin and tube heat exchanger. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan vortex generators terhadap perbaikan perpindahan panas dan pressure drop aliran pada tubes yang dipanaskan didalam saluran rectangular. Metode yang digunakan eksperimen yaitu membandingkan penggunaan vortex generators concave delta winglet vortex generators (CDW VGs) dan delta winglet vortex generators (DWP VGs) dibandingkan dengan baseline (tanpa vortex generators) dengan sudut serang 15°, variasi kecepatan udara dari 0,4 m/s – 2,0 m/s, dengan rentang 0,2 m/s. Temperatur inlet, outlet dan tube diukur menggunakan termokopel. Hasil penelitian memperlihatkan pengaplikasian vortex generators perbaikan perpindahan panas dan pressure drop meningkat dibandingkan dengan baseline. Nilai tertinggi rasio  $Nu$ , rasio  $f$  dan PEC terjadi pada CDW VGs dua pasang tersusun secara staggered berturut-turut 45,25%, 152,05%, and 28,87%.

**Kata kunci:** perpindahan panas, pressure droop, concave delta winglet, delta winglet

### Abstract

Vortex generators are used to improve the heat transfer performance of fin and tube heat exchangers. Therefore, the aim of this study is to determine the effect of using vortex generators on the improvement of heat transfer and pressure drop flow in tubes heated in rectangular channels. The method used experimentally is to compare the use of concave delta winglet vortex generators (CDW VGs) and delta winglet vortex generators (DWP VGs) compared to the baseline (without vortex generators) with an angle of attack of 15°, variations in air velocity from 0.4 m/s - 2.0 m/s, with a range of 0.2 m/s. Inlet, outlet and tube temperatures were measured using a thermocouple. The results showed that the application of vortex generators improved heat transfer and increased pressure drop compared to the baseline. The highest value of the ratio  $Nu$ ,  $f$  dan PEC occurred in the CDW VGs of two pairs arranged staggeredly 45.25%, 152.05%, and 28.87%, respectively.

**Keywords:** perpindahan panas, pressure droop, concave delta winglet, delta winglet

### PENDAHULUAN

Penukar kalor jenis fin and tube banyak digunakan di industri kimia, pembangkit listrik, industri otomotif, refrigerasi dan pengkondisian udara. Kebutuhan sistem pengkondisian udara atau air conditioning (AC) untuk rumah tangga terjadi peningkatan, diperkirakan 20 juta unit pada tahun 2019 [1, 2]. Berdasarkan data tersebut, peningkatan performa pada AC rumah tangga menjadi hal yang menarik untuk diteliti. Peningkatan performa ini dapat ditingkatkan dengan memperbesar nilai koefisien perpindahan panas konveksi yang salah satu komponennya kondensor. Kondensor merupakan bagian dari komponen AC dimana udara digunakan sebagai pendingin refrigerant. Salah satu cara untuk meningkatkan laju perpindahan panas dengan membangkitkan longitudinal vortex menggunakan permukaan buatan atau VGs [3].

Wu & Tao [4] mempelajari secara eksperimen dan numerik tentang pengaruh longitudinal delta winglet vortex generators pada perpindahan panas konveksi didalam saluran segiempat dengan perbedaan variasi sudut serang  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ . Rata-rata perpindahan panas konveksi dengan penggunaan delta winglet vortex generators meningkat dengan meningkatnya reynold number dan sudut serang. Arora et al.[5] menyatakan bahwa perpindahan panas dari penukar panas jenis fin and tube oleh jenis vortex generators sangat tergantung pada lokasi winglet pusat tabung, mereka meneliti mengoptimalkan lokasi "common flow up" delta winglet untuk kekompakan termal maksimum dari sebaris yang diberikan searah penukar panas jenis fin and tube. Syaiful dkk [6] meneliti tentang efek concave rectangular winglet vortex generators pada koefisien perpindahan panas konveksi. Jenis vortex generators yang digunakan ada dua tipe rectangular winglet dan concave rectangular winglet. Pengaruh geometri dan jumlah vortex generators dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas. Jenis Concave rectangular vortex generator 3 baris mempunyai peningkatan koefisien perpindahan panas yang paling tinggi dibandingkan dengan rectangular vortex generator maupun baseline (tanpa vortex generator).

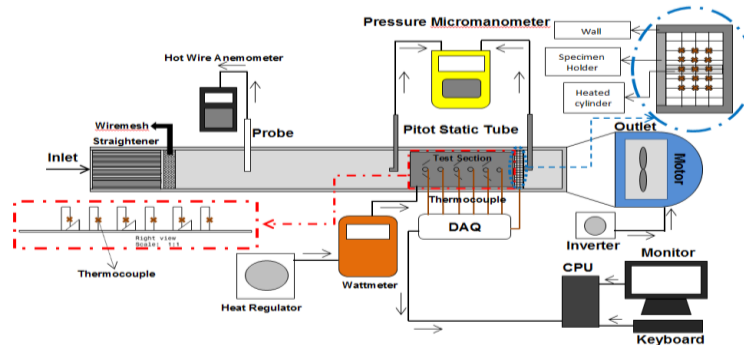
M. Hosseini et al. [7] memaparkan Perbedaan vortex generators jenis Sinusoidal (Sin), Wave dan Broken obstacle rectangular dan triangular pemasangan bars pada pendinginan untuk hot bar pada perpindahan panas dilakukan secara eksperimen dan numerik. Xiang Wu et al. [8] meneliti efek fin pitch dan diameter tabung pada kinerja perpindahan panas sisi udara dari sebuah tabung bank penukar panas menggunakan curve delta winglet vortex generator (CDVGs) diselidiki secara eksperimental. KeWei Song et al. [9] menyatakan vortex generator telah menerima perhatian luas dan secara luas diterapkan untuk peningkatan perpindahan panas. Untuk lebih meningkatkan kinerja perpindahan panas dari penukar panas kompak, curve delta winglet vortex generator dengan ukuran geometris yang berbeda dipelajari secara eksperimental untuk penukar kalor jenis fin-and-tube. Naik dan Tiwari [10] mempelajari Performa perpindahan panas untuk penukar kalor jenis fin-tube dapat ditingkatkan dengan meningkatkan longitudinal vortex menggunakan vortex generators (VGs). Mereka meneliti tentang numerik tiga dimensi pengaruh lokasi winglet pada karakteristik perpindahan panas penukar panas jenis fin-tube untuk pemasangan tabung inline. Jenis vortex generators yang digunakan rectangular vortex generators (RWP).

Para peneliti baik secara eksperimen maupun numerik telah banyak meneliti vortex generators sebagai peningkatan laju perpindahan panas. Liu et al. [11] mempelajari susunan vortex genertors pada permukaan fin dengan sepuluh delta winglet vortex generators mengelilingi tubes untuk perbaikan perpindahan panas. Hasil penelitiannya menunjukkan penggunaan vortex generators dapat mereduksi area wake di belakang tube dan peningkatan pencampuran fluida panas dan dingin, serta peningkatan jumlah vortisitas. Song et al. [12] menginvestigasi karakteristik perpindahan panas dengan berbagai penggunaan geometri optimal vortex generators jenis concave dan convex dalam saluran plat perpindahan panas pada kondisi laminar yangmana peningkatan performa perpindahan panas tertinggi didapati pada penggunaan concave vortex generators.

Berdasarkan referensi diatas menunjukkan penggunaan VG mempunyai pengaruh terhadap perpindahan panas dan pressure drop. Peningkatan perpindahan panas dan pressure drop dengan penggunaan permukaan buatan atau VGs pada aliran udara melewati silinder yang dipanasi masih sedikit. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan secara eksperime untuk mengetahui peningkatan performa perpindahan panas dan pressure drop dengan menggunakan permukaan buatan atau (VGs).

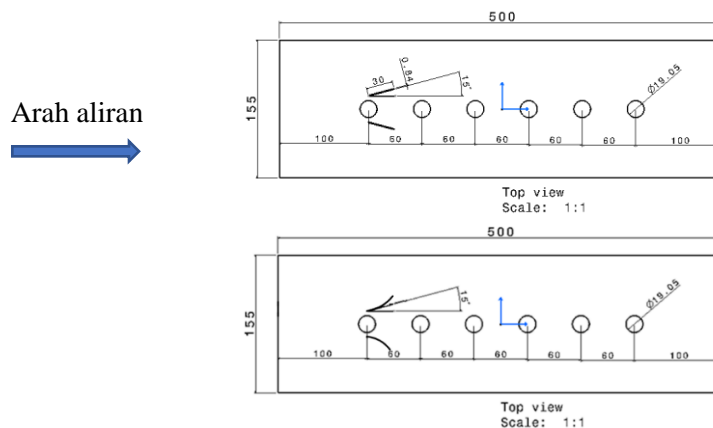
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, pengujian dilakukan di dalam sebuah saluran udara yang terbuat dari kaca dengan ketebalan 10 mm, panjang 370 cm, lebar 8 cm, dan tinggi 18 cm. Saluran udara ini memiliki penampang berbentuk persegi panjang yang dilengkapi dengan fan, hot wire anemometer, pitot tube, micromanometer, pemanas, kompresor, laser, pipa kapiler, motor regulator. Daerah pada pengujian dibagi atas empat bagian, yaitu: inlet, straightener, test section, dan outlet. Skema alat pengujian tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Alat Pengujian

Pada pengujian ini, benda uji yang digunakan adalah concave delta winglet vortex generators (CDWP VGs) dan delta winglet vortex generators (DWP VGs) dengan 6 tube yang dipanaskan. Benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Delta Winglet dan Concave Delta Winglet Vortex Generator (satuan dalam mm)

Variasi dalam penelitian ini delta winglet vortex generators secara in-line dan staggered 1 dan 2 baris pasang, seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4, dan concave delta winglet vortex generators in-line dan staggered 1 dan 2 baris pasang tampak pada Gambar 5 dan Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 3. Delta winglet vortex generators (a) in-line satu pasang, (b) in-line dua pasang



Gambar 4. Delta winglet vortex generators (a) staggered satu pasang, (b) staggered dua pasang



Gambar 5. Concave delta winglet vortex generators (a) in-line satu pasang, (b) in-line dua pasang



Gambar 6. Concave delta winglet vortex generators (a) staggered satu pasang, (b) staggered dua pasang

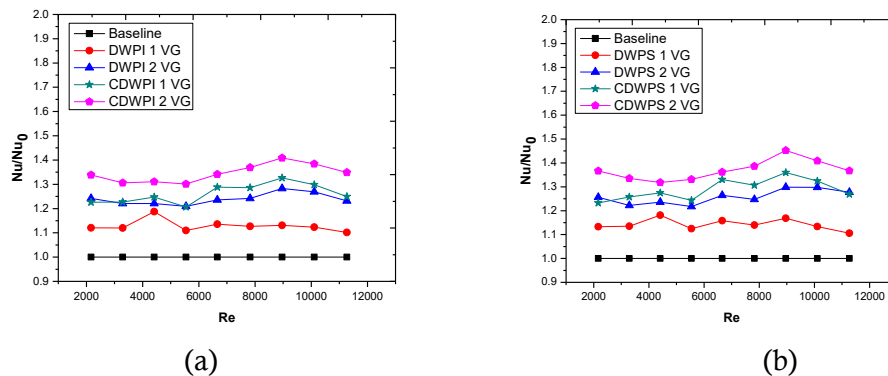
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui efek penggunaan delta winglet dan concave delta winglet vortex generator terhadap peningkatan perpindahan panas dan pressure drop.

### *Perbandingan performa perpindahan panas*

Sifat perpindahan panas untuk concave delta winglet dan delta winglet satu dan dua pasang, keduanya disusun in-line dan staggered terhadap baseline seperti pada Gambar 7(a) dan (b). Gambar 7(a) dan (b) menunjukkan Nusselt number meningkat dengan meningkatnya Reynolds number pada kasus yang menggunakan vortex generators. Diperoleh bahwa Nusselt number untuk kasus yang menggunakan vortex generators jenis CDW dua pasang in-line dan staggered mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kasus yang menggunakan VG jenis DW satu pasang. Nilai perbandingan Nusselt number mengalami kenaikan 13,08%, 28,29%, 32,61% dan 40,90% saat menggunakan

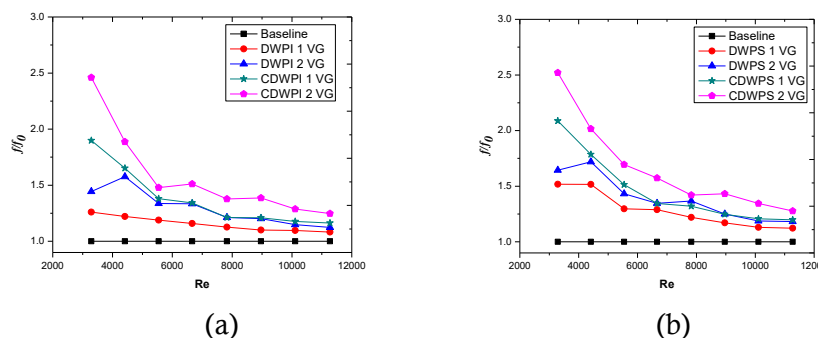
DW VGs satu pasang, DW dua pasang, CDW satu pasang dan CDW dua pasang tersusun in-line terhadap baseline, begitu juga sama halnya pada susunan staggered. Rasio Nusselt number tertinggi terjadi pada CDW dua pasang, CDW satu pasang, DW dua pasang dan DW satu pasang berturut-turut 16,83%, 29,82%, 35,99%, dan 45,25%. Ketika menggunakan CDW, longitudinal vortex yang terbentuk berdiameter lebih besar dan lebih kuat dibandingkan dengan longitudinal vortex yang terbentuk dari DW.



Gambar 7. Perbandingan Nusselt number VGs (a) in-line dan (b) staggered terhadap baseline untuk variasi Reynolds number dan jumlah pasang VG

**Perbandingan performa faktor gesek**

Gambar 8(a) dan (b) memperlihatkan rasio faktor gesek untuk semua kasus. Perbandingan faktor gesek ( $f$ ) menurun dengan meningkatnya Reynolds number untuk kasus yang menggunakan vortex generators [10]. Sementara itu, rasio factor gesek pada Reynolds number yang sama untuk kasus DW VGs satu pasang, DW dua pasang, CDW satu pasang dan CDW dua pasang tersusun in-line adalah 25,96%, 44,41%, 89,85% dan 146,04% lebih tinggi dibandingkan dengan baseline, tampak pada Gambar 8 (a). Perbandingan faktor gesek antara DW dan CDW satu dan dua pasang tersusun staggered seperti pada Gambar 8(b). Gambar 8(b) menunjukkan nilai perbandingan faktor gesek lebih besar untuk kasus dengan menggunakan CDW dibandingkan dengan kasus yang menggunakan VG jenis DW. Nilai perbandingan faktor gesek tertinggi CDW dua pasang, CDW satu pasang, DW dua pasang dan DW satu pasang berturut-turut 152,05%, 108,67%, 64,35% dan 51,81% dibandingkan dengan baseline. Hasil rasio factor gesek menandakan untuk konfigurasi concave delta winglet lebih besar daripada konfigurasi delta winglet pada Reynolds number yang sama.

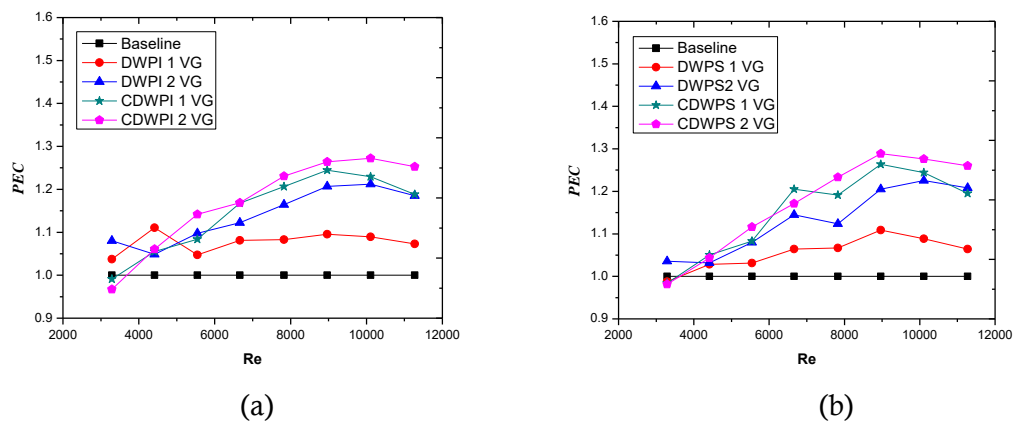


Gambar 8. Perbandingan faktor gesek VGs (a) in-line dan (b) staggered terhadap baseline untuk variasi Reynolds number dan jumlah pasang VG



### Perbandingan performa perpindahan panas

Seperti halnya penjelasan diatas, bahwa rasio factor gesek akan meningkat dengan meningkatnya perpindahan panas. Akibatnya, perlu untuk membandingkan performa peningkatan perpindahan panas. Di dalam penelitian,  $PEC$  melibatkan factor  $NU$  dan  $f$  dipergunakan untuk kriteria penilaian mengevaluasi peningkatan perpindahan panas untuk kasus ini. Rasio hasil  $PEC$  ditunjukkan pada Gambar 9(a) dan (b). Performa perpindahan panas meningkat dengan meningkatnya Reynolds number untuk kasus yang menggunakan VG. Nilai performa perpindahan panas meningkat pada DW satu pasang, DW dua pasang, CDW satu pasang dan CDW dua pasang berturut-turut 9,53%, 20,67%, 24,45% dan 26,38% terhadap baseline pada  $Re$  yang sama, seperti pada Gambar 9(a). Gambar 9(b) menjelaskan perbandingan performa perpindahan panas pada susunan staggered dengan mengaplikasikan VGs. Nilai tertinggi performa perpindahan panas ketika menggunakan CDW dua pasang, CDW satu pasang, DW dua pasang dan DW dua pasang berturut-turut 28,87%, 26,34%, 20,51% dan 10,87% pada  $Re$  yang sama. Performance enhancement criteria untuk kasus dengan menggunakan CDW in-line maupun staggered mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kasus yang menggunakan DW. Pada CDW mempunyai perbaikan perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan DW.



**Gambar 9. Perbandingan peningkatan performa perpindahan panas VGs (a) in-line dan (b) staggered terhadap baseline untuk variasi Reynolds number dan jumlah pasang VG**

### SIMPULAN

Penggunaan concave delta winglet dan delta winglet vortex generators dapat meningkatkan perbaikan perpindahan panas. Efek peningkatan perpindahan panas dan pressure drop dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Performa perpindahan panas terbaik ketika penggunaan dua baris CDW disusun secara staggered, pada  $Re$  yang sama.
2. Nilai perbandingan  $Nu$  dan rasio factor gesek tertinggi ketika menggunakan dua baris CDW staggered
3. Jumlah baris vortex generators berpengaruh terhadap peningkatan perpindahan panas dan pressure drop.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fiebig, A. Valencia and N. K. Mitra, 1993, Wing-Type Vortex Generators for Fin-and-Tube Heat Exchangers, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 7, pp. 287-295.
- [2] <http://ditjenppi.menlhk.go.id/berita-ppi/3407>, diakses 28 Juli 2020, jam 13.00 WIB.
- [3] A. M. Jacobi and R. K. Shah, 1995, Perpindahan panas Surface Enhancement through the Use of Longitudinal Vortices: A Review of Recent Progress, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 11, pp. 295-309.
- [4] J.M. Wu a,\*, W.Q. Tao b, 2012, Effect of longitudinal vortex generator on perpindahan panas in rectangular channels, *Applied Thermal Engineering* 37 67e72.
- [5] Amit Arora, P.M.V. Subbarao, R.S. Agarwal, 2015, Numerical Optimization Of Location Of 'Common flow Up' Delta Winglets For Inline Aligned finned Tube Heat Exchanger, *Applied Thermal Engineering* 82, pp.329-340.
- [6] Syaiful, Gladys Sugiri, Maria F. Soetanto, and Myung-whan Bae, 2016, Effect of Concave Rectangular Winglet Vortex Generator On Convection Coefficient Of Perpindahan panas, *International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016)*
- [7] M. Hosseini, D.D. Ganji, M. Aghajani Delavar, 2016, Experimental and Numerical Evaluation Of Different Vortex Generators On Perpindahan panas, *Applied Thermal Engineering* 108, pp.905–915.
- [8] Xiang Wu, Zhi-Min Lin, Song Liu, Mei Su, Liang-Chen Wang, Liang-Bi Wang, 2017, Experimental Study On The Effects Of fin Pitches And Tube Diameters On The Perpindahan panas And fluid flow Characteristics Of A fin Punched With Curved Delta-Winglet Vortex Generators, *Applied Thermal Engineering* 119, pp.560–572.
- [9] KeWei Song, ZhiPeng Xi, Mei Su, LiangChen Wang, Xiang Wu, LiangBi Wang, 2017, Effect of Geometric Size Of Curved Delta Winglet Vortex Generators And Tube Pitch On Perpindahan panas Characteristics Of fin-Tube Heat Exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science* 82, pp.8–18.
- [10] Hemant Naik, Shaligram Tiwari, 2018, Effect of Winglet Location On Performance Of fin-Tube Heat Exchangers With Inline Tube Arrangement, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 125, pp. 248–261.
- [11] Yuanbo Liu, Xuehu Ma\*, Xuan Ye, Yansong Chen, Yaqi Cheng, Zhong Lan. Perpindahan panas enhancement of annular finned tube exchanger using vortex generators: The effect of oriented functional circumferential arrangement. *Thermal Science and Engineering Progress* 10 (2019) 27–35
- [12] KeWei Song, Toshio Tagawa, ZhongHao Chen, Qiang Zhang. Perpindahan panas characteristics of concave and convex curved vortex generators in the channel of plate perpindahan panas under laminar flow. *International Journal of Thermal Sciences* 137 (2019) 215–228

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dana hibah dari ristekdikti dan juga laboran pada laboratorium thermofluid UNDIP, Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro dan Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.