

## Visualisasi Aliran Udara Melalui Vortex Generator Jenis Concave Delta Winglet di dalam Saluran

Syaiful<sup>1,\*</sup>, Arief Rachman<sup>2</sup> dan Bambang Yunianto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto, Semarang, Indonesia

\*syaiful.undip2011@gmail.com

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk geometri, jumlah barisan dan sudut serang vortex generator terhadap pola aliran udara di dalam saluran. Pengujian dilakukan pada sebuah saluran udara berpenampang persegi (*rectangular channel*) yang terbuat dari kaca. Vortex generator yang digunakan adalah jenis delta winglet dan concave delta winglet yang dipasang secara inline dengan variasi jumlah baris 1,2, dan 3 pada variasi sudut serang  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  dan  $45^\circ$ . Visualisasi aliran dilakukan dengan metode *smoke injection*. Pola aliran akan terbentuk dan terlihat oleh sinar laser yang dibiaskan membentuk lembaran pada saluran. Dari visualisasi aliran diketahui bahwa vortex generator menghasilkan longitudinal vortex pada aliran, dimana pada geometri concave delta winglet (CDWPs) menghasilkan longitudinal vortex yang mempunyai luasan vortex yang lebih luas, merata dan mempunyai intensitas vortex yang lebih banyak dibandingkan pada geometri delta winglet (DWPs).

**Kata kunci :** Visualisasi aliran, concave delta winglet, longitudinal vortex

### Pendahuluan

Compact heat exchanger adalah salah satu jenis penukar kalor yang memiliki kemampuan untuk memindahkan panas antar dua fluida dalam jumlah besar dengan menggunakan sedikit volume [1]. Penukar kalor jenis ini digunakan dengan mempertimbangkan berat dan volume. Compact heat exchanger banyak digunakan di industri otomotif (radiator), elektronik, HVAC dan lain sebagainya [2]. Dengan banyaknya penggunaan penukar kalor jenis *compact*, peningkatan performa menjadi hal yang penting untuk dilakukan.

Peningkatan performa *compact heat exchanger* dapat dilakukan dengan memperluas permukaan perpindahan panas dan peningkatan koefisien perpindahan panas konveksi di sisi sirip. Peningkatan luasan permukaan perpindahan panas (sisi sirip) biasanya terbatas pada ruang dimana penukar kalor dipasang. Sehingga pilihan kedua menjadi solusi peningkatan performa dengan keterbatasan ruang yang tersedia [3].

Salah satu cara untuk meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi adalah dengan memasang *vortex generator* pada permukaan sirip. *Vortex generator* dirancang untuk membangkitkan *vortex* dalam aliran

yang mampu menaikkan tingkat turbulensi sehingga dapat meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi. *Vortex generator* merupakan permukaan tambahan atau berupa tonjolan pada permukaan fin. Pembentukan *vortex* ini diawali dengan terjadinya separasi aliran di daerah tepi *vortex generator*. Penggunaan metode ini disebut sebagai metode pasif yang terdiri atas tiga tahapan, yaitu (1) terbentuknya lapisan batas; (2) timbulnya swirl dan (3) terjadinya ketidakstabilan aliran [4]. Berdasarkan posisi sumbunya, *vortex* yang dihasilkan dapat digolongkan menjadi dua, yaitu *transverse vortex* dan *longitudinal vortex*. *Transverse vortex* memiliki sumbu yang tegak lurus terhadap arah aliran utama, sementara *longitudinal vortex* memiliki sumbu yang sejajar terhadap arah aliran utama [5].

Fiebig (1995) meneliti secara eksperimental dan numerik terhadap *transverse vortex* dan *longitudinal vortex* [4]. Hasil yang didapat membuktikan bahwa *vortex* jenis longitudinal menghasilkan peningkatan perpindahan panas yang lebih baik dibandingkan dengan *transverse vortex* untuk *pressure loss penalty* yang sama. Yeon Yoo dkk (2002) menyelidiki fenomena perpindahan panas pada *circular and flat fin*-

*tube heat exchanger* dengan penambahan *vortex generator* [6]. Leu dkk (2004) melakukan penelitian secara numerik dan eksperimental perpindahan panas dan aliran fluida pada penukar kalor jenis *plate-fin and tube* dengan *vortex generator* yang dipasang di belakang tubenya [7]. Wu dkk (2012) melakukan penelitian eksperimental peningkatan perpindahan panas pada penukar kalor *fin-tube* terbaru dengan *vortex generator* jenis delta winglet yang dipasang melintang di baris pertama tube, dimana tube disusun *staggered* [8]. Min dkk (2012) melakukan penelitian secara numerik perpindahan panas dan karakteristik hambatan aliran Reynolds di dalam saluran dengan kombinasi *novel* dan *rectangular winglet vortex generator*, bilangan Reynolds berkisar antara 2000-16000 [9]. Amit Garg dan Sunil Dhingra (2014) melakukan penelitian secara numerik peningkatan perpindahan panas pada *triangular ribbed channel* dengan *winglet vortex generator* untuk aliran udara turbulen melalui fluks panas konstan [10].

Visualisasi aliran berguna untuk mengerti mekanisme pembangkitan, interaksi dan evolusi struktur aliran. Yinlin dkk. memperkenalkan metode lamda2 dan Q untuk memvisualisasikan *vortex* lokal [11]. Visualisasi aliran melalui delta winglet *vortex generator* pada penggunaan penukar kalor jenis *fin and tube* telah dilakukan oleh Chi-Chuan dkk. [12]. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan visualisasi aliran melewati *concave delta winglet vortex generator* dengan menggunakan *smoke injection*.

## Bahan dan Metode Penelitian

### 1. Perlengkapan Percobaan

Pengujian ini dilakukan di dalam sebuah saluran udara yang terbuat dari kaca dengan ketebalan 10 mm. Saluran udara ini memiliki 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. Bagan pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

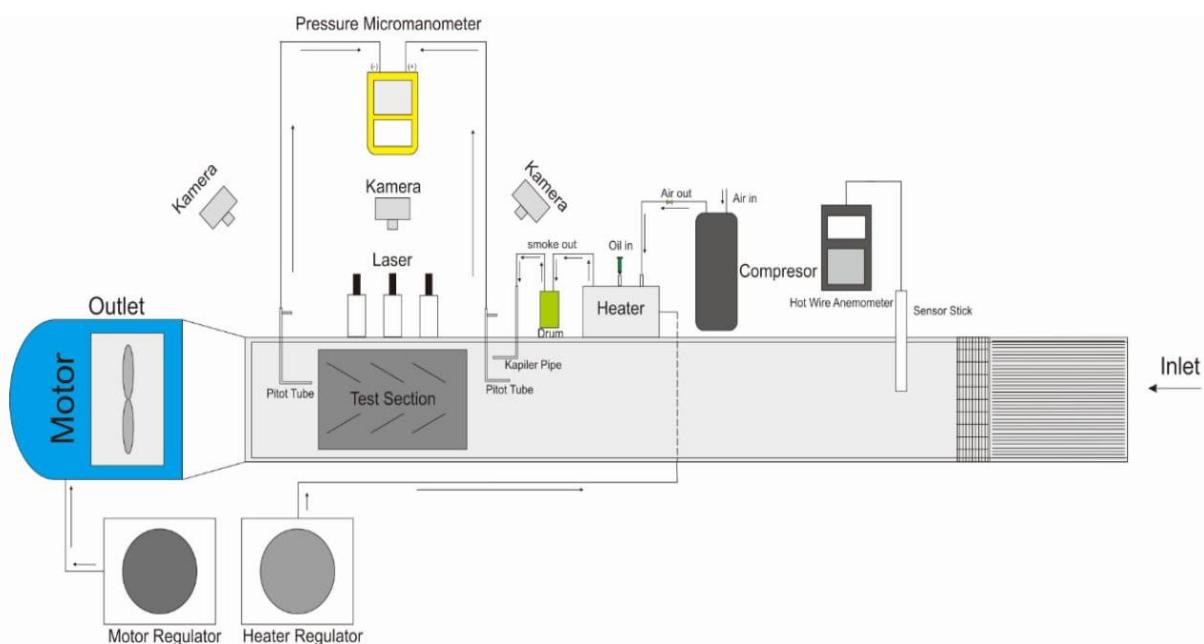
Udara dihisap oleh blower melewati *straightener* yang dipasang di sisi masuk jauh dari daerah uji dimana *vortex generator* dipasang. *Straightener* berfungsi untuk membentuk distribusi aliran yang seragam di sisi masuk. Visualisasi aliran dilakukan dengan cara membuat asap (smoke) dengan memanaskan oli standar API-TB menggunakan sebuah pemanas. Asap (smoke) didorong menggunakan sebuah kompresor agar masuk ke dalam aliran fluida yang diatur pada kecepatan 0,2 m/det. Setelah asap bercampur dengan aliran fluida dan melewati test section yang dipasang *vortex generator*, pola aliran fluida diamati dengan bantuan sinar laser yang dibiaskan melalui pipa kaca silinder dengan diameter 10 mm sehingga terbentuk luas penampang tegak lurus aliran pada saluran. *Longitudinal vortex* dapat diamati ketika aliran melewati penampang tegak lurus dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan kamera.

### 2. Spesimen Pengujian

Pada pengujian ini, spesimen uji yang digunakan adalah *vortex generator* berbentuk segitiga siku-siku yang disebut delta winglet pairs (DWP) dan segitiga siku-siku yang melengkung atau disebut concave delta winglet pairs (CDWP) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan gambar bagan sepesimen pengujian diperlihatkan pada Gambar 3. *Vortex generator* dipasang pada plat alumunium berukuran 500 x 155 mm dengan tinggi masing-masing *vortex generator* sebesar 27 mm. *Vortex generator* disusun secara inline (sejajar) dengan jarak antar pasangan sebesar 20 mm, dan jarak sumbu terdepan *vortex generator* satu pasang dengan pasangan di depannya adalah 125 mm, dimana aspek rasio dari geometri *vortex generator* adalah 1,8. *Vortex generator* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis *vortex generator* dengan tiga variasi susunan dan tiga variasi sudut serang, yaitu Base plain plate, concave delta dan delta winglet *vortex generator* 1, 2 dan 3 baris dengan sudut serang 15°, 30° dan 45°.

### 3. Prosedur Pengujian

Spesimen uji dipasang pada plat pemanas di dalam saluran menggunakan pasta termal.

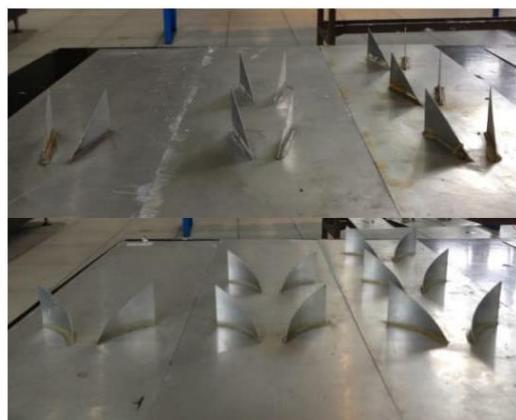


Gambar 1. Set up peralatan eksperimental

Probe hot wire annemometer untuk mengukur kecepataan aliran dipasang di dalam saluran udara dengan wire diarahkan

melintang tegak lurus arah aliran.

Visualisasi aliran dilakukan dengan cara memanaskan oli pada plat pemanas sampai mencapai titik didih dan terbentuk asap. Kompresor digunakan untuk mendorong asap



(a) DWP dan CDWP sudut serang  $15^\circ$

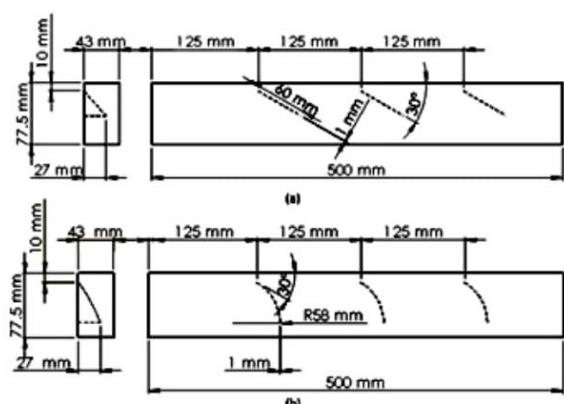


(c) DWP dan CDWP sudut serang  $45^\circ$   
Gambar 2. Lanjutan



(b) DWP dan CDWP sudut serang  $30^\circ$

Gambar 2. Spesimen pengujian dengan vortex generator jenis DWP dan CDWP untuk variasi sudut serang  $15^\circ$  sampai  $45^\circ$ .



Gambar 3. Bagan specimen pengujian untuk DWP dan CDWP. 155

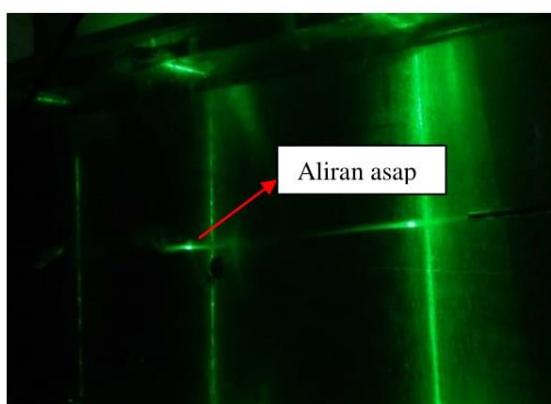
dari pemanas ke dalam saluran melalui pipa kapiler yang ujungnya tegak di depan spesimen uji. Asap lalu mengalir dengan udara di dalam saluran yang diatur pada kecepatan 0,2 m/det. Pola aliran dapat diamati melalui cahaya laser yang dibiaskan sehingga berbentuk penampang tegak lurus pada saluran udara. Pengambilan data visualisasi aliran dapat dilakukan dengan menggunakan kamera pada sisi depan saluran udara.

### Hasil dan Pembahasan

Dari beberapa studi dan eksperimental yang telah dilakukan sebelumnya [4 - 10] diketahui bahwa vortex generator menghasilkan longitudinal vortex. Bentuk dan ukuran dari longitudinal vortex dipengaruhi dari bentuk vortex generator, letak dari vortex generator, besarnya sudut serang aliran terhadap vortex generator, dan jumlah pasangan vortex generator.

Hasil dari uji eksperimental berupa gambar pola aliran udara yang melewati vortex generator. Analisis ini bertujuan untuk melihat longitudinal vortex dengan berbagai variasi jumlah pasang dan sudut serang vortex generator jenis delta winglet dan concave delta winglet di dalam saluran. Vortex generator dipasangkan secara simetris dengan variasi 1 pasang, 2 pasang, dan 3 pasang dan dengan sudut serang  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $45^\circ$ .

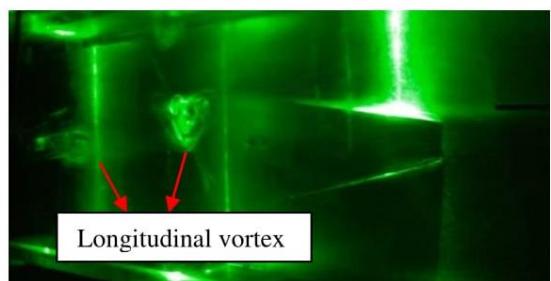
Gambar 4 menunjukkan pola aliran udara pada konfigurasi baseline (tanpa vortex generator). Asap (smoke) diinjeksikan tepat di depan permukaan baseline. Longitudinal vortex tidak terlihat di dalam saluran untuk kasus baseline seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini berbeda dengan Pola aliran



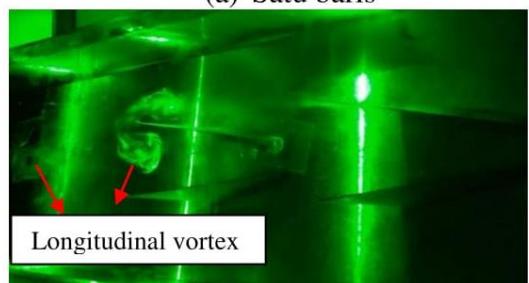
Gambar 4. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi baseline

udara yang melewati vortex generator jenis delta winglet yang ditunjukkan pada Gambar 5 (a), (b) dan (c). Dari Gambar 5 dapat ditunjukkan bahwa vortex generator menyebabkan munculnya longitudinal vortex pada aliran. Terjadinya longitudinal vortex tersebut diawali adanya separasi aliran ketika fluida melewati vortex generator. Longitudinal vortex mengakibatkan pencampuran yang lebih baik pada aliran fluida di dalam saluran.

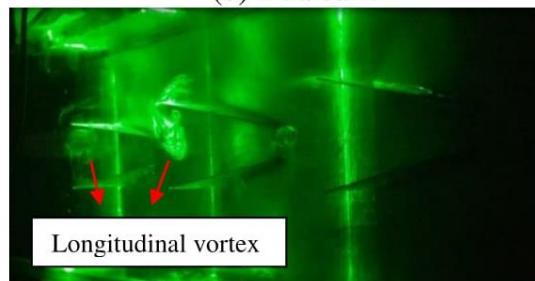
Gambar 6 (a), (b) dan (c) menunjukkan visualisasi aliran udara yang melewati vortex generator jenis concave delta winglet dengan variasi 1, 2 dan 3 baris pada sudut serang  $15^\circ$ . Dari struktur aliran dapat diperlihatkan bahwa konfigurasi concave delta winglet vortex generator memiliki ukuran luasan longitudinal vortex yang lebih besar dari pada delta winglet vortex generator. Peningkatan luasan longitudinal vortex menyebabkan



(a) Satu baris

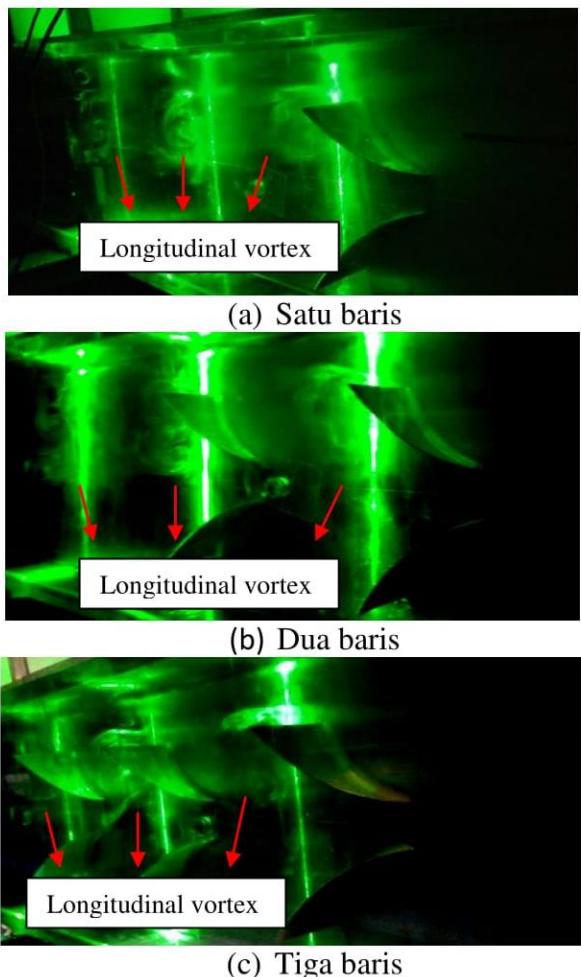


(b) Dua baris



(c) Tiga Baris

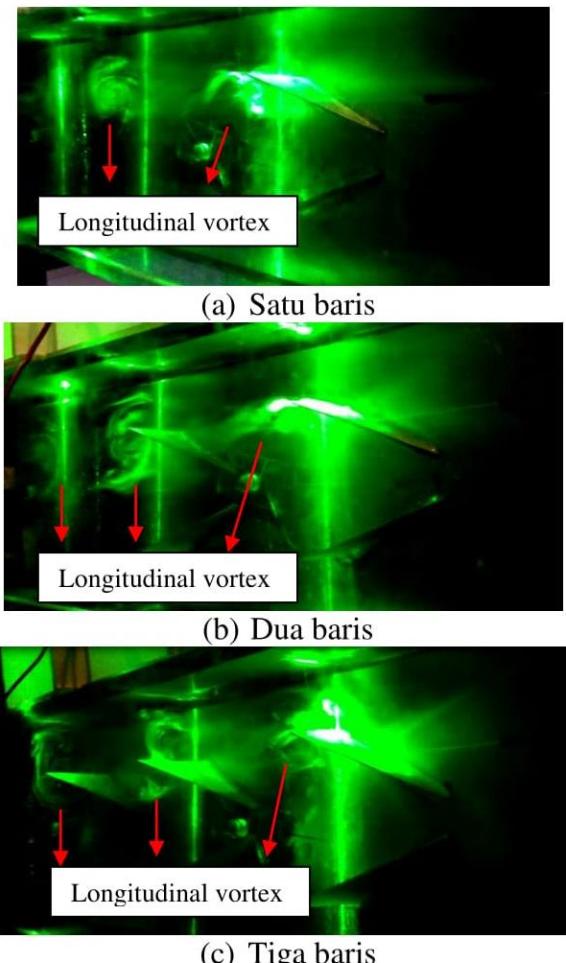
Gambar 5. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi delta winglet vortex generator dengan sudut serang  $15^\circ$  (a) 1 baris (b) 2 baris (c) 3 baris



Gambar 6. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi *concave delta winglet vortex generator* dengan sudut serang  $15^\circ$  (a) 1 baris (b) 2 baris (c) 3 baris

pencampuran fluida yang lebih baik oleh concave delta winglet vortex generator dibandingkan delta winglet vortex generator.

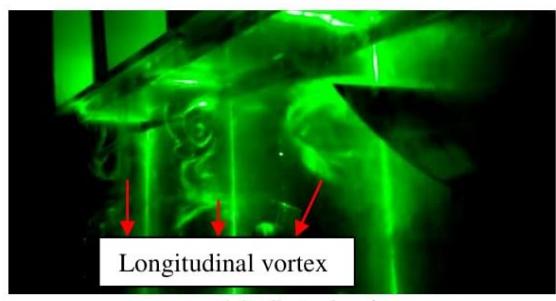
Gambar 7 dan 8 (a), (b) dan (c) menunjukkan visualisasi aliran udara yang melewati vortex generator jenis delta winglet dan concave delta winglet dengan sudut serang  $30^\circ$  dengan variasi 1, 2 dan 3 baris. Dengan membandingkan Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat bahwa dengan pemasangan concave delta winglet vortex generator maupun delta winglet vortex generator menghasilkan swirling motion yang memicu terjadinya longitudinal vortex. Pada gambar tersebut diperlihatkan longitudinal vortex yang terjadi pada model dengan penggunaan concave delta winglet lebih luas dan merata daripada model dengan delta winglet vortex generator. Longitudinal vortex pada sudut serang  $30^\circ$  lebih besar dibandingkan dengan longitudinal vortex pada sudut serang  $15^\circ$



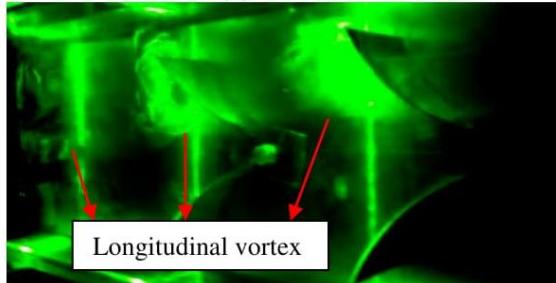
Gambar 7. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi delta winglet vortex generator dengan sudut serang  $30^\circ$  (a) 1 baris (b) 2 baris (c) 3 baris

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 7. Hal ini menandakan pencampuran fluida oleh vortex generator akan semakin baik untuk sudut serang yang semakin besar.

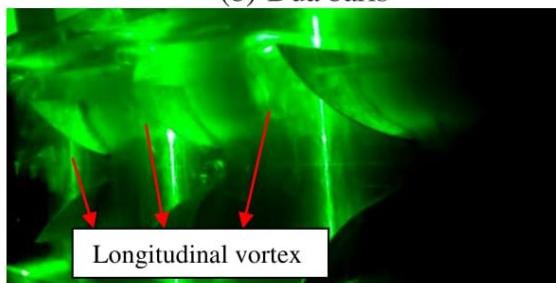
Gambar 9 dan Gambar 10 (a), (b) dan (c) menunjukkan visualisasi pola aliran udara yang melewati vortex generator jenis delta winglet dan concave delta winglet dengan sudut serang  $45^\circ$  pada variasi 1, 2 dan 3 baris vortex generator. Dari Gambar 4.6 tersebut diperlihatkan longitudinal vortex yang dihasilkan oleh geometri delta winglet dengan sudut serang  $45^\circ$  memiliki luasan longitudinal vortex yang lebih besar dimana luasannya bertambah seiring bertambahnya jumlah barisan vortex generator. Hal ini berbeda dengan longitudinal vortex yang dihasilkan oleh geometri concave delta winglet yang ditunjukkan pada Gambar 10. dimana longitudinal vortex mempunyai intensitas



(a) Satu baris



(b) Dua baris



(c) Tiga baris

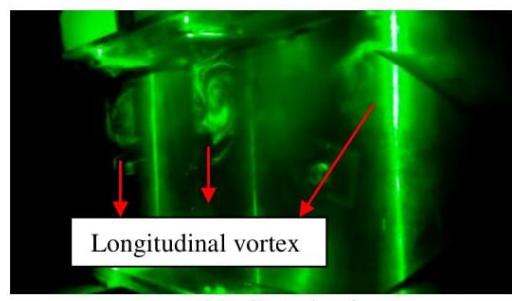
Gambar 8. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi *concave delta winglet vortex generator* dengan sudut serang  $30^\circ$  (a) 1 baris (b) 2 baris (c) 3 baris

yang lebih banyak dibandingkan pada konfigurasi delta winglet vortex generator

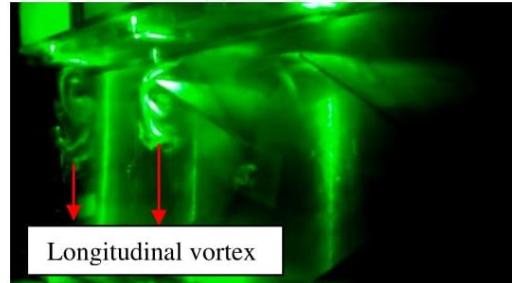
## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan dalam pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa:

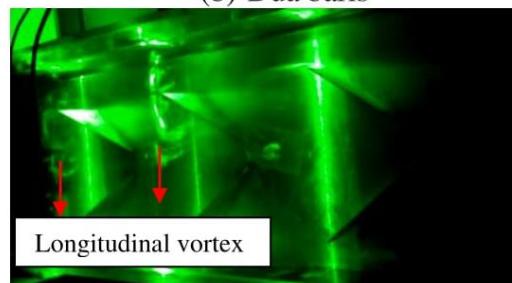
1. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan vortex generator dengan jenis delta winglet dan concave delta winglet dengan berbagai variasi 1, 2 dan 3 baris dengan sudut serang  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $45^\circ$  mampu menghasilkan longitudinal vortex pada aliran di dalam saluran. Hal ini dapat dilihat pada pengujian visualisasi aliran, dimana pada geometri baseline (tanpa vortex generator) aliran asap bergerak lurus dan tidak tampak adanya longitudinal vortex. Sedangkan apabila dipasang vortex generator, pada aliran terdapat longitudinal vortex.



(a) Satu baris



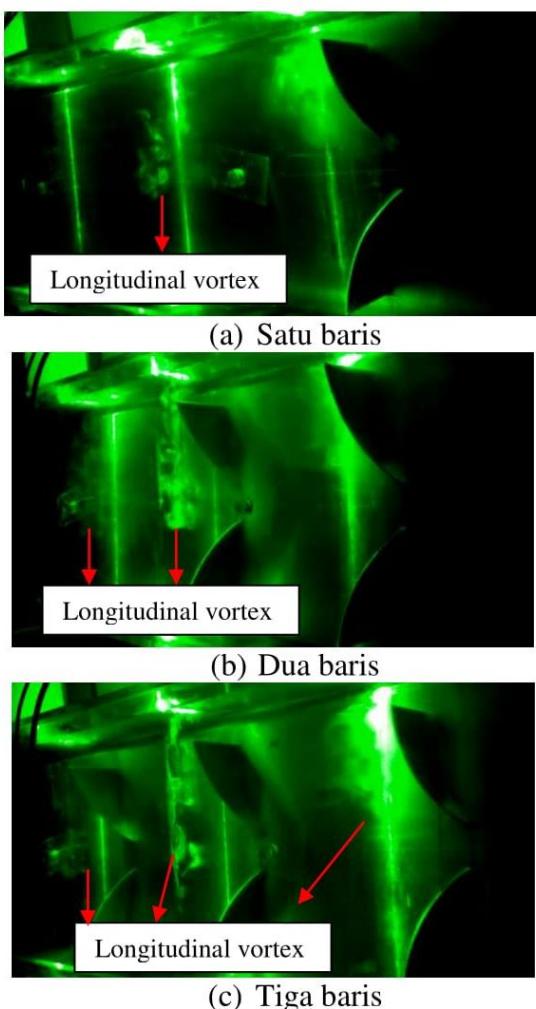
(b) Dua baris



(c) Tiga baris

Gambar 9. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi delta winglet vortex generator dengan sudut serang  $45^\circ$  (a) 1 baris (b) 2 baris (c) 3 baris

2. Semakin banyak jumlah barisan dan sudut serang vortex generator, longitudinal vortex yang dihasilkan mempunyai luasan vortex yang lebih luas, merata dan mempunyai intensitas vortex yang lebih banyak. Hal tersebut dapat dilihat pada pemasangan vortex generator dengan sudut serang  $15^\circ$ , longitudinal vortex terlihat dengan pemasangan 1 baris, dan semakin besar luasan vortexnya dengan bertambahnya jumlah barisan. Pada sudut serang  $30^\circ$  dihasilkan longitudinal vortex yang mempunyai luasan lebih besar dan lebih merata dibandingkan dengan sudut  $15^\circ$  dan meningkat seiring bertambahnya jumlah barisan. Pada pemasangan delta winglet vortex generator dengan sudut serang  $45^\circ$  longitudinal vortex yang dihasilkan mempunyai luasan yang lebih besar, sedangkan pada geometri concave delta winglet menghasilkan longitudinal vortex dengan intensitas yang banyak sehingga asap



Gambar 10. Visualisasi pola aliran fluida pada konfigurasi *concave delta winglet vortex generator* dengan sudut serang  $45^\circ$  (a) 1 baris (b) 2 baris (c) 3 baris

yang diinjeksikan untuk melihat pola aliran tidak terlihat begitu jelas. Terjadinya fenomena longitudinal vortex tersebut mengindikasikan pencampuran yang baik pada aliran fluida di dalam saluran.

## Referensi

- [1] Cengel, Yunus A., "Heat Transfer: A Practical Approach", Edisi 2, McGraw-Hill Companies, New York, 2002.
- [2] Hirravennavar, Biswas G, Tulapurkara E.G "A note on the flow and heat transfer enhancement in a channel with built-in winglet pair" International Journal of Heat and Fluid Flow 28, pp. 299–305, 2007.
- [3] Yoo Seong-Yeon, Park Dong-Seong, Chung Min-Ho "Heat transfer Enhancement for Fin-Tube Heat exchanger Using Vortex generator" KSME International Journal, VoL.16, No.1, pp. 109-115, 2002.
- [4] M. Fiebig, Embedded Vortices in Internal Flow: "Heat Transfer and Pressure Loss Enhancement", International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 16, pp. 376-388, 1995.
- [5] Wang, Chi-Chuan. Lo, Jerry. Lin, Yur-Tsai. Liu, Chung-Szu Wei, 2002 "Flow visualization of annular and delta winlet vortex generators in fin-and-tube heat exchanger application" International Journal of Heat and Mass Transfer 45, pp. 3803-3815, 2002.
- [6] Seong Yeon-yoo, Dong Seong Park, Min Ho Chung, Sang Yun Lee, "Heat Transfer Ecnhancement for Fin-Tube Heat exchanger using vortex generator" KSME International Journal, VoL 16, No.1, pp. 109-115, 2002
- [7] J.S. Leu, Y.H. Wu, J.Y. Jang, "Heat transfer and fluid flow analysis in plate-fin and tube heat exchangers with a pair of block shape vortex generators", Int. J. Heat Mass Transfer 47, pp. 4327–4338, 2004.
- [8] Wu J.M. , Zhang H. , Yan C.H. , Wang Y. a "Experimental study on the performance of a novel fin-tube air heat exchanger with punched longitudinal vortex generator", Energy Conversion and Management 57, pp. 42–48, 2012.
- [9] Min Chunhua ,Qi Chengying, Wang Enyu, Tian Liting, Qin Yaju, "Numerical investigation of turbulent flow and heat transfer in a channelwith novel longitudinal vortex generators. International Journal of Heat and Mass Transfer 55, pp. 7268–7277, 2012.
- [10]Garg Amit, Dhingra Sunil . "Numerical Simulation for Heat Transfer Enchancement in a Triangular Ribbed Channel with Winglet Vortex Generators" International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2, Issue 4, June-July, 2014.
- [11]Yinlin Dong, Yonghua Yan and Chaoqun Liu, "New visualization method for vortex structure in turbulence by lambda2 and vortex filaments", Applied Mathematical Modelling, Vol. 40, pp. 500 – 509, 2016.
- [12]Chi-Chuan Wang, Jerry Lo, Yur-Tsai Lin dan Chung-Szu Wei, "Flow visualization of annular and delta winlet vortex generators in fin-and-tube heat exchanger application",

International Journal of Heat and Mass Transfer,  
Vol. 45, pp.3803–3815, 2002.