

ANALISA PERFORMA *HEAT EXCHANGER* DENGAN PENAMBAHAN *VORTEX GENERATOR* TIPE KOMBINASI *WIRE-TWISTED TAPE INSERT* GUNA MENGATASI *ICING* PADA *KARBURATOR PISTON ENGINE*

¹Geraldina Dyah Ayu Larasati, ²Gaguk Marausna

^{1,2}Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan

Abstrak

Untuk mengatasi permasalahan *icing* yang ada pada *karburator pesawat* dan dapat menyebabkan *engine mati* serta membahayakan keselamatan penerbangan, maka dibuat rangkaian *heat exchanger* dengan penambahan *vortex generator* yang memanfaatkan gas buang dari pesawat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *vortex generator* tipe kombinasi *wire-twisted tape insert* pada rangkaian *heat exchanger* sebagai alat anti *icing* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh, penurunan *pressure drop*, dan efektivitas *heat exchanger*. Penelitian ini memanfaatkan gas buang dari mesin genset berkapasitas 2000 W sebagai pengganti *piston engine* pada pesawat, menggunakan pembebanan berupa 4 buah lampu pijar masing-masing sebesar 100 W untuk mensimulasikan beban pada pesawat, dan menggunakan variasi *vortex generator* tipe kombinasi *wire-twisted tape insert* yang dipasang pada rangkaian *heat exchanger shell* dan *tube*. *Vortex generator twisted tape* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan aluminium yang dapat menghantarkan panas dengan baik, sedangkan *wire recoil* terbuat dari bahan besi. *Twist* akan divariasikan dengan variasi *twist ratio (P/W)* sebesar 6.7, 11.9, dan 13 dan dikombinasikan dengan *recoil* dengan *pitch* 1.5 cm. Rangkaian *vortex generator* yang telah dikombinasikan akan dimasukkan ke dalam *tube* yang berisi *CO2* yang berasal dari gas buang genset. *Shell* pada rangkaian *heat exchanger* berisikan udara yang berasal dari *blower* dengan temperatur ruangan. Udara pada *shell* dan *tube* akan bergesekan dan menyebabkan terjadinya pertukaran kalor. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pengaruh *vortex generator* tipe kombinasi *wire-twisted tape insert* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh, penurunan *pressure drop*, dan efektivitas *heat exchanger*. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *vortex generator* tipe kombinasi *wire-twisted tape insert* yang terbaik adalah *vortex generator* dengan *twist ratio* 13 dengan rata-rata koefisien perpindahan kalor menyeluruh sebesar 37.6 W/m²·°C, rata-rata *pressure drop* sebesar 117.16 Pa, dan rata-rata efektivitas sebesar 84.08%.

Kata kunci: *heat exchanger, vortex generator, kombinasi wire-twisted tape, icing.*

Abstract

To overcome the *icing* problem that exists in the aircraft carburetor and cause the engine to malfunction and endanger flight safety, a *heat exchanger* circuit is made with the addition of a *vortex generator* that utilizes exhaust gases from the aircraft. This study aims to determine the effect of adding a *vortex generator* type combination of *wire-twisted tape insert* to a *heat exchanger* circuit as an anti-icing device on the overall heat transfer coefficient, decreasing *pressure drop*, and the effectiveness of the *heat exchanger*. This study utilizes exhaust gas from a generator engine with a capacity of 2000 W as a replacement for the *piston engine* on the aircraft, uses a loading in the form of 4 incandescent lamps of 100 W each to simulate the load on the aircraft, and uses variations of the *vortex generator* type combination of *wire-twisted tape insert* which mounted on a *shell* and *tube heat exchanger* circuit. The *twisted tape vortex generator* used in this study is made of aluminium which can conduct heat well, while the *recoil wire* is made of iron. *Twist* will be varied with *twist ratio (P/W)* of 6.7, 11.9, and 13 and combined with *recoil* with a *pitch* of 1.5 cm. The combined *vortex generator* circuit will be inserted into a *tube* containing *CO2* from the generator exhaust gas. The *shell* in the *heat exchanger* circuit contains air from the *blower* at room temperature. Air in the *shell* and *tube* will rub against each other and cause heat exchange. The results of this study indicate the effect of a *vortex generator* type combination of *wire-twisted tape insert* on the overall heat transfer coefficient, *pressure drop* reduction, and the effectiveness of the *heat exchanger*. The conclusion of this study shows that the best use of *vortex generator* type combination *wire-twisted tape insert* is a *vortex generator* with a *twist ratio* of 13 with an average overall *heat exchanger* coefficient of 37.6 W/m²·°C, an average *pressure drop* of 117.16 Pa, and the average effectiveness is 84.08%.

Keyword: *heat exchanger, vortex generator, combination of wire-twisted tape, icing.*

¹Email Address : geraldinalaras@gmail.com

Received 7 September 2021, Available Online 30 Desember 2021

Pendahuluan

Cuaca buruk kerap kali menimbulkan permasalahan bagi dunia penerbangan. Mulai dari permasalahan ringan hingga permasalahan fatal. Salah satu contoh permasalahan yang disebabkan oleh cuaca buruk adalah terjadinya *icing*. Seperti yang dilantik dari CNN Indonesia Kusumadewi & Utami (2015), bahwa *icing* adalah terbentuknya es akibat kondisi atmosfer pada *engine* atau permukaan pesawat. Selain dapat mengganggu penglihatan pada penerbangan, *icing* yang terjadi pada karburator pesawat juga sangat membahayakan karena dapat menyebabkan *engine* mati dan kemudian akan terjadi *stall*. Selain karena cuaca buruk, *icing* juga disebabkan oleh penurunan tekanan, temperatur, *density*. Contoh permasalahan *icing* yang cukup fatal yaitu terjadinya *icing* pada pesawat *piston engine*. Pesawat *piston engine* terbang pada fase *super cold liquid* dimana pada fase ini udara mengandung uap air yang akan masuk melalui saringan udara menuju karburator. Uap air ini akan berubah menjadi es dan menyebabkan *icing* pada karburator. Terjadinya *icing* pada karburator dapat menyebabkan *blocking* pada katup pesawat dan menyebabkan *engine* mati.

Untuk mengatasi permasalahan *icing*, dibutuhkan *heat exchanger* sebagai alat penukar kalor yang kemudian dimanfaatkan sebagai alat anti *icing* pada pesawat *piston engine*. *Heat exchanger* merupakan rangkaian alat untuk menukar kalor atau memindahkan energi kalor. Peneliti terdahulu Kasmara & Marausna, (2020) melakukan penelitian *heat exchanger* dengan memanfaatkan gas buang pada pesawat karena hal ini dinilai lebih efisien. Untuk mengoptimalkan *heat exchanger*, penelitian ini menambahkan *vortex generator* tipe kombinasi *wire-twisted tape insert* pada rangkaian *heat exchanger* yang akan mengubah aliran lamiran menjadi turbulen (Setyo Hariyadi S.P & Wawan Aries Widodo, 2018). Oleh karena itu, *vortex generator* dapat digunakan untuk peningkatan laju perpindahan panas (Syaiful, 2017). Menurut Chavan et al. (2017), *twisted tape insert* sebagai vortex generator dapat membentuk aliran spiral sepanjang *tube*. *Twisted tape* akan mengurangi diameter dari geometri pipa yang akan menyebabkan kenaikan pada koefisien perpindahan kalor, *twist* akan menyebabkan kecepatan aliran menjadi meningkat terutama di dekat dinding pipa yang akan meningkatkan tegangan geser pada dinding. Penggunaan *shell* dan *tube* dapat meningkatkan efektivitas dalam penukaran kalor dimana udara dingin disinggungkan dengan udara panas. Selain itu, penelitian ini menggunakan aliran *counter* memiliki *friction* atau gaya gesek yang lebih besar dibandingkan dengan aliran paralel dan dapat meningkatkan pertukaran kalor.

Berbeda dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya Sheikholeslami et al. (2015), Christian Elby et al. (2019), dan Praditya et al., (2016) dimana hanya menggunakan variasi *twist* atau variasi *recoil*, penelitian ini menggunakan variasi *twist ratio* pada *vortex generator* yang akan dikombinasikan dengan *recoil* dengan tujuan mencari performa terbaik dari rangkaian *heat exchanger* dengan penambahan *vortex generator*.

Landasan Teori

Perpindahan kalor terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube*. Hal ini sangat tergantung pada dimensi dan geometrinya. Analisa perpindahan kalor dalam *tube* pada penelitian ini dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kalor yang diserap oleh gas buang. Jumlah kalor yang diserap melalui *tube* yang berisi udara panas diasumsikan sama dengan kalor yang dilepaskan oleh udara dingin dari *blower* kedalam *shell* secara konduksi melalui dinding *tube*. Perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan persamaan (1) sampai (19) menurut Cengel & Ghanjar, (2015). Laju perpindahan kalor yang dilepaskan fluida panas kedalam *shell* dapat dihitung dengan persamaan (1) yang dapat dijabarkan seperti yang ada pada persamaan (2):

$$Q_h = \dot{m} c_p \Delta T \quad (1)$$

$$Q_h = \dot{m} c_p (T_i - T_o) \quad (2)$$

Reynold number merupakan bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan jenis aliran. Aliran dapat dikatakan laminar jika $Re < 2300$, aliran dikatakan transisi jika $2300 < Re < 10000$, dan aliran dikatakan turbulen jika $Re > 10000$. Persamaan (3) untuk mencari nilai Reynold Number sebagai berikut:

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (3)$$

Setelah diketahui nilai *Reynold number* pada aliran, maka bisa ditentukan nilai *friction factor* aliran turbulen dengan persamaan (4) sebagai berikut:

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (4)$$

Bilangan *Nusselt* adalah rasio resistansi termal konduksi terhadap konduksi terhadap resistansi termal konveksi dari fluida. Jika aliran adalah aliran di dalam *tube* adalah *turbulent* maka bilangan *Nusselt* dapat ditentukan dengan persamaan (5) sedangkan bilangan *Nusselt* untuk aliran turbulen pada luar *tube* dapat ditentukan dengan persamaan (6) sebagai berikut:

$$Nu_h = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (5)$$

Dengan syarat:

$$0.7 \leq Pr \leq 160$$

$$Re > 10000$$

$$Nu_c = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (6)$$

Setelah menghitung bilangan *Nusselt*, koefisien perpindahan kalor dapat ditentukan dengan persamaan (7) sebagai berikut:

$$h = \frac{Nu k}{D} \quad (7)$$

Nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan dengan persamaan (8) yang memerlukan koefisien perpindahan kalor pada luar dan dalam *tube*:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_h}} \quad (8)$$

Nilai LMTD dapat ditentukan dari temperatur udara *shell* dan *tube*. Hal ini dapat diketahui dari selisih temperatur udara masuk dan keluar dari alat penukar kalor yang dimasukkan ke dalam persamaan (9) dengan keterangan yang ada pada persamaan (10) dan (11) sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (9)$$

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_{co} \quad (10)$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci} \quad (11)$$

Untuk menentukan nilai luas permukaan perpindahan kalor menyeluruh, perlu diketahui terlebih dahulu nilai perpindahan kalor dengan persamaan (12) kemudian dimasukkan kedalam persamaan (13) sebagai berikut:

$$Q = U_o A_o \Delta T_{lm} \quad (12)$$

$$A_o = \frac{Q}{U_o \Delta T_{lm}} \quad (13)$$

Parameter yang dapat menunjukkan tentang ukuran dari suatu alat penukar kalor adalah *NTU* (*Number of Transfer Unit*) yang dapat ditentukan dengan nilai-nilai yang telah didapat pada persamaan-persamaan sebelumnya, kemudian dimasukkan pada persamaan (14) dengan keterangan seperti yang ada pada persamaan (15) dan (16) sebagai berikut:

$$NTU = \frac{U_o A_o}{C_{min}} \quad (14)$$

Dimana:

$$C_c = \dot{m}_c C p_c \quad (15)$$

$$C_h = \dot{m}_h C p_h \quad (16)$$

C_{min} = nilai terkecil antara C_c dan C_h

Efektivitas menjadi parameter yang menunjukkan performa suatu alat penukar kalor. Nilai efektivitas (ε) dari alat penukar kalor dengan aliran *counter flow* dapat ditentukan dengan persamaan (17) dengan nilai perbandingan laju kapasitas kalor pada *shell* dan *tube* yang dapat ditentukan dengan persamaan (18) sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - c \exp[-NTU(1-c)]} 100 \% \quad (17)$$

dengan:

$$C = \frac{c_{min}}{c_{max}} \quad (18)$$

Penurunan tekanan atau *pressure drop* terjadi karena adanya gesekan yang terjadi pada aliran yang dapat ditentukan dengan persamaan (19) berikut:

$$\Delta P = f \frac{L}{D_t} \rho \frac{V_h^2}{2} \quad (19)$$

Metode Penelitian

Penelitian ini memiliki 3 proses yaitu manufaktur, pengujian atau pengambilan data, dan pengolahan data. Proses manufaktur menggunakan bahan galvanis untuk membuat *prototype heat exchanger*, menggunakan bahan aluminium untuk *vortex generator twist*, dan bahan besi untuk *vortex generator recoil*. *Prototype heat exchanger* dihubungkan dengan genset sebagai pengganti dari *piston engine* yang akan dimanfaatkan gas buangnya. Selain itu, *heat exchanger* juga dihubungkan dengan rangkaian lampu pijar sebagai pembebanan dan *blower* yang akan mensirkulasikan udara ruangan masuk ke dalam *shell*. Pada Tabel 1 menunjukkan geometri dari *shell* dan *tube* pada rangkaian *heat exchanger*, sedangkan pada Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan geometri dari *twist* dan *recoil*. Pada Gambar 1 menunjukkan skema dari rangkaian *heat exchanger* dan pada Gambar 2 menunjukkan skema *vortex generator wire-twisted tape*.

Tabel 1 Geometri shell dan tube pada rangkaian heat exchanger

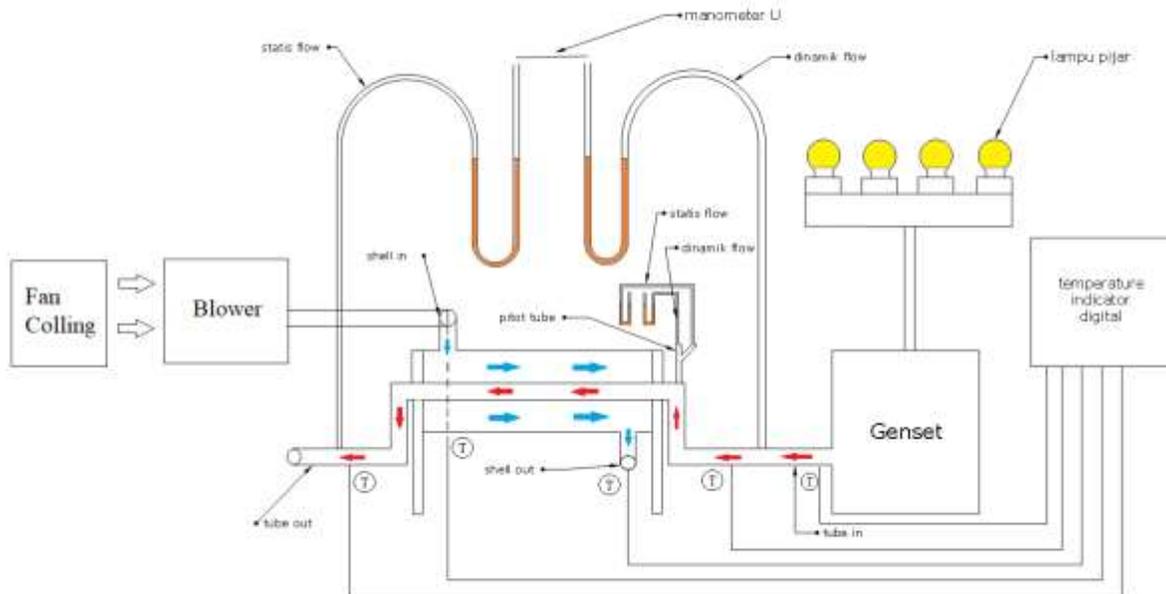
No.	Parameter	Ukuran (m)
1.	Panjang shell (L_s)	0.43
2.	Diameter dalam shell (D_{si})	0.0826
3.	Diameter luar shell (D_{so})	0.0886
4.	Luas penampang shell (A_s)	0.0054
5.	Panjang tube (L_t)	0.6
6.	Diameter dalam tube (D_{ti})	0.0215
7.	Diameter luar tube (D_{to})	0.0252
8.	Luas Penampang tube (A_t)	0.0004

Tabel 2 Geometri variasi twist

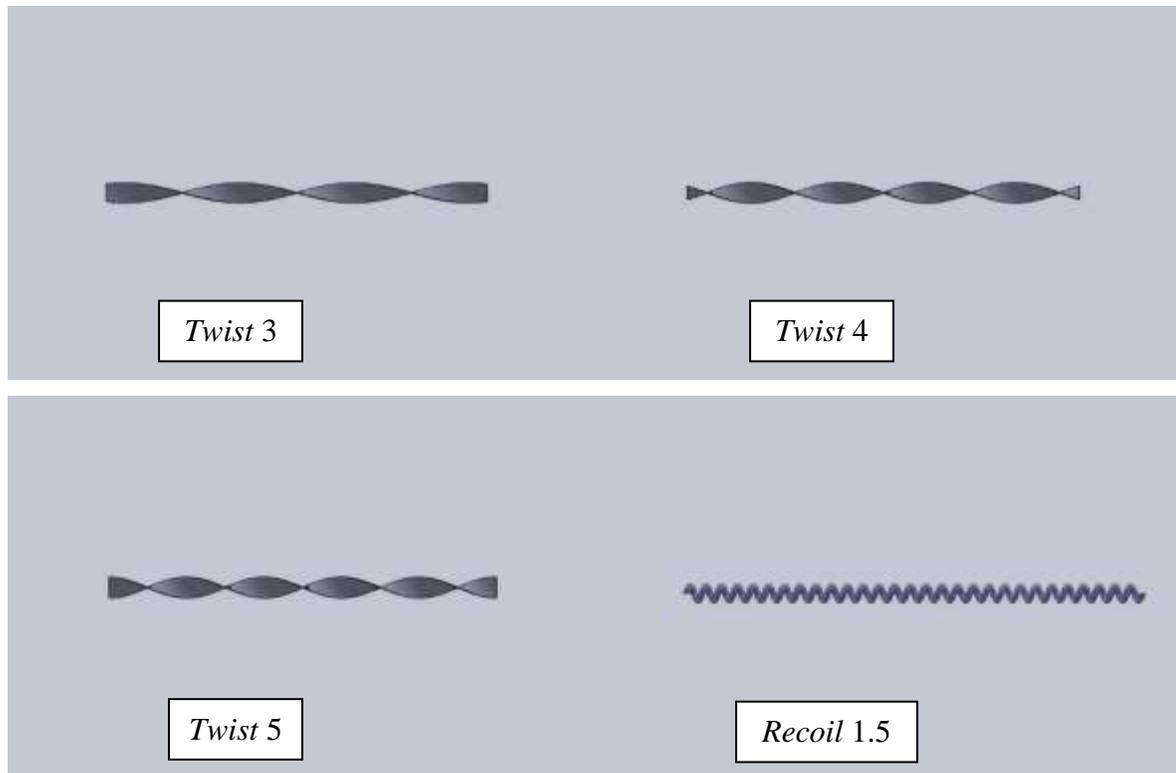
No	Spesimen	L_{tw} (m)	W_{tw} (m)	t_{tw} (m)	P_{tw} (m)
1.	Twist 3	0,435	0,0105	0,0007	0,137
2.	Twist 4	0,435	0,0105	0,0007	0,125
3.	Twist 5	0,435	0,0105	0,0007	0,07

Tabel 3 Geometri recoil

No.	Spesimen	L_{re} (m)	n_{re}	t_{re} (m)	P_{re} (m)	D_{ire} (m)	D_{ore} (m)
1.	Recoil 1,5	0,435	22	0,0055	0,015	0,0122	0,0177



Gambar 1 Skema prototype heat exchanger



Gambar 2 Skema vortex generator

Langkah pertama yang dilakukan saat pengujian adalah *running* mesin genset selama 2 menit kemudian melakukan pengecekan terhadap rangkaian *heat exchanger*. Jika rangkaian *heat exchanger* tidak mengalami kebocoran, maka pengujian dapat dilakukan pada saat temperatur sudah kembali pada temperatur ruangan. Pengujian dilakukan sebanyak 15 kali. Masing-masing *vortex generator* dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dengan variasi pembebanan yaitu 0 W, 100 W, 200 W, 300 W, dan 400 W. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dengan selisih waktu 25 detik. Pengujian dan pengambilan data harus selalu dimulai dengan temperatur ruangan.

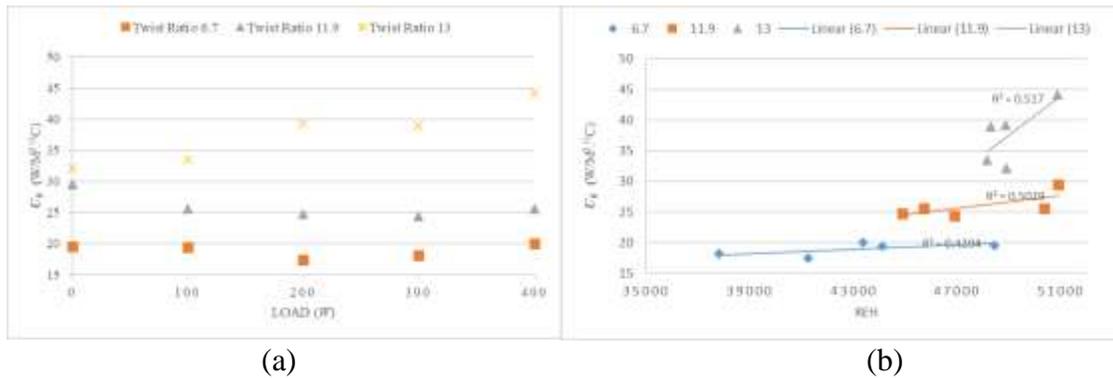
Pada saat mesin genset dinyalakan, akan mengalirkan udara panas berisikan CO₂ yang masuk melalui *tube*. Pada waktu yang bersamaan, *blower* yang mengalirkan udara dingin berisikan O₂ ke dalam *shell* akan dinyalakan. Sebelum masuk kedalam *shell* dan *tube*, udara akan melewati manometer U dan *pitot tube* yang akan mengukur tekanan udara dan kecepatan aliran udara. Pada saat udara di dalam *shell* dan *tube* bersinggungan, pertukaran kalor akan terjadi.

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh variasi vortex generator tipe kombinasi wire-twisted tape insert terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o)

Hasil perhitungan dari koefisien perpindahan kalor permukaan pada *tube* dan *shell* digunakan untuk mencari koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang ada pada rangkaian *heat exchanger*, sehingga besar atau kecilnya hasil perhitungan yang ada pada sebelumnya menentukan hasil perhitungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o). Pada Gambar 3 menunjukkan pengaruh *vortex generator* tipe kombinasi *wire-twisted tape insert* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan variasi pembebanan. *Twist ratio* 13 memiliki koefisien perpindahan kalor menyeluruh paling tinggi

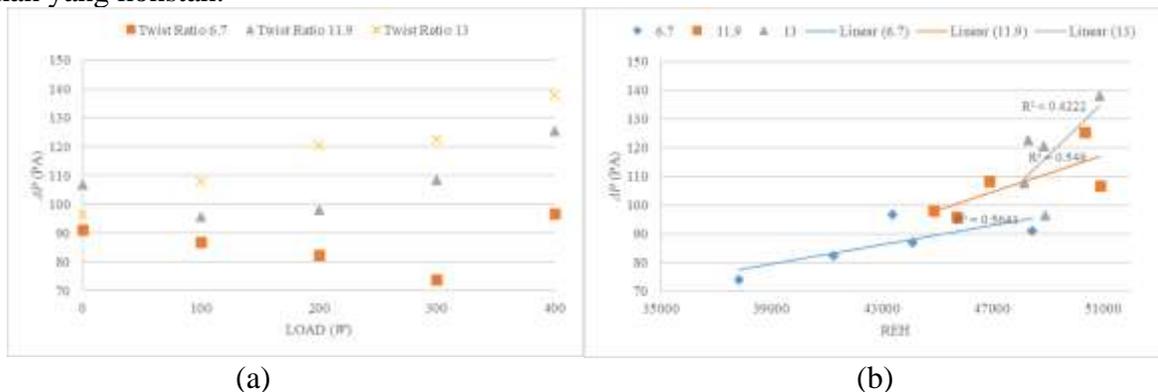
dibandingkan dengan yang lainnya dengan rata-rata sebesar $37.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Menurut grafik perbandingan antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan bilangan Reynold dalam *tube*, dapat dilihat bahwa *twist ratio* 13 memiliki keterkaitan paling besar antara bilangan Reynold dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Rata-rata grafik pada setiap *twist ratio* mengalami kenaikan. Artinya, semakin tinggi bilangan Reynold, maka koefisien perpindahan kalor menyeluruh juga semakin meningkat.



Gambar 3 Pengaruh variasi vortex generator terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o), (a) variasi beban dan (b) variasi Re

Pengaruh penambahan vortex generator tipe kombinasi wire-twisted tape insert terhadap penurunan pressure drop (ΔP)

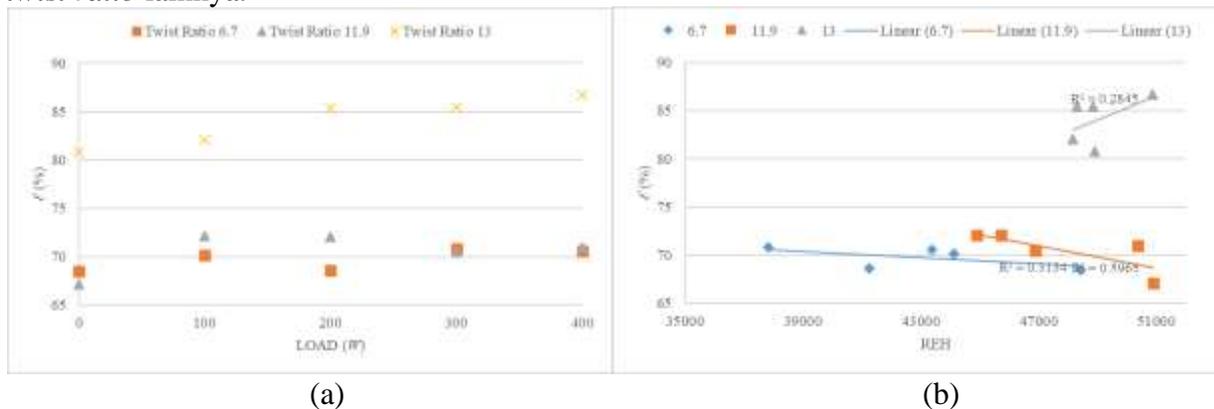
Pada penelitian ini, pengaruh penambahan vortex generator kombinasi *wire-twisted tape insert* terhadap penurunan *pressure drop* dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan perbandingan *pressure drop* antara 3 variasi *twist ratio* yang digunakan dalam rangkaian *heat exchange*. *Twist ratio* 13 memiliki penurunan *pressure drop* yang paling tinggi diantara vortex generator lainnya dengan rata-rata paling tinggi dengan nilai sebesar 117.16 Pa. *Twist ratio* 13 juga konstan mengalami kenaikan pada penurunan *pressure drop*. Pada grafik perbandingan antara penurunan *pressure drop* dengan bilangan Reynold dalam *tube* menunjukkan kenaikan pada ketiga *twist ratio*. *Twist ratio* 6.7 memiliki keterkaitan paling tinggi di antara *twist ratio* lainnya meskipun dengan selisih yang tidak terlalu jauh. Meskipun penurunan *pressure drop* pada *twist ratio* 6.7 lebih kecil dibanding dengan yang lainnya, namun grafik memperlihatkan kenaikan yang konstan.



Gambar 4 Pengaruh vortex generator terhadap penurunan pressure drop (ΔP), (a) variasi beban dan (b) variasi Re

Pengaruh penambahan vortex generator tipe kombinasi wire-twisted tape insert terhadap efektivitas heat exchanger (ϵ)

Pengaruh penambahan vortex generator tipe kombinasi wire-twisted tape insert terhadap efektivitas heat exchanger dapat ditentukan dari nilai *number of transfer unit* (NTU) yang dapat dicari dengan rumus persamaan yang ada pada landasan teori. Nilai NTU sendiri didapatkan dari hasil perkalian antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o) dan luas permukaan perpindahan kalor menyeluruh (A_o) kemudian dibagi dengan laju kapasitas kalor terkecil (C_{min}). Pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh penambahan vortex generator tipe kombinasi wire-twisted tape insert terhadap efektivitas heat exchanger dengan efektivitas terbaik pada heat exchanger dengan penambahan vortex generator yang memiliki nilai *twist ratio* sebesar 13 yang memiliki rata-rata efektivitas tertinggi adalah *twist ratio* 13 sebesar 84.08%. Hal ini menandakan bahwa vortex generator dengan *twist ratio* sebesar 13 memiliki performa paling baik dibandingkan dengan yang lainnya. Berbeda dengan grafik pada sebelah kiri, grafik sebelah kanan yang menunjukkan perbandingan antara efektivitas dengan bilangan Reynold di dalam tube menunjukkan bahwa keterkaitan antara bilangan Reynold dengan efektivitas tertinggi ada pada *twist ratio* 11.9 meskipun grafik mengalami penurunan seiring dengan kenaikan bilangan Reynold. Sedangkan pada *twist ratio* 13 yang mengalami kenaikan pada grafiknya, memiliki keterkaitan paling kecil diantara *twist ratio* lainnya.



Gambar 5 Pengaruh vortex generator terhadap efektivitas, (a) variasi beban dan (b) variasi Re

Kesimpulan

Setelah pengujian, pengambilan data, serta pengolahan data, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini bahwa performa heat exchanger terbaik adalah heat exchanger dengan penambahan vortex generator tipe kombinasi wire-twisted tape insert dengan *twist ratio* 13 atau *twist ratio* 3 yang dikombinasikan dengan recoil. Hal ini dikarenakan *twist ratio* 13 memiliki koefisien perpindahan kalor menyeluruh paling tinggi dengan nilai $37.60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, memiliki penurunan *pressure drop* paling tinggi sebesar 117.16 Pa , dan efektivitas terbesar sebesar 84.08% . Selain itu, pada *twist ratio* 3 grafik selalu konstan mengalami kenaikan seiring dengan semakin besarnya beban yang di berikan. Bisa dikatakan bahwa semakin besar *twist ratio* maka performa akan semakin baik, dalam artian perpindahan kalor yang terjadi dalam rangkaian heat exchanger semakin baik. Hal ini juga dapat dipengaruhi oleh geometri vortex generator. Sedangkan dari grafik perbandingan berbasis bilangan Reynold di dalam tube menunjukkan bahwa kenaikan atau menurunnya grafik tidak selalu seiring dengan kenaikan atau penurunan nilai keterkaitan. Setiap *twist ratio* memiliki keterkaitannya sendiri antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh, penurunan *pressure drop*, atau efektivitas.

Daftar Pustaka

- Cengel, Y., & Ghanjar, A. (2015). *Heat and Mass Transfer*. 2 Penn Plaza, New York: McGraw Hill Education.
- Chavan, H. V, Tapdiya, P. A., Birvatkar, S. S., Mundhe, S. U., & Sharma, V. S. (2017). Heat transfer enhancement by using twisted tape insert. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 04 Issue: 05. 1152–1156.
- Christian Elby, A., Amalia, R., & Ghani Safitra, A. (2019). Studi Eksperimen Pengaruh Kecepatan Aliran terhadap Performa Double Pipe Heat Exchanger. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 2. C41-C46
- Kasmara, J., & Marausna, G. (2020). Investigasi Eksperimental Anti-Icing System dengan Memanfaatkan Kalor Dari Gas Buang Engine Pesawat Terbang *Teknik Dirgantara , Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan , Indonesia Pendahuluan Aspek keselamatan menjadi prioritas utama di dalam dunia penerb.* 6(1), 40–48.
- Kusumadewi, A., & Utami, R. (2015). Investigasi AirAsia Pakar: AirAsia QZ8501 Bukan Jatuh karena Icing. <https://www.cnnindonesia.com/>. <https://www.cnnindonesia.com/nasional>. 24 November 2021. (07:49)
- Praditya, A., Yaningsih, I., & Wijayanta, A. T. (2016). Studi Eksperimental Pengaruh Twist Ratio Terhadap Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Rectangular-Cut Twisted Tape Insert. *Jurnal Mekanika*. Volume 15 Nomor 2. 77–82.
- Setyo Hariyadi S.P, & Wawan Aries Widodo. (2018). Efek Penggunaan Vortex Generator Terhadap Karakteristik Aliran pada Airfoil NACA43018. *Jurnal Poltekbang*. 62–70.
- Sheikholeslami, M., Gorji-Bandpy, M., & Ganji, D. D. (2015). Review of heat transfer enhancement methods: Focus on passive methods using swirl flow devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 444–469.
- Syaiful, S. (2017). Efek Longitudinal Vortex Dihasilkan dari Vortex Generator Jenis Concave Delta dan Rectangular Winglet terhadap Perbaikan Perpindahan Panas: Visualisasi Aliran/Studi Eksperimental. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 8(3), 167–173.