

STUDI INVESTIGASI PERFORMA *HEAT EXCHANGER* DENGAN MEMANFAATKAN GAS BUANG GUNA MENGATASI ICING PADA KARBURATOR PESAWAT *PISTON ENGINE*

¹Moh.Imam Assyafiq Syahputra, ²Gaguk Marausna, ³Joni Kasmara

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan variasi geometri vortex generator twisted tape insert terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh, pressure drop, dan efektifitas heat exchanger dalam memanaskan udara yang akan digunakan untuk mengatasi icing pada karburator. Penelitian ini menggunakan engine genset 1 silinder berkapasitas 2000 W yang disimulasikan sebagai pengganti piston engine pesawat sebagai penghasil gas buang dan dengan variasi pembebanan menggunakan lampu pijar sebesar 0 W sampai 400 W serta variasi twist yang dikondisikan dalam heat exchanger shell and tube. Vortex generator twisted tape insert pada penelitian ini terbuat dari aluminium yang dimasukkan ke dalam tube dari heat exchanger untuk menjadikan aliran di dalam tube menjadi turbulen dan dapat melepas kalor dengan baik sehingga dapat memanaskan udara pada shell dengan baik, dengan variasi twist ratio (P/W) yaitu 5.6, 6.8, dan 8.6. Pada saat pengambilan data penelitian terdapat perlakuan pembebanan dengan menggunakan lampu pijar dan setiap satu beban pengambilan waktunya terdapat 3 variasi yaitu 25, 50, dan 75 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh perubahan variasi geometri vortex generator twisted tape insert terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh, pressure drop, dan efektifitas heat exchanger. Aliran panas pada tube yang memanfaatkan limbah panas gas buang engine dengan menggunakan alat penukar kalor heat exchanger shell and tube memberikan pengaruh dalam melakukan pemanasan terhadap udara pada shell dalam mencegah terjadinya icing pada karburator. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan variasi geometri vortex generator twisted tape insert dengan twist ratio (P/W) 5.8 atau twist ratio terkecil adalah yang terbaik dibandingkan dengan twist ratio 6.8 dan 8.2 pada heat exchanger shell and tube dalam memanaskan udara yang akan digunakan untuk mencegah terjadinya icing pada karburator pesawat piston engine, dengan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0) sebesar 45.8 W/m².°C, pressure drop sebesar 21.0 Pa, dan efektifitas sebesar 74.6%.

Kata kunci: heat exchanger, icing, twist ratio, vortex generator

Abstract

This research purpose is to find out how change affects in vortex generator twisted tape insert geometry variations to the coefficient of overall heat transfer, pressure drop, and the effectiveness of heat exchanger in heating air to be used to overcome icing on carburetor. This study used a 2000 W 1-cylinder generator engine simulated as a replacement for the aircraft engine piston as an exhaust gas producer and with variations in loading using incandescent lamps of 0 W to 400 W as well as twist variations conditioned in shell and tube heat exchangers. Vortex generator twisted tape insert in this research is made of aluminum that is inserted into the tube of heat exchanger to make the flow inside the tube become turbulent and can release heat well so that it can heat the air on the shell well, with variation twist ratio (P/W) namely 5.6, 6.8, and 8.6. At the time of taking the research data there is a treatment of loading using incandescent lamps and every single load of time taken there are 3 variations of 25, 50, and 75 seconds. The results showed that the influence of changes geometry variation vortex generator twisted tape insert on overall heat transfer coefficient, pressure drop, and heat exchanger effectiveness. Heat flow on the tube that utilizes the waste heat exhaust engine by using heat exchanger shell and tube provides the effect in heating the air on the shell in preventing the occurrence of icing on the carburetor. The conclusion of this research shows that the use of geometric variations of vortex generator twisted tape insert with twist ratio (P/W) 5.8 or the smallest twist ratio is best compared to the twist ratio 6.8 and 8.2 in heat exchanger shell and tube in heating the air to be used to prevent the occurrence of icing on the carburetor of piston engine aircraft, with a overall heat transfer coefficient (U_0) value of 45.8 W/m².°C, pressure drop (ΔP) value of 21.0 Pa, and effectiveness (ϵ) value of 74.6%.

Keywords: heat exchanger, icing, twist ratio, vortex generator

¹Email Address : assyafiq20@gmail.com

Received 1 Februari 2021, Available Online 30 Juli 2021

Pendahuluan

Pada umumnya hujan dan cuaca yang buruk merupakan musuh bagi penerbangan, pada kondisi tersebut dapat menimbulkan gangguan di salah satu komponen pesawat. Pesawat terbang dengan jenis *piston engine* di negara empat musim yang memiliki musim dingin dapat terjadi *icing* pada beberapa komponen pada pesawat, *icing* atau penge-es-an adalah fenomena dimana terjadinya penumpukan es pada bagian pesawat terbang. Di udara terdapat layer per layer terjadinya pembentukan es mulai dari *liquid*, *supercold liquid* dan *icing*, untuk pesawat *piston engine* terdapat pada layer udara dengan *supercold liquid*.

Pada kondisi tersebut pesawat *piston engine* tidak terjadi *icing* pada *leading edge wing* melainkan udara yang bercampur dengan tetesan es yang dapat mengganggu kebutuhan udara pada pesawat jenis *piston engine* untuk proses pembakaran. Proses pembakaran pada *piston engine* merupakan hal yang sangat penting, karena apabila kebutuhan udara pada *piston engine* terkontaminasi ataupun terjadi *icing*, maka proses pembakaran pada karburator *piston engine* tidak akan bekerja dengan baik dan akan membahayakan penerbangan. Menurut Rabeta Bismil (2019) permasalahan yang sering terjadi di pesawat dengan jenis *piston engine* yaitu penurunan performa setiap peningkatan ketinggian di karenakan menurunnya nilai tekanan dan temperatur di udara, oleh karena itu dibutuhkan *heat exchanger*.

Heat exchanger merupakan alat penukar kalor yang berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin dimana terdapat dua fluida kerja yang digunakan yaitu fluida kerja bertemperatur tinggi dan fluida kerja sebagai fluida bertemperatur rendah, *Heat exchanger* ini terdapat pada salah satu komponen anti *icing* pada pesawat terbang dengan jenis *piston engine*, pada penelitian ini *prototype heat exchanger* dibuat dengan menambahkan *vortex generator twisted tape insert* sebagai gangguan dan aliran yang digunakan adalah *counter flow*. Cangel (2015) aliran *counter* ini memiliki *friction* atau gesekan yang lebih besar sehingga dapat memaksimalkan pertukaran kalor dibandingkan dengan jenis *parallel flow*. Penggunaan *heat exchanger* dengan *vortex generator twisted tape insert* juga perlu ditinjau untuk mengetahui performa dari *heat exchanger* dengan menggunakan metode eksperimen.

Landasan Teori

Piston Engine

Piston engine adalah salah satu mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), Ahmad Syaikhudin (2018) menjelaskan bahwa *reciprocating engine* memiliki dua jenis yaitu 4 stroke dan 2 stroke dimana perbedaannya terletak pada pergerakan dari piston itu sendiri, mesin *reciprocating* atau "recip" adalah mesin pembakaran dalam yang menggunakan satu atau lebih *reciprocating* piston untuk mengubah tekanan menjadi gerakan rotasi.

Karburator *Icing*

Lucas PZMS & Toni DP (2018) menjelaskan tentang tenaga yang dihasilkan *piston engine* berasal dari pembakaran yaitu campuran antara bahan bakar dan udara serta percikan api dari *spark plug* yang terjadi didalam ruang bakar guna menghasilkan pembakaran yang sempurna. Karburator merupakan salah satu komponen pada pesawat berjenis *piston engine* yang berguna untuk mencampur bahan bakar dan udara sebelum masuk kedalam ruang bakar, fenomena yang terjadi dikenal dengan efek venturi.

Akibat dari efek venturi ini adalah campuran udara dan bahan bakar akan menguap sehingga temperatur didalam karburator sangat dingin, artinya pada ketinggian tertentu suhu di luar pesawat

bisa jauh di atas titik beku, sedangkan suhu di dalam karburator bisa mencapai titik beku yang tentunya bisa berakibat munculnya es di dalam karburator yang disebut karburator *icing*. Selain efek venturi, faktor lain yang berperan penting dalam memicu munculnya es adalah suhu udara (temperatur) dan kelembaban relatif. Merujuk pada artikel yang dikeluarkan KNKT Amerika Serikat dengan judul “*Engine Power Loss Due to Carburetor Icing : Recognizing Weather Conditions and Applying Simple Procedures Can Prevent Avoidable Accidents*” disebutkan bahwa kadar *icing* karburator yang serius dapat terjadi pada suhu 32°C dan kelembaban relatif hanya 35%. Udara yang panas dan tidak terlalu lembab pun bisa memicu *carburetor icing*, pada kondisi tersebut kebutuhan udara yang terkontaminasi di karburator pada pesawat terbang jenis *piston engine* akan terganggu dalam proses pembakaran.

Vortex Generator twisted tape insert

Peningkatan perpindahan panas dapat dibedakan menjadi dua yaitu metode aktif dan metode pasif, metode aktif merupakan metode peningkatan perpindahan kalor dengan merekayasa lintasan, menurut Kasmara, J dan Marausna, G (2020) desain anti *icing* dengan *helical coil* sebagai komponen utama penukar kalor diamati dengan menggunakan metode eksperimen untuk mempelajari pengaruh variabel rasio diameter *coil* terhadap karakteristik perpindahan kalor dan efisiensi penukar kalor. Sedangkan dengan *vortex generator twisted tape insert* adalah metode pasif yang bergantung pada pembentukan pusaran aliran yang disengaja.

Menurut Kwok Yoong Lim, *et al* (2017) untuk meningkatkan perpindahan panas dengan menaikkan kecepatan aliran dan menurunkan tekanan dimana peningkatan pada dasarnya dikaitkan dengan pusaran aliran sekunder, peningkatan perpindahan panas ini dengan menyisipkan pita puntir atau *twisted* pada tabung konsentris *heat exchanger*.

Jenis aliran *Heat Exchanger*

Y.Cengel (2015), pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* jika fluida panas dan dingin masuk dari sisi yang sama, mengalir searah dan keluar dari sisi yang sama, maka dikenal dengan istilah *parallel flow heat exchanger* sedangkan apabila fluida panas dan fluida dingin masuk dari sisi berlawanan, mengalir berlawanan arah dan keluar dari sisi berlawanan, maka dikenal sebagai *counter flow heat exchanger*

Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah penukar kalor *shell and tube. Heat Exchanger* adalah alat yang digunakan untuk proses pertukaran panas dimana terdapat 2 fluida kerja yang bekerja pada temperatur yang berbeda.

Perpindahan kalor (Q)

Perpindahan kalor yang terjadi pada alat penukar kalor *shell and tube* sangat tergantung pada bentuk geometri dan dimensinya. Menurut Cengel (2015), analisa perpindahan kalor dalam sisi *tube* dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kalor yang dilepas oleh gas buang yang mengalir didalam *tube side*.

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

Reynold Number

Reynold Number merupakan bilangan berdimensi yang digunakan untuk menunjukkan bentuk dari suatu aliran. Menurut Cengel (2015) dimana terdapat ketentuan aliran, yang mengalir < 2300 merupakan aliran laminar, aliran dengan $2300 < Re < 10000$ merupakan aliran transisi, dan aliran dengan $Re > 10000$ merupakan aliran turbulen.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (2)$$

Bilangan Nusselt

Bilangan *Nusselt* adalah rasio resistansi termal konduksi terhadap resistansi thermal konveksi dari fluida. Menurut Cengel (2015), jika alirannya adalah turbulen maka nilai bilangan *Nusselt* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (3)$$

dimana syaratnya: $0.7 \leq Pr \leq 16$, $Re > 10000$ dan 0,3 untuk pemanas sedangkan 0,4 untuk pendingin

Koefisien perpindahan kalor

Nilai koefisien perpindahan kalor, menurut Cengel (2015) dapat ditentukan dengan persamaan;

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad (4)$$

Koefisien perpindahahan kalor menyeluruh (U_o)

Untuk alat penukar kalor adalah berpenampang selinder, maka persamaan umum koefisien perpindahan menyeluruh (U_o). Dapat di kembangkan untuk mengetahui nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada sisi dalam dan sisi luar permukaan silinder. Menurut Cengel (2015) dapat ditentukan dengan persamaan;

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_{cold}} + \frac{1}{h_{hot}}} \quad (5)$$

Metode NTU (*Number of Transfer Unit*)

Menurut Cengel (2015), parameter yang menunjukkan tentang ukuran dari suatu alat penukar kalor adalah NTU (*number of transfer units*) dapat ditentukan dengan persamaan;

$$NTU = \frac{U_o \cdot A_o}{C_{min}} \quad (6)$$

$$\text{Untuk fluida dingin: } C_c = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \quad (7)$$

$$\text{Untuk fluida panas : } C_h = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \quad (8)$$

Efektifitas alat penukar kalor

Menurut Cengel (2015), analisis akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektifitas penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu kalor dengan aliran fluida kerjanya berlawanan (*counter flow*) dapat ditentukan menggunakan persamaan;

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - c \exp[-NTU(1-c)]} 100 \% \quad (9)$$

Penurunan tekanan (ΔP)

Pressure drop atau penurunan tekanan yang terjadi pada *tube* karena faktor gesekan yang terjadi pada aliran, menurut Sidik Kakac (2002) dapat ditentukan dengan persamaan;

$$\Delta P = f \frac{L}{D_t} \rho \frac{V_h^2}{2} \quad (10)$$

Faktor gesekan yang terjadi pada *tube side* dengan aliran turbulen menurut Srinivasan (1970) dapat ditentukan dengan persamaan;

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (11)$$

dimana syarat: $10^4 < Re < 10^6$

Metode penelitian

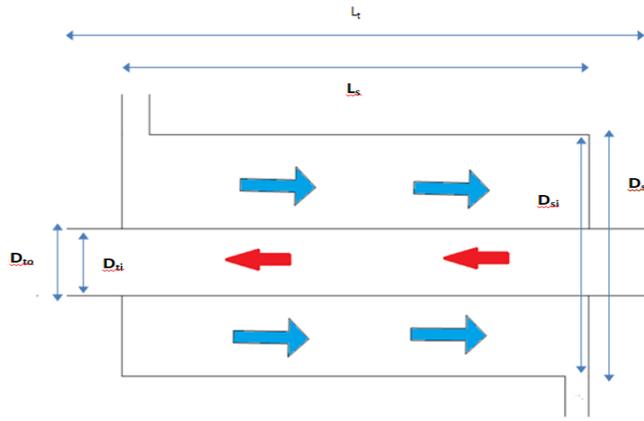
Dalam penelitian ini terdapat tiga proses yaitu manufaktur, pengujian dan analisis data. Dalam proses manufaktur menggunakan *prototype heat exchanger shell and tube* dengan memanfaatkan gas buang dari *piston engine* yang disimulasikan menggunakan mesin genset, material dari *shell* menggunakan besi dan material *tube* menggunakan galvanis dengan dimensi sesuai pada Tabel 1 dan pada Gambar 1. Dengan menambahkan *vortex generator twisted tape insert* yang menggunakan material aluminium sebagai gangguan didalam *tube* dengan beberapa variasi geometri *twist* sesuai pada Tabel 2 dan pada Gambar 2. Untuk analisa dilakukan dengan proses pengujian, data-data yang didapatkan dari hasil pengujian kemudian akan diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

Tabel 1. Geometri *heat exchanger shell and tube*

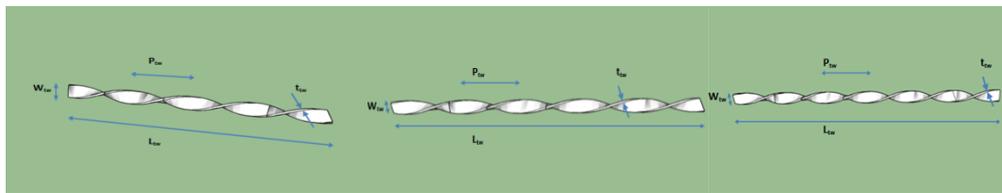
No	Parameter	Satuan (m)
1.	Panjang shell (Ls)	0.43
2.	Diameter dalam shell (Dsi)	0.0826
3.	Diameter luar shell (Dso)	0.0886
4.	Panjang tube (Lt)	0.6
5.	Diameter dalam tube (Dti)	0.0215
6.	Diameter luar tube (Dto)	0.0252

Tabel 2. Variasi geometri *twisted tape insert*

No	Variasi <i>twisted</i>	L_{tw} (m)	W_{tw} (m)	t_{tw} (m)	P_{tw} (m)
1	<i>Twisted 3</i>	0.43	0.0182	0.0007	0.15
2	<i>Twisted 4</i>	0.43	0.0182	0.0007	0.123
3	<i>Twisted 5</i>	0.43	0.0182	0.0007	0.106



Gambar 1. Geometri *heat exchanger*

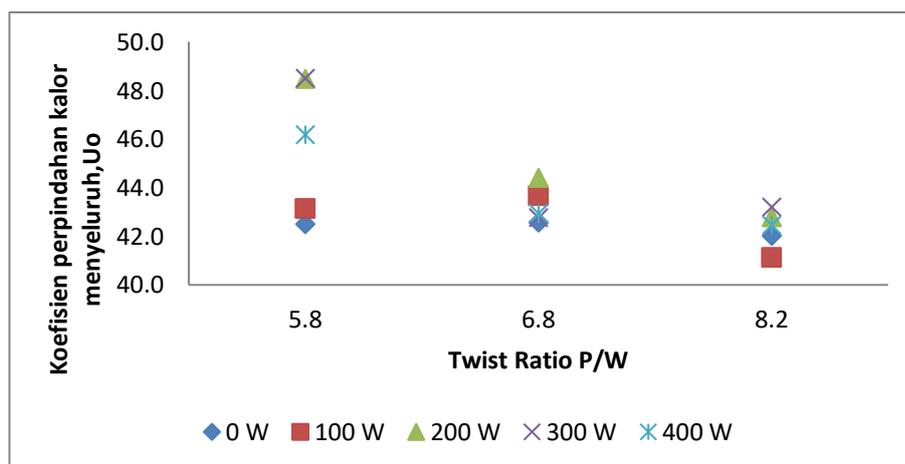


Gambar 2. Variasi *twist tape insert*

Hasil Dan Pembahasan

Pengaruh perubahan variasi geometri vortex generator twisted tape insert terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0)

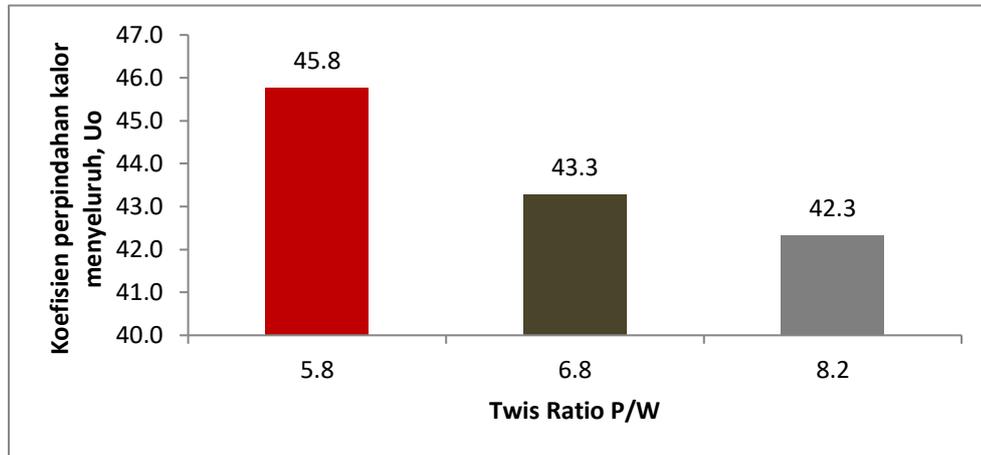
Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0) merupakan nilai koefisien perpindahan kalor pada sisi *tube* sebagai pemanas (*hot*) dan sisi *shell* sebagai pendingin (*cold*) dari *heat exchanger*. Pada Gambar 3. Memperlihatkan hasil pengujian *heat exchanger* dengan memanfaatkan gas buang dari *piston engine* memperlihatkan perubahan geometri *twist* mempengaruhi karakteristik koefisien perpindahan kalor menyeluruh, terlihat semakin meningkatnya *twist ratio* semakin menurun koefisien perpindahan kalor. Hal ini terjadi karena efek dari peningkatan *twist ratio* mempengaruhi karakteristik koefisien perpindahan kalor pada *heat exchanger*.



Gambar 3. Grafik pengaruh *twist ratio* (P/W) terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0)

Pada Gambar 4. Memperlihatkan bahwa *twist ratio* mempengaruhi karakteristik koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang dideskripsikan dengan huruf (U_0). Pada *twist ratio* 5,8 memiliki rata-rata koefisien perpindahan kalor menyeluruh terbesar yaitu sebesar $45,8 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$,

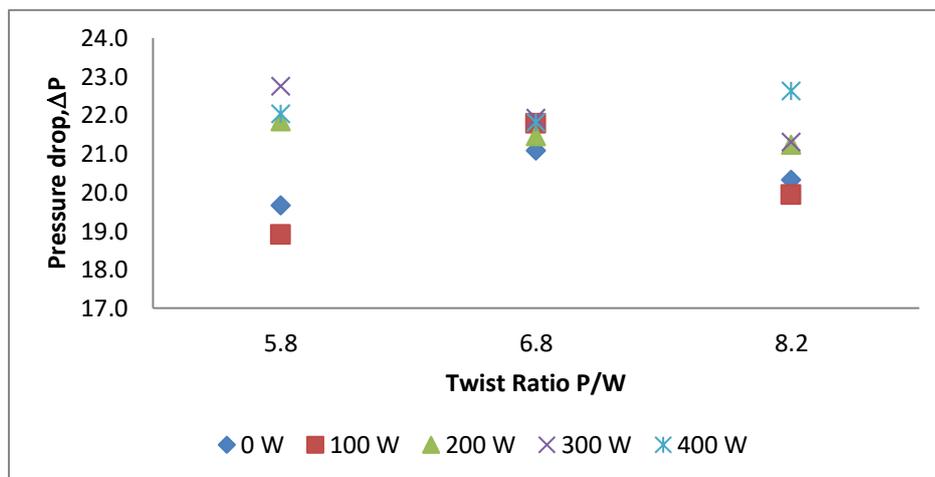
apabila dibandingkan dengan rata-rata koefisien perpindahan kalor terkecil pada *twist ratio* 8,2 yaitu sebesar $42,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Terlihat semakin meningkatnya *twist ratio* semakin menurun koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada *heat exchanger*. Hal ini terjadi karena pengaruh *vortex generator* berupa *twist* di dalam pipa konsentrik dapat menciptakan aliran sekunder berupa turbulen dan memaksimalkan perpindahan kalor ke media yang bertemperatur lebih rendah dalam hal ini adalah udara di dalam *shell*.



Gambar 4. Pengaruh *twist ratio* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada beban rata-rata

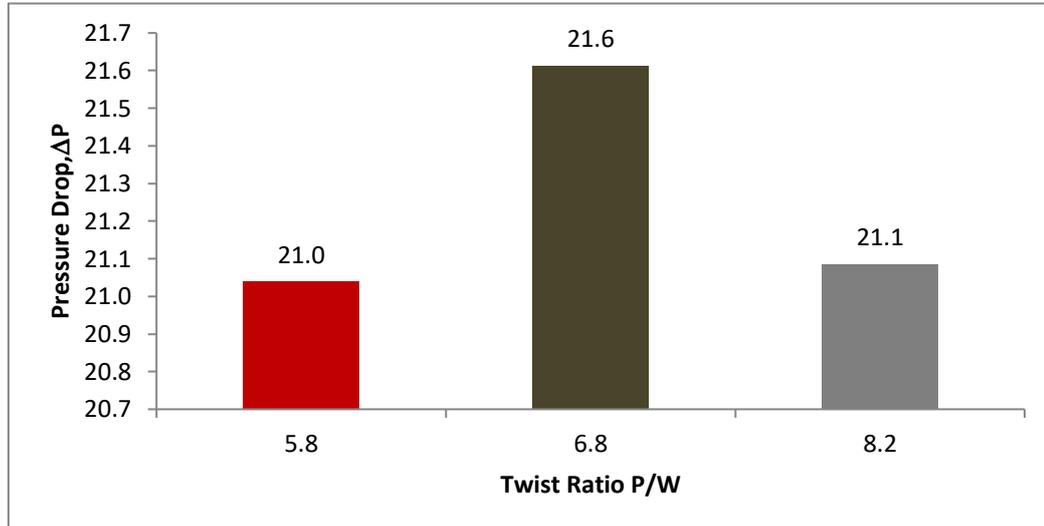
Pengaruh Perubahan Variasi Geometri *Vortex Generator Twisted Tape Insert* Terhadap Penurunan Tekanan atau *Pressure Drop*

Pada penelitian ini, pengaruh perubahan variasi geometri *vortex generator twisted tape insert* diindikasikan dengan terjadinya penurunan tekanan pada sisi *tube* (*pressure drop*) pada alat penukar kalor. Ketika fluida yang mengalir di dalam lintasan *tube* dengan variasi *vortex generator* akan terjadi aliran sekunder yang disebabkan oleh gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal ini memiliki kemampuan untuk menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan laju perpindahan kalor yang signifikan. Pada Gambar 5. Memperlihatkan perubahan geometri *twist ratio* mempengaruhi *pressure drop*, terlihat semakin meningkatnya *twist ratio* semakin meningkat fluktuatif *pressure drop*. Hal ini terjadi karena efek dari peningkatan *twist ratio* mempengaruhi *pressure drop* yang terjadi *tube*.



Gambar 5. Grafik pengaruh *twist ratio* (P/W) terhadap *pressure drop* (ΔP)

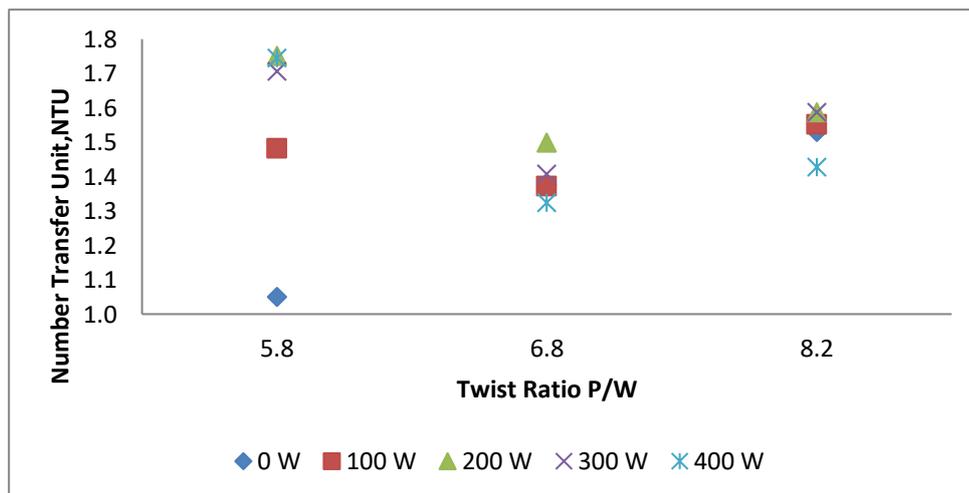
Pada Gambar 6. Memperlihatkan bahwa *twist ratio* mempengaruhi *pressure drop* yang dideskripsikan dengan huruf (ΔP). Terlihat semakin meningkatnya *twist ratio* semakin meningkat fluktuatif *pressure drop*, Pada *twist ratio* 6,8 memiliki rata-rata *pressure drop* terbesar yaitu 21,6 Pa dikarenakan efek dari aliran yang mengalir pada pipa konsentrik, apabila dibandingkan dengan rata-rata *pressure drop* pada *twist ratio* 5,8 dan 8,2.



Gambar 6. Pengaruh *twist ratio* terhadap *pressure drop* pada beban rata-rata

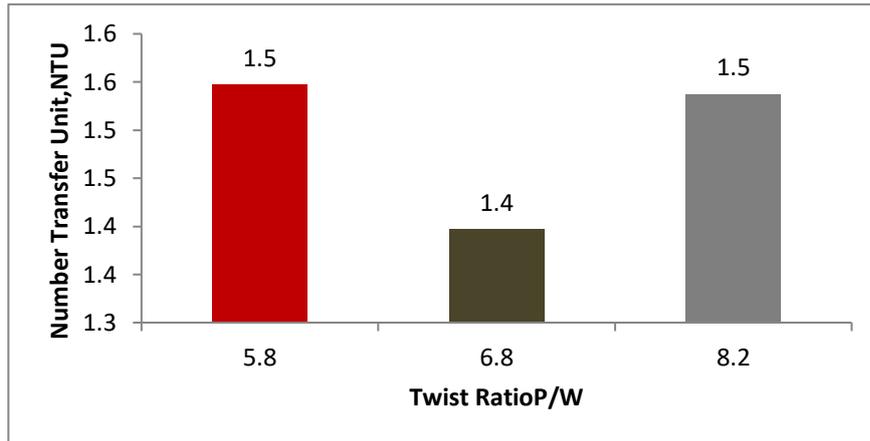
Pengaruh Perubahan Variasi Geometri *Vortex Generator Insert* Terhadap Efektifitas *Heat Exchanger*.

Pada penelitian ini, pengaruh perubahan variasi *vortex generator twisted tape insert* diindikasikan dengan *Number Transfer Unit* (NTU) dan efektifitas alat penukar kalor (*heat exchanger*). Pada Gambar 7. Memperlihatkan perubahan geometri *twist* mempengaruhi *Number Transfer Unit*, terlihat semakin meningkatnya *twist ratio* semakin menurun fluktuatif *Number Transfer Unit*. Hal ini terjadi karena efek dari peningkatan *twist ratio* mempengaruhi *Number Transfer Unit* yang terjadi pada *heat exchanger*.



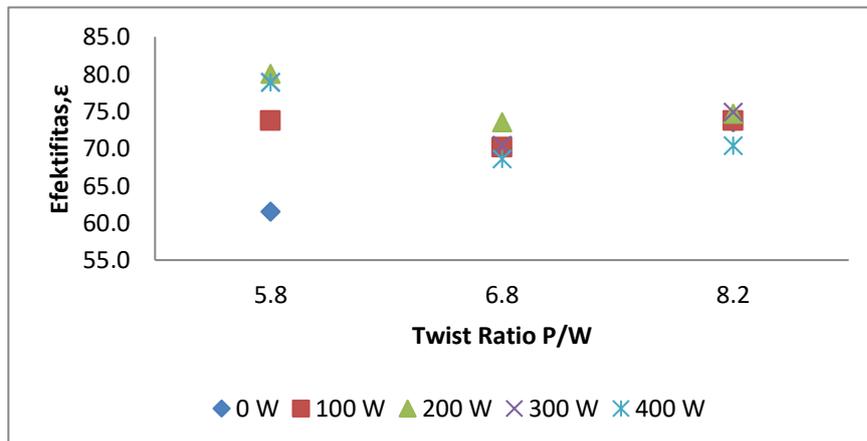
Gambar 7. Grafik pengaruh *twist ratio* terhadap *Number Transfer Unit*

Pada Gambar 8. Memperlihatkan bahwa *twist ratio* mempengaruhi *Number Transfer Unit* yang dideskripsikan dengan huruf (NTU). *Number Transfer Unit* terbesar terjadi pada *twist ratio* 5,8 dan *twist ratio* 8,2 yaitu sebesar 1.5.



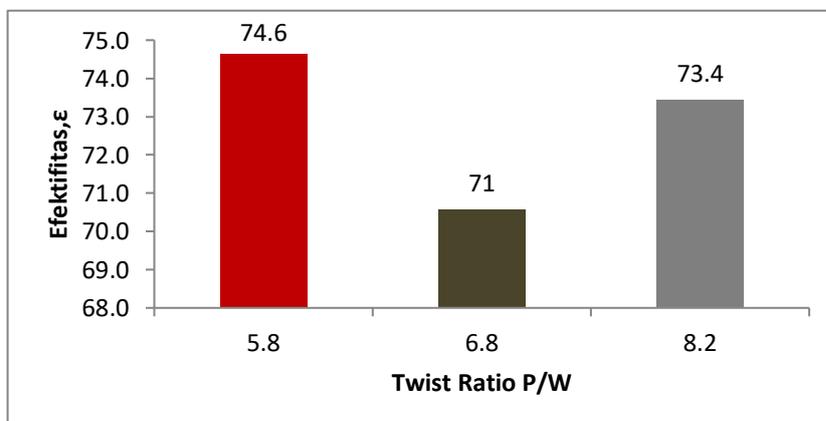
Gambar 8. Pengaruh *twist ratio* terhadap *Number Transfer Unit* pada beban rata-rata

Pada Gambar 9. Memperlihatkan perubahan geometri *twist* mempengaruhi efektifitas alat penukar kalor, terlihat semakin meningkatnya *twist ratio* semakin menurun fluktuatif efektifitas yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena efek dari peningkatan *twist ratio* mempengaruhi efektifitas alat penukar kalor.



Gambar 9. Grafik pengaruh *twist ratio* terhadap efektifitas

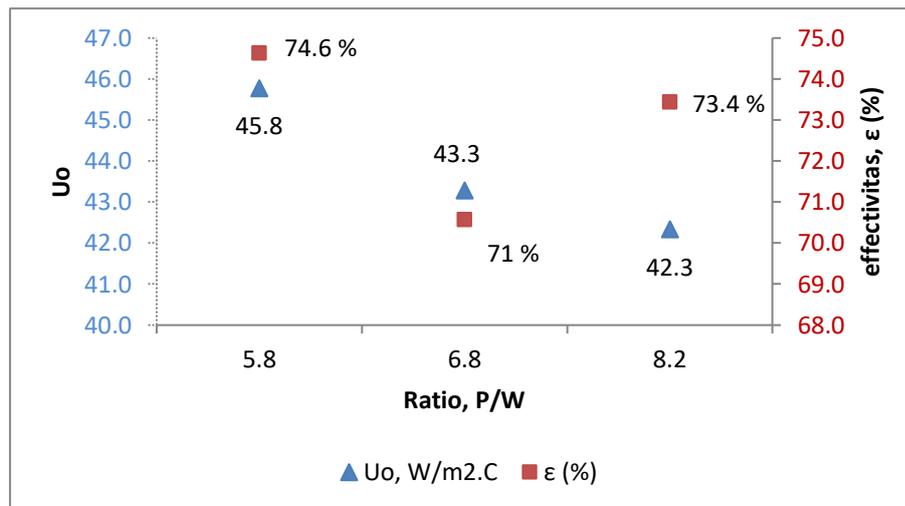
Pada Gambar 10. Menunjukkan pengaruh perubahan *twist rasio* terhadap efektifitas (ϵ) penukar kalor. Efektifitas penukar kalor mempresentasikan kemampuan atau performa dari suatu alat penukar kalor dalam melakukan proses pertukaran kalor. Terlihat nilai rata-rata tertinggi dengan geometri *twist ratio* terjadi pada *twist ratio* 5,8 yaitu 74,6 %.



Gambar 10. Pengaruh *twist ratio* terhadap efektifitas pada beban rata-rata

Korelasi *Twisted Ratio* Terhadap Hubungan Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Dengan Efektifitas

Pada Gambar 11. Hubungan koefisien perpindahan kaor menyeluruh dengan efektifitas digunakan untuk mengetahui variasi geometri mana yang terbaik dan mengetahui efektifitas alat penukar kalor yang digunakan dengan variasi geometri *twist ratio*, dimana melihat pengaruh koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh dan efektifitas pada alat penukar kalor guna memanaskan udara yang akan masuk ke karburator. Perubahan geometri *twist* mempengaruhi koefisien perpindahan kalor menyeluruh dan efektifitas. Terlihat dimana koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang terbesar terjadi pada ratio 5,8 yaitu sebesar 45,7 dengan efektifitas 74.6 % pada *twist ratio* tersebut merupakan nilai efektifitas tertinggi dibandingkan dengan *twist ratio* 6,8 dan 8,2 dan memiliki nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0) terbesar yaitu 45,8 $W/m^2 \cdot ^\circ C$.



Gambar 11. Grafik pengaruh variasi *twist ratio* terhadap hubungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan efektifitas

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian, pengolahan data dan analisa hasil pengujian *heat exchanger* tipe *shell and tube* menggunakan variasi geometri *vortex generator twisted insert* dengan memanfaatkan gas buang guna mengatasi *icing* pada karburator pesawat *piston engine*, maka dapat di simpulkan dengan pengaruh perubahan geometri *vortex generator* berupa *twisted insert* di dalam pipa konsentrik dapat mempengaruhi koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0) pada *heat exchanger*, pada penelitian ini nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_0) terbesar dari tiga variasi *vortex generator twisted tape insert* terjadi pada *twist ratio* 5,8 sebesar 45,8 $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Efek aliran turbulen meningkatkan gesekan pada penampang pipa sehingga meningkatkan *pressure drop* yang terjadi pada pipa konsentrik yang memaksimalkan perpindahan kalor. *Pressure drop* tertinggi dapat dilihat pada *twist ratio* 6,8 sebesar 21,6 Pa karena pada *twist ratio* tersebut memiliki karakteristik aliran pada *tube* (Reh) yang tertinggi yang menyebabkan tingginya gesekan, sedangkan *pressure drop* yang didapatkan pada *twist ratio* 5,8 adalah 21,0 Pa dikarenakan pada *twist ratio* tersebut memiliki karakteristik aliran terendah yang mengalir pada *tube* (Reh). Pengaruh penambahan *vortex generator* berupa *twist* di dalam pipa konsentrik dapat meningkatkan efektifitas *heat exchanger*. Pada penelitian ini performa yang terbaik dari tiga variasi adalah *heat exchanger* dengan penambahan *vortex generator* terjadi pada *twisted insert* dengan *twist ratio* (P/W) 5,8 sebesar 74,6%.

Daftar Notasi Dan Simbol

Q_h	= kalor yang dilepaskan fluida panas (W)
\dot{m}_h	= laju aliran massa gas buang (kg/s)
cp_h	= kalor jenis gas buang (J/kg °C)
T_{hi}	= temperatur gas buang masuk <i>tube</i> (°C)
T_{ho}	= temperatur gas buang keluar <i>tube</i> (°C)
k_h	= koefisien perpindahan kalor konduksi dinding <i>tube</i> / <i>thermal conductivity</i> (W/m ² .C)
Q_c	= kalor yang dilepaskan fluida dingin (W)
\dot{m}_c	= laju aliran massa udara (kg/s)
cp_c	= kalor jenis udara (J/kg °C)
T_{ci}	= temperatur udara masuk <i>shell</i> (°C)
T_{co}	= temperatur udara keluar <i>shell</i> (°C)
k_c	= koefisien perpindahan kalor konduksi dinding <i>shell</i> / <i>thermal conductivity</i> (W/m ² .°C)
D_{ti}	= diameter dalam <i>tube</i> (m)
D_{to}	= diameter luar <i>tube</i> (m)
AS_t	= luas area <i>tube</i> (m ²)
D_{si}	= diameter <i>shell inside</i> (m)
D_{so}	= diameter <i>tube inside</i> (m)
AS_s	= luas area <i>shell</i> (m ²)
h_{cold}	= koefisien perpindahan kalor permukaan luar <i>tube</i> (W/m ² .°C)
h_{hot}	= koefisien perpindahan kalor permukaan dalam <i>tube</i> (W/m ² .°C)
U_o	= koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m ² .°C)
A_o	= luas permukaan perpindahan kalor menyeluruh (m ²)
Q	= kalor yang dilepaskan atau diterima (Watt)
C_{min}	= nilai C yang terkecil antara C_c dan C_h (W/°C)
C_c	= laju kapasitas kalor udara (W/°C)
C_h	= laju kapasitas kalor gas buang (W/°C)
c	= perbandingan laju kapasitas kalor minimum dengan laju kapasitas kalor maksimum (W/°C)
L_t	= panjang <i>tube</i> (m)
L_s	= panjang <i>shell</i> (m)
L_{tw}	= panjang <i>twist</i> (m)
w_{tw}	= lebar <i>twist</i> (m)
t_{tw}	= tebal <i>twist</i> (m)
p_{tw}	= <i>pitch twist</i>
v_{ho}	= kecepatan aliran keluar <i>tube</i> (m/s)
v_{so}	= kecepatan aliran keluar <i>shell</i> (m/s)
D_h	= selisih antara diameter <i>shell</i> dan diameter <i>tube</i> (m)

Simbol-simbol Yunani

ΔT_{lm}	= beda temperatur rata – rata logaritma (°C)
ΔP	= penurunan tekanan (Pa)
ΔT_h	= selisih antara T_{hi} dengan T_{ho} (°C)
ΔT_c	= selisih antara T_{ci} dengan T_{co} (°C)
ε	= efektifitas alat penukar kalor (%)
ρ_c	= <i>density</i> fluida dingin (kg/m ³)

ρ_h	= <i>density</i> fluida panas (kg/m ³)
ν_c	= viskositas kinematik fluida dingin (m ² /s)
ν_h	= viskositas kinematik fluida panas (m ² /s)

Bilangan Tak Berdimensi

Re_h	= bilangan <i>Reynolds</i> di dalam <i>tube</i>
Nu_h	= bilangan <i>Nusselt</i> di dalam <i>tube</i>
Pr_h	= bilangan <i>Prandtl</i> di dalam <i>tube</i>
Nu_c	= bilangan <i>Nusselt</i> di luar <i>tube</i>
Re_c	= bilangan <i>Reynolds</i> di luar <i>tube</i>
Pr_c	= bilangan <i>Prandtl</i> di luar <i>tube</i>
NTU	= <i>number of transfer units</i>
P/w	= rasio <i>pitch twist</i> dengan lebar <i>twist</i>
f	= faktor gesekan/ <i>friction factor</i>

Subscript

t	= <i>tube</i>
s	= <i>shell</i>
h	= kondisi pada aliran panas
c	= kondisi pada aliran dingin
i	= kondisi masuk
o	= kondisi keluar

Daftar Pustaka

- Cengel, Y. A. (2015). *Heat and Mass Transfer*. 5nd ed. McGraw Hill. New York.
- DeLisi, J. (2018). National transportation safety board. *63rd Annual Business Aviation Safety Summit, BASS 2018*, 161–179.
- Harini. (2017). Alat Penukar Kalor Type Pipa Ganda. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur, Edisi terbit II. Jakarta*. 8368, 51–61.
- Jack P. Holman. *Heat transfer*. 10th ed
- Kasmara, J., dan Marausna, G. (2020). Investigasi Eksperimental Anti-Icing System dengan Memanfaatkan Kalor Dari Gas Buang Engine Pesawat Terbang, *Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan , Indonesia Pendahuluan Aspek keselamatan menjadi prioritas utama di dalam dunia penerbangan*. 6 (1), 40–48.
- Lim, K. Y., Hung, Y. M., dan Tan, B. T. (2017). Performance evaluation of twisted-tape insert induced swirl flow in a laminar thermally developing heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 121, 652–661.
- Mies, J., Audard, C., Cockburn, D., & Fridrich, J. (2017). *Piston Engine Icing*. 24.
- Moya-Rico, J. D., Molina, A. E., Belmonte, J. F., Córcoles Tendero, J. I., dan Almendros-Ibáñez, J. A. (2020). Experimental characterization of a double tube heat exchanger with inserted twisted tape elements. *Applied Thermal Engineering*, 174 (February), 115234.
- Mufid, M., Hakim, A. R., dan Widiono, B. (2019). Pengaruh Pitch Turbulator Terhadap Ntu Pada Double Pipe Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(1), 27.
- Organisation, I. V. A. (2020). Carburator Ice. 7–10.
- Shah, R. (2020). Kaji Eksperimental Dan Analisa Kinerja Penukar Panas Udara Type Shell And Tube. 4 (1).
- Stephenraj, V., dan Sathishkumar, M. K. (2018). Design and Analysis of Heat Exchanger for Maximum Heat Transfer Rate (*Multi Model Optimisation Technique*). 1421–1426.
- T. Istanto. (2014). “Studi Eksperimental Karakteristik Perpindahan Kalor dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Modifikasi Sisipan Pita Terpilin,” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 6, no. 1, pp. 9–18.
- Xu, X., Zhang, X., Ke, P., Wang, C., Yang, H., dan Yang, C. (2015). Study on the Heat Transfer Characteristic of Compact Heat Exchanger Based on Experimental Data. *Procedia Engineering*, 121, 293–299.
- Yaningsih, I., dan Istanto, T. (2013). Dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Peripherally-Cut Twisted Tape Insert. 61–68.