

ANALISA PERFORMA *HEAT EXCHANGER* DENGAN PENAMBAHAN *VORTEX GENERATOR* TIPE *WIRECOIL* GUNA MENCEGAH *ICING* PADA *KARBURATOR*

¹Imama, ²Gagak Marausna, ³Ikbal Rizki Putra

¹Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
imamax1469@sttkd.ac.id

²Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
gagak.marausna@sttkd.ac.id

³Jurusan Teknik Dirgantara
Sekolah Tinggi Teknologi
Kedirgantaraan
ikbal.rizki@sttkd.ac.id

Article history:

Received 23th of february, 2024

Revised 10th of March, 2024

Accepted 15th of March, 2024

Abstract

This study aims to evaluate the influence of vortex wirecoil generators with different pitch variations on heat transfer coefficients, pressure drop, and heat exchanger effectiveness. The method involves experiments with a prototype heat exchanger simulation utilizing exhaust gas from a genset engine to address carburetor freezing issues in aircraft with Piston engines, with a parallel flow configuration. The solution proposed involves using vortex generators and shell-and-tube heat exchangers. Shell and tube heat exchangers aim to improve heat exchange efficiency because the fluid flow in the pipes bends, creating significant secondary flow and enhancing heat transfer. This study involves various tools and components, including steel wire as the vortex wirecoil generator with size variations of 1.5, 2.5, and 3.5 cm. Other components consist of galvanized iron cells and copper tubes, as per the research plan. The research results indicate that pitch variations of wirecoil inserts in concentric pipes create turbulent flow that maximizes heat transfer to the air inside the cell. The 3.5 cm wirecoil yields the highest heat transfer coefficient U_0 with an average value of 10.4. Additionally, adding variations of vortex wirecoil generators in concentric pipes increases the heat release from the hot fluid in the exhaust gas, enhancing heat exchanger effectiveness. The best effectiveness performance is achieved with a 2.5 cm wirecoil with an average value of 70.09. However, adding pitch variations of wirecoil inserts also disrupts the flow, changing it from laminar to turbulent, with the highest pressure drop occurring with the 3.5 cm wirecoil, with an average value of 17.89 Pa. These findings provide insights into improving efficiency and altering flow in heat exchangers through vortex wirecoil generator variations.

Keywords: carburetor icing, vortex generator, heat exchanger, pitch wirecoil insert.

Pendahuluan

Cuaca yang tidak baik seringkali menciptakan masalah yang serius bagi industri penerbangan. Mulai dari masalah yang ringan hingga yang sangat serius. Salah satu contoh masalah yang disebabkan oleh kondisi cuaca yang buruk adalah munculnya fenomena pembentukan lapisan es. Tidak hanya dipicu oleh cuaca buruk, terjadinya pembentukan lapisan es juga dipengaruhi oleh penurunan tekanan, suhu, dan kerapatan udara. Di beberapa kondisi atmosfer, es dapat dengan cepat terbentuk ketika kelembaban udara ada pada ketinggian di mana suhu berada di bawah titik beku yang disebut *Icing* (Dian dan Djamari 2016). Potensi pembekuan sangat tergantung pada suhu. Agar pembekuan terjadi, suhu di sekitar pesawat harus di bawah 0°C. Hampir semua pembekuan cenderung terjadi dalam interval suhu antara 0°C dan -20°C, dengan sekitar separuh dari laporan terjadi antara -8°C dan -12°C. Dalam hal ketinggian, puncak kejadian berada di sekitar 10.000 kaki, dengan sekitar separuh insiden terjadi antara 5.000 dan 13.000 kaki (FAA *Aviation Weather Handbook*, 2022).

Data statistik antara tahun 1990 hingga 2000 mengindikasikan bahwa dari seluruh insiden kecelakaan pesawat yang disebabkan oleh kondisi cuaca, sebanyak 12% diantaranya berasal dari situasi *icing* (AOPA *Air Safety Foundation accident database*, 2002). Salah satu contoh masalah *icing* terjadi pada pada pesawat jenis *Piston engine*. Terjadinya *icing* dapat menyebabkan kejadian yang fatal jika diabaikan karena akan berpengaruh pada komponen utama pesawat. Salah satunya adalah terjadinya *icing* pada komponen karburator yang merupakan komponen penting agar *Piston engine* dapat bekerja. Fungsi dari karburator tersebut yaitu sebagai pencampuran udara dan *fuel*, prinsip karburator di ambil dari teori *bernoulli* di mana kecepatan aliran udara semakin tinggi maka tekanan akan menjadi rendah dan akan meningkat pada tekanan dinamis.

Masalah yang khususnya didalam karburator ini sering terjadi yaitu *icing* pada karburator. *Icing* pada

karburator terjadi karena proses penguapan bahan bakar dan penurunan tekanan udara dalam venturi, yang mengakibatkan suhu dalam karburator turun secara signifikan. Apabila uap air dalam udara mengembun saat suhu karburator berada pada atau di bawah titik beku, maka es dapat terbentuk pada bagian dalam karburator, termasuk katup *throttle*. Penurunan tekanan udara bersama dengan penguapan bahan bakar juga ikut serta dalam menurunkan suhu di dalam karburator. Es akan terbentuk di sekitar katup *throttle* dan di tenggorokan venturi. Ini akan menghambat aliran campuran bahan bakar-udara dan mengakibatkan penurunan tenaga mesin. Jika pembentukan es berlangsung cukup banyak, mesin dapat berhenti beroperasi. Umumnya, pembekuan pada karburator paling mungkin terjadi saat suhu berada di bawah 21 derajat Celsius (°C) dan kelembaban relatif berada di atas 80% (FAA *pilot's handbook of Aeronautical knowledge*, 2022).

Berdasarkan informasi dari data kecelakaan pesawat yang dikeluarkan oleh NTSB (*National Transportation Safety Board*), sekitar 250 kejadian kecelakaan terkait dengan *icing* pada karburator terjadi dalam periode tahun 2000 hingga 2011 (*National transportation safety board SA-029*, 2015). Berikut adalah contoh kasus terjadinya kecelakaan yang diakibatkan oleh *icing* pada karburator. Pada tanggal 11 November 2020, pada pukul 11:44 waktu Pasifik, sebuah pesawat Cessna 177B Cardinal tahun 1973 mengalami kerusakan serius saat mengalami *stall* dan berputar saat pilotnya mencoba melakukan pendaratan darurat karena masalah mesin di Whidbey Air Park (W10), di Langley, Washington. Menurut hasil investigasi yang dilakukan oleh NTSB, kemungkinan penyebab kecelakaan ini adalah kegagalan instruktur penerbangan dalam menjaga kecepatan udara sehingga menyebabkan *stall* aerodinamis dan hilangnya kendali saat mencoba melakukan pendaratan darurat. Salah satu faktor yang berperan dalam kecelakaan ini adalah hilangnya daya mesin secara total akibat pembekuan pada karburator (Burnside, 2022).

Kasmara dan Marausna (2020) melakukan penelitian mengenai terjadinya kehilangan gaya angkat dapat disebabkan oleh perubahan bentuk *wings* terutama pada bagian *leading edge* akibat kondisi pembentukan es. kontaminasi terjadi dalam bentuk penumpukan partikel es pada *leading edge* dan mengubah aliran udara yang melewati *wing* menjadi aliran turbulen. Diperlukan sebuah perangkat *anti icing* untuk mengatasi permasalahan kontaminasi tersebut dengan memanfaatkan gas buang *engine* agar dapat mengurangi konsumsi daya listrik yang digunakan dalam sistem pemanas untuk *leading edge*. Hasil penelitian menunjukkan perubahan geometri pada rasio diameter *coil* dapat berpengaruh meningkatkan intensitas aliran sekunder, menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan koefisien perpindahan kalor serta mempengaruhi perubahan parameter performa dari *heater*.

Carlos *et al.* (2020) dengan melakukan metode CFD bahwa aliran yang didalam *heat exchanger* akan dinilai semakin baik apabila memiliki viskositas yang tinggi. Hal lain yang harus diperhatikan adalah terjadinya *fouling* (penumpukan kerak didalam sistem *heat exchanger*). Putra., *et al* (2015), melakukan penelitian *counter flow heat exchanger* dengan menggunakan berbagai bentuk spiral yang ditempatkan pada pipa bagian dalam dengan merubah berbagai macam turbulator. Karakteristik performa *heat exchanger* akan berubah seiring dengan turbulensi yang terjadi. Penelitian ini menggunakan metode rancangan percobaan berskala laboratorium menggunakan satu *set up* peralatan *double tube heat exchanger* dan hasil yang diperoleh pada laju aliran tertinggi terdapat pada debit terbesar dengan diameter luar poros berulur 18 mm dengan kedalaman 9 mm sebesar 24,45 J/s dan laju perpindahan kalor terkecil pada debit 100 kedalaman 5 mm diameter 16 mm sebesar 14,03 J/s sedangkan efektivitas terbesar diperoleh oleh debit 100 kedalaman 5 mm sebesar 88,77%.

Pesawat Cessna 172

Pesawat *training* Cessna 172 merupakan salah satu jenis pesawat yang digunakan untuk pelatihan penerbang pemula (Saputra dan Hakim 2016). Seperti halnya dengan semua jenis pesawat, perawatan dan perbaikan komponen mesinnya sangat penting. Salah satu komponen yang rutin perlu diperiksa

adalah baling-baling pesawat (*propeller*) agar tetap dalam kondisi baik dan siap terbang. Baling-baling pesawat Cessna terbuat dari bahan *aluminium alloy*, dan ada berbagai jenis dengan dua, tiga, atau empat bilah, serta memiliki bentuk penampang melintang yang berbentuk *airfoil*. Pada pesawat dengan mesin piston, gaya dorong dihasilkan oleh *propeller* di mana tenaga mesin diubah menjadi dorong oleh *propeller* tersebut (Papoci, *et al*, 2022).

Pesawat Cessna 172 memiliki spesifikasi sebagai berikut: Pesawat Cessna 172 terbuat dari material *full metal*, menggunakan mesin tunggal berjenis *Piston engine*. berjenis pesawat dengan sayap tinggi, dan memiliki kapasitas 4 orang. (Cessna Company, 2012). Alasan penulis memilih pesawat Cessna 172 karena pesawat ini merupakan pesawat bermesin tunggal yang paling populer digunakan hingga saat ini (Jantzon, 2022).



Gambar 1. Cessna 172
Sumber: *sweet aviation*

Piston engine

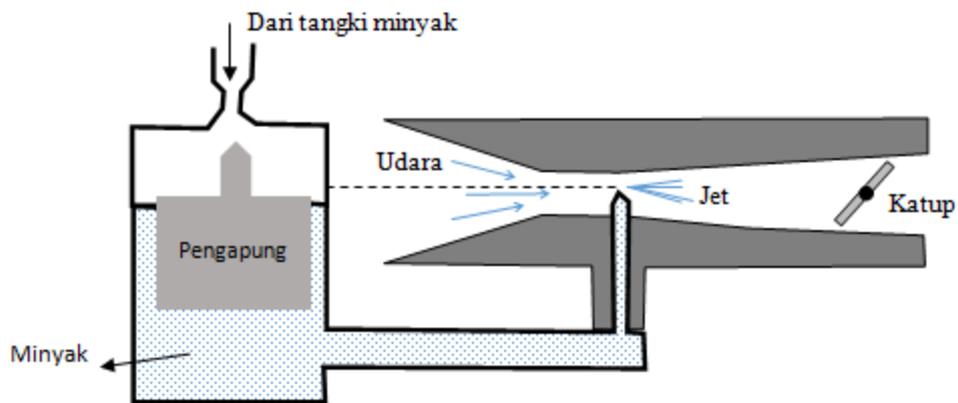
Piston engine adalah jenis mesin pada pesawat yang prinsip kerjanya serupa dengan mesin piston biasa. Tenaga yang dihasilkan dari proses pembakaran ini digunakan untuk menggerakkan bilah atau *propeller* pesawat (Admin ITDA, 2022). Umumnya ada 2 jenis *piston* yaitu 2 *stroke* dan yang digunakan pada pesawat adalah jenis *piston 4 stroke*.



Gambar 2. *Piston engine* Cessna 172
Sumber : *air facts journal*

Karburator pada *Piston engine*

Karburator adalah sebuah alat yang menggabungkan udara dan bahan bakar dalam mesin pembakaran dalam. Prinsip kerja dasar karburator didasarkan pada hukum *Bernoulli*, yang menyatakan bahwa tekanan statis akan menurun seiring dengan peningkatan kecepatan aliran udara. Dengan demikian, semakin cepat aliran udara bergerak, tekanan statisnya akan semakin rendah, dan tekanan dinamisnya akan semakin tinggi (Ramadhan, *et al*, 2023).



Gambar 3. Prinsip Kerja Karburator

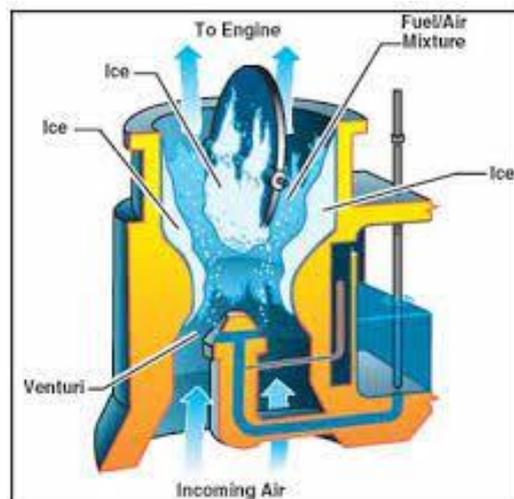
Sumber: pakguru.co.id

Setelah mengalami proses transformasi menjadi bahan bakar gas melalui campuran bensin dan udara, campuran tersebut segera dimasukkan ke dalam silinder mesin. Di dalam silinder ini, energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar dikonversikan menjadi energi gerak piston. Bahan bakar gas tersebut dikompresi dan dihidupkan melalui percikan api dari busi, mendorong piston turun ke bawah. Proses ini berlangsung secara berkelanjutan selama mesin beroperasi.

Fungsi karburator adalah mengatur percepatan dan beban pada tingkat tertentu. Proses dalam karburator dimulai dengan aliran udara dari luar yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dengan silinder. Udara ini melewati filter dan masuk ke venturi, di mana kecepatan udara meningkat dan tekanannya menurun. Hal ini mengakibatkan bensin di ruang pelampung diserap ke dalam venturi karena perbedaan tekanan. Bensin ini kemudian bercampur dengan udara dan membentuk kabut, yang selanjutnya masuk ke dalam ruang silinder dengan kecepatan tinggi (Bambang, *et al*, 2019).

Carburetor Icing

Pada mesin piston, proses pembakaran menggunakan prinsip segitiga api, yaitu melibatkan percikan api, oksigen, dan bahan bakar. Udara yang mengandung oksigen akan memasuki ruang pembakaran dicampur dengan bahan bakar melalui karburator, yang mempermudah proses pembakaran dalam mesin. Ketika terjadi masalah pada karburator, ini dapat mengganggu kinerja mesin. Salah satu gangguan yang mungkin terjadi adalah pembentukan es pada karburator, yang disebut *carburetor icing*.



Gambar 4. Carburetor Icing

Sumber: tugpilots.co.uk

Pembentukan es ini umumnya terjadi dalam lingkungan dengan suhu antara -40°C hingga 0°C . Ketika pesawat terbang dalam kondisi suhu ini, risiko *carburetor icing* meningkat. *Icing* dipicu oleh keberadaan tetesan uap air yang dapat menggumpal dan membeku jika dibiarkan. Pada karburator, ini dapat mengakibatkan penyumbatan aliran udara menuju ruang pembakaran, yang pada gilirannya dapat membahayakan keselamatan penerbangan. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk mengembangkan sistem *anti-icing* yang efektif (Sheirico, *et al*, 2022).

Vortex Generator

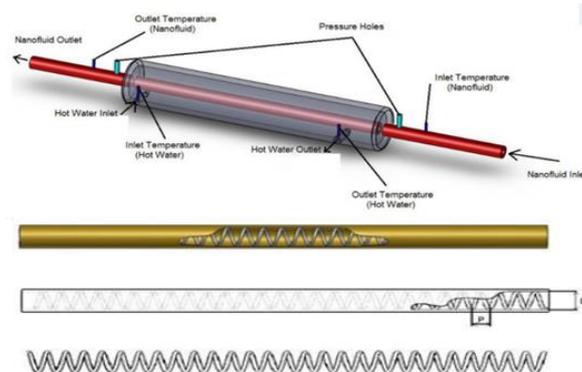
Peningkatan perpindahan panas dengan *vortex generators* merupakan suatu teknik aktif yang terbukti efektif dalam meningkatkan koefisien transfer panas konveksi pada sisi udara dari kondensor. Ini disebabkan oleh kemampuan *vortex generators* untuk menciptakan aliran turbulen dan mengacaukan perkembangan lapisan batas termal. Mekanisme perbaikan dalam transfer panas yang dihasilkan oleh penggunaan *vortex generators* adalah pembentukan aliran pusaran *longitudinal* yang menghasilkan gerakan berputar, yang mengganggu pertumbuhan lapisan batas termal dan mengakibatkan perpindahan panas dari dinding ke pusat aliran udara, sehingga aliran *laminar* yang stabil akan berubah menjadi turbulen (Wisnu, *et al*, 2015).

Alat Penukar Kalor (*Heat exchanger*)

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) adalah sebuah alat yang memungkinkan transfer panas dari satu fluida ke fluida lain yang memiliki suhu berbeda, sambil menjaga agar kedua fluida tersebut tetap terpisah. Proses pertukaran panas yang paling sederhana terjadi ketika dua fluida, satu panas dan satu dingin, bersentuhan langsung. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mencapai suhu yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat dihitung dengan menyamakan kerugian energi dari fluida yang lebih panas dengan perolehan energi dari fluida yang lebih dingin (Sutowo, 2010). Alat penukar kalor yang digunakan dalam pengujian ini berjenis *shell* dan *tube*. Prinsip kerja alat penukar kalor jenis *shell and tube* adalah salah satu fluida mengalami pertukaran energi di dalam pipa, sementara fluida yang lain mengalami pertukaran energi di luar pipa atau dalam tabung (Septian, *et al*, 2021). Penggunaan *shell* dan *tube* dapat meningkatkan efektivitas dalam penukaran kalor. Hal ini disebabkan oleh fluida yang mengalir di dalam lintasan pipa yang berbentuk kurva, gaya *sentrifugal* dapat menghasilkan aliran sekunder. Aliran sekunder memiliki kemampuan yang signifikan untuk meningkatkan laju perpindahan kalor (Iskandarsyah, *et al*, 2016).

Perpindahan kalor

Perpindahan kalor terjadi pada alat penukar kalor *shell* dan *tube*. Hal ini sangat tergantung pada dimensi dan geometrinya (Syahrir, 2016). Analisa perpindahan kalor dalam *tube* dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kalor yang diserap oleh gas buang melalui *tube*. Jumlah kalor



Gambar 5. Heat Exchanger Wirecoil
Sumber : science direct journal

yang diserap melalui *tube* diasumsikan sama dengan kalor yang dilepaskan oleh udara dari *blower* ke dalam *shell* secara konduksi melalui dinding *tube*.

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

Nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh dipengaruhi oleh faktor pengotoran yang merupakan resistan atau tahanan. Menurut Cengel (2003) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_{cold}} + \frac{1}{h_{hot}}} \quad (1.1)$$

Efektivitas alat penukar kalor

Menurut Cengel (2003), analisis akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektivitas penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu. Mode efektivitas ini juga mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisa persoalan dimana harus membandingkan berbagai jenis penukar kalor guna memilih jenis yang terbaik untuk melaksanakan suatu tugas pemindahan kalor tertentu.

Sehingga efektivitas menjadi parameter nilai yang menunjukkan performa dari suatu alat untuk menukar kalor. Nilai efektivitas (ϵ) dari alat penukar kalor dengan aliran berlawanan arah dapat ditentukan dengan perhitungan persamaan berikut:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-c)]}{1 - c \exp[-NTU(1-c)]} \times 100\% \quad (1.2)$$

dengan:

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (1.3)$$

Penurunan tekanan (ΔP)

Penurunan tekanan atau *pressure drop* terjadi karena adanya pergesekan yang terjadi pada aliran, menurut Sidik Kakac (2002) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta P = f \frac{L}{Dt} \rho \frac{V_h^2}{2} \quad (1.4)$$

Faktor gesekan yang terjadi pada pipa sisi panas dengan aliran turbulen, menurut Srinivasan (1970) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (1.5)$$

Dengan syarat :

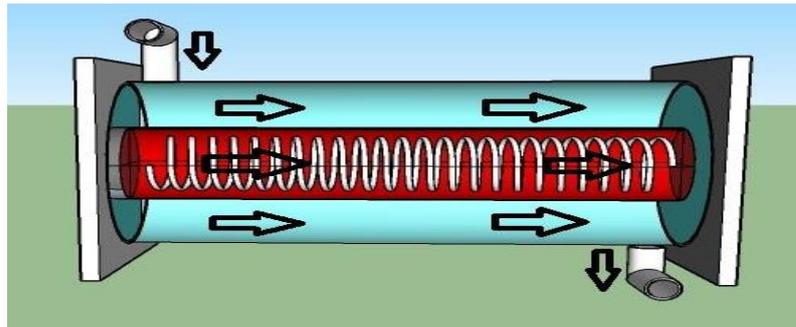
$$10^4 < Re < 10^6$$

Metode Penelitian

Rancangan penelitian merupakan suatu aspek yang dibuat oleh penulis untuk petunjuk dan memperjelas dalam pembacaan data dalam melakukan penelitian agar lebih mudah di fahami. Penelitian yang dilakukan ini digunakan metode *experimental* yang berjenis prototipe atau mensimulasikan *heat exchanger* yang menjadi sarana pemanas dengan pemanpatan gas buang dari mesin genset untuk mengatasi masalah *icing* atau *droplate* di karburator yang khususnya dalam pesawat dengan jenis *piston engine*. Dalam penelitian ini aliran yang di gunakan adalah *parallel flow*.

Heat Exchanger

Heat exchanger adalah sebuah perangkat yang digunakan sebagai alat untuk menukar panas di mana gas buang yang berasal dari genset dikompres sebagai model gas buang yang dihasilkan oleh mesin piston. Dalam penelitian ini, arah aliran yang digunakan adalah jenis *parallel flow*.



Gambar 6. Heat Exchanger Dengan aliran Paralel Flow

Tabel 1. Geometri pipa fluida dingin

No.	Long shell(m)	Diameter in shell(m)	Diameter out shell (m)	Tebal shell(m)	$A_s(m^2)$
1.	0,43	0,08255	0,0886	0,00605	0,00536

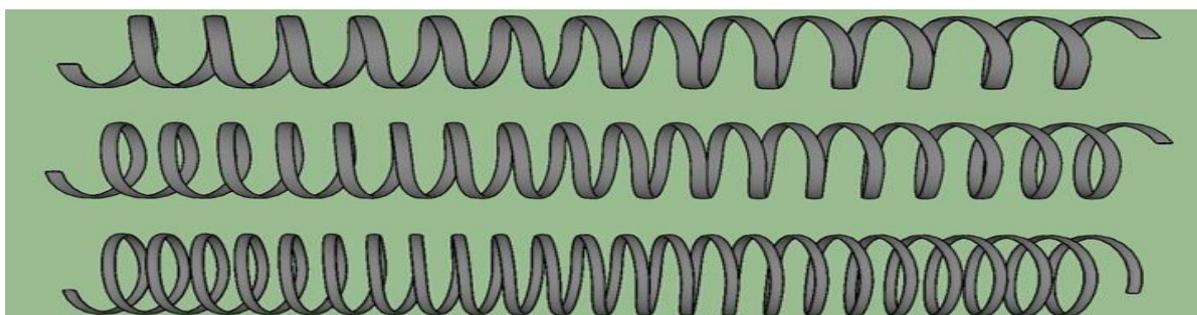
Tabel 2. Geometri pipa fluida panas

No.	$L_t(m)$	$D_{i_t}(m)$	$D_{o_t}(m)$	$T_t(m)$	$A_t(m^2)$
1.	0,6	0,2145	0,0252	0,00375	0,00036

Vortex Generator

Vortex Generator yang ada pada penelitian ini di fungsi kan sebagai hambatan pada tube yang bertujuan agar merubah aliran yang awalnya merupakan aliran laminar kemudian dirubah menjadi turbulen.

Vortex generator tape insert yang digunakan ada 3 yaitu wirecoil 1,5, 2,5, dan 3,5 cm seperti gambar di bawah ini :



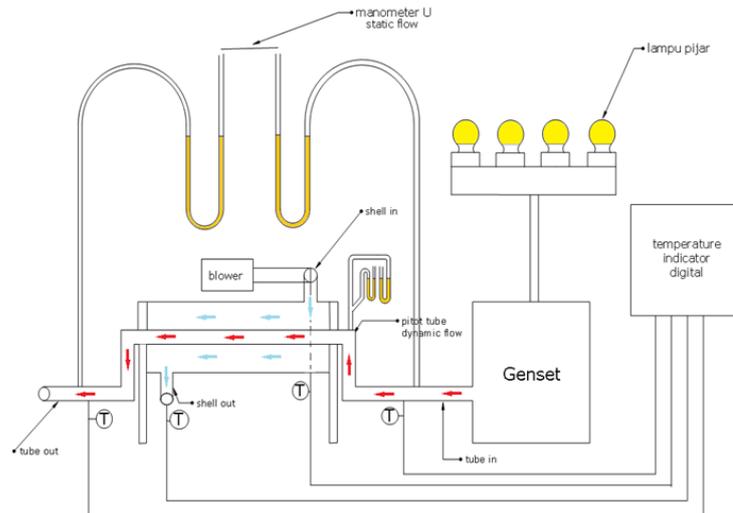
Gambar 7. Desain Vortex Generator

Tabel 3. Geometri Wirecoil

Jarak wirecoil (cm)	$L_{re}(m)$	$N_{re}(m)$	$P_{re}(m)$	$D_{ire}(m)$	$D_{ore}(m)$	$T_{re}(m)$	P/d
1,5	0,43	22	0,015	0,0161	0,0177	0,0055	0,85
2,5	0,412	14	0,025	0,0161	0,0177	0,003	1,31
3,5	0,442	10,5	0,035	0,0161	0,0177	0,00325	1,69

Skema Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini memiliki beberapa macam alat dan komponen yang digabungkan berubah menjadi suatu rangkaian agar penelitian ini berjalan sesuai rencana. Berikut merupakan gambar skema penelitian yang dibentuk:



Gambar 8. Skema Instalasi Rangkaian Pengujian

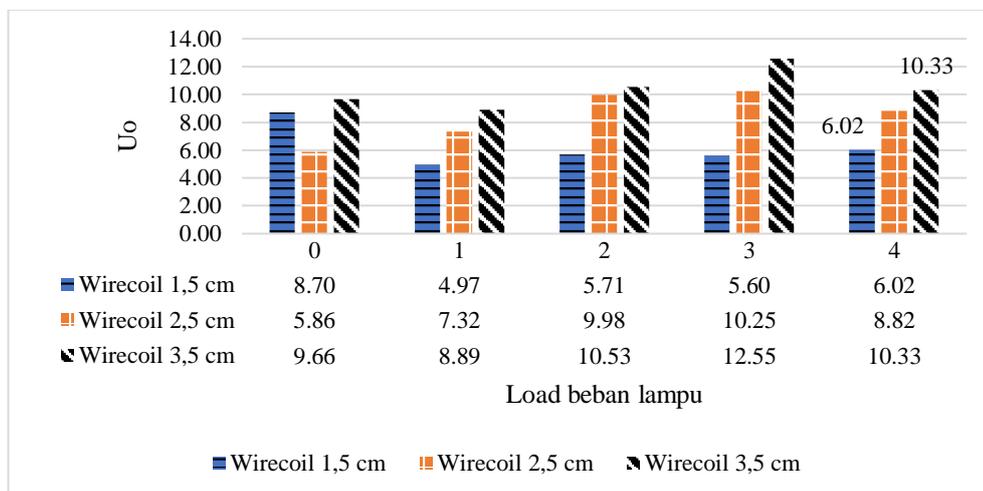
Hasil dan Pembahasan

Pengaruh variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o)

Pada tampilan **Tabel 4**. Memerlihatkan nilai hasil dari perhitungan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o) pada *wirecoil* 1,5, 2,5 dan 3,5 cm dengan variasi beban.

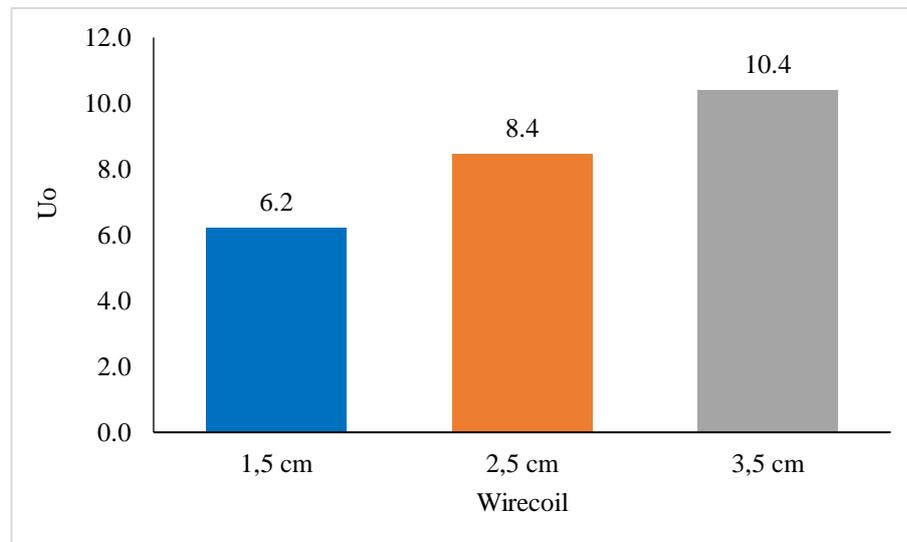
Tabel 4. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh

No	Load	U_o ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) <i>wirecoil</i> (cm)		
		1,5	2,5	3,5
1	0	8,6996	5,8622	9,6603
2	1	4,9722	7,3166	8,8937
3	2	5,7055	9,9806	10,531
4	3	5,6007	10,245	12,553
5	4	6,0233	8,8206	10,327
TOTAL		31	42	52
RATA-RATA		6,2	8,4	10,4
RANGE (%)		0	26,6	40,3



Gambar 9. Grafik Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Pada **Gambar 9**. Memperllihatkan semakin meningkat jarak *wirecoil* pengaruh yang terjadi adalah peningkatan nilai dari koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Terlihat koefisien perpindahan kalor menyeluruh terbesar terjadi pada *wirecoil* 3,5 cm dengan nilai 10,33 ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) sedangkan terkecil terjadi pada *wirecoil* 1,5 cm dengan nilai 6,02 ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh *wirecoil* mempengaruhi penurunan koefisien perpindahan kalor yang menyeluruh.



Gambar 10. Grafik Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Pada tampilan **Gambar 10**. Memperllihatkan semakin meningkat *wirecoil* maka terjadi peningkatan pada koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada variasi beban rata-rata. Terlihat koefisien perpindahan kalor menyeluruh terbesar terjadi pada *wirecoil* 3,5 cm dengan nilai 10,4 ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$) sedangkan terkecil terjadi pada *wirecoil* 1,5 cm dengan nilai 6,2 $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Penurunan koefisien perpindahan kalor menyeluruh di pengaruhi oleh koefisien perpindahan kalor konveksi pada sisi luar (*h_{cold}*) serta koefisien perpindahan kalor konveksi pada sisi dalam (*h_{hot}*).

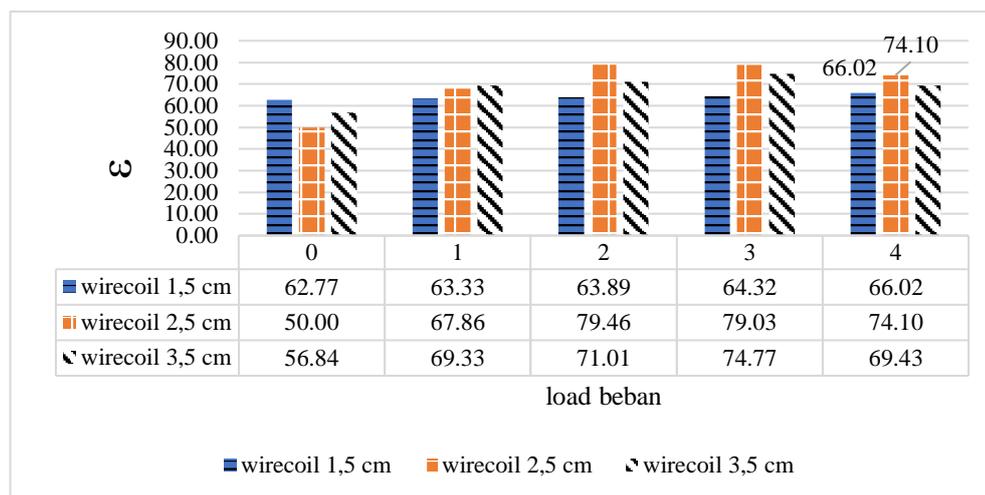
Hal ini menunjukkan pengaruh dari jarak bertambahnya antara *wirecoil* mempengaruhi penurunan koefisien perpindahan kalor yang menyeluruh. Kondisi yang terjadi pada variasi *wirecoil* 1,5, 2,5 dan 3,5 cm mengalami peningkatan pada halnya koefisien perpindahan kalor yang di pengaruhi oleh *vortex generator* yang dibuat. Pada penelitian terdahulu juga terjadi kondisi yang serupa yaitu penelitian dilakukan oleh Larasati pada tahun (2021), ditemukan bahwa koefisien perpindahan kalor menyeluruh memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan parameter lainnya. Dalam analisis yang dilakukan terhadap grafik perbandingan antara koefisien perpindahan kalor menyeluruh dengan bilangan *reynold* dalam sebuah *tube*, terlihat bahwa pada *twist ratio* 13 terdapat keterkaitan paling besar antara kedua parameter tersebut. Selain itu, teramati bahwa pada setiap *twist ratio*, grafik mengalami kenaikan yang berarti bahwa semakin tinggi nilai bilangan *reynold*, maka nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh juga meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara bilangan *reynold* dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh, yang menyiratkan bahwa semakin besar aliran fluida dalam *tube*, semakin efisien pula perpindahan kalor yang terjadi.

Pengaruh variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* terhadap efektivitas (ϵ)

Analisis akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektivitas penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu. Metode efektivitas Ini juga mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisa persoalan dimana harus membandingkan berbagai jenis penukar kalor guna memilih jenis yang terbaik untuk melaksanakan sesuatu tugas pemindahan kalor tertentu. Pada Tabel 4.10, Memperllihatkan hasil perhitungan efektivitas Pada *wirecoil* 1,5, 2,5 dan 3,5 cm dengan variasi beban.

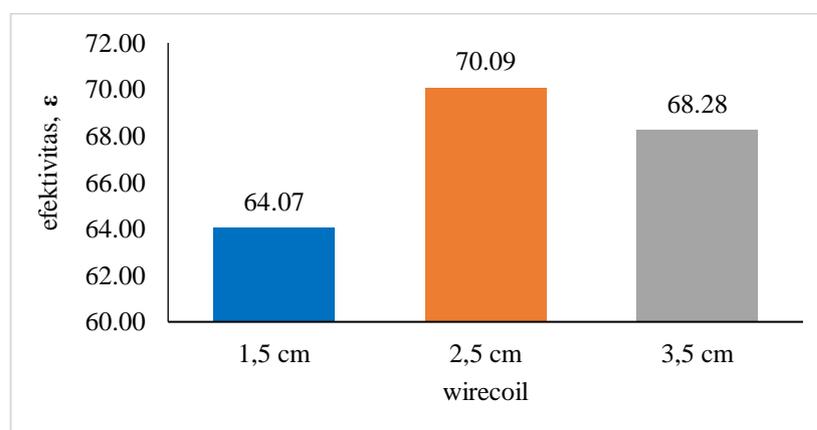
Tabel 5. Efektivitas

No	Load	ε wirecoil (cm)		
		1,5	2,5	3,5
1	0	62,77372	50,0000	56,84219
2	1	63,33333	67,85714	69,32773
3	2	63,88889	79,45879	71,01449
4	3	64,31718	79,03108	74,76636
5	4	66,01563	74,10072	69,42675
TOTAL		320,33	350,45	341,38
RATA-RATA		64,07	70,09	68,28
RANGE (%)		0,00	8,59	6,17



Gambar 11. Grafik Efektivitas

Pada **Gambar 11**. Memperllihatkan semakin meningkat jarak *wirecoil* dari 1,5 hingga 3,5 cm maka terjadi penurunan nilai pada efektivitas. Terlihat efektivitas paling besar terjadi pada jarak *wirecoil* 2,5 cm dengan nilai 74,10 sedangkan terkecil terjadi pada *wirecoil* 1,5 cm dengan nilai 66,02. Hal ini menunjukkan pengaruh variasi *wirecoil* mempengaruhi penurunan dari efektivitas.



Gambar 12 Grafik efektivitas pada beban rata-rata

Pada **Gambar 12**. Memperllihatkan pengaruh dari semakin meningkat *wirecoil* semakin menurun efektivitas pada variasi beban. Terlihat efektivitas terbesar terjadi pada *wirecoil* 2,5 cm dengan nilai 70,09 sedangkan terkecil terjadi pada *wirecoil* 1,5 cm dengan nilai 64,07.

Berdasarkan hasil yang didapat pada efektifitas dengan penambahan *wirecoil*, terjadi kurva lengkung

berdasarkan angka yang di dapat. Hal serupa juga terjadi pada penelitian terdahulu yaitu Sholihah (2018), Pengaruh kondisi waktu dan lingkungan terhadap efektivitas pada teori tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Berdasarkan hasil eksperimen, efektivitas menunjukkan korelasi positif dengan *Number Transfer Unit* (NTU), yang tercermin dalam grafik pengaruh variasi *twisted tape* dan intensitas radiasi matahari terhadap NTU dan efektivitas sepanjang waktu.

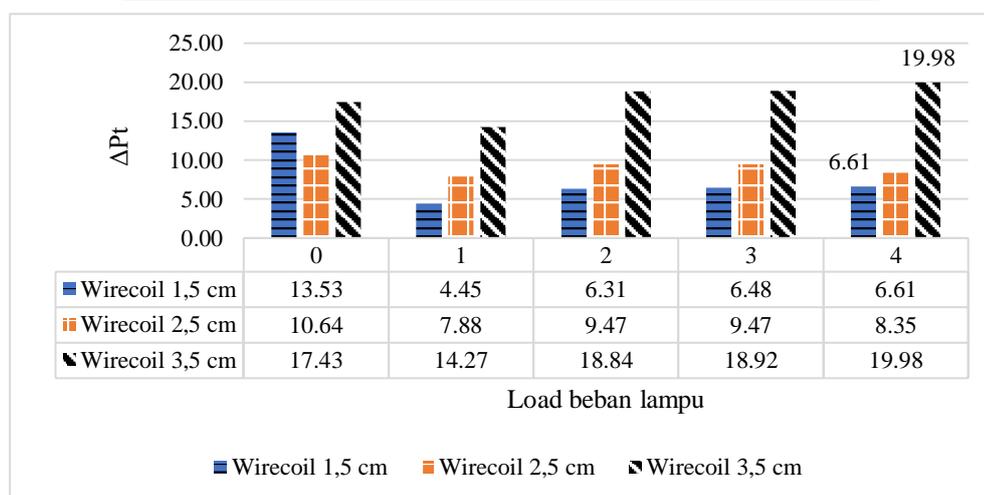
Trend kurva parabolik yang melengkung ke atas menunjukkan bahwa efektivitas dan NTU mencapai nilai tertinggi antara jam 11.00 hingga 14.00, sementara nilainya menurun pada jam 10.00 dan 15.00. Penggunaan *wirecoil* pada variasi eksperimental meningkatkan baik nilai efektivitas maupun NTU, dengan peningkatan efektivitas dalam kisaran 15,4% hingga 131,9% dan peningkatan NTU dalam kisaran 19,5% hingga 174%. Dengan demikian, waktu dan lingkungan memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas pada teori tersebut, dengan kondisi tertentu seperti intensitas radiasi matahari dan variasi *twisted tape* dapat memperkuat atau melemahkan efisiensi sistem yang diteliti.

Pengaruh variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* terhadap penurunan *pressure drop* (Δp) di dalam *tube*

Ketika fluida mengalir dalam lintasan *tube* yang berbentuk pipa, akan terjadi aliran primer yang disebabkan oleh gaya semi sentrifugal. Gaya semi sentrifugal ini memiliki kemampuan menciptakan efek turbulensi dan meningkatkan laju perpindahan kalor yang signifikan. Tetapi dengan meningkatnya efek turbulensi aliran di dalam *tube* juga akan meningkatkan *pressure drop* karena semakin panjangnya lintasan ketika fluida mengalir di dalam *tube*. Pada penelitian ini performa alat penukar kalor pada variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* diindikasikan dengan *pressure drop*.

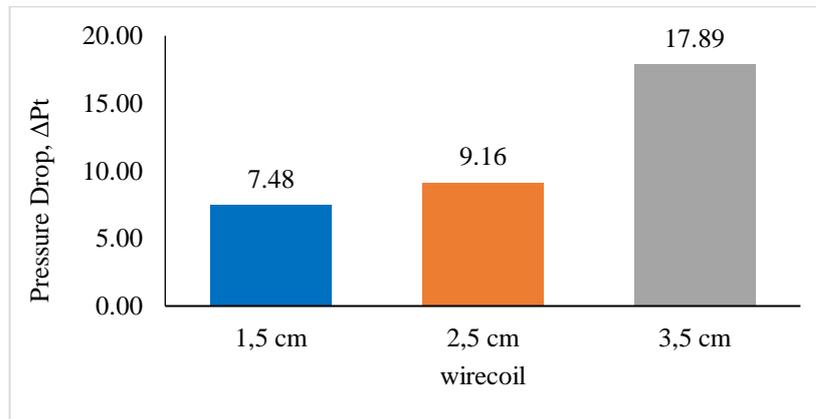
Tabel 6. *Pressure drop* di dalam *tube*

No	Load	ΔP Wirecoil (cm)		
		1,5	2,5	3,5
1	0	13,53294	10,63815	17,43317
2	1	4,447432	7,877674	14,27178
3	2	6,309622	9,467235	18,8385
4	3	6,476345	9,467235	18,9246
5	4	6,610446	8,354996	19,97955
TOTAL		37,38	45,81	89,45
RATA-RATA		7,48	9,16	17,89
RANGE(%)		0,00	18,40	58,21



Gambar 13. Grafik *pressure drop*

Pada **Gambar 13**. Memperlihatkan semakin meningkat *wirecoil* mengalami peningkatan pada *pressure drop* pada beban. Peningkatan *pressure drop* terjadi akibat pengaruh dari variasi *pitch wirecoil*. *pressure drop* terbesar terjadi pada *wirecoil* 3,5 cm dengan nilai 19,98 Pa sedangkan *pressure drop* terkecil terjadi pada *wirecoil* 1,5 cm dengan nilai 6,61 Pa.



Gambar 14. Grafik *pressure drop* pada beban rata-rata

Pada **Gambar 14**. Memperlihatkan semakin meningkat *wirecoil* semakin menurun *pressure drop* pada beban rata-rata. Terlihat *pressure drop* pada beban rata-rata terbesar terjadi pada *wirecoil* 3,5 cm dengan nilai 17,89 Pa sedangkan terkecil terjadi pada *wirecoil* 1,5 cm dengan nilai 7,48 Pa. Hal ini menunjukkan semakin terjadinya penurunan *pressure drop* pada gas buang dapat mengalir secara linier, aliran tersebut dapat terlihat pada bilangan *reynolds* pada sisi luar maupun dalam yang terjadi penurunan.

Berdasarkan hasil yang didapat penurunan tekanan dari pengaruh *wirecoil* yang terjadi pada *wirecoil* 3,5 cm ini terlihat sangat jauh sekali jika dibandingkan dengan variasi jarak *wirecoil* lainnya. Hal ini disebabkan oleh terdapat batasan batasan tertentu terkait jarak dari *wirecoil* agar lebih maksimal, dikarenakan faktor gesekan yang terjadi jika jarak *wirecoil* lebih besar dari 2,5 cm maka akan menghilang. Hal tersebut diduga juga mempengaruhi kondisi dari efektivitas yang terjadi yang membentuk kurva melengkung.

Kesimpulan

Pengaruh perubahan geometri *vortex generator* berupa variasi *wirecoil insert* 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 *shell*. Hasil perhitungan menunjukkan pada rata-rata *wirecoil* 1,5 cm menghasilkan nilai sebesar $6,2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, *wirecoil* 2,5 cm nilai sebesar $8,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ dan *wirecoil* 3,5 cm nilai sebesar $10,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. yang terbaik adalah *wirecoil* 3,5 cm. Jadi dapat disimpulkan bahwa perubahan geometri variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* dapat mempengaruhi koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o) pada *heat exchanger*.

Pengaruh penambahan variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* di dalam pipa konsentrik memaksimalkan pelepasan kalor pada fluida bertemperatur tinggi dari gas buang. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* dapat meningkatkan efektivitas *heat exchanger*. Pada penelitian ini performa yang terbaik adalah *heat exchanger* dengan penambahan variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* dengan *wirecoil* 2,5 cm dengan nilai 70,09.

Pengaruh penambahan variasi *pitch wirecoil insert vortex generator* di dalam pipa konsentrik dapat

mengganggu aliran sehingga aliran dapat berubah dari laminar menjadi turbulen. Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata *wirecoil* 1,5 cm menghasilkan nilai sebesar 7,48 Pa, *wirecoil* 2,5 cm menghasilkan nilai sebesar 9,16 Pa dan *wirecoil* 3,5 cm menghasilkan nilai sebesar 17,89 Pa. Yang terbaik pada *wirecoil* adalah 3,5 cm. *Pressure drop* yang terjadi pada pipa konsentrik yang memaksimalkan perpindahan kalor.

Daftar Pustaka

- [1] Admin ITDA. (2022) “Beragam Jenis Mesin Pesawat Terbang Populer di Dunia”. [https:// www.itda.ac.id / portal / blog / detail / 584 / beragamanta – jenis – mesin – pesawat – terbang – populer – di - dunia](https://www.itda.ac.id/portal/blog/detail/584/beragamanta-jenis-mesin-pesawat-terbang-populer-di-dunia)
- [2] Aircraft Owner And Pilot Association Foundation. (2002) Kinds of Ice and Their Effects on Flight Leading Factors Aircraft Type Icing risk Icing Risk 1990-2000 27% (105 accidents) involved fatalities Total Weather Accidents Pilot Total Time. www.asf.org
- [3] Aviation Weather Handbook 2022 United States Department of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service. (n.d.).
- [4] Bambang, E., Putra, W. T., & Malyadi, M. (2019). Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Ponorogo (Komputek) ‘Analisa Efek Perubahan Venturi Karburator Terhadap Performance Mesin Pada Sepeda Motor Yamaha Vega’.
- [5] Carlos .A. Acosta, D. Yanes, A. Bhalla, R. Guo, E. A. Finol, and J. I. Frank, (2020) “Numerical and experimental study of the glass-transition temperature of a non - Newtonian fluid in a dynamic scraped surface heat exchanger,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 152.
- [6] Cessna Company. (2012) Specification & Description Exhibit “A” MODEL 172S. (2012). www.se.cessna.com
- [7] Dian, A. D., & Djamari, F. (2016). Analisa Terjadinya Stuck Open Pada Engine Air Intake Ice Protection Valve Pesawat Airbus A330-200 Pk Gpk Gia Dan Cara Penanggulangannya (Vol. 6, Issue 1).
- [8] Iskandarsyah, F., Tasri, A., & Pratama, R. (2016). “Studi Eksperimental Pengaruh Bilangan Reynold dan Fraksi Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi pada Pipa Coil” (4), 43–48. ISSN: 2354-6751
- [9] Jantzon, M., Global Air.com. (2022) Pilot ranks the best aircraft for flight training in 2022.
- [10] Jeb Burnside, (2022) Carb Ice In Cruise - Aviation Safety, Aviation Safety Magazine. [https : // www.aviationsafetymagazine.com / accident _ probes / carb-ice-in-cruise/](https://www.aviationsafetymagazine.com/accident_probes/carb-ice-in-cruise/).
- [11] Kasmara, J dan Marausna, G., (2020) “Investigasi Eksperimental Anti-Icing System dengan Memanfaatkan Kalor Dari Gas Buang Engine Pesawat Terbang”, *Jurnal Teknik, Elektronik, no. 1*, vol. 6, pp. 40-48.
- [12] Kasmara, J. (2016). Studi Eksperimental Efektivitas Alat Penukar Kalor Shell Helical Coil Tube Dengan Memanfaatkan Limbah Panas Gas Buang Mesin Diesel Sebagai Pemanas Bahan Bakar Solar. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [13] Larasati, G., D., Ayu, dan Gaguk Marausna. (2021). “Analisa Performa Heat Exchanger Dengan Penambahan Vortex Generator Tipe Kombinasi Wire-Twisted Tape Insert Guna Mengatasi Icing Pada Karburator *Piston engine*.” *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine* 7 (2): 231–39.
- [14] National Transportation Safety Board SA-029, (2015) Engine Power Loss Due to Carburetor Icing Recognizing weather conditions and applying simple procedures can prevent avoidable accidents. (n.d.). <http://dms.nts.gov/pubdms/>.
- [15] Papoci, P., Nikolic, K. K., & Andraši, P. (2022). Modelling *Piston engine* aircraft performance using pilot’s operating handbook. *Transportation Research Procedia*, 64(C), 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.09.021>.
- [16] Ramadhan, A. R., Marausna, G., & Jayadi, F. (2023). “Analisa Performa Heat Exchanger Dengan Penambahan Vortex Generator Tipe Delta Wing Dan Delta Winglet Tape Insert Guna Mengatasi Icing Pada Karburator *Piston engine*”. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 9(1), 45–54.
- [17] Saputra, M., & Hakim, I. (2016). “Maintenance Propeller Hartzell Pada Pesawat Cessna 172”. 2(3).
- [18] Septian, B., Aziz, A., Rey, P. D., Studi, P., Mesinfakultas, T., Dan, S., Universitas, T., Assyafi’iyah Jakarta, I., Besar, B., Konversi, T., & Bppt, E. (2021). Design of Heat Exchanger Shell and Tube. *Jurnal Baut Dan Manufaktur*, 03(1).
- [19] Sheirico Surbakti, R., Setiawan, F., & Studi Teknik Dirgantara Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, P. (2022). “Studi Eksperimental Heat Exchanger Dengan Penambahan Vortex Generator Tipe Line Buffle, Line Buffle With Circular Hole, Line Buffle With Square Hole Dengan Memanfaatkan Gas Buang Untuk Mengatasi Icing Pada Karburator Mesin Piston”. *Jurnal Suara Teknik* 21 Journal, 13 (2).
- [20] Sutowo, C. (2010). “Analisa Heat Exchanger Jenis Sheel And Tube Dengan Sistem Single Pass”. *Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta*.
- [21] Syahrir, M. (2016). “Karakteristik Perpindahan Panas Pada Pipa Penukar Kalor Selongsong Aliran Searah Vertikal.” *Journal Of Chemical Process Engineering*, 01(02).
- [22] Wisnu Adi, F. S., Endra, W. J., & Istanto, T. (2015). “Studi Eksperimental Perbandingan Karakteristik Perpindahan Panas Dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Double-Sided Delta Wing Tape Insert Dan Double-Sided Delta Winglet Tape Insert”.