

STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK PERPINDAHAN KALOR PADA PIPA KONSENTRIK DENGAN *TWISTED TAPE INSERT WITH VARIABEL WIRE COIL* UNTUK MENGATASI *ICING CONTAMINATED TAIL STALL*

¹Rivaldy Purwanto, ²Gaguk Marausna, ³Farid Jayadi

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

Abstrak

Horizontal stabilizer adalah komponen yang sangat penting pada pesawat terbang, dimana digunakan untuk mengontrol sikap pesawat pada saat terbang. Metode penelitian ini adalah metode eksperimen dengan twisted tape insert with variabel wire coil dimana untuk memanfaatkan gas panas dengan memanfaatkan perpindahan kalor dengan spesimen yang juga berbeda untuk mencegah horizontal stabilizer dari adanya icing. Hasil penelitian ini adalah metode eksperimen twisted tape insert with variabel wire coil dapat memanfaatkan gas panas untuk mencegah terjadinya icing pada horizontal stabilizer. Penelitian ini membandingkan perpindahan kalor yang paling baik dengan nilai 56,000 W, dan meningkat juga koefisien perpindahan kalor konveksi 16,44 W/m²°C, dan faktor gesekan 0,041, pressure drop (ΔP), 2,65 Pa.

Kata kunci: *Horizontal stabilizer, icing*

Abstract

Horizontal stabilizer is a very important component in aircraft, which is used to control the attitude of the aircraft when flying. This research method is an experimental method with twisted tape insert with variable wire coil where to utilize hot gas by utilizing heat transfer with different specimens to prevent the horizontal stabilizer from icing. The results of this study are the experimental method of twisted tape insert with variable wire coil. can utilize hot gas to prevent icing on the horizontal stabilizer. This study compares the best heat transfer with a value of 56,000 W, and also increases the convection heat transfer coefficient to 16.44 W/m²°C, and the friction factor is 0.041, pressure drop (ΔP), 2.65 Pa.

Keywords: *Horizontal stabilizer, icing*

Pendahuluan

Horizontal stabilizer adalah komponen terpenting pada pesawat terbang untuk mengontrol pergerakan suatu pesawat pada saat terbang. Pentingnya horizontal stabilizer pada saat mengontrol pesawat supaya tidak menyebabkan pesawat terjatuh sebab pitch down dapat mengarahkan pesawat ke arah bawah. Gangguan biasanya terjadi pada leading edge pada horizontal stabilizer, terjadinya gangguan pada ketinggian tertentu yang membuat terjadinya penumpukan partikel es pada leading edge horizontal stabilizer dimana aliran yang melewati permukaan bagian atas dan permukaan bagian bawah bisa terganggu. Anti icing system merupakan system yang digunakan leading edge pada horizontal stabilizer untuk menjaga pesawat selama terbang agar tidak terjadi kontaminasi yang membuat pesawat mengalami gangguan. Berdasarkan hal tersebut penulis ingin mengambil judul “Studi eksperimental karakteristik perpindahan kalor pada pipa konsentrik dengan twisted tape insert with variabel wire coil untuk mengatasi icing contaminated tail stall”.

Tinjauan Pustaka

Fagr *et al.* (2020) melakukan penelitian *Performance evaluation of the characteristic of flow and heat transfer in a tube equipped with twisted tapes of new configurations*. Nomor Nusselt untuk kasus yang diteliti di nomor Reynolds yang berbeda. Jumlah Nusselt meningkat dengan

¹ Email Address : anjasaji75@gmail.com

Received 1 Juni 2021, Available Online 30 Juli 2021

meningkatkan jumlah Reynolds. Wongcharee dan Eiamsa-ard menyatakan bahwa peningkatan ini adalah hasil dari peningkatan intensitas turbulen ketika jumlah Reynolds meningkat.

Gnanavel *et al.* (2020) melakukan penelitian *Heat transfer enhancement through nano-fluids and twisted tape insert with rectangular cut on its rib in a double pipe heat transfer exchanger*. Studi numerik ini menyelidiki kinerja termal relatif terhadap laminar untuk aliran turbulen dengan berbagai nanofluida dalam tabung penukar panas dengan memasukkan pita dengan potongan persegi panjang. Setelah membandingkan hasil, nanofluida terbaik yang diusulkan.

Naveenkumar *et al.* (2020) Melakukan penelitian *Thermal performance enhancement a plain tube fitted with perforated twisted tape insert using water based nano-fluid*. Dengan eksperimen Bahan dan Metode menunjukkan pengaturan eksperimental & terdiri dari bagian pra-tes, bagian tes, pompa, unit pendingin & reservoir cairan. Hasil dan Diskusi Eksperimen dilakukan dengan kondisi tetap dan menggambarkan suhu di berbagai lokasi bagian uji dan perubahan tekanan untuk laju aliran yang berbeda menjelaskan secara grafis peningkatan suhu outlet dan perubahan tekanan.

Akyürek *et al.* (2018) Melakukan penelitian *analisis eksperimental untuk perpindahan panas nanofluida dengan wire coil turbulators dalam heat tube concentric exchanger*. Sebagai Hasilnya, nanofluida dengan konsentrasi partikel yang lebih rendah tidak menunjukkan pengaruh yang penting perubahan penurunan tekanan. Namun, ketika gulungan kawat digunakan dalam penukar panas, itu peningkatan penurunan tekanan serta koefisien perpindahan panas.

Zhao *et al.* (2017) Melakukan penelitian *experimental study on the thermal performance of loop heat pipe for the aircraft anti-icing system*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki secara eksperimental karakteristik start-up dan operasi dari sistem anti-icing Double Compensation Chamber Loop Heat Pipe (DCCLHP). Eksperimen dilakukan dengan memberikan beban panas, (AOA) Sebagai akibatnya efek anti-icing juga dapat ditingkatkan.

Yassin *et al.* (2018) Melakukan penelitian *heat transfer augmentation for annular flow due to rotation of inner finned pipe*. Penelitian ini bertujuan untuk membahas karakteristik termal aliran melalui anulus dengan sirip bagian dalam pipa dalam kondisi stasioner dan berputar. Hasilnya Kecepatan rotasi mengungkapkan tidak berpengaruh pada efisiensi dan efektivitas sirip. Korelasi bilangan Nusselt dan keseluruhannya efisiensi diperoleh.

Syam Sundar *et al.* (2019) melakukan penelitian *heat transfer and effectiveness experimentally-based analysis of wire coil with core-rod inserted in water nanofluid flow in a double pipe U-bend heat exchanger*. Perpindahan panas, faktor gesekan, dan efektivitas-jumlah unit transfer diperkirakan secara eksperimental untuk konsentrasi volume aliran nanofluida Fe_3O_4 yang berbeda dalam tabung dalam dari pipa ganda kalor U-bend *exchanger* dengan rasio pitch berbeda (p / d) *wire coil* dengan sisipan *core-rod* (WCCR).

Guan, Zhang, dan Shan (2018) melakukan penelitian *Effect of offset-jets arrangement on leading edge hot- air heating effectiveness of engine inlet guide strut*. Eksperimental dilakukan dimana untuk mempelajari pengaturan dari *jet-offset* kinerja perpindahan panas pada permukaan cekung dikenakan eksternal aliran yang dingin dan tubrukan *jet* panas. Dan bahwa efek *jet-offset* pemanasan udara sangat bergantung pada jarak *jet to leading edge* normal.

Rao dan Sankar (2019) melakukan penelitian *Heat transfer and friction factor investigations of CuO nanofluid flow in a double pipe U-bend heat exchanger*. Eksperimental ini untuk estimasi perpindahan panas konvektif dan juga gesekan nanofluida CuO dimana penukar panas U-bend pipa ganda dalam aliran *turbulent*. Bilangan Nusselt nanofluida meningkat dengan bilangan Reynolds dan volume partikel.

Cavazzuti dan Corticelli (2017) melakukan penelitian *Convective heat transfer of turbulent decaying swirled flows in concentric annular pipes*. Perpindahan panas dari aliran turbuln berputar dalam pipa annular melalui simulasi CFD menggunakan *openFOAM*. Faktor gesekan diberikan dalam rumus *petukhov*, korelasi global dengan pemecahan yang diatas panjang pipa dalam sistem dan terintegrasi.

Landasan Teori

Horizontal Stabilizer

Horizontal stabilizer adalah komponen yang terpenting dalam pesawat terbang unuk mengontrol sikap pergerakan pesawat pada saat terbang. Jika *horizontal stabilizer* mengalami gangguan dalam mengontrol sikap pesawat maka dapat meyebabkan pesawat mengalami *pitch down* yang mengakibatkan pesawat terjatuh.

Airfoil Contamination

Suatu kondisi terjadi pengaruh dan dampak adalah *airfoil contamination* dimana interaksi *airfoil* dan udara mengalir melewatinya. Kontaminasi yang paling umum terjadi pada pesawat yaitu es, salju dan embun beku (bunga es). Jika kontaminasi tersebut menumpuk pada *airfoil* dapat mengurangi fungsi dari *elevator* itu sendiri dari kapasitas *elevator*.

Anti Icing

Anti icing Berfungsi mencegah adanya penumpukan es pada sayap pesawat, *wind shield*, *engine cowl* dan *window passanger*. Alat pencegahan terjadinya icing pada pesawat terbang komersil adalah *Electric heater* menggunakan sistem elemen pemanas yang dapat memanaskan *leading edge* bila dialiri dengan listrik. *Bleed air anti icing* atau udara panas dari *compressor jet engine* menyemburkan langsung *bleed air* ke *leading edge* untuk memanaskan *leading edge* itu sendiri.. *Glycol based fluid* Jenis ini menggunakan sebuah cairan *glycol* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya *icing* dengan cara disemprotkan cairan tersebut pada area yang dapat terjadinya icing.

Heater

Heater adalah alat pemanas untuk mengubah temperatur *fluida*. Cara kerjanya dengan memancarkan kalornya ke *fluida* yang lain. Alat pengujian yang digunakan adalah *heater* jenis pipa konsentrik dengan *variasi twisted tape insert with variabel wire coil*. Tujuan dari *wire coil* adalah menciptakan aliran *laminar* dalam pipa menjadi aliran *turbulance*, maka dari itu dapat memaksimalkan perpindahan kalor konveksi. Pemasangan pipa pada sisinya dengan variasi geometri. Dengan Tujuan dari *wire coil* gangguan adalah untuk menciptakan aliran laminar dalam pipa menjadi aliran *tubulane*, sehingga memaksimalkan energi yang dimanfaatkan untuk mensuplai energi pada sebuah system

Icing

icing terjadi pada saat pesawat melewati awan dengan tetesan air yang super dingin, tetesan air super dingin sering berada di awan pada suhu antara 0 sampai -20°C, kadang – kadang bahkan sampai -40°C. Tetesan air super dingin dapat terbentuk ketika salju turun dari langit dan mencair melalui udara hangat, hal ini terjadi karena massa udara dingin dan hangat bertemu dan membentuk lapisan inversi. Karena tetesan air super dingin memiliki massa dan inersia yang lebih kecil maka molekul udara dapat menabrak permukaan pesawat dan mengalir ke hilir.

Aliran Fluida Dalam Pipa

Fluida yang bergerak dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa katagori. Apakah alirannya steady atau tak steady, apakah fluidanya kompresibel (dapat mampat) atau inkompresibel (tak dapat mampat), apakah fluidanya viskos atau non-viskos, atau apakah aliran fluidanya laminar atau turbulen. Jika fluidanya steady, kecepatan partikel fluida pada setiap titik tetap terhadap waktu. Fluida pada berbagai bagian dapat mengalir dengan laju atau kecepatan yang berbeda, tetapi fluida pada satu lokasi selalu mengalir dengan laju atau kecepatan yang tetap.

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan masing – masing dengan kecepatan konstan. Aliran ini terjadi karena fluida cukup kental, kecepatan aliran rendah, aliran pada lorong sempit. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynolds-nya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).

Aliran Transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang berkaitan dengan geometri aliran. Nilai bilangan Reynold aliran transisi antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).

Aliran turbulen ialah aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluid sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran antara lapisan dalam skala besar. Aliran turbulen terjadi karena kecepatan aliran tinggi, aliran pada lorong yang besar, fluida yang mengalir encer. Nilai bilangan Reynoldsnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).

Bilangan *Reynolds* dalam pipa konsentrik

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tak berdimensi yang menggambarkan karakteristik aliran suatu *fluida*, baik laminar maupun turbulen. Bilangan ini digunakan untuk menunjukkan berbagai jenis aliran, seperti laminar, transisi ataupun turbulen, serta bilangan ini merupakan bilangan tak berdimensi. Berikut adalah persamaan bilangan Reynolds:

$$Re_i = \frac{v_o \cdot D_c}{\nu \mu} \quad (1)$$

Bilangan *Prandtl* dalam pipa konsentrik

Bilangan *Prandtl* adalah sifat-sifat hanya fluida dan hubungan distribusi suhu dan kecepatan. Bilangan *Prandtl* (Pr) merupakan perbandingan ketebalan lapis batas kecepatan dan ketebalan lapis batas termal. Jika gradien suhu di dekat permukaan lebih cenderung daripada gradien kecepatan maka bilangan *Prandtl* lebih kecil dari satu. Bilangan *Prandtl* bisa digunakan menentukan karakteristik thermal, masing-masing fluida memiliki karakter yang berbeda-beda. . Berikut adalah persamaan bilangan *Prandtl*:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{K_i} \quad (2)$$

Bilangan *Nusselt* dalam pipa konsentrik

Bilangan *Nusselt* yaitu bilangan yang menentukan aliran dalam karakteristik proses perpindahan panas yang dimana berhubungan dengan rasio resistensi termal konduksi terhadap resistensi termal konveksi dari fluida. Berikut adalah persamaan bilangan *Nusselt*:

$$Nui = 0,023 \cdot Re_i^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (3)$$

Koefisien perpindahan kalor permukaan dalam pipa konsentrik

Nilai koefisien perpindahan kalor permukaan dalam pipa, menurut Cengel (2003) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$h_i = \frac{Nu.k_i}{dt} \quad (4)$$

Perpindahan Kalor konveksi dalam pipa konsentrik

Perpindahan kalor pada area dalam *leading edge* sama dengan selongsong (*shell*) dan pipa konsentrik sangat tergantung pada bentuk geometri dan dimensinya. Analisa studi investigasi karakteristik perpindahan kalor pada *heater* pipa konsentrik dengan *wire tape insert* untuk mengatasi *icing contaminated tail stall* dengan jumlah kalor yang terpancarkan ke area dalam *horizontal stabilizer leading edge*. Laju perpindahan kalor yang dilepaskan fluida panas (gas buang) dalam selongsong (*shell*) menurut Cengel (2003) dapat dihitung dengan persamaan

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (5)$$

Faktor gesek dalam pipa konsentrik (Friction)

Faktor gesek adalah gaya yang berlawanan arah dengan arah gerak benda. Besarnya gaya ini ditentukan berdasarkan kekasaran permukaan kedua bidang yang bersentuhan, jadi semakin kasar permukaan suatu bidang maka nilai gaya geseknya akan semakin besar. Berikut adalah persamaan faktor gesekan:

$$f = 0,79 \cdot \ln \cdot Re \cdot 1,64^{-2} \quad (6)$$

Pressure drop di dalam Pipa Konsentrik (ΔP)

Pressure drop yang terjadi pada pipa konsentrik karena faktor gesekan pada aliran dapat mempengaruhi panjangnya aliran yang melewati suatu instalasi, menurut Kakac (2002) dapat ditentukan dengan persamaan

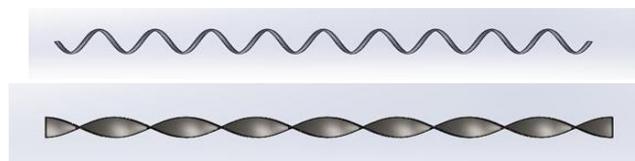
$$\Delta P = F \frac{L_t}{D_t} \rho \frac{v_o^2}{2} \quad (7)$$

Metode Penelitian

Metode eksperimen pada penelitian ini menggunakan *twisted tape insert with variabel wire coil* yang dimana *heatgun* memberikan udara panas untuk memberi perpindahan kalor yang akan digunakan dengan menggunakan spesimen yang berbeda-beda yang tujuannya mencegah *horizontal stabilizer* dari *icing*

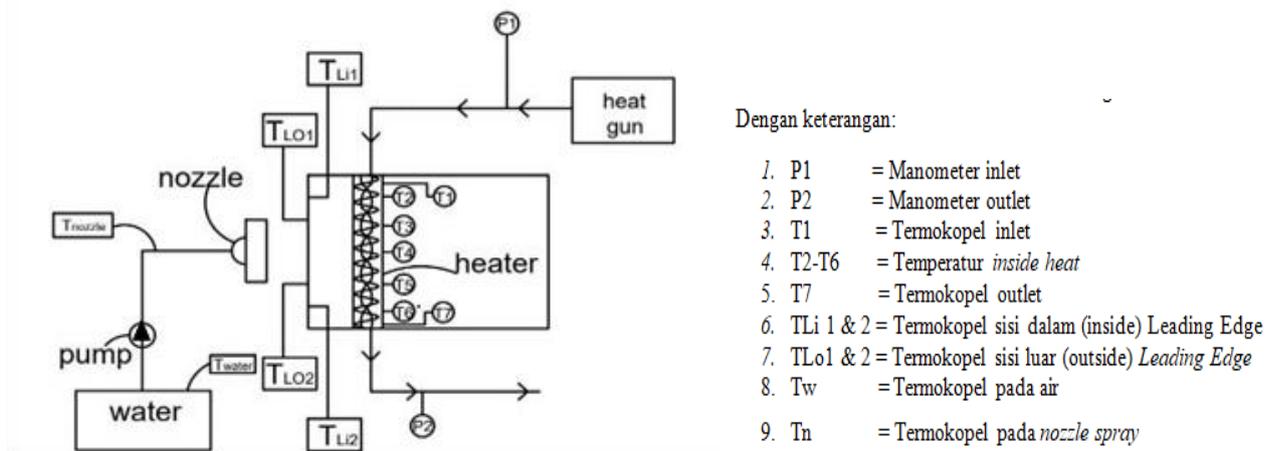
Tabel 1. Geometri *wire coil tape insert*

Wire coil	Lt (cm)	Do (mm)	Di (mm)	t tube (mm)	w (mm)	H (mm)	n	t (mm)	Lw (cm)	P (cm)	h (cm)	D (cm)	tw (mm)	Pitch
1	43,5	28,7	17,70	0,75	0,95	58,4	7	0,75	42	1	43	15,7	0,27	10
2	43,5	28,7	17,70	0,75	0,95	58,4	7	0,75	43	2	24	15,7	0,27	20
3	43,5	28,7	17,70	0,75	0,95	58,4	7	0,75	43	3	15	15,7	0,27	30



Gambar 1. Geometri specimen

Pada penelitian ini dalam proses pengujian menggunakan berbagai alat dan komponen yang disatukan menjadi suatu rangkaian seperti pada skema instalasi.



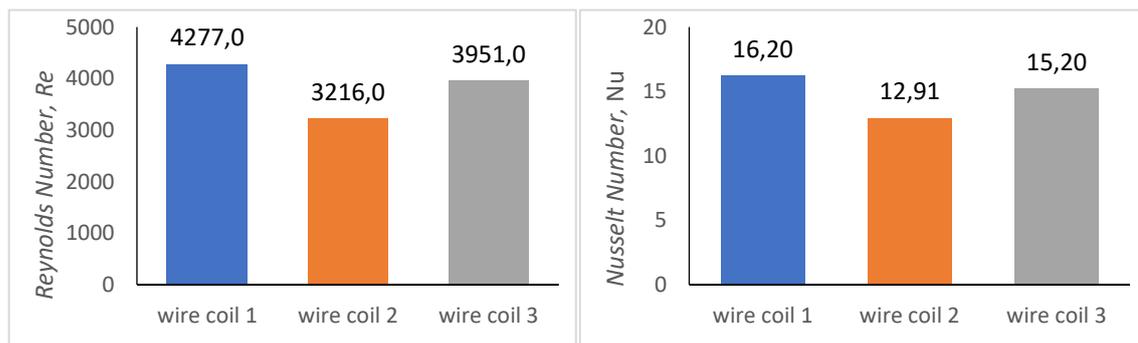
Gambar 2. Skema Rangkaian Penelitian

Analisa Data

Data hasil eksperimen ini diolah dengan aplikasi microsoft excel, yang dimana hasil dari data yang sudah didapat kemudian diolah terhadap perpindahan kalor dari Reynolds number (Re), bilangan prandlt (Pr), bilangan Nusselt (Nu), koefisien perpindahan kalor konveksi (h_i), perpindahan kalor konveksi (Q), pressure drop (ΔP), dan faktor gesekan (f).

Pengaruh Geometri *Baffle* Terhadap Perpindahan Kalor *Heater*

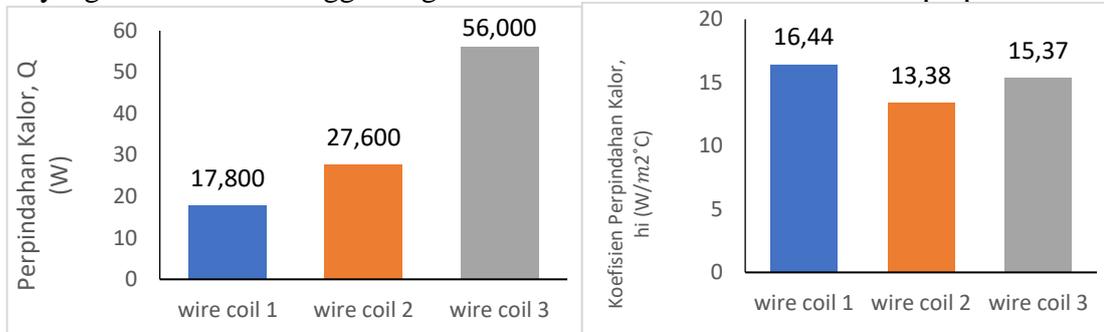
Pada penelitian ini, pengaruh dari geometri *baffle* terhadap perpindahan kalor *heater* diindikasikan dengan bilangan *Reynolds* (Re), bilangan *Nusselt* (Nu), dan koefisien perpindahan kalor konveksi (h_i), perpindahan kalor (Q).



Gambar 3. Grafik Pengaruh perubahan Geometri *twisted tape insert with variable wire coil* terhadap bilangan *Reynolds* dan bilangan *Nusselt*

Nilai rata-rata pada bilangan *Reynolds* terbesar terjadi pada *wire coil 1* dengan nilai sebesar 4277 yang menunjukkan bahwa pada *wire coil 1* memiliki aliran *turbulent* yang lebih besar, sedangkan nilai rata-rata bilangan *Reynolds* terkecil terdapat pada *wire coil 2* dengan nilai 3216 yang dimana pada *wire coil 2* terjadi penurunan bilangan *Reynolds*. Sedangkan pada *wire coil 2* memiliki aliran *turbulent* yang lebih kecil di dibandingkan dengan *wire coil 1* dan *wire coil 3*. Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa aliran yang di dapat adalah aliran transisi.

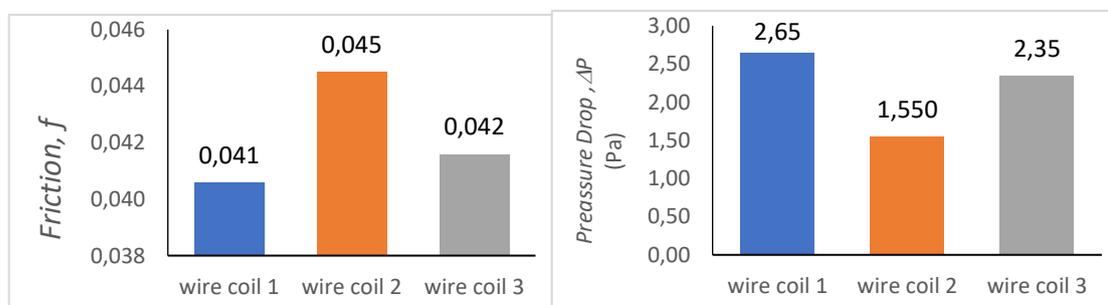
Memperlihatkan bahwa nilai rata-rata *Nusselt* tertinggi terdapat pada *wire coil 1* dengan nilai rata-rata 16,20 dan nilai rata-rata *Nusselt* terkecil yaitu pada *wire coil 2* dengan nilai rata-rata *Nusselt* 12,91. Dapat disimpulkan bahwa *wire coil 1* lebih baik dibandingkan dengan *wire coil 2* dan 3. Hal ini bisa terjadi karena efek dari *twisted tape insert* yang di kombinasikan dengan *wire coil* yang dapat mempengaruhi karakteristik aliran sehingga bisa meningkatkan bilangan *Nusselt* yang *fluktuatif* dan dengan adanya *twisted tape insert* yang dikombinasikan dengan *wire coil* ini bisa menciptakan aliran *turbulent* yang lebih besar sehingga sangat bermanfaat untuk memaksimalkan perpindahan kalor.



Gambar 4. Grafik Pengaruh perubahan Geometri *twisted tape insert with variable wire coil* terhadap perpindahan kalor konveksi (Q) dan koefisien perpindahan kalor konveksi dalam tube (h_i)

Memperlihatkan bahwa nilai rata-rata perpindahan kalor konveksi (Q) tertinggi terdapat pada *wire coil 3* dengan nilai rata-rata 56,000 watt dan nilai rata-rata perpindahan kalor konveksi (Q) terkecil yaitu pada *wire coil 1* dengan nilai rata-rata 17,800 watt. Dapat disimpulkan bahwa perpindahan kalor pada *wire coil 3* lebih baik dibandingkan dengan perpindahan kalor pada *wire coil 1* dan 2. Hal ini bisa terjadi karena efek dari *twisted tape insert* yang di kombinasikan dengan *wire coil* yang dapat menghasilkan perpindahan kalor, sehingga bisa meningkatkan bilangan (Q) yang *fluktuatif* dan dengan adanya *twisted tape insert* yang dikombinasikan dengan *wire coil* ini bisa menciptakan aliran *turbulent* yang lebih besar sehingga sangat bermanfaat untuk memaksimalkan terjadinya perpindahan kalor konveksi (Q) di dalam tube

Memperlihatkan bahwa nilai rata-rata (h_i) tertinggi terdapat pada *wire coil 1* dengan nilai rata-rata 16,44 W/m²°C dan nilai rata-rata (h_i) terkecil yaitu pada *wire coil 2* dengan nilai rata-rata (h_i) 13,38 W/m²°C. Dapat disimpulkan bahwa *wire coil 1* lebih baik dibandingkan dengan *twisted 2* dan 3. Hal ini bisa terjadi karena efek dari *twisted tape insert* yang di kombinasikan dengan *wire coil* yang dapat menghasilkan nilai perpindahan kalor konveksi, sehingga bisa meningkatkan bilangan (h_i) yang *fluktuatif* dan dengan adanya *twisted tape insert* yang dikombinasikan dengan *wire coil* ini bisa menciptakan aliran *turbulent* yang lebih besar sehingga sangat bermanfaat untuk memaksimalkan terjadinya perpindahan kalor.



Gambar 5. Grafik Pengaruh perubahan Geometri *twisted tape insert with variable wire coil* terhadap faktor gesek di dalam tube dan penurunan tekanan

Memperlihatkan pengaruh perubahan *twisted tape insert with variable wire coil* tertinggi adalah *wire coil 2* dengan nilai gesekan maksimum 0,045 dan nilai gesekan terendah terdapat pada *wire coil 1* dengan nilai gesekan maksimum 0,041. Dari data diatas menunjukkan bahwa adanya penambahan perubahan *twisted tape insert with variable wire coil* bisa membuat efek *turbulent* dan menciptakan factor gesekan yang terjadi menjadi lebih maksimal dan meningkatkan terjadinya penurunan tekanan pada *tube*.

Memperlihatkan pengaruh perubahan *twisted tape insert with variable wire coil* dengan tekanan tertinggi adalah pada *wire coil 1* dengan nilai maksimum 2,65 Pa dan nilai tekanan terendah terdapat pada *wire coil 2* dengan nilai maksimum 1,550 Pa. Dari data diatas menunjukkan bahwa adanya penambahan *twisted tape insert with variable wire coil* bisa membuat efek *turbulent* dan meningkatkan nilai penurunan tekanan.

Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Karena efek *twisted tape insert with variabel wire coil*, menghasilkan aliran *turbulensi* pada *wire coil 1* dengan nilai Re 4277 , dan proses perpindahan kalor Nu dengan nilai 16,20, perpindahan kalor konveksi Q dengan nilai 17,8 W , dan perpindahan kalor konveksi koefisien h dengan nilai 16,44 $W/m^2\text{ }^\circ C$. *Wire coil 1* adalah yang terbaik jika dibandingkan dengan *wire coil 2* dan *wire coil 3*
2. Efek *twisted tape with variabel wire coil* dapat menghalangi aliran dalam memaksimalkan pelepasan kalor secara merata di sepanjang pipa *heater*. Akibat kondisi ini, tekanan yang terjadi bisa meningkat. Pada *wire coil* terbaik adalah *wire coil 1* dengan nilai f 0,041 dan ΔP dengan nilai 2,65 Pa jika dibandingkan dengan *wire coil 2* dan *wire coil 3*.

Daftar Notasi Dan Simbol

Notasi

A	: luas <i>tube</i> (m^2)
C_p	: specific heat ($J/kg \cdot ^\circ C$)
D_t	: diameter <i>tube</i> (m)
h	: koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2\text{ }^\circ C$)
\dot{m}	: <i>mass flow rate</i> (kg/s)
ΔP	: penurunan tekanan / pressure drop (Pa)
ΔT	: selisih temperature ($^\circ C$)
μ	: viskositas dinamik fluida panas ($kg/m \cdot s$)
ρ	: density fluida (kg/m^3)

Bilangan Tak Berdimensi

f	: faktor gesekan/ friction factor
Nu_i	: bilangan Nusselt di dalam tube
Pri	: bilangan Prandtl di dalam tube
Re_i	: bilangan Reynold di dalam tube

Daftar Pustaka

Akyürek, Eda Feyza, Kadir Geliş, Bayram Şahin, and Eyüphan Manay. 2018. "Experimental Analysis for Heat Transfer of Nanofluid with Wire Coil Turbulators in a Concentric Tube Heat Exchanger." *Results in Physics* 9: 376–89. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.02.067>.

- Cavazzuti, Marco, and Mauro A. Corticelli. 2017. "Convective Heat Transfer of Turbulent Decaying Swirled Flows in Concentric Annular Pipes." *Applied Thermal Engineering* 120: 517–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.015>.
- Fagr, Mohsen H., Qais A. Rishak, and Khudheyer S. Mushatet. 2020. "Performance Evaluation of the Characteristics of Flow and Heat Transfer in a Tube Equipped with Twisted Tapes of New Configurations." *International Journal of Thermal Sciences* 153(October 2019): 106323. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2020.106323>.
- Gnanavel, C., R. Saravanan, and M. Chandrasekaran. 2020. "Heat Transfer Enhancement through Nano-Fluids and Twisted Tape Insert with Rectangular Cut on Its Rib in a Double Pipe Heat Exchanger." *Materials Today: Proceedings* 21(xxxx): 865–69. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.606>
- Guan, Tao, Jing zhou Zhang, and Yong Shan. 2018. "Effect of Offset-Jets Arrangement on Leading Edge Hot-Air Heating Effectiveness of Engine Inlet Guide Strut." *Applied Thermal Engineering* 128: 357–72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.09.040>
- Nageswara Rao, V., and B. Ravi Sankar. 2019. "Heat Transfer and Friction Factor Investigations of CuO Nanofluid Flow in a Double Pipe U-Bend Heat Exchanger." *Materials Today: Proceedings* 18: 207–18. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.294>.
- Naveenkumar, R., S. Ramesh Kumar, R. Giridharan, and S. Senthil Kumaran. 2020. "Thermal Performance Enhancement in a Plain Tube Fitted with Perforated Twisted Tape Insert Using Water Based Al₂O₃ Nanofluid." *Materials Today: Proceedings* 22: 2274–82. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.348>.
- Syam Sundar, L. et al. 2019. "Heat Transfer and Effectiveness Experimentally-Based Analysis of Wire Coil with Core-Rod Inserted in Fe₃O₄/Water Nanofluid Flow in a Double Pipe U-Bend Heat Exchanger." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 134: 405–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.041>
- Yassin, M. A., M. H. Shedid, H. M. Abd El-Hameed, and A. Basheer. 2018. "Heat Transfer Augmentation for Annular Flow Due to Rotation of Inner Finned Pipe." *International Journal of Thermal Sciences* 134(May): 653–60. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci>
- Zhao, Y. et al. 2017. "Experimental Study on the Thermal Performance of Loop Heat Pipe for the Aircraft Anti-Icing System." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 111: 795–803. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.04.009>.