

STUDI EKSPERIMENTAL *HEAT TRANSFER* PADA *HEAT EXCHANGER* DENGAN TIPE *HELICAL COIL TUBE* GUNA MENURUNKAN TEMPERATUR OLI HIDROLIK

¹Muhammad Tri Anjas Aji Lumintar, ²Farid Jayadi, ³Gaguk Marausna

Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta

Abstrak

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan suatu kejadian yang mengakibatkan terjadinya perubahan suatu parameter seperti yang terjadi pada fluida. Dengan demikian, perlunya alat pengendalian yang mampu mengoptimalkan temperatur fluida yaitu dengan alat penukar kalor. *Heat exchanger* salah satu alat penukar kalor yang digunakan untuk merubah keadaan temperatur antara dua fluida yang berbeda dalam satu shell. Pengujian dilakukan memvariasikan geometri berbentuk *helical coil tube* dengan masing-masing diameter yang berbeda, bertujuan untuk mengetahui beberapa faktor diantaranya pengaruh koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh (U_o), efektivitas (ϵ), dan *pressure drop* (ΔP). Penelitian ini merupakan salah satu pembelajaran eksperimental dengan membuat prototype yang merekayasa lintasanaktif oli hidrolik. Ukuran tube di antaranya $\frac{3}{8}$ inchi, $\frac{5}{16}$ inchi, dan $\frac{1}{4}$ inchi dimana memiliki 7 lengkung *helical* serta memvariasikan putaran pompa oli 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm, dan 1200 rpm dengan variasi waktu 25 s, 50 s, 75 s, sehingga menciptakan terjadinya suatu aliran dan memaksimalkan proses pelepasan kalor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan memvariasikan geometri *helical coil tube* dan putaran pompa (*Rpm*) mengakibatkan perubahan parameter salah satunya menciptakan aliran laminar dan perubahan temperatur. Pemanfaatan fuel dengan mensimulasikan *pertamax* sebagai media pendingin sehingga pelepasan kalor bertemperatur tinggi mampu dikendalikan dengan baik. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa, pada pengujian dengan memvariasikan geometri *helical coil tube* dan kecepatan putaran pompa oli dapat mempengaruhi nilai koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh (U_o) rata-rata tertinggi dengan nilai 859.32, efektivitas (ϵ) rata-rata tertinggi dengan nilai 35.00, dan *pressure drop* (ΔP) rata-rata tertinggi dengan nilai 282.214,96 pada *heat exchanger*.

Kata kunci : *heat transfer, heat exchanger, helical coil tube, fuel*

Abstract

*Heat Transfer is an incident that resulted in changes to the paramerters as that occur fluid. So, the need for a device that can optimize fluid temperature that namely Heat Exchanger. Heat Exchanger is one of the Heat Exchanger that is used to change the temperature between two different fluids in one shell. Testing performed with the Helical Coil Tube shaped geometry with each different diameters, intended to know several factors of including the influence of the transfer inefficiency if it throughly (U_o), effectiveness, and pressure drop. This research is one experimental learning with making a protoype that engineered the active trajectory of the hydraulic. Size of Tube between $\frac{3}{8}$ inchi, $\frac{5}{16}$ inchi, and $\frac{1}{4}$ inchi where has a 7 arch Helical as well as a pumping round of oil 600 rpm. 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm with a variation of time 25 s, 50 s, 75 s, so that it creates a flow and maximize the process of release heat extrication. The test results showed that with some of the Helical Coil Tube and a pumping loop (*Rpm*) resulting in the changes of one of which creates laminar flow and temperature change. Utilization by fueling *pertamax* as a cooling media that the release process if heat extrication high temperature capable of optimizing properly. Then from it can be concluded that in the testing with travising the geometry ofhelical coil tube and speed round the pump oliving value can affect the value of the coefficient if it is inefficiency throughly (U_o) highest average by value 859.32 , effectiveness (ϵ) highest average by value 35.00 , and pressure drop (ΔP) highestaverage by value 282.214,96 in heat exchanger*

Keywords : *heat transfer, heat exchanger, helical coil tube, fuel*

Pendahuluan

Pesawat udara merupakan sarana transportasi di era modern yang memiliki kemampuan untuk menenpuh jarak dengan waktu yang cukup singkat, nyaman, serta tingkat keamanan yang tinggi.

¹Email Address : anjasaji75@gmail.com

Received 1 Juni 2021, Available Online 30 Juli 2021

Pada pesawat udara memiliki berbagai sistem pendukung dalam kinerjanya salah satunya pada sistem hidrolik. Sistem hidrolik merupakan salah satu sistem pada pesawat udara yang digunakan sebagai mode pendukung untuk menggerakkan beberapa komponen seperti *landing gear*, *flap*, *slat*, *elevator*, *aileron*, *rudder*, *nose wheel steering*, dan *spoiler*.

Sistem hidrolik bekerja dengan mengubah dan mengendalikan energi pada oli ketika mengalir dari satu komponen ke komponen lain. Ketika temperatur oli hidrolik tidak dapat diturunkan dengan maksimal, maka dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada komponen-komponen hidrolik seperti *shell* dan *hose*. Kejadian ini perlunya suatu alat untuk mengoptimalkan temperatur sehingga oli hidrolik mampu disirkulasikan dengan baik salah satunya yang terdapat pada pesawat jenis Boeing 737-500.

Sistem hidrolik pada pesawat ini terdapat komponen atau *device oil cooler* yang berfungsi untuk menurunkan temperatur oli hidrolik. *Oil cooler* merupakan salah satu alat penukar kalor atau biasa disebut *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida yang memiliki temperatur berbeda tanpa terjadinya pencampuran antara fluida yang satu dengan yang lain (Yunus A. Cengel, 2015). Salah satu fluida panas yang terdapat pada *reservoir oil tank* dan sebagai metode pendinginnya yaitu bahan bakar. Menurut Budiman (2014) *Heat exchanger* terdapat beberapa tipe diantaranya *double pipe heat exchanger*, *plate and frame heat exchanger*, *shell and tube heat exchanger*, *adiabatic wheel heat exchanger*, *pillow plate heat exchanger*, *dynamic scraped surface heat exchanger*, dan *phase-change heat exchanger*. Diantara jenis-jenis *heat exchanger*, *shell and tube* tipe *helical coil* adalah salah satu alat obyek penelitian. Dengan mensimulasikan jenis *helical coil tube* yang terpasang pada *fuel tank* pesawat yaitu untuk menurunkan temperatur yang semula tinggi menjadi berkurang sehingga menjadikan temperatur tetap optimal.

Landasan Teori

Heat Transfer

Pada dasarnya, perpindahan panas merupakan ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas di antara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin). Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada sistem yang memiliki temperatur sama. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor (Luqman B, 2011). Menurut Robert (2014) ada tiga proses perpindahan panas yang berbeda diantaranya konduksi, konveksi, dan radiasi.

a. Perpindahan kalor radiasi

Perpindahan kalor secara radiasi merupakan perpindahan yang terjadi karena pancaran/sinar/radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan kalor radiasi berlangsung dengan panjang gelombang interval tertentu (Robert W, 2014).

b. Perpindahan kalor konveksi

Menurut Luqman B, (2011) perpindahan kalor merupakan pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan dimana proses konveksi terjadi dengan media pengantar berupa fluida (cairan/gas). Aliran yang berputar meningkatkan laju perpindahan panas dengan mengganggu lapisan batas termal dan meningkatkan pencampuran aliran pertukaran panas secara konveksi. Menurut Cengel (2015), perpindahan kalor konveksi terjadi melalui 2 (dua) cara yaitu :

- 1) Konveksi paksaan (*forced convection*)
- 2) Konveksi bebas (*free convection*)

c. Perpindahan kalor konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah proses perpindahan panas jika kalor mengalir dari temperatur yang suhunya tinggi ke tempat yang temperatur lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap (Luqman B, 2011).

Hydraulic Oil

Oli/cairan hidrolis merupakan suatu fluida cair sebagai media transfer energi yang berguna dalam mensirkulasikan ke berbagai komponen-komponen yang ada dalam pesawat terbang. Pada prinsipnya suatu cairan tekan dalam instalasi hidrolis harus memiliki beberapa penting diantaranya, *transmiting power* (meneruskan tenaga), *sealing* (melumasi/melapisi), *cleaning* (membersihkan), *cooling* (pendingin) (Sinaga, 2015). Oli hidrolis pada dasarnya memiliki 3 (tiga) sifat dan proses penjabaran perhitungannya antara lain :

- a. Kerapatan (*density*)
- b. Tekanan (*pressure*)
- c. Kekentalan (*viscosity*)

Heat Exchanger

Heat exchanger merupakan alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida, proses tersebut terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida bertemperatur tinggi menuju fluida bertemperatur rendah (Jajat S, 2017).

Reynold number

Menurut Dhimas Huda (2012) *reynolds number* didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya inersia dengan gaya kekentalan di dalam lapis batas kecepatan untuk kontrol volume yang berbeda pada lapis batas ini dalam menentukan sebuah aliran. Terlihat Persamaan (1) salah satu perhitungan Reynold number dalam penelitian.

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (1)$$

Bilangan Dean dalam tube (De_i)

Menurut Hoque (2013) bilangan Dean merupakan parameter yang melibatkan rasio kelengkungan yang merupakan ciri aliran sekunder yang timbul karena aliran melewati saluran lengkung. Munculnya aliran sekunder diakibatkan karena ketidakseimbangan antara gaya sentrifugal dengan tekanan saat fluida mengenai dinding sisi luar, sehingga menimbulkan suatu efek aliran fluida. Terlihat pada Persamaan (2) salah satu penjabaran perhitungan bilangan dean dalam *tube*.

$$De_i = Re_i \left(\frac{dt}{D_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Bilangan Nusselt dalam tube (Nu_i)

Menurut Cangel (2015), bilangan Nusselt adalah rasio resistansi termal konduksi terhadap resistansi termal konveksi dari fluida. Terlihat pada Persamaan (3) salah satu penjabaran dalam menentukan bilangan nusselt dalam *tube* sebagai berikut:

$$Nu = 3,66 \frac{0,065 \left(\frac{D}{L} \right) Re}{1 + 0,04 \left(\left(\frac{D}{L} \right) Re Pr \right)} \quad (3)$$

Koefisien perpindahan kalor permukaan dalam *tube* (h_i)

Menurut Cengel (2015) nilai perpindahan aliran panas dalam *tube* yang terjadi antara koefisien gesekan dengan dinding *tube*. Terlihat pada Persamaan (4) penjabaran dalam menentukan nilai dari koefisien perpindahan kalor permukaan dalam tube sebagai berikut:

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

Beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD)

Menurut Cengel (2015), temperatur fluida sisi *shell* dan *tube* sudah diketahui maka dapat ditentukan nilai dari LMTD, berdasarkan selisih temperatur dari fluida yang masuk dan keluar dari alat penukar kalor. Terlihat pada Persamaan (5) penjabaran persamaan dalam menentukan nilai LMTD antara lain sebagai berikut:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (5)$$

Persamaan arah aliran fluida searah (*parallel flow*) dimana :

$$\Delta T_1 = T_{(h, in)} - T_{(c, in)} \quad (6)$$

$$\Delta T_2 = T_{(h, out)} - T_{(c, out)} \quad (7)$$

Perpindahan kalor (Q)

Laju perpindahan kalor yang dilepaskan fluida panas (zat cair) dalam selongsong (*shell*) menurut Cengel (2015) pada Persamaan (8), (9), dan (10) merupakan penjabaran dalam mencari nilai Q diantaranya:

$$Q_h = C_h (T_{h, in} - T_{h, out}) \quad (8)$$

$$C_h = m_h c p_h \quad (9)$$

$$m = \rho V \quad (10)$$

Perpindahan kalor maksimal (Qmax)

Menurut Cengel (2015), perpindahan kalor maksimal yang dapat ditransfer dari fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah. Terlihat pada Persamaan (11) penjabaran persamaan dalam mencari nilai perpindahan kalor maksimal (Q) antara lain:

$$Q_{max} = C_{\min} (T_{h, in} - T_{c, in}) \quad (11)$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (Uo)

Menurut Cengel (2015), nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh yang merupakan resisten atau tahanan. Pada Persamaan (12) salah satu penjabaran persamaan dalam mencari nilai koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh (U_o) sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (12)$$

Kalor permukaan (Qs)

Menurut Cengel (2015), kalor yang ditransfer melalui dinding tube. Terlihat pada Persamaan (13) dan Persamaan (14) salah satu penjabaran persamaan dalam mencari nilai kalor permukaan sebagai berikut:

$$Q_s = U A_s \Delta T_{lm} \quad (13)$$

$$A_s = 3,14 D.L \quad (14)$$

a. Metode NTU (*Number of Transfer Unit*)

Menurut Cangel (2015), parameter yang menunjukkan tentang ukuran dari suatu alat penukar kalor adalah NTU (*number of transfer units*). Terlihat pada Persamaan (15) merupakan penjabaran dalam menentukan persamaan nilai NTU antara lain:

$$NTU = U_0 A_s C_c \quad (15)$$

b. Efektivitas alat penukar kalor (ϵ)

Menurut Cangel (2003), analisis akan lebih mudah dilakukan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efektivitas penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu. Terlihat pada Persamaan (16) salah satu penjabaran persamaan dalam menentukan nilai efektivitas alat penukar kalor antara lain:

$$s = 100\% \left(\frac{Q}{Q_{max}} \right) \quad (16)$$

c. Faktor gesekan (f)

Menurut Cangel (2015) faktor gesekan (*friction factor*) salah satu faktor utama dalam membantu proses pembentukan suatu aliran pada sisi *tube*. Terlihat pada Persamaan (17) merupakan penjabaran persamaan dalam menentukan nilai dari faktor gesekan (*friction factor*) antara lain:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (17)$$

d. Penurunan tekanan (ΔP)

Menurut Cangel (2015), *pressure drop* atau penurunan tekanan yang terjadi pada tube karena faktor gesekan yang terjadi pada aliran. Terlihat pada Persamaan (18) merupakan salah satu penjabaran persamaan dalam menentukan penurunan tekanan (*pressure drop*) antara lain:

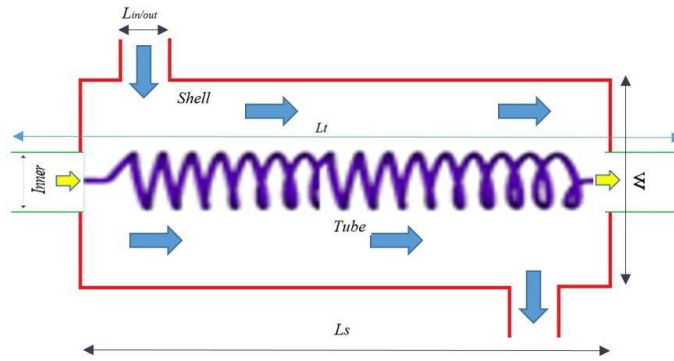
$$\Delta P = f \left(\frac{1}{D} \right) \left(\frac{\rho V}{2} \right) \quad (18)$$

Helical Coil Tube

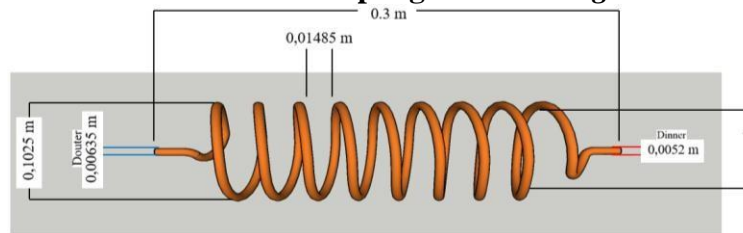
Helical coil tube merupakan suatu pipa tembaga yang berbentuk lengkungan melingkar (*spiral*) dimana diantara lingkaran satu dengan yang lainnya memiliki jarak tertentu (*pitch*) (Iskandarsyah, 2016). Memiliki banyak lengkungan serta mempersingkat panjang *tube* dinilai lebih efisien sehingga ketika proses pelepasan kalor mampu meningkatkan nilai efektivitas, hal ini dikarenakan ketika fluida mengalir dalam lintasan pipa yang berbentuk spiral menciptakan gaya sentrifugal.

Metode Penelitian

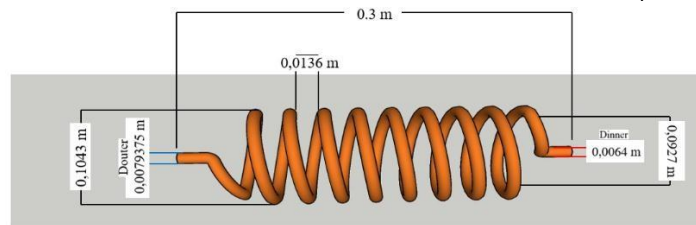
Dalam penelitian ini menggunakan metode *experimental* dengan membuat prototype dengan mensimulasikan metode *heat exchanger* sebagai penukar kalor tipe *helical coil* dengan variasi diameter *coil*. Penggunaan *shell* yang berbahan dasar plat dari aluminium dengan tebal 1mm dan *tube* yang berbahan dasar tembaga membuat proses pelepasan kalor lebih baik, mensimulasikan *fuel* (pertamax) sebagai pendingin yang berada di dalam *shell* sesuai yang terdapat pada Skema 1. Terlihat pada Skema 2, Skema 3, dan Skema 4 bentuk geometri *helical coil tube* yang digunakan dalam penelitian, penyajian karakteristik geometri *helical coil tube* serta *heat exchanger* akan disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 antara lain sebagai berikut.



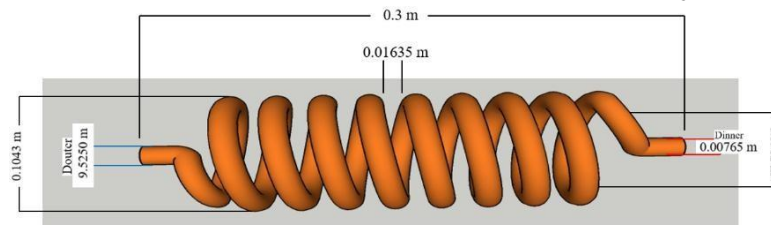
Skema 1. Penampang heat exchanger



Skema 2. Geometri helical coil tube 1/4



Skema 3. Geometri helical coil tube 5/16



Skema 4. Geometri helical coil tube 3/8

Tabel 1. Karakteristik geometri helical coil

Diameter (in)	L.Tube (m)	L. Hl (m)	L. hl (Nt)	Pitch h (m)	Dinner (m)	Douter (m)	At (m ²)	Dc.in (m)	Dc.out (m)	Dc/Dt
1/4	2,30	0,3	7	1,48	5,20	6,35	2,12	9,39	1,02	18,06
5/16	2,30	0,3	7	1,36	6,40	7,93	3,21	9,27	1,04	14,48
3/8	2,30	0,3	7	1,63	7,65	9,52	4,59	9,12	1,10	11,92

Tabel 2. Karakteristik heat exchanger

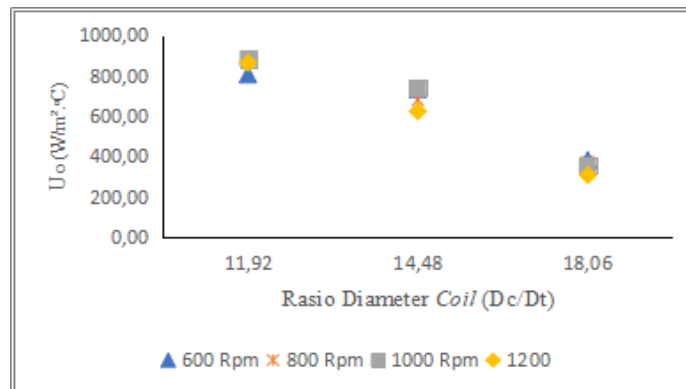
Geometri Shell	Lt (m)	Ls (m)	Lin/out (m)	w (m)	h (m)	Inner
	0,45	0,35	9,52	1,45	1,20	7,65

Hasil Dan Pembahasan

Hasil penelitian merupakan hasil yang telah diperoleh dari pengolahan data-data pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Pengolahan data penelitian diantaranya menggunakan persamaan-persamaan seperti yang sebelumnya telah dijabarkan pada landasan teori penelitian ini dan hasil perhitungan dari penelitian.

Pengaruh Geometri *Helical Coil* Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Secara Menyeluruh (U_o)

Koefisien perpindahan menyeluruh (U_o) salah satu nilai koefisien perpindahan kalor melalui sisi *tube* yang berlangsung di dalam *shell*. Persinggungan ini mengakibatkan adanya perbedaan nilai tiap *tube*, berikut ini penyajian akan ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 5. Grafik pengaruh geometri diameter coil (D_c/D_t) terhadap perpindahan kalor menyeluruh (U_o)

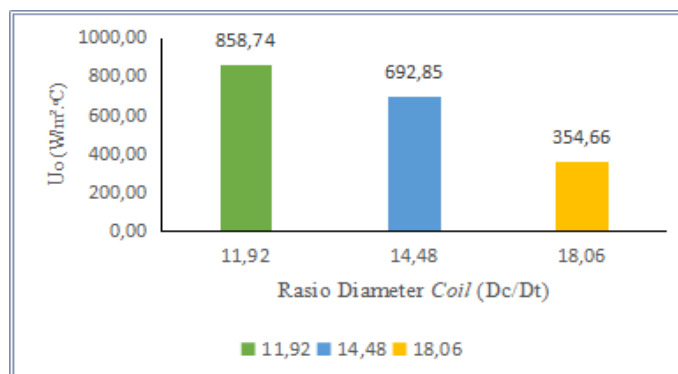
Keterangan :

D_c/D_t 11,92 = 3/8 inchi

D_c/D_t 14,48 = 5/16 inchi

D_c/D_t 18,06 = 1/4 inchi

Pada Gambar 5. Menunjukkan bahwa terlihat pada grafik, ketika peningkatan rasio diameter coil (D_c/D_t) terjadi penurunan terhadap nilai perpindahan kalor menyeluruh (U_o). Peningkatan nilai terbesar pada rasio diameter coil (D_c/D_t) 14,92 pada variasi putaran 800 rpm dengan nilai 888,76 sedangkan nilai terkecil terjadi pada rasio (D_c/D_t) 18,06 pada variasi putaran 1200 rpm. Terlihat pada Gambar 5. Salah satu bentuk pemaparan nilai rata-rata perpindahan kalor secara menyeluruh.



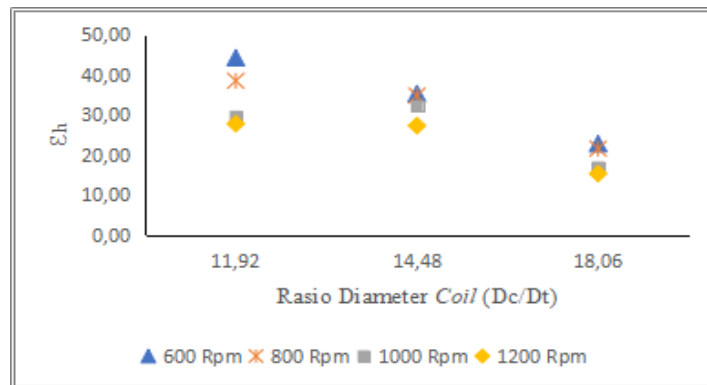
Gambar 6. Diagram batang rata-rata pengaruh geometri terhadap koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U_o)

Pada Gambar 6. Menunjukkan bahwa semakin meningkat rasio diameter coil (D_c/D_t) terjadi

penurunan secara signifikan koefisien perpindahan kalor menyeluruh. Namun, pada rasio diameter *coil* (D_c/D_t) 11,92 mengalami tingkatan yang cukup tinggi dengan nilai rata-rata sebesar 858,74. Dengan demikian nilai terbaik dalam koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh yaitu rasio (D_c/D_t) 11,92 karena memiliki luas diameter bidang sentuh yang cukup besar dalam proses pelepasan kalor secara keseluruhan.

Pengaruh Geometri *Helical Coil* Terhadap Efektivitas Penukar Kalor

Dengan penggunaan metode ini, penjabaran dalam menganalisa data memudahkan untuk mengetahui tingkat efektivitas penukar kalor dalam jumlah tertentu. Metode ini juga mampu membandingkan nilai efektivitas paling efisien dalam penukaran kalor. Penyajian grafik pada Gambar 7 dan nilai rata-rata akan ditampilkan Gambar 8 antara lain sebagai berikut.



Gambar 7. Grafik pengaruh geometri diameter *coil* (D_c/D_t) terhadap efektivitas penukar kalor (ϵ)

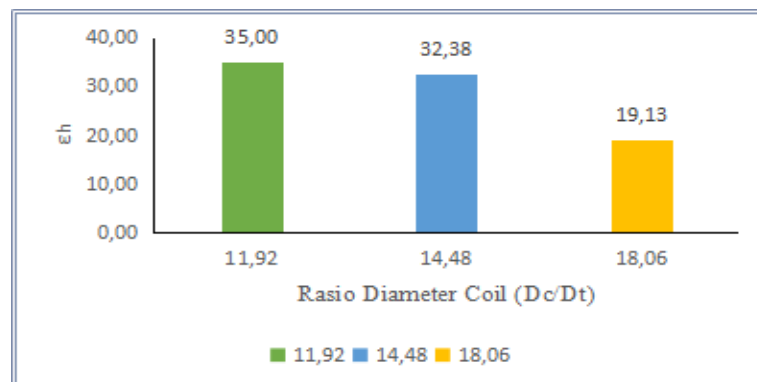
Keterangan :

D_c/D_t 11,92 = 3/8 inchi

D_c/D_t 14,48 = 5/16 inchi

D_c/D_t 18,06 = 1/4 inchi

Pada Gambar 7. Menunjukkan bahwa ketika peningkatan rasio diameter *coil* (D_c/D_t) terjadi penurunan terhadap nilai efektivitas penukar kalor (ϵ). Peningkatan nilai terbesar pada rasio diameter *coil* (D_c/D_t) 11,92 pada variasi putaran 600 rpm dengan nilai 44,21 sedangkan nilai terkecil terjadi pada rasio (D_c/D_t) 18,06 pada variasi putaran pompa 1200 rpm dengan perubahan 0,83%. Terlihat pada Gambar 8. Salah satu bentuk diagram pemaparan nilai rata-rata efektivitas penukar kalor.



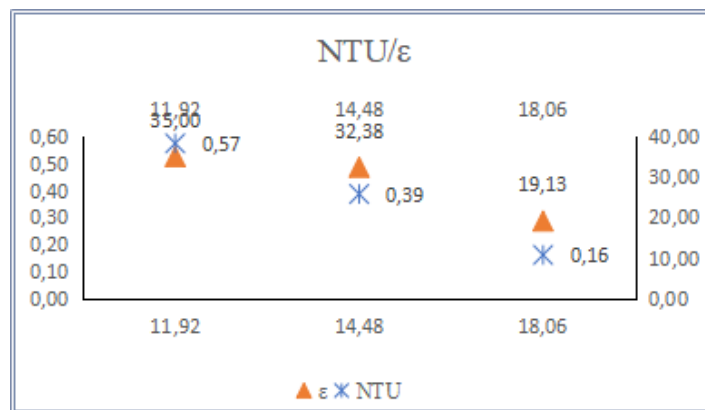
Gambar 8. Diagram batang rata-rata pengaruh geometri terhadap efektivitas penukar kalor (ϵ)

Pada Gambar 8. Menunjukkan bahwa semakin meningkatnya rasio diameter *coil* (D_c/D_t) maka

semakin menurun nilai efektif dari alat penukar kalor tersebut ketika proses pertukaran kalor berlangsung. Penurunan nilai efektivitas diakibatkan karena luas penampang dari *tube* semakin kecil sehingga tingkat efektivitas dalam melepas kalor kurang sempurna. Variasi putaran pompa oli juga sangat berpengaruh karena dengan meningkatkan kecepatan putaran nilai efektivitas semakin menurun.

Korelasi *Helical Coil Tube* Terhadap NTU Dengan Efektivitas (ϵ)

Pada *heat exchanger* perlunya mencari hubungan atau korelasi perbandingan data antara *Number Transfer of Unit* (NTU) dengan efektivitas dengan harapan menemukan nilai terbaik untuk menentukan parameter yang tepat dalam proses pelepasan kalor. Terlihat pada Gambar 9. Salah satu bentuk Grafik hubungan variasi geometri *helical coil* terhadap *Number Transfer of Unit* dengan efektivitas.



Gambar 9. Grafik hubungan variasi geometri *helical coil* terhadap *Number Transfer of Unit* dengan efektivitas

Keterangan :

Dc/Dt 11,92 = 3/8 inchi

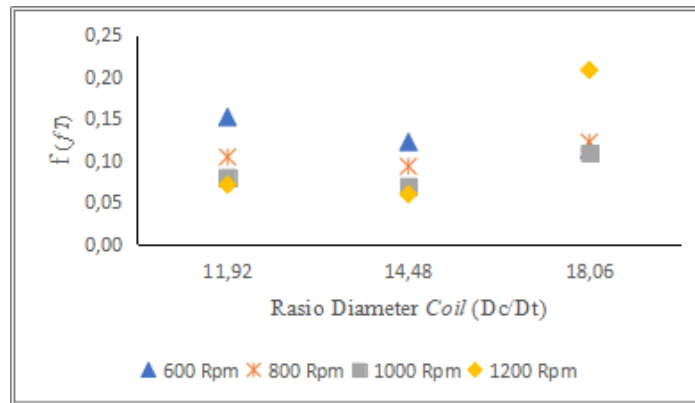
Dc/Dt 14,48 = 5/16 inchi

Dc/Dt 18,06 = 1/4 inchi

Gambar 9. menunjukkan bahwa nilai rata-rata terbesar terdapat pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 11,92 dimana *Number Transfer of Unit* (NTU) dengan nilai 0,59 dan efektivitas (ϵ) dengan nilai 38,46. Dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya rasio diameter dan putaran pompa oli membuat tingkat efektivitas di dalam penampang *heat exchanger* menurun, hal ini diakibatkan karena perbedaan temperatur antara geometri *helical coil* dengan temperatur di dalam *shell* tidak sebanding sehingga proses penyerapan kalor sangat rendah.

Pengaruh Geometri *Helical Coil* Terhadap *Pressure Drop*

Pada saat *heat exchanger* mulai dioperasikan, fluida mengalir melintasi *tube* yang berbentuk *helical coil* sehingga memungkinkan terjadinya aliran laminar yang diakibatkan oleh gaya sentrifugal dimana aliran ini meningkatkan laju perpindahan kalor. Tingginya kecepatan laju fluida serta banyaknya lengkungan mengakibatkan kehilangan energi sehingga perubahan suhu tidak konstan.



Gambar 10. Grafik pengaruh geometri diameter coil (Dc/Dt) terhadap pressure drop (ΔP)

Keterangan :

Dc/Dt 11,92 = 3/8 inchi

Dc/Dt 14,48 = 5/16 inchi

Dc/Dt 18,06 = 1/4 inchi

Pada Gambar 10. Menunjukkan bahwa dengan bertambahnya rasio diameter *tube* mengakibatkan terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 18,06 dengan nilai 556038 pada variasi putaran 1200 rpm sedangkan nilai terkecil terjadi pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) 11,92 dengan perubahan 0,73%. Terlihat pada Gambar 4.18 salah satu bentuk diagram pemaparan nilai rata-rata *pressure drop*.

Kesimpulan

Pengaruh geometri pada rasio diameter *coil* (Dc/Dt) mengakibatkan perubahan parameter antara lain terciptanya aliran laminar serta perubahan temperatur. Nilai terbaik koefisien perpindahan kalor secara menyeluruh (U_o) terdapat pada rasio diameter (Dc/Dt) 11,92 dengan nilai rata-rata sebesar 859,32. Kondisi ini menunjukkan bahwa luas penampang tube sangat efisien dalam proses pelepasan kalor secara menyeluruh, namun apabila meningkatkan variasi rasio diameter hanya akan menurunkan nilai dari (U_o). Pada *heat exchanger* terdapat persamaan yang menyatakan bahwa nilai efektivitas (ϵ) yang paling tinggi dalam melepaskan kalor yaitu terdapat pada rasio diameter *coil* Dc/Dt 11,92 dengan nilai rata-rata sebesar 35,00. Hal ini dikarenakan luas permukaan bidang sentuh yang dimiliki pipa tersebut lebih besar dibandingkan dengan *tube* $5/16$ dan $1/4$, sehingga tingkat efektivitas dalam penyerapan kalor lebih baik dan kompleks. Perubahan rasio diameter *tube*, tingginya *friction*, dan meningkatnya kecepatan putaran pompa oli sangat berpengaruh terjadinya *pressure drop* (ΔP), peningkatan tertinggi terdapat pada rasio diameter (Dc/Dt) 18,06 dengan nilai rata-rata sebesar 282.214,96. Terjadinya *pressure drop* juga diakibatkan karena sedikit termampatnya *tube* akibat perubahan luas permukaan *tube* atau pembelokan aliran secara tiba-tiba sehingga aliran yang terjadi tidak konstan dan cenderung menurunkan kecepatan laju fluida dalam *tube*.

Daftar Notasi dan Simbol Notasi

Qh	= kalor yang dilepaskan fluida panas (W)
Thi	= temperatur fluida buang masuk shell (°C)
Tho	= temperatur fluida buang keluar shell (°C)
Qc	= kalor yang dilepaskan fluida dingin (W)
$m \cdot c$	= laju aliran massa bahan bakar (kg/s)
Cpc	= kalor jenis bahan bakar (J/kg °C)

T_{ci}	= temperatur fluida masuk tube ($^{\circ}\text{C}$)
T_{co}	= temperatur fluida buang keluar tube ($^{\circ}\text{C}$)
h_{hot}	= koefisien perpindahan kalor permukaan dalam tube ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)
k	= koefisien perpindahan kalor konduksi dinding ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)
A_s	= surface area (m^2)
A_t	= luas permukaan tube (m^2)
d_t	= diameter tube (m)
$L_{t\text{ pass}}$	= panjang lintasan heater (m)
L_t	= Panjang pipa tube (m)
L_{th}	= panjang helical (m)
T_{hi}	= temperatur inlet heater ($^{\circ}\text{C}$)
T_{ho}	= temperatur outlet heater ($^{\circ}\text{C}$)
C_p	= specific heat ($\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)
V_g	= kecepatan aliran fluida panas (m/s)
K	= koefisien perpindahan kalor konduksi dinding/thermal conductivity ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)
\dot{m}	= laju aliran massa fluida (kg/s)
Q	= daya (W)
h_i	= koefisien perpindahan kalor permukaan di dalam tube ($\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)
ΔP	= penurunan tekanan / pressure drop (Pa)
ε	= efektivitas alat penukar kalor (%)
ρ	= density fluida (kg/m^3)
ν_h	= viskositas kinematik fluida panas (m^2/s)
μ_h	= viskositas dinamik fluida panas ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)

Bilangan Tak Berdimensi

N_{uh}	= bilangan Nusselt di luar <i>tube</i>
Re_h	= bilangan Reynolds di luar <i>tube</i>
Pr	= bilangan Prandtl di luar <i>tube</i>
P/d_t	= rasio pitch diameter
P	= pitch
n_h	= banyak helical
Re_i	= bilangan Reynold di dalam tube
Pr_i	= bilangan Prandtl di dalam tube
f	= faktor gesekan/ friction factor
N_{ui}	= bilangan Nusselt di dalam tube

Subscript

t	= tube
h	= kondisi pada aliran panas
i	= kondisi masuk
o	= kondisi keluar
i	= internal
e	= external
v	= volume fluida
m	= massa fluida
ρ	= kerapatan fluida
P	= tekanan
F	= gaya

A	= luas penampang
μ	= viskositas dinamik
r	= tegangan geser
du/dy	= gradien kecepatan

Daftar Pustaka

- Buchori, L. (2011). *Heat Transfer : Exercises Heat Transfer : Exercises*. LuqmanBuchori, ST, MT.
- Budiman, A., Syarief, A., & Isworo, H. (2014). Analisis Perpindahan Panas dan Efisiensi Efektif High Pressure Heater(HPH) di PLTU Asam-Asam. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, 03(2), 76–82.
- Dhimas Huda. (2012). *Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Anular*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin UNS, 19–144.
- Hoque, M. M., & Alam, M. M. (2013). Effects of Dean Number and curvature on fluid flow through a curved pipe withmagnetic field. *Procedia Engineering*.
- Iskandarsyah, F., Tasri, A., & Pratama, R. (2016). Studi Eksperimental Pengaruh Bilangan Reynold dan Fraksi Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi pada Pipa Coil. *Jurnal Surya Teknik*, 2(04), 43–48.
- Jajat Sudrajat. (2017). Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell And Tube Pada Sistem COG Booster di Integrated Steel Milk Krakatau. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(3), 174–181.
- Robert W. Serth. (2014). *Process Heat Transfer. Principles, Applications and Rules of Thumb*, 978-0-12-397195-1.
- Sinaga, R. D. (2015). Analisa Penurunan Kualitas Oli Terhadap Pengaruh Jarak Tempuh Operasional Mesin MenggunakanMinyak Pelumas Nabati Dengan dan Tanpa Penambahan Zat Aditif. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15-27.
- Yunus A. Cengel. (2015a). *Fluid Mechanics. Fundamentals and Applications*, 956.
- Yunus A. Cengel. (2015b). *Heat and Mass Transfer. Fundamentals and Applications — 4th Ed.*, 1051.