

EVALUASI UNJUK KERJA ALAT PENUKAR KALOR JENIS CONCENTRIC DENGAN VARIASI KECEPATAN ALIRAN FLUIDA KERJA

Andra Nugraha, Asnawi*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Bukit Indah, Lhokseumawe, 24352, Indonesia

*Corresponding Author: asnawi@unimal.ac.id

Abstract – Heat transfer is a science of heat transfer energy that is indispensable for analyzing the heat transfer process. One type of heat exchanger that is widely used is the Concentric heat exchanger. From the explanation of the theory that the influence of increasing the flow velocity of the cold fluid will affect the increase in the value of the performance of the heat exchanger. Therefore, this influence will provide an increase in heat transfer performance, especially at the heat transfer rate, (Q), heat transfer coefficient (U), and also heat transfer effectiveness (ϵ). By increasing the variation in the flow velocity of cold fluid by setting the temperature of the hot fluid (T_{hi}) at 45°C and the temperature of the cold fluid (T_{ci}) at 27°C and also made constant up to the highest velocity variation in the cold fluid. From the most minimum performance value at a cold fluid flow rate of 0.067 m/s to 0.134 m/s in the concentric heat exchanger type, performance values were obtained including the heat transfer rate (Q) from 714.09 Watts to 1111.51 Watts on the heat side and 619.89 Watts to 901.83 Watts on the cold side, for the heat transfer coefficient (U) a value of 337.90 W / m² was obtained. C to 405.38 W/m². C , and for the effectiveness (ϵ) which was originally 29% to 43%.

Abstrak – Perpindahan kalor adalah suatu ilmu perpindahan energi kalor yang sangat diperlukan untuk menganalisis proses perpindahan kalor. Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang banyak dipakai adalah Concentric heat exchanger. Dari penjelasan teori bahwa pengaruh dari peningkatan kecepatan aliran fluida dingin akan mempengaruhi peningkatan nilai dari unjuk kerja alat penukar panas tersebut. Oleh karena itu pengaruh tersebut akan memberikan peningkatan unjuk kerja perpindahan panas terutama pada laju perpindahan panas, (Q), koefisien perpindahan panas (U), dan juga efektivitas perpindahan panas (ϵ). Dengan cara meningkatkan variasi kecepatan aliran fluida dingin dengan penetapan temperatur fluida panas (T_{hi}) pada suhu 45°C dan temperatur fluida dingin (T_{ci}) 27°C dan juga dibuat konstan hingga pada variasi kecepatan tertinggi pada fluida dingin. Dari nilai unjuk kerja yang paling minimum pada kecepatan aliran fluida dingin 0.067 m/s hingga 0.134 m/s pada tipe concentric heat exchanger didapatkan nilai unjuk kerja diantaranya laju perpindahan panas (Q) dari 714.09 Watt hingga 1111.51 Watt pada sisi panas dan 619.89 Watt hingga 901.83 Watt pada sisi dingin, untuk koefisien perpindahan panas (U) didapatkan nilai 337.90 W/m².C hingga 405.38 W/m².C , dan untuk efektivitas (ϵ) yang awalnya 29% hingga 43%

Keywords: *Heat Transfer, shell and tube heat exchanger, cold fluids, flow rate.*

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan industri perpindahan panas merupakan salah satu faktor utama dalam proses kerjanya, karena semua mesin yang bekerja didalam industri rata-rata bekerja dalam temperatur tinggi [1]. Jika dalam suatu industri, penggunaan alat heat

exchanger dinilai sangat berpengaruh dan dibutuhkan, seperti pada industri pembangkit listrik, yang sangat berperan dalam memberikan peningkatan yang cukup signifikan terhadap sistem tersebut sehingga mampu mencapai efisiensi yang diharapkan [2].

Alat penukar panas atau dalam istilah bahasa Inggris

disebut 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 [3].

Menurut [4], double pipe heat exchanger (DPHE) adalah perangkat heat exchanger paling sederhana dimana panas berpindah dari fluida yang memiliki temperatur lebih tinggi ke fluida yang memiliki temperatur lebih rendah melalui dinding silinder pemisah. DPHE biasanya digunakan pada fluida yang memiliki temperatur tinggi dan bertekanan tinggi karena diameternya yang relatif lebih kecil [8]. Oleh karena itu perpindahan panas tidak hanya mencari penjelasan bagaimana energi panas tersebut dapat ditransfer, akan tetapi juga untuk memprediksi suatu tingkat di mana pertukaran tersebut dapat terjadi dalam kondisi yang tertentu [5].

Oleh karena itu alat penukar panas tersebut maka untuk mengetahui kualitasnya adalah dengan menghitung nilai efektivitasnya. Efektivitas perpindahan panas pada alat penukar panas diartikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas yang aktual yang terjadi berbanding dengan nilai laju perpindahan panas ideal atau laju perpindahan panas maksimal yang akan menjadi variasi untuk pengujian penelitian.

Perpindahan panas tidak hanya mencari penjelasan bagaimana energi panas tersebut dapat ditransfer, akan tetapi juga untuk memprediksi suatu tingkat di mana pertukaran tersebut dapat terjadi dalam kondisi yang tertentu [5]. Oleh karena itu ada banyak penyederhanaan dalam peninjauan dan juga perbaikan dalam prosesnya. Ada 3 jenis perpindahan panas yang dibedakan oleh tiga jenis :

1. Perpindahan panas konveksi.
2. Perpindahan panas konduksi.
3. Perpindahan panas radiasi.

Concentric atau *Double pipe heat exchanger* atau disingkat DPHE adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang paling sederhana, disebut DPHE karena satu fluida mengalir di dalam pipa dan fluida lainnya mengalir antara pipa yang mengelilingi pipa pertama. Arah aliran dalam DPHE dapat berupa arus searah (*parallel-flow*) atau arus berlawanan (*counter-flow*).



Gambar 1. Concentric heat exchanger

Concentric heat exchanger dapat digunakan untuk kondensor, economizer, pemrosesan kimia, pasteurisasi, pemanasan digester, pemanasan limbah, pemanasan ulang dan pemanasan awal. Keunggulan DPHE digunakan di industri skala kecil dan menengah adalah desainnya yang sederhana serta biaya perawatan yang rendah [6].

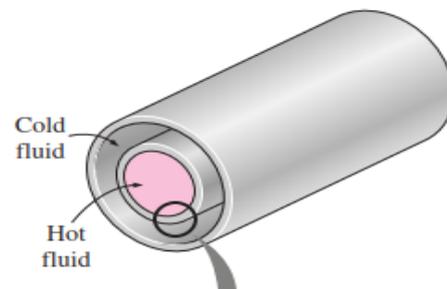
Menurut [7], terdapat bagian pada komponen yang mempengaruhi dari jenis alat penukar panas tersebut meliputi :

a. *Outer pipe*

Merupakan bagian pipa terluar DPHE pada sisi yang dialiri oleh fluida gas maupun cair.

b. *Inner pipe*

Bagian ini merupakan pipa dalam yang ada pada DPHE yang mana bagian ini akan dialiri oleh fluida gas maupun cair. Terlihat pada Gambar 2 ini.



Gambar 2. Double pipe heat exchanger (single pass) [7]

Adapun beberapa keunggulan dari *concentric heat exchanger* yaitu:

- a. Mempunyai layout mekanik yang sederhana dan bentuknya digunakan untuk operasi bertekanan.
- b. Konfigurasi yang dibuat mudah untuk diaplikasikan.
- c. Biaya pemasangan lebih rendah dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe tubular yang lain.
- d. Mudah dalam proses maintenance dikarenakan konstruksinya sederhana.

Perhitungan mengenai laju perpindahan panas diperlukan dalam menganalisa alat penukar panas. Menurut [7], untuk menentukan nilai laju perpindahan panas pada sisi fluida dingin (Q_{cold}) dapat dilihat pada persamaan 1 berikut ini:

$$Q_{cold} = m_{cold} \cdot C_{p,cold} \cdot (T_{cold,o} - T_{cold,i}) \quad (1)$$

Menurut [7], untuk menentukan nilai laju perpindahan panas pada sisi fluida panas (Q_{hot}) dapat dilihat pada persamaan 2 berikut ini:

$$Q_{hot} = m_{hot} \cdot C_{p,hot} \cdot (T_{hot,in} - T_{hot,out}) \quad (2)$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)
 C_p = Panas spesifik fluida (J/kg · °C)
 T_{in} = Temperatur fluida masuk (°C)
 T_{out} = Temperatur fluida keluar (°C)

Apabila nilai laju aliran masa dari suatu *heat exchanger* tidak di ketahui maka dapat di tentukan menggunakan persamaan :

$$\dot{m} = v \times \rho \times A_c \quad (3)$$

Dimana :

A_c = luas penampang pelat (m²)
 v = kecepatan fluida (m/s)
 ρ = densitas fluida (kg/m³)

Menurut [7], untuk menentukan nilai *Reynolds number* (Re) dapat dilihat pada beberapa persamaan berikut ini:

Untuk *Reynolds number* pada *inner pipe* menggunakan persamaan 4 berikut:

$$Re_i = \frac{v m_i \cdot D_h}{\mu} \quad (4)$$

Dimana :

Re_i = *Reynolds number* pada *inner pipe*
 $v m_i$ = Kecepatan aliran massa pada *inner pipe* ($\frac{m}{s}$)
 D_h = Diameter hidrolis (m)
 μ = Viskositas kinematik panas (kg/s·m)

Reynolds number pada *outer pipe* menggunakan persamaan 5 berikut:

$$Re_o = \frac{v m_o \cdot D_h}{\mu} \quad (5)$$

Dimana :

Re_o = *Reynolds number* pada *outer pipe*
 $v m_o$ = Kecepatan aliran massa pada *outer pipe* ($\frac{m}{s}$)
 D_h = Diameter hidrolis (m)
 μ = Viskositas kinematik dingin (kg/s·m)

Nusselt Number dalam aliran tabung halus sepenuhnya ialah aliran turbulen apabila ($Re > 10.000$). Menurut [7], maka dengan faktor gesekan melalui analogi dari *Chilton-Colburn* dapat dinyatakan menggunakan persamaan 6 sebagai berikut:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (6)$$

Dimana $n = 0,4$ untuk proses pemanasan (*heating*) dan $n = 0,3$ untuk proses pendinginan (*cooling*). Berikut persamaan 7 untuk menentukan nilai *nesselt number* pada sisi *inner pipe*

$$Nu_i = 0.023 \cdot Re_i^{0.8} \cdot Pr_i^{0.4} \quad (7)$$

Berikut persamaan 8 untuk menentukan nilai *nesselt number* pada sisi *outer pipe*

$$Nu_o = 0.683 \cdot Re_o^{0.466} \cdot Pr_o^{1/3} \quad (8)$$

Dimana :

Nu = *Nusselt number*
 Re = *Reynolds number*

Pr^n = *Pradtl number*

Menurut [7], untuk menentukan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) dapat dilihat pada persamaan 3 berikut ini:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (9)$$

Dimana :

U = Koefisien perpindahan panas keseluruhan ($\frac{Watt}{m^2 \cdot ^\circ C}$)
 h_i = Koefisien konveksi pada *inner pipe* ($\frac{Watt}{m^2 \cdot ^\circ C}$)
 h_o = Koefisien konveksi pada *outer pipe* ($\frac{Watt}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

Maka dari itu menurut [7], dapat ditemukan berdasarkan persamaan 10 dibawah ini:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (10)$$

Dimana :

ΔT_{lm} = Beda temperatur rata-rata logaritmik (°C)
 ΔT_1 = Selisih temperatur antara *Thot, in* – *Tcold, in* (°C)
 ΔT_2 = Selisih temperatur antara *Thot, out* – *Tcold, out* (°C)

Menurut [7], untuk menentukan suatu nilai laju dari kapasitas panas maksimal dapat dirumuskan dengan persamaan 11 sebagai berikut :

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

Dimana :

\dot{Q}_{max} = Laju perpindahan panas maksimal (kW)
 C_{min} = Laju kapasitas panas minimal (kW/ °C)
 $T_{h,in}$ = Temperatur fluida panas masuk (°C)
 $T_{c,in}$ = Temperatur fluida dingin masuk (°C)

Menurut [7], apabila $Ch < Cc$ maka dari itu dapat dirumuskan dengan persamaan 12 sebagai berikut:

$$Q_{act} = C_{min} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) \quad (12)$$

Dimana :

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (kW)
 C_{min} = Panas spesifik fluida
 T_{hout} = Temperatur keluar fluida panas (°C)
 T_{hin} = Temperatur masuk fluida panas (°C)

Menurut [7], untuk menentukan efektivitas dari *concentric* dengan persamaan 13 berikut:

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\% \quad (13)$$

Dimana :

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (kW)
 ε = Nilai efektivitas DPHE dan *shell and tube* %
 Q_{max} = Laju perpindahan panas maksimum (kW)

1.1. Tujuan Penulisan

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan aliran fluida dingin terhadap laju perpindahan panas (Q) pada *Concentric heat exchanger*.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran fluida dingin terhadap unjuk kerja *Concentric heat exchanger*.

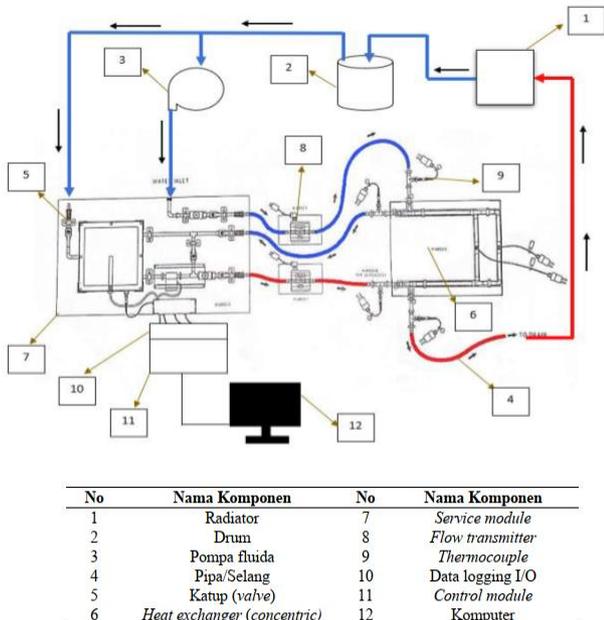
2. Metode Penelitian

Analisa data pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Metode eksperimen dapat di artikan sebagai metode sebab dan akibat, dimana penelitian dilakukan dengan mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap *output* yang dihasilkan dalam kondisi terkendali. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam Tabel untuk kemudian dilakukan analisa menggunakan persamaan-persamaan dalam menghitung evaluasi unjuk kerja *heat exchanger* sebagai berikut.

- a. Menghitung nilai laju perpindahan panas (Q) menggunakan persamaan 1 dan 2.
- b. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) menggunakan persamaan 9.
- c. Menentukan efektivitas alat penukar panas (ϵ) menggunakan persamaan 13.

2.1 Skematik Pengujian

Dapat dilihat pada Gambar 3 untuk skematik pengujian *concentric heat exchanger* berikut.



Gambar 3. Skematik pengujian *concentric heat exchanger*

1.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Material dan Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

1.3. Variabel Penelitian

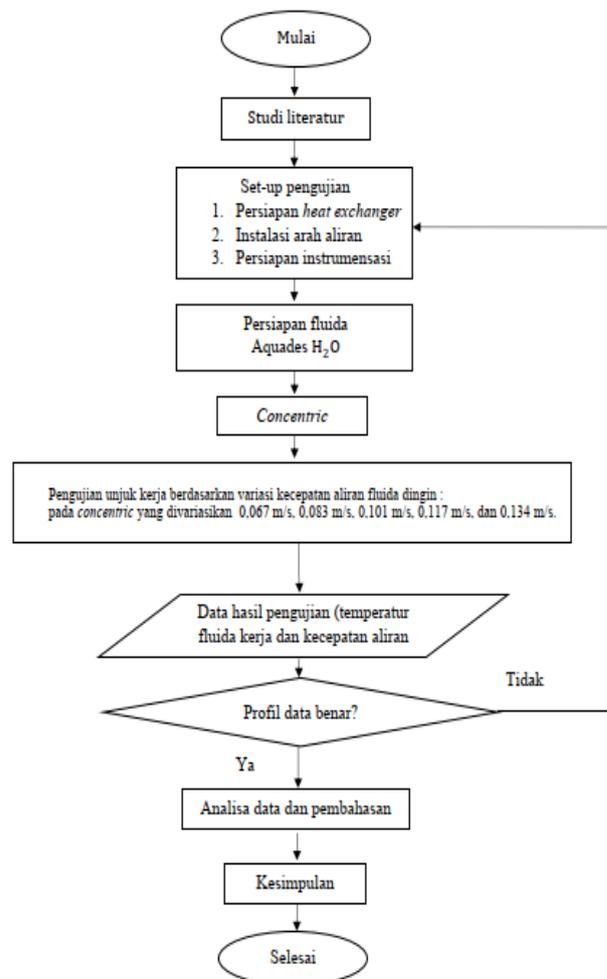
Pada penelitian ini terdapat 3 variabel yang diamati. Rinciannya ketiga variabel tersebut disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Table 1. Variabel Penelitian

No	Tipe Variabel	Variabel
1	Variabel Bebas	Kecepatan aliran fluida dingin <i>concentric</i> di variasikan 0,067 m/s, 0,083 m/s, 0,101 m/s, 0,117 m/s, dan 0,134 m/s.
2	Variabel Tetap	Temperatur fluida panas dan dingin konstan pada 27 °C dan 45 °C.
3	Variabel Terikat	a. laju perpindahan panas (Q). b. koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). c. efektivitas alat penukar panas (ϵ).

2.3 Digram Alir Penelitian

Dapat dilihat pada Gambar 4 berupa rangkaian tahapan dalam penyelesaian penelitian sebagai berikut.



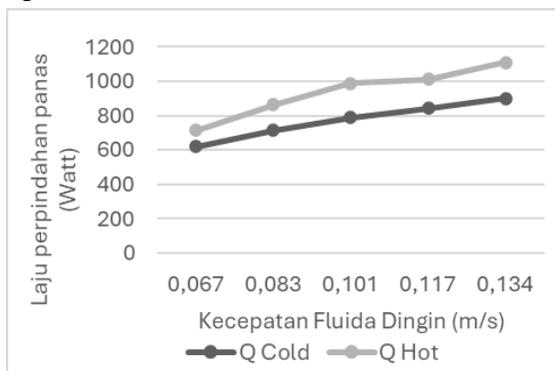
Gambar 4. Diagram alir penelitian

Maka dari itu digram alir pada Gambar 4 tersebut dapat menjadi pedoman dalam melaksanakan penelitian secara terstruktur dan memberikan arahan yang tepat.

3. Hasil dan Pembahasan

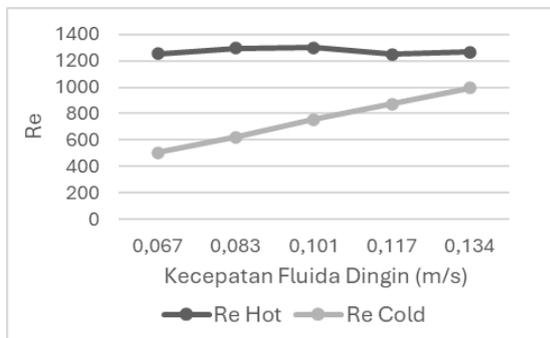
Dari data yang telah didapatkan serta menggunakan persamaan – persamaan yang ditetapkan maka Data-data pengujian di analisis yang hasilnya akan disajikan kedalam bentuk grafik hubungan unjuk kerja *concentric heat exchanger* dengan kecepatan aliran fluida sisi dingin yang di variasikan dengan cara ditingkatkan.

Dapat dilihat pada Gambar 5 yang menyatakan grafik perbedaan laju perpindahan panas pada *concentric* dengan variasi kecepatan aliran fluida dingin yang ditingkatkan.



Gambar 5. Grafik perbedaan laju perpindahan panas terhadap variasi kecepatan aliran fluida dingin

Pada Gambar 5 menjelaskan, apabila semakin besar perbedaan temperatur fluida akan semakin besar pula laju perpindahan panas nya dan juga sebaliknya apabila suhu fluida masuk dan keluar semakin kecil laju perpindahan panas pun akan mengecil. Dilihat pada grafik diatas maka laju perpindahan panas pada keadaan minimum dengan kecepatan aliran fluida dingin 0.067 m/s terdapat perbedaan nilai dengan kecepatan aliran fluida dingin yang ditingkatkan maksimum pada 0.134 m/s.

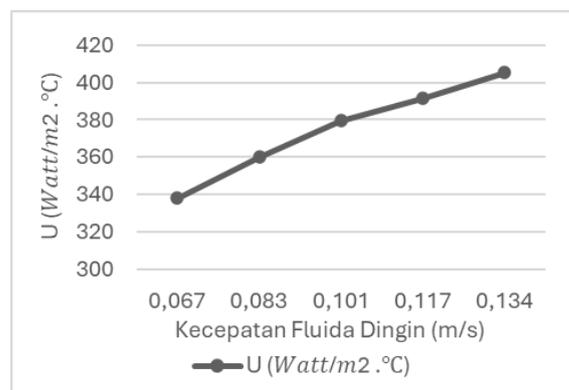


Gambar 6. Grafik pengaruh variasi kecepatan fluida dingin terhadap perubahan reynolds number

Bahwa laju perpindahan panas pada kecepatan aliran fluida dingin dalam keadaan maksimum lebih tinggi dari pada kecepatan aliran fluida dingin minimum.

Untuk pada laju perpindahan panas pada sisi panas di nilai 714.09 Watt pada keadaan minimum dan 1111.51 Watt dalam keadaan maksimum, pada laju perpindahan panas pada sisi dingin untuk minimum 619.89 Watt dan untuk maksimumnya dengan nilai 901.83 Watt.

Terlihat pada Gambar 6 menyajikan bahwasanya *reynolds* number pada fluida dingin mengalami kenaikan yang signifikan seiring dengan ditingkatkannya kecepatan aliran fluida dingin, dimana peningkatan nilai *reynolds* berbanding lurus dengan meningkatnya nilai koefisien perpindahan panas konveksi pada sisi dingin, yang akan berdampak pada meningkatnya nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada *concentric heat exchanger*.

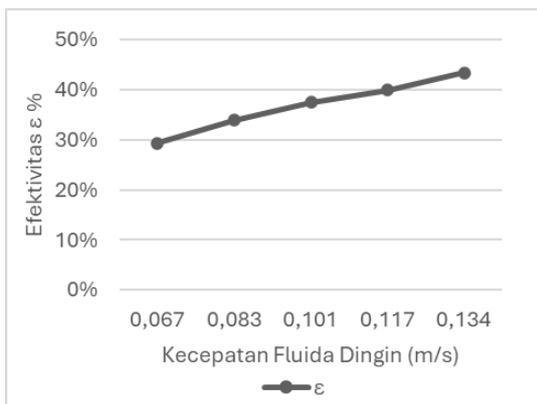


Gambar 7. Grafik Pengaruh variasi kecepatan fluida dingin terhadap koefisien Perpindahan panas keseluruhan concentric

Kembali dapat dilihat bahwa pada kecepatan tertinggi 0,134 m/s didapatkan nilai *reynolds* sebesar 992,39 dan pada kecepatan aliran terendah di 0.067 m/s didapatkan nilai *reynolds* sebesar 502,62. Sedangkan pada sisi panas nilai *reynolds* tidak mengalami peningkatan dikarenakan kecepatan aliran fluida panas di konstantkan.

Dapat dilihat pada Gambar 7 menunjukkan bahwa pengaruh dari peningkatan kecepatan aliran fluida dingin sangat berdampak bagi perpindahan panas keseluruhan pada alat penukar kalor berjenis *concentric*. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh berbanding lurus dengan nilai koefisien konveksi, begitu juga nilai koefisien konveksi berbanding lurus dengan bilangan nusselt (*Nu*) dan *reynolds* (*Re*), *reynolds* sendiri berbanding lurus dengan kecepatan aliran fluida dingin. Oleh karena itu semakin ditingkatkan aliran kecepatan fluida dingin maka akan meyebabkan semakin cepat fluida dingin pada bagian *outer pipe* akan bersinggungan dengan fluida panas *inner pipe*, dan perbedaan temperatur pun akan semakin terlihat. Dengan demikian mengakibatkan penurunan temperatur pada fluida panas dan juga akan membuat perbedaan temperatur yang besar pula serta berpengaruh terhadap peningkatan koefisien perpindahan panas menyeluruh

(U). Kembali dilihat pada tabel diatas menunjukkan pada kecepatan aliran fluida dingin 0.067 m/s koefisien perpindahan panas keseluruhan bernilai minimum ialah 337.90 W/m².°C dan pada kecepatan aliran fluida dingin 0.134 m/s ialah kondisi maksimum pada fluida dingin maka koefisien perpindahan panas keseluruh mencapai peningkatan sebesar 405.38 W/m².°C. Terlihat adanya peningkatan dari pengaruh kecepatan aliran fluida dingin yang divariasikan pada kondisi maksimum walau dengan temperatur fluida panas dan dingin konstan. Oleh karena itu dari peningkatan-peningkatan yang telah terlihat maka tiba diakhir untuk melihat seberapa bekerjanya suatu alat penukar kalor tersebut dapat memindahkan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.



Gambar 8. Grafik pengaruh variasi kecepatan aliran fluida dingin terhadap efektivitas concentric heat exchanger

Dapat dilihat grafik pada Gambar 8 pengaruh dari peningkatan kecepatan aliran fluida dingin terhadap unjuk kerja *concentric* dengan kondisi temperatur panas dan dingin yang konstan memiliki perubahan yang cukup signifikan. Dikarenakan pengaruh dari variasi tersebut membuat perpindahan panas antara fluida panas dan dingin meningkat. Dengan ditingkatkan kecepatan aliran fluida dingin bertahap terlihat bahwa semakin menurun temperatur pada fluida panas sehingga menyebabkan Q_{aktual} pun meningkat, yang akan berpengaruh kepada efektivitas kinerja dari alat penukar panas *concentric* tersebut. Alat penukar panas berjenis *concentric* ini pun memiliki luas penampang yang cukup panjang yang menyebabkan penurunan suhu pada fluida panas pun akan semakin baik dikarenakan kecepatan aliran fluida dingin semakin ditingkatkan dan dengan menggunakan aliran berlawanan pada jenis aliran yang digunakan. Kembali dilihat pada grafik bahwa pada kondisi kecepatan aliran fluida dingin minimum 0.067 m/s menghasilkan nilai efektivitas sebesar 29% dan pada kondisi kecepatan aliran fluida dingin maksimum 0.134 m/s menghasilkan efektivitas yang cukup meningkat sebesar 43%. Dengan kata lain terdapat peningkatan dari variasi kecepatan aliran fluida dingin mampu mempengaruhi nilai dari efektivitas penukar panas tersebut.

4. Kesimpulan

Maka dengan dilakukannya peningkatan kecepatan aliran fluida dingin disetiap variasi akan memberikan pengaruh kinerja dari alat penukar kalor berjenis concentric heat exchanger tersebut oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

Meningkatnya kecepatan aliran fluida dingin akan memberikan pengaruh peningkatan pada laju perpindahan panas (Q) saat pengujian concentric heat exchanger. Dilakukan peningkatan pada kecepatan aliran fluida dingin akan menyebabkan laju perpindahan panas juga semakin meningkat, oleh karena itu perpindahan panas dipengaruhi oleh perbedaan temperatur antara fluida yang masuk dan keluar sehingga semakin besar perbedaan suhunya maka semakin besar pula perpindahan panas yang terjadi dan sebaliknya semakin kecil perbedaan antara temperatur fluida yang masuk dan fluida yang keluar maka akan semakin kecil perpindahan panasnya. Pada prinsipnya laju perpindahan panas (Q) akan mengalami peningkatan seiring dengan ditingkatkannya kecepatan aliran fluida dingin.

Meningkatnya kecepatan aliran fluida dingin akan mengakibatkan unjuk kerja dari concentric heat exchanger pun akan meningkat juga. Terlihat bahwa nilai unjuk kerja yang paling minimum berada pada kecepatan aliran 0,067 m/s dan maksimum berada pada kecepatan aliran 0,134 m/s. Dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida dingin tersebut akan meningkatkan nilai unjuk kerja concentric heat exchanger yang berupa laju perpindahan (Q), koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), dan kinerjanya atau efektivitas (ϵ).

Daftar Pustaka

- [1] R. A. Soegijarto and I. M. Arsana, "Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Masuk Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Shell And Tube Dengan Menggunakan Nanofluida TiO₂," *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 131–136, 2021.
- [2] S. T. Pramesti and I. Made Arsana, "Experimental study of baffle angle effect on heat transfer effectiveness of the shell and tube heat exchanger using helical baffle," *J. Mech. Eng. Res. Dev.*, vol. 43, no. 3, pp. 332–338, 2020.
- [3] K. dan F. A. . Nadliroh, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin," *Nozel*, vol. 01, no. 01, pp. 09–22, 2019.
- [4] M. A. Mehrabian and M. Hemmat, "The overall heat transfer characteristics of a double pipe heat exchanger: Comparison of experimental data with predictions of standard correlations," *Comput. Eng.*, pp. 607–618, 2001.

- [5] J. P. Holman, "Useful conversion factors," 2008.
- [6] sadik kakac, "Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design, Second Edition (Sadik Kakaç, Hongtan Liu) (z-lib.org).pdf." 2002.
- [7] Y. A. Cengel, "Steady versus Transient Heat Transfer 63 Multidimensional Heat Transfer 64 Heat Generation 66," 2003.
- [8] Syahputra, A., Asnawi, A., Nayan, A., Alchalil, A., & Islami, N. (2023). Evaluation of Fluid Flow Velocity Variations on the Plate Heat Exchanger Performance. *TRANSMISI*, 19(1), 49-55.