

## **Analisis Performa *Heat Exchanger Shell And Tube* pada Aliran *Co-Current* dan *Counter-Current***

**Muhammad Nasyarudin Iqbal\*, Monita Pasaribu, Dennis Farina Nury, Muhammad Zulfikar Luthfi, Nurul Ulfa Safitri, Hafidz Naufal, Yohanes Tri Handoko, Endrigo Chrystover, Oldy Fahlovi**

Politeknik Industri Petrokimia Banten

Email: [nasyarudin92@gmail.com](mailto:nasyarudin92@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Energi panas atau kalor adalah energi yang dapat berpindah akibat adanya perbedaan suhu. Heat exchanger adalah alat yang memindahkan energi panas antara dua cairan melalui perbedaan suhu. Penukar panas shell-and-tube adalah salah satu penukar panas dan yang paling umum digunakan di kilang minyak dan proses kimia besar, dan sangat ideal untuk aplikasi bertekanan tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis performa alat penukar panas WL 110.03 shell and tube dengan melihat perbedaan suhu rata-rata dalam ritme logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ ), nilai perpindahan panas ( $Q$ ), nilai panas yang hilang ke lingkungan ( $Q_{loss}$ ) dan efektivitas alat penukar panas ( $\epsilon$ ) menggunakan variasi aliran searah dan berlawanan. Hasil penelitian ini yaitu didapatkan efektivitas tertinggi terjadi pada arah aliran counter current dengan rata-rata sebesar 58,8% dan nilai perpindahan panas ( $U$ ) sebesar -0,959  $\text{kw m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  dibandingkan dengan arah aliran co-current dengan rata-rata sebesar 30,30% dan nilai perpindahan panas ( $U$ ) sebesar -0,919  $\text{kw m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Semakin cepat kecepatan aliran cairan panas dan dingin, semakin besar koefisien perpindahan panas secara keseluruhan. Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan desain dan operasi penukar panas shell-and-tube untuk meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi kehilangan panas, serta mengembangkan aplikasi dalam skala industri yang lebih luas dengan mempertimbangkan variasi kondisi operasi dan material yang lebih beragam.

**Kata kunci:** aliran searah, aliran berlawanan arah, penukar panas, *shell and tube WL 110.03*

### **ABSTRACT**

*Heat energy is energy that can move due to suhue differences. A heat exchanger is a instrument that transfers heat energy between two fluids through a suhue difference. A shell-and-tube heat exchanger is a type of heat exchanger design. It is the most common type used in oil refineries and large chemical processes, and it is ideal for high-pressure applications. The objective of this work is to analyse the performance of a WL 110.03 shell and tube heat exchanger by examining the logarithmic average of the suhue difference ( $\Delta T_{LMTD}$ ), the heat transfer ( $Q$ ), the rate of heat loss to the environment ( $Q_{loss}$ ) and the effectiveness of the heat exchanger ( $\epsilon$ ) using co-current and counter current flow variations. The results show that the counter-flow heat exchanger arrangement has better effectiveness than the parallel-flow arrangement. The greatest effectiveness occurs in the counter current flow direction with an average of 58.8% and a heat transfer value ( $U$ ) of -0.959  $\text{kw m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  compared to the co current flow direction with an average of 30.30% and a transfer value of heat ( $U$ ) of -0.919  $\text{kw m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ . The greater the speed of hot fluid and cold fluid, the greater the overall heat transfer coefficient. The higher the inlet suhue of the hot fluid, the greater the overall heat transfer coefficient. This research is expected to optimize the design and operation of shell-and-tube heat exchangers to enhance thermal efficiency and reduce heat loss, as well as to develop broader industrial-scale applications by considering more diverse operating conditions and materials.*

**Keywords:** co-current, counter current, heat exchanger, *shell and tube WL 110.03*.

## PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi yang signifikan, yang diakibatkan oleh hampir seluruh proses industri dan aktivitas manusia, telah mendorong perlunya upaya efisiensi energi yang lebih besar. Dalam hal ini, *heat exchanger* muncul sebagai salah satu solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi energi dalam berbagai aplikasi industri. *Heat exchanger* berfungsi untuk mentransfer panas antara dua atau lebih fluida, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi dan meminimalkan limbah panas (Gugulothu et al., 2017). Peranan *heat exchanger* dalam energi perlu dipahami, karena alat ini berfungsi untuk mentransfer panas antara dua fluida tanpa mencampurkannya. Sistem ini sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, seperti pembangkit listrik, pemanas air, dan proses pendinginan. (El Haj Assad & Alhuyi Nazari, 2021)

Pemilihan tipe *heat exchanger* yang tepat sangat penting, karena masing-masing tipe memiliki karakteristik dan aplikasi yang berbeda, yang dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi sistem secara keseluruhan (Ahmad & Riffat, 2020). Jenis *heat exchanger* yang sering digunakan yaitu *shell and tube*, dimana tipe ini terdiri dari serangkaian tabung yang dikelilingi oleh *shell*, memungkinkan satu fluida mengalir melalui tabung sementara fluida lainnya mengalir di luar tabung dalam *shell* (Shubham M Patil et al., 2022). Penukar panas *shell and tube* memiliki tingkat efisiensi tinggi, alat ini dilengkapi dengan volume kecil dan luas permukaan besar, membutuhkan lebih sedikit ruang, mudah dirawat, dan mampu beradaptasi dengan hampir semua jenis alat pendingin cair (Zohuri, 2017).

Pertukaran panas merupakan fenomena penting dalam berbagai aplikasi termodinamika. Terdapat dua tipe arah aliran pertukaran panas yang umum digunakan, yaitu pertukaran panas sejalar (*co-current*) dan

pertukaran panas berlawanan arah (*counter-current*). Kedua tipe aliran ini memiliki karakteristik dan efisiensi yang berbeda dalam proses transfer panas (Putri et al., n.d.). Pemilihan antara *co-current* dan *counter-current* dalam desain *Shell and Tube Heat Exchanger* sangat tergantung pada kebutuhan spesifik proses dan efisiensi energi yang diinginkan (Dragan et al., 2020).

Penelitian Syaichurrozi et.al menyatakan bahwa nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan maksimum dicapai pada suhu fluida masuk 50° C, menghasilkan 140,6532 W/m<sup>2</sup> °C dalam aliran *counter current* dan 135,4576 W/m<sup>2</sup> °C dalam aliran *co-current*. Konfigurasi aliran arus *counter-current* menunjukkan kinerja yang unggul dibandingkan dengan pengaturan aliran *co-current* (Syaichurrozi et al., 2016). *Co-current* cocok untuk aplikasi sederhana dengan perbedaan suhu yang besar di awal, sementara *counter-current* lebih efektif untuk aplikasi yang memerlukan perpindahan panas yang lebih maksimal dan efisiensi yang lebih tinggi (Kumar Prasad & Anand, n.d.).

Kinerja penukar panas dilihat berdasarkan perubahan laju aliran fluida dingin dan laju aliran fluida panas terhadap koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dan nilai perbedaan suhu rata-rata log ( $\Delta T_{LMTD}$ ). Peningkatan laju aliran fluida dingin biasanya meningkatkan efisiensi perpindahan panas, sementara variasi laju aliran fluida panas dapat menyebabkan pergeseran yang signifikan pada perbedaan suhu rata-rata log, yang pada akhirnya mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan (Kumar Prasad & Anand, n.d.; Maghrabie et al., 2021). Efektivitas alat penukar panas ( $\epsilon$ ) merupakan faktor yang berpengaruh terhadap dengan efisiensi proses termodinamika yang berlangsung. H. S. Pratomo et.al mempelajari nilai efektivitas terbaik pada *shell and tube heat exchanger* didapatkan pada suhu fluida dingin masuk 25°C dan suhu fluida panas masuk 60°C dengan

nilai 0,81, didapatkan hubungan semakin kecil nilai  $\Delta T_{LMTD}$  maka semakin besar nilai efektivitasnya (Pratomo & Chalim, 2023).

Penukar panas memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi industri, berfungsi untuk mengoptimalkan proses transfer energi. Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja penukar panas tipe *shell and tube* dengan variasi aliran *co-current* dan *counter current*, sehingga penting untuk mempertimbangkan desain yang optimal dalam aplikasi termodinamika di industri. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis performa alat penukar panas *shell and tube* menggunakan jenis fluida air dengan melihat perbedaan suhu rata-rata dalam ritme logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ ), nilai perpindahan panas ( $Q$ ), nilai panas yang hilang ke lingkungan ( $Q_{loss}$ ) dan efektivitas alat penukar panas ( $\epsilon$ ) menggunakan variasi aliran *co-current* dan *counter current*.

## METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Reaktor dan Perpindahan Panas, pada Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, di kampus Politeknik Industri Petrokimia Banten. Dalam analisis penukar panas, salah satu aspek krusial yang perlu diperhatikan adalah penghitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan untuk menentukan efisiensi sistem penukar panas.

### Alat dan Bahan

Alat-alat yang dipakai pada penelitian *heat exchanger* berupa:

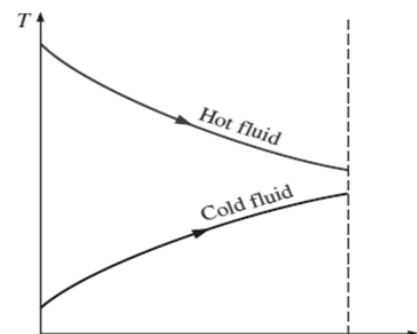
1. *Supply Unit Heat Exchanger* WL 110.03
2. *Shell & Tube Heat Exchanger*
3. *Chiller Unit*
4. *Stopwatch*

Bahan yang dipakai pada penelitian *heat exchanger* berupa air sebagai fluida dingin dan panas.

### Prosedur Penelitian

#### 1. Aliran *Co-Current*

Dalam penukar panas *shell-and-tube* arah arus yang sama, kedua fluida (dingin dan panas) masuk dari sisi penukar panas yang sama, mengalir dalam arah yang sama, dan keluar dari sisi yang sama. Karena sifat dari penukar panas jenis ini, suhu fluida dingin yang keluar dari penukar panas tidak boleh melebihi suhu fluida panas yang keluar dari penukar panas, sehingga perlu lebih banyak media pendingin/pemanas (Ariwibowo, n.d.).



Gambar 1. Profil suhu aliran *co current*

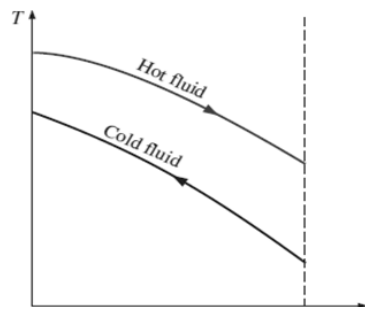
Langkah pertama pastikan kelengkapan dan kebersihan pada alat. Pastikan sumber listrik terhubung ke alat dan nyalakan komputer. Rangkai dan hubungkan selang pada alat *heat exchanger shell and tube* aliran *co-current*. Tekan tombol heater pada *heat exchanger* dan setting pada suhu 49°C. Tekan tombol *heater* pada *chiller* dan setting pada suhu 10°C. Apabila suhu sudah tercapai, nyalakan pompa *heat exchanger* dan *chiller* secara bersamaan. Atur *flowrate* pada *heat exchanger* sekitar 0.8 L/menit. Lakukan pengamatan dan rekam awal waktu pengamatan ketika pompa sudah dinyalakan tunggu hingga suhu stabil. Catat waktu awal dan akhir pengamatan.

Apabila suhu sudah stabil, perekaman dihentikan dan matikan pompa *chiller* dan *heat exchanger* bersamaan. Simpan grafik yang didapatkan pada komputer. Turunkan *flowrate* ke 0 L/menit. Setelah itu,

lepaskan selang pada *heat exchanger*. Matikan tombol heater pada alat *heat exchanger* dan *chiller*, lakukan *shutdown* alat *exchanger* dan komputer.

2. Aliran *Counter Current*

Dalam penukar panas *shell-and-tube* berlawanan arah, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar dari sisi yang berlawanan. Aliran ini dianggap lebih unggul daripada aliran langsung karena suhu fluida dingin yang meninggalkan penukar panas lebih tinggi daripada suhu fluida panas yang meninggalkan penukar panas (Aprianto et al., 2021). Aliran arus balik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil suhu aliran *counter current*

Langkah pertama pastikan kelengkapan dan kebersihan pada alat. Pastikan sumber listrik terhubung ke alat dan nyalakan komputer. Rangkai dan hubungkan selang pada alat *heat exchanger shell and tube* aliran *counter-current*. Tekan tombol *heater* pada *heat exchanger* dan setting pada suhu 49°C. Tekan tombol *heater* pada *chiller* dan setting pada suhu 10°C. Apabila suhu sudah tercapai, nyalakan pompa *heat exchanger* dan *chiller* secara bersamaan. Atur *flowrate* pada *heat exchanger* sekitar 0.8 L/menit. Lakukan pengamatan dan rekam awal waktu pengamatan ketika pompa sudah dinyalakan tunggu hingga suhu stabil. Catat waktu awal dan akhir pengamatan.

Apabila suhu sudah stabil, perekaman dihentikan dan matikan pompa *chiller* dan

*heat exchanger* bersamaan. Simpan grafik yang didapatkan pada komputer. Turunkan *flowrate* ke 0 L/menit. Setelah itu, lepaskan selang pada *heat exchanger*. Matikan tombol *heater* pada alat *heat exchanger* dan *chiller*, lakukan *shutdown* alat *exchanger* dan komputer.

Persamaan neraca panas:

$$m_c \cdot (T_{cb} - T_{ca}) = m_h \cdot (T_{hb} - T_{ha}) \quad (1)$$

Dalam menentukan neraca panas, dihitung besarnya panas yang dipindahkan, sehingga kita mengetahui berapa banyak panas yang berpindah dari cairan panas ke cairan dingin (Alidifan & Chalim, 2024; Shahab & Anggi Wahyuningsi, 2023). Dengan asumsi nilai kapasitas kalor jenis ( $C_p$ ) cairan dingin dan panas adalah konstan, tidak ada kehilangan panas ke lingkungan, ada keadaan tunak, dan panas berpindah.

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (2)$$

LMTD digunakan untuk menentukan gaya penggerak suhu perpindahan panas pada sistem aliran, khususnya penukar panas *shell-and-tube*. Semakin tinggi nilai LMTD maka penukar panas tersebut kurang efisien (Aprianto et al., 2021). Karena LMTD yang lebih besar mentransfer lebih banyak panas dan mengeluarkan biaya lebih banyak (Alidifan & Chalim, 2024; Shahab & Anggi Wahyuningsi, 2023). Untuk memperoleh nilai selisih suhu rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ ) aliran *co-current* dan *counter current shell and tube*.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (3)$$

$$\Delta T_1 = T_3 - T_1 \quad (4)$$

$$\Delta T_2 = T_4 - T_2 \quad (5)$$

Nilai Q aliran *co current (cold dan hot) shell and tube*,

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad (6)$$

Dimana:

Q : Perpindahan panas (w/kw)

Cp : Kapasitas panas (kJ/kg°C)

M : Laju alir (kg/s)

$\Delta T$  : Perubahan suhu

F = 0,8 L/menit (0,013 kg/s)

Nilai panas yang hilang ke lingkungan ( $Q_{loss}$ )

$$Q_{loss} = Q_{hot} - Q_{cold} \quad (7)$$

Nilai efektivitas alat penukar panas ( $\epsilon$ )  
*shell and tube*

$$\epsilon = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_1} \times 100\% \quad (8)$$

Nilai perpindahan panas

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (9)$$

$$U = \frac{Q_{hot \text{ rata-rata}}}{A \times \Delta T_{lm \text{ rata-rata}}} \quad (10)$$

$$U_{co \text{ current}} = \frac{-0,438}{0,020 \times 23,81}$$

**Tabel 1.** Heat exchanger shell and tube dengan aliran co current

No	Waktu	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	$\Delta T_{LM}$ (°C)	Q <sub>cold</sub> (kw)	Q <sub>hot</sub> (kw)	Q <sub>loss</sub> (kw)	$\epsilon$ (%)
1	17:32:11	26,3	26,5	34,3	29,8	5,31	0,010	-0,244	-0,234	56,25
2	17:32:53	21,8	27,3	52,5	44,3	23,30	0,299	-0,445	-0,146	26,71
3	17:33:50	14,6	24,5	54,4	45,3	29,36	0,538	-0,494	0,044	22,86
4	17:34:45	14,5	23,9	54,6	45,5	30,07	0,511	-0,494	0,017	22,69
5	17:35:40	14,7	23,7	55,6	46,2	31,01	0,489	-0,511	-0,022	22,98
$\Sigma$						<b>23,81</b>	<b>0,369</b>	<b>-0,438</b>	<b>-0,068</b>	<b>30,30</b>

Dari pengamatan tersebut, diperoleh hasil selisih suhu rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LMTD}$ ) untuk aliran *co current* rata-rata yaitu 23,81°C, nilai perpindahan panas (Q) diperoleh Q<sub>cold</sub> rata-rata sebesar 0,369 kw, Q<sub>hot</sub> rata-rata sebesar -0,438 kw, dan Q<sub>loss</sub> rata-rata sebesar -0,068 kw. Diperoleh pula efektivitas *heat exchanger shell and tube* aliran *counter current*

$$= -0,919 \text{ kw m}^2\text{°C} \quad (11)$$

$$U_{counter \text{ current}} = \frac{-0,268}{0,020 \times 13,98} = -0,959 \text{ kw m}^2\text{°C} \quad (12)$$

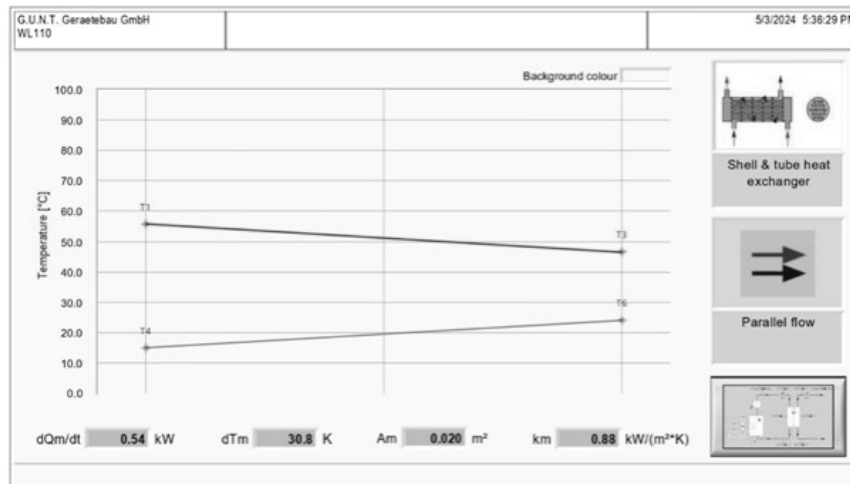
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan alat penukar panas (*heat exchanger*) tipe WL 110.03 *shell & tube heat exchanger* yang terdiri dari tujuh tube dikelilingi oleh shell luar transparan. Fluida yang digunakan yaitu air, dengan variasi aliran *co-current* dan *counter current*. Aliran *co-current* terjadi ketika kedua fluida bergerak dalam arah yang sama, sedangkan aliran *counter-current* melibatkan pergerakan fluida yang berlawanan arah. Air panas mengalir melalui ruang *tube* dan air dingin melalui ruang di dalam *shell*. Sebagian energi panas air panas dipindahkan ke air dingin (Lubis & S Lubis, 2022).

Hasil yang diperoleh pada *heat exchanger shell and tube* dengan arah aliran *co-current* pada lima waktu berbeda ditunjukkan pada Tabel 1.

rata-rata sebesar 30,30% dan nilai perpindahan panas (U) sebesar -0,919 kw m<sup>2</sup>C.

Selama percobaan, kurva suhu diplot dan ditampilkan secara grafis. Koefisien perpindahan panas rata-rata kemudian dihitung sebagai variabel karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Grafik kurva suhu *heat exchanger shell and tube* aliran *co current*

Hasil yang diperoleh pada *heat exchanger shell and tube* dengan arah aliran *counter current* pada lima waktu berbeda ditunjukkan pada Tabel 2.

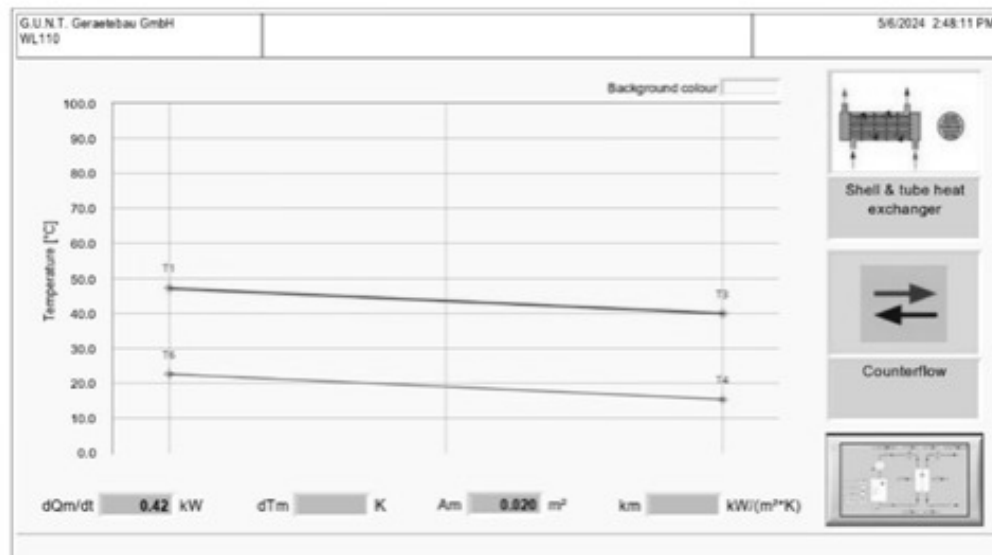
Tabel 2. *Heat exchanger shell and tube* dengan aliran *counter current*

No	Waktu	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	ΔT <sub>LM</sub> (°C)	Q <sub>cold</sub> (kw)	Q <sub>hot</sub> (kw)	Q <sub>loss</sub> (kw)	ε (%)
1	14:44:12	25,2	25,1	25,8	24,8	0	-0,005	-0,054	-0,054	166
2	14:45:00	24,4	24,9	30,2	27,0	3,388	-0,005	-0,173	-0,179	61
3	14:46:00	15,5	23,1	41,7	36,0	19,46	0,413	-0,309	0,104	21
4	14:47:00	15,4	21,8	45,5	38,3	22,01	0,358	-0,391	-0,044	23
5	14:48:00	15,1	22,3	46,9	39,5	25,09	0,391	-0,402	-0,011	23
Σ						13,98	0,230	-0,268	-0,036	58,8

Dari pengamatan tersebut, diperoleh hasil selisih suhu rata-rata logaritmik ( $\Delta T_{LM}$ ) untuk aliran *counter current* rata-rata yaitu 13,98°C, nilai perpindahan panas (Q) diperoleh  $Q_{cold}$  rata-rata sebesar 0,230 kw,  $Q_{hot}$  rata-rata sebesar -0,268 kw, dan  $Q_{loss}$  rata-rata sebesar -0,036 kw. Diperoleh pula efektivitas *heat exchanger shell and tube* aliran *counter current* rata-rata sebesar 58,8% dan nilai perpindahan

panas (U) sebesar -0,959 kw m<sup>2</sup>°C.

Untuk kolom penukar panas jenis *shell and tube counter current* mempunyai nilai transfer panas lebih baik dibandingkan dengan aliran searah. Selama percobaan, kurva suhu diplot dan ditampilkan secara grafis. Koefisien perpindahan panas rata-rata kemudian dihitung sebagai variabel karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik kurva suhu *heat exchanger shell and tube* aliran *counter current*

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap data yang diperoleh pada penelitian *shell & tube heat exchanger*, dapat disimpulkan bahwa efektivitas paling besar terjadi pada arah aliran *counter current* dengan rata-rata sebesar 58,8% dan nilai perpindahan panas ( $U$ ) sebesar  $-0,959 \text{ kw m}^2\text{°C}$  dibandingkan dengan arah aliran *co current* dengan rata-rata sebesar 30,30% dan nilai perpindahan panas ( $U$ ) sebesar  $-0,919 \text{ kw m}^2\text{°C}$ . Penukar panas aliran *counter current* memiliki efektivitas yang lebih besar daripada pengaturan aliran *co current*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. I., & Riffat, S. (2020). Heat Exchanger: The Heart of Energy Recovery System. In M. I. Ahmad & S. Riffat (Eds.), *Energy Recovery Technology for Building Applications: Green Innovation towards a Sustainable Future* (pp. 25–42). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50006-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50006-1_4)
- Alidifan, F., & Chalim, A. (2024). Pengaruh Variasi Suhu Dan Laju Alir Terhadap Kinerja Pertukaran Kalor Sistem Fluida Formalin-Gliseryl Menggunakan Shell and Tube Heat Exchanger Pada Aliran Laminer. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 322–328. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4889>
- Aprianto, G., Septian, B., Rey, P. D., & Aziz, A. (2021). Desain Dan Fabrikasi Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger) Tipe Shell and Tube. *METRIK Serial Teknologi Dan Sains*, 2(1), 2774–2989.
- Ariwibowo, T. H. (n.d.). *Numerical Study of Shell-And-Tube Heat Exchanger Characteristics in Laminar Flow with Single Segmental Baffle*. <https://www.researchgate.net/publication/309512704>
- Dragan, D., Keshavarzsaleh, A., Popović, V., Jereb, B., & Rosi, B. (2020). Model-Based Condition Monitoring: State-Space Solution for Counter-Current Heat Exchanger. *Journal of Engineering Thermophysics*, 29(3). <https://doi.org/10.1134/S1810232820030145>

- El Haj Assad, M., & Alhuyi Nazari, M. (2021). Heat exchangers and nanofluids. *Design and Performance Optimization of Renewable Energy Systems*, 33–42. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821602-6.00003-1>
- Gugulothu, R., Somanchi, N. S., Reddy, K. V. K., & Akkiraju, K. (2017). A Review on Enhancement of Heat Transfer in Heat Exchanger with Different Inserts. *Materials Today: Proceedings*, 4(2). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.118>
- Kumar Prasad, A., & Anand, K. (n.d.). *Design & Analysis of Shell & Tube Type Heat Exchanger*. [www.ijert.org](http://www.ijert.org)
- Lubis, F., & S Lubis. (2022). Analisis Baffle Cut Pada Alat Penukar Kalor Shell and Tube Pada Susunan Tabung Segi Empat. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 3(1). <https://doi.org/10.53695/jm.v3i1.707>
- Maghrabie, H. M., Elsaid, K., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., Wilberforce, T., Ramadan, M., & Olabi, A. G. (2021). Intensification of heat exchanger performance utilizing nanofluids. *International Journal of Thermofluids*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.10.0071>
- Pratomo, H. S., & Chalim, A. (2023). EFEKTIVITAS ALAT PENUKAR PANAS SHELL AND TUBE 1-1 DENGAN METANOL SEBAGAI FLUIDA PEMANAS DAN ETANOL SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(4). <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i4.431>
- Putri, K., Allifia, R., Dia, E., Sari, P., Pratiwi, D., Ningsih, E., Kimia, J. T., Adhi, T., & Surabaya, T. (n.d.). *Pengaruh Laju Alir Fluida Panas dan Fluida Dingin terhadap besarnya Transfer Panas pada Alat Heat Exchanger*.
- Shahab, A., & Anggi Wahyuningsi. (2023). Evaluasi Kinerja Heat Exchanger - 003 Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi (Ppsdm Migas Cepu). *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(8), 3229–3242. <https://doi.org/10.53625/jirk.v2i8.4742>
- Shubham M Patil, Akash Y Shelke, Tushar S Kamble, Dr. Pratibha R Gawande, & Dr. Meera T Sose. (2022). A Review on Study of Shell and Tube Heat Exchanger. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 141–146. <https://doi.org/10.32628/ijrst229218>
- Syaichurrozi, I., Metta Karina, A., & Imanuddin, A. (2014). Kajian Performa Alat Penukar Panas Plate and Frame : Pengaruh Laju Alir Massa, Temperatur Umpan dan Arah Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. *Eksergi*, XI(02).
- Zohuri, B. (2017). RETRACTED CHAPTER: Heat Exchanger Types and Classifications. In B. Zohuri (Ed.), *Retracted Book: Compact Heat Exchangers: Selection, Application, Design and Evaluation* (pp. 19–56). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1_2)