

Analisis Efektivitas Perpindahan Panas pada Alat Penukar Panas Jenis *Water to Water*

Ketut Astawa^a, I Gede Teddy Prananda Surya^a, I Gusti Ngurah Putu Tenaya^a

^a Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali 80361
e-mail: awatsa@yahoo.com

Kata kunci:

Efektivitas,
Aliran paralel,
Aliran berlawanan,
Alat penukar panas

ABSTRAK

Penukar panas adalah perangkat yang mentransfer panas antara dua cairan suhu yang berbeda secara paralel atau berlawanan arah aliran. Pada pengaturan aliran paralel, fluida panas dan dingin mengalir dengan arah aliran yang sama, sedangkan pada pengaturan aliran berlawanan arah alirannya berlawanan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan efektifitas susunan penukar panas paralel dan *counter flow*. Fluida panas dan fluida dingin diatur memiliki laju alir yang sama yaitu 3000 cm³/menit, sedangkan fluida panas diatur temperaturnya menjadi 40°C dan 30°C untuk fluida dingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan penukar panas aliran berlawanan memiliki efektifitas yang lebih baik daripada pengaturan aliran paralel. Penukar panas aliran *counter* dan paralel telah memberikan efektifitas masing-masing 0,399 dan 0,0299.

Keyword:

Effectiveness,
Parallel flow,
Counter flow,
Heat exchanger

ABSTRACT

A heat exchanger is a device that transfer heat between two different temperature fluids in parallel or counter flow direction. In the parallel flow arrangement, the hot and cold fluids flowing in the same flow direction, while in the counter flow arrangement, it flows in opposite direction. The research was conducted to determine the effectiveness comparison of the parallel and counter flow heat exchanger arrangement. The hot and cold fluids have been set to have the same flow rate of 3000 cm³/minute, meanwhile the hot fluids temperature is set to be 40°C and 30°C for the cold fluids. The result shows that the counter flow heat exchanger arrangement has better effectiveness than that of parallel flow arrangement. The counter and parallel flow heat exchanger has provided the effectiveness of 0.399 and 0.0299 respectively.

1. PENDAHULUAN

Heat exchanger adalah sebuah peralatan yang dapat memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dengan menjaga dua fluida agar tidak bercampur [1]–[3]. Ada beberapa perbedaan tipe alat penukar panas yang dapat diklasifikasikan menurut aransemen aliran fluida. Konfigurasi aliran sederhana adalah alat penukar panas dengan fluida panas dan dingin mengalir pada arah yang sama atau berlawanan. Fluida tersebut dapat dipisahkan oleh dinding datar, tetapi yang umum adalah fluida dipisahkan oleh susunan pipa konsentrik (*double pipe*). Pada susunan aliran searah (*parallel flow*), fluida panas masuk pada ujung yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan berakhir pada ujung yang sama pula [4]–[7]. Pada susunan aliran berlawanan (*counter flow*), fluida masuk pada ujung yang berlawanan, mengalir secara berlawanan arah, dan berakhir pada ujung yang berlawanan arah pula [5], [7], [8]. Penelitian sebelumnya yang membandingkan karakteristik perpindahan panas pada *parallel flow* dan *counter flow*, di antaranya penelitian Mustaza Ma'a [9] meneliti karakteristik perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger*, perbandingan aliran *parallel* dan *counter flow*. Wawan Trisnadi Putra dkk [10] meneliti tentang analisa laju perpindahan panas *counter flow heat exchanger* skala laboratorium dengan aliran berulir. Wijaya Sunu dkk [11] meneliti efektifitas perpindahan panas pada *double pipe heat exchanger* dengan *groove*. Penelitian ini bertujuan mengetahui perbandingan efektifitas antara *heat exchanger water to*

water tipe *parallel flow* dan tipe *counter flow* dengan fluida air. Perhitungan efektivitas berdasarkan koefisien perpindahan panas overall rata-rata dan terdapat deviasi dari prediksi secara teoretis.

2. METODE PENELITIAN

Dalam menganalisis alat penukar kalor, diperlukan perhitungan mengenai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (*overall heat transfer coefficient*) yang merupakan total hambatan termal di antara dua fluida yang mengalami perpindahan kalor termasuk hambatan termal pada dinding alat penukar kalor. Perlakuan pengujian awal yaitu dengan laju aliran fluida panas dijaga tetap adalah 3000 cm³/menit, baik untuk fluida panas maupun fluida dingin. Temperatur fluida panas yang digunakan adalah 40 °C, sedangkan temperatur fluida dingin adalah 30 °C. Selanjutnya, pada pengujian kedua dan ketiga temperatur fluida panas masuk dinaikkan 10 °C, sedangkan temperatur masuk fluida dingin tetap 30 °C. Perpindahan kalor pada *heat exchanger* terjadi dari fluida air panas ke fluida air dingin yang dibatasi oleh dinding pipa bagian dalam yang masing-masing fluida dinyatakan dengan:

Untuk fluida panas:

$$q = \dot{m}_c c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1)$$

Untuk fluida dingin:

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (2)$$

Dengan \dot{m}_c , \dot{m}_h adalah laju aliran massa fluida dingin dan panas (kg/s), $C_{p,h}$ adalah panas spesifik fluida panas pada tekanan konstan. $T_{c,i}$ dan $T_{c,o}$ adalah temperatur fluida dingin masuk dan keluar (°C). $T_{h,o}$ dan $T_{h,i}$ adalah temperatur fluida panas keluar dan masuk (°C). q_h adalah perpindahan kalor air panas dan q_c perpindahan kalor dingin (J/s) atau watt. Perpindahan kalor yang terjadi antara dua fluida tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$q = UA(T_h - T_c) \quad (3)$$

dengan U sebagai koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m² °C), yang dapat dihitung:

Untuk permukaan luar:

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R_{f,o} + \left(\frac{r_o}{k}\right) \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) R_{f,i} + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) \left(\frac{1}{h_i}\right)} \quad (4)$$

Untuk permukaan dalam:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + R_{f,i} + \left(\frac{r_o}{k}\right) \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{r_i}{r_o}\right) R_{f,o} + \left(\frac{r_i}{r_o}\right) \left(\frac{1}{h_o}\right)} \quad (5)$$

Metode analisis efektivitas panas yang memiliki hubungan dengan *Number of Transfer Units* (NTU) merupakan metode rasio transfer panas sesungguhnya dalam *heat exchanger* terhadap transfer panas maksimum yang mungkin akan terjadi jika luas permukaan infiniti tersedia dengan kapasitas rasio rata-rata sebagai:

$$C_r = \frac{c_{min}}{c_{max}} = \frac{c_c}{c_h} \text{ atau } \frac{c_h}{c_c} \quad (6)$$

Jumlah satuan perpindahan (*number of transfer units*=NTU) dirumuskan dengan persamaan:

$$NTU = \frac{UA}{c_{min}} \quad (7)$$

Perpindahan kalor maksimum yang mungkin dinyatakan sebagai:

$$q_{max} = C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (8)$$

Di mana: C_{min} adalah C_h atau C_c yang memiliki nilai terkecil. Efektivitas penukar kalor (*heat exchanger effectiveness*) didefinisikan sebagai berikut:

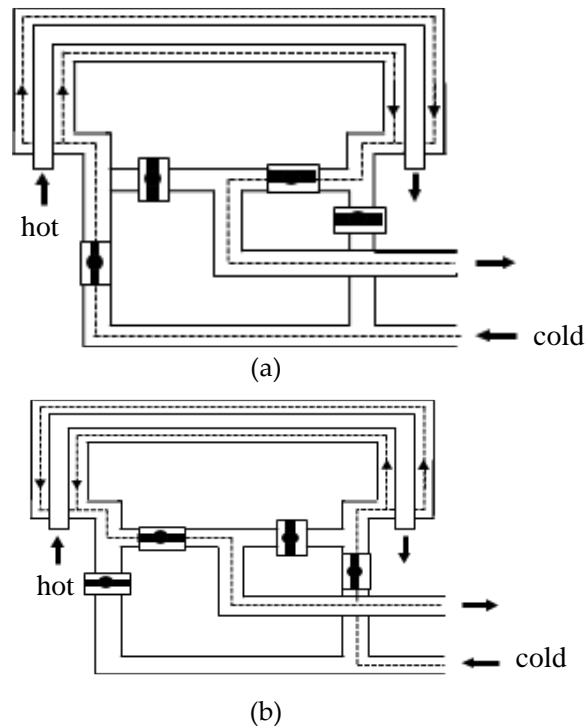
$$\text{Efektivitas} = \varepsilon = \frac{\text{perpindahan kalor nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}}$$

Perpindahan kalor yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin, yaitu:

$$q = \dot{m}_h c_{p,h}(T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c c_{p,c}(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (10)$$

Kondisi aliran air di dalam *heat exchanger*, baik yang aliran paralel dan *counter flow* dapat digambarkan:



Gambar 1. Valve diagram alat penukar panas pipa konsentrik, (a) *Parallel Flow* (b) *Counter flow*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari pengujian untuk mengetahui efektivitas penukar panas dengan tiga variasi temperatur panas masuk seperti pada Tabel 1 untuk aliran searah dan Tabel 2 untuk aliran berlawanan. Dari hasil perhitungan yang diperoleh, selanjutnya dibuatkan grafik perbandingan koefisien perpindahan panas, laju perpindahan kalor maksimum.

Tabel 1. Data hasil uji awal untuk *parallel flow*

No/Satuan	\dot{Q}_h (cm^3/min)	\dot{Q}_c (cm^3/min)	$T_{h,in}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h,mid}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h,out}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,in}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,mid}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,out}$ ($^{\circ}\text{C}$)
1	3000	3000	40	39	37	30	32	34
2	3000	3000	50	47	43	30	33	36
3	3000	3000	60	54	55	30	36	38

Tabel 2. Data hasil uji awal untuk *counter flow*

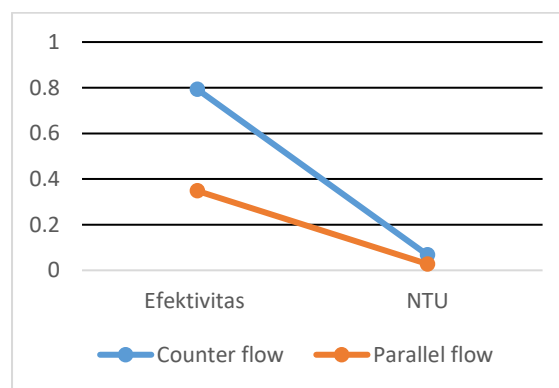
No/Satuan	\dot{Q}_h (cm^3/min)	\dot{Q}_c (cm^3/min)	$T_{h,in}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h,mid}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{h,out}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,in}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,mid}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{c,out}$ ($^{\circ}\text{C}$)
1	3000	3000	40	38	36	30	31	32
2	3000	3000	50	47	42	30	32	34
3	3000	3000	60	55	51	30	30	36

Dari data hasil uji awal untuk *counter flow* dan *parallel flow* menggunakan persamaan yang ada maka dihasilkan efektivitas dan NTU dari masing-masing tipe aliran, yaitu:

Tabel 3. Hasil perhitungan efektivitas dan NTU

	Efektivitas	NTU
<i>Counter flow</i>	0,7932	0,0674
<i>Parallel flow</i>	0,348	0,0279

Dari Tabel 3 dapat dibuatkan grafik perbandingan efektivitas untuk setiap tipe aliran dan NTU-nya.



Gambar 2. Grafik efektivitas dan NTU untuk setiap tipe aliran

Gambar 2 menunjukkan efektivitas dan NTU dari masing-masing tipe aliran untuk temperatur yang sama, bahwa dihasilkan efektivitas untuk *counter flow* lebih tinggi dari pada *parallel flow* di semua variasi temperatur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap data yang diperoleh pada penelitian perpindahan panas *parallel flow* dan *counter flow*, dapat disimpulkan bahwa efektivitas (ϵ_{pt}) untuk *counter flow* sebesar 0,7932 pada NTU 0,0674, sedangkan efektivitas *parallel flow* diperoleh sebesar 0,3480 pada NTU 0,0279. Jadi, untuk laju aliran panas yang sama (\dot{Q}_h dan \dot{Q}_c) sebesar $3000 \text{ cm}^3/\text{min}$, efektivitas *heat exchanger counter flow* lebih besar dibandingkan dengan *parallel flow*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Udayana atas dana yang diberikan dan terimakasih juga kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNUD atas dukungan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bejan and A. D. Kraus, *Heat Transfer Handbook, Volume 1*. 2003.
- [2] J. Holman, *Perpindahan Panas*. Tata McGraw-Hill, 1898.
- [3] Riyanto, *Termodinamika Teknik*, vol. 1, no. 2013.
- [4] R. Tiwari and G. Maheshwari, "Effectiveness and Efficiency Analysis of Parallel Flow and Counter Flow Heat Exchangers," *Int. J. Appl. or Innov. Eng. Manag.*, vol. 6, no. 6, pp. 314–319, 2017.
- [5] D. Bhattacharjee, "Analysis The Performance of Parallel Flow and Heat Transfer in Concentric Tube Heat Exchanger using Computational Fluid Dynamics," pp. 95–104, 2022.
- [6] A. G. Yazicioglu, S. Aradağ, E. Ayli, G. Gülben, and S. Kakaç, "Heat Exchangers," in *Comprehensive Energy Systems*, vol. 4–5, 2018, pp. 40–69.
- [7] K. Sridhar and K. Bicha, "Comparative Analysis of Parallel and Counter Flow Heat Exchangers," *Sci. Eng. Technol. Res.*, vol. 06, no. 04, pp. 0638–0644, 2017, [Online]. Available: www.ijsetr.com.
- [8] S. C. M. Subhani and P. Sravani, "The Systematic Comparision on Analysis of Parallel Flow and Counter Flow Heat Exchanger by using CFD and Practicle Methods," *Int. J. Mod. Trends Sci. Technol.*, no. December, 2021, doi: 10.46501/IJMTST0711026.
- [9] M. Ma'a, "Karakteristik Perpindahan Panas pada Double Pipe Heat Exchanger, Perbandingan Aliran Parallel dan Counter Flow," *Tek. Elektro dan Komput.*, vol. I, no. 2, pp. 161–168, 2013.
- [10] W. Trisnadi et al., "Analisa Laju Perpindahan Panas Counter Flow Heat Exchanger skala laboratorium dengan aliran berulir," *Pros. SNTT FGDT*, 2015.
- [11] P. W. Sunu, D. S. Anakottapary, and W. G. Santika, "Efektifitas Perpindahan Panas Pada Double Pipe Heat Exchanger dengan Groove," *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XIV*, no. May, pp. 7–8, 2016.