



# PENGARUH LAJU ALIRAN FLUIDA PANAS DAN DINGIN TERHADAP EFEKTIVITAS PENUKAR KALOR TIPE *SHELL AND TUBE*

Abdul Razak<sup>a\*</sup>, Al Faruk<sup>a</sup>, Rahmawaty<sup>b</sup>, Husin Ibrahim<sup>b</sup>, Muhammad Anhar Pulungan<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

<sup>c</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

\*Corresponding author at: [abdulrazak@polmed.ac.id](mailto:abdulrazak@polmed.ac.id) Tel.: +62857-6271-3088

## INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 22 April 2026

Direvisi pada 28 Juni 2026

Disetujui pada 29 Juni 2026

Tersedia daring pada 30 Juni 2026

Kata kunci:

*Shell and Tube*, Kalor, Efektivitas

Keywords:

*Shell and Tube*, Heat, Effectiveness

## ABSTRAK

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) merupakan alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas, berfungsi untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida dengan memanfaatkan perpindahan panas dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah. Salah satu jenis *heat exchanger* yang paling banyak digunakan secara luas adalah tipe *shell and tube heat exchanger*. Fokus penelitian ini adalah menganalisis pengaruh laju aliran fluida panas dan dingin terhadap efektivitas penukar kalor tipe *shell and tube* dengan aliran berlawanan. Metode pengumpulan data adalah pengujian langsung terhadap alat, dengan membandingkan pengaruh antara laju aliran fluida panas konstan, laju aliran fluida dingin konstan, dan laju aliran fluida panas dan dingin diatur sama besar terhadap efektivitas penukar kalor tipe *shell and tube heat exchanger*. Setelah dilakukan pengujian dan analisis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh laju aliran fluida panas konstan  $Q_h = 1000$  l/h diperoleh nilai efektivitas tertinggi 51,479 %, laju aliran fluida dingin konstan  $Q_c = 900$  l/h diperoleh nilai efektivitas tertinggi 51,563 %, dan laju aliran fluida panas dan dingin diatur sama besar diperoleh nilai efektivitas tertinggi 39,459 %. Dari hasil penelitian ini disimpulkan bahwa laju aliran fluida sangat berpengaruh terhadap efektivitas penukar kalor tipe *shell and tube heat exchanger*. Ketika laju aliran fluida panas dan dingin mendekati atau sama besar maka nilai efektivitas penukar kalor tipe *shell and tube* dengan aliran berlawanan akan semakin kecil.

## ABSTRACT

A heat exchanger is a device used in heat transfer processes, functioning to change the temperature and phase of a fluid by transferring heat from a high-temperature fluid to a low-temperature fluid. One of the most widely used types of heat exchangers is the shell-and-tube heat exchanger. This study focuses on analyzing the effect of hot and cold fluid flow rates on the effectiveness of a counter-flow shell-and-tube heat exchanger. The data collection method involved direct testing of the equipment by comparing three conditions: a constant hot fluid flow rate, a constant cold fluid flow rate, and equal hot and cold fluid flow rates, all evaluated based on the effectiveness of the heat exchanger. The results show that, for a constant hot fluid flow rate of  $Q_h = 1000$  L/h, the highest effectiveness achieved was 51.479%. For a constant cold fluid flow rate of  $Q_c = 900$  L/h, the highest effectiveness was 51.563%. Meanwhile, when the hot and cold fluid flow rates were set equal, the highest effectiveness obtained was 39.459%. In conclusion, the fluid flow rate significantly influences the effectiveness of a shell-and-tube heat exchanger. When the hot and cold fluid flow rates are similar or equal, the effectiveness of a counter-flow shell-and-tube heat exchanger decreases.

## 1. PENGANTAR

Dari waktu ke waktu perkembangan alat penukar kalor (panas) selalu mengalami kemajuan yang mana menyesuaikan perkembangan zaman dan kebutuhan. Banyak sektor industri, domestik, dan komersial menggunakan penukar kalor (panas) untuk konversi dan pembangkit tenaga. Ada banyak metode peningkatan perpindahan panas yang dapat digunakan untuk memaksimalkan desain dan

pengoperasian penukar kalor (panas). Alat penukar kalor (*heat exchanger*) merupakan alat untuk mengubah temperatur dan fasa suatu jenis fluida. Proses tersebut terjadi dengan memanfaatkan proses perpindahan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah. Di dalam dunia industri peran dari *heat exchanger* sangat penting, misalnya dalam industri pembangkit tenaga listrik, *heat exchanger* berperan dalam peningkatan efisiensi sistem. Selain itu *heat exchanger* juga merupakan komponen utama dalam sistem mesin pendingin, yaitu berupa evaporator dan kondensor.

*Shell and tube heat exchanger* adalah salah satu jenis *heat exchanger* yang paling banyak digunakan secara luas. Tipe ini memiliki banyak keunggulan, termasuk efisiensi yang tinggi, luas permukaan yang besar pada volume yang kecil, dapat dibuat dari logam (*alloy*) agar tahan terhadap korosi, dan dapat digunakan untuk pemanasan, pendinginan, penguapan atau pengembunan (kondensasi) untuk semua jenis fluida (Said dkk., 2021). Alat penukar kalor dapat dibedakan menjadi *heat exchanger* dengan aliran searah (*Parallel-Flow*), *heat exchanger* dengan aliran berlawanan arah (*Counter-Flow*) dan *heat exchanger* dengan aliran silang (*Cross-Flow*). Semua *heat exchanger* perpindahan panas di dominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisah oleh dinding. Perpindahan panas secara konveksi dipengaruhi oleh geometri dan tiga bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan *Reynold*, bilangan *Nusselt*, dan bilangan *Prandtl*. Besar konveksi yang terjadi dalam suatu *double-pipe heat exchanger* (pipa ganda) akan berbeda dengan *cross-flow heat exchanger* (aliran silang) atau penukar kalor lainnya, untuk beda temperatur yang sama (Andika Frida Astuti & Rochman Fachrudin, 2023).

(Burmawi dkk., 2021) melakukan penelitian tentang “Analisa Unjuk Kerja dari *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* menggunakan Air Sebagai Fluida Panas Dan Fluida Dingin”. Tujuan dari penelitian tersebut adalah mencari nilai laju perpindahan kalor, nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dengan temperatur masuk fluida panas tidak lebih dari 60 °C dan kapasitas 70 liter. Untuk temperatur fluida dingin dilakukan dengan memvariasikan bukaan katub 1/4, 2/4, 3/4, dan 4/4. Dari hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin besar bukaan katub maka nilai laju perpindahan kalor akan meningkat sama seperti koefisien perpindahan panas menyeluruh juga mengalami peningkatan. Dimana pada bukaan katub 1/4 didapat laju perpindahan kalor sebesar 20,937-Watt dan koefisien perpindahan panas menyeluruh sebesar 1549,615 W/m<sup>2</sup>.°C. Pada bukaan katub 4/4 didapat laju perpindahan kalor sebesar 23.395,55-Watt dan koefisien perpindahan panas menyeluruh sebesar 14180,96 W/m<sup>2</sup>.°C. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Julianto dkk., 2022) tentang “Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe *Shell and Tube*”. (Pratama dkk., 2023) Penelitian tersebut menyebutkan bahwa, pengujian yang dilakukan dengan memvariasikan laju aliran fluida panas masuk didapati bahwa dari ketiga suhu fluida panas yaitu 40 °C, 50 °C, dan 60°C diperoleh bahwa pada suhu 40 °C merupakan suhu yang menghasilkan nilai efektivitas tertinggi yaitu dengan laju aliran 1 liter/menit = 22,73%. Serta pada penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin tinggi nilai laju aliran fluida panas, maka dapat menurunkan nilai efektivitas laju perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar kalor tipe *shell and tube*. juga melakukan penelitian yaitu menganalisis efisiensi dan efektivitas laju perpindahan panas pada *heat exchanger* tipe *double pipe* dengan aliran searah. Dalam penelitian tersebut menyebutkan bahwa pengaruh variasi waktu terhadap  $V_h = \pm 700$  l/h,  $V_c = \pm 500$  l/h yang di buat konstan pada tipe *double pipe*. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa semakin lama waktu dalam pengambilan data, maka efisiensi semakin meningkat, pada waktu 2 menit dengan  $V_h = \pm 700$  l/h, didapat efisiensi 1,46% dan efektivitas 0,476. Dan pada waktu 8 menit  $V_h = \pm 700$  l/h, didapat efisiensi = 1,478% dan efektivitas 0,919. Berdasarkan latar belakang di atas, penulis tertarik untuk menganalisis alat penukar kalor *Pignat BME/4000* yang terdapat pada Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan dengan judul “Analisis Pengaruh Laju Aliran Fluida Panas Dan Dingin Terhadap Efektivitas Penukar Kalor Tipe *Shell and Tube*”.

### 1.1. Perpindahan Kalor (Panas)

Perpindahan kalor (*heat transfer*) merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara benda atau material. Ilmu perpindahan panas tidak hanya memafarkan transfer energi panas dari benda satu ke benda lainnya, melainkan bisa digunakan untuk merencanakan atau meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Alidifan & Chalim, 2024). Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari satu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari beda suhu antara daerah daerah tersebut. Pada umumnya mekanisme atau cara-cara perpindahan panas (*heat transfer*) ada tiga macam yaitu perpindahan panas secara konduksi (hantaran), perpindahan panas secara konveksi (ilian), dan perpindahan panas secara radiasi.

### 1.2. Perpindahan Kalor Konduksi

Apabila suatu benda atau media memiliki gradien suhu maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian yang memiliki temperatur tinggi ke bagian yang memiliki temperatur rendah (Rantaujaya dkk., 2025). Oleh karena itu laju perpindahan panas sebanding dengan gradien suhu normal atau bisa disebut juga energi tersebut berpindah secara konduksi (*conduction*). Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan Francis J.B.J. Fourier, pada tahun 1882. Hubungan ini menyatakan bahwa laju aliran panas dalam cara konduksi dalam suatu bahan sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran, yaitu  $k$ , konduktivitas thermal bahan.  $A$ , luas penampang melalui mana panas mengalir dengan cara konduksi.  $dT/dx$ , adalah gradien suhu pada penampang tersebut. Jika secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan 1 di bawah ini:

$$q_{\text{konduksi}} = - kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1)$$

Dimana:

- $q$  : Laju perpindahan kalor konduksi (W)
- $A$  : Luas penampang untuk aliran panas (m<sup>2</sup>)
- $k$  : Konduktivitas thermal (W/m °C)
- $\partial T/\partial x$  : Gradien temperatur ke arah perpindahan kalor (°C/m)

Untuk tanda minus dibuat untuk memenuhi hukum kedua termodinamika, yang artinya bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur atau skala suhu, yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 disebut dengan hukum Fourier yaitu tentang konduksi kalor sedangkan untuk tanda konstanta positif  $k$  disebut konduktivitas (*thermal conductivity*).

### 1.3. Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)

Alat penukar kalor/panas adalah suatu mekanisme alat yang menghasilkan perpindahan panas dari sebuah fluida ke fluida yang lainnya. Jenis yang paling sederhana dari alat penukar kalor ialah sebuah wadah dimana fluida panas dan fluida dingin di campur secara langsung. Salah satu contoh alat penukar kalor yang menggunakan prinsip pencampuran fluida secara langsung seperti pemanas air pengisi ketel terbuka (*open feed-water heater*), pengawas panas lanjut (*desuperheater*), dan kondensor jet (*jet condenser*). Alat penukar kalor memungkinkan perpindahan panas yang bisa berfungsi sebagai pemanas atau sebagai pendingin. Pada umumnya alat penukar kalor merupakan peralatan dimana dua jenis fluida yang temperaturnya dialirkan kedalamnya dan saling bertukar kalor/panas melalui bidang-bidang perpindahan panas yang berupa dinding pipa-pipa atau sirip-sirip yang dipasangkan dalam pipa. Ada banyak jenis alat penukar kalor yang digunakan dalam proses di industri seperti sistem pembangkit tenaga, sistem pendingin, sistem turbin gas, unit produksi udara (pesawat terbang), dan lain sebagainya.

### 1.4. Shell and Tube

Alat penukar kalor cangkang dan pipa sangat umum serta banyak digunakan di industri. Pada jenis alat penukar kalor ini suatu fluida mengalir didalam tabung, dan fluida lainnya mengalir melintasi selongsong dan di luar tabung. Untuk memastikan perpindahan panas, sekat-sekat (*baffles*) dipasang di dalam selongsong, untuk memungkinkan fluida mengalir di sebelah selongsong. Bentuk fisik dari selongsong dan tabung dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1: Alat penukar kalor

## 2. METODE

### 2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium ELDA, Gedung Direktorat Lantai 4, Politeknik Negeri Medan Jl. Almamater, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Heat Exchanger Pignat model BME/4000 dengan dimensi L (165 cm), P (90 cm), dan H (190 cm) seperti gambar 2.



Gambar 2: Heat Exchanger Pignat BME/4000

## 2.2. Metode Pengumpulan Data

Dalam melakukan penelitian ini, penulis melakukan beberapa metode untuk memperoleh data agar dapat dianalisa pada penelitian ini (Pratama dkk., 2023). Sebelum mendapatkan data penulis melakukan beberapa metode untuk memperoleh data serta informasi yang dibutuhkan dalam penelitian, diantaranya:

### a) Studi Literatur

Dalam melakukan kegiatan pada penelitian ini, pertama-tama penulis mencari serta mempelajari tentang buku-buku yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian ini. Terutama buku-buku yang membahas tentang perpindahan panas serta tentang alat penukar kalor (*heat exchanger*). Sumber literatur penulis peroleh dari berbagai sumber seperti perpustakaan Politeknik Negeri Medan, jurnal, serta buku-buku yang berhubungan dengan alat yang dipakai pada penelitian ini.

### b) Survei Alat Penelitian

Dalam proses ini, penulis diharapkan untuk mengetahui kondisi sebenarnya pada alat dalam penelitian ini. Dalam kegiatan survei alat ini, penulis didampingi dan dibantu oleh dosen pembimbing yang diharapkan dapat membantu penulis memahami tentang sistem kerja pada alat dalam penelitian ini. Serta membantu penulis mendapatkan data-data untuk keperluan perhitungan analisis pada alat dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan data spesifikasi alat penukar kalor Pignat BME/4000 pada Laboratorium Politeknik Negeri Medan dalam tabel 1 dan 2.

**Tabel 1:** Data Spesifikasi Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Spesifikasi Alat Penukar Kalor ( <i>Heat Exchanger</i> )	
Merek	PIGNAT
Type	BME / 4000
Material	Baja Tahan Karat
Ukuran	L (156), P (90), H (190) cm, dan Berat 100 kg

**Tabel 2:** Data Spesifikasi *Shell and Tube*

Spesifikasi <i>Shell</i> (Aliran Air Dingin)	
Diameter Dalam <i>Shell</i> (Dis)	40 mm
Tebal <i>Shell</i>	3 mm
Panjang <i>Shell</i>	1000 mm
Sekat ( <i>Baffle</i> )	30
Jarak Antar Sekat ( <i>Baffle</i> )	30 mm
Spesifikasi <i>Tube</i> (Aliran Air Panas)	
Diameter Dalam Pipa <i>Tube</i> (Dit)	6 mm
Diameter Luar Pipa <i>Tube</i> (Dot)	8 mm
Diameter Rata-Rata Pipa <i>Tube</i> (Dmc)	7 mm
Tebal Pipa <i>Tube</i>	1 mm
Panjang Pipa <i>Tube</i>	1000 mm
Jumlah Pipa <i>Tube</i>	5
<i>Tube Pitch</i>	10 mm

Sumber: *Manual Book Pignat S.A.S*

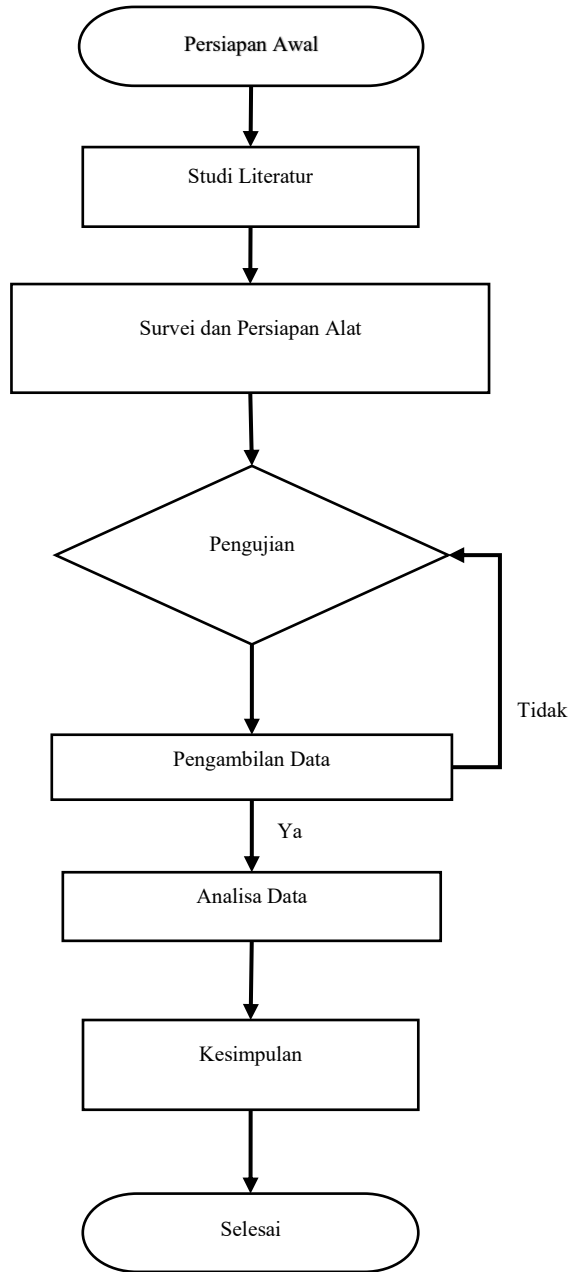
## 2.3. Tahapan Penelitian

Agar memperoleh data pada penelitian ini, diperlukan tahapan yang dilakukan pada alat penelitian agar memperoleh data yang maksimal pada pengujian dalam penelitian ini. Diantaranya sebagai berikut:

- Hal yang pertama dilakukan adalah memeriksa prosedur pada buku panduan pengoperasian alat penukar kalor *Pignat BME/4000*.
- Sebelum memulai percobaan periksa kondisi unit terutama mesin-mesin yang digunakan dan lingkungan sekitarnya.
- Putar katub sumber air.
- Putar katub pada alat penukar kalor untuk mengalirkan fluida.
- Putar katub pada *exchanger 2* secara bersamaan.
- Hidupkan monitor *LCD* lalu pilih menu *Exchanger 2*.
- Hidupkan pompa lalu atur suhu pompa hingga mencapai 50°C konstan.
- Atur *hot flow* dan *cold flow* sesuai dengan data yang dibutuhkan.
- Pilih arah aliran pada katub V12 dan V13 (untuk penelitian ini memakai aliran berlawanan).
- Ambil data yang terbaca pada *LCD* dengan besar kapasitas air panas dan air dingin yang disesuaikan pada penelitian ini.
- Sebelum mengambil data yang ditunjukkan pada layer *LCD*, biarkan fluida yang mengalir pada mesin  $\pm 5$  menit yang dibantu dengan pompa.
- Setelah mencapai waktu dan temperatur kerja, data penelitian bisa di catat.
- Data yang di catat adalah *Qh*, *Qc*, *Thin*, *Thout*, *Tein*, *Tcout*.
- Selang waktu pengambilan data pada masing masing percobaan adalah kurang lebih 3 menit.
- Setelah pengujian selesai, matikan kembali alat dan tutup seluruh katub yang dibuka.

#### 2.4. Diagram Penelitian

Rancangan penelitian dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3. Diagram alir ini menunjukkan tahapan penelitian dari awal sampai selesainya penelitian. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan penetapan tujuan, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur sebagai dasar teoritis. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data dan melakukan analisa. Sehingga bisa ditarik kesimpulan.



Gambar 3: Diagram Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Pengumpulan Data

Pada perhitungan penelitian ini digunakan data dari proses pengujian pada alat penukar kalor (*heat exchanger*) Pignat BME/4000 tipe *sheel and tube* dengan aliran berlawanan arah (*counter current*) seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 1: Data Pengujian laju aliran Air Panas Konstan ( $Q_h$ ) = 1000 l/h

Percobaan	$Q_h$ (l/h)	$T_{in}$ (°C)	$T_{out}$ (°C)	$Q_c$ (l/h)	$T_{cin}$ (°C)	$T_{cout}$ (°C)
1	1000	46,4	43,2	200	29,5	38,2
2	1000	46,1	43,5	300	29,5	36,5
3	1000	46,2	42,6	400	29,5	35,6

4	1000	46,3	42,4	500	29,5	35,1
5	1000	46,5	42,3	600	29,3	34,5
6	1000	46,3	42,1	700	29,3	34,3
7	1000	46,3	41,6	800	29,4	33,5
8	1000	46,2	41,6	900	29,4	33,1

Tabel 2: Data Pegujian laju aliran Air Dingin Konstan (Qc) = 900 l/h

Percobaan	Qh (l/h)	Thin (°C)	Thout (°C)	Qc (l/h)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	300	48,9	39	900	29,7	31,4
2	400	49	40	900	29,5	32
3	500	48	40	900	29,5	32,2
4	600	46	39,8	900	29,8	32,2
5	700	46,2	40,6	900	30,2	32,2
6	800	46,5	41,2	900	30,3	33,3
7	900	46,4	41,1	900	30	33,2
8	1000	46,7	41,6	900	29,4	33,2

Tabel 3: Data Pegujian laju aliran Air Panas dan Dingin Diatur Sama Besar

Percobaan	Qh (l/h)	Thin (°C)	Thout (°C)	Qc (l/h)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	300	47,8	40,5	300	29,3	34,7
2	400	46,5	40	400	29,6	34,2
3	500	46,2	40	500	29,5	33,6
4	600	46,1	40,5	600	29,5	33,2
5	700	46,2	40,8	700	29,7	33,6
6	800	46,4	41,3	800	29,6	34,1

### 3.2. Menentukan Efektivitas APK Tipe Shell and Tube

Untuk menentukan efektivitas APK *shell and tube*, terlebih dahulu dihitung besar kapasitas panas untuk fluida panas dan dingin menggunakan persamaan berikut:

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{p_h} \quad (2)$$

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{p_c} \quad (3)$$

Jika,  $C_h < C_c$ , maka  $C_{min} = C_h$

$$\epsilon = \left( \frac{T_{h_{in}} - T_{h_{out}}}{T_{h_{in}} - T_{c_{in}}} \right) \times 100 \% \quad (4)$$

Jika,  $C_c < C_h$ , maka  $C_{min} = C_c$

$$\epsilon = \left( \frac{T_{c_{out}} - T_{c_{in}}}{T_{h_{in}} - T_{c_{in}}} \right) \times 100 \% \quad (5)$$

a. Perhitungan hasil pengujian tabel 1, untuk data percobaan no.1:

1) Kapasitas panas untuk fluida panas

$$\begin{aligned} C_h &= \dot{m}_h \times C_{p_h} = (0,2753 \text{ kg/s}) \times (4174 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \\ &= 1149,1022 \text{ J/s} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2) Kapasitas panas untuk fluida dingin

$$\begin{aligned} C_c &= \dot{m}_c \times C_{p_c} = (0,0557 \text{ kg/s}) \times (4174 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \\ &= 232,3918 \text{ J/s} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Karena nilai  $C_c < C_h$ , maka efektivitas APK tipe *Shell and Tube* pada data hasil pengujian percobaan no.1 tabel 1 adalah sebagai berikut:

$$\epsilon = \left( \frac{T_{c_{out}} - T_{c_{in}}}{T_{h_{in}} - T_{c_{in}}} \right) \times 100 \%$$

$$\epsilon = \left( \frac{38,2 - 29,5}{46,4 - 29,5} \right) \times 100 \%$$

$$\epsilon = 51,479 \%$$

Dengan mengikuti cara yang sama, maka efektivitas pada data percobaan tabel 1 selanjutnya diuraikan pada tabel 4 di bawah ini:

**Tabel 4:** Efektivitas apk tipe *shell and tube* pada hasil pengujian laju aliran fluida air panas konstan ( $Q_h$ ) = 1000 l/h

Percobaan	$Q_h$ (l/h)	$Q_c$ (l/h)	Efektivitas (%)
1	1000	200	51,479
2	1000	300	42,169
3	1000	400	36,527
4	1000	500	33,333
5	1000	600	30,233
6	1000	700	29,412
7	1000	800	24,26
8	1000	900	22,024

b. Perhitungan hasil pengujian tabel 2, untuk data percobaan no.1:

1) Kapasitas panas untuk fluida panas

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{p_h} = (0,0822 \text{ kg/s}) \times (4174 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$= 343,1028 \text{ J/s} \cdot ^\circ\text{C}$$

2) Kapasitas panas untuk fluida dingin

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{p_c} = (0,2488 \text{ kg/s}) \times (4175,5 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$= 1038,8644 \text{ J/s} \cdot ^\circ\text{C}$$

Karena nilai  $C_h < C_c$ , maka efektivitas APK tipe *Shell and Tube* pada data hasil pengujian percobaan no.1 tabel 2 adalah sebagai berikut:

$$\epsilon = \left( \frac{T_{h_{in}} - T_{h_{out}}}{T_{h_{in}} - T_{c_{in}}} \right) \times 100 \%$$

$$\epsilon = \left( \frac{48,9 - 39}{48,9 - 29,7} \right) \times 100 \%$$

$$\epsilon = 51,563 \%$$

Dengan mengikuti cara yang sama, maka efektivitas pada data percobaan tabel 2 selanjutnya diuraikan pada tabel 5 di bawah ini:

**Tabel 5:** Efektivitas apk tipe *shell and tube* pada hasil pengujian laju aliran fluida air dingin konstan ( $Q_c$ ) = 900 l/h

Percobaan	$Q_h$ (l/h)	$Q_c$ (l/h)	Efektivitas (%)
1	300	900	51,563
2	400	900	46,154
3	500	900	43,243
4	600	900	38,272
5	700	900	35
6	800	900	32,716
7	900	900	32,317
8	1000	900	21,965

c. Perhitungan hasil pengujian tabel 3 Untuk percobaan no.1:

1) Kapasitas panas untuk fluida panas

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{p_h} = (0,0822 \text{ kg/s}) \times (4174 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$= 343,1028 \text{ J/s} \cdot ^\circ\text{C}$$

2) Kapasitas panas untuk fluida dingin

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{p_c} = (0,826 \text{ kg/s}) \times (4174,2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$= 344,7889 \text{ J/s} \cdot ^\circ\text{C}$$

Karena nilai  $C_h < C_c$ , maka efektivitas APK tipe *Shell and Tube* pada data hasil pengujian percobaan no.1 tabel 3 adalah sebagai berikut:

$$\epsilon = \left( \frac{T_{h_{in}} - T_{h_{out}}}{T_{h_{in}} - T_{c_{in}}} \right) \times 100 \%$$

$$\epsilon = \left( \frac{47,8 - 40,5}{47,8 - 29,3} \right) \times 100 \%$$

$$\epsilon = 39,459 \%$$

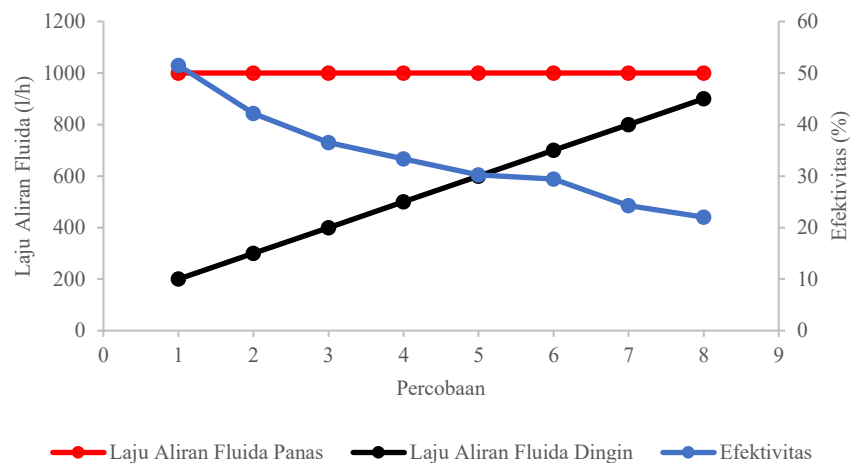
Dengan mengikuti cara yang sama, maka efektivitas pada data percobaan tabel 3 selanjutnya diuraikan pada tabel 6 di bawah ini:

**Tabel 6:** Efektivitas apk tipe *shell and tube* pada hasil pengujian laju aliran fluida air panas dan dingin di atur sama besar

Percobaan	Qh (l/h)	Qc (l/h)	Efektivitas (%)
1	300	300	39,459
2	400	400	38,462
3	500	500	37,126
4	600	600	33,735
5	700	700	32,727
6	800	800	30,357

### 3.3. Pembahasan Hasil Pengujian Laju Aliran Fluida Panas Konstan

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa jika laju aliran fluida panas diatur konstan (1000 l/h) dan laju aliran fluida dingin diatur bervariasi (200 – 900 l/h) mempengaruhi nilai efektivitas dari Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*). Ketika laju aliran fluida dingin semakin besar (laju aliran fluida panas konstan) maka nilai efektivitas dari Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) akan semakin kecil (Putri dkk., 2022). Nilai efektivitas tertinggi yaitu 51,479 % saat percobaan laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) = 1000 l/h dan laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) = 200 l/h. Nilai efektivitas terendah yaitu 22,024 % saat percobaan laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) = 1000 l/h dan laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) = 900 l/h. Berdasarkan hal tersebut membuktikan bahwa Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) pada pengujian ini sangat efektif sebagai pemanas jika laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) lebih besar dari laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) (Erwin dkk., 2024).

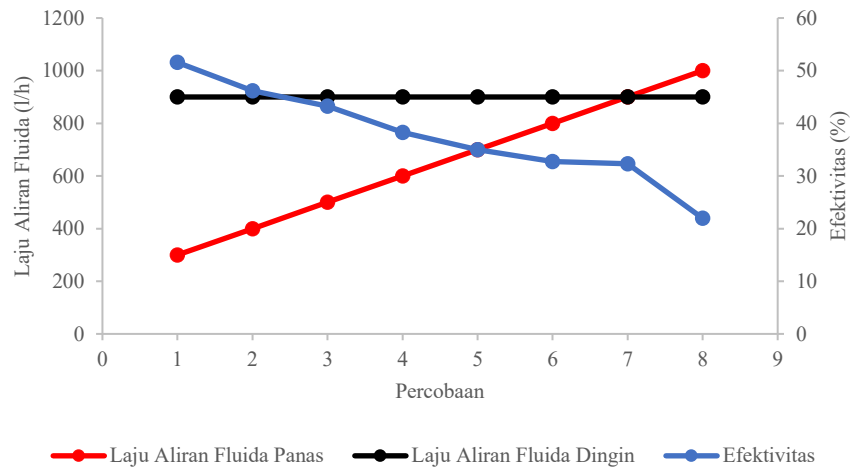


**Gambar 4:** Hasil Pengujian Laju Aliran Fluida Panas Konstan

### 3.4. Pembahasan Hasil Pengujian Laju Aliran Fluida Dingin Konstan

Berdasarkan gambar 5 di bawah dapat dilihat bahwa jika laju aliran fluida dingin diatur konstan (900 l/h) dan laju aliran fluida panas diatur bervariasi (300–1000 l/h) mempengaruhi nilai efektivitas dari Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) (Husen dkk., 2020). Ketika laju aliran fluida panas semakin besar (laju aliran fluida dingin konstan) maka nilai efektivitas dari Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) akan semakin kecil. Nilai efektivitas tertinggi yaitu 51,563 % saat percobaan laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) = 300 l/h dan laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) = 900 l/h. Nilai efektivitas terendah yaitu 21,965 % saat percobaan laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) = 1000 l/h dan laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) = 900 l/h.

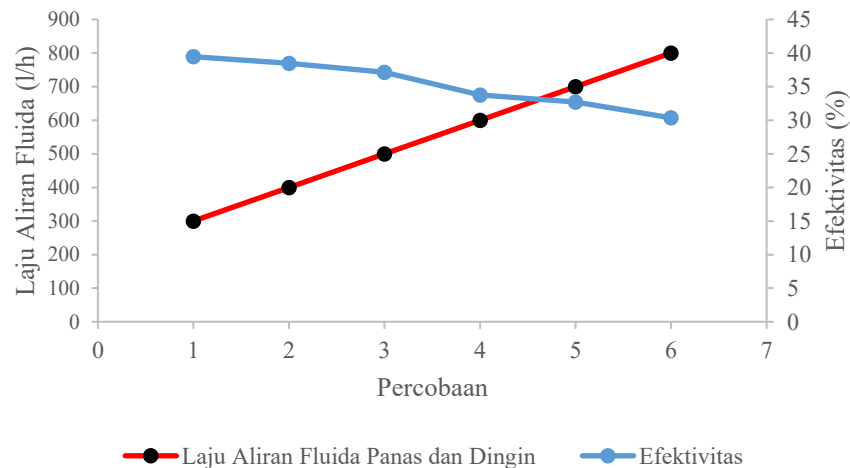
Berdasarkan hal tersebut membuktikan bahwa Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) pada pengujian ini sangat efektif sebagai pendingin jika laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) lebih besar dari laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ).



Gambar 5: Hasil Pengujian Laju Aliran Fluida Dingin Konstan

### 3.5. Pembahasan Hasil Pengujian Laju Aliran Fluida Panas dan Dingin Diatur Sama Besar

Berdasarkan gambar 6 di bawah dapat dilihat bahwa jika laju aliran fluida panas dan dingin diatur sama besar (300 – 800 l/h) mempengaruhi nilai efektivitas Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*). Apabila laju aliran fluida panas dan dingin semakin besar maka nilai efektivitas dari Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) semakin kecil (Alif Gita Arumsari & Petrus Junake Ginting, 2023). Nilai efektivitas tertinggi yaitu 39,459 % saat percobaan laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) = 300 l/h dan laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) = 300 l/h. Nilai efektivitas terendah yaitu 30,357 % saat percobaan laju aliran fluida panas ( $Q_h$ ) = 800 l/h dan laju aliran fluida dingin ( $Q_c$ ) = 800 l/h. Hal ini dapat diakibatkan karena temperatur masuk fluida panas lebih besar dan temperatur masuk fluida dingin lebih kecil (Epriansyah dkk., 2024). Efektivitas pada Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*) tidak hanya dipengaruhi oleh laju aliran fluida panas dan dingin tetapi temperatur masuk fluida sangat mempengaruhi efektivitas dari Alat Penukar Kalor (*heat exchanger*).



Gambar 6: Hasil Pengujian Laju Aliran Fluida Panas Dan Dingin Sama Besar

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Perpindahan panas yang terjadi pada Alat Penukar Kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* pada Laboratorium Politeknik Negeri Medan adalah perpindahan panas secara Konveksi dan Konduksi. Efektivitas dari Alat Penukar Kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* pada pengujian Laju Aliran Fluida Panas Konstan ( $Q_h$ ), Laju Aliran Fluida Dingin Konstan ( $Q_c$ ), dan Laju Aliran Fluida Panas dan Dingin sama besar. Dari hasil pengujian Laju Aliran Fluida Panas Konstan ( $Q_h$ ) didapatkan nilai Efektivitas tertinggi yaitu 51,479 % dan nilai Efektivitas terendah 22,024 %. Hasil pengujian Laju Aliran Fluida Dingin Konstan ( $Q_c$ ) didapatkan nilai Efektivitas tertinggi yaitu 51,563 % dan nilai Efektivitas terendah 21,965 %. Serta hasil pengujian Laju Aliran Fluida Panas dan Dingin sama besar didapatkan nilai Efektivitas tertinggi yaitu 39,459 % dan nilai Efektivitas terendah 30,357 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Laju Aliran Fluida Panas dan Dingin sangat berpengaruh terhadap Efektivitas Alat Penukar Kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger*. Ketika Laju Aliran Fluida Panas dan Dingin

mendekati atau sama besar maka Efektivitas Alat Penukar Kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya. Nilai Efektivitas Alat Penukar Kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* tidak hanya dipengaruhi oleh Laju Aliran Fluida Panas dan Dingin tetapi juga dipengaruhi oleh Temperatur Masuk Fluida Panas dan Dingin. Alat Penukar Kalor tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* sangat efektif sebagai Pemanas apabila Laju Aliran Fluida Panas lebih besar dari Laju Aliran Fluida Dingin dan sangat efektif sebagai Pendingin apabila Laju Aliran Fluida Dingin lebih besar dari Laju Aliran Fluida Panas.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang sudah terlibat dan membantu penelitian ini, sehingga penelitian ini selesai dan berjalan dengan lancar.

### KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat dianggap mempengaruhi hasil atau pembahasan dalam artikel ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alidifan, F., & Chalim, A. (2024). PENGARUH VARIASI SUHU DAN LAJU ALIR TERHADAP KINERJA PERTUKARAN KALOR SISTEM FLUIDA FORMALIN-GLISEROL 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>
- Alif Gita Arumsari, & Petrus Junake Ginting. (2023). Analysis of Heat Transfer Coefficient of Shell and Tube on Heat Exchanger Using Heat Transfer Research Inch (HTRI) Software. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 2(5), 1175–1184. <https://doi.org/10.55927/fjsr.v2i5.4271>
- Andika Frida Astuti, F., & Rochman Fachrudin, A. (2023). PENGARUH KECEPATAN FLUIDA DAN TEMPERATUR TUBE IN TERHADAP KINERJA HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND HELICAL TUBE. *Jurnal POROS TEKNIK*, 15(1), 9–14.
- Burmawi, Mulyanef, & Saputra, A. P. (2021). ANALISA UNJUK KERJA DARI HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE MENGGUNAKAN AIR SEBAGAI FLUIDA PANAS DAN FLUIDA DINGIN. *MENARA Ilmu*, (01).
- Epriansyah, A., Pupu, A., Alfandi, I. M., & Ningsih, E. (2024). Analisis Heat Exchanger Jenis Shell and Tube dengan Aliran Counter Curent. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV*.
- Erwin, Husen Asbanu, Yefri Chan, Didik Sugiyanto, & Herry Susanto. (2024). Studi Aplikasi Heat Transfer Menggunakan Sistem Penukar Panas Tipe Shell & Tube di Industri Manufaktur. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 12(1), 29–42. <https://doi.org/10.23887/jptm.v12i1.69071>
- Husen, A., Ichwan Akbar, T. M., & Cholis, N. (2020). ANALISIS PENGARUH KECEPATAN ALIRAN FLUIDA DINGIN TERHADAP EFEKTIVITAS SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER. *BINA TEKNIKA*, 16(1), 1–10.
- Julianto, Hiendro, A., & Taufiqurrahman, M. (2022). Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 3(1), 92–97.
- Pratama, A. B., Al Qadry, A. Q., Saragi, J. F. H., Boangmanalu, E. P. D., Sinaga, F. T. H., & Kadriadi, K. (2023). Analisis Efisiensi dan Efektifitas Laju Perpindahan Panas pada Alat Heat Exchanger tipe Double Pipe dengan Aliran Searah. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, 04(02). <https://ceredindonesia.or.id/index.php/mesil>
- Putri, K., Allifia, R., Dia, E., Sari, P., Pratiwi, D., Ningsih, E., Kimia, J. T., Adhi, T., & Surabaya, T. (2022). Pengaruh Laju Alir Fluida Panas dan Fluida Dingin terhadap besarnya Transfer Panas pada Alat Heat Exchanger. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*.
- Rantaujaya, A., Gusri Akhyar Ibrahim, dan, Teknik Mesin, J., Teknik, F., Lampung, U., & Lampung, B. (2025). PENGUJIAN DAN ANALISIS PERFORMA PENUKAR KALOR (SHELL AND TUBE) ALIRAN MENYILANG PADA MESIN PENERING KOPI PABRIK KOPI TULEN. *JURNAL Ilmiah Teknik Mesin FEMA* |, 3(2). <https://doi.org/10.23960/fema.v3i2.8238>
- Said, R., Titahelu, N., & Ufie, R. (2021). ANALISIS LAJU ALIRAN MASSA FLUIDA DINGIN TERHADAP EFEKTIVITAS PENUKAR KALOR SHELL AND TUBE DESTILLASI MINYAK ATSIRI CENGKEH ( *Syzygium aromaticum* ). *Seminar Nasional "ARCHIPELAGO ENGINEERING" 2021*.