



# RANCANG BANGUN ALAT PENUKAR PANAS TIPE PIPA GANDA KAJIAN ALIRAN BERLAWANAN ARAH

Yudi Siswanto<sup>a</sup>, Kadriadi<sup>a\*</sup>, Kadex Widhy Wirakusuma<sup>a</sup>, Angga Bahri Pratama<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali, Labota, Kec. Bahodopi, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah 94974, 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, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

\*Corresponding Authors At: [kadriadi@pilm.ac.id](mailto:kadriadi@pilm.ac.id) (Kadriadi) Tel.: +62811-4020-1234

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 15 Januari 2024

Direvisi pada 05 Februari 2024

Disetujui pada 14 Februari 2024

Tersedia daring pada 02 Maret 2024

### Kata kunci:

Penukar Panas, Pipa Ganda, Aliran Fluida

### Keywords:

Heat Exchanger, Double Pipe, Fluid Flow

## ABSTRAK

Alat penukar panas pipa ganda merupakan salah satu jenis alat penukar panas yang paling banyak digunakan dalam industri. Tipe ini dipilih karena konstruksi *double pipe heat exchanger* cukup sederhana, biaya pembuatannya relatif rendah dibandingkan tipe lainnya, mudah dibongkar untuk perawatan, dan tidak memerlukan banyak tempat. Penukar panas pipa ganda terdiri dari dua pipa konsentris, dimana terdapat dua jenis arah aliran fluida yaitu aliran searah dan aliran berlawanan arah. Pada penelitian ini, dirancang sebuah alat penukar panas model pipa ganda namun tetap mengacu pada kaidah desain yang ada. Sehingga terdapat manfaat sebagai metode pembelajaran mekanisme kerja, serta kinerja *heat exchanger*. Setelah dilakukan penelitian, aliran fluida panas menggunakan pompa menghasilkan kapasitas aliran 28 l/m, sedangkan aliran fluida dingin menggunakan pompa menghasilkan daya isap 2000 l/j sehingga menyebabkan perbedaan suhu pada mesin yang mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan laju aliran fluida yang mengalir, untuk mengurangi atau meminimalkan kehilangan panas yang terjadi. Laju perpindahan kalor yang hilang pada *heat exchanger* tipe *counter-flow* dari hasil perhitungan adalah sebesar 27130,46 Joule.

## ABSTRACT

*One of the types of heat exchangers that is utilised in industry the most frequently is the double pipe heat exchanger. This particular kind was selected because the construction of the double pipe heat exchanger is pretty straightforward, the production cost is relatively inexpensive in comparison to that of other types, it is simple to disassemble for maintenance purposes, and it does not require a significant amount of space of its own. A double-pipe heat exchanger is made up of two pipes that are arranged in a concentric spiral pattern. Within these pipes, there are two distinct directions of fluid flow: unidirectional flow and countercurrent flow. Within the scope of this investigation, a double-pipe model heat exchanger was developed, although it continued to make reference to pre-existing design guidelines. Therefore, there are advantages using this technology as a learning mechanism, in addition to the performance of the heat exchanger. The findings of the research indicate that the suction power produced by hot fluid flow using a pump is 28 l/m, but the suction power produced by cold fluid flow using a pump is 2000 litres per hour. These disparities in suction power cause temperature variances within the engine, which in turn affect the overall operation of the system. Because of this, it is essential to take into account the flow rate of the fluid that is moving in order to lessen or minimise the amount of heat that is lost. According to the findings of the calculation, the amount of heat that is lost in the heat exchanger of the counter-flow type is 6,480 kcal per hour. According to the findings of the calculation, the value of heat loss in counter-directional flow is 6,480 kcal/hour, which is higher than the value of heat loss in unidirectional flow, which is only 3,229 kcal/h.*

## 1. PENGANTAR

Alat penukar kalor (*Heat exchanger*) merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju temperatur lebih rendah (DA Santoso, 2017). Parameter proses perancangan alat penukar kalor tersebut berupa dimensi dan

aliran fluida. Dimensi menentukan jumlah seberapa banyak materi yang di proses dan aliran fluida menentukan berapa lama waktu kontak fluida sehingga proses pertukaran kalor dapat berlangsung maksimal (Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. 2003. *Thermodynamics an Engineering Approach 5th edition*). Keuntungan utama dari penukar panas pipa ganda dioperasikan dalam pola berlawanan arah (*counter-flow*), yang merupakan pola aliran yang paling efisien (DA Santoso, 2017).

Bentuk *heat exchanger* yang sering digunakan adalah *double pipe heat exchanger* merupakan salah satu jenis alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Dipilihnya jenis ini karena konstruksi yang dimiliki oleh *double pipe heat exchanger* ini cukup sederhana, biaya pembuatan yang relatif rendah dibandingkan dengan tipe lain, mudah dibongkar untuk perawatan, tidak memakan banyak tempat. *Double pipe heat exchanger* terdiri dari dua pipa konsentris, dimana terdapat dua jenis arah aliran fluida yaitu aliran searah dan aliran berlawanan arah (Zulfahmi, 2021). *Heat exchanger* merupakan salah satu peralatan vital didalam dunia industri, untuk itu dalam penelitian ini direncanakan sebuah *heat exchanger* model *double pipe* sederhana namun tetap mengacu pada kaidah desain yang ada. Sehingga didapat keuntungan sebagai metode pembelajaran mekanisme kerja, hingga unjuk kerja *heat exchanger*.

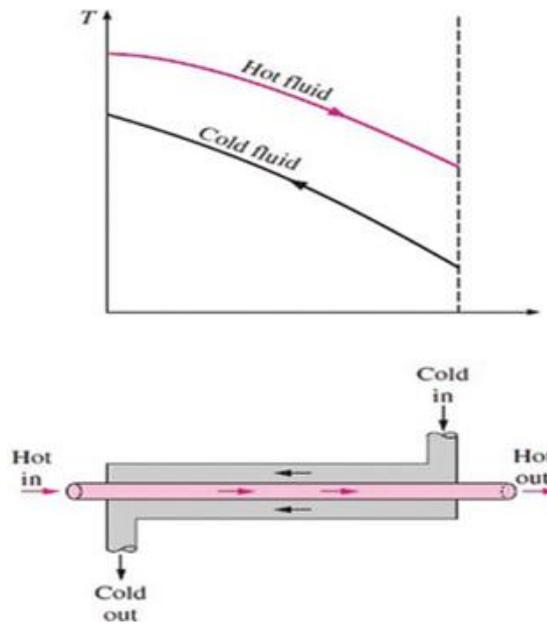
Dari penelitian sebelumnya mengatakan bahwa pengaruh kenaikan bilangan Reynolds akan mempengaruhi perubahan kenaikan laju perpindahan panas baik untuk aliran parallel maupun *counter-flow*. Pada aliran *counter-flow*, makin tinggi debit aliran yang mengalir, makin cepat mempengaruhi laju perpindahan panas yang terjadi pada *Double Pipe Heat Exchanger* (M. Ma'a, 2013).

Alat penukar panas ini nantinya akan diimplementasikan dalam proses pembelajaran khususnya dalam praktikum yang ditujukan untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas yang terjadi dengan melakukan percobaan praktikum sehingga dapat memahami fenomena perpindahan panas yang terjadi baik secara konveksi, konduksi ataupun radiasi. Penelitian dilakukan dengan merancang alat penukar panas tipe pipa ganda terdiri dari dua pipa yang memiliki perbedaan diameter antara pipa bagian luar dan bagian dalam dengan variabel proses laju aliran air (debit) berlawanan arah untuk mengetahui kesesuaian terhadap pengaruh panas yang dilepaskan. Pemilihan alat penukar kalor tipe ini dikarenakan alat penukar panas tipe pipa ganda merupakan tipe yang paling sederhana dan mudah untuk dilakukan analisa.

### 1.1. Heat Exchanger

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) merupakan suatu alat yang digunakan untuk melakukan proses perpindahan ataupun pertukaran energi, khususnya energi panas dalam bentuk suhu panas antara fluida berbentuk cair maupun uap yang berbeda suhu, energi panas dapat berpindah melalui kontak langsung dan kontak tidak langsung (Siagian, 2016).

Prinsip kerja alat penukar kalor yaitu untuk mengubah temperatur fluida dengan cara mempertukarkan panas dengan fluida lainnya, baik melalui suatu dinding pembatas maupun tanpa dinding pembatas. Mekanisme perpindahan panas dalam penukar kalor berlangsung secara konduksi (pada dinding pipa) dan konveksi (pada aliran fluida kerja) (Angga Bahri, Fan, dkk., 2023).



Gambar 1: Arah fluida berlawanan arah

Pada gambar 1 terdapat dua pipa yang memiliki perbedaan diameter antara pipa bagian luar dan bagian dalam. Pipa bagian luar yang bertujuan untuk mengalirkan fluida bersuhu rendah dan pipa bagian dalam sebagai tempat untuk mengalirkan fluida bersuhu tinggi. Yang dimana pada proses perpindahan panas pada pipa ganda aliran searah bekerja secara konduksi, dimana panas suatu aliran dipindahkan ke aliran yang bersuhu rendah melalui dinding pipa bagian dalam yang terbuat dari bahan yang bersifat sebagai konduktif.

### 1.2. Perpindahan Panas

Perpindahan kalor (*heat transfer*) merupakan ilmu perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan kalor yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan kalor. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahannya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain, akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Mekanisme perpindahan kalor ada tiga, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. (Zulfahmi, 2021) (Angga Bahri, Qadry, dkk., 2023).

**a. Perpindahan kalor secara konduksi**

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.

**b. Perpindahan kalor secara konveksi**

Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transfer energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang temperturnya di atas temperatur fluida di sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan temperatur dan energi dalam partikel-partikel fluida tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah temperatur yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.

**c. Perpindahan kalor secara radiasi**

Perpindahan kalor radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda-benda tersebut (Zulfahmi, 2021).

**1.3. Penukar Kalor**

Untuk mengetahui besarnya jumlah perpindahan panas yang di lepas pada fluida bertemperatur tinggi akan sama dengan jumlah panas yang di terima pada fluida bertemperatur rendah. Sehingga keseimbangan panasnya dihitung dengan persamaan 1 (Zulfahmi, 2021).

$$QW = qw$$

$$W \cdot Cp \cdot (T_1 - T_2) = w \cdot Cp \cdot (t_1 - t_2) \quad (1)$$

Keterangan:

$Qw$  = Kalor yang dilepas (j)

$qw$  = Kalor yang diterima (j)

$T$  = Temperatur fluida bertemperatur tinggi ( $^{\circ}C$ )

$t$  = Temperatur fluida bertemperatur rendah ( $^{\circ}C$ )

$W$  = Laju alir fluida bertemperatur tinggi (kg/jam)

$w$  = Laju alir fluida bertemperatur rendah (kg/jam)

$Cp$  = Panas spesifik (1 kcal/kg $^{\circ}C$ )

Berdasarkan untuk menentukan rata-rata perbedaan temperatur antara kedua fluida 1 dengan persamaan 2 dan 3 (Zulfahmi, 2021).

$$q = A \cdot U \cdot \Delta t_m \quad (2)$$

Dimana:

$$q = \frac{Qw + qw}{2} \quad (3)$$

Keterangan:

$q$  = Jumlah panas yang ditukar (J)

$A$  = Area permukaan perpindahan kalor ( $m^2$ ) dalam kasus tabung  $A = \pi dL$

$U$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh

$\Delta t_m$  = Rata – rata (logaritmik) perbedaan temperatur ( $^{\circ}C$ )

Persamaan  $\Delta t_m$  pada aliran berlawanan arah dengan persamaan 4.

$$\Delta t_m = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \quad (4)$$

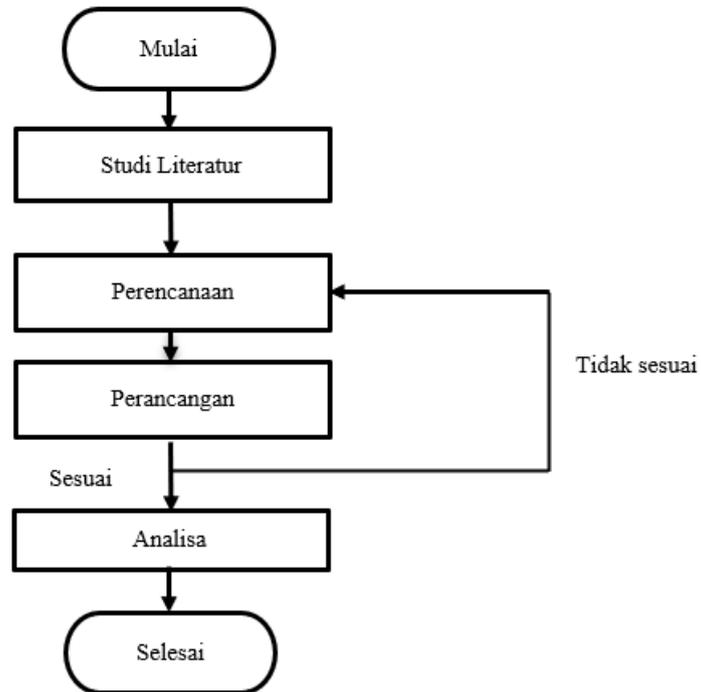
Sehingga ditentukan nilai koefisien perpindahan kalor ( $U$ ) dengan persamaan 5.

$$U = \frac{q}{A \cdot \Delta t_m} \quad (5)$$

## 2. METODE

### 2.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini bisa dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 2:** Diagram alir penelitian

Proses penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mencari dan menganalisis informasi yang relevan dengan topik yang diteliti, serta membangun landasan teori yang kokoh. Setelah itu, dilakukan perencanaan untuk mengumpulkan data dari sumber-sumber yang valid dan akurat agar analisis yang dilakukan memiliki dasar yang kuat. Selanjutnya, dilakukan perancangan instrumen atau alat yang sesuai dengan tujuan penelitian, termasuk merancang pertanyaan yang efektif untuk pengumpulan data. Proses berlanjut dengan uji coba untuk memastikan fungsionalitas, keamanan, dan kinerja perangkat sesuai dengan harapan. Akhirnya, dilakukan penyusunan laporan berdasarkan temuan dan analisis yang telah dilakukan selama proses penelitian

### 2.2. Perencanaan Awal

Penelitian ini dilaksanakan di Politeknik Industri Logam Morowali yang diharapkan mampu beroperasi secara maksimal sehingga dapat digunakan dalam proses kegiatan praktikum. Pada perencanaan penelitian ini, jadwal dibuat secara fleksibel untuk melakukan kegiatan bimbingan terkait masalah yang ada pada proses perencanaan dan pembuatan alat terkait.

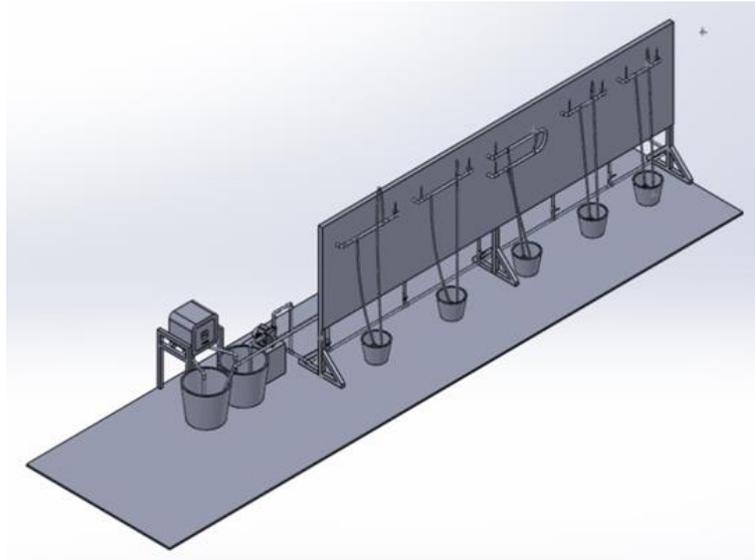
### 2.3. Desain Alat

Pada tahap ini, alat didesain menggunakan aplikasi AutoCAD. Pada tabel 1 merupakan keterangan komponen dari alat serta fungsinya. Berikut tabel 1 tentang keterangan gambar tersebut.

**Tabel 1:** Keterangan Gambar

Alat	Keterangan
<i>Water Heater</i>	<i>Water Heater</i> berfungsi untuk memanaskan atau menghangatkan air dengan menggunakan sumber panas dari elemen pemanas <i>water heater</i> tersebut sehingga dihasilkan air panas diakhir prosesnya
<i>Water Pump</i>	Berfungsi mengalirkan fluida panas dari <i>water heater</i>
<i>Kondensor Liebig</i>	Kondensor adalah alat yang di gunakan untuk mendinginkan uap panas dalam beberapa metode kimia. Prinsip kerja kondensor yaitu dengan menurunkan suhu uap secara drastis
<i>Mini Pump</i>	Berfungsi mengalirkan fluida dingin ke kondensor

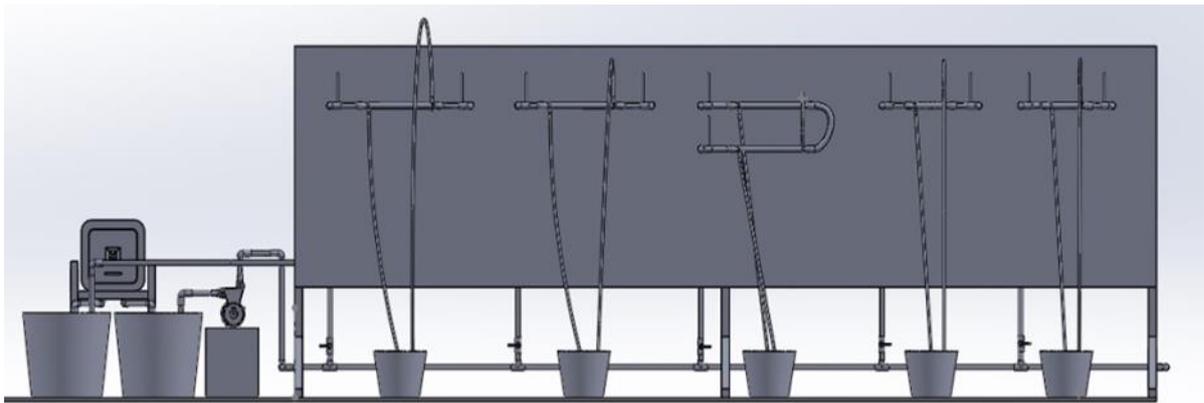
Gambar 3 adalah desain alat penukar panas tipe pipa ganda kajian perbedaan aliran berlawanan arah:



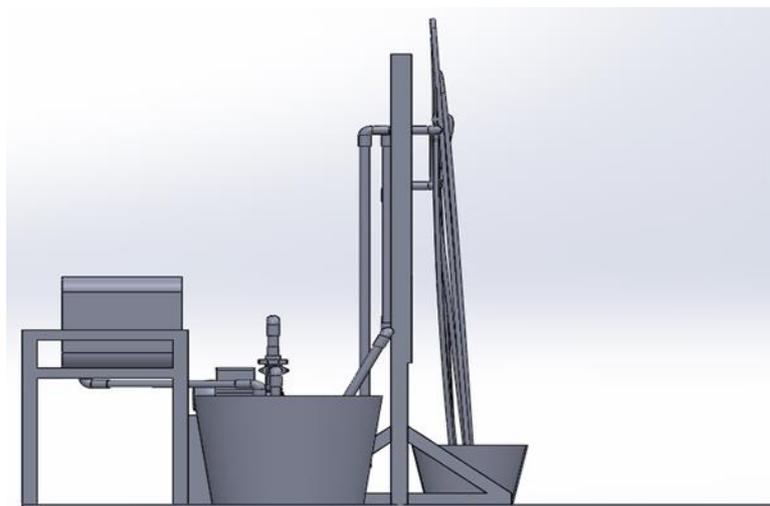
**Gambar 3:** Alat penukar panas tipe pipa ganda kajian performa aliran berlawanan arah

#### 2.4. Perancangan Alat

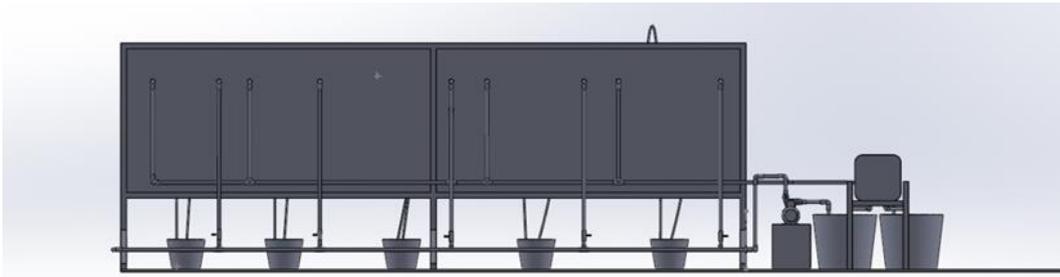
Perancangan didefinisikan sebagai proses aplikasi berbagai teknik dan prinsip bagi tujuan pendefinisian suatu perangkat, suatu proses atau sistem dalam detail yang memadai untuk memungkinkan realisasi fisiknya pada gambar 4-gambar 7 (Naptitupulu, 2019).



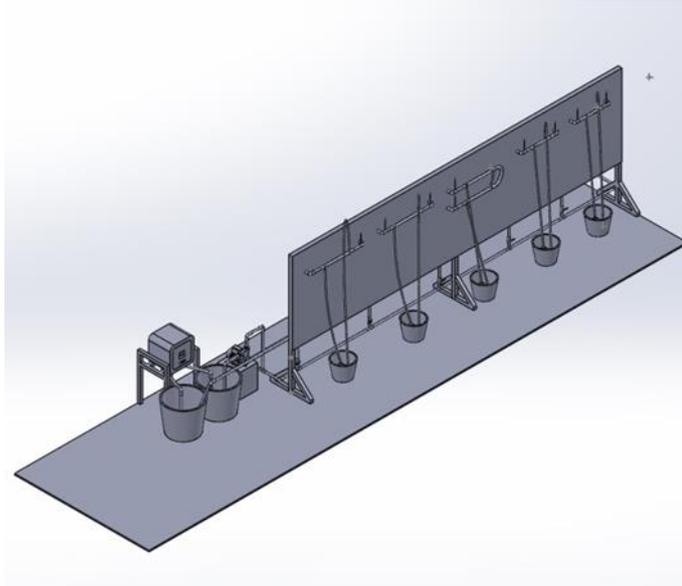
**Gambar 4:** Tampak depan



**Gambar 5:** Tampak belakang



**Gambar 6:** Tampak samping



**Gambar 7:** Isometrik

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Berbagai material dan peralatan dipilih dengan cermat sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi penelitian. Rangka utama menggunakan kayu balok berukuran 45 mm × 45 mm dengan panjang 6000 mm, karena mampu menopang beban dengan baik. Tripleks berukuran 2400 mm × 1200 mm dengan ketebalan 12 mm dipilih untuk kepraktisan dalam desain dan efisiensi waktu serta biaya. Pompa air yang digunakan memiliki spesifikasi standar tegangan dan frekuensi 220 V, 50 Hz dengan alasan ketersediaan dan keumuman penggunaannya. Pompa akuarium SAKKAI PRO AA-103 dipilih berdasarkan daya dan output yang sesuai dengan kebutuhan desain alat. Pipa PVC dengan ukuran yang disesuaikan dipilih untuk memudahkan perakitan dan efisiensi biaya. Selang kompresor dipilih sesuai dengan desain dan diameter lubang fluida dingin pada kondensor. Pemanas air yang digunakan adalah Ariston Water Heater listrik 2 dengan kapasitas 15 liter dan daya 350 W, disesuaikan dengan kapasitas penampungan dan suhu yang dapat dipanaskan. Kondensor yang terdiri dari dua jenis, yaitu kondensor Liebig dan Alhin berbahan dasar kaca Pyrex dipilih untuk mempermudah pengamatan aliran dalam kondensor. Dengan pemilihan material dan peralatan yang tepat, diharapkan penelitian dapat dilaksanakan dengan efisien dan sesuai dengan tujuan yang ditetapkan.

### **2.5 Proses Pengoperasian Alat dan Pengambilan Data**

Adapun cara mengoperasikan alat dan proses pengambilan data pada saat penelitian adalah pada tahap awal, dilakukan pengukuran seluruh bahan dasar rangka berdasarkan ukuran yang ditetapkan, diikuti dengan pemotongan menggunakan gergaji kayu. Proses penggabungan rangka utama dilakukan dengan menggabungkan kedua tripleks menggunakan paku berukuran 70 mm, serta menggabungkan kayu balok sebagai penopang agar alat dapat berdiri tegak. Selanjutnya, pipa PVC dipotong menggunakan gerinda tangan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan untuk aliran air. Pemasangan kondensor dilakukan dengan pengeboran pada tripleks menggunakan bor tangan, kemudian kondensor dipasang dan dijepit menggunakan tali ties pada tripleks, serta dihubungkan ke pipa aliran air. Proses berlanjut dengan pemasangan water pump dan pipa PVC dengan melakukan pengeleman pada setiap sambungan, termasuk ke L pipe, T pipe, keran, pompa, dan kondensor.

Selanjutnya, water heater dipasang dan selang in dan out dipasang pada bagian bawah water heater. Thermometer dipasang pada pipa yang terhubung dengan kondensor untuk memonitor suhu. Terakhir, pompa akuarium dipasang dan selang dipasang pada kondensor sebagai penyuplai air dingin. Dengan demikian, proses pemasangan semua komponen telah selesai dilakukan dengan langkah-langkah yang terperinci. Untuk mengetahui besarnya jumlah perpindahan panas yang dilepas pada fluida bertemperatur tinggi akan sama dengan jumlah panas yang diterima pada fluida bertemperatur rendah. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan nilai  $W$  adalah mengisi bak air, harus tau bak air jumlahnya berapa banyak, harus diukur, buka keran, nyalakan pompa, menghitung berapa menit waktu yg dibutuhkan sampai air di bak habis.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut:

#### 3.1. Hasil

Setelah dilakukan beberapa kali pengambilan data, akhirnya diambil data untuk tiga kali percobaan, sehingga pada tabel 2 di bawah ini merupakan data terbaik yang didapatkan pada penelitian ini.

**Tabel 2:** Data Pengamatan Nilai W Pada Aliran Berlawanan Arah

Laju aliran fluida			
W	L/S	w	L/s
1	0,41	1	0,03
2	0,70	2	0,02
3	0,68	3	0,03
Rata-Rata	0,60	Rata-Rata	0,03

**Tabel 3:** Data Pengamatan Suhu Pada Aliran Berlawanan Arah

Percobaan	T1 °C	T2 °C	t1 °C	t2 °C
1	52	49	30	31
2	46	43	30	31
3	47	44	30	31
Rata-rata	48,3	45,3	30	31

Kalor yang dilepas dengan persamaan 6 dan 7:

$$Q_w = q_w \quad (6)$$

$$W \cdot cp \cdot (T_1 - T_2) = w \cdot cp \cdot (t_2 - t_1) \quad (7)$$

$$2,160(1)(48,3 - 45,3) = 108(1)(31 - 30)$$

$$(2,160)(3) = (108)(1)$$

$$6,480 \text{ kcal/jam} = 108 \text{ kcal/jam}$$

Jumlah Panas dengan persamaan 8:

$$q = \frac{Q_w + q_w}{2} \quad (8)$$

$$q = \frac{6,480 + 108}{2}$$

$$q = 3,294 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} = 13791.32 \text{ j}$$

#### 3.2. Pembahasan

Koefisien perpindahan kalor merupakan proses dari perpindahan kalor konveksi dan konduksi dalam luasan perpindahan kalor. Koefisien perpindahan kalor dipengaruhi kecepatan fluida. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, aliran fluida panas menggunakan pompa dengan kapasitas aliran 28 liter/min, sedangkan pada fluida dingin alirannya menggunakan pompa dengan daya hisap 2000 l/jam, sehingga menyebabkan perbedaan suhu didalam sistem dan akan mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Efisiensi sistem dapat menurun karena transfer panas yang tidak optimal antara fluida panas dan fluida dingin, dari hasil perhitungan didapatkan nilai kalor yang hilang pada aliran berlawanan arah yaitu sebesar 27130.46 joule. Hasil perhitungan jumlah panas yang pada aliran berlawanan arah adalah 13791.32 joule. Oleh karena itu penting untuk mempertimbangkan laju aliran untuk mengalirkan fluida, agar dapat mengurangi atau meminimalkan *heat loss* yang terjadi.

### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Telah dibuat alat penukar panas tipe pipa ganda kajian aliran berlawanan arah untuk mengetahui fenomena perpindahan panas yang terjadi antara fluida dingin dan fluida panas, sehingga terjadi perbedaan suhu antara suhu fluida masuk dan suhu fluida keluar pada pipa *heat exchanger* tersebut. Nilai kalor yang hilang pada alat penukar panas tipe aliran berlawanan arah dari hasil perhitungan adalah 27130.46 Joule.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pihak-pihak yang sudah terlibat pada penelitian ini, murni untuk meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang konversi energi dan tanpa ada unsur paksaan lainnya. Penulis mengucapkan terimakasih banyak sehingga penelitian ini bisa selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angga Bahri, P., Fan, J., Qadry, A., Boangmanalu, E. P. D., Kadriadi, & Sahat. (2023). Variasi Laju Aliran Air Panas Terhadap Efisiensi Dan Efektifitas Laju Perpindahan Panas Pada Alat Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Dengan Aliran Searah. *Jurnal Inovator*, 6(2), 33–36.
- Angga Bahri, P., Qadry, A., Saragi, J. F. H., Boangmanalu, E. P. D., & Sinaga, F. T. H. (2023). Analisis Efisiensi dan Efektifitas Laju Perpindahan Panas pada Alat Heat Exchanger tipe Double Pipe dengan Aliran Searah. *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, 4(2), 01–09.
- Cengel, Y. A. dan Boles, M. A. (2003). *Thermodynamics an Engineering Approach 5th edition*.
- Cengel, Y. A. (2003). *Heat And Mass Transfer*. Ohio: McGraw-Hill Higher Education.
- Ghani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (2021). Rancang Bangun Alat Praktikum *Heat Exchanger* Tipe Pipa Ganda (Vol. 2, Issue 2).
- I. Bizzy Dan R. Setiadi. (2013). Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe *Shell And Tube* Dengan Program *Heat Transfer Research Inc.* (Htri).
- Khairuddin, H. I. (2018). *Design Of Heat Exchanger Type Shell And Tube*.
- Ma'a, Mustaza. (2013). Karakteristik Perpindahan Panas Pada Double Pipe *Heat Exchanger*, Perbandingan Aliran Parallel Dan *Counter Flow*.
- Naptitupulu. (2019). Rancang Bangun Alat Penukar Kalor Tipe *Shell And Tube* Sebagai Pendingin Minyak Pelumas dengan Fluida Pendingin Air.
- Santoso, D. A. (2017). Analisis Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Dan Distribusi Temperatur Aliran Fluida Pada *Heat Exchanger Counter-flow* Menggunakan Solidworks.
- Setiawan, R., Ma'rufi Fajar, S., & Fahriani, V. P. (2020). Pembuatan Dan Pengujian Alat Praktikum Penukar Kalor Tipe *Double Pipe*. 5(1),227–231.
- Septiawan, F., Anggoro, D., & Arsana, I. M. (2022). Rancang Bangun *Helical Fin* Pada Penukar Panas *Double Pipe*.
- Siagian, Saut. (2016). Analisa Efektivitas Alat Penukar Kalor Jenis *Shell And Tube* Hasil Perencanaan Mahasiswa Skala Laboratorium (Vol. 12, Issue 2), 211-216.
- Suryanto, A. (2017). Rancang Bangun Dan Pengujian *Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Tube Non Finned Four Pass*, Untuk Meringankan Empon-Empon Dengan Variasi *Mass Flow Rate*.
- Riupassa, H., Suyatno, S., & Bayani, A. (2017). Analisa Perpindahan Panas Pada *Heat Exchanger* Tipe T147d Menggunakan Sirip Duri Bentuk Kerucut, 367–376.
- Riyanto, T. & Saidah, A. (2017). Rancang Bangun Ulang Alat Penukar Kalor Tipe Pipa Ganda Di Labolaturium Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta.
- Utomo, B., & Fauzan, A. (2005). Operasional Karakteristik Alat Penukar Kalor Dengan Metode Grafik Untuk *Counter Flow* (Vol. 1).
- Zulyan, M. (2019). Rancang Bangun Dan Uji Karakteristik Perpindahan Kalor Pada Alat Penukar Kalor Pipa Konsentrik Sederhana Skala Laboratorium.
- Zulfahmi, M. T. (2021). Analisis Perpindahan Kalor Pada Double Pipe *Heat Exchanger* Beraliran Lawan Arah Menggunakan Sirip Trapesium Dengan Fluida Cair.