

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Global warming, merupakan topik utama diperbincangkan baik dikalangan nasional maupun internasional. Hal ini terkait dampaknya yang sudah merambah ke seluruh dunia, mulai dari kondisi lapisan es mencair lebih cepat dari kecepatan mencair normalnya sehingga mengakibatkan kenaikan permukaan air laut sampai beberapa *centimeter* tiap tahunnya dan kenaikan suhu bumipun tidak dapat terhindarkan yang memberikan dampak cukup berarti bagi manusia. Tercatat bahwa di Bojonegoro pernah terjadi kenaikan suhu udara sampai dengan suhu 44°C dari yang semula suhu normalnya hanya 34°-38°C. Fenomena ini merupakan kenaikan temperatur yang sangat drastis, sehingga pada saat itu beberapa warga Bojonegoro mengungsi ke tempat lain untuk menghindari serangan temperatur yang sangat tinggi tersebut (*surya.co.id, 21 Oktober 2011*).

Air Conditioner yang dalam bahasa Indonesia disebut mesin pengondisi udara dianggap sebagian masyarakat merupakan solusi yang cukup baik untuk menghindarkan manusia dari suhu yang tinggi. Mesin AC dapat menjaga kelembaban dan temperatur ruangan sehingga ruangan dengan menggunakan instalasi AC akan terasa lebih sejuk dan nyaman daripada yang hanya menggunakan *fan*. *Air Conditioner* (AC) adalah mesin yang digunakan untuk memindahkan udara dengan temperatur rendah ke temperatur lebih tinggi dengan menambahkan kerja dari luar yaitu kerja kompresor. Pada setiap akhir dari siklus pendinginan, AC akan melepas kalor dengan diikuti tetesan air kondensat.

Dikarenakan peranannya yang begitu penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang nyaman, maka tidak jarang pada gedung perkantoran semakin banyak AC yang digunakan. Dengan semakin meningkatnya penggunaan AC, maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak pula air kondensat yang dihasilkan.

Di kalangan masyarakat, air kondensat AC langsung saja dibuang tanpa mempertimbangkan manfaat apa yang akan didapat jika air tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik. Ditinjau dari segi ekonomis masyarakat, air kondensat dapat dimanfaatkan untuk air kebutuhan masyarakat sehari-hari misalnya untuk air pengisi setrika uap, air penyiram tanaman, air pengisi kolam, atau air pengisi akuarium.

Apabila dilakukan pengkajian terhadap air kondensat tersebut dalam kaitannya dengan bidang Teknik Mesin, maka air kondensat memiliki beberapa manfaat dalam hal

perantara pemindah kalor. Diantaranya adalah sebagai air pengisi boiler, air pengisi radiator mobil, selain itu air kondensat juga dapat digunakan sebagai fluida pendingin pada alat penukar kalor.

Dengan adanya air kondensat yang digunakan sebagai air pengisi fluida pendingin pada alat penukar kalor, dapat mengurangi potensi terbentuknya *slag* didalam *tubing* dikarenakan tidak adanya mineral yang terkandung didalam air kondensat tersebut. Sehingga alat penukar kalor tersebut dapat mempertahankan unjuk kerja terbaik dengan waktu yang lebih lama. Selain itu dengan memanfaatkan air kondensat sebagai fluida pendingin suatu alat penukar kalor, dapat mengurangi pengeluaran untuk biaya pembelian fluida pendingin alat dengan harga relatif mahal.

Selain air kondensat, fluida pendingin yang akan dibandingkan dalam skripsi ini adalah air PDAM. Air PDAM lebih mudah didapat daripada air kondensat yang harus menampung air hasil kondensasi dari AC, air PDAM didapat cukup dengan memutar kran air yang berhubungan dengan instalasi pemipaan pada air PDAM maka air PDAM dapat dengan mudah dialirkan pada alat penukar kalor. Berbeda dengan air kondensat, air PDAM terdapat beberapa kandungan mineral yang jumlahnya sudah disesuaikan dengan kebutuhan mineral oleh para konsumen. Sehingga kandungan mineral tersebut juga mempengaruhi kalor jenis dari fluida tersebut.

Jenis terakhir yang biasanya digunakan pada alat penukar kalor adalah jenis fluida berupa *coolant*. *Coolant* adalah suatu cairan kimia yang digunakan untuk perawatan sistem pendingin mesin, baik yang berbahan bakar solar maupun berbahan bakar bensin dari kemungkinan mengalami *over heating*. Cara kerja dari *coolant* adalah dengan memperlambat kenaikan titik didih dari suatu fluida pendingin ataupun dengan cara menaikkan titik didih dari fluida pendingin tersebut. Dalam skripsi kali ini jenis *coolant* yang digunakan adalah jenis *coolant* yang khusus digunakan untuk pendingin radiator.

Oleh karena itu, dalam skripsi ini akan dibahas mengenai laju perpindahan kalor, penurunan tekanan, dan efektivitas dari penggunaan masing-masing fluida pendingin pada alat penukar kalor yang pada akhirnya didapatkan karakteristik dari fluida tersebut. Sehingga dengan adanya karakteristik tersebut, akan memudahkan pembaca dalam menentukan jenis fluida yang akan sesuai untuk digunakan sebagai fluida pendingin pada alat penukar kalor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh penggunaan jenis fluida pendingin terhadap unjuk kerja alat penukar kalor jenis *double pipe heat exchanger*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan masalah, maka dalam penelitian ini digunakan beberapa batasan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada sebuah model instalasi *double pipe heat exchanger* dengan tipe aliran *counterflow*
2. Fluida pendingin yang digunakan ada tiga jenis, yaitu:
 - Air PDAM di Malang
 - Air Kondensat buangan AC
 - *Coolant* radiator dengan merk "X"
3. Fluida panas yang digunakan adalah Air PDAM
4. Variasi temperatur air panas yang digunakan adalah:
 - 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, dan 70°C
5. Dianggap tidak ada kerak di bagian dalam pipa
6. Dianggap dinding pipa luar terisolasi sempurna

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan air PDAM, air kondensat, dan *coolant* sebagai fluida pendingin terhadap laju perpindahan kalor, penurunan tekanan dan efektivitas pada instalasi *double pipe heat exchanger*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Agar masyarakat mengetahui jenis fluida pendingin yang paling baik dalam hal pertukaran kalor.
2. Sebagai perwujudan sumbangsih terhadap masyarakat umum sebagai sarjana Teknik Mesin.
3. Memberikan dasar penelitian selanjutnya mengenai alat penukar kalor, khususnya untuk peningkatan unjuk kerja dari alat penukar kalor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

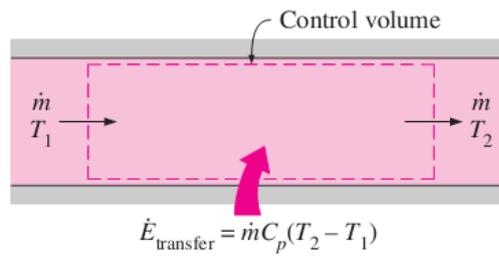
Yang, et al (2002) melakukan penelitian mengenai pengaruh besarnya debit yang dialirkan dalam sebuah alat penukar kalor pada kendaraan bermotor. Hasil penelitian dapat disimpulkan semakin besar debit fluida pendingin dalam suatu alat penukar kalor, maka laju perpindahan kalor yang terjadi akan semakin besar.

Subroto, Sartono Putro (2004) melakukan penelitian pengaruh *coolant* terhadap pelepasan kalor pada mesin pendingin, penelitian dilakukan dengan memvariasikan beberapa jenis *coolant* dan air tanah. Hasil penelitian disimpulkan bahwa kemampuan melepas kalor dipengaruhi oleh kalor jenis pada tekanan tetap dan perbedaan temperatur masuk dengan temperatur keluar radiator.

2.2 Energi Kalor

Energi kalor merupakan energi yang menunjukkan tingkat kecepatan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusun dari suatu benda. Kalor berpindah dari benda yang memiliki temperatur tinggi menuju benda yang memiliki temperatur lebih rendah. Secara mikroskopis, temperatur menunjukkan energi kalor yang dimiliki oleh suatu benda. Semakin tinggi kecepatan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusun suatu benda, maka semakin tinggi temperatur benda tersebut. Sehingga energi kalor yang dimiliki oleh benda tersebut juga akan semakin tinggi.

Pada fluida yang mengalir secara *steady* didalam suatu sistem dengan volume tertentu dimana terdapat sisi *inlet* dan *outlet* yang jumlahnya masing-masing satu buah, maka laju aliran massa fluida yang masuk akan sama dengan laju alir massa yang keluar sistem atau $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = \dot{m}$. Apabila fluida tersebut tidak melakukan kerja maka besarnya kalor yang ditransfer oleh fluida tersebut akan sama dengan perubahan energi pada sistem tersebut, apabila diilustrasikan dengan gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Transfer energi kalor pada sistem dengan control volume
Sumber: Cengel (2003:13)

Besarnya laju energi kalor pada sistem yang terdapat diatas dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2-1)$$

dengan :

q = laju energi kalor (J/s) atau (W)

\dot{m} = laju alir massa (kg/s)

C_p = kalor jenis pada tekanan konstan (J/kg.°C)

ΔT = perbedaan temperatur pada saluran masuk dan keluar (°C)

Terdapat dua jenis kalor diantaranya adalah:

a. Kalor Laten

Kalor laten adalah jumlah kalor yang harus diserap atau dilepas fluida kerja selama mengalami perubahan fase.

b. Kalor Sensibel

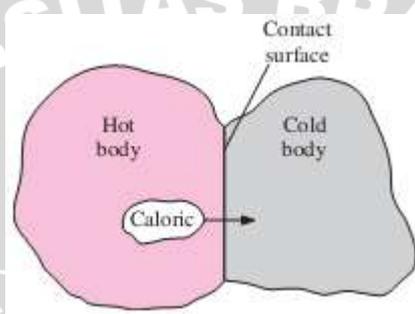
Kalor sensibel adalah jumlah kalor yang mampu menyebabkan perubahan temperatur tanpa mengalami perubahan fase.

2.3. Perpindahan Kalor

Jika dua buah benda dengan temperatur yang berbeda maka akan terjadi perpindahan kalor dari benda yang memiliki temperatur lebih tinggi menuju benda yang memiliki temperatur lebih rendah hingga kedua temperatur tersebut mencapai kondisi setimbang. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai transfer energi dari suatu sistem ke sistem lain akibat adanya perbedaan temperatur, baik melalui perantara ataupun tanpa perantara. Mekanisme perpindahan kalor dapat terjadi dengan tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Dalam penelitian ini, mekanisme perpindahan kalor yang terjadi yaitu secara konduksi dan konveksi.

2.3.1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi merupakan transfer energi dari partikel yang memiliki energi lebih besar menuju partikel yang memiliki energi lebih kecil akibat adanya interaksi antara kedua partikel yang berdekatan dan kalor dapat berpindah tanpa disertai perpindahan partikel perantara. Konduksi dapat terjadi dalam zat padat, cair, maupun gas. Pada perantara cair dan gas, konduksi terjadi karena adanya molekul yang bertumbukan dan berdifusi dengan gerakan acak. Pada zat padat, konduksi dikarenakan adanya kombinasi dari getaran dari molekul dalam kisi dan transport energi melalui elektron bebas. Perpindahan kalor secara konduksi melalui medium zat padat dapat diilustrasikan pada gambar 2.2 dibawah ini:



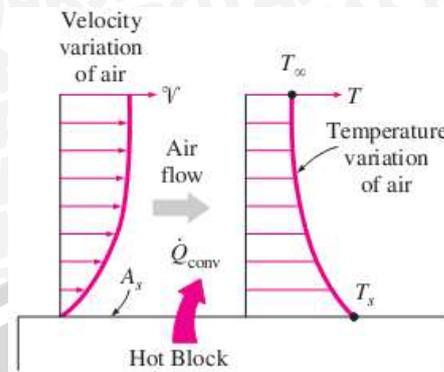
Gambar 2.2 Perpindahan kalor secara konduksi
Sumber: Cengel (2005:62)

2.3.2. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi merupakan perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan partikel medium perantara. Transfer energi terjadi antara permukaan benda padat yang berdekatan dengan fluida sehingga terjadi kombinasi antara konduksi dengan gerakan dari fluida. Mekanisme perpindahan kalor konveksi merupakan proses pencampuran satu bagian fluida dengan bagian fluida yang lain sehingga terjadi proses perpindahan energi dari fluida tersebut.

Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya diatas suhu fluida sekitarnya berlangsung dengan 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 suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana akan bercampur dengan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. Dalam hal ini alirannya adalah aliran fluida maupun energi. Energi sebenarnya disimpan di dalam partikel-partikel fluida

dan terbawa oleh gerakan massa partikel-partikel tersebut. Apabila diilustrikan, proses perpindahan kalor secara konveksi dapat diilustrasikan pada gambar berikut



Gambar 2.3 Perpindahan kalor secara konveksi
Sumber: Cengel (2003:26)

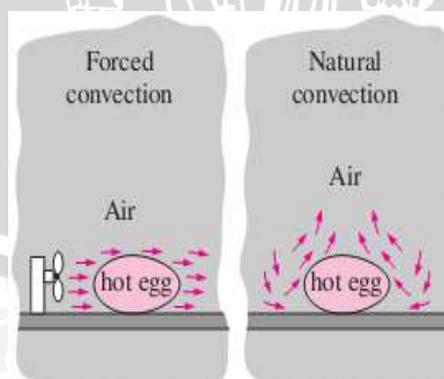
Secara umum, perpindahan kalor konveksi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Konveksi Bebas (*Free Convection*)

Gerakan perpindahan fluida pada konveksi bebas terjadi karena adanya perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh adanya perbedaan atau gradien temperatur, proses ini terjadi secara alamiah sehingga dapat disebut konveksi alamiah (*natural convection*)

2. Konveksi secara paksa (*Force Convection*)

Pada konveksi paksa fluida dipaksa bergerak oleh adanya gaya atau energi dari suatu peralatan, misalnya pompa dan *blower*. Dalam penerapan di dunia industri proses ini lebih sering digunakan daripada konveksi alamiah, karena mempunyai transfer energi kalor yang lebih besar tetapi dibutuhkan energi tambahan untuk menggerakkan sudu pada pompa maupun *blower*.



Gambar 2.4 Konveksi paksa dan konveksi natural
Sumber: Cengel (2003:26)

2.4. Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Heat Exchanger yang dalam Bahasa Indonesia disebut alat penukar kalor adalah alat yang berfungsi memindahkan kalor antara dua fluida yang mempunyai perbedaan temperatur dan menjaga agar kedua fluida tersebut tidak bercampur (Yunus A Cengel 2nd edition, 2003:569).

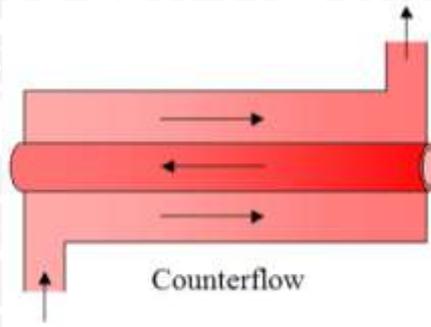
Alat penukar kalor atau dalam industri kimia populer dengan istilah, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang digunakan untuk tempat terjadinya perpindahan kalor dan dapat difungsikan sebagai pemanas ataupun pendingin. Biasanya medium pemanas yang dipakai adalah uap kalor (*super heated steam*) atau bisa juga menggunakan medium air yang memiliki temperatur lebih tinggi, sedangkan untuk medium pendinginnya menggunakan air memiliki temperatur lebih rendah (*cooling water*). Alat penukar kalor dirancang sedemikian rupa agar perpindahan kalor dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran kalor terjadi karena adanya kontak, baik antar fluida kerja maupun fluida kerja dengan dinding pemisah antara medium pemanas dan medium pendinginnya.

Penggunaan alat penukar kalor ini dipakai dalam industri kilang minyak, pabrik kimia, industri gas alam, sistem refrigerasi, pembangkit listrik maupun sistem pendingin otomotif. Salah satu contoh sederhana dari alat penukar kalor adalah radiator mobil dimana cairan pendingin mampu memindahkan kalor dari putaran mesin ke udara sekitar.

Berdasarkan jenis aliran, alat penukar kalor dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu jenis *parallel flow*, *cross flow*, dan *counter flow*. Pada skripsi ini jenis aliran yang digunakan adalah jenis aliran *counter flow*.

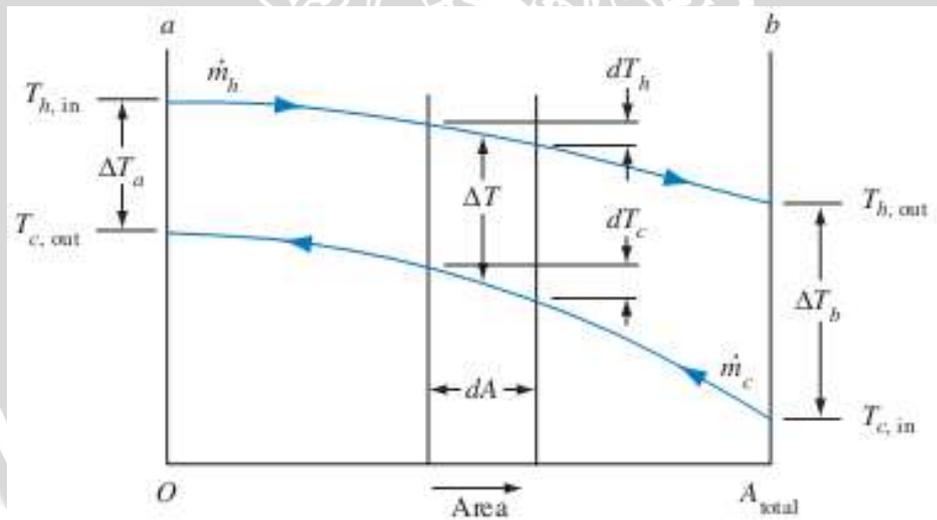
2.4.1. Jenis Aliran *Counter Flow*

Pada alat penukar kalor dengan tipe aliran berlawanan arah (*counter flow*), dua jenis fluida kerja yang mengalir dengan posisi saling berlawanan arah. Berdasarkan referensi, alat penukar kalor dengan jenis aliran *counter flow* mampu menghasilkan laju perpindahan kalor yang paling baik diantara ketiga jenis aliran pada alat penukar kalor yang telah disebutkan diatas. Oleh sebab itu pada skripsi ini jenis aliran yang digunakan pada alat penukar kalor adalah jenis aliran *counter flow*.



Gambar 2.5 Arah aliran secara *counter flow*
 Sumber: Anonymous 1

Pada alat penukar kalor dengan jenis aliran *counter flow*, dapat menghasilkan selisih temperatur fluida panas masuk dan temperatur fluida panas yang besar sehingga jenis aliran tipe counter flow ini memiliki unjuk kerja yang lebih baik dalam hal perpindahan kalor. Keuntungan yang lain dari tipe ini adalah diperlukan luas permukaan perpindahan kalor yang lebih besar dibanding dengan aliran searah. Adapun proses perubahan temperatur pada alat penukar kalor aliran berlawanan dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Profil temperatur alat penukar kalor aliran berlawanan
 Sumber: Frank Kreith 7th edition (2011:498)

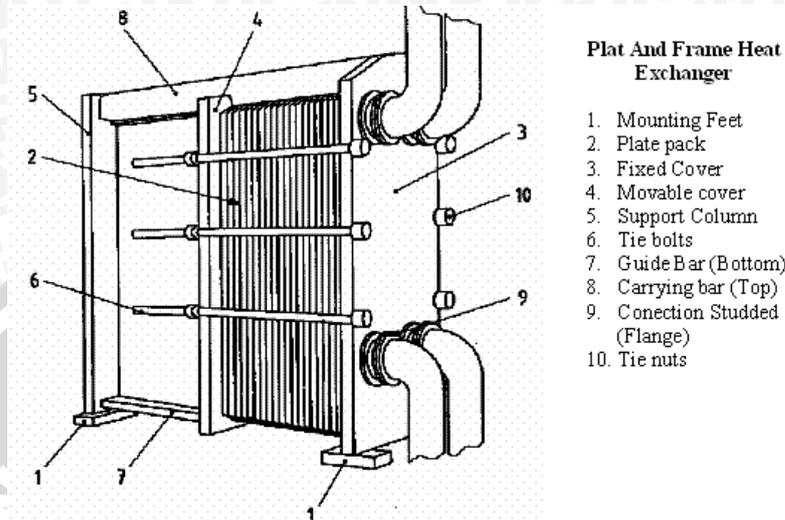
Menurut jenis konstruksi alat penukar kalor dapat dibedakan menjadi tiga kelompok utama, yaitu:

a. *Type Plate Heat Exchanger*

Plate heat exchanger adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menggunakan plat sebagai perantara perpindahan kalor diantara dua fluida. Suatu gasket pada *plat heat*

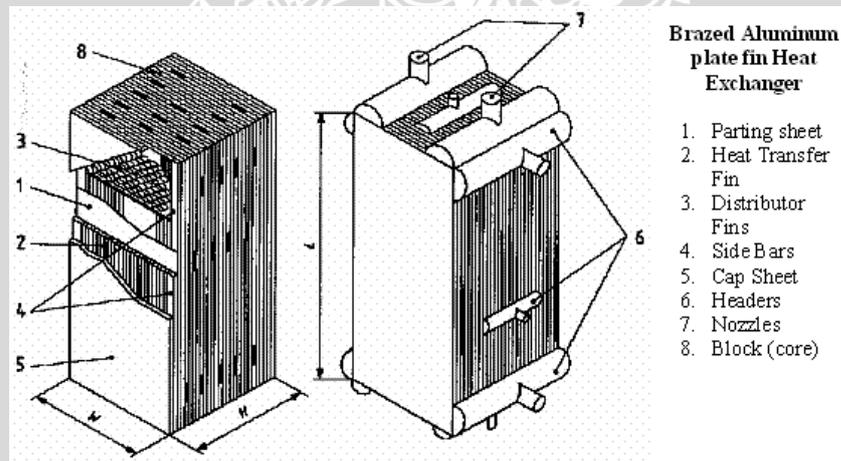
exchanger berfungsi untuk menghindari bercampurnya fluida kalor dan fluida dingin. Gasket ini diapit diantara plat dan diisolasi di sekeliling tepi plat tersebut.

Untuk memperjelas konstruksi dari *plate heat exchanger* dapat ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.7a *Plate and frame heat exchanger*

Sumber: Anonymous 2



Gambar 2.7b *Brazed aluminium plat fin heat exchanger*

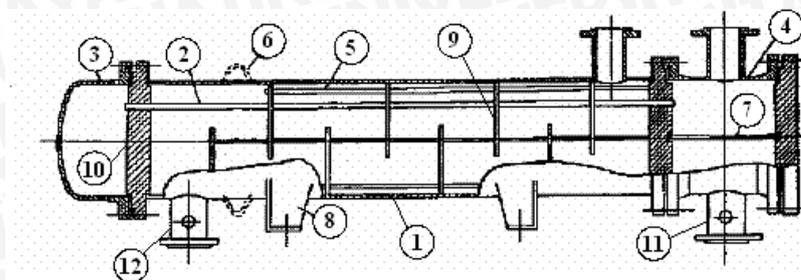
Sumber: Anonymous 2

b. *Shell and Tube Heat Exchanger*

Shell and tube heat exchanger merupakan salah satu dari jenis dari alat penukar kalor. Alat penukar kalor ini merupakan jenis yang paling umum digunakan pada industry seperti pada pemurnian oli dan proses kimia lainnya. *Shell and tube heat exchanger* terdiri dari *shell* (bejana bertekanan) dengan *tube bundle* didalam bejana tersebut. *Tube bundle* adalah susunan dari beberapa *tube* yang membentuk pola tertentu, tersusun secara lurus ataupun secara longitudinal. Fluida dengan temperatur lebih tinggi mengalir didalam *tube*

kemudian fluida lainnya mengalir diluar *tube* (didalam *shell*) untuk memindahkan kalor pada fluida panas tersebut.

Untuk memperjelas konstruksi dari alat penukar kalor jenis *shell and tube heat exchanger* ditunjukkan pada gambar 2.8.



Shell And Tube Heat Exchanger

8. Shell	3. Expansion Bellows	1. Nozzle (Tube side)
9. Tubes	4. Pass Partition plate	2. Nozzle (Shellside)
10. Rear Head barrel	5. Support (Saddle)	
11. Stationary Head barrel	6. Baffle	
12. Tie Rods & Spacers	7. Tubesheet	

Gambar 2.8 *Shell and tube heat exchanger*

Sumber: *Anonymous 2*

c. *Double Pipe Heat Exchanger*

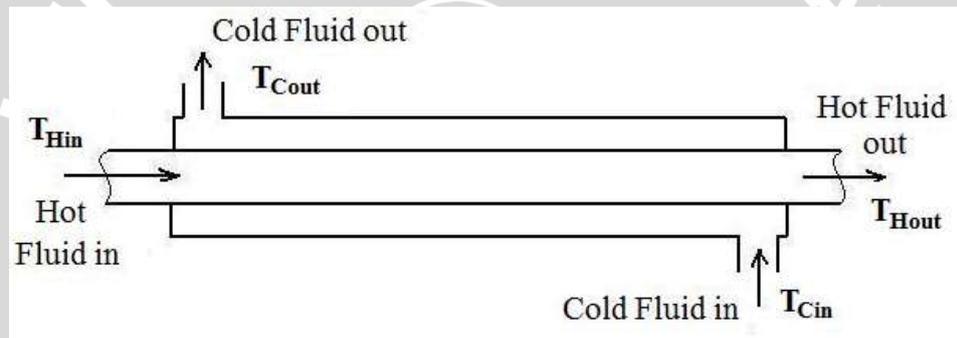
Double pipe heat exchanger merupakan salah satu jenis alat penukar kalor yang menggunakan satu pipa penukar kalor didalam pipa dingin. Dalam desain pipa kalor penukar ganda, faktor pentingnya adalah jenis pola aliran dalam penukar kalor. Sebuah penukar kalor pipa ganda baik digunakan untuk pola aliran *counter flow* maupun *parallel flow*. Pola aliran *cross flow* tidak cocok digunakan pada heat exchanger jenis ini, karena jika ditinjau dari konstruksinya dinding pipa luar diisolasi agar tidak terjadi perpindahan kalor secara melintang.

Double pipe heat exchanger merupakan jenis alat penukar kalor yang paling sederhana, dimana terdapat pipa penukar kalor didalam pipa lain yang lebih besar. Salah satu fluida mengalir melalui pipa di dalam dan aliran lain melalui *annulus* antara kedua pipa. Dinding pipa merupakan perantara pertukaran kalor antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur. Keuntungan yang didapat dari alat penukar kalor jenis ini diantaranya alat penukar kalor jenis ini memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi karena geometri alat penukar kalor ini dapat divariasikan dengan mudah hanya dengan mengubah panjang pipa, diameter pipa dan juga cara penyusunannya. Selain itu apabila alat penukar kalor ini menggunakan pola aliran secara *counter flow*, dapat menghasilkan kinerja terbaik untuk menghasilkan pertukaran kalor yang maksimal. Pada skripsi kali ini jenis alat penukar kalor yang digunakan adalah jenis *double pipe heat exchanger*.

Gambar 2.9 dibawah ini akan memperjelas konstruksi dari alat penukar kalor jenis pipa ganda.



Gambar 2.9a *Double pipe heat exchanger*
Sumber: *Anonymous 3*



Gambar 2.9b *Double pipe heat exchanger dengan pola aliran counter flow*
Sumber: *Anonymous 4*

2.4.2. Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor

Unjuk kerja alat penukar kalor adalah parameter yang akan digunakan dalam menilai suatu alat penukar kalor. Beberapa parameter yang akan diketahui pada skripsi ini ada tiga macam, yaitu:

2.4.2.1. Laju Perpindahan Kalor

Laju perpindahan kalor adalah besar kalor yang dapat dipindahkan pada suatu instalasi alat penukar kalor tiap satuan detik.

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2-1)$$

Keterangan:

q = laju perpindahan kalor (kW)

\dot{m} = laju alir massa fluida (kg/s)

C_p = kalor jenis fluida (kJ/kg^oC)

ΔT = perbedaan temperatur (°C)

2.4.2.2. Penurunan Tekanan

Penurunan tekanan pada suatu aliran disebabkan oleh gesekan atau kerugian antara fluida dengan saluran. Pada alat penukar kalor, semakin tinggi penurunan tekanan akan menyebabkan semakin tinggi daya yang dibutuhkan oleh pompa atau kompresor untuk mengalirkan fluida. Hal inilah yang dapat menyebabkan terjadinya *head losses*, seperti kita ketahui *head losses* terdiri dari dua jenis yaitu *minor losses* dan *major losses*. Pada skripsi ini yang dibahas hanya pada *major losses*.

- *Major losses*

Kerugian pada aliran fluida yang disebabkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding saluran. Besarnya *major losses* dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

$$h_{ma} = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (2-2)$$

Dimana:

h_{ma} = *major losses* (m)

f = koefisien gesek

L = panjang pipa (m)

v = kecepatan fluida (m/s)

D = diameter pipa (m)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

Besar penurunan tekanan pada aliran fluida tersebut dapat diketahui dengan cara memasang manometer yang terhubung dengan sisi masuk dan keluar dari pipa sehingga akan dihasilkan beda ketinggian permukaan fluida, besarnya penurunan tekanan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_1 - P_2 \\ &= \rho \cdot g \cdot \Delta z \end{aligned} \quad (2-3)$$

Dimana :

ΔP = penurunan tekanan (N/m²)

ρ = massa jenis fluida referensi (kg/m³)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Δz = beda ketinggian permukaan fluida referensi (m)

2.4.2.3. Efektivitas

Efektivitas adalah satuan yang dapat menunjukkan kinerja dari alat penukar kalor dengan cara membandingkan antara laju perpindahan kalor secara aktual dan juga laju perpindahan kalor maksimal yang dapat dilakukan. Perpindahan kalor maksimal yang dimaksud adalah perpindahan kalor yang ditinjau dari sisi masuk pada masing-masing fluida yang memiliki perbedaan temperatur sebelum terjadi pertukaran kalor.

Efektivitas dapat dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \times 100\% \quad (2-4)$$

Keterangan:

q_{aktual} = besar laju perpindahan kalor yang pada kondisi aktual (kW)

q_{maks} = besar laju perpindahan kalor maksimal yang dapat tercapai (kW)

Untuk menentukan q_{maks} harus diketahui beberapa parameter terlebih dahulu, yaitu:

$$\bullet \Delta T_{\text{maks}} = T_{h_{\text{in}}} - T_{c_{\text{in}}} \quad (2-5)$$

Keterangan:

ΔT_{maks} = perbedaan temperatur pada kondisi yang paling besar ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{h_{\text{in}}}$ = temperatur fluida panas pada sisi masuk alat penukar kalor ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{c_{\text{in}}}$ = temperatur fluida pendingin pada sisi masuk alat penukar kalor ($^{\circ}\text{C}$)

$$\bullet C_h = \dot{m} \cdot C_p \quad (2-6)$$

Keterangan:

C_h = laju kapasitas kalor ($\text{kJ/s}^{\circ}\text{C}$)

\dot{m} = laju alir massa (kg/s)

C_p = kalor jenis ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$)

$$\bullet q_{\text{maks}} = \Delta T_{\text{maks}} \cdot C_h \quad (2-7)$$

Keterangan:

q_{maks} = besar laju perpindahan kalor maksimal yang dapat tercapai (kW)

ΔT_{maks} = perbedaan temperatur fluida panas pada sisi masuk dan sisi keluar ($^{\circ}\text{C}$)

C_h = laju kapasitas kalor ($\text{kJ/s}^{\circ}\text{C}$)

2.5. Fluida

Fluida adalah suatu zat yang akan mengalir atau mengalami deformasi secara berkelanjutan apabila dikenai gaya geser sekecil apapun.

2.5.1. TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS atau total padatan terlarut adalah bahan-bahan berupa zat padat terlarut dengan diameter ($< 10^{-6}$ mm) yang berupa senyawa kimia dan bahan-bahan lain yang tidak dapat tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 μm (Vanho, 2010). TDS dapat berupa garam maupun mineral, serta kation-anion yang terlarut dalam fluida *incompressible*. Padatan yang terlarut dalam fluida tersebut berasal dari beberapa sumber anorganik maupun organik. Contoh padatan organik seperti daun, lumpur, plankton, dan sebagainya. Padatan yang berupa sumber anorganik adalah berupa fosfor, sulfur, garam mineral dan mineral-mineral lainnya.

2.5.2. Massa Jenis (ρ)

Massa jenis adalah besarnya massa yang terkandung pada suatu *volume* tertentu.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.8)$$

Dengan :

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

m = massa fluida (kg)

v = *volume* fluida (m^3)

2.5.3. Kalor Jenis (C_p)

Banyaknya energi kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan satu derajat temperatur tiap satuan massa pada tekanan konstan.

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2-9)$$

Keterangan :

Q = banyak kalor yang diterima (J)

m = massa dari fluida (kg)

ΔT = selisih temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

2.6. Fluida Pendingin

Fluida pendingin adalah fluida yang digunakan sebagai medium perpindahan energi kalor pada suatu siklus sehingga didapatkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan suhu awal sebelum dilakukan pendinginan. Selain sebagai medium perpindahan energi, fluida pendingin harus memberikan pengaruh terhadap unjuk kerja alat penukar kalor.

Dalam skripsi ini, fluida pendingin yang digunakan terdiri dari tiga jenis fluida yaitu:

a. Air PDAM

Air PDAM adalah air yang didapat dari perusahaan pemerintah yang khusus mengelola dan distribusikan air olahan kemudian dijual kepada masyarakat. Pada air PDAM terdapat beberapa mineral yang sengaja ditambahkan kedalam air untuk menjadikan air yang dijual kepada masyarakat memenuhi kadar mineral standart yang dibutuhkan oleh konsumen.



Gambar 2.10 Air PDAM

b. Air Kondensat AC

Air kondensat AC adalah air murni kondensasi dari proses yang terjadi pada kondensor AC. Air kondensat tidak mengandung mineral-mineral maupun zat-zat lain yang tidak terdapat pada air yang banyak dijumpai.



Gambar 2.11 Air kondensat AC

c. *Coolant*

Coolant adalah suatu cairan kimia yang digunakan khusus untuk perawatan sistem pendingin mesin, baik yang berbahan bakar solar maupun berbahan bakar bensin dari kemungkinan mengalami *over heating*. Cara kerja dari *coolant* adalah dengan memperlambat kenaikan titik didih dari suatu fluida pendingin ataupun dengan cara menaikkan titik didih dari fluida pendingin tersebut.

Coolant dibuat dengan mencampurkan cairan etilen glikol atau 1,2-etanadiol dengan *aquades* dengan perbandingan tertentu dengan jumlah yang disesuaikan dengan kebutuhan dan iklim dimana mesin tersebut digunakan.

Coolant yang baik adalah *coolant* yang memiliki titik didih yang tinggi, viskositasnya rendah, harganya murah, tidak menimbulkan korosi, memiliki zat *anti freeze* (zat anti beku, biasanya berupa *ethylene glycol*, *diethylene glycol* atau *propylene glycol*) dan tidak beracun.

Dalam skripsi ini, *coolant* yang digunakan adalah *coolant* radiator dengan kandungan *ethylene glycol* sebanyak 40% dari volume sebanyak 5 liter *coolant*.



Gambar 2.12 *Coolant radiator*

2.7. Hipotesa

Fluida pendingin yang berbeda memiliki karakteristik berbeda pula sehingga kalor jenis fluida tersebut juga berbeda pula. Perbedaan kalor jenis dapat berdampak pada laju perpindahan kalor, penurunan tekanan, dan efektivitas dari masing-masing fluida pendingin tersebut.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*True Experimental Research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan terhadap proses tertentu.

Pengujian kalor jenis fluida dilakukan dengan melakukan uji sampel 500 ml dari masing-masing fluida pendingin. Sampel dimasukkan kedalam bejana yang telah diisolasi sehingga tidak ada kalor yang keluar dari bejana saat fluida pendingin menerima kalor dari *heater* kemudian dihitung waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur sebesar 3°C.

Setelah dilakukan pengujian sampel, masing-masing fluida pendingin diujikan pada suatu permodelan instalasi *double pipe heat exchanger* dengan tipe aliran *counter flow* untuk mengetahui laju perpindahan kalor, penurunan tekanan dan efektivitas pada instalasi tersebut.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada bulan Mei 2012 di Laboratorium Mesin-mesin Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya

3.3. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah:

- Jenis fluida pendingin yang digunakan adalah air kondensat, air PDAM, dan *coolant* radiator

2. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya telah ditentukan pada saat penelitian dan dibuat konstan. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah:

- Temperatur fluida panas divariasikan 50°C, 55°C, 60°C, 65°C dan 70°C

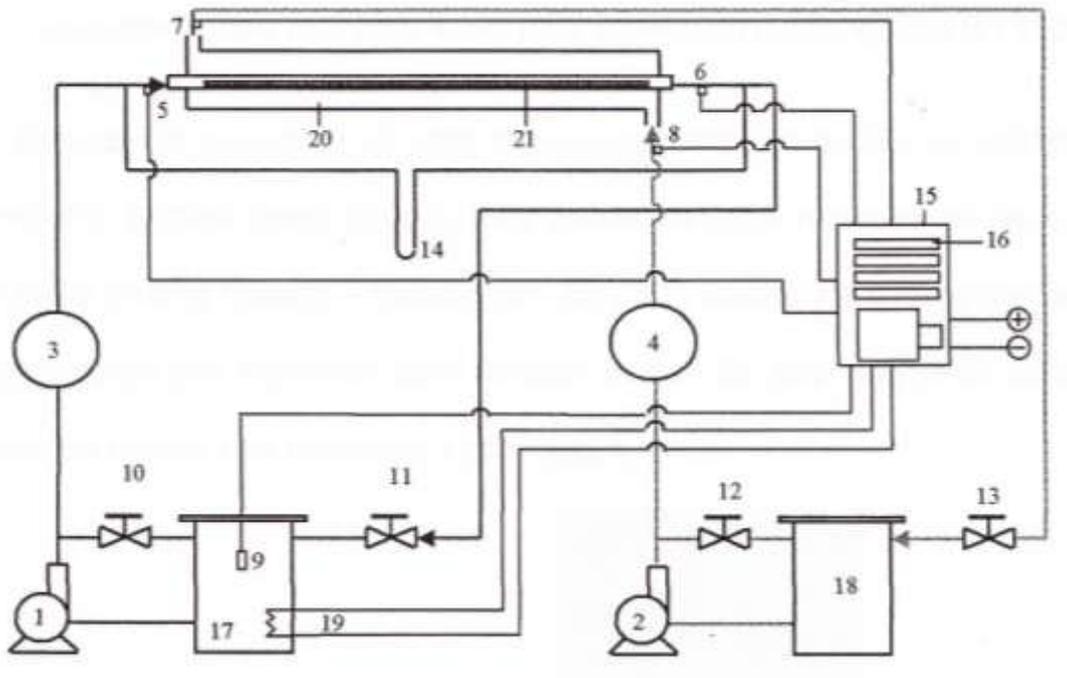
3. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung pada nilai variabel bebas. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

- Laju perpindahan kalor
- Penurunan Tekanan
- Efektivitas

3.4. Skema Alat Penelitian

Susunan instalasi pengujian yang digunakan terdapat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Susunan instalasi pengujian

Keterangan gambar diatas:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 Pompa air panas | 12 <i>Ball Valve</i> debit fluida dingin |
| 2 Pompa fluida dingin | 13 <i>Ball Valve</i> pembuangan fluida dingin |
| 3 Debit meter air panas | 14 Manometer |
| 4 Debit meter fluida dingin | 15 <i>Panel control</i> |
| 5 LM35 untuk sisi masuk air panas | 16 <i>Display digital</i> |

- | | | | |
|----|--|----|---------------------------|
| 6 | LM35 untuk sisi keluar air panas | 17 | Reservoir air panas |
| 7 | LM35 untuk sisi masuk fluida dingin | 18 | Reservoir fluida dingin |
| 8 | LM35 untuk sisi keluar fluida dingin | 19 | Pemanas (<i>heater</i>) |
| 9 | <i>Thermocouple</i> air panas | 20 | Pipa fluida dingin |
| 10 | <i>Ball Valve</i> debit air panas | 21 | Pipa air panas |
| 11 | <i>Ball Valve</i> pembuangan air panas | | |

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- ❖ Alat penukar kalor jenis pipa ganda dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Pipa dalam yang digunakan adalah pipa dari bahan tembaga CEM ASTM B88 TYPE M dengan diameter dalam 25,4 mm dengan tebal 1 mm dan panjang pipa 1000 mm
 - Pipa luar yang digunakan adalah pipa dari bahan stainless steel dengan diameter dalam 76,2 mm, tebal 1,5 mm dan panjang 1000 mm
- ❖ Fluida pendingin yang digunakan adalah:
 - Air kondensat
 - Air PDAM
 - *Coolant radiator*

3.5. Peralatan Penelitian

1. Pompa air sentrifugal

Pompa yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah dua buah dan berfungsi untuk memompa fluida panas dan fluida pendingin. Adapun spesifikasi kedua pompa tersebut adalah:

Merk	: Moswell	Daya	: 125 Watt
Model	: Aqua – 125	V/Hz	: 220/50
Kapasitas	: 42 liter/menit	Putaran	: 2850 rpm
<i>Suction head</i>	: 9 meter	Buatan	: Indonesia
<i>Discharge head</i>	: 24 meter		



Gambar 3.2 Unit pompa air sentrifugal

2. Debit meter

Alat ini digunakan untuk mengetahui debit aliran yang mengalir pada pipa luar dan dalam yang dipasang secara terpisah. Dalam penelitian ini menggunakan dua buah debit meter dengan spesifikasi

Kapasitas	: 1,5 m ³ /jam
Merk	: Ning-bo
Buatan	: China



Gambar 3.3 Debit meter

3. Automatic Thermo Controller

Alat ini berfungsi untuk menjaga temperatur air panas tetap konstan pada temperatur yang diinginkan dengan cara mengatur kerja dari *magnetic conductor*.

Spesifikasi alat adalah sebagai berikut:

Merk	: T & W electric heating & equipment Corp. China
Tipe	: IL – 70
Suhu kisaran	: 0°C – 400°C
Tegangan	: 110/220 V

Frekwensi : 50/60 Hz
Ketelitian : $\pm 1^{\circ}\text{C}$
Input thermocouple : 1 channel type K



Gambar 3.4 Automatic thermo controller

4. Thermocouple

Merupakan sensor yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisik berupa temperatur menjadi bentuk elektris berupa beda potensial, *thermocouple* yang digunakan tipe K dan tipe LM35. Sensor tipe K diletakkan di reservoir, sedangkan sensor LM35 dipasang pada pipa-pipa sisi masuk dan sisi keluar alat penukar kalor yang hasil pembacaan dapat terlihat pada *indicator display digital*.



Gambar 3.5 Thermocouple tipe K



Gambar 3.6 Penampang melintang *thermocouple* tipe LM35

5. *Magnetic Contactor*

Digunakan untuk mengetahui kerja dari *heater* dengan cara menyambung dan memutus arus listrik menuju *heater*. Kinerja *magnetic contactor* diatur oleh *thermo controller* yang terhubung dengan *thermocouple* tipe K. Adapun spesifikasi dari *magnetic contactor* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Merk : Mitsubishi
Tipe : S-N10



Gambar 3.7 *Magnetic Contactor*

6. *Indicator Display Digital*

Digunakan untuk pembacaan hasil yang diterima oleh sensor temperatur dari masing-masing fluida



Gambar 3.8 Display Digital

7. Pemanas

Pemanas digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas yang ditempatkan dalam air didalam reservoir pemanas agar air berada pada temperatur yang dikehendaki.

Spesifikasi alat adalah sebagai berikut:

Daya : 500 Watt

Tegangan : 220 V

Jumlah : 7 buah



Gambar 3.9 Pemanas

8. Rubber Insulation

Digunakan untuk mengisolasi pipa luar agar tidak terjadi perpindahan kalor ke lingkungan.



Gambar 3.10 Rubber insulation

9. *Styrofoam*

Digunakan untuk mengisolasi reservoir panas agar panas dari *heater* tidak keluar dari reservoir air panas.



Gambar 3.11 *Styrofoam*

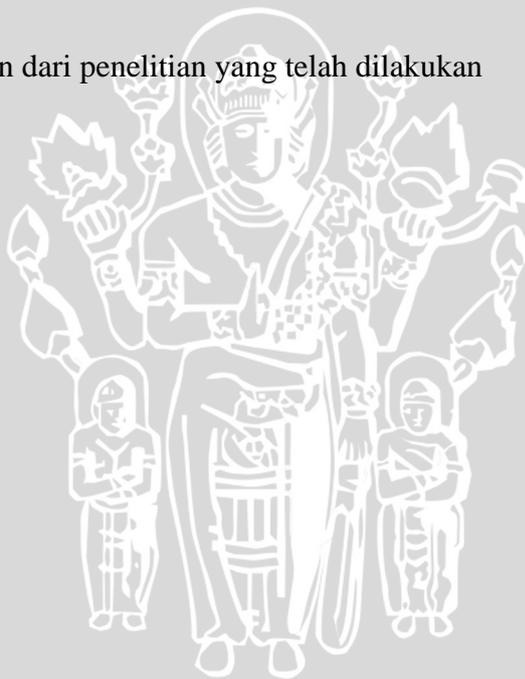
3.6. **Prosedur Penelitian**

Persiapan meliputi:

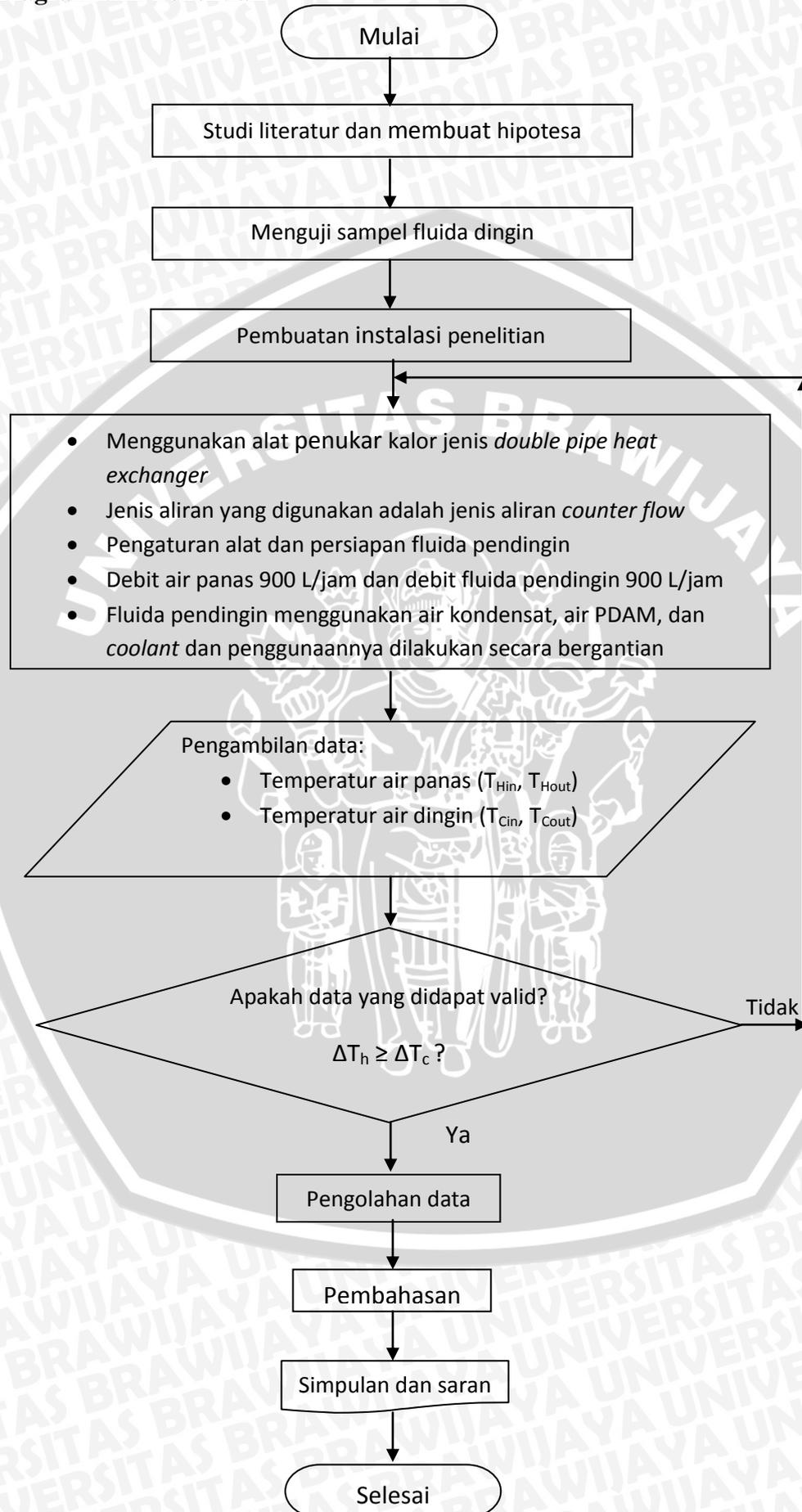
1. Menguji sampel dari fluida pendingin untuk mengetahui kalor jenis dari masing-masing fluida pendingin
2. Menyiapkan instalasi penelitian dan bahan penelitian berupa fluida pendingin
3. Memasukkan air pada reservoir pemanas untuk dipanaskan
4. Memanaskan air sebagai fluida panas dengan pemanas hingga mencapai temperatur yang telah ditentukan.
5. Memasukkan fluida pendingin yang akan diujikan pada reservoir fluida pendingin
6. Melakukan pengecekan terhadap kondisi alat ukur meliputi debit meter dan sensor beserta alat pendukungnya

Pelaksanaan percobaan:

1. Menghidupkan kedua pompa dan mengatur debit masing-masing sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan
2. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady* dan menunjukkan $\Delta T_h \geq \Delta T_c$, pengambilan data dapat dilakukan
3. Data yang diambil adalah temperatur masuk fluida pendingin, temperatur keluar fluida pendingin, temperatur masuk air panas, temperatur keluar panas dan perbedaan ketinggian
4. Mengulangi langkah 2 sampai langkah 4 dengan menggunakan ketiga variasi jenis fluida pendingin yang telah ditentukan
5. Data kemudian diolah dan dianalisa pengaruh jenis fluida pendingin terhadap laju perpindahan kalor dan penurunan tekanan jika dihubungkan dengan dasar teori
6. Menarik simpulan dari penelitian yang telah dilakukan



3.7. Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian (Terlampir)

4.1.2 Contoh Perhitungan

Parameter-parameter yang diketahui pada pengujian *heat exchanger* dengan tipe aliran *counter flow* adalah sebagai berikut :

- Debit fluida panas (Q_h) = 900 liter/jam
- Debit fluida dingin (Q_c) = 900 liter/jam
- Temperatur masuk fluida panas ($T_{h\ in}$) = 50,2 °C
- Temperatur keluar fluida panas ($T_{h\ out}$) = 47,8 °C
- Temperatur masuk fluida dingin ($T_{c\ in}$) = 32,3 °C
- Temperatur keluar fluida dingin ($T_{c\ out}$) = 34,2 °C
- Diameter pipa luar (*outer tube*) bagian dalam (d_{ot}) = 0,0762 m
- Diameter pipa dalam (*inner tube*) = 0,0254 m
- Tebal pipa dalam (*inner tube*) = 0,001 m
- Konduktifitas thermal material *innertube* (k) = 383,5687 W/m°C
- Panjang pipa *heat exchanger* (L) = 1,0 m

Dari parameter-parameter yang diketahui diatas, maka dapat dilakukan perhitungan unjuk kerja sebagai berikut:

4.1.2.1 Menghitung Laju Perpindahan Panas Secara Termodinamika

Parameter-parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan laju perpindahan panas fluida secara termodinamika adalah laju masa alir (\dot{m}), panas spesifik fluida (C_p), dan perbedaan temperatur masuk dan keluar fluida (ΔT).

1. Menghitung Masa Jenis

- Fluida Panas (Air PDAM)

$$\begin{aligned}\rho_h &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{0,9967 \text{ kg}}{0,001 \text{ m}^3} \\ &= 996,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

- Fluida Pendingin (Air Kondensat)

$$\begin{aligned}\rho_c &= \frac{m}{v} \\ &= \frac{0,9953 \text{ kg}}{0,001 \text{ m}^3} \\ &= 995,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

2. Menghitung Kalor Jenis Fluida (C_p)

- Fluida Pendingin (Air Kondensat)

$$\begin{aligned}C_p &= \frac{Q}{m \times \Delta T} \\ &= \frac{V \times I \times t}{m \times \Delta T} \\ &= \frac{220 \text{ V} \times 0,00749 \text{ A} \times 91 \text{ s}}{0,9058 \text{ kg} \times 3^\circ\text{C}} \\ &= 4,115 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

3. Menghitung Laju Masa Alir Fluida (\dot{m})

Debit yang digunakan adalah 900 L/jam = $2,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

- Fluida Panas (Air PDAM)

$$\begin{aligned}\dot{m}_h &= Q_h \times \rho_h \\ &= 2,5 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 996,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,249175 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\end{aligned}$$

- Fluida Pendingin (Air Kondensat)

$$\begin{aligned}\dot{m}_c &= Q_c \times \rho_c \\ &= 2,5 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 995,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,24883 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\end{aligned}$$

4. Perbedaan temperatur masuk dan keluar (ΔT_h)

- Penggunaan Fluida Pendingin (Air Kondensat)

$$\begin{aligned}\Delta T_h &= T_{h \text{ in}} - T_{h \text{ out}} \\ &= 50,2^\circ\text{C} - 47,8^\circ\text{C} \\ &= 2,4^\circ\text{C}\end{aligned}$$

5. Menghitung Laju Perpindahan Kalor pada Fluida Panas

- Fluida Pendingin (Air Kondensat)

$$\begin{aligned}
 q_h &= \dot{m} \times C_p \times \Delta T \\
 &= 0,2476 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 2,2^\circ\text{C} \\
 &= 2,2775 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

4.1.2.2 Menghitung Penurunan Tekanan

1. Menghitung Selisih Tekanan pada Sisi Masuk dan Sisi Keluar Fluida Panas

- Fluida Pendingin (Air Kondensat)

$$\begin{aligned}
 \Delta z &= z_1 - z_2 \\
 &= 32 \text{ cm} - 29,2 \text{ cm} \\
 &= 2,8 \text{ cmH}_2\text{O} \\
 &= 0,028 \text{ mH}_2\text{O} \\
 \Delta P &= \rho \cdot g \cdot \Delta z \\
 &= 988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,028 \text{ m} \\
 &= 271,3838 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \\
 &= 271,3838 \text{ N}
 \end{aligned}$$

4.1.2.3 Menghitung Efektivitas

1. Menghitung Perbedaan Temperatur Maksimal (ΔT_{max})

- Fluida Pendingin Air Kondensat

$$\begin{aligned}
 \Delta T_{\text{max}} &= T_{h_{\text{in}}} - T_{c_{\text{in}}} \\
 &= 50,2^\circ\text{C} - 32,3^\circ\text{C} \\
 &= 17,9^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Laju Kapasitas Kalor (Ch)

- Fluida Pendingin Air Kondensat

$$\begin{aligned}
 C_h &= \dot{m} \cdot C_p \\
 &= 0,2470 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \\
 &= 1,0327 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung Laju Perpindahan Kalor Maksimal

- Fluida Pendingin Air Kondensat

$$\begin{aligned}
 q_{max} &= C_h \cdot \Delta T \\
 &= 1,0327 \frac{\text{kJ}}{\text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 17,9^\circ\text{C} \\
 &= 1,8486 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\
 &= 1,8486 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung Laju Perpindahan Aktual (q_{aktual})

- Fluida Pendingin Air Kondensat

$$\begin{aligned}
 q_{\text{aktual}} &= \dot{m} \times C_p \times \Delta T \\
 &= 0,2470 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times 0,5^\circ\text{C} \\
 &= 0,5164 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\
 &= 0,5164 \text{ kWatt}
 \end{aligned}$$

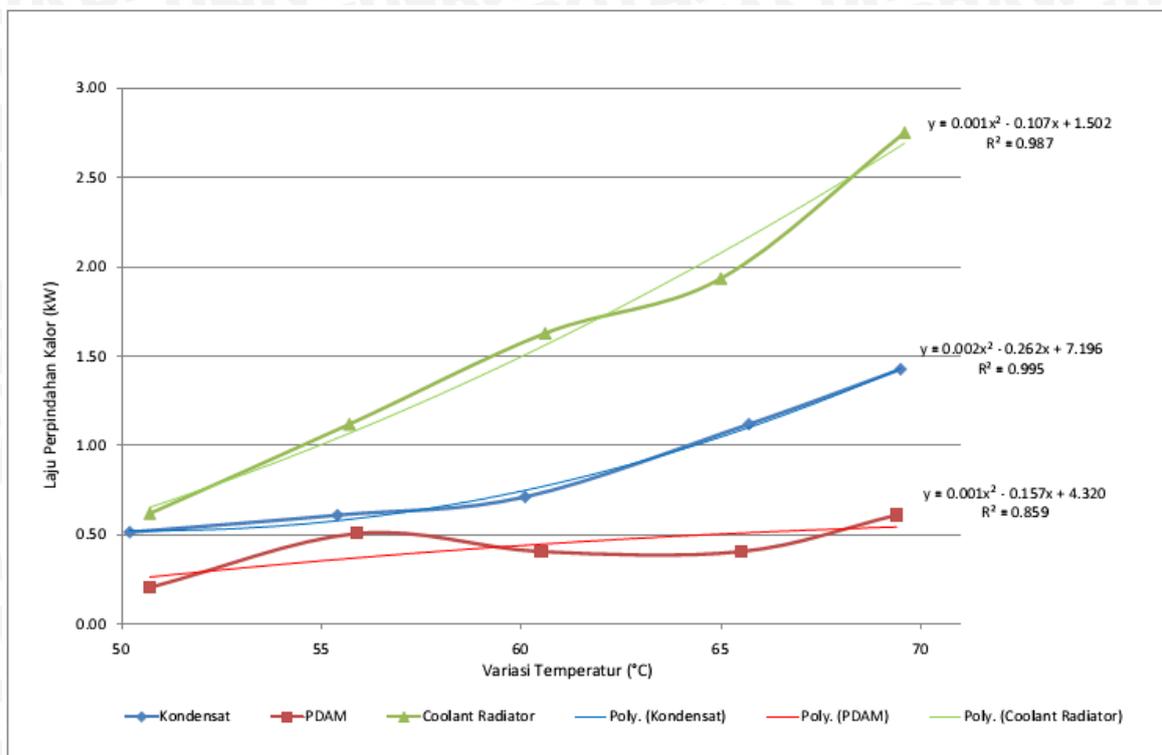
5. Menghitung Efektivitas

- Fluida Pendingin Air Kondensat

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{max}}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,5164 \text{ kWatt}}{1,8486 \text{ kWatt}} \times 100\% \\
 &= 0,2793 \times 100\% \\
 &= 27,93\%
 \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Laju Perpindahan Kalor



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Laju Perpindahan Kalor

Menurut grafik pengaruh variasi temperatur terhadap laju perpindahan kalor pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa laju perpindahan kalor mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya temperatur fluida panas. Terlihat bahwa laju perpindahan kalor terkecil yang terjadi pada temperatur 50°C dengan penggunaan fluida pendingin berupa air PDAM sebesar 0,2070 kWatt. Pada temperatur yang sama dengan menggunakan fluida pendingin air kondensat dan *coolant radiator* masing-masing bernilai 0,5164 kWatt dan 0,6211 kWatt.

Pada gambar 4.1 diatas terlihat bahwa pada variasi temperatur yang sama dengan penggunaan fluida pendingin berbeda terdapat nilai laju perpindahan kalor yang berbeda, hal ini dikarenakan pada masing-masing variasi temperatur terdapat nilai kalor jenis yang berbeda-beda dimana semakin tinggi temperatur fluida panas yang digunakan, maka akan menyebabkan molekul dari fluida panas akan mengembang sehingga mengakibatkan jarak antar partikel fluida semakin renggang. Dengan jarak antar partikel yang semakin renggang maka untuk menaikkan satu derajat celcius membutuhkan kalor yang lebih besar. Sehingga kalor jenis yang dihasilkan akan semakin besar pula.

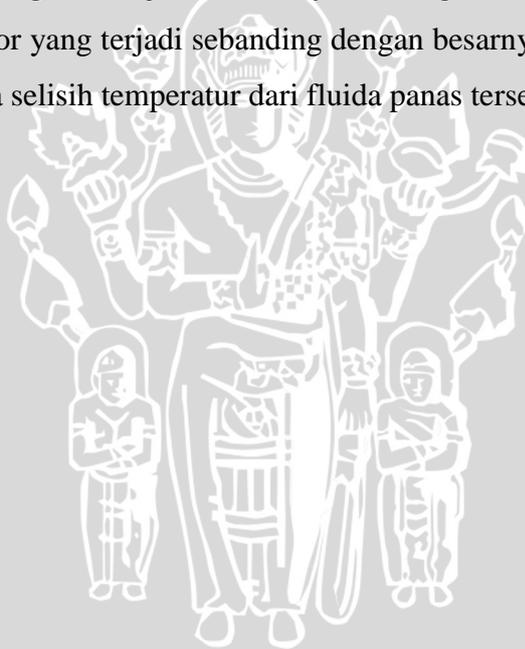
Kalor jenis yang semakin besar menyebabkan perbedaan temperatur pada sisi masuk dan sisi keluar akan semakin besar karena semakin banyak kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan satu derajat celcius. Dengan semakin bertambahnya temperatur maka akan menghasilkan masa jenis yang semakin berkurang, karena jarak antar molekul akan mengembang dan kerapatan masa dari fluida panas akan berkurang. Adanya perbedaan masa jenis akan mempengaruhi besarnya laju alir masa. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

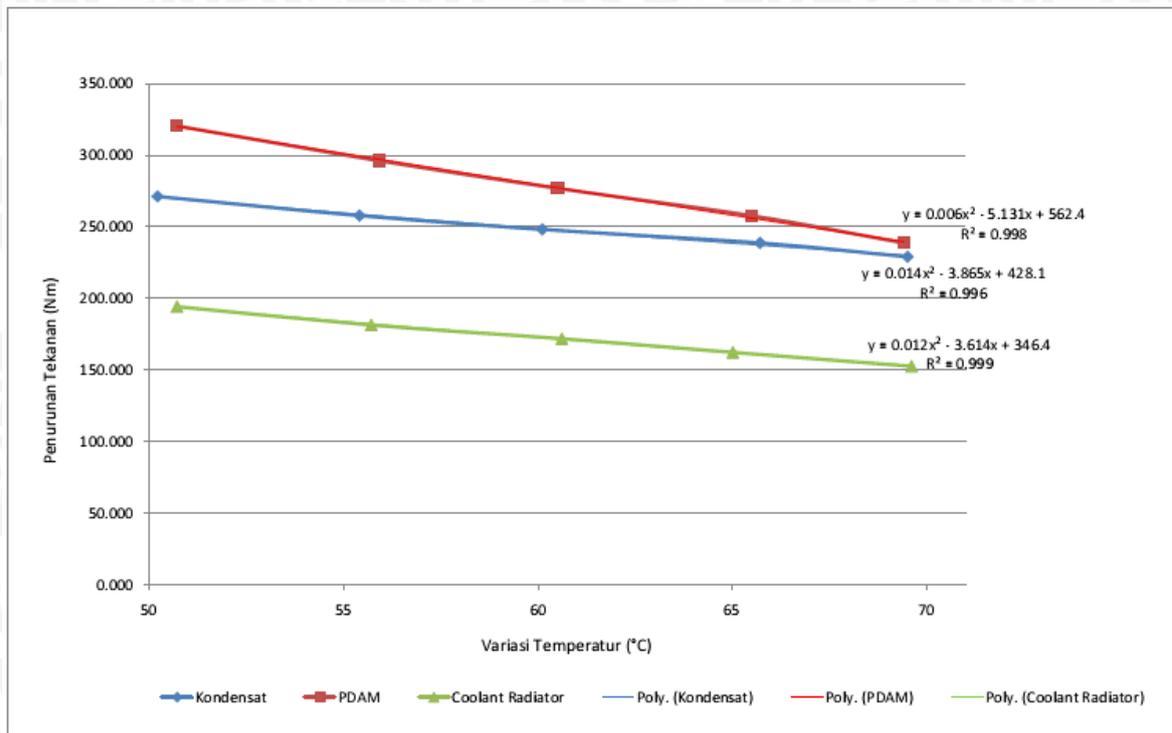
$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

Dengan adanya perbedaan masa jenis fluida panas dengan debit fluida yang tetap maka akan menghasilkan laju alir masa yang berbeda yang dapat mempengaruhi kemampuan transfer kalor, sehingga semakin kecil laju perpindahan kalor yang terjadi akan menaikkan selisih temperatur pada fluida panas pada sisi masuk dan sisi keluar.

Hal ini sesuai teori yang menunjukkan adanya hubungan antara $q = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T$, dimana laju perpindahan kalor yang terjadi sebanding dengan besarnya nilai laju alir masa, kalor jenis fluida panas, serta selisih temperatur dari fluida panas tersebut.



4.2.2 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Penurunan Tekanan



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Penurunan Tekanan Dengan Penggunaan Fluida Pendingin Berbeda

Menurut grafik pengaruh variasi temperatur terhadap penurunan tekanan dengan penggunaan fluida pendingin yang berbeda dapat diketahui kecenderungan grafik yang menurun. Terlihat bahwa dengan jenis fluida pendingin yang berbeda, terdapat nilai penurunan tekanan yang paling rendah hingga yang paling tinggi berturut-turut adalah fluida pendingin berupa *coolant radiator*, air kondensat, dan air PDAM. Pada suhu awal 50°C, nilai penurunan tekanan berturut-turut adalah 194,315 kg/ms²; 271,395 kg/ms²; dan 320,62 kg/ms². Pada suhu akhir 70°C, nilai penurunan tekanan berturut-turut adalah 152,818 kg/ms²; 219,676 kg/ms²; dan 238,777 kg/ms².

Dari grafik 4.2 terlihat bahwa variasi temperatur berpengaruh terhadap nilai penurunan tekanan pada masing-masing fluida pendingin. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur fluida panas, maka masa jenis fluida panas akan semakin berkurang sehingga jarak antar molekul semakin besar dan mengakibatkan molekul fluida panas yang bergesekan dengan dinding pipa akan semakin sedikit.

Pada penggunaan debit aliran yang sama, semakin meningkatnya temperatur dari fluida panas yang digunakan maka laju alir masa fluida panas yang semakin berkurang, hal ini sesuai dengan rumus hubungan antara laju alir masa, masa jenis, luas penampang pipa dan kecepatan aliran.

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

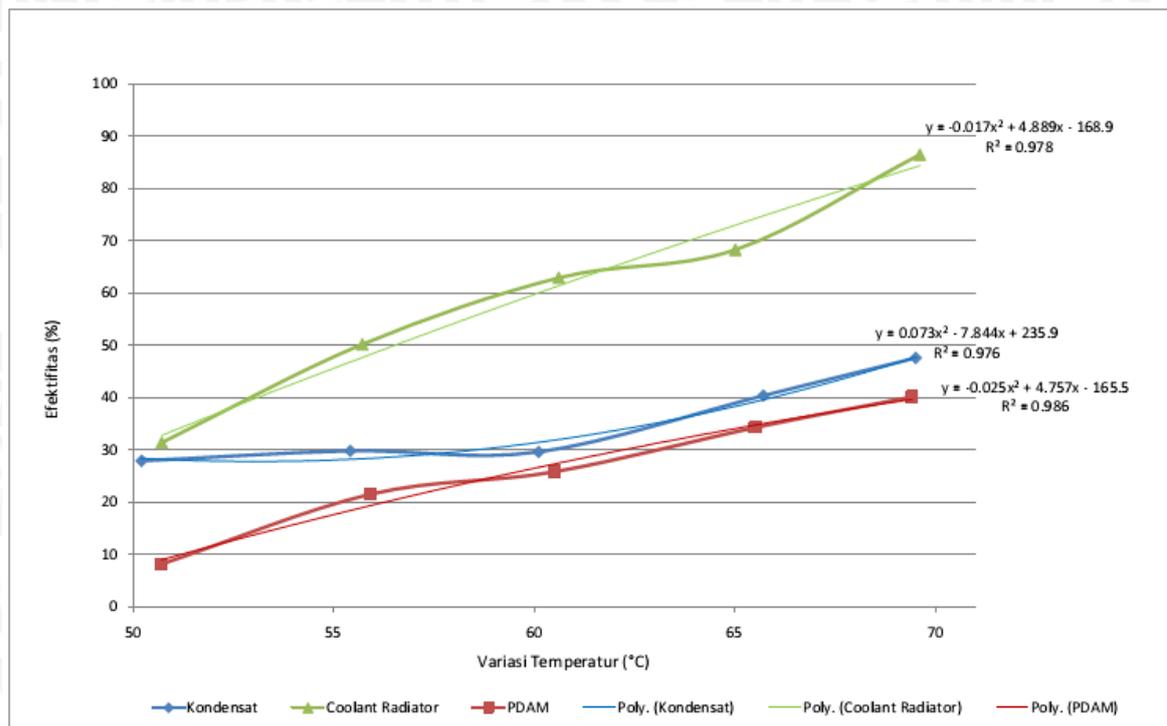
Pada instalasi penelitian, *losses* yang dibahas hanya pada *major losses*, sehingga dengan kecepatan aliran, diameter pipa, panjang pipa, dan grafitasi yang bernilai konstan maka yang mempengaruhi *major losses* adalah faktor dari koefisien gesek fluida terhadap dinding pipa, berdasarkan rumus :

$$h_{ma} = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g}$$

Dengan variasi temperatur yang semakin besar maka akan mengakibatkan perubahan karakteristik dari fluida panas berupa koefisien gesek karena seiring bertambahnya temperatur molekul fluida cair yang meregang dan dapat mempengaruhi besarnya gesekan yang ditimbulkan terhadap dinding pipa.



4.2.3 Grafik Hubungan Variasi Temperatur Terhadap Efektivitas



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Efektivitas Laju Perpindahan Kalor Dengan Penggunaan Fluida Pendingin Berbeda

Menurut grafik pengaruh variasi temperatur terhadap efektivitas laju perpindahan kalor dengan penggunaan fluida pendingin yang berbeda dapat diketahui nilai efektivitas yang meningkat seiring dengan semakin tingginya temperatur yang digunakan. Terlihat bahwa dengan jenis fluida pendingin berbeda, terdapat nilai efektivitas terendah hingga tertinggi dengan temperatur awal yang bernilai sama yaitu 0,008; 0,028; dan 0,031. Perbedaan temperatur fluida panas dengan penggunaan fluida pendingin yang berbeda mempengaruhi nilai dari efektivitas alat penukar kalor tersebut. Pada suhu awal sebesar 50°C efektivitas dari fluida pendingin dari yang terendah hingga yang tertinggi adalah berturut-turut air PDAM, air kondensat, dan *coolant radiator*.

Dari grafik 4.3 terlihat bahwa terdapat pengaruh dari variasi temperatur terhadap nilai dari efektivitas alat penukar kalor tersebut, dengan semakin bertambahnya temperatur maka akan semakin meningkatkan laju perpindahan kalor aktual dan laju perpindahan kalor maksimal yang terjadi. Sehingga perbandingan antara perpindahan kalor aktual dan perpindahan kalor maksimal seiring bertambahnya temperatur mengalami peningkatan yang berdampak pada efektivitas alat penukar kalor tersebut. Hal ini sesuai dengan rumus:

$$\mathcal{E} = \frac{q_{\text{aktual}}}{q_{\text{maks}}} \times 100\%$$

Dengan semakin bertambahnya temperatur, maka molekul fluida akan semakin mengembang. Molekul yang mengembang tersebut diikuti juga dengan mengembangnya volume molekul fluida dan dengan masa yang tetap dan volume yang semakin bertambah, maka akan mengakibatkan masa jenis dari fluida tersebut akan berkurang sehingga akan mempengaruhi sifat fluida tersebut dalam hal menghantarkan kalor.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh fluida pendingin terhadap unjuk kerja *heat exchanger* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan kalor jenis dari masing-masing fluida pendingin berpengaruh terhadap unjuk kerja alat penukar kalor jenis *double pipe heat exchanger*.
2. Dengan semakin bertambahnya temperatur fluida panas maka laju perpindahan kalor yang terjadi juga semakin meningkat.
3. Dengan semakin bertambahnya temperatur fluida panas maka penurunan tekanan yang terjadi akan semakin berkurang.
4. Dengan semakin bertambahnya temperatur fluida panas maka efektivitas yang dihasilkan akan semakin meningkat.
5. Penggunaan jenis fluida pendingin yang menghasilkan unjuk kerja alat penukar kalor dari yang paling baik hingga yang paling buruk adalah *coolant radiator*, air kondensat, air PDAM.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dilakukan isolasi pada pipa fluida panas sebelum masuk debit meter agar tidak terjadi *heat loss* akibat adanya perpindahan panas ke lingkungan.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai kandungan dari masing-masing fluida pendingin yang mempengaruhi unjuk kerja alat penukar kalor.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai kekentalan dari fluida pendingin dalam hal perantara perpindahan kalor.

