

**ANALISIS PENGARUH ELEVASI ALIRAN AIR PENDINGIN  
KONDENSOR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN  
EFISIENSI KERJA MESIN**

**SKRIPSI**



**Oleh:**

**SITI FATIMAH**

**03540010**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG  
MALANG  
2008**

**ANALISIS PENGARUH ELEVASI ALIRAN AIR PENDINGIN  
KONDENSOR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN  
EFISIENSI KERJA MESIN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada :**

**Universitas Islam Negeri Malang**

**Untuk memenuhi salah satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:**

**SITI FATIMAH**

**NIM: 03540010**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG  
MALANG  
2008**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENGARUH ELEVASI ALIRAN AIR PENDINGIN  
KONDENSOR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN  
EFISIENSI KERJA MESIN**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**SITI FATIMAH**

**NIM : 03540010**

**Disetujui Oleh :**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Drs. Abdul Basid, M.Si**  
**NIP. 131 918 439**

**Ach. Nasichuddin, M.Ag**  
**NIP. 150 302 531**

**Mengetahui**  
**Ketua Jurusan Fisika**  
**Fakultas sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang**

**Drs. M. Tirono, M. Si**

NIP. 131 971 849

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH ELEVASI ALIRAN AIR PENDINGIN  
KONDENSOR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN  
EFISIENSI KERJA MESIN

SKRIPSI

OLEH :

SITI FATIMAH

NIM : 03540010

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dintayatakan Diterima sebagai salah satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal 10 April 2008

Susunan Dewan Penguji :

Tanda Tangan

- |                    |   |         |
|--------------------|---|---------|
| 1. Penguji Utama   | : Drs.M. Tirono, M.Si<br>NIP. 131 971 849   | (.....) |
| 2. Ketua Penguji   | : Agus Mulyono, M.Kes<br>NIP. 150 294 457   | (.....) |
| 3. Sekr. Penguji   | : Drs.Abdul Basid, M.Si<br>NIP. 131 918 439 | (.....) |
| 4. Anggota Penguji | : Ach. Nasihuddin, M.Ag<br>NIP. 150 302 531 | (.....) |

Mengetahui dan Mengesahkan  
Ketua Jurusan Física

**Drs. M. Tirono, M.Si**  
**NIP.131 971 849**

**HALAMAN PERSEMBAHAN**

***“Kegagalan adalah kesuksesan yang tertunda  
Karena dengan kegagalan maka kita akan tahu arti dari sebuah kegagalan”***

***Dengan hati kupersembahkan Skripsi ini untuk  
Abah dan Umi yang selalu memberikan kasih sayangnya untuk keberhasilan  
ananda. Nenekku Siti Aisyah yang selalu menjadi inspirasiku dan hadir disetiap  
langkah keberhasilanku, Adikku Fadhatul Ilmiyah, yang selalu membuatku terus  
semangat serta keluarga besarku***

***Mami dan semua keluarga janti yang selalu berbagi denganku.***

***Al-Fatimah (idho', luck, n1e, lu2k M, Nanik) yang selalu buat aku tertawa***

***Warga PMII yang selalu menjadi motivator bagi keberhasilanku (afif, sadzili,  
hadir, ifa, ghozali, anas, tir, alief, as'ad, akied, pencenk, toyib, fatim, fita, emoth,  
nuzul, mu2n)Viva PMII***

***Teman2Q (Deny, Ndo'x, Ndut, via, mb Hari, plonot,)***

***AFI 03 yang udah mengisi hari-hariku(Tomi, fathur, kusairi, adib, rahman,  
makhrus, fathur mjkr dan yang lainnya )Terus semangat ya.....***

***AFI,(wahyu, faqih, BT, uut, fajar, yuda, fiana, firo, findi, azis, Bukhori, afifa,  
lala, fina) selamat berjuang ya.....***



## MOTTO

بِهِ فَأَخْرَجَ مَاءَ السَّمَاءِ مِنْ وَأَنْزَلَ بِنَاءً وَالسَّمَاءِ فِرَاشًا الْأَرْضَ لَكُمْ جَعَلَ الَّذِي

تَعْلَمُونَ وَأَنْتُمْ أَنْدَادًا لِلَّهِ تَجْعَلُونَ فَلَا لَكُمْ رِزْقًا إِلَّا الشَّمْرَاتِ مِنْ

*Artinya :Dialah yang menjadikan bumi sebagai hamparan bagimu dan langit sebagai atap, dan dia menurunkan air (hujan) dari langit, lalu dia menghasilkan dengan hujan itu segala buah-buahan sebagai rezki untukmu; Karena itu janganlah kamu mengadakan sekutu-sekutu bagi Allah, padahal kamu Mengetahui.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan kenikmatan dan keluasan pada setiap kehidupan manusia. Sholawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi suri tauladan bagi manusia di seluruh dunia ini.

Suatu kewajiban bagi seluruh mahasiswa yang ingin meraih gelar sarjana membuat tugas akhir yang berupa skripsi dengan judul **“ANALISIS PENGARUH ELEVASI ALIRAN AIR PENDINGIN KONDENSOR TERHADAP LAJU PERPINDAHAN KALOR DAN EFISIENSI KERJA MESIN “**

Pada kesempatan ini, maka penyusun mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Imam Suprayogo selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
2. Bapak Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, SU., DSc selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
3. Bapak Drs. M. Tirono, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
4. Bapak Drs. Abdul Basid, M. Si selaku Dosen Pembimbing I yang tak henti-hentinya memberikan support dan bimbingan sekaligus mengarahkan untuk penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Ach. Nasihuddin, M. Ag selaku pembimbing II yang senantiasa mengarahkan dan membimbing penyusunan skripsi yang berhubungan dengan agama.
6. Bapak dan ibu dosen Fisika yang senantiasa memberikan ilmu dan informasi yang berhubungan dengan penulisan skripsi ini
7. Bapak Sudjad selaku kepala laboratorium ITN, yang telah bersedia memberikan tempat untuk terlaksananya penelitian pada skripsi ini.
8. Kedua orang tuaku yang paling aku sayangi, terima kasih telah memberikan energi yang sangat luar biasa untuk keberhasilanku. Dan do'a restu selalu aku minta agar semua cita-cita dapat tercapai dan selalu di ridhoi Allah SWT.
9. Nia, idho', lu2k KH, Lu2k M, Nanik, Terima kasih telah membantu dan menghibur dalam proses menyelesaikan skripsi ini.
10. Fisika 2003 yang telah memberikan dukungan, bantuan dan loyalitas serta kerjasamanya selama penulisan skripsi ini.
11. PMII rayon Galileo dan Warga PMII Se-Malang Raya, atas segala bantuan baik moril maupun materiil dan loyalitasnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif selalu penulis harapkan. Semoga penyusunan skripsi ini bermanfaat bagi kita semua Amin.

Malang, 10 April 2008

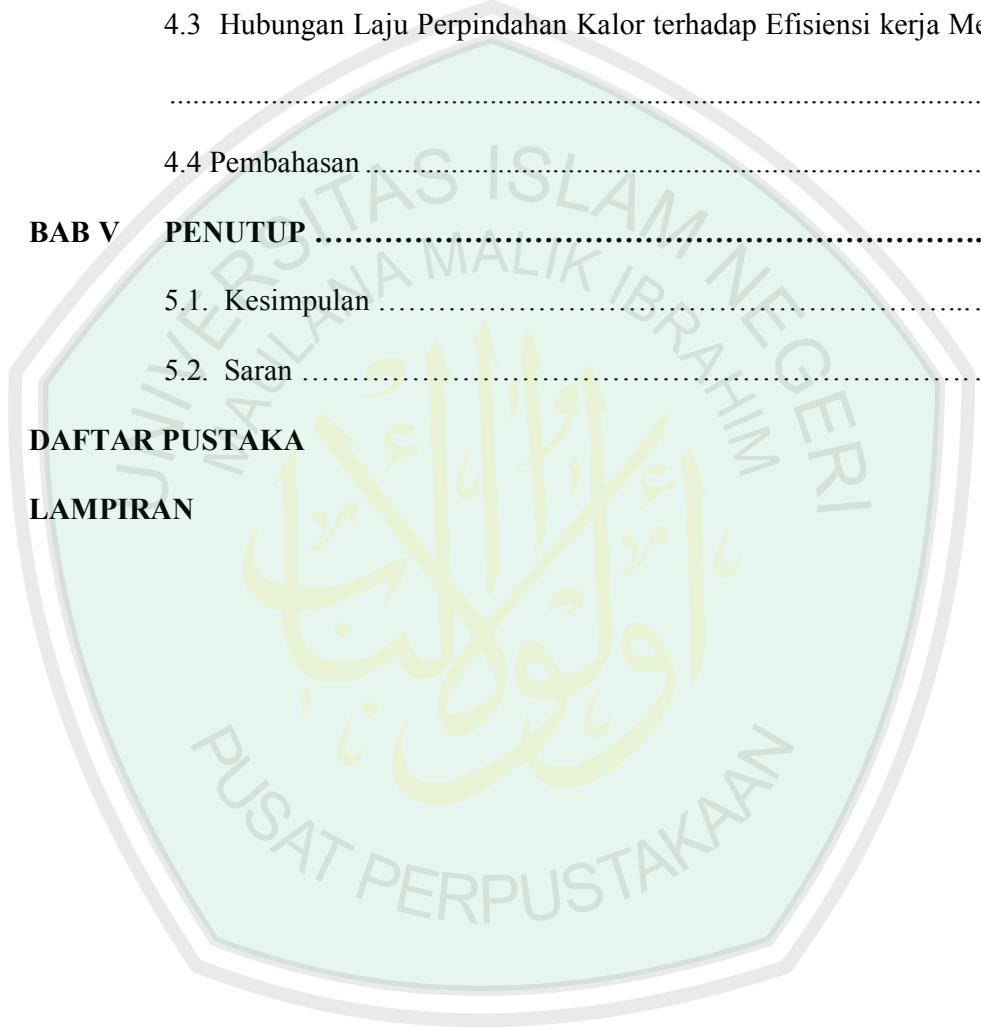
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Halaman Persetujuan .....</b>	<b>ii</b>
<b>Halaman Pengesahan.....</b>	<b>iii</b>
<b>Halaman Persembahan.....</b>	<b>iv</b>
<b>Motto.....</b>	<b>v</b>
<b>Kata Pengantar .....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Tabel .....</b>	<b>xii</b>
<b>Daftar Grafik.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Abstrak .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Hipotesis .....	5
1.7. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1. Definisi Pengkondisian Udara .....	7

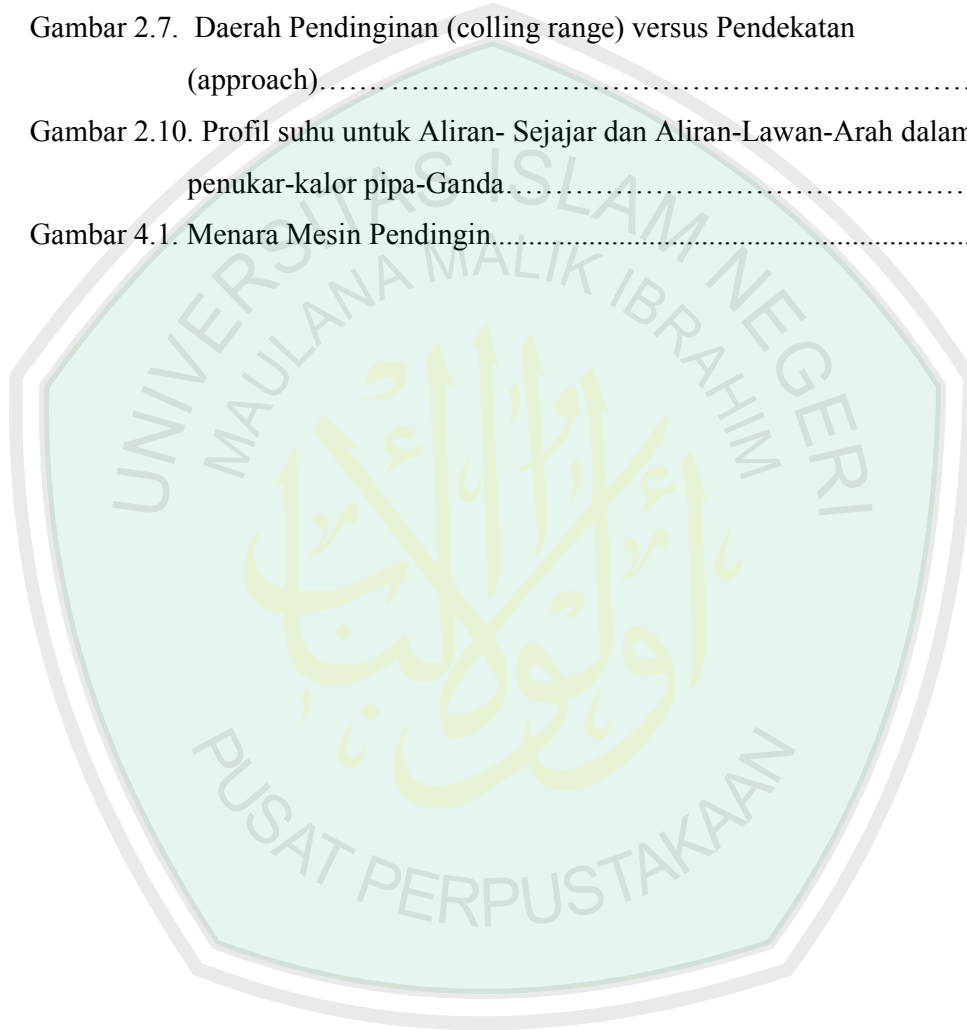
2.2. Perpindahan Panas .....	7
2.2.1. Teori dasar perpindahan panas/pelepasan kalor	
2.2.2. Laju perpindahan panas	
2.3. Komponen Utama Sistem Refrigerasi .....	17
2.4. Prinsip kerja Mesin Pendingin.....	18
2.5. Pengaruh Elevasi terhadap laju perpindahan kalor/panas .....	21
2.6. Efisiensi (Koefisien) perpindahan panas Menyeluruh .....	22
2.7. Kondensor .....	23
2.8. Menara Pendingin .....	24
2.8.1. Persyaratan Bagi Menara Pendingin .....	25
2.9. Refrigeran .....	27
2.10. Beda Suhu Rata-rata (Log Mean Temperature Diference)	
LMTD.....	30
2.11. Manfaat Ketinggian Air.....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1. Jadwal dan Tempat Penelitian .....	33
3.1.1. Jadwal Penelitian.....	33
3.1.2. Tempat Penelitian .....	33
3.2. Alat dan Bahan .....	33
3.3. Langkah-langkah Penelitian .....	34
3.4. Pengujian alat.....	35
3.5. Pelaksanaan Pengambilan Data .....	36
3.6. Teknik Analisis Data.....	36

<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
	4.1 Pengujian Alat .....	38
	4.2 Pengaruh Elevasi Terhadap Perpindahan Kalor .....	38
	4.3 Hubungan Laju Perpindahan Kalor terhadap Efisiensi kerja Mesin .....	40
	4.4 Pembahasan .....	44
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>50</b>
	5.1. Kesimpulan .....	47
	5.2. Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.6. Fungsi Menara pendingin.....	24
Gambar 2.7. Daerah Pendinginan (colling range) versus Pendekatan (approach).....	26
Gambar 2.10. Profil suhu untuk Aliran- Sejajar dan Aliran-Lawan-Arah dalam penukar-kalor pipa-Ganda.....	31
Gambar 4.1. Menara Mesin Pendingin.....	40



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.4. Jenis dan Karakteristik dari R22.....	29
Tabel 4.2 Hasil perhitungan.....	42



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hubungan Antara COP dengan laju perpindahan panas dengan Elevasi Menara Air Pendingin 3 m .....	85
Grafik 4.2 Hubungan Antara COP dengan laju perpindahan panas dengan Elevasi Menara Air Pendingin 2,5 m .....	85
Grafik 4.3 Hubungan Antara COP dengan laju perpindahan panas dengan Elevasi Menara Air Pendingin 2 m. ....	86
Grafik 4.4 Hubungan Antara COP dengan laju perpindahan panas dengan Elevasi Menara air Pendingin 1,5 m. ....	86
Grafik 4.5 Hubungan Antara COP dengan laju perpindahan panas dengan Elevasi Menara air Pendingin 1 m.....	87

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Lembar Bimbingan skripsi
- Lampiran 2 Lembar Refrigeran : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
- Lampiran 3 Lembar Sifat-sifat zat cair-jenuh
- Lampiran 4 Diagram tekanan entalpi
- Lampiran 5 Gambar mesin pendingin
- Lampiran 6 Surat keterangan penelitian
- Lampiran 7 Data hasil penelitian dan perhitungan

## ABSTRAK

**Siti Fatimah**, “*Analisis Elevasi Aliran Air Pendingin Kondensor Terhadap Laju Perpindahan Kalor Dan Efisiensi Kerja Mesin* “, April 2008. Skripsi, jurusan Fisika (S-1), Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Malang. Dosen Pembimbing : Drs. Abdul Basid. M,Si. Dan Ach. Nasihuddin. M.Ag

**Kata Kunci** : Kondensor, Elevasi Aliran air pendingin, perpindahan panas

Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat, karena itulah pada era seperti ini banyak sekali macam-macam desain teknologi khususnya dalam bidang teknik pendingin, karena itulah dibutuhkan penelitian dan analisa yang nantinya diharapkan akan meningkatkan efisiensi kerja mesin pendingin tersebut.

Tujuan dari analisis ini adalah untuk menjawab permasalahan yang timbul, dengan melihat fungsi kondensor sebagai alat penukar kalor yang banyak digunakan dalam siklus-siklus refrigerasi. Untuk itu kami memodifikasi dengan merubah fluida pendingin udara dengan fluida pendingin air system menara dan filling yang semula menggunakan aluminium kami ubah dengan filling tembaga. Dengan perubahan ini nantinya diharapkan akan meningkatkan nilai dari efisiensi kerja mesin itu sendiri.

Adapun hasil dari penelitian dan analisis yang dilakukan, bahwa nilai dari efisiensi kerja mesin (COP) dari mesin pendingin yang menggunakan fluida pendingin air kondensor dengan elevasi aliran air pendingin 3m, ternyata lebih besar bila dibandingkan dengan elevasi 2,5m, 2m, 1,5m, dan 1m.

## ABSTRACT

**Siti Fatimah**, *“Analysis Refrigerator Water Currents Elevation Condensor into Moving Plate and Machine in The Work Efficiency “*, April 2008. Physics Department (S.Si), Faculty of Sains and Technology, Islam State University Of Malang. Lecturer : Drs. Abdul Basid. M,Si. and Ach. Nasichuddin. M.Ag

**Key World** : Condensor, Refrigerator Water Currents Elevation, Moving Plate

To be were Teknologi this time more quickly, so that was much more the stake technology in this are, for expectally the technical refrigerator and analisis by was needed it later forbided would to flooring the work efficiency that was refrigerator machine.

Purpose from this was analism is to answered the problem it emerge, with were to looked the condenser function for using in refrigeration ciklusis. So that's for we were modification with to be change refrigerator water fluida tower system and refrigerator air fluida and filling at the first to be was using aluminium at we were change with copper filling, and that so with were changed later would at flooring rate from machine in the work efficiency were forbidden

As for were tiel examine and analisis we do, that's was the rate Coefficient Of Performance (COP) from refrigerator water currents 3m, to were state it were bigger is to aqualed with elevation 2,5m, 2m, 1,5m,1m.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Al-Qur'an sebagai sumber pengetahuan tentu akan dapat menemukan titik temu berbagai disiplin ilmu. Dalam konteks penelitian ini, kami mencoba mengintegrasikan antara manfaat penelitian ini dengan spirit Al-Qur'an dalam kerangka aksiologi. Penelitian ini akan menghasilkan sesuatu yang bermanfaat bagi kehidupan manusia yakni dalam pemanfaatan air dalam pelepasan kalor/panas akibat udara yang sekarang ini terkontaminasi, dapat kita ketahui bahwa manfaat air dalam kehidupan kita sangatlah banyak, akan tetapi kebutuhan yang diperlukan harus sesuai dengan kadar atau ukuran yang telah ditetapkan seperti telah tercantum dalam QS. Ar-Ra'd ayat 17 :

وَمِمَّا رَابِيًا زَبَدًا السَّيْلُ فَأَحْتَمَلُ بِقَدْرِهَا أَوْدِيَةً فَسَالَتْ مَاءً السَّمَاءِ مِنْ أَنْزَلَ  
الْحَقَّ اللَّهُ يَضْرِبُ كَذَلِكَ مِثْلَهُ زَبَدٌ مَتَّعَ أَوْ حَلِيَّةٍ ابْتِغَاءَ النَّارِ فِي عَلَيْهِ يُوقِدُونَ  
الْأَرْضِ فِي فَيَمَكْتُ النَّاسَ يَنْفَعُ مَا وَأَمَّا جُفَاءً فَيَذْهَبُ الزَّبَدُ فَأَمَّا وَالْبَطَلُ  
الْأَمْثَالَ اللَّهُ يَضْرِبُ كَذَلِكَ

*“Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah air dilembah-lembah menurut ukurannya, maka arus itu membawa buih yang mengambang. Dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk membuat perhiasan atau alat-alat, ada (pula) buihnya seperti buih arus itu. Demikianlah Allah membuat perumpamaan (bagi) yang benar dan yang bathil. Adapun buih itu, akan hilang sebagai sesuatu yang tak ada harganya; adapun*

*yang memberi manfaat kepada manusia, maka ia tetap di bumi” (Qs. Ar Ra’d : 17)*

Dari penjelasan ayat diatas kita dapat mengambil suatu kesimpulan bahwa proses perpindahan panas merupakan suatu fenomena yang banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari dan dalam berbagai keadaan. Maka diperlukan adanya penyeimbang antara udara yang semakin panas dengan air yang sudah kita ketahui beberapa manfaatnya diantaranya sebagai pendingin. Air yang diperlukan oleh mesin pendinginpun tidak sembarangan, dalam hal ini ada ukuran elevasi untuk mengetahui apakah air dengan ketinggian tertentu dapat melepaskan kalor dengan baik atau tidak.

Dalam bidang teknologi kita dapat jumpai beberapa alat yang berfungsi sebagai pelepas kalor seperti halnya pada ketel uap, ruang bakar pada motor bakar, penukar panas (heat exchanger) dan siklus-siklus pendingin yang lain. Pada mesin pendingin (AC), salah satu komponen yang digunakan adalah kondensor. Kondensor berfungsi sebagai alat penukar kalor karena didalamnya terjadi perubahan-perubahan yang tidak dapat diketahui hanya dengan dilihat atau diamati dengan kasat mata, karena keterbatasan manusia. Untuk mengetahui perubahan panas tersebut maka harus dilakukan penelitian yang lebih spesifik agar mendapatkan suatu penjelasan yang lebih detail. Ada beberapa faktor yang menyebabkan perpindahan kalor/panas pada sebuah pendingin agar bisa lebih optimal. Perpindahan kalor adalah hal yang sangat penting untuk mengembangkan kondensor dengan mengadakan perubahan-perubahan atau memodifikasi alat yang sudah ada, yang semula menggunakan fluida yang berbentuk gas yaitu udara dengan menggunakan fluida air sistem menara. Dari penelitian ini diharapkan

mendapatkan pelepasan kalor/panas yang lebih optimal, kemudian dianalisis untuk dapat memberikan gambaran secara teknik tentang fenomena perpindahan panas yang terjadi pada kondensor ini. Dengan ini maka kita dapat memanfaatkan segala sesuatu benda yang telah diberikan oleh Allah SWT dengan baik dan tidak merusaknya seperti apa yang telah di firmankan oleh Allah SWT dalam QS. Ar-Ruum ayat 41 :

عَمِلُوا الَّذِي بَعْضَ لِيُذِيقَهُمُ النَّاسِ أَيِّدِي كَسَبَتْ بِمَا وَالْبَحْرِ الْبَرِّ فِي الْفَسَادِ ظَهَرَ  
يَرْجِعُونَ لَعَلَّهُمْ ﴿٤١﴾

*"Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).  
(Qs. Ar-Ruum : 41)*

### 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Adakah pengaruh elevasi aliran air pendingin kondensor terhadap laju perpindahan kalor?
2. Adakah hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin?

### 1.3 Batasan Masalah

Kondensor yang digunakan adalah kondensor berpendingin air sumur.

1. Refrigeran yang digunakan adalah R 22

2. Untuk perpindahan panas perhitungannya hanya dikhususkan pada kondensor saja.
3. Mesin pendingin yang digunakan adalah mesin pengkondisian udara sistem kompresi uap.
4. Elevasi aliran air pendingin kondensor yang digunakan adalah 1m, 1,5m, 2m, 2,5m, 3m.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh elevasi aliran air pendingin kondensor terhadap laju perpindahan kalor/ panas.
2. Untuk mengetahui hubungan antara laju perpindahan kalor terhadap efisiensi kerja mesin.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dengan alat ini kita dapat lebih hemat dalam penggunaan listrik
2. Alat ini dapat membantu dalam proses pendinginan dengan optimal.
3. Dengan berpendingin air sumur kita dapat menggunakannya dalam proses pelepasan kalor.

## 1.6 Hipotesis

1. Ada pengaruh perubahan elevasi aliran air pendingin terhadap laju perpindahan kalor / panas.
2. Ada hubungan antara laju perpindahan panas terhadap efisiensi kerja mesin akibat perubahan elevasi.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan suatu pembahasan skripsi diperlukan suatu sistematika penulisan agar semua pelaksanaan dan bentuk pelaporan tersusun secara sistematis, adapun sistematika yang di gunakan ada lima bab diantaranya :

**BAB I** : Pendahuluan

Pendahuluan meliputi : Latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

**BAB II** : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini di bahas tentang teori –teori yang mendukung dalam penelitian.

**BAB III** : Metode Penelitian

Dalam pembahasan bab ini meliputi : waktu dan tempat penelitian, Alat dan bahan, langkah-langkah penelitian, pelaksanaan pengambilan data, dan teknik analisis data.

**BAB IV** : Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini akan dibahas tentang hasil penelitian yang telah diperoleh dan proses perhitungan selama penelitian.

#### BAB V : Penutup

Dalam bab ini akan dibahas kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.



## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Definisi Pengkondisian Udara**

Pengkondisian udara adalah suatu proses pengkondisian atau pengaturan kondisi udara sehingga didapatkan temperatur, kelembaban, kecepatan, dan kebersihan yang sesuai dengan persyaratan kondisi udara suatu ruangan. Persyaratan sifat-sifat udara segar diletakkan sesuai dengan penggunaan ruangan misalnya untuk kantor, hotel, gedung pertemuan, rumah sakit, gedung bioskop, dan lain sebagainya.

Sistem pengkondisian udara pada umumnya dibagi menjadi dua golongan utama yaitu :

1. Refrigerasi industri, yaitu mengkondisikan udara dari ruangan karena diperlukan oleh proses, bahan, peralatan produksi atau barang yang ada didalam ruangan tersebut.
2. Pengkondisian udara untuk kenyamanan (Comfort Air Conditioner), yaitu mengkondisikan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuni yang melakukan aktivitas didalam ruangan tersebut.

#### **2.2 Perpindahan Panas**

##### **2.2.1 Teori Dasar Perpindahan Panas / Pelepasan Kalor**

Kalor adalah sesuatu yang dipindahkan diantara sebuah sistem dan sekelilingnya sebagai akibat dari perbedaan temperature dan kemudian dapat

dimengerti bahwa kalor adalah sebuah bentuk tenaga dan bukan merupakan sebuah zat. (Halliday Dan Resnick, 1985:722-723)

Tujuan yang utama dari refrigerasi adalah untuk menghasilkan suhu rendah (dingin) dalam suatu ruangan dengan memindahkan kalor yang tidak diperlukan ke suatu tempat yang tidak penting. Perpindahan kalor yang terjadi melalui tiga cara, yaitu:

1. Perpindahan panas secara konduksi

Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam satu medium (padat, cair, gas) atau antara medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Semakin rapat dan tersusun molekul – molekul yang terdapat pada logam, akan semakin cepat memindahkan energi dibandingkan dengan susunan energi yang acak dan jarang, umumnya terdapat pada bahan non logam.

Pipa tembaga, kondensor, evaporator, adalah penghantar panas yang baik. Tembaga banyak dipakai pada mesin pendingin, dimana kalor harus dipindahkan melalui dinding pipa. Logam – logam dengan penghantar kalor yang baik sangat penting dalam sistem pendingin. Perpindahan kalor dengan hantaran terjadi melalui dinding pipa evaporator dan pipa kapiler yang dilekatkan dan disolder disebut penukar kalor.

Benda – benda yang dapat menghantar kalor dengan baik seperti tembaga, aluminium, dan logam lain disebut konduktor. Sedangkan benda bukan logam seperti : kayu, asbes, plastik, glasswool, dan lainnya adalah penghantar kalor yang buruk atau disebut isolator.

Menurut Stocke hubungan dasar perpindahan panas secara konduksi diusulkan oleh Forier pada tahun 1822, yang menyatakan bahwa laju aliran panas persatuan luas secara konduksi dalam satu material adalah :

$$q = -k \cdot A \frac{\Delta T}{L}$$

Dimana :

- q : laju aliran panas konduksi (W)
- k : daya hantar termal / konduktivitas termal (W/m<sup>0</sup>C)
- A : luas penampang (m<sup>2</sup>)
- ΔT : beda temperatur (°C)
- L : panjang benda hantar (m)

## 2. Perpindahan panas secara radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas yang mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda – benda itu terpisah didalam ruang, bahkan bila terdapat didalam ruang hampa diantara benda – benda tersebut. Panas radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam kumpulan energi yang terbatas. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya (3 x 10<sup>8</sup> m/s) dan gejala – gejalanya menyerupai radiasi cahaya.

Apabila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (direfleksikan) sebagian lagi akan diserap (*absorpsi*) dan sebagian lagi diteruskan (ditransmisikan).

### 3. Perpindahan panas secara konveksi

Perpindahan panas konveksi merupakan kombinasi dari perpindahan panas konduksi (*heat conduction*), penyimpanan energi (*energi storage*), dan gerakan pencampuran (*mixing motion*).

Perpindahan panas konveksi merupakan mekanisme perpindahan energi yang terpenting antara permukaan padat dan air atau gas. Perpindahan energi secara konveksi terjadi pada permukaan yang mempunyai temperatur lebih tinggi dari temperatur sekelilingnya dan berlangsung dalam beberapa tahap.

Pertama energi panas mengalir secara konduksi dari permukaan ke partikel - partikel fluida yang berbatasan dengan permukaan tersebut. Konduksi ini terjadi pada daerah dekat permukaan, dengan kecepatan fluida sangat rendah dan pada lapisan batas antara permukaan dan fluida dengan kecepatan aliran sama dengan nol. Energi panas yang dipindahkan akan menaikkan temperatur dan energi dalam partikel - partikel fluida.

Kedua, partikel - partikel fluida akan bergerak ke daerah yang bertemperatur lebih rendah dalam fluida tersebut, pergerakan fluida tersebut disebabkan karena perbedaan massa jenis sebagai akibat kenaikan temperatur. Terjadilah pencampuran dan perpindahan bagian energi yang dimiliki oleh bagian partikel yang mempunyai energi dalam lebih tinggi pada partikel - partikel fluida yang lain. Pada umumnya, energi yang dipindahkan berupa panas

sensibel atau energi dalam. Walaupun demikian proses perpindahan panas laten ini biasanya dihubungkan dengan perubahan fase antara cair dan uap dari suatu fluida. (*W.F.Stocker, Supratman Hara, 1992: 26*)

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T$$
$$= h_c \cdot A \cdot (T_s - T_f)$$

Dimana :

- $q_c$  : laju perpindahan panas konveksi (W)  
 $h_c$  : koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )  
 $A$  : luas penampang ( $m^2$ )  
 $T_s$  : suhu permukaan ( $^\circ C$ )  
 $T_f$  : suhu fluida ( $^\circ C$ )

Menurut cara Bergeraknya aliran fluida, maka perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Konveksi bebas (*free convection*) adalah perpindahan massa fluida yang disebabkan oleh perbedaan densitas antara bagian – bagian fluida karena adanya perbedaan temperatur, cara energi panas berpindah.
- b. Konveksi paksa (*forced convection*) adalah perpindahan massa fluida yang disebabkan oleh paksaan suatu alat seperti kipas, blower, kompresor, pompa, dan lain – lain.

Aliran fluida yang terjadi, karena perpindahan panas antara batas benda padat dan fluida. Hal ini terjadi karena adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkut massa. Jika batas tersebut bersuhu lebih tinggi dari pada suhu fluida maka

panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi. Dengan cara itu meningkatkan energi dalam fluida dan terangkut oleh gerakan fluida. Jika fluida yang terpanaskan mencapai daerah yang suhunya lebih rendah maka berpindah lagi dengan cara konduksi. Karena perpindahan energi erat kaitiannya dengan perpindahan fluida, maka perlu diketahui jenis aliran fluidanya apakah laminar atau turbulen. Dalam aliran laminar fluida bergerak dalam lapisan – lapisan dan mengikuti aliran yang lancar. Sebaliknya pada aliran turbulen gerakan alirannya tidak beraturan. Dalam aliran turbulen mekanisme konveksi banyak sekali dibantu oleh pusaran – pusaran yang menuju aliran garis. Kenaikan laju percampuran (turbulensi) juga akan menaikkan laju aliran panas dengan cara konveksi.

Bila fluida (zat cair) mengalir di sepanjang suatu permukaan baik aliran laminar atau maka gerakan partikel di dekat permukaan diperlambat oleh gaya viskos. Dalam aliran laminar partikel – partikel fluida yang berbatasan dengan permukaan, melengket pada permukaan dan mempunyai kecepatan relatif nol. Kemudian partikel – partikel fluida melewati partikel tadi akan terhambat oleh gerakan fluida yang bergerak lebih lambat dan akan ada gaya geser yang disebut geseran viskos. Pengaruh gaya viskos yang berasal dari permukaan itu meluas ke dalam tubuh fluida, tetapi pada jarak dekat dari permukaan tersebut kecepatan partikel – partikel fluida mendekati kecepatan aliran yang tidak terganggu yang disebut lapisan batas. Aliran turbulen terbentuk jika didalam fluida mengalir senantiasa terdapat gangguan – gangguan dan gaya – gaya viskos bebas. Lapisan batas laminar mengubah aliran laminar menjadi turbulen karena lapisan batas tidak stabil akibat perbandingan gaya – gaya lamban dan akhirnya terjadi titik

dimana gangguan tidak akan berkurang lagi dan lapisan batas menjadi tidak stabil. Jarak dari tepi depan aliran sampai dimana lapisan batas menjadi turbulen disebut bilangan tanpa dimensi atau disebut bilangan Reynolds (*Reynolds Number*).

Dari teori lapisan batas ini menjadi dasar suatu aliran fluida itu laminar atau turbulen yang nantinya akan digunakan untuk menentukan bilangan Reynolds yang bisa untuk menentukan perpindahan kalor yang terjadi.

Faktor – faktor yang mempengaruhi perpindahan panas konveksi antara lain:

1. *Bilangan Reynolds*

Angka Reynolds digunakan untuk menunjukkan apakah aliran didalam tabung itu laminar atau turbulen. Angka Reynolds dapat dicari dengan :

$$R_e = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Dimana:

$R_e$  : bilangan Reynolds

$V$  : Kecepatan (m/s)

$\rho$  : kerapatan / massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  : viskositas (kg/m.s)

$D$  : diameter (m)

Suatu ketentuan bilangan Reynolds adalah:

$R_e < 2300$  adalah laminar

$R_e > 2300$  adalah turbulen

## 2. Bilangan Prandtl

Bilangan Prandtl merupakan suatu kelompok tanpa dimensi yang menghubungkan distribusi suhu dan distribusi kecepatan atau bilangan Prandtl merupakan perbandingan dari dua sifat angkutan molekular, yaitu viskositas kinematik ( $\nu = \mu / \rho$ ) yang mempengaruhi distribusi kecepatan dan difusivitas thermal

( $d = k / \rho \cdot C_p$ ) yang mempengaruhi profil suhu.

Jadi perbandingan antara kedua kuantitas adalah:

$$P_r = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu / \rho}{k / \rho \cdot C_p} = \frac{C_p \cdot \mu}{k}$$

Dimana:

$P_r$  : angka prandtl

$\nu$  : viskositas kinematik ( $m^2/s$ )

$\rho$  : kerapatan ( $kg/m^3$ )

$\alpha$  : difusitas thermal

$C_p$  : panas jenis ( $kJ/kg^0 C$ )

$\mu$  : viskositas multak ( $kg/m.s$ )

$k$  : konduktivitas thermal ( $W/m^0 C$ )

## 3. Bilangan Nusselt

Proses perpindahan kalor tergantung pada media aliran yang juga ditunjukkan oleh angka Reynolds. Laju relative antara difusi kalor dan momentum

tergantung pada bilangan Prandtl. Jika angka Reynolds dan angka Prandtl sangat penting dalam perhitungan perpindahan panas. Hubungan ini dapat menghasilkan bilangan Nusselt, dimana dapat dituliskan sebagai berikut:

a. Untuk aliran turbulen

$$Nu = 0,023 \cdot Re_c^{0,8} \cdot (Pr^{0,4})$$

(*J.P.Holman, Ir.Jasjfi, 1997: 255*)

b. Untuk aliran laminar

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot (Di/L) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot (Di/L \cdot Re \cdot Pr)^{2/3}}$$

Untuk suatu bilangan Nusselt tertentu, koefisien perpindahan panas konveksi berbanding lurus dengan konduktivitas thermal fluidanya, tetapi berbanding terbalik dengan panjang penampang. Untuk penerapan dalam rekayasa akan lebih mudah apabila bilangan Nusselt menggunakan persamaan :

(*Frank Kreith, Arko Prijono M.Sc, 1996: 420*)

$$Nu = \frac{h_i \cdot D}{k}$$

Dimana  $h_i$  merupakan koefisien perpindahan panas konveksi dalam pipa ( $W/m^2$ <sup>0</sup>C).

Sementara itu untuk mengetahui koefisien perpindahan panas konveksi di luar pipa dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$h_0 = 0,725 \left( \frac{g \cdot \rho^2 \cdot h_{fg} \cdot k_r^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot N \cdot D} \right)^{1/4}$$

Dimana :

$h_0$  : koefisien konveksi luar pipa ( $W/m^2{}^{\circ}C$ )

$\Delta t$  : beda temperatur permukaan pipa ( ${}^{\circ}C$ )

$D$  : diameter pipa (m)

$k_r$  : konduktivitas termal refrigran ( $W/m{}^{\circ}C$ )

$\rho$  : densitas fluida ( $kg/m^3$ )

$h_{fg}$  : penguapan fluida panas ( $kJ/kg$ )

$g$  : percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

$\mu$  : viskositas dinamik fluida cair ( $kg/ms$ )

$N$  : jumlah pipa

*(J.P. Holman, Ir. Jasjfi, 1997: 459)*

### 2.2.2 Laju Perpindahan Panas

Jumlah kalor yang dilepas refrigeran ke fluida pendinginnya di kondensor dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q = U_0 \cdot A_{tot} \cdot \Delta T_m$$

Dimana:

$q$  : laju aliran kapasitas fluida panas maupun dingin (W)

$U_0$  : koefisien perpindahan kalor menyeluruh ( $W/m^2{}^{\circ}C$ ).

$A_{tot}$  : luas bidang total perpindahan panas ( $m^2$ )

$\Delta T_m$  : perbedaan temperatur rata – rata ( ${}^{\circ}C$ )

Kalor selalu berpindah dari zat yang lebih tinggi suhunya, menuju ke zat yang lebih rendah suhunya. Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai

berpindahnya suatu energi dari suatu daerah lainnya akibat dari beda suhu antara daerah – daerah tersebut. (J.P.Holman,Ir.Jasjfi, 1997 : 33)

### **2.3 Komponen Utama Sistem Refrigerasi**

Komponen utama sistem refrigerasi merupakan pokok kerja sistem refrigerasi yang saling berhubungan satu sama yang lainnya. Komponen utama pada sistem refrigerasi terdiri dari:

#### **1. Kompresor**

Kompresor adalah bagian yang terpenting dari mesin refrigerasi. Kompresor berperan untuk menekan refrigerasi ke semua bagian dari sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan, sehingga media pendingin dapat mengalir dari satu bagian ke bagian yang lain dari sistem.

#### **2. Kondensor**

Kondensor merupakan alat penukar kalor. Kondensor gunanya untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari gas menjadi cair. Kondensor ditempatkan antara kompresor dan katup ekspansi.

Tekanan refrigeran dari kondensor harus lebih tinggi dari pada tekanan pada bagian lain dari sistem. Tekanan refrigeran yang meninggalkan kondensor harus masih cukup tinggi untuk mengatasi gesekan pipa dan tahanan dari katup ekspansi.

#### **3. Katup Ekspansi**

Katup ekspansi mempunyai dua fungsi, yaitu:

- a. Menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran cair.

b. Mengatur aliran refrigeran ke dalam evaporator sesuai dengan kebutuhannya.

Katup ekspansi mengatur pemasukan refrigeran sesuai dengan kebutuhan beban pendingin yang harus dilayani oleh evaporator. Katup ekspansi mengatur supaya evaporator dapat selalu bekerja, sehingga diperoleh efisiensi siklus refrigerasi yang maksimal.

#### 4. Evaporator

Fungsi dari evaporator adalah untuk menyerap panas dari udara, air atau benda yang ada disekitarnya. Evaporator merupakan sebuah ruangan tempat refrigeran cair menguap. Refrigeran gas ditampung di akumulator, kemudian mengalir ke kompresor. Evaporator memberikan panas kepada refrigeran sebagai kalor laten penguapan, sehingga refrigeran menguap. (*Handoko, 1979 : 42-50*)

### 2.4 Prinsip Kerja Mesin Pendingin

Prinsip kerja mesin pendingin adalah mengalirkan suatu bahan pendingin (refrigerant) pada suatu mesin pendingin, kemudian refrigeran menyerap panas di dalam evaporator dari udara atau media yang perlu didinginkan dan seterusnya uap refrigeran tersebut dikompresikan oleh kompresor menuju kondensor, dimana di dalam kondensor uap refrigeran terkondensasikan menjadi titik cairan refrigeran, dengan bantuan media pendingin yaitu air.

Refrigeran yang berbeda di dalam sistem umumnya akan mengalami perubahan fase dari fase gas ke fase cair dan sebaliknya dari fase cair ke fase gas selama siklus. Di dalam kompresor, refrigeran berupa uap dikompresikan sehingga tekanan dan temperaturnya naik, selanjutnya uap refrigeran itu

terkondensasi di dalam kondensor menjadi cairan refrigeran yang bertemperatur rendah dan bertekanan rendah. Refrigeran yang bertekanan rendah dan bertemperatur rendah diekspansikan pada katup ekspansi masuk ke evaporator. Cairan dikurangi tekanannya agar menguap, sehingga cairan refrigeran tersebut berubah menjadi uap basah. Selanjutnya perubahan tersebut terjadi berulang-ulang selama siklus.

Di dalam mesin pendingin ini jumlah refrigeran adalah tetap meskipun mengalami perubahan fase (bentuk), sehingga di dalam sistem tidak perlu adanya penambahan refrigeran kecuali pada instalasi mengalami kebocoran.

Rumus-rumus yang akan dipakai untuk kondensor yaitu:

- a. Kalor yang dilepas refrigeran di dalam kondensor

$$q_{\text{kon}} = h_2 - h_3 \text{ (kJ/kg)}$$

Dimana:

$q_{\text{kon}}$  : kalor yang dilepaskan di dalam kondensor (kJ/kg)

$h_2$  : entalpi masuk kondensor (kJ/kg)

$h_3$  : entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

*(Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980:112)*

- b. Kalor yang diserap evaporator (efek refrigerasi)

$$q_{\text{evp}} = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)}$$

Dimana:

$q_{\text{evp}}$  : efek refrigerasi (kJ/kg)

$h_1$  : entalpi masuk evaporator (kj/kg)

$h_4$  : entalpi keluar evaporator (kj/kg)

*(Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980:111)*

c. Kerja kompresor ( $W_k$ )

$$W_{\text{kompresor}} = h_2 - h_1 \text{ (kj/kg)}$$

Dimana:

$W_k$  : Kerja kompresor (kj/kg)

$h_1$  : Entalpi masuk kompresor (kj/kg)

$h_2$  : Entalpi keluar kompresor (kj/kg)

*(Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980: 112)*

d. Laju aliran COP (Coefficient Of Performance)

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \text{atau} \quad COP = \frac{q_{\text{evp}}}{W_{\text{kompresor}}}$$

Dimana:

COP : Coefficient Of Performance

$q_{\text{evp}}$  : Efek refrigerasi (kj/kg)

$W_{\text{kompresor}}$  : Kerja kompresor (kj/kg)

*(W. F. Stoecker, Supratman Hara, 1992: 187)*

## 2.5 Pengaruh elevasi terhadap laju perpindahan kalor / panas

Dalam menara pendingin, perpindahan panas berlangsung dari air ke udara tak jenuh. Ada dua penyebab terjadinya perpindahan kalor : yaitu perpindahan suhu bola kering dan perbedaan tekanan uap antara permukaan air dan udara. Dua penyebab ini yang mengkombinasi membentuk potensial entalpi. Dalam hal ini elevasi menara pendingin sangat berpengaruh terhadap pelepasan kalor akan semakin maksimal apabila elevasi tersebut lebih tinggi, dengan kata lain bahwa semakin tinggi elevasi menara semakin cepat dalam pelepasan kalor, dan semakin rendah elevasi maka pelepasan kalor akan semakin lambat atau lama.

Untuk mencari besarnya laju kalor yang dipindahkan oleh seluruh menara pendingin, dengan mengkombinasikan beberapa persamaan. Laju kalor yang dilepaskan dari air  $dq$ , sama dengan laju kalor yang diterima udara :

$$dq = G dh_a = L (4,19 \text{ kJ/kg.K}) \text{ det kW} \quad (1)$$

Dari prinsip-prinsip tentang potensial entalpi. Persamaan lain untuk  $dq$  yaitu :

$$dq = \frac{h_c dA}{c_{pm}} (h_i - h_a) \quad (2)$$

dengan :  $h_c$  : koefisien konveksi,  $\text{kW/m}^2 \cdot \text{K}$

$h_i$  : Entalpi udara jenuh pada suhu air,  $\text{kJ}/(\text{kg udara kering})$ .

$h_a$  : Entalpi Udara,  $\text{kJ}/(\text{kg udara kering})$

$c_{pm}$  : Kalor jenis udara lembab,  $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$

Integrasi stepwise adalah untuk mencari besarnya laju kalor yang dipindahkan oleh seluruh bagian menara pendingin, persamaan ke 2 harus diintegrasikan. Baik  $h_i$  maupun  $h_a$  dan berubah - ubah menurut variabel integrasi

A. Dengan mengkombinasikan persamaan (1) dan (2), menyusun kembali dan kemudian diintegrasikan akan menghasilkan :

$$4,19 L \int_{out}^{in} \frac{dt}{hi - ha} = \int_0^A \frac{h_c dA}{c_{pm}} = \frac{h_c A}{c_{pm}}$$

dengan  $t_{in}$  dan  $t_{out}$  berturut-turut adalah suhu air yang masuk dan yang meninggalkan menara pendingin. (*Wilbert stocker, 1992 : 343-347*)

## 2.6 Efisiensi (Koefisien) Perpindahan Panas Menyeluruh.

Koefisien perpindahan panas menyeluruh untuk suatu alat penukar kalor merupakan suatu perbandingan yang tetap, yang apabila dikalikan dengan luas permukaan perpindahan panas dan rata – rata perbedaan suhu diantara dua fluida, akan menghasilkan laju perpindahan panas. Apabila panas mengalir menembus pipa, yaitu antara refrigeran disisi dalam dan udara disisi luar maka koefisien perpindahan panas total atau menyeluruh dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$U_0 = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{h_o}}$$

Dimana:

$A_0$  = Luas permukaan luar pipa ( $m^2$ ).

$A_i$  = Luas permukaan dalam pipa ( $m^2$ ).

$h_0$  = konveksi paksa diluar pipa ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

$h_i$  = konveksi paksa didalam pipa ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

$L$  = panjang pipa (m).

$k_p$  = konduktivitas termal bahan pipa ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

## 2.7. Kondensor

Kondensor adalah suatu alat untuk merubah bahan pendingin dari bentuk gas menjadi cair. Bahan pendingin dari kompresor dengan suhu dan tekanan tinggi, panasnya keluar melalui permukaan rusuk-rusuk kondensor ke fluida pendingin yaitu air.

Sebagai akibat dari kehilangan panas, bahan pendingin gas mula-mula didinginkan menjadi gas jenuh, kemudian mengembun berubah menjadi cair.

Kondensor ada 3 macam menurut cara pendinginannya, yaitu:

1. Kondensor dengan media pendingin udara (air cooled)
2. Kondensor dengan media pendingin air (water cooled)
3. Dengan media pendingin campuran udara dan air (evaporative kondensor)

Kondensor yang digunakan untuk pengujian adalah kondensor berpendingin air dengan refrigeran 22. Kondensor berpendingin air yang digunakan terdiri dari koil pipa pendingin di dalam tabung yang dipasang pada posisi horizontal.

Ciri-ciri kondensor pendingin air adalah sebagai berikut:

1. Memerlukan pipa air pendingin, pompa air, dan penampung air
2. Dapat mencapai kondisi superdingin karena tidak terpengaruh terhadap suhu luar.
3. Bentuknya sederhana (horizontal) dan mudah pemasangannya.

*(Wiranto Arismunandar, Heizo saito, 1980 : 328)*

## 2.8 Menara Pendingin

Menara pendingin merupakan ruangan di mana air panas disemprotkan atau dipancarkan ke bawah, sementara itu udara atmosfer dialirkan melalui atau berlawanan dengan arah jatuhnya air panas. Dengan cara demikian air panas itu didinginkan.

Sehubungan dengan hal tersebut, hendaknya diingat bahwa air dikenai udara, maka dapat dicapai temperatur bola-basah dari udara, yaitu suatu keadaan seimbang; dengan kata lain, air tidak dapat didinginkan di bawah temperatur bola-basah dari udara.



Gambar 2.6

### Fungsi Menara Pendingin

(Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980: 328)

#### 2.8.1 Persyaratan Bagi Menara Pendingin

##### 1. Kondisi nominal dari menara pendingin

Kapasitas menara pendingin (Ton Refrigerasi) distandarisasikan menurut The Japanese Cooling Tower Industry Association sebagai berikut:

$$1 \text{ Ton Refrigerasi} = 390 \text{ kcal/jam}$$

Pada kondisi

$$\text{Temperatur bola-basah udara sekitar } 27^{\circ}\text{C}$$

Temperatur air masuk	37 <sup>o</sup> C
Temperatur air keluar	32 <sup>o</sup> C
Volume aliran air	13 liter/menit

Harga standar tersebut di atas menentukan prestasi menara pendingin

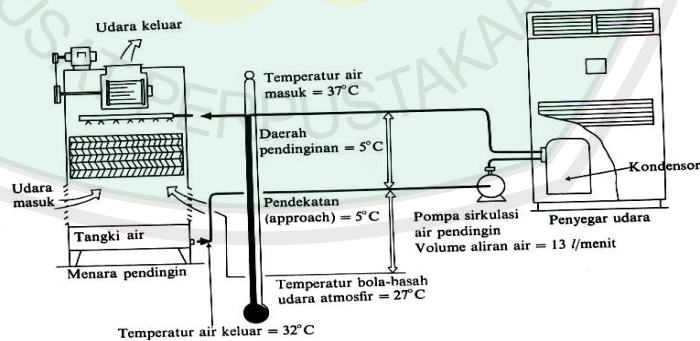
## 2. Daerah pendinginan

Daerah pendinginan menyatakan selisih temperatur dari air masuk dan air keluar menara pendingin.

(Kapasitas Pendinginan, kcal/jam)

$$= (\text{Volume aliran air pendingin, liter/menit}) \times 60 \times (\text{Daerah pendinginan, } ^\circ\text{C})$$

Jadi, untuk menara pendingin dengan volume aliran air yang sama, menara pendingin dengan daerah pendinginan yang lebih besar memiliki kapasitas pendinginan yang lebih besar pula. Untuk mencapai efek tersebut, menara pendinginan harus dirancang sehingga dapat terjadi kontak yang baik antara air dan udara.



**Gambar 2.7**

**Daerah Pendinginan (*cooling range*) Versus Pendekatan (*approach*)**

(Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980: 329)

### 3. Temperatur bola-basah dari udara luar

Temperatur ini harus ditetapkan berdasarkan kondisi udara atmosfer pada musim dimana kelembaban relatif udara atmosfer tinggi. Temperatur standar yang digunakan adalah 27°C, berdasarkan pertimbangan bahwa pada kenyataannya temperatur maximum hanya terjadi selama waktu yang sangat singkat pada siang hari; selain itu juga berdasarkan pertimbangan biaya instalasi.

### 4. Pendekatan pendinginan (*cooling approach*)

Kapasitas pendinginan dari sebuah menara pendingin sangat tergantung pada temperatur bola-basah udara atmosfer dan sangat menentukan temperatur air keluar. Hubungan antara kedua parameter tersebut dapat dinyatakan dengan pendekatan (*approach*).

$$(\text{Pendekatan, } ^\circ\text{C}) = (\text{Temperatur air keluar menara pendingin, } ^\circ\text{C}) - (\text{Temperatur bola-basah dari udara atmosfer, } ^\circ\text{C})$$

Untuk temperatur bola-basah dari udara atmosfer yang sama, menara pendingin dengan pendekatan yang lebih kecil (temperatur air keluar yang lebih rendah) dapat memberikan efek pendinginan yang lebih besar. Untuk memperoleh hal tersebut, kontak antara air dan udara harus dapat dibuat lebih efektif.

## 2.9 Refrigeran

Pada unit refrigerasi, hendaknya dapat dipilih jenis refrigeran yang paling sesuai dengan jenis kompresor yang dipakai, dan karakteristik termodinamikanya

yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan.

Adapun persyaratan refrigeran untuk unit refrigerasi adalah sebagai berikut:

1. Tekanan penguapan harus cukup tinggi, sebaiknya refrigeran memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi

Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan, dan sebagainya, menjadi lebih kecil.

3. Kalor laten penguapan harus tinggi

Refrigeran yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigeran yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi kecil.

4. Volume spesifik (terutama dalam fase gas) yang cukup kecil

Refrigeran dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian, untuk kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.

5. Koefisien prestasinya harus tinggi  
 Dari segi karakteristik termodinamika dari refrigeran, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menentukan biaya operasi.
6. Konduktivitas termal yang tinggi  
 Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.
7. Viskositas yang rendah dalam fase cair maupun fase gas  
 Dengan turunnya tahanan aliran refrigeran dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang.
8. Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik  
 Sifat-sifat tersebut sangat penting, terutama untuk refrigeran yang akan dipergunakan pada kompresor hermetik.
9. Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi
10. Refrigeran tidak boleh beracun dan berbau merangsang
11. Refrigeran tidak boleh mudah terbakar dan mudah meledak
12. Refrigeran harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran
13. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.

**Tabel 2.4**

**Jenis dan Karakteristik dari R22**

Karakteristik termodinamika	Refrigeran R22
Rumus kimia	CHCIF <sub>2</sub>

Berat molekul	86,47
Titik didih (°C)	- 40,8
Titik pembekuan (°C)	- 160
Temperatur kritis (°C)	96,0
Tekanan kritis (kg/cm <sup>2</sup> )sbns	49,12
Berat jenis cair 30°C: (g/cc)	1,175
Berat jenis pada titik didih: (g/l)	4,82
Kalor spesifik cair 30°C: (cal/g°C)	0,335
Kalor spesifik uap C <sub>p</sub> (30°C pada tekanan atmosfer) (cal/g°C)	0,152
Perbandingan kalor spesifik, C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> (30°C pada tekanan atmosfer)	1,184
Kalor laten penguapan pada titik didih (cal/g)	55,92
Kekuatan dielektrika: 23°C pada tekanan atmosfer (nitrogen = 1)	1,3
Kelarutan freon dalam air pada 30°C: (g/100g)	0,15
Kemudahan terbakar	Tidak
Sifat racun	5A (mengandung CO)

(Wiranto Arismunandar, Heizo Saito, 1980: 120)

## 2.10 Beda Suhu Rata-rata (Log Mean Temperatur Difference, LMTD)

Beda suhu ini disebut beda suhu rata-rata (Log Mean Temperatur Difference = LMTD). Dengan kata lain ialah, beda suhu pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda suhu tersebut.

$$\Delta T_m = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

Dimana:

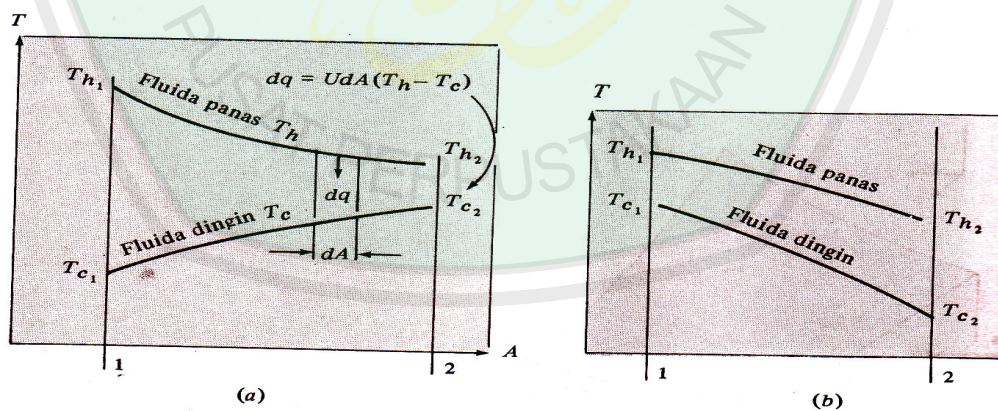
$\Delta T_m$  = beda temperatur rata-rata ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{h1}$  = temperatur refrigeran masuk kondensor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{h2}$  = temperatur refrigeran keluar kondensor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{c1}$  = temperatur air pendingin masuk kondensor ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{c2}$  = temperatur air pendingin keluar kondensor ( $^{\circ}\text{C}$ )



Gambar 2.10

**Profil Suhu Untuk Aliran – Sejar dan Aliran – Lawan – Arah dalam  
Penukar - Kalor Pipa – Ganda**

(JP. Holman, Ir. Jasjfi, 1997:490)

## 2.11 Manfaat Ketinggian air

Air adalah kebutuhan pokok makhluk hidup. Air mempunyai peranan yang sangat penting mulai dari fungsi yang sangat sederhana sampai yang sangat sempurna. Air mempunyai banyak fungsi dalam kehidupan sehari-hari mulai dari penyejuk udara lingkungan pegunungan, udara sekitar laut, penyejuk ruangan (AC) dan masih banyak yang lain. Air dengan segala keunikan sifatnya memberikan banyak manfaat yang terlibat langsung maupun tidak langsung. Dalam kehidupan sehari-hari dalam kehidupan manusia, hewan, tumbuhan dan alam sekitarnya. Mungkin kita belum mengetahui bahwa dengan turunnya air dengan ketinggian tertentu dan ukuran yang telah ditetapkan oleh Allah SWT, dengan turunnya air ke dunia maka kita akan merasakan kesejukan dan kedamaian yang tidak bisa diberikan oleh makhluk yang lain kecuali Allah SWT. Maka dengan inilah kita dapat mengetahui bahwa air merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup yang mutlak harus ada. Dengan air Allah SWT menghidupkan bumi beserta makhluk yang ada didalamnya, sebagaimana Allah SWT berfirman dalam QS.Al-Ankabuut : 63 Sebagaimana kutipan berikut:

مَوْتَهَا بَعْدَ مِنْ الْأَرْضِ بِهِ فَأَحْيَا مَاءَ السَّمَاءِ مِنْ نَزْلِ مَنْ سَأَلْتَهُمْ وَلَئِنْ  
يَعْقُلُونَ لَا أَكْثَرُهُمْ بَلِ اللَّهُ أَحْمَدُ قُلِ اللَّهُ لَيَقُولُنَّ

*Artinya: Dan Sesungguhnya jika kamu menanyakan kepada mereka: "Siapakah yang menurunkan air dari langit lalu menghidupkan dengan air itu bumi sesudah matinya?" tentu mereka akan menjawab: "Allah SWT", Katakanlah: "Segala puji bagi Allah SWT", tetapi kebanyakan mereka tidak memahaminya).*

Setelah Allah SWT membuktikan, bahwa Dialah yang Maha Pencipta pada permulaannya dan kepada-Nya lah semuanya kembali, kemudian dia

menonjolkan keagungan sifat-sifat Nya yang hal ini sangat erat kaitannya dengan kebenaran yang disampaikan oleh Rasulullah SAW. Dari sinilah kita akan mengetahui begitu besarnya keesaan Allah SWT dalam menciptakan semua yang ada di dunia ini untuk bisa dimanfaatkan oleh manusia sebagai makhluk yang sering disebut dengan manusia yang berfikir dan akan melakukan suatu hal yang dapat menjaga semua yang telah diberikan oleh Allah SWT sebagai bentuk kecintaan Allah SWT kepada makhluknya. Dengan diberikannya Air hujan yang kemudian turun kebumi dan di bumi kita dapat menggunakannya sebagai sumber kehidupan, yang tentunya dengan air jugalah kita dapat memanfaatkannya dalam kebutuhan-kebutuhan manusia saat ini dalam ukuran-ukuran yang telah ditentukan oleh Allah SWT

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Dalam melaksanakan penelitian ini digunakan suatu metode dan prosedur penelitian, sehingga langkah-langkahserta tujuan dari penelitian yang dilakukan dapat sesuai dengan apa yang diharapkan.

#### **3.1 Jadwal dan tempat penelitian**

##### **3.1.1 Jadwal penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan januari 2008

##### **3.1.2 Tempat penelitian**

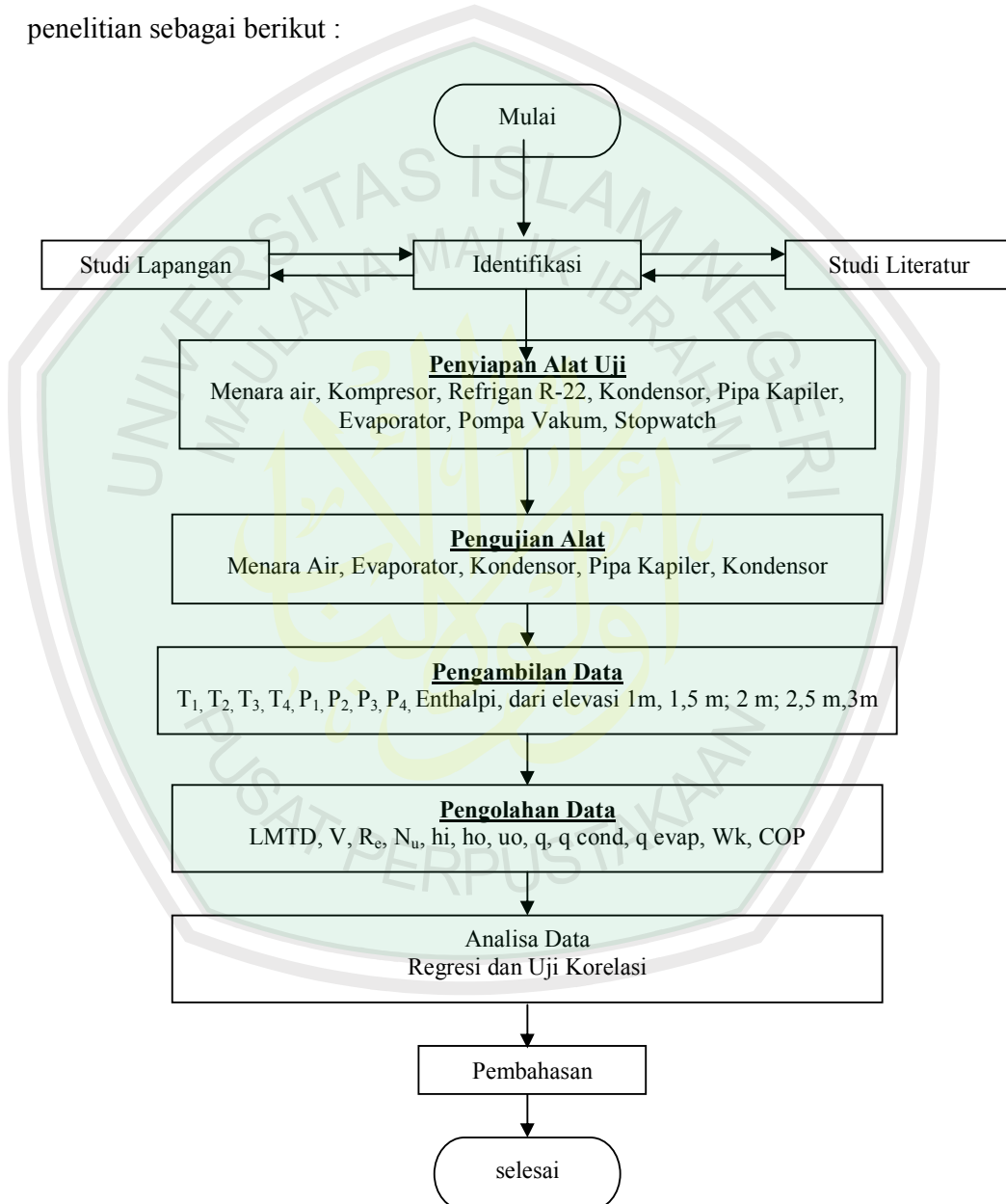
Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Pendingin ITN Malang.

#### **3.2 Alat Dan Bahan**

1. Kompresor
2. Kondensor
3. Pipa kapiler
4. Evaporator
5. Menara pendingin
6. Filling
7. Kipas atau Fan
8. Akumulator
9. Pompa Vakum
10. Thermometer
11. Manometer
12. Stopwatch

### 3.3 Langkah-langkah Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan secara sistematis, maka diperlukan rancangan penelitian / langkah-langkah dalam penelitian. Adapun flowchart penelitian sebagai berikut :



**Gambar 3.3**  
**Flow Chart Penelitian**

Langkah-langkah dari penelitian ini dapat dijelaskan:

- a. Memulai penelitian, dengan melakukan studi lapangan, identifikasi alat dan studi literatur.
- b. Menyiapkan alat yang akan diuji antara lain : Menara air, kompresor, Refrigeran R-22, Kondensor, Pipa Kapiler, Evaporator, pompa vakum dan stopwatch.
- c. Melakukan pengujian alat antara lain : Menara air, Evaporator, Kondensor, Pipa Kapiler, kompresor.
- d. Melakukan pendataan pada masing-masing alat yang diperoleh dari thermometer yang telah disediakan pada masing-masing alat.
- e. Dari data yang diperoleh, dapat dihitung nilai LMTD,  $V$ ,  $Re$ ,  $Nu$ ,  $h_i$ ,  $h_o$ ,  $q$ ,  $q_{kon}$ ,  $q_{evap}$ ,  $W_k$  dan sampai didapatkan COP.
- f. Menganalisis data yang telah diperoleh dengan menggunakan analisis Regresi dan uji korelasi.
- g. Membahas semua hasil yang telah diperoleh.

### **3.4 Pengujian alat**

- a. Memasang termometer pada saluran masuk dan saluran keluar kondensor yang gunanya untuk mengetahui temperatur yang masuk dan keluar kondensor.
- b. Memasang termometer pada saluran masuk dan keluar evaporator yang gunanya untuk mengetahui temperatur yang masuk dan keluar evaporator
- c. Memasang termometer pada pipa fluida pendingin air yang masuk dan keluar kondensor yang gunanya untuk mengetahui temperatur fluida pendingin air yang masuk dan keluar kondensor
- d. Memasang manometer pada saluran masuk dan saluran keluar kondensor yang gunanya untuk mengetahui perubahan tekanan yang terjadi pada kondensor

- e. Memasang manometer pada saluran masuk dan keluar evaporator yang gunanya untuk mengetahui perubahan tekanan yang terjadi pada evaporator
- f. Hidupkan mesin
- g. Melakukan pendataan terhadap perubahan tekanan dan temperatur pada kondensor.
- h. Melakukan pendataan terhadap perubahan tekanan dan temperatur pada evaporator
- i. Melakukan pendataan terhadap perubahan temperatur fluida pendingin air yang masuk dan keluar kondensor
- j. Setelah pendataan selesai, matikan mesin.

### **3.5 Pelaksanaan pengambilan data**

- a. Pengambilan data dilakukan tiap 5 menit hingga mendapatkan 10 data untuk setiap variasi air yaitu ketinggian menara air pendingin 1 m, 1,5m, 2 m, 2,5m, 3 m
- b. Data yang diperoleh antara lain : P1,P2,P3, P4 dan T1,T2,T3,T4,T5 dan T6.
- c. Dari data yang diperoleh, dibandingkan nilai dari tiap-tiap elevasi yaitu 3m, 2,5m, 2m, 1,5m, 1m.

### **3.6 Teknik Analisis Data**

Untuk mengetahui tentang hasil penelitian yang telah dilakukan, maka perlu diadakan pembuktian terhadap data-data yang diperoleh, data tersebut harus dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya. Untuk membuktikan data tersebut

telah mewakili sebagai sampel atau belum, maka dilakukan perhitungan yang telah dilampirkan dan pengujian dari suatu hipotesa adalah masalah pengambilan keputusan dari beberapa alternatif yang berbeda, dan untuk menemukan suatu kesimpulan dari penelitian maka dilakukan uji regresi dan uji korelasi.

- a. Uji Regresi untuk mengetahui masalah yang pertama yaitu adanya suatu pengaruh elevasi aliran air pendingin kondensor terhadap laju perpindahan kalor. Dan uji regresi yang digunakan yaitu regresi linier
- b. Uji Korelasi untuk mengetahui masalah yang kedua yaitu adanya suatu hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin.
- c. Variabel bebas pada penelitian ini adalah Pengaruh elevasi aliran air pendingin kondensor dan variabel terikatnya adalah laju perpindahan kalor dan efisiensi kerja mesin.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

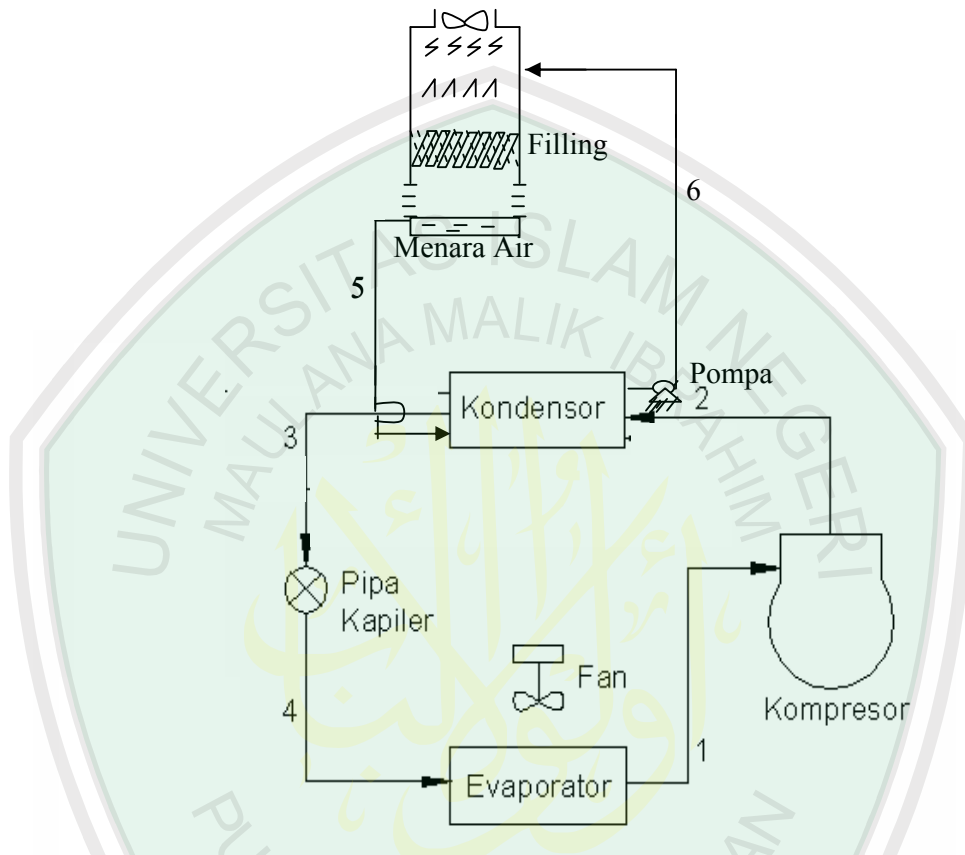
#### 4.1 Pengujian Alat.

- k. Memasang termometer pada saluran masuk dan saluran keluar kondensor, saluran masuk dan keluar evaporator, pipa fluida pendingin air yang masuk dan keluar kondensor.
- l. Memasang manometer pada saluran masuk dan saluran keluar kondensor, dan saluran masuk dan keluar evaporator yang gunanya untuk mengetahui perubahan tekanan yang terjadi pada evaporator
- m. Hidupkan mesin
- n. Melakukan pendataan terhadap perubahan tekanan dan temperatur pada kondensor, evaporator, pada tiap-tiap elevasi antara lain : 3m, 2,5m, 2m, 1,5m, 1m yang telah ada dalam lampiran
- o. Melakukan pendataan terhadap perubahan temperatur fluida pendingin air yang masuk dan keluar kondensor dan data yang diperoleh dalam lampiran.
- p. Data yang diperoleh pada elevasi 3m ternyata nilainya lebih besar bila dibandingkan dengan data pada elevasi 2,5m, 2m, 1,5m, 1m.

#### 4.2 Pengaruh Elevasi Terhadap Perpindahan Kalor.

Berdasarkan sifat dari perpindahan kalor yang telah kita ketahui, bahwa perpindahan kalor yang terjadi pada mesin pendingin kondensor yang berpendinginkan air sumur ini, kita dapat mengetahui bahwa kalor dapat dengan cepat berpindah dengan cara konveksi, dimana terjadinya perpindahan ini pada saat air berada dalam menara dan dalam elevasi yang telah ditentukan,

sebagaimana telah kita ketahui dari langkah-langkah penelitian bagaimana alur kerja mesin pendingin, seperti pada gambar ini.



Dari gambar diatas, kita dapat mengetahui bagaimana kerja mesin pendingin ini melakukan proses perpindahan panas/kalor. Dari gambar ini, dapat dijelaskan bahwa nilai yang didapat pada tekanan masuk kompresor (P1), lebih kecil bila dibandingkan dengan Tekanan keluar kompresor atau masuk kondensor(P2), tekanan keluar kondensor atau masuk kondensator (P3) dan tekanan keluar pipa kapiler atau masuk evaporator (P4). Pada elevasi 3m nilai yang didapatkan lebih besar bila dibandingkan dengan pada elevasi 2,5m, 2m, 1,5m,1m ini semua dikarenakan semakin tinggi tempat perpindahan kalornya

maka semakin cepat dalam proses perpindahannya semua itu karena adanya pengaruh area sekitar, karena dalam menara juga terdapat udara yang juga membantu proses pelepasan kalor. Adapun spesifikasi pada mesin pendingin air ini adalah sebagai berikut :

Media pendingin	: Air Sumur
Bahan	: Tembaga
Panjang pipa (P)	: 7 m
Diameter luar pipa (Do)	: 0,375" = 0,00953 m
Diameter dalam pipa (Di)	: 0,305" = 0,00775 m
Tebal pipa	: 0,00089 m
Panjang tabung	: 60 cm = 0,6 m
Diameter luar tabung	: 18 cm = 0,18 m
Diameter dalam tabung	: 0,597 m
Tebal tabung	: 0,0015 m
Konduktivitas termal bahan pipa ( $k_p$ )	: 385 W/m $^{\circ}$ C
Diameter Pipa	: 3/4"

Hasil yang lebih jelasnya telah terdapat pada lampiran.

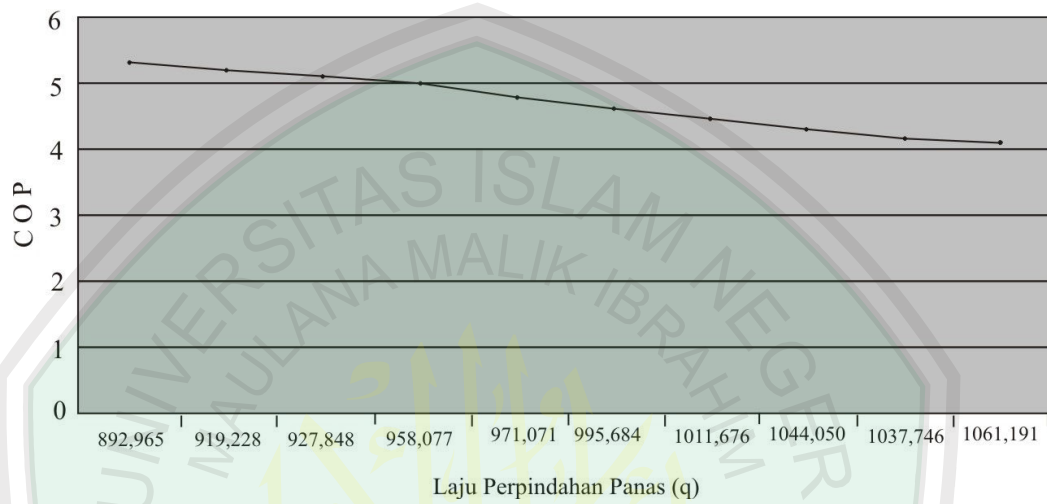
#### 4.3 Hubungan Laju Perpindahan Kalor Terhadap Efisiensi kerja Mesin

Hubungan laju perpindahan kalor terhadap efisiensi kerja mesin dari data yang telah diolah dapat diketahui pada grafik dibawah ini :

**Grafik 4.3.1**

**Hubungan Antara COP Dengan Laju Perpindahan Panas**

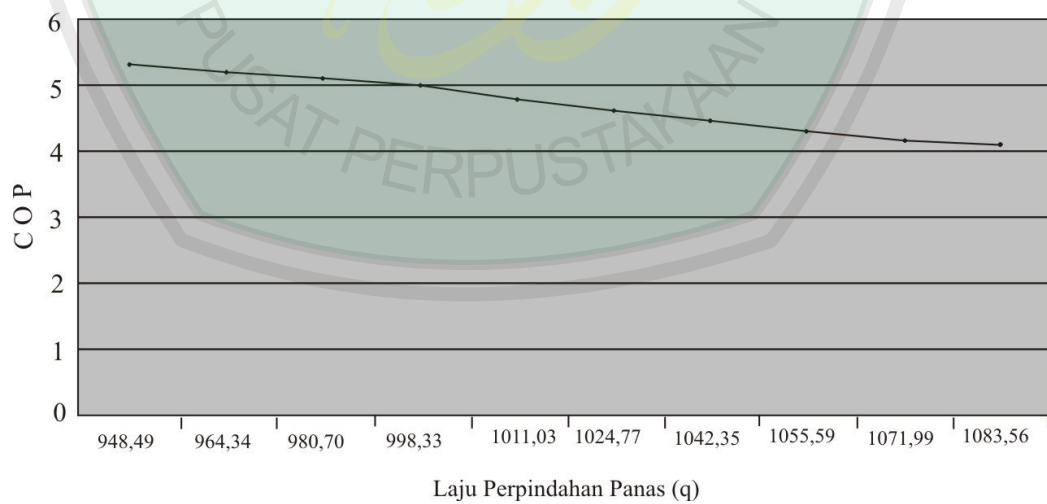
**Pada Ketinggian Menara Air Pendingin 3 m**



**Grafik 4.3.2**

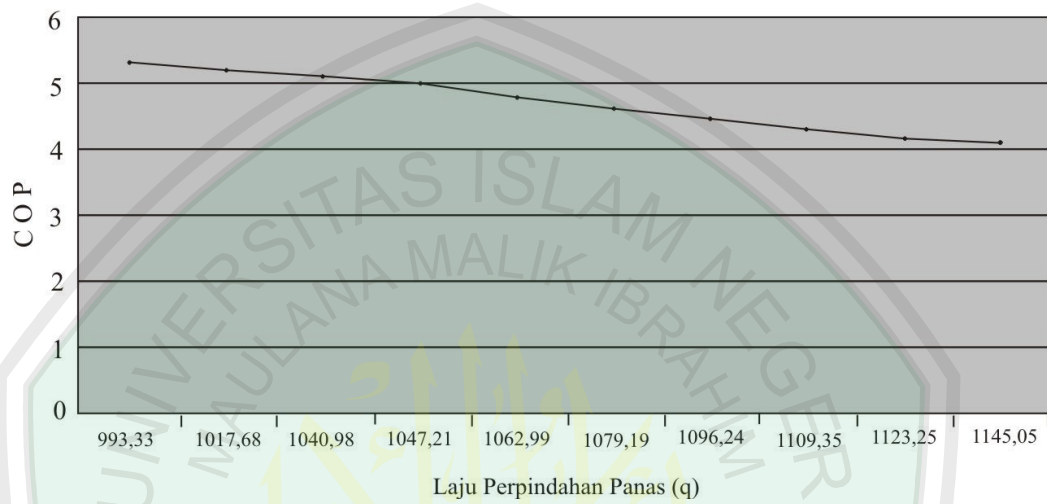
**Hubungan Antara COP Dengan Laju Perpindahan Panas**

**Pada Ketinggian Menara Air Pendingin 2,5 m**



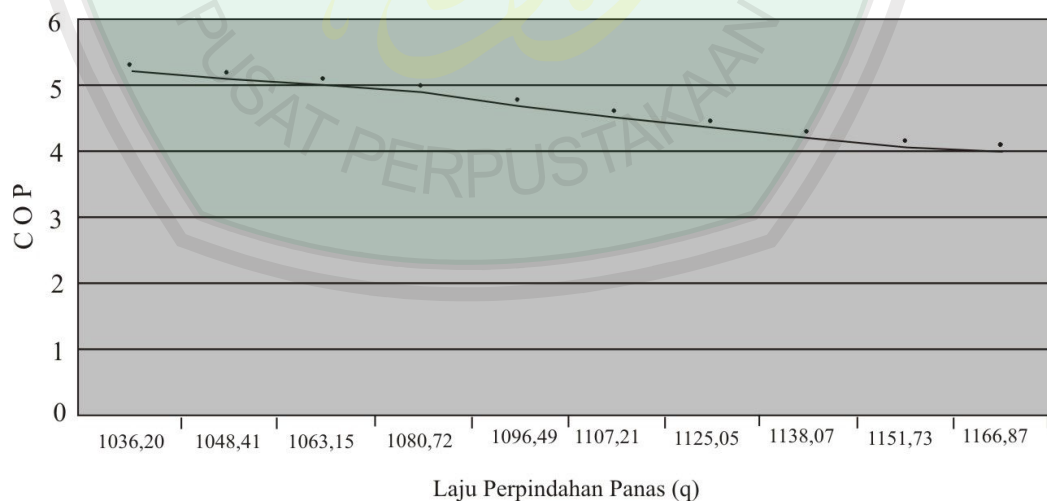
**Grafik 4.3.3**

**Hubungan Antara COP dengan Laju Perpindahan Panas  
pada ketinggian menara air pendingin 2 m**



**Grafik 4.3.4**

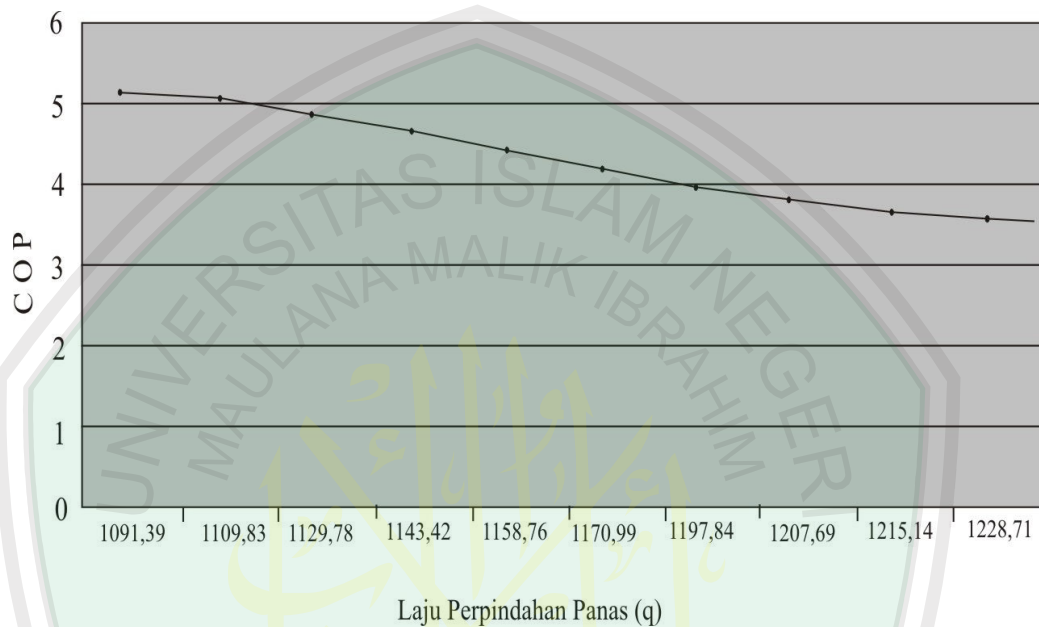
**Hubungan Antara COP dengan Laju Perpindahan Panas  
pada ketinggian menara air pendingin 1,5 m**



**Grafik 4.3.5**

**Hubungan Antara COP Dengan Laju Perpindahan Panas**

**Pada Ketinggian Menara Air Pendingin 1 m**



Hubungan laju perpindahan kalor terhadap efisiensi kerja mesin ini dapat diketahui dengan adanya, hubungan berbanding negative, ini semua karena adanya perpindahan panas secara konveksi, dimana perpindahan panas secara konveksi adalah dengan adanya perpindahan panas yang megakibatkan hubungan antara keduanya sangat berkaitan, secara fisis ini bisa dikatakan semakin cepat laju perpindahan kalornya maka semakin baik untuk efisiensi kerja mesin pendingin.

Dan dari grafik diatas dapat kita ketahui bahwa nilai COP dari ketinggian 3M, nilainya lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai COP dari ketinggian 2,5m, 2m, 1,5m, dan 1m, ini banyak kemungkinan yang menyebabkan terjadinya perpindahan kalor pada mesin pendingin ini, maka dari itulah bisa dikatakan

bahwa efisiensi kerja mesin pada mesin pendingin ini berbanding terbalik dengan laju perpindahan panas, dengan ini kita bisa melihat bahwa semakin tinggi laju perpindahan panas maka semakin turun nilai COP nya.

#### **4.4 Pembahasan.**

Dari hasil yang telah diperoleh pada lampiran maka dapat diketahui bahwa hipotesis dari rumusan masalah pertama dan kedua dapat diketahui dengan cara mengolah hasil perhitungan dengan menggunakan statistik yang sudah ditentukan yaitu analisis regresi linier dan uji korelasi, dan dapat diketahui bahwa variabel bebasnya adalah pengaruh elevasi aliran air pendingin kondensor dan variabel terikatnya adalah laju perpindahan kalor dan efisiensi kerja mesin. Akan tetapi sebelum memasuki ke analisis regresi dan uji korelasi, data yang sudah diperoleh diolah terlebih dahulu, dengan mencari terlebih dahulu beda suhu rata-rata sampai dengan menemukan harga pelepasan kalor dan efisiensi kerja mesin. Hasil ini dapat kita ketahui semua perhitungan di lampiran pada setiap elevasinya.

Dari pengujian regresi yang terdapat pada tabel pada lampiran dapat diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ . Dengan kata lain, ada pengaruh antara elevasi aliran air pendingin kondensor terhadap laju perpindahan kalor. SAMPEL 1 sampai dengan 10 sama semua, yaitu nilai sig-nya adalah 0.000,

Jadi, ada pengaruh antara elevasi aliran air pendingin kondensor terhadap laju perpindahan kalor.

Adapun hipotesis yang digunakan pada pengujian korelasi ini adalah :

$H_0$  = tidak ada hubungan antara laju perpindahan panas terhadap kerja mesin secara keseluruhan.

$H_a$  = terdapat hubungan antara perpindahan panas terhadap kerja mesin secara keseluruhan. Dari tabel pada lampiran nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin. Dari hasil penelitian tentang pengaruh elevasi aliran air pendingin kondensor ternyata berpengaruh terhadap laju perpindahan panas/ kalor, maka dapat dijelaskan sebagai berikut : Dalam pelepasan kalor yang terjadi pada kondensor berpendingin air sumur ini, dimana kita telah mengetahui beberapa fungsi dari air, seperti yang telah dijelaskan pada QS.Ar-Ra'ad :17

Seperti telah disebutkan, air adalah salah satu unsur utama dalam membangun makhluk hidup. Berbagai kegiatan dan gerakan-gerakan interaksi dalam hidup mulai proses pertumbuhan dan perkembangan, Air juga berperan penting dalam proses pendistribusian dan penyebaran berbagai zat dan unsur dan masih banyak yang lain. Manfaat air sangat banyak kita rasakan dalam kehidupan kita antara lain dalam ilmu kesehatan, ilmu sains dan teknologi. Dan dari penelitian ini juga didapatkan bahwa manfaat air sangat besar karena dalam perpindahan panas/kalor dapat mempercepat proses pemindahannya yaitu dari panas ke dingin. Dan tentunya semua itu dengan ukuran dan kadar yang sesuai dalam hal ini dengan ketinggian yang telah ditentukan.

Dari penjelasan diatas maka kita dapat mengambil kesimpulan bahwa manusia diciptakan untuk mempelajari segala sesuatu yang tentunya harus

didasari dengan berfikir dan dapat pula memanfaatkan segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT dengan sebaik mungkin tanpa harus merusaknya atau mengotorinya, dengan air jugalah alat ini mampu melepaskan panas/ kalor dengan baik seperti yang telah dijelaskan oleh al-Qur'an bahwa dengan air lah kehidupan didunia dapat kita rasakan dan dapat kita nikmati. Maka dengan inilah kita akan lebih memahami dan mengerti mengapa manusia diciptakan dengan kelebihan-kelebihan yang sangat ketara perbedaannya dari makhluk – makhluk yang lain yang telah diciptakan-Nya.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dijelaskan pada bagian pembahasan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk harga COP, kondensor dengan menara pendingin pada elevasi aliran air pendingin 3m memiliki harga yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan elevasi aliran air pendingin dengan ketinggian 2,5m, 2m, 1,5m, 1m
2. Laju perpindahan panas pada kondensor mempunyai hubungan (korelasi) negative dengan kenaikan COP (Efisiensi kerja mesin), dimana semakin besar laju perpindahan kalor yang terjadi pada kondensor maka nilai cop dari mesin pendingin akan semakin menurun, ini terlihat pada analisa grafik.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian ini disarankan :

1. Untuk meningkatkan efisiensi kerja mesin pendingin, diharapkan banyak diadakan studi maupun penelitian tentang perpindahan panas.
2. Disarankan untuk bias memodifikasi alat ini dengan menggunakan filling yang lain, selain aluminium dan tembaga untuk mengetahui apakah alat ini bisa lebih baik jika menggunakan filling yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

Al-Qur'an Al Karim

Al Maraghi.1996. *Tafsir Qur'an*. Bandung : Putera Harapan.

Frank Kreith, Arko Prijono M.Sc. 1997. *Prinsip-prinsip perpindahan panas*. Jakarta.: Erlangga

Frank M. White. 1996. *Mekanika Fluida Edisi kedua jilid 1*. Jakarta : Erlangga.

Halliday David Dan Resnick R. 1985. *Fisika Jilid 1*. Alih Bahasa : Silaban sucipto dan Erwin. Jakarta.: Erlangga

Hasan Mahmud, Mahir.2007.*Terapi air*. Jakarta: Qultum Media

J.P. Holman, Ir. Jasjfi. 1997. *Perpindahan Kalor*. Jakarta.: Erlangga

Sarojo, Ganijanti Aby. 2002. *Seri Fisika Dasar Mekanika*. Jakarta: Salemba Teknik.

Sudjana, Prof. DR. M. A. M.Sc. 2002. *Metode Statistika Edisi Keenam*. Bandung : Tarsito

Susilowati, Retno dan Dwi Suheriyanto.2006. *Setetes Air sejuta Kehidupan*. Malang: UIN Malang Press

Stocker, Supratman Hara.1992. *Refrigerasi dan pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga

Wiranto Arismunandar, Heizo saito.1980. *Penyegaran Udara*. Jakarta.: Pradnya Paramita

Zemansky dan R. H. Dittman. 1986. *Kalor dan Termodinamika* . penerjemah : The Houw Liong, ph.D ITB, Bandung.



## PERHITUNGAN DAN ANALISIS DATA

### A. DATA HASIL PENELITIAN

Tabel 1

Data hasil pengujian kondensor dengan ketinggian menara air pendingin 3 m dengan diameter pipa air  $\frac{3}{4}$ "

WAKTU (MENIT)	TEKANAN (PSI)				TEMPERATUR (°C)					
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
5	61	220	212	69	21	49	31,5	12	24	26,5
10	65	212	200,5	73	22	51,5	32	13	25	30,5
15	68	225	209,5	78	23	52	33	13	26	31,5
20	72	232,5	214	82	24	53,5	34	13,5	27	32,5
25	74	236	219	83	24	55	36	14	28	33,5
30	76	240	227	86,5	24	56	38	14	29	34,5
35	78	241	232	87	24	62	40,5	14,5	30	35,5
40	81	245	234	88,5	24	63	42	15	31	36,5
45	83	260	237,5	90	24,5	64	44	15	32	37,5
50	85	267	240	92	24,5	65	45,5	15,5	35	38,5

Tabel 2

Data hasil pengujian kondensor dengan ketinggian menara air pendingin 2,5m dengan diameter pipa air  $\frac{3}{4}$ "

WAKTU (MENIT)	TEKANAN (PSI)				TEMPERATUR (°C)					
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
5	65	215	210	72	22	51,5	32,5	14	25	27
10	69	202,5	197,5	76	22	52,5	34	13	26	28
15	73	212,5	207,5	79	23	54,5	35	13,5	27	29

<b>20</b>	76	220	212,5	81,5	24	56,5	36	14	28	30
<b>25</b>	77	225	217,5	82	24,5	59	37	14	29	31
<b>30</b>	78	232,5	225	83	24	61	38	14,5	30	32
<b>35</b>	80	240	230	85	24	63	39	15	31	33
<b>40</b>	81,5	245	235	86,5	24	65	40	15,5	32	34
<b>45</b>	83	247,5	237,5	88	24	68	41	16	33	35
<b>50</b>	85	252,5	242,5	90	24,5	70	42	16	34	36

**Tabel 3**

**Data hasil pengujian kondensor dengan ketinggian menara air pendingin 2 m dengan diameter pipa air  $\frac{3}{4}$ "**

<b>WAKTU (MENIT)</b>	<b>TEKANAN (PSI)</b>				<b>TEMPERATUR (°C)</b>					
	<b>P<sub>1</sub></b>	<b>P<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>3</sub></b>	<b>P<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>5</sub></b>	<b>T<sub>6</sub></b>
<b>5</b>	71	212,5	207,5	77	23	54	33,5	14,5	26	27,5
<b>10</b>	73,5	220	215	79,5	22	55	35	14	27	28,5
<b>15</b>	76	225	220	81	22	56	36,5	14,5	28	29,5
<b>20</b>	76,5	230	222,5	81,5	23	58	37,5	15	29	30,5
<b>25</b>	77	235	227,5	82	24	60	38,5	15,5	30	31,5
<b>30</b>	78,5	237,5	230	82,5	24	62	39,5	16	31	32,5
<b>35</b>	80	242,5	232,5	85	24	64	40,5	16,5	32	33,5
<b>40</b>	82	247,5	237,5	87	24,5	66,5	41,5	16,5	33	34,5
<b>45</b>	83,5	250	240	88,5	24,5	68,5	42,5	17	34	35,5
<b>50</b>	85	255	245	90	24	69,5	44	17	35	36,5

**Tabel 4**

**Data hasil pengujian kondensor dengan ketinggian menara air pendingin  
1,5 m dengan diameter pipa air ¾"**

WAKTU (MENIT)	TEKANAN (PSI)				TEMPERATUR (°C)					
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
5	73	210	205	78	23,5	54,5	36,5	16	28	29
10	76	225	220	82	22	55	38	15	29	30
15	79	235	230	85	24	57,5	39	15,5	30	31
20	80	240	232,5	85,5	24	59,5	40	15,5	31	32
25	81	242,5	235	86,5	24	61,5	41	16	32	33
30	82,5	245	237,5	87	24,5	64	42	16,5	33	34
35	84	250	240	89	24,5	66	43	17	34	35
40	86	255	245	91	24,5	68	44	17,5	35	36
45	87	260	250	92	24,5	70	45	18	36	37
50	89	267,5	257,5	94	24,5	71,5	46,5	18	37	38

**Tabel 5**

**Data hasil pengujian kondensor dengan ketinggian menara air pendingin 1 m  
dengan diameter pipa air ¾"**

WAKTU (MENIT)	TEKANAN (PSI)				TEMPERATUR (°C)					
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
5	77	205	204	79	24	56	38,5	15	30	29,5
10	79	215	219	80	24,5	57	40	15	31	30,5
15	82	225	228	81	25	58	41,5	15,5	32	31,5
20	83,5	230	230,5	82	25	59	43	16	33	32,5
25	86	245	231	83	25,5	61	44,5	16,5	34	33,5
30	87	250	233	85	25,5	64	46	17	35	34,5
35	89	255	236	87	26	67	48	17,5	36	35,5

<b>40</b>	91	260	249	89	26	70	49,5	18	37	36,5
<b>45</b>	92	267,5	257,5	90	26,5	71,5	51	19,5	38	37,5
<b>50</b>	94	270,5	260	94	26,5	72,5	52,5	19	39	38,5

## B. PERHITUNGAN

### 1. Perhitungan Dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 3 m dan Diameter Pipa 3/4"

Adapun spesifikasi kondensor pendingin air:

Media pendingin	: Air Sumur
Bahan	: Tembaga
Panjang pipa (P)	: 7 m
Diameter luar pipa (Do)	: 0,375" = 0,00953 m
Diameter dalam pipa (Di)	: 0,305" = 0,00775 m
Tebal pipa	: 0,00089 m
Panjang tabung	: 60 cm = 0,6 m
Diameter luar tabung	: 18 cm = 0,18 m
Diameter dalam tabung	: 0,597 m
Tebal tabung	: 0,0015 m

Konduktivitas termal bahan pipa ( $k_p$ ): 385 W/m °C

Perhitungan sisi refrigeran

Dari hasil percobaan didapat:

#### A. Tekanan

- Tekanan pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $P_1$ )

$$P_{abs} = P_{1G} + P_{atm}$$

$$= 61 + 14,7$$

$$= 75,7 \text{ Psia}$$

$$= 75,7 \times 6894,76 = 521933,332 \text{ Pa} = 521933,332 \text{ N/m}^2$$

b. Tekanan pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $P_2$ )

$$P_{abs} = P_{2G} + P_{atm}$$

$$= 220 + 14,7$$

$$= 234,7 \text{ Psia}$$

$$= 234,7 \times 6894,76 = 1618200,17 \text{ Pa} = 1618200,17 \text{ N/m}^2$$

c. Tekanan pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $P_3$ )

$$P_{abs} = P_{3G} + P_{atm}$$

$$= 215 + 14,7$$

$$= 236,7 \text{ Psia}$$

$$= 236,7 \times 6894,76 = 1558215,76 \text{ Pa} = 1558215,76 \text{ N/m}^2$$

d. Tekanan pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $P_4$ )

$$P_{abs} = P_{4G} + P_{atm}$$

$$= 69 + 14,7$$

$$= 83,7 \text{ Psia}$$

$$= 83,7 \times 6894,76 = 577091,412 \text{ Pa} = 577091,412 \text{ N/m}^2$$

## B. Temperatur

a. Temperatur pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $T_1$ )

$$T_1 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b. Temperatur pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $T_2$ )

$$T_2 = 49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

c. Temperatur pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $T_3$ )

$$T_3 = 31,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d. Temperatur pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $T_4$ )

$$T_4 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan dari data di atas maka dari diagram tekanan entalpi didapat harga:

a. Entalpi pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $h_1$ )

$$h_1 = 412,202 \text{ kJ/kg}$$

b. Entalpi pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $h_2$ )

$$h_2 = 446 \text{ kJ/kg}$$

c. Entalpi pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $h_3$ )

$$h_3 = 238,587 \text{ kJ/kg}$$

d. Entalpi pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $h_4$ )

$$h_4 = 214,291 \text{ kJ/kg}$$

Adapun perhitungan datanya sebagai berikut:

1. Menghitung beda temperatur rata-rata log (Log Mean Temperature

Difference = LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(31,5 - 26,5) - (49 - 24)}{\ln \frac{(31,5 - 26,5)}{(49 - 24)}}$$

$$= 12,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1618200,17 - 1558215,76)}{1256,1}}$$

$$= 7,41 \text{ m/s}$$

3. Analisa perpindahan panas

a. Menghitung Bilangan Reynolds (Reynolds Number)

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D_i}{\mu}$$

Dimana:

$$\mu = \frac{\text{Pr} \cdot k_r}{C_p}$$

Dari tabel didapat harga Pr = 3,5.  $k_r = 0,69 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  dan

$C_p = 1,0024 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ .

Sehingga:

$$\mu = \frac{3,5 \cdot 0,069}{1,0024} = 0,241$$

Dengan demikian:

$$Re = \frac{1256,17 \cdot 43,000775}{0,241} = 299,31$$

$Re < 2300$ , berarti alirannya adalah laminar.

b. Menghitung Bilangan Nusselt

Untuk aliran laminar maka:

$$\begin{aligned} Nu &= 3,66 + \frac{0,0668 \cdot (Di/L) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot (Di/L \cdot Re \cdot Pr)^{2/3}} \\ &= 3,66 + \frac{0,0668 \cdot (0,00775/7) \cdot 299,31 \cdot 3,5}{1 + 0,04 \cdot (0,00775/7 \cdot 299,31 \cdot 3,5)^{2/3}} = 3,73 \end{aligned}$$

c. Menghitung konveksi paksa dalam pipa

$$\begin{aligned} hi &= Nu \cdot \frac{kr}{Di} \\ &= 3,73 \cdot \frac{0,069}{0,00775} = 33,21 \end{aligned}$$

d. Menghitung konveksi paksa luar pipa (koefisien pengembunan)

$$\begin{aligned} ho &= 0,725 \cdot \left( \frac{\rho^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_r^3}{\mu \cdot \Delta T \cdot N \cdot Do} \right)^{1/4} \\ &= 0,725 \cdot \left( \frac{1256,1^2 \cdot 9,81 \cdot 155,875 \cdot 0,069^3}{0,240 \cdot 12,42 \cdot 14 \cdot 0,00953} \right)^{1/4} \\ &= 27,21 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

e. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \cdot \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{h_o}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_o &= \pi \cdot D_o \cdot N \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,00953 \cdot 14 \cdot 7 \\ &= 2,93 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_i &= \pi \cdot D_i \cdot N \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,00775 \cdot 14 \cdot 7 \\ &= 2,38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{tot}} &= A_o + A_i \\ &= 2,93 + 2,38 \\ &= 5,31 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_o &= \frac{1}{\frac{2,93}{2,38} \cdot \frac{1}{33,21} + \frac{2,93 \cdot \ln\left(\frac{0,004765}{0,003875}\right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 385 \cdot 7} + \frac{1}{27,21}} \\ &= 13,54 \text{ W/m}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

f. Menghitung laju pelepasan kalor

$$q = U_o \cdot A_{\text{Tot}} \cdot \Delta T$$

Dimana:

$\Delta T$  = selisih temperatur rata-rata (LMTD)

$$q = 13,54 \cdot 5,31 \cdot 12,42$$
$$= 892,96 \text{ W}$$

4. Pelepasan panas pada kondensor

$$q_{kon} = h_2 - h_3$$
$$= 446 - 238,587 = 207,413 \text{ kJ/kg.}$$

5. Dampak refrigerasi (kerja evaporator)

$$q_{evap} = h_1 - h_4$$
$$= 412,202 - 214,291 = 197,911 \text{ kJ/kg.}$$

6. Kerja kompresor

$$W_k = h_2 - h_1$$
$$= 446 - 412,202 = 33,798 \text{ kJ/kg}$$

7. Coefficient Of Performance (COP)

$$COP = \frac{q_{evap}}{W_k}$$
$$= \frac{197,911}{33,798} = 5,85$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan menara dengan ketinggian 3 m dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 6**



**Tabel 1**  
**Data Hasil Perhitungan COP dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 3 m**

Sampel	LMTD (°C)	V (m/s)	Re	Nu	hi (W/m <sup>2</sup> °C)	Ho (W/m <sup>2</sup> °C)	Uo (W/m <sup>2</sup> °C)	q (W)	q kond (kJ/kg)	q Evap (kJ/kg)	W komp (kJ/kg)	COP
1	12,42	7,41	299,31	3,73	33,21	27,21	13,54	892,965	207,413	197,911	33,798	5,85
2	12,89	7,43	299,90	3,73	33,21	26,78	13,43	919,228	208,44	196,978	35,189	5,60
3	13,04	7,44	299,55	3,73	33,21	26,64	13,40	927,848	207,48	197,252	35,245	5,59
4	13,70	9,13	372,28	3,75	32,91	25,99	13,17	958,077	206,186	196,914	35,975	5,47
5	13,96	9,16	372,61	3,75	32,91	25,72	13,10	971,071	205,582	196,306	36,975	5,30
6	14,39	9,18	373,45	3,75	32,91	25,44	13,03	995,684	203,629	196,306	37,645	5,21
7	14,94	10,68	437,71	3,77	33,59	24,47	12,71	1011,676	204,319	195,697	41,645	4,69
8	15,58	10,70	438,66	3,77	33,59	24,14	12,62	1044,050	202,978	195,088	42,302	4,61
9	15,71	10,72	445,13	3,77	32,11	23,80	12,44	1037,746	200,958	195,22	42,843	4,55
10	16,18	10,74	446,12	3,77	32,11	23,53	12,36	1061,191	194,602	194,609	43,513	4,47

## 2. Perhitungan Dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 2,5 m dan Diameter Pipa ¾"

Adapun spesifikasi kondensor pendingin air:

Media pendingin	: Air Sumur
Bahan	: Tembaga
Panjang pipa (P)	: 7 m
Diameter luar pipa (Do)	: 0,375" = 0,00953 m
Diameter dalam pipa (Di)	: 0,305" = 0,00775 m
Tebal pipa	: 0,00089 m
Panjang tabung	: 60 cm = 0,6 m
Diameter luar tabung	: 18 cm = 0,18 m
Diameter dalam tabung	: 0,597 m
Tebal tabung	: 0,0015 m
Konduktivitas termal bahan pipa ( $k_p$ )	: 385 W/m °C

Perhitungan sisi refrigeran

Dari hasil percobaan didapat:

### A. Tekanan

- a. Tekanan pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $P_1$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{1G} + P_{atm} \\ &= 65 + 14,7 \\ &= 79,7 \text{ Psia} \\ &= 79,7 \times 6894,76 = 549512,372 \text{ Pa} = 549512,372 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tekanan pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $P_2$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{2G} + P_{atm} \\ &= 215 + 14,7 \\ &= 229,7 \text{ Psia} \\ &= 229,7 \times 6894,76 = 1583726,372 \text{ Pa} = 1583726,372 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tekanan pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $P_3$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{3G} + P_{atm} \\ &= 210 + 14,7 \\ &= 224,7 \text{ Psia} \\ &= 224,7 \times 6894,76 = 1549252,572 \text{ Pa} = 1549252,572 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

d. Tekanan pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $P_4$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{4G} + P_{atm} \\ &= 72 + 14,7 \\ &= 86,7 \text{ Psia} \\ &= 86,7 \times 6894,76 = 597775,692 \text{ Pa} = 597775,692 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

B. Temperatur

a. Temperatur pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $T_1$ )

$$T_1 = 22 \text{ }^\circ\text{C}$$

b. Temperatur pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $T_2$ )

$$T_2 = 51,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

c. Temperatur pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $T_3$ )

$$T_3 = 32,5^{\circ}\text{C}$$

d. Temperatur pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $T_4$ )

$$T_4 = 14^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan dari data di atas maka dari diagram tekanan entalpi didapat harga:

a. Entalpi pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $h_1$ )

$$h_1 = 412,481 \text{ kJ/kg}$$

b. Entalpi pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $h_2$ )

$$h_2 = 447,667 \text{ kJ/kg}$$

c. Entalpi pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $h_3$ )

$$h_3 = 239,875 \text{ kJ/kg}$$

d. Entalpi pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $h_4$ )

$$h_4 = 216,719 \text{ kJ/kg}$$

Adapun perhitungan datanya sebagai berikut:

1. Menghitung beda temperatur rata-rata log (Log Mean Temperature Difference = LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}} \\ &= \frac{(32,5 - 27) - (51,5 - 25)}{\ln \frac{(32,5 - 27)}{(51,5 - 25)}} \\ &= 13,36^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

2. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa

$$\begin{aligned}V &= \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \\ &= \sqrt{\frac{2(1583726,372 - 1549252,572)}{1248,90}} \\ &= 7,43 \text{ m/s}\end{aligned}$$

3. Analisa perpindahan panas

a. Menghitung Bilangan Reynolds (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Di}{\mu}$$

Dimana:

$$\mu = \frac{Pr \cdot k_r}{Cp}$$

Dari tabel didapat harga  $Pr = 3,5$ ,  $k_r = 0,69 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  dan

$Cp = 1,0053 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Sehingga:

$$\mu = \frac{3,5 \cdot 0,069}{1,0053} = 0,240$$

Dengan demikian:

$$Re = \frac{1248,9 \cdot 7,43 \cdot 0,00775}{0,240} = 299,64$$

$Re < 2300$ , berarti alirannya adalah laminar.

a. Menghitung Bilangan Nusselt

Untuk aliran laminar maka:

$$\begin{aligned} Nu &= 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \left(\frac{Di}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{Di}{L} \cdot Re \cdot Pr\right)^{\frac{2}{3}}} \\ &= 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \left(\frac{0,00775}{7}\right) \cdot 299,64 \cdot 3,5}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{0,00775}{7} \cdot 299,64 \cdot 3,5\right)^{\frac{2}{3}}} = 3,73 \end{aligned}$$

b. Menghitung konveksi paksa dalam pipa

$$\begin{aligned} hi &= Nu \cdot \frac{kr}{Di} \\ &= 3,73 \cdot \frac{0,069}{0,00775} = 33,21 \end{aligned}$$

c. Menghitung konveksi paksa luar pipa (koefisien pengembunan)

$$\begin{aligned} ho &= 0,725 \cdot \left( \frac{\rho^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot kr^3}{\mu \cdot \Delta T \cdot N \cdot Do} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 0,725 \cdot \left( \frac{1248,90^2 \cdot 9,81 \cdot 152,584 \cdot 0,069^3}{0,240 \cdot 13,36 \cdot 14 \cdot 0,00953} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 26,53 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

d. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \cdot \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{h_o}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_o &= \pi \cdot D_o \cdot N \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,00953 \cdot 14 \cdot 7 \\ &= 2,93 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_i &= \pi \cdot D_i \cdot N \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,00775 \cdot 14 \cdot 7 \\ &= 2,38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{tot}} &= A_o + A_i \\ &= 2,93 + 2,38 \\ &= 5,31 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_o &= \frac{1}{\frac{2,93}{2,38} \cdot \frac{1}{33,21} + \frac{2,93 \cdot \ln\left(\frac{0,004765}{0,003875}\right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 385 \cdot 7} + \frac{1}{26,53}} \\ &= 13,37 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

e. Menghitung laju pelepasan kalor

$$q = U_o \cdot A_{\text{Tot}} \cdot \Delta T$$

Dimana:

$\Delta T$  = selisih temperatur rata-rata (LMTD)

$$q = 13,37.5,31.13,36$$

$$= 948,49 \text{ W}$$

4. Pelepasan panas pada kondensor

$$q_{kon} = h_2 - h_3$$

$$= 447,667 - 239,875 = 207,792 \text{ kJ/kg.}$$

5. Dampak refrigerasi (kerja evaporator)

$$q_{evap} = h_1 - h_4$$

$$= 412,481 - 216,719 = 195,762 \text{ kJ/kg.}$$

6. Kerja kompresor

$$W_k = h_2 - h_1$$

$$= 447,667 - 412,481 = 35,186 \text{ kJ/kg}$$

7. Coefficient Of Performance (COP)

$$COP = \frac{q_{evap}}{W_k}$$

$$= \frac{195,762}{35,186} = 5,56$$

Dengan cara yang sama maka untuk selanjutnya hasil perhitungan untuk ketinggian menara air pendingin 2,5 m dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 7**  
**Data Hasil Perhitungan COP dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 2,5 m**

Sampel	LMTD (°C)	V (m/s)	Re	Nu	hi (W/m <sup>2</sup> °C)	Ho (W/m <sup>2</sup> °C)	Uo (W/m <sup>2</sup> °C)	q (W)	q <sub>kond</sub> (kJ/kg)	q <sub>Evap</sub> (kJ/kg)	W <sub>komp</sub> (kJ/kg)	COP
1	13,36	7,43	299,64	3,73	33,21	26,53	13,37	948,49	707,792	195,762	35,186	5,56
2	13,80	7,45	304,28	3,74	32,82	26,02	13,16	964,34	206,519	196,978	35,852	5,49
3	14,12	7,46	304,47	3,74	32,82	25,72	13,08	980,70	206,553	196,644	36,912	5,33
4	14,44	9,16	371,99	3,75	32,90	25,40	13,02	998,33	206,582	196,306	37,975	5,17
5	14,91	9,19	379,09	3,75	32,42	24,81	12,77	1011,03	206,94	196,438	39,51	4,97
6	15,22	9,21	377,99	3,75	32,42	24,49	12,68	1024,77	206,959	195,697	40,975	4,78
7	15,53	10,67	437,66	3,77	32,59	24,20	12,64	1042,35	206,972	195,088	42,308	4,61
8	15,84	10,69	438,25	3,77	32,59	23,90	12,55	1055,59	206,981	194,476	43,642	4,46
9	16,44	10,72	444,40	3,77	32,11	23,21	12,28	1071,99	207,651	193,865	45,642	4,25
10	16,74	10,75	445,42	3,77	32,11	22,90	12,19	1083,56	207,648	193,997	46,843	4,14

## 2. Perhitungan Dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 2 m dan Diameter Pipa ¾"

Adapun spesifikasi kondensor pendingin air:

Media pendingin	: Air Sumur
Bahan	: Tembaga
Panjang pipa (P)	: 7 m
Diameter luar pipa (Do)	: 0,375" = 0,00953 m
Diameter dalam pipa (Di)	: 0,305" = 0,00775 m
Tebal pipa	: 0,00089 m
Panjang tabung	: 60 cm = 0,6 m
Diameter luar tabung	: 18 cm = 0,18 m
Diameter dalam tabung	: 0,597 m
Tebal tabung	: 0,0015 m
Konduktivitas termal bahan pipa ( $k_p$ )	: 385 W/m °C

Perhitungan sisi refrigeran

Dari hasil percobaan didapat:

### A. Tekanan

- a. Tekanan pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $P_1$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{1G} + P_{atm} \\ &= 71 + 14,7 \\ &= 85,7 \text{ Psia} \\ &= 85,7 \times 6894,76 = 590880,932 \text{ Pa} = 590880,932 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tekanan pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $P_2$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{2G} + P_{atm} \\ &= 212,5 + 14,7 \\ &= 227,2 \text{ Psia} \\ &= 227,2 \times 6894,76 = 1566489,472 \text{ Pa} = 1566489,472 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tekanan pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $P_3$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{3G} + P_{atm} \\ &= 207,5 + 14,7 \\ &= 222,2 \text{ Psia} \\ &= 222,2 \times 6894,76 = 1532015,672 \text{ Pa} = 1532015,672 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

d. Tekanan pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $P_4$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{4G} + P_{atm} \\ &= 77 + 14,7 \\ &= 91,7 \text{ Psia} \\ &= 91,7 \times 6894,76 = 632249,492 \text{ Pa} = 632249,492 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

B. Temperatur

a. Temperatur pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $T_1$ )

$$T_1 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

b. Temperatur pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $T_2$ )

$$T_2 = 54 \text{ }^\circ\text{C}$$

c. Temperatur pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $T_3$ )

$$T_3 = 33,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

d. Temperatur pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $T_4$ )

$$T_4 = 14,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan dari data di atas maka dari diagram tekanan entalpi didapat harga:

a. Entalpi pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $h_1$ )

$$h_1 = 412,755 \text{ kJ/kg}$$

b. Entalpi pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $h_2$ )

$$h_2 = 449,333 \text{ kJ/kg}$$

c. Entalpi pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $h_3$ )

$$h_3 = 241,167 \text{ kJ/kg}$$

d. Entalpi pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $h_4$ )

$$h_4 = 217,328 \text{ kJ/kg}$$

Adapun perhitungan datanya sebagai berikut:

1. Menghitung beda temperatur rata-rata log (Log Mean Temperature Difference = LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(34,5 - 28,5) - (54 - 26)}{\ln \frac{(34,5 - 28,5)}{(54 - 26)}}$$

$$= 14,28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa

$$\begin{aligned}
 V &= \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \\
 &= \sqrt{\frac{2(1566489,472 - 1532015,672)}{1241,69}} \\
 &= 7,45 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3. Analisa perpindahan panas

a. Menghitung Bilangan Reynolds (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Di}{\mu}$$

Dimana:

$$\mu = \frac{Pr \cdot k_r}{C_p}$$

Dari tabel didapat harga  $Pr = 3,5$ .  $k_r = 0,068 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  dan

$C_p = 1,0093 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Sehingga:

$$\mu = \frac{3,5 \cdot 0,068}{1,0093} = 0,236$$

Dengan demikian:

$$Re = \frac{1241,69 \cdot 7,45 \cdot 0,00775}{0,236} = 303,78$$

$Re < 2300$ , berarti alirannya adalah laminar.

b. Menghitung Bilangan Nusselt

Untuk aliran laminar maka:

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \left(\frac{Di}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{Di}{L} \cdot Re \cdot Pr\right)^{2/3}}$$

$$= 3,66 + \frac{0,0668 \left( \frac{0,00775}{7} \right) \cdot 303,78 \cdot 3,5}{1 + 0,04 \left( \frac{0,00775}{7} \cdot 303,78 \cdot 3,5 \right)^{2/3}} = 3,74$$

c. Menghitung konveksi paksa dalam pipa

$$hi = Nu \cdot \frac{kr}{Di}$$

$$= 3,74 \cdot \frac{0,068}{0,00775} = 32,82$$

d. Menghitung konveksi paksa luar pipa (koefisien pengembunan)

$$ho = 0,725 \cdot \left( \frac{\rho^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_r^3}{\mu \cdot \Delta T \cdot N \cdot Do} \right)^{1/4}$$

$$= 0,725 \cdot \left( \frac{1241,69^2 \cdot 9,81 \cdot 149,192 \cdot 0,068^3}{0,236 \cdot 14,28 \cdot 14 \cdot 0,00953} \right)^{1/4}$$

$$= 25,78 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

e. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$Uo = \frac{1}{\frac{Ao}{Ai} \cdot \frac{1}{hi} + \frac{Ao \ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{ho}}$$

Dimana:

$$Ao = \pi \cdot Do \cdot N \cdot L$$

$$= 3,14 \cdot 0,00953 \cdot 14 \cdot 7$$

$$= 2,93 \text{ m}^2$$

$$Ai = \pi \cdot Di \cdot N \cdot L$$

$$= 3,14 \cdot 0,00775 \cdot 14,7$$

$$= 2,38 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{tot}} = A_o + A_i$$

$$= 2,93 + 2,38$$

$$= 5,31 \text{ m}^2$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{2,93}{2,38} \cdot \frac{1}{32,82} + \frac{2,93 \cdot \ln\left(\frac{0,004765}{0,003875}\right)}{2,3 \cdot 14,385 \cdot 7} + \frac{1}{25,78}}$$

$$= 13,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$$

f. Menghitung laju pelepasan kalor

$$q = U_o \cdot A_{\text{tot}} \cdot \Delta T$$

Dimana:

$\Delta T$  = selisih temperatur rata-rata (LMTD)

$$q = 13,10 \cdot 5,31 \cdot 14,28$$

$$= 993,33 \text{ W}$$

4. Pelepasan panas pada kondensor

$$q_{\text{kon}} = h_2 - h_3$$

$$= 449,333 - 241,667 = 208,166 \text{ kJ/kg.}$$

5. Dampak refrigerasi (kerja evaporator)

$$q_{\text{evap}} = h_1 - h_4$$

$$= 412,755 - 217,328 = 195,427 \text{ kJ/kg.}$$

6. Kerja kompresor

$$W_k = h_2 - h_1$$

$$= 449,333 - 412,755 = 36,578 \text{ kJ/kg}$$

#### 7. Coefficient Of Performance (COP)

$$\begin{aligned} COP &= \frac{q_{evap}}{W_k} \\ &= \frac{195,427}{36,578} = 5,34 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk selanjutnya hasil perhitungan untuk ketinggian menara air pendingin 2 m dapat dilihat pada tabel berikut:



**Tabel 8**  
**Data Hasil Perhitungan COP dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 2 m**

Sampel	LMTD (°C)	V (m/s)	Re	Nu	hi (W/m <sup>2</sup> °C)	ho (W/m <sup>2</sup> °C)	Uo (W/m <sup>2</sup> °C)	q (W)	q <sub>kond</sub> (kJ/kg)	q <sub>Evap</sub> (kJ/kg)	W <sub>komp</sub> (kJ/kg)	COP
1	14,28	7,45	303,78	3,74	32,82	25,78	13,10	993,33	208,166	195,427	36,578	5,34
2	14,72	7,47	304,63	3,74	32,82	25,48	13,02	1017,68	206,886	195,762	37,519	5,22
3	15,15	7,49	304,17	3,74	32,82	25,15	12,94	1040,98	205,594	195,153	38,186	5,11
4	15,48	9,19	377,76	3,75	32,41	24,69	12,74	1047,21	205,616	194,818	39,245	4,96
5	15,80	9,21	378,32	3,75	32,41	24,44	12,67	1062,99	205,632	194,476	40,308	4,82
6	16,13	9,23	378,90	3,75	32,41	24,20	12,60	1079,19	205,643	193,865	41,642	4,66
7	16,45	10,69	436,69	3,77	32,59	23,90	12,55	1096,24	205,649	193,252	42,975	4,50
8	16,93	10,72	445,13	3,77	32,11	23,43	12,34	1109,35	205,983	193,384	44,51	4,34
9	17,24	10,75	446,16	3,77	32,11	23,18	12,27	1123,25	205,977	192,771	45,843	4,21
10	17,69	10,77	445,14	3,77	32,11	23,88	12,19	1145,05	204,625	192,639	46,642	4,13

### 3. Perhitungan Dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 1,5 m dan Diameter Pipa ¾"

Adapun spesifikasi kondensor pendingin air:

Media pendingin	: Air Sumur
Bahan	: Tembaga
Panjang pipa (P)	: 7 m
Diameter luar pipa (Do)	: 0,375" = 0,00953 m
Diameter dalam pipa (Di)	: 0,305" = 0,00775 m
Tebal pipa	: 0,00089 m
Panjang tabung	: 60 cm = 0,6 m
Diameter luar tabung	: 18 cm = 0,18 m
Diameter dalam tabung	: 0,597 m
Tebal tabung	: 0,0015 m
Konduktivitas termal bahan pipa (k <sub>p</sub> )	: 385 W/m °C

Perhitungan sisi refrigeran

Dari hasil percobaan didapat:

#### A. Tekanan

- a. Tekanan pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor (P<sub>1</sub>)

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{1G} + P_{atm} \\ &= 73 + 14,7 \\ &= 87,7 \text{ Psia} \\ &= 87,7 \times 6894,76 = 604670,452 \text{ Pa} = 604670,452 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tekanan pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $P_2$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{2G} + P_{atm} \\ &= 210 + 14,7 \\ &= 224,7 \text{ Psia} \\ &= 224,7 \times 6894,76 = 1549252,572 \text{ Pa} = 1549252,572 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tekanan pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $P_3$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{3G} + P_{atm} \\ &= 205 + 14,7 \\ &= 219,7 \text{ Psia} \\ &= 219,7 \times 6894,76 = 1514778,772 \text{ Pa} = 1514778,772 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

d. Tekanan pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $P_4$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{4G} + P_{atm} \\ &= 78 + 14,7 \\ &= 92,7 \text{ Psia} \\ &= 92,7 \times 6894,76 = 639144,252 \text{ Pa} = 639144,252 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

B. Temperatur

a. Temperatur pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $T_1$ )

$$T_1 = 23,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b. Temperatur pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $T_2$ )

$$T_2 = 54,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

c. Temperatur pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $T_3$ )

$$T_3 = 36,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d. Temperatur pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $T_4$ )

$$T_4 = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan dari data di atas maka dari diagram tekanan entalpi didapat harga:

- a. Entalpi pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $h_1$ )

$$h_1 = 412,89 \text{ kJ/kg}$$

- b. Entalpi pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $h_2$ )

$$h_2 = 449,667 \text{ kJ/kg}$$

- c. Entalpi pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $h_3$ )

$$h_3 = 245,073 \text{ kJ/kg}$$

- d. Entalpi pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $h_4$ )

$$h_4 = 219,160 \text{ kJ/kg}$$

Adapun perhitungan datanya sebagai berikut:

1. Menghitung beda temperatur rata-rata log (Log Mean Temperature

Difference = LMTD)

$$\begin{aligned} LMTD &= \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}} \\ &= \frac{(36,5 - 29) - (54,5 - 28)}{\ln \frac{(36,5 - 29)}{(54,5 - 28)}} \end{aligned}$$

$$= 15,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1549252,572 - 1514778,772)}{1234,49}}$$

$$= 7,47 \text{ m/s}$$

### 3. Analisa perpindahan panas

#### a. Menghitung Bilangan Reynolds (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Di}{\mu}$$

Dimana:

$$\mu = \frac{Pr \cdot k_r}{Cp}$$

Dari tabel didapat harga  $Pr = 3,5$ ,  $k_r = 0,068 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  dan

$Cp = 1,0127 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ .

Sehingga:

$$\mu = \frac{3,5 \cdot 0,068}{1,0127} = 0,235$$

Dengan demikian:

$$Re = \frac{1234,49 \cdot 7,47 \cdot 0,00775}{0,235} = 304,12$$

$Re < 2300$ , berarti alirannya adalah laminar.

#### b. Menghitung Bilangan Nusselt

Untuk aliran laminar maka:

$$Nu = 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \left(\frac{Di}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{Di}{L} \cdot Re \cdot Pr\right)^{2/3}}$$

$$= 3,66 + \frac{0,0668 \left( \frac{0,00775}{7} \right) \cdot 304,12 \cdot 3,5}{1 + 0,04 \left( \frac{0,00775}{7} \cdot 304,12 \cdot 3,5 \right)^{2/3}} = 3,74$$

c. Menghitung konveksi paksa dalam pipa

$$h_i = Nu \cdot \frac{k_r}{D_i}$$

$$= 3,74 \cdot \frac{0,068}{0,00775} = 32,82$$

d. Menghitung konveksi paksa luar pipa (koefisien pengembangan)

$$h_o = 0,725 \cdot \left( \frac{\rho^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_r^3}{\mu \cdot \Delta T \cdot N \cdot D_o} \right)^{1/4}$$

$$= 0,725 \cdot \left( \frac{1234,49^2 \cdot 9,81 \cdot 148,49 \cdot 0,068^3}{0,235 \cdot 15,05 \cdot 14 \cdot 0,00953} \right)^{1/4}$$

$$= 25,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

e. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \cdot \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln \left( \frac{r_o}{r_i} \right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{h_o}}$$

Dimana:

$$A_o = \pi \cdot D_o \cdot N \cdot L$$

$$= 3,14 \cdot 0,00953 \cdot 14,7$$

$$= 2,93 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_i &= \pi \cdot D_i \cdot N \cdot L \\
 &= 3,14 \cdot 0,00775 \cdot 14 \cdot 7 \\
 &= 2,38 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{tot}} &= A_o + A_i \\
 &= 2,93 + 2,38 \\
 &= 5,31 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_o &= \frac{1}{\frac{2,93}{2,38} \cdot \frac{1}{32,82} + \frac{2,93 \cdot \ln\left(\frac{0,004765}{0,003875}\right)}{2,3 \cdot 14 \cdot 385,7} + \frac{1}{25,28}} \\
 &= 12,97 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

f. Menghitung laju pelepasan kalor

$$q = U_o \cdot A_{\text{Tot}} \cdot \Delta T$$

Dimana:

$\Delta T$  = selisih temperatur rata-rata (LMTD)

$$\begin{aligned}
 q &= 12,97 \cdot 5,31 \cdot 15,05 \\
 &= 1036,5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

4. Pelepasan panas pada kondensor

$$\begin{aligned}
 q_{\text{kon}} &= h_2 - h_3 \\
 &= 449,667 - 245,073 = 204,594 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

5. Dampak refrigerasi (kerja evaporator)

$$q_{\text{evap}} = h_1 - h_4$$

$$= 412,890 - 219,160 = 193,73 \text{ kJ/kg.}$$

6. Kerja kompresor

$$W_k = h_2 - h_1$$

$$= 449,667 - 412,890 = 36,777 \text{ kJ/kg}$$

7. Coefficient Of Performance (COP)

$$\begin{aligned} COP &= \frac{q_{\text{evap}}}{W_k} \\ &= \frac{193,73}{36,777} = 5,27 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk selanjutnya hasil perhitungan untuk ketinggian menara air pendingin 1,5 m dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 9**  
**Data Hasil Perhitungan COP dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 1,5 m**

Sampel	LMTD (°C)	V (m/s)	Re	Nu	hi (W/m <sup>2</sup> °C)	ho (W/m <sup>2</sup> °C)	Uo (W/m <sup>2</sup> °C)	q (W)	q <sub>kond</sub> (kJ/kg)	q <sub>Evap</sub> (kJ/kg)	W <sub>komp</sub> (kJ/kg)	COP
1	15,05	7,47	304,12	3,74	32,82	25,28	12,97	1036,20	204,594	193,730	36,777	5,27
2	15,27	7,49	303,91	3,74	32,82	25,12	12,93	1048,41	202,959	194,544	37,519	5,19
3	15,79	7,51	309,53	3,74	32,33	24,55	12,68	1063,15	203,306	194,476	38,642	5,03
4	16,14	9,22	378,23	3,75	32,42	24,21	12,61	1080,72	203,314	194,476	39,975	4,86
5	16,48	9,24	378,69	3,75	32,42	23,93	12,53	1096,49	203,317	193,865	41,308	4,69
6	16,98	9,27	384,48	3,75	31,94	23,35	12,28	1107,21	203,648	193,384	42,843	4,51
7	17,31	10,73	445,03	3,77	32,11	23,07	12,24	1125,05	203,639	192,771	44,176	4,36
8	17,64	10,75	445,42	3,77	32,11	22,77	12,15	1138,07	203,625	192,156	45,51	4,22
9	17,97	10,78	446,45	3,77	32,11	22,47	12,07	1151,73	203,604	191,542	46,843	4,09
10	18,56	10,81	453,62	3,77	31,62	21,99	11,84	1166,87	202,56	191,542	47,843	4,00

#### 4. Perhitungan Dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 1 m dan Diameter Pipa ¾"

Adapun spesifikasi kondensor pendingin air:

Media pendingin	: Air Sumur
Bahan	: Tembaga
Panjang pipa (P)	: 7 m
Diameter luar pipa (Do)	: 0,375" = 0,00953 m
Diameter dalam pipa (Di)	: 0,305" = 0,00775 m
Tebal pipa	: 0,00089 m
Panjang tabung	: 60 cm = 0,6 m
Diameter luar tabung	: 18 cm = 0,18 m
Diameter dalam tabung	: 0,597 m
Tebal tabung	: 0,0015 m
Konduktivitas termal bahan pipa ( $k_p$ )	: 385 W/m °C

Perhitungan sisi refrigeran

Dari hasil percobaan didapat:

##### A. Tekanan

- a. Tekanan pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $P_1$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{1G} + P_{atm} \\ &= 77 + 14,7 \\ &= 91,7 \text{ Psia} \\ &= 91,7 \times 6894,76 = 632249 \text{ Pa} = 632249 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tekanan pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $P_2$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{3G} + P_{atm} \\ &= 205 + 14,7 \\ &= 219,7 \text{ Psia} \\ &= 219,7 \times 6894,76 = 1514778,772 \text{ Pa} = 1514778,772 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c. Tekanan pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $P_3$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{3G} + P_{atm} \\ &= 204 + 14,7 \\ &= 218,7 \text{ Psia} \\ &= 218,7 \times 6894,76 = 1507884,01 \text{ Pa} = 1507884,01 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

d. Tekanan pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $P_4$ )

$$\begin{aligned} P_{abs} &= P_{4G} + P_{atm} \\ &= 79 + 14,7 \\ &= 93,7 \text{ Psia} \\ &= 93,7 \times 6894,76 = 646039,012 \text{ Pa} = 646039,012 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

B. Temperatur

a. Temperatur pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $T_1$ )

$$T_1 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b. Temperatur pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $T_2$ )

$$T_2 = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

c. Temperatur pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $T_3$ )

$$T_3 = 38,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d. Temperatur pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $T_4$ )

$$T_4 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Berdasarkan dari data di atas maka dari diagram tekanan entalpi didapat harga:

a. Entalpi pada sisi keluar evaporator atau masuk kompresor ( $h_1$ )

$$h_1 = 413,025 \text{ kJ/kg}$$

b. Entalpi pada sisi keluar kompresor atau masuk kondensor ( $h_2$ )

$$h_2 = 450,67 \text{ kJ/kg}$$

c. Entalpi pada sisi keluar kondensor atau masuk pipa kapiler ( $h_3$ )

$$h_3 = 247,701 \text{ kJ/kg}$$

d. Entalpi pada sisi keluar pipa kapiler atau masuk evaporator ( $h_4$ )

$$h_4 = 217,937 \text{ kJ/kg}$$

Adapun perhitungan datanya sebagai berikut:

8. Menghitung beda temperatur rata-rata log (Log Mean Temperature Difference = LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln \frac{(T_{h2} - T_{c2})}{(T_{h1} - T_{c1})}}$$

$$= \frac{(38,5 - 29,5) - (56 - 30)}{\ln \frac{(38,5 - 29,5)}{(56 - 30)}}$$

$$= 16,02 \text{ } ^\circ\text{C}$$

9. Menghitung kecepatan aliran fluida dalam pipa

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$
$$= \sqrt{\frac{2(1514778,77 - 1507884,01)}{1221,28175}}$$
$$= 7,49 \text{ m/s}$$

10. Analisa perpindahan panas

a. Menghitung Bilangan Reynolds (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot Di}{\mu}$$

Dimana:

$$\mu = \frac{Pr \cdot k_r}{Cp}$$

Dari tabel didapat harga  $Pr = 3,5$ .  $k_r = 0,067 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  dan

$Cp = 0,06755 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .

Sehingga:

$$\mu = \frac{3,5 \cdot 0,067}{0,06755} = 0,231$$

Dengan demikian:

$$Re = \frac{1227,28175 \cdot 7,49 \cdot 0,00775}{0,231} = 308,40$$

$Re < 2300$ , berarti alirannya adalah laminar.

g. Menghitung Bilangan Nusselt

Untuk aliran laminar maka:

$$\begin{aligned}Nu &= 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \left(\frac{Di}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{Di}{L} \cdot Re \cdot Pr\right)^{2/3}} \\&= 3,66 + \frac{0,0668 \cdot \left(\frac{0,00775}{7}\right) \cdot 308,40 \cdot 3,5}{1 + 0,04 \cdot \left(\frac{0,00775}{7} \cdot 308,40 \cdot 3,5\right)^{2/3}} = 3,74\end{aligned}$$

h. Menghitung konveksi paksa dalam pipa

$$\begin{aligned}hi &= Nu \cdot \frac{kr}{Di} \\&= 3,74 \cdot \frac{0,067}{0,00775} = 32,33\end{aligned}$$

i. Menghitung konveksi paksa luar pipa (koefisien pengembangan)

$$\begin{aligned}ho &= 0,725 \cdot \left(\frac{\rho^2 \cdot g \cdot h_{fg} \cdot k_r^3}{\mu \cdot \Delta T \cdot N \cdot Do}\right)^{1/4} \\&= 0,725 \cdot \left(\frac{1227,28175^2 \cdot 9,81 \cdot 209,383 \cdot 0,067^3}{0,231 \cdot 14 \cdot 0,00953}\right)^{1/4} \\&= 25,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

j. Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$Uo = \frac{1}{\frac{Ao}{Ai} \cdot \frac{1}{hi} + \frac{Ao \ln\left(\frac{ro}{ri}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{ho}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}A_o &= \pi \cdot D_o \cdot N \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,00953 \cdot 14,7 \\ &= 2,93 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_i &= \pi \cdot D_i \cdot N \cdot L \\ &= 3,14 \cdot 0,00775 \cdot 14,7 \\ &= 2,38 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{\text{tot}} &= A_o + A_i \\ &= 2,93 + 2,38 \\ &= 5,31 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_o &= \frac{1}{\frac{2,93}{2,38} \cdot \frac{1}{32,33} + \frac{2,93 \cdot \ln\left(\frac{0,004765}{0,003875}\right)}{2,3 \cdot 14,385 \cdot 7} + \frac{1}{25,11}} \\ &= 12,83 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

k. Menghitung laju pelepasan kalor

$$q = U_o \cdot A_{\text{Tot}} \cdot \Delta T$$

Dimana:

$\Delta T$  = selisih temperatur rata-rata (LMTD)

$$\begin{aligned}q &= 12,83 \cdot 5,31 \cdot 16,02 \\ &= 1091,39 \text{ W}\end{aligned}$$

11. Pelepasan panas pada kondensor

$$\begin{aligned}q_{\text{kon}} &= h_2 - h_3 \\ &= 450,67 - 247,701 = 202,969 \text{ kJ/kg.}\end{aligned}$$

12. Dampak refrigerasi (kerja evaporator)

$$\begin{aligned}q_{evap} &= h_1 - h_4 \\ &= 413,025 - 217,937 = 195,088 \text{ kJ/kg.}\end{aligned}$$

13. Kerja kompresor

$$\begin{aligned}W_k &= h_2 - h_1 \\ &= 450,67 - 413,025 = 37,645 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

14. Coefficient Of Performance (COP)

$$\begin{aligned}COP &= \frac{q_{evap}}{W_k} \\ &= \frac{195,088}{37,645} = 5,18\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk selanjutnya hasil perhitungan untuk ketinggian menara air pendingin 1 m dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 10**  
**Data Hasil Perhitungan COP dengan Ketinggian Menara Air Pendingin 1 m**

Sampel	LMTD (°C)	V (m/s)	Re	Nu	hi (W/m <sup>2</sup> °C)	ho (W/m <sup>2</sup> °C)	Uo (W/m <sup>2</sup> °C)	q (W)	q kond (kJ/kg)	q Evap (kJ/kg)	W komp (kJ/kg)	COP
1	16,02	7,49	308,40	3,74	32,33	25,11	12,83	1091,39	202,969	195,088	37,645	5,18
2	16,38	7,51	307,92	3,74	32,33	24,85	12,76	1109,83	201,644	195,22	38,173	5,09
3	16,74	7,52	309,91	3,74	32,33	24,67	12,71	1129,78	200,316	195,00	38,452	5,07
4	17,09	9,23	387,04	3,75	31,93	24,55	12,60	1143,42	198,976	194,388	39,122	4,96
5	17,43	9,26	386,08	3,75	31,93	24,23	12,52	1158,76	198,28	193,642	40,582	4,77
6	17,77	9,29	386,20	3,75	31,93	23,84	12,41	1170,99	198,244	193,032	42,582	4,53
7	18,43	10,78	452,56	3,77	31,61	23,41	12,24	1197,84	197,503	192,548	44,452	4,33
8	18,75	10,82	454,99	3,77	31,61	23,03	12,13	1207,69	197,43	191,933	46,452	4,13
9	19,07	10,84	462,81	3,77	31,13	23,86	12,00	1215,14	201,087	191,444	52,075	3,67
10	19,38	10,85	464,22	3,77	31,13	22,67	11,94	1228,71	200,187	190,827	52,575	3,62

## RUMUSAN MASALAH 1

### UJI HIPOTESIS

$H_0$  = Tidak ada pengaruh antara elevasi aliran air pendingin kondesor terhadap laju perpindahan kalor

$H_1$  = Ada pengaruh antara elevasi aliran air pendingin kondesor terhadap laju perpindahan kalor

### SAMPEL 1

#### Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Perpindahan Kalor	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: Elevasi

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.999 <sup>a</sup>	.998	.997	.0437

a. Predictors: (Constant), Perpindahan Kalor

#### ANOVA<sup>b</sup>

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2.494	1	2.494	1307.709	.000 <sup>a</sup>
	Residual	.006	3	.002		
	Total	2.500	4			

a. Predictors: (Constant), Perpindahan Kalor

b. Dependent Variable: Elevasi

#### Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	12.218	.283		43.138	.000
	Perpindahan Kalor	-.010	.000	-.999	-36.162	.000

a. Dependent Variable: Elevasi

Dari tabel di atas diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [sig (0.000) <  $\alpha$  (0.05)], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada pengaruh antara elevasi aliran air pendingin kondesor terhadap laju perpindahan kalor.

SAMPEL 1 sampai dengan 10 sama semua, yaitu nilai sig-nya adalah 0.000, Jadi, ada pengaruh antara elevasi aliran air pendingin kondesor terhadap laju perpindahan kalor.



## RUMUSAN MASALAH 2

### UJI HIPOTESIS

$H_0$  = Tidak ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin

$H_1$  = Ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin

Tabel 1

<b>Correlations</b>			
		Laju Perpindahan Kalor	Efisiensi Kerja Mesin
Laju Perpindahan Kalor	Pearson Correlation	1	-.975**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	10	10
Efisiensi Kerja Mesin	Pearson Correlation	-.975**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	10	10

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel di atas diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin.

Tabel 2

<b>Correlations</b>			
		Laju Perpindahan Kalor	Efisiensi Kerja Mesin
Laju Perpindahan Kalor	Pearson Correlation	1	-.996**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	10	10
Efisiensi Kerja Mesin	Pearson Correlation	-.996**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	10	10

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel di atas diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin.

Tabel. 3

Correlations			
		Laju Perpindahan Kalor	Efisiensi Kerja Mesin
Laju Perpindahan Kalor	Pearson Correlation	1	-.991**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	10	10
Efisiensi Kerja Mesin	Pearson Correlation	-.991**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	10	10

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel di atas diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin.

Tabel 4

Correlations			
		Laju Perpindahan Kalor	Efisiensi Kerja Mesin
Laju Perpindahan Kalor	Pearson Correlation	1	-.985**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	10	10
Efisiensi Kerja Mesin	Pearson Correlation	-.985**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	10	10

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel di atas diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin.

Tabel 4.5

**Correlations**

		Laju Perpindahan Kalor	Efisiensi Kerja Mesin
Laju Perpindahan Kalor	Pearson Correlation	1	-.991**
	Sig. (2-tailed)	.	.000
	N	10	10
Efisiensi Kerja Mesin	Pearson Correlation	-.991**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.
	N	10	10

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel di atas diketahui nilai sig. adalah 0.000. Nilai ini berarti lebih kecil dari 0.05 [ $\text{sig} (0.000) < \alpha (0.05)$ ], maka  $H_0$  ditolak atau menerima  $H_1$ .

Dengan kata lain, ada hubungan antara laju perpindahan kalor dengan efisiensi kerja mesin.

