



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TM141585**

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN  
PERFORMANSI SISTEM *WATER CHILLER*  
MENGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN  
*MUSICOOL-22***

**ANDI PAMBUDI**  
NRP. 021111545000004

Dosen Pembimbing  
ARY BACHTIAR KRISHNA PUTRA ST, MT, PhD.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018





**TUGAS AKHIR - TM141585**

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN  
PERFORMANSI SISTEM *WATER CHILLER*  
MENGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN  
*MUSICOOL-22***

ANDI PAMBUDI  
NRP. 02111545000004

Dosen Pembimbing  
ARY BACHTIAR KRISHNA PUTRA ST, MT, PhD.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TM141585**

**EXPERIMENTAL STUDY COMPARATIVE  
PERFORMANCE OF WATER CHILLER SYSTEM  
USING REFRIGERANT R-22 AND MUSICOOL-22**

**ANDI PAMBUDI  
NRP. 02111545000004**

**Supervisor  
ARY BACHTIAR KRISHNA PUTRA ST, MT, PhD.**

**DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2018**



**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN  
PERFORMANSI SISTEM *WATER CHILLER*  
MENGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN  
*MUSICOOL-22***

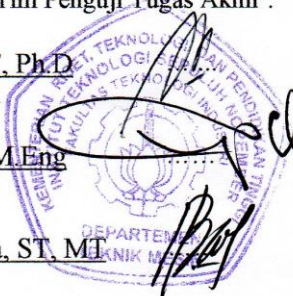
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ANDI PAMBUDI**  
NRP. 02111545000004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ary Bachtiar KP, ST, MT, Ph.D. (Pembimbing)  
NIP. 197105241997021001
  2. Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng (Penguji I)  
NIP. 196505051990031005
  3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Penguji II)  
NIP. 197301161997021001
- 

**SURABAYA  
JANUARI, 2018**





# **STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN PERFORMANSI SISTEM WATER CHILLER MENGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN *MUSICOOL-22***

**Nama Mahasiswa** : Andi Pambudi  
**NRP** : 02111545000004  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ary Bachtiar Krishna Putra, ST, MT,  
Ph.D

## **Abstrak**

*Water chiller adalah mesin refrigerasi yang menggunakan metode pendinginan secara tidak langsung, dimana proses pendinginannya menggunakan dua refrigeran yaitu refrigeran primer dan refrigeran sekunder. Refrigeran adalah zat kerja utama yang digunakan untuk menyerap dan mengalirkan kalor dalam sistem refrigerasi. Refrigeran yang digunakan dalam hal ini yaitu R-22 dan MC-22. Media yang didinginkan adalah air, dimana air dengan temperatur tinggi dan debit konstan mengalir dan melewati evaporator yang berisi refrigeran, air yang telah melewati evaporator akan mengalami penurunan temperatur dikarenakan panas pada air diserap oleh refrigeran pada evaporator.*

*Pemilihan refrigeran dalam hal ini tidak hanya mempertimbangkan sifat termodinamikanya, tetapi juga nilai Global Warning Potential (GWP) dan Ozone Depletion Potential (ODP). Refrigeran yang merupakan zat kerja utama memiliki pengaruh pada kerja kompresor dan efek refrigerasi pada evaporator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa performansi dari sistem water chiller dan kebutuhan energi pada kompresor dengan menggunakan refrigeran yang berbeda yaitu R-*

22 dan MC-22. Selanjutnya dari penelitian ini akan diukur temperatur dan tekanan dari masuk dan keluarnya kompresor, kondensor, evaporator dan alat ekspansi tiap refrigeran. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan hasil energy yang dibutuhkan kompresor, efisiensi kerja kompresor, banyaknya kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator, kalor yang dilepas pada kondensor, dan coefficient of performance (COP) dari tiap refrigeran.

Dari hasil analisa ini akan diperoleh suatu sistem refrigerasi dengan performasi yang paling baik dengan kebutuhan kerja kompresor yang sedikit, serta sistem refrigerasi yang ramah lingkungan adalah yang menggunakan MC-22 baik menggunakan beban low, medium, dan high. Nilai COP dengan beban low 2.425; medium 2.579; high 2.880 dan kebutuhan kerja kompresor lebih rendah dengan nilai low 1.081kW ; medium 1.148kW ; high 1.274kW dibandingkan menggunakan R-22.

**Kata Kunci:** *Water chiller, Refrigeran, R-22, MC-22, coefficient of performance.*

# **EXPERIMENTAL STUDY COMPARATIVE PERFORMANCE OF WATER CHILLER SYSTEM USING REFRIGERANT R-22 AND MUSICOOL-22**

**Name** : Andi Pambudi  
**NRP** : 02111545000004  
**Departement** : Teknik Mesin FTI - ITS  
**Academic Advisor** : Ary Bachtiar Krishna Putra, ST, MT,  
Ph.D

## **Abstract**

*Water chiller is a refrigeration machine that uses indirect cooling method, where the cooling process uses two refrigerant that is primary refrigerant and secondary refrigerant. Refrigerant is the main working substance used to absorb and exert heat in the refrigeration system. The refrigerant used in this case is R-22 and Musicool-22. The cooled medium is water, where water with high temperature and constant discharge flow through the evaporator containing the refrigerant, the water that has passed through the evaporator will decrease the temperature due to the heat in the water absorbed by the refrigerant in the evaporator.*

*The choice of refrigerant in this case not only consider its thermodynamic properties, but also the value of Global Warming Potential (GWP) and Ozone Depletion Potential (ODP). The refrigerant which is the main working substance has an influence on the compressor work and the refrigeration effect on the evaporator. This study aims to analyse the performance of the water chiller system and the energy needs of the compressor by using different refrigerants, R-22 and MC-22. From this research will be measured temperature and pressure from enter and exit of compressor, condenser, evaporator and expansion valve of each*

*refrigerant. Measurements are made to obtain the required energy output of the compressor, the working efficiency of the compressor, the amount of heat absorbed by the refrigerant in the evaporator, the heat released on the condenser, and the coefficient of performance (COP) of each refrigerant.*

*From this analysis we will get a refrigeration system with the best performance with little energy consumption, environmentally friendly refrigeration system that uses MC-22 using low, medium, and high load. COP value with low load 2.425; medium 2.579; high 2.880 and compressor working consumption value is lower with a low value of 1.081kW; medium 1.148kW; high 1.274kW compared to using R-22.*

***Keywords: Water chiller, Refrigerant, R-22, MC-22, coefficient of performance.***

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, karena rahmat dan tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan pendidikan Sarjana Strata Satu di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Tedie Purwanto dan Veydiane Tarima serta adik penulis Aprilia Andiane yang selalu mendoakan, mendukung, menyemangati dan banyak lagi hal yang tidak mungkin cukup jika hanya diungkapkan dengan kata-kata sehingga penulis bisa menjalani pendidikan dengan semangat.
2. Ary Bachtiar Krishna Putra, ST, MT, PhD. selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Prof. Dr.Eng. Prabowo, M.Eng dan Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu-ilmu yang berguna.
5. Arini Raudhotal Jannah yang selalu membantu, menyemangati, menghibur dan mendoakan penulis sejak awal perkuliahan sampai sekarang sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.

6. Sahabat dari Cilegon Candra Caribiyon, Riza Yahya, Deny Nadhir, Faldi Satrio, Aziz Alfian, Rendi Oktawirawan, Egi Rahmad, Dhany Rahman, Arif Zuhri dan Kilpan Sanjaya yang turut hadir untuk menyemangati dan menghibur dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
7. Keluarga Lintas Jalur 2015 yang saling mengingatkan dan menyemangati dalam hal kebaikan sejak awal perkuliahan sampai sekarang.
8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sebagai referensi ilmiah maupun penambah wawasan mengenai ilmu refrigerasi. Penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi peningkatan kualitas penelitian dan penulisan laporan selanjutnya.

Surabaya, 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Lembar Pengesahan</b> .....	<b>i</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Refrigeran .....	5
2.1.1. Refrigeran R-22.....	7
2.1.2. <i>Musicool</i> -22 .....	7
2.2. <i>Chiller</i> .....	9
2.3. Komponen Sistem <i>Water Chiller</i> .....	11
2.3.1. Kompresor.....	11
2.3.2. Evaporator.....	13

2.3.3. Kondenser .....	14
2.3.4. A;at Ekspansi .....	14
2.4. Daur Kompresi Uap Standar .....	16
2.5. Daur Kompresi Uap Aktual .....	20
2.6. Kinerja Sistem Pendingin .....	21
2.7. Penelitian Terdahulu .....	23
2.7.1. Analisa Efektifitas Kerja Freon R-22 Dengan Hidrokarbon <i>Musicool-22</i> Dan Pengaruhnya Pada Viskositas Pelumas Kompresor.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1. Langkah Eksperimen .....	27
3.2. Alat dan Bahan .....	28
3.2.1. Alat.....	28
3.2.2. Bahan .....	35
3.3. Alur Pengujian.....	35
3.3.1. Langkah Pengisian Refrigeran.....	35
3.3.2. Proses <i>Retrofitting</i> .....	36
3.3.3. <i>Flowchart</i> Pengujian .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....</b>	<b>39</b>
4.1. Data Hasil Percobaan.....	39
4.2. Perhitungan Data .....	39
4.2.1. Konversi tekanan.....	40
4.2.2. Mencari Properti Refrigeran.....	40



4.2.3. Laju Aliran Massa Refrigeran .....	42
4.2.4. Daya <i>Input Compressor</i> .....	42
4.2.5. Kerja Nyata Kompresor.....	42
4.2.6. Efisiensi Kompresi Kompresor .....	43
4.2.7. Kapasitas Evaporator.....	43
4.2.8. Kapasitas Kondenser .....	43
4.2.9. <i>COP (Coefficient of Performance)</i> .....	44
4.2.10. <i>HRR (Heat Rejection Ratio)</i> .....	44
4.3. Analisa Grafik.....	45
4.3.1. Kerja Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator	45
4.3.2. Efisiensi Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator .....	47
4.3.3. Kapasitas Evaporator Sebagai Fungsi Beban Evaporator .....	50
4.3.4. Kapasitas Kondenser Sebagai Fungsi Beban Evaporator .....	51
4.3.5. <i>HRR</i> Sebagai Fungsi Beban Evaporator .....	52
4.3.6. $COP_{\text{elektrik}}$ Sebagai Fungsi Beban Evaporator .....	53
4.4. Analisa P-h Diagram.....	55
4.4.1. P-h Diagram R-22 .....	55
4.4.2. P-h Diagram MC-22.....	56

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>59</b>
5.1. Kesimpulan.....	59
5.2. Saran.....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>xxxvi</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Nilai ODP dan GWP Beberapa Jenis Refrigeran .....	6
Gambar 2.2 Skema Pada <i>Water Cooled Condenser</i> .....	10
Gambar 2.3 Proses <i>Evaporative Condenser</i> .....	11
Gambar 2.4 Cara Kerja Kompresor Torak .....	12
Gambar 2.5 Konstruksi Detail Kopresor Hermetik.....	13
Gambar 2.6 <i>Spiral Evaporator</i> .....	14
Gambar 2.7 Konstruksi Detail <i>TXV</i> .....	16
Gambar 2.8 Siklus Kompresi Uap Standar .....	16
Gambar 2.9 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap Standar .....	17
Gambar 2.10 Keseimbangan Energi Untuk Siklus Refrigerasi ..	19
Gambar 2.11 Perbandingan Siklus Kompresi Uap Standar Dan Aktual Pada Diagram P-h .....	20
Gambar 2.12 Grafik COP Hasil Pengujian .....	24
Gambar 2.13 Grafik Hasil Pengujian Efek Refrigerasi Terhadap Daya Kompresor .....	25
Gambar 3.1 Skema Alat Pengujian .....	29
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Pengujian .....	37
Gambar 4.1 Grafik Kerja Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator.....	45
Gambar 4.2 Skema Motor Dan Kompresor .....	47
Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator.....	48
Gambar 4.4 Grafik Kapasitas Evaporator Sebagai Fungsi Beban Evaporator.....	50
Gambar 4.5 Grafik Kapasitas Kondenser Terhadap Beban Evaporator.....	51
Gambar 4.6 Grafik <i>HRR</i> Terhadap Beban Evaporator.....	52
Gambar 4.7 Grafik <i>COP</i> <sub>elektrik</sub> Terhadap Beban evaporator .....	53
Gambar 4.8 Perbandingan P-h Diagram R-22 Beban <i>Low</i> , <i>Medium</i> , Dan <i>High</i> .....	55
Gambar 4.9 Perbandngan P-h Diagram MC-22 Beban <i>Low</i> , <i>Medium</i> , Dan <i>High</i> .....	59

*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Massa Jenis Refrigeran .....	9
Tabel 3.1 Spesifikasi alat Pengujian .....	30
Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Ukur .....	32
Tabel 3.3 Analisa Data .....	25
Tabel 4.1 Parameter Analisa.....	39

*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu perkembangan dalam pengkondisian udara adalah pemanfaatan sistem refrigerasi tidak langsung (*indirect heat transfer*) dimana refrigeran sebagai bahan pendingin tidak kontak langsung dengan beban yang akan didinginkan. Refrigeran mengalir pada pipa tembaga untuk mendinginkan media dalam hal ini adalah air. Salah satu sistem refrigerasi tidak langsung adalah *chiller*. *Chiller* adalah mesin refrigerasi yang menggunakan metode pendinginan secara tidak langsung, dimana proses pendinginannya menggunakan dua refrigeran yaitu refrigeran primer dan refrigeran sekunder.

Refrigeran adalah zat kerja utama yang digunakan untuk menyerap dan mengalirkan kalor dalam sistem refrigerasi. Semua refrigeran menyerap kalor pada temperatur dan tekanan rendah selama proses evaporasi dan melepaskan kalor pada temperatur dan tekanan tinggi selama proses kondensasi. Pemilihan refrigeran sebagai fluida kerja suatu mesin pendingin atau pengkondisian udara tidak hanya mempertimbangkan sifat (*properties*) termodinamikanya, tetapi juga nilai GWP (*Global Warming Potential*) dan ODP (*Ozone Depletion Potential*). Refrigeran pada sistem *water chiller* yaitu dengan refrigeran R-22 yang termasuk refrigeran *Hydro Chloro Fluoro Carbons* (HCFC) dan Musicool 22 yang termasuk refrigeran *hydrocarbon* (*propane*). Proses pergantian refrigeran dilakukan dengan menggunakan proses *retrofitting*.

Pada penelitian ini akan membahas kemampuan dari refrigeran R-22 dan refrigeran hidrokarbon MC-22 untuk kemudian dapat dibandingkan sehingga didapat nilai-nilai yang menentukan efektifitas kerja dari proses pendinginannya dan juga konsumsi energi kompresor pada sistem *water chiller*

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Kemampuan performasi antara refrigeran hidrokarbon MC-22 dengan refrigeran R-22 pada sistem *water chiller*.
2. Perbandingan kebutuhan kerja kompresor pada sistem *water chiller* dengan menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-22 dan refrigeran R-22.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah adalah:

1. Mengetahui perbandingan kemampuan performasi menggunakan refrigeran hidrokarbon MC-22 dengan refrigeran R-22 pada sistem *water chiller*.
2. Untuk mengetahui perbandingan kebutuhan kerja kompresor pada sistem *water chiller* dengan refrigeran hidrokarbon MC-22 dan refrigeran R-22.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan dalam penelitian ini adalah untuk membuat bahasan dari penelitian ini tidak meluas. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. *Steady state* dan *incompressible flow*.
2. Refrigeran yang disirkulasikan dalam sistem *water chiller* adalah R-22 dan MC-22.
3. Kompresor yang digunakan adalah jenis *scroll* 1 fasa dengan frekuensi 50 Hz dan konsumsi daya sebesar 2 PK (1.47 kW).
4. Beban pada evaporator berupa suhu awal (°C) dengan *set point low* (30 °C), *medium* (35°C), dan *high* (40°C).
5. Evaporator yang digunakan adalah jenis spiral.



6. *Pressure drop* pada evaporator dan kondensor di abaikan karena memiliki nilai yang kecil.
7. Perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan.
8. Alat – alat ukur yang digunakan dianggap sudah di kalibrasi dengan baik.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi mengenai teori yang mendasari penyusunan laporan tugas akhir secara umum, khususnya yang berhubungan dengan sistem refrigerasi.

3. **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisi tentang spesifikasi peralatan yang digunakan, metode penelitian, dan langkah kerja yang digunakan.

4. **BAB 4 DATA DAN ANALISA HASIL**

Pada bab ini berisi tentang data-data dari hasil percobaan, contoh perhitungan dan hasil perhitungan yang ditampilkan dalam bentuk grafik, serta memberikan analisa hasil percobaan.

5. **BAB 5 PENUTUP**

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diambil dari hasil analisa dan saran-saran

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Refrigeran

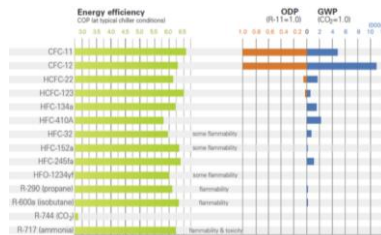
Refrigeran adalah zat kerja utama yang digunakan untuk menyerap dan mengalirkan kalor dalam sistem refrigerasi. Semua refrigeran menyerap kalor pada temperatur dan tekanan rendah selama proses evaporasi dan melepaskan kalor pada temperatur dan tekanan tinggi selama proses kondensasi. Refrigeran dapat berupa senyawa kimia tunggal ataupun campuran (*blend*) beberapa senyawa kimia, antara lain:

- Refrigeran alami
  - Campuran anorganik, misalnya amonia ( $\text{NH}_3$  atau R-717), air ( $\text{H}_2\text{O}$  atau R-718), udara (R-729) serta gas seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$  atau R-744).
  - Hidrokarbon, misalnya propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$  atau R-290) dan isobutana ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$  atau R-600a).
- Refrigeran sintetis
  - *Chlorofluorocarbon* (CFC), misalnya R-11, R-12, dan R-502.
  - *Hydrochlorofluorocarbon* (HCFC), misalnya R-22 dan R-123.
  - *Hydrofluorocarbon* (HFC), misalnya R-32, R-134a, dan R-404a.
  - *Hydrofluoroolefins* (HFO), misalnya R1234yf dan R1234ze.

Dengan beragamnya kondisi dan keadaan dalam pengaplikasian refrigeran terhadap berbagai jenis mesin refrigerasi, maka dapat diasumsikan bahwa tidak mungkin suatu refrigeran dapat menyediakan performa yang optimal terhadap penggunaannya pada mesin refrigerasi. Maka dari itu pemilihan terhadap bahan refrigeran harus dilakukan untuk dapat disesuaikan dengan kondisi mesin ataupun terhadap komponennya. Pemilihan refrigeran sebagai fluida kerja suatu

mesin pendingin atau pengkondisian udara tidak hanya mempertimbangkan sifat (*properties*) termodinamikanya, tetapi juga nilai GWP dan ODP.

GWP (*Global Warming Potential*) adalah jumlah kalor yang terjebak oleh suatu gas di atmosfer dibandingkan dengan CO<sub>2</sub> dalam satuan massa yang sama. Semakin besar nilai GWP, semakin banyak kalor yang terjebak oleh gas tersebut sehingga semakin besar potensinya mempercepat laju pemanasan global. ODP (*Ozone Depletion Potential*) adalah perbandingan laju degradasi lapisan ozon suatu senyawa dalam satuan massa tertentu terhadap R-11 dengan massa yang sama. ODP dinyatakan dalam rentang nilai 0 sampai 1. Di antara seluruh jenis refrigeran, CFC memiliki nilai ODP paling tinggi (0.6-1) sehingga produksinya dibatasi mulai tahun 1991. Sebagai alternatif, digunakan HCFC dengan nilai ODP lebih rendah (0.01-0.5). Walaupun demikian, HCFC masih memiliki potensi merusak lapisan ozon sehingga produksinya dibatasi mulai tahun 2015. HFC memiliki nilai ODP 0 sehingga dapat digunakan sebagai substitusi HCFC, tetapi nilai GWP yang tinggi menyebabkan penggunaannya mulai dibatasi di beberapa negara.



Gambar 2.1 Nilai ODP dan GWP beberapa jenis refrigeran.

(Sumber: <http://datacenterconsultores.com>)

Pemilihan refrigeran pada sistem *water chiller* yaitu dengan refrigeran R-22 yang termasuk refrigeran *Hydro Chloro*

*Fluoro Carbon* (HCFC) dan Musicool 22 yang termasuk refrigeran *hydrocarbon* (*propane*). Proses pergantian refrigeran dilakukan dengan menggunakan proses *retrofitting*.

### 2.1.1 Refrigeran-22

R-22 merupakan refrigeran yang memiliki rumus kimia  $\text{CHClF}_2$  atau *Chloro Difluoro Methane*). R-22 memegang peranan penting dalam sistem refrigerasi, sejak ditemukan pada tahun 1930. Hal ini dikarenakan HCFC (*Hydro Chloro Fluoro Carbon*) atau R-22 memiliki properti yang baik sebagai refrigeran dan kompatibel terhadap sebagian besar bahan komponen dalam sistem refrigerasi. R-22 juga merupakan refrigeran yang aman untuk instalasi dengan temperatur evaporator yang rendah.

R-22 memiliki NBP (*Normal Boiling Point*)  $-40.8^\circ\text{C}$ , akan tetapi masyarakat mengetahui bahwa CFC termasuk ODS (*Ozone Depleting Substance*) yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan ozon, masyarakat mulai mencoba melakukan perhentian pemakaian ODS dan dituangkan kedalam beberapa konvensi seperti *Vienna convention* pada bulan Maret 1985, *Moltrean Protocol* pada bulan September 1987, dan beberapa amandemen lainnya. Pemerintah Indonesia telah meratifikasinya melalui Keppres RI No. 23 Tahun 1992.

Keunggulan dari Refrigeran R-22 diantaranya sebagai berikut (Dossat, 1981).

1. Titik didih pada tekanan atmosfer  $-40.8^\circ\text{C}$ .
2. Tidak korosif terhadap logam seperti besi, tembaga, aluminium dan lain – lain.
3. Dapat bercampur dengan minyak pelumas pada tekanan rendah terutama di evaporator.
4. Tidak mudah terbakar.
5. Tidak beracun, tidak berbau dan mudah dideteksi.

### 2.1.2 *Musicool-22*

Dengan dihapuskannya penggunaan refrigeran penyebab perusak lapisan ozon (*Ozone Depletion Potensial / ODP*) dan penyebab peningkatan panas bumi (*Global Warming Potensial / GWP*) maka beberapa refrigeran pengganti yang ramah lingkungan telah dipilih dan dilakukan penelitian di beberapa laboratorium di berbagai negara (Nasaruddin dan Hamdi, 2003).

Refrigeran pengganti yang digunakan yaitu hidrokarbon yang diteliti pertama kali oleh ilmuan Linde (1916) dan ilmuan Albert Einstein (1920) karena hidrokarbon pada sistem refrigerasi telah dikenal sejak tahun 1920-an. Musicool merupakan refrigeran hidrokarbon, beberapa karakteristik musicool yaitu :

- Kenampakan : Cairan tidak berwarna, mudah menguap.
- Kelarutan dalam air: Tidak larut.
- Sifat bahaya : Bahaya, uap lebih berat dari udara.
- Komposisi : 99.7% *Propane* , 0.15% *Butane* dan 0.15% *Iso Butane*.

Karena 99.7% komposisi dari Musicool-22 adalah propana, maka Musicool dapat juga disebut sebagai *propane* (Aneka Firdaus, 2010). Pada zaman sekarang hidrokarbon dipertimbangkan kembali setelah mejadi isu penipisan ozon dan pemanasan global. Dengan demikian dilakukan penelitian mengenai kenaikan efisiensi refirgerasi (COP) dengan melakukan penurunan temperatur dengan melakukan penggantian R-22 ke MC-22. Hasil menunjukkan bahwa hasil COP menggunakan propana atau MC-22 lebih tinggi dibandingkan dengan R-22. Pada tabel 2.1 ditunjukkan perbandingan nilai massa jenis pada refrigeran.

Tabel 2.1 Perbandingan massa jenis refrigeran (The Engineering Toolbox Site, 2012)

Liquid	Temperature (T)	Density ( $\rho$ )
	$^{\circ}\text{C}$	$\text{Kg/m}^3$
Freon (Fluorine) Refrigerant R-11	25	1476
Fluorine refrigerant R-12	25	1311
Fluorine refrigerant R-22	25	1194
Freon-11	21	1490
Propane	-40	493.5
Propane, MC-22	25	494

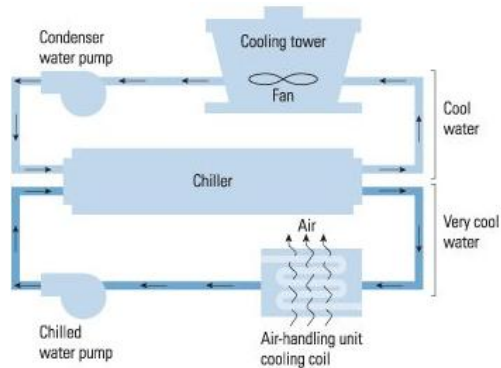
## 2.2 Chiller

*Chiller* adalah mesin refrigerasi yang menggunakan metode pendinginan secara tidak langsung, dimana proses pendinginannya menggunakan dua refrigeran yaitu refrigeran primer dan refrigeran sekunder. Refrigeran primer yaitu refrigeran yang akan mengambil kalor dari refrigeran sekunder. Pada penelitian ini media yang akan didinginkan adalah air sehingga sistem *chiller* yang digunakan adalah *water chiller*. *Water chiller* memiliki fungsi utama mendinginkan air pada sisi evaporatornya. Air dingin yang dihasilkan selanjutnya didistribusikan ke mesin penukar kalor. Jenis – jenis *water chiller* berdasarkan media pendingin kondensor yaitu *water-cooled condenser*, *air-cooled condenser*, dan *evaporative condenser*.

### 1. *Water Cooled Condenser*

*Water cooled condenser* adalah kondensor dengan media pendinginan air, tipe ini memanfaatkan aliran air sebagai pembawa kalor. Berdasarkan penggunaan air pendinginannya, maka kondensor ini dibagi menjadi dua,

yaitu *waste water system* dan *recirculated water system*. Pada *waste water system*, air pendingin setelah digunakan untuk pendinginan kondensor kemudian dibuang dan tidak diperlukan lagi. Pada *recirculated wate system*, air pendingin setelah keluar kondensor dipompakan menuju menara pendingin (*cooling tower*). *Cooling tower* bekerja untuk melepaskan panas ada air pendingin kemudian kembali lagi ke kondensor.



Gambar 2.2 Skema Pada *Water Colled Condenser*.

(Sumber: <http://heatingcoolingbuffalo.com/chillers>)

## 2. *Air Cooled Condenser*

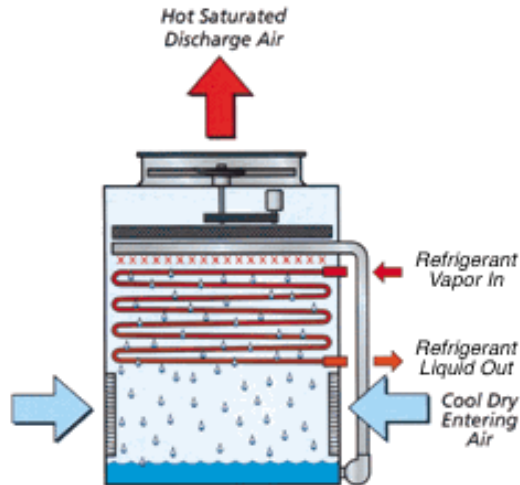
*Air-cooled condenser* adalah kondensor dengan media pendingin udara, pembuangan kalor pada kondensor dilakukan langsung ke udara lingkungan. Kelebihan utama penggunaan *air-cooled condenser* adalah tidak adanya *cooling tower* dalam sistem pendinginan kondensor.

## 3. *Evaporative Condenser*

*Evaporative Condenser* adalah kondensor berpendingin air dan udara biasanya jenis pendinginan ini untuk sistem besar untuk menurunkan temperatur yang



tinggi dari kondensor. Untuk sistem ini konsumsi energi lebih besar di dibandingkan menggunakan *Water Cooled Condensor* dan *Air Cooled Condenser* karna energi listrik digunakan untuk menggerakkan fan dan juga pompa.



Gambar 2.3 Proses *Evaporative Condenser*  
(Sumber: <https://www.evapco.com/products/catc-evaporative-condenser>)

## 2.3 Komponen Sistem *Water Chiller*

Sistem *water chiller* pada dasarnya prinsip kerja pendinginannya sama seperti pendingin yang lain seperti AC (*Air Conditioning*) dimana terdiri dari beberapa komponen utama yaitu kompresor, evaporator, kondensor, serta alat ekspansi.

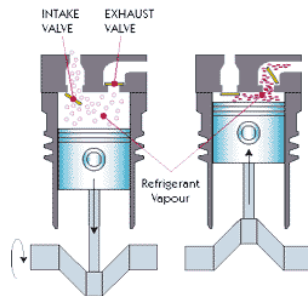
### 2.3.1 Kompresor

Kompresor merupakan salah satu komponen utama yang memiliki fungsi untuk menghisap uap refrigeran bertekanan rendah dari evaporator dan mengkompresinya menjadi uap

bertekanan tinggi. Uap yang telah dikompresikan kemudian ditekan keluar dari kompresor dan dialirkan menuju kondensor. Jenis kompresor banyak digunakan adalah kompresor torak, kompresor *rotary*, kompresor sudu, dan kompresor sentrifugal. Berdasarkan konstruksinya, kompresor dibagi menjadi tiga jenis yaitu kompresor hermatik, kompresor semi hermatik dan kompresor terbuka. Pada penelitian ini kompresor yang digunakan adalah kompresor torak dengan konstruksi hermatik.

a. Kompresor Torak (*Reciprocating Compressor*)

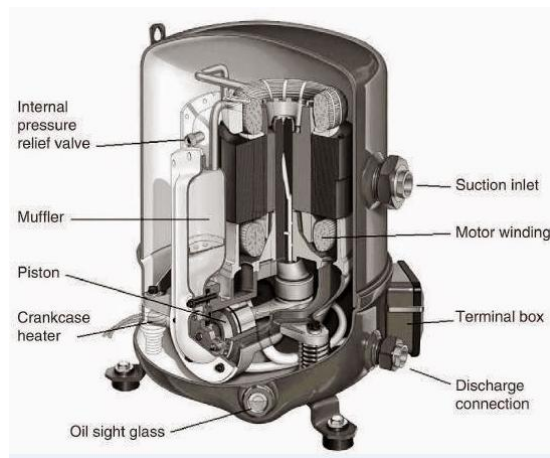
Kompresor ini menggunakan piston yang dikendalikan oleh *crankshaft* untuk menghasilkan tekanan udara. Piston ini bergerak di dalam tabung untuk mendorong dan memberi tekanan pada udara sehingga udara tersebut memiliki tekanan yang lebih tinggi. Pada saat langkah hisap piston, uap refrigeran yang bertekanan rendah dihisap masuk melalui katup hisap (*intake valve*) yang terletak pada pada piston atau di kepala kompresor. Pada saat langkah buang, piston menekan refrigeran dan mendorongnya melalui katup buang (*exhaust valve*) yang biasanya terletak pada kepala silinder.



Gambar 2.4 Cara Kerja Kompresor Torak

b. Kompresor Hermetik (*Hermetic compressor*)

Pada kompresor ini, motor listrik dan kompresor berada dalam suatu rumah kompresor. Sambungan las digunakan pada kompresor ini, sehingga ruangan di dalam kompresor menjadi kedap suara (hermetik). Kompresor hermetik biasa dibuat untuk unit kapasitas rendah sampai 7.5 kW, sebagai contoh adalah penyegar udara.



Gambar 2.5 Konstruksi Detail Kompresor Hermetik

(Sumber: Hundy G.H p.49)

### 2.3.2 Evaporator

Evaporator merupakan komponen siklus refrigerasi yang berada pada sisi tekanan rendah. Kemampuan pada evaporator untuk menyerap panas dari lingkungan sekitarnya. Pada evaporator terjadi proses evaporasi dan refrigeran berubah fasa dari cair ke uap. Proses ideal evaporasi berlangsung secara isobar pada tekanan konstan. Media yang didinginkan oleh evaporator dalam penelitian ini adalah air.

Kapasitas mesin refrigerasi tergantung dari kemampuan evaporator untuk menguapkan refrigeran.



Gambar 2.6 *Spiral Evaporator*

### 2.3.3 Kondensor

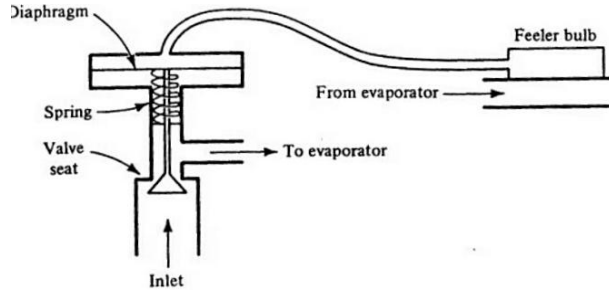
Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berada pada daerah tekanan tinggi dari sistem refrigerasi. Kondensor berfungsi sebagai pembuang panas (*heat rejection*) dari dalam sistem ke luar sistem. Pada saat refrigeran memasuki kondensor, maka refrigeran akan mengalami perubahan fase dari gas menjadi cair (terkondensasi). Proses kondensasi berlangsung pada tekanan konstan atau isobar.

### 2.3.4 Alat Ekspansi

Alat ekspansi berfungsi untuk mengekspansikan atau menurunkan tekanan refrigeran yang keluar dari kondenser dan berfase cair menjadi uap jenuh menjadi berfase uap menjadi cair. Alat ekspansi yang biasa digunakan dalam sistem refrigerasi yaitu *thermostatic expansion valve* dan pipa kapiler. *Thermostatic Expansion Valve (TXV)* adalah alat ekspansi yang paling sering digunakan dalam sistem

refrigerasi kapasitas menengah. Karena efisiensinya tinggi dan mudah diadaptasikan dengan berbagai aplikasi refrigerasi. *TXV* juga tidak dikendalikan oleh temperatur di dalam evaporator, *TXV* pengaturannya berbasis pada suhu *superheated vapour* di bagian keluaran evaporator yang selalu konstan untuk memastikan refrigerant yang dihisap kompresor selalu dalam fasa gas. Adapun bagian-bagian dan fungsi dari *thermostatic expansion valve (TXV)* yaitu sebagai berikut:

1. Pipa kapiler berfungsi untuk menghubungkan *sensing* atau *feeler bulb* dengan *TXV head*
2. *Sensing* atau *feeler bulb* berfungsi untuk membaca temperatur keluaran evaporator
3. *Diaphragm* berfungsi untuk pemisah antara *bulb pressure* dengan *superheat spring* dari evaporator *pressure*
4. *Liquid absorber* berfungsi untuk mencegah berpindah cairan pada *sensing bulb* ke *TXV head* jika temperatur *TXV head* lebih rendah dari temperatur *TXV bulb*
5. *Superheat adjuster* berfungsi untuk mengatur nilai *superheat*
6. *External equalizer* berfungsi untuk dihubungkan pipa keluar keluar dari evaporator
7. *Superheat spring* berfungsi untuk melawan tekanan dari *bulb* atau *feeler*
8. *TXV inlet* berfungsi untuk dihubungkan dari pipa keluar kondensor melalui *filter dryer*
9. *TXV outlet* berfungsi untuk dihubungkan pipa masuk evaporator

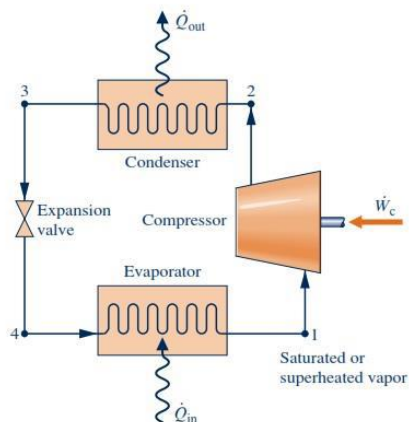


Gambar 2.7 Skema TXV

(Sumber: Refrigerasi dan Pengkondisian Udara edisi kedua  
– Stoecker and Jones)

## 2.4 Daur Kompresi Uap Standar

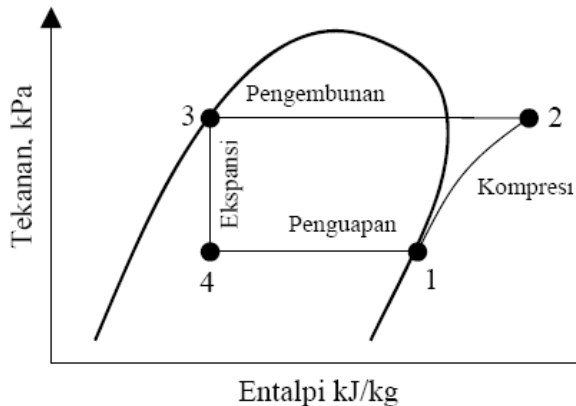
Daur kompresi uap merupakan prinsip yang banyak digunakan mesin refrigerasi pendingin salah satunya pada *water chiller*. Pada dasarnya mesin pendingin kompresi uap digambarkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.8 Siklus Kompresi Uap Standar.

(Sumber: *Fundamentals of Thermodynamics 8<sup>th</sup>*  
Edition – Moran and Shapiro)

Gambar 2.8 menunjukkan suatu siklus kompresi uap yang ideal dimana kompresi terjadi pada daerah *superheated* dan dianggap tidak ada perubahan beban kalor, sehingga dapat diterapkan fungsi dan sistem kerja prestasi dengan pendekatan proses ideal. Siklus ideal adalah suatu siklus dimana proses kompresi terjadi secara isentropik. Didalam upaya untuk melakukan analisa sistem, ada beberapa diagram yang digunakan dan salah satu diantaranya adalah diagram P-h.



Gambar 2.9 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap Standar.  
(Sumber: Refrigerasi dan Pengkondisian Udara edisi kedua –  
Stoecker and Jones)

Proses-proses yang membentuk daur kompresi uap standar adalah sebagai berikut:

Proses 1-2: Refrigeran berfasa uap-jenuh dikompresikan oleh kompresor hingga menjadi uap bertekanan tinggi dan berubah fasa menjadi *superheated*. Hal tersebut diikuti dengan kenaikan temperatur pada refrigeran dan proses ini terjadi secara isentropik adiabatik (entropi konstan).

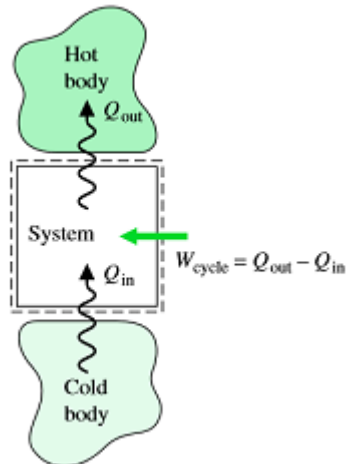
Proses 2-3:Uap referigeran dalam kondisi fasa *superheated* tersebut akan masuk melewati kondensor dan mengalami pendinginan yang mengakibatkan terjadinya perubahan fasa pada referigeran menjadi fasa cair-jenuh. Proses pendinginan tersebut terjadi secara isobarik (tekanan konstan). Proses pendinginan terjadi karena adanya pertukaran panas dari dalam kondensor dengan udara luar atau air pendingin.

Proses 3-4:Referigeran berfasa cair-jenuh tersebut masuk ke dalam katup ekspansi. Ekspansi terjadi melalui *throttle* secara isoenthalpi (entalpi konstan). Ekspansi mengakibatkan penurunan tekanan juga temperatur dan membuat referigeran berubah fasa menjadi campuran uap-cair.

Proses 4-1:Refrigeran yang telah diturunkan tekanan dan temperaturnya di alat ekspansi akan mengalir ke evaporator. Di evaporator refrigeran akan menyerap kalor dari tempat atau produk yang akan didinginkan, maka fasa refrigeran akan berubah menjadi uap dan idealnya seluruh refrigeran akan berubah fasa dari cair ke uap hingga menjadi uap jenuh. Proses inilah yang dinamakan proses evaporasi. Seperti halnya proses kondensasi, maka proses ini pun berlangsung pada tekanan dan temperatur yang konstan (*isobar*).

Referigeran berfasa uap jenuh tersebut kemudian dihisap oleh kompresor dan begitu seterusnya hingga terjadi keseimbangan termal.





Gambar 2.10 Kestimbangan energy untuk siklus refrigerasi

Berdasarkan prinsip kekekalan energy dan Hukum II Termodinamika, kesetimbangan energy sistem yang mengalami siklus termodinamika dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta E_{\text{cycle}} = Q_{\text{Cycle}} - W_{\text{Cycle}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$Q_{\text{Cycle}}$  dan  $W_{\text{Cycle}}$  adalah jumlah energy netto yang ditransfer melalui perpindahan panas dan kerja. Sistem yang telah melalui rangkaian siklus akan kembali ke tingkat keadaan semula sehingga tidak ada perubahan energy netto. Oleh karena itu, ruas kiri persamaan 2.1 bernilai nol sehingga

$$W_{\text{Cycle}} = Q_{\text{Cycle}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Gambar 2.10 menyatakan kesetimbangan energy untuk siklus refrigerasi.  $Q_{\text{in}}$  adalah energy kalor masuk ke dalam sistem yang berasal dari *cold body*, sedangkan  $Q_{\text{out}}$  adalah energy kalor yang keluar dari sistem yang dipindahkan menuju *hot body*. Proses perpindahan energy tersebut membutuhkan

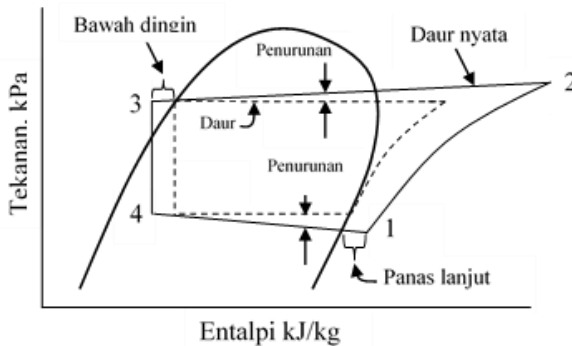
kerja sebesar  $\dot{W}_{Cycle}$ . Oleh karena itu, kesetimbangan energy siklus refrigerasi dapat ditulis menjadi

$$\dot{W}_{Cycle} = Q_{out} - Q_{in} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\dot{W}_c = Q_{cond} - Q_{evp} \dots \dots \dots (2.4)$$

**2.5 Daur Kompresi Uap Aktual**

Daur kompresi uap nyata mengalami pengurangan efisiensi dibandingkan dengan daur standar. Perbedaan penting antara daur nyata dan standar terletak pada penurunan tekanan didalam kondensator dan evaporator, dalam pembawahdinginan (subcooling) cairan yang meninggalkan kondensator, dan dalam pemanasan lanjut (superheat) uap yang meninggalkan evaporator. Pada daur nyata penurunan tekanan karena adanya gesekan. Akibat dari penurunan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar.



Gambar 2.11 Perbandingan siklus Kompresi Uap Standar dan Aktual pada Diagram P-h. (Sumber: Refrigerasi dan Pengkondisian Udara edisi kedua – Stoecker and Jones)

*Subcooling* yang terjadi pada kondensor merupakan peristiwa yang normal dan menguntungkan karena dengan adanya proses ini maka refrigeran yang memasuki katup ekspansi seluruhnya dalam keadaan cair, sehingga menjamin efektifitas alat ini. *Superheat* yang terjadi pada evaporator juga merupakan sesuatu yang menguntungkan karena peristiwa ini dapat mencegah refrigeran yang masih dalam fase cair memasuki kompresor. Perbedaan terakhir pada siklus nyata kompresi yang tidak lagi isentropik dan terdapat kerugian akibat gesekan dan hal – hal lain.

## 2.6 Kinerja Sistem Pendingin

Ada beberapa persamaan yang digunakan untuk menyatakan performasi atau kinerja pada sistem pendingin, pada proses 1-2 yaitu proses kompresi ideal yang terjadi secara isentropis (*adiabatic, reversible*) dan membutuhkan kerja sebesar  $\dot{W}_{c,s}$ .

$$\dot{W}_{c,s} = \dot{m}_{ref} (h_{2s} - h_1) \dots\dots\dots (2.5)$$

$\dot{W}_{c,s}$  = kerja yang diterima refrigeran untuk melakukan kompresi isentropis, kW

$\dot{m}$  = laju aliran massa refrigeran, kg/s

$h_{2s}$  = entalpi refrigeran keluar kompresor pada proses isentropis, kJ/kg

$h_1$  = entalpi refrigeran keluar evaporator, kJ/kg

Pada kondisi sebenarnya, proses kompresi bersifat *irreversible* karena mengalami kerugian akibat adanya kerja yang terbuang untuk melawan gesekan komponen dan panas yang ditimbulkan ke lingkungan. Oleh karena itu, kerja bersih yang dihasilkan kompresor sebesar  $\dot{W}_c$ .

$$\dot{W}_c = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.6)$$

$h_2$  = entalpi refrigeran keluar kompresor pada proses sebenarnya, kJ/kg

Efisiensi isentropis ( $\eta_s$ ) dinyatakan sebagai perbandingan kerja yang digunakan untuk melakukan kompresi pada kondisi isentropis ( $\dot{W}_{c,s}$ ) dan nyata ( $\dot{W}_c$ ). asumsi efisiensi kompresor yaitu 70% karena kompresor yang digunakan tidak dalam keadaan baru.

$$\eta_s = \frac{\dot{W}_{c,s}}{\dot{W}_c} = \frac{m_{ref}(h_{2s} - h_1)}{m_{ref}(h_2 - h_1)} \dots\dots\dots(2.7)$$

Apabila perhitungan kerja kompresor mempertimbangkan daya input yang diberikan oleh motor listrik terhadap poros,  $\dot{W}_c$  dapat dinyatakan sebagai  $\dot{W}_{in}$  dan dihitung sebagai berikut.

$$\dot{W}_{in} = VI \cos \theta \dots\dots\dots(2.8)$$

- $\dot{W}_{in}$  = daya listrik (kWatt)
- $I$  = kuat arus listrik (A)
- $V$  = tegangan listrik (V)
- $\cos \theta$  = faktor daya diasumsikan 0.8

Nilai  $\dot{W}_c$  lebih kecil dari  $\dot{W}_{in}$  karena adanya kerugian akibat gesekan komponen dan kerugian akibat aliran turbulen refrigeran.

Pada proses 2–3, refrigeran memasuki kondensor untuk membuang panas ke *heat sink* sehingga terjadi perubahan fase gas refrigeran menjadi cair jenuh. Proses ini terjadi pada kondisi isothermal atau temperatur konstan.

$$\dot{Q}_{cond} = m_{ref}(h_2 - h_3) \dots\dots\dots(2.9)$$

- $\dot{Q}_{cond}$  = panas yang dibuang oleh kondensor, kW
- $h_3$  = entalpi refrigeran keluar kondensor, kJ/kg
- $h_2$  = entalpi refrigeran masuk kondensor, kJ/kg

Pada proses 3–4, refrigeran melewati katup ekspansi dan mengalami penurunan tekanan pada kondisi isoentalpi (entalpi konstan) sebelum mengalami efek refrigerasi di dalam evaporator. Di dalam evaporator, refrigeran mengalami proses

4–1, yaitu perubahan fase dari campuran menjadi uap jenuh atau uap panas lanjut.

$$\dot{Q}_{\text{evp}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.10)$$

- $\dot{Q}_{\text{evp}}$  = efek refrigerasi yang dihasilkan evaporator, kW  
 $h_4$  = entalpi refrigeran masuk evaporator, kJ/kg  
 $h_1$  = entalpi refrigeran keluar evaporator, kJ/kg

*Heat rejection ratio (HRR)* adalah rasio pelepasan panas yang bisa dilepaskan oleh sistem. Pembagian antara panas yang dibuang oleh kondensor dengan panas yang diserap oleh evaporator.

$$HRR = \frac{\dot{Q}_{\text{kondensor}}}{\dot{Q}_{\text{evaporator}}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Unjuk kerja (*coefficient of performance, COP*) siklus kompresi uap dihitung berdasarkan rasio efek refrigerasi dan kerja kompresor.

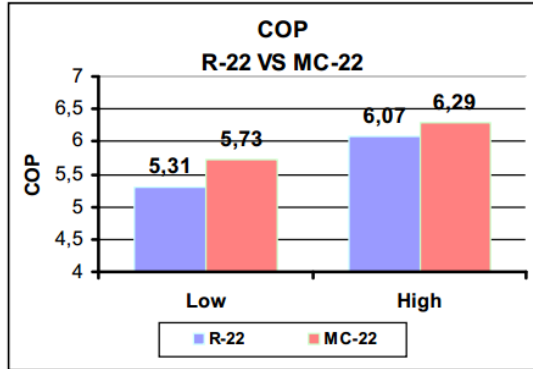
$$COP = \frac{\dot{Q}_{\text{evp}}}{\dot{W}_c} \dots\dots\dots (2.12)$$

## 2.7 Penelitian Terdahulu

### 2.7.1 Analisa Efektifitas Kerja Freon R-22 Dengan Hidrokarbon Musicool-22 Dan Pengaruhnya Pada Viskositas Pelumas Kompresor (Winarano, 2010)

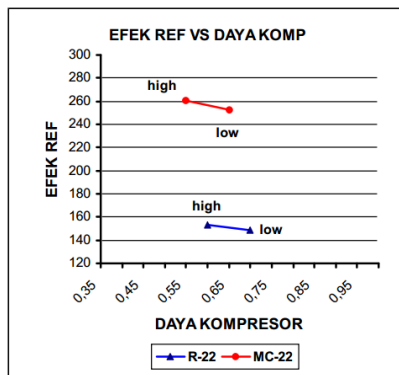
Winarano melakukan penelitian menggunakan peralatan simulasi AC ruangan dengan merek dagang Panasonic yang memiliki kapasitas pendinginan 11.900 BTU/h (3.49 kW) terhadap penggunaan pelumas Suniso 3GS, Suniso 4GS dan pelumas Viskos yang biasa digunakan dalam kompresor refrigerasi dan banyak terdapat di pasaran. Dari hasil analisa dan pengujian efektifitas kerja yang telah dilakukan dapat menunjukkan bahwa MC-22 memiliki beberapa keunggulan dari R-22. COP yang dihasilkan lebih tinggi, kalor yang diserap

pada proses penguapan lebih besar dan kerja kompresor yang lebih ringan sehingga dapat memperpanjang usia unit AC dan mampu menghemat konsumsi listrik hingga 23%.



Gambar 2.12 Grafik COP Hasil pengujian. (Winarno, 2010)

Dari grafik 2.12 peneliti membuktikan bahwa R-22 mempunyai nilai COP yang lebih kecil jika di bandingkan dengan MC-22. Hal tersebut mengindikasikan tentang besarnya kemampuan refrigerasi yang diberikan refrigeran MC-22. Properti dari refrigeran menentukan besarnya kalor yang diserap refrigeran untuk kemudian dilepaskan ke lingkungan, sehingga nilai entalpi yang dimiliki MC-22 pada proses tersebut menjadi lebih besar meskipun dengan massa refrigeran yang lebih kecil dari R-22.



Gambar 2.13 Grafik Hasil Pengujian Efek Refrigerasi Terhadap Daya Kompresor. (Winarno,2010)

Dari gambar 2.13 terjadi penurunan daya yang dibutuhkan kompresor untuk bekerja pada kondisi *high* pada kedua refrigeran jika dibandingkan dengan kondisi *low*. Hal ini merupakan pengaruh dari jumlah refrigeran yang mengalir pada sistem yang di kompresikan oleh kompresor. Pada kondisi *low*, R-22 mampu memberikan efek refrigerasi sekitar 148.222 kJ/kg dengan membutuhkan daya kompresor 0.694 kW, sedangkan untuk MC-22 efek refrigerasi yang didapat mencapai 252.229 kJ/kg dengan daya kompresor 0.643 kW. Hasil pada kondisi *high*, R-22 membutuhkan sekitar 0.608 kW untuk mendapatkan efek refrigerasi sekitar 153.035 kJ/kg, namun efek refrigerasi dengan MC-22 mencapai 260.852 kJ/kg dengan daya kompresor 0.587 kW.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan.”*



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Langkah Eksperimen

Langkah eksperimen digunakan untuk membuat penelitian lebih terstruktur dan sistematis dalam proses pengerjaannya. Dalam sub bab ini akan dibahas bagaimana urutan langkah eksperimen yang digunakan selama penelitian ini. Berikut merupakan diagram alir eksperimen.

##### 1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah adalah tahapan awal dalam eksperimen ini, berdasarkan dari latar belakang eksperimen perumusan masalah dilakukan. Pada tahapan ini dilakukan penggalian gagasan – gagasan berdasarkan latar belakang untuk dibentuknya rumusan masalah pada eksperimen ini.

##### 2. Studi Literatur

Jurnal terkait merupakan sumber utama dalam tahapan studi literatur. Teori – teori tentang refrigeran R-22 dengan *musicool-22* serta teori tentang *water chiller* merupakan hal pokok untuk dipelajari guna mendukung eksperimen ini. Dalam eksperimen ini studi literatur ters dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

##### 3. Pengambilan Data

Pengambilan data merupakan inti dari tahapn eksperimen ini. Pengujian dilakukan secara benar agar data yang diambil adalah *valid* untuk diolah dan dianalisis sebelum mendapatkan kesimpulan. Pengujian dilakukan setelah dipahaminya dasar teori untuk meminimalkan kesalahan dalam proses.

#### 4. Analisa Hasil Data

Analisa hasil data merupakan proses perhitungan hasil pengambilan data dari masing – masing refrigeran yaitu R-22 dan *musicool-22*. Hasil dari masing – masing data kemudian dibandingkan hasil perhitungan performasi dari data tiap refrigeran.

#### 5. Kesimpulan

Tahap akhir dari eksperimen ini didapat kesimpulan perbandingan performasi dari masing – masing refrigeran yaitu R-22 dengan *musicool-22*.

### **3.2 Alat dan Bahan**

#### **3.2.1 Alat**


Rangkaian alat yang akan digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1 dan spesifikasi alat tersebut ditunjukkan pada tabel 3.1.








P3	:	Tekanan pada titik 3
T3	:	Temperatur pada titik 3
P4	:	Tekanan pada titik 4
T4	:	Temperatur pada titik 4

Refrigeran berfasa uap-jenuh dikompresi oleh kompresor hingga menjadi uap bertekanan tinggi dan berubah fasa menjadi *superheated*. Hal tersebut diikuti dengan kenaikan temperatur pada refrigeran dan proses ini terjadi secara isentropik (entropi konstan). Kemudian uap referigeran dalam kondisi fasa *superheated* tersebut akan masuk melewati kondensor dan mengalami pendinginan yang mengakibatkan terjadinya perubahan fasa pada referigeran menjadi fasa cair-jenuh. Proses pendinginan tersebut terjadi secara isobarik (tekanan konstan). Proses pendinginan terjadi karena adanya pelepasan panas dari dalam kondensor ke lingkungan. lalu refrigeran berfasa cair-jenuh tersebut masuk ke dalam katup ekspansi. Ekspansi terjadi secara isoenthalpi (entalpi konstan). Ekspansi mengakibatkan penurunan tekanan juga temperatur dan membuat referigeran berubah fasa menjadi campuran uap-cair. Selanjutnya referigeran berfasa campuran uap-cair akan menguap karena perpindahan panas. Panas dari ruangan dipindahkan dari udara ke koil yang mengakibatkan referigeran berfasa campuran uap-cair berubah fasa menjadi uap jenuh.


Tabel 3.1 Spesifikasi Alat pengujian




No	Alat	Spesifikasi
1	 <p style="text-align: center;"><i>Outdoor Unit</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek <i>outdoor</i>: General</li> <li>• Merek kompresor: Bristol</li> <li>• Model: H24B4QABHA</li> <li>• Fase: 1</li> <li>• <i>Rated voltage</i>: 220 / 240 V</li> <li>• <i>Rated frequency</i>: 50 Hz</li> </ul>





2	 <p><i>Thermostatic Expansion Valve (TXV)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Merek: Danfoss</li><li>• <i>Range</i>: -40/+10°C</li></ul>
3	 <p>Evaporator</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tipe : Spiral</li><li>• Diameter: 3/8 inch</li><li>• Panjang: 20 meter</li></ul>
4	 <p>Drum air</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Volume</i> : 200 liter</li></ul>

5	 <p>Pompa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek pompa : DAB Vista</li> <li>• Model : Aqua-125C</li> <li>• Kapasitas maksimal: 42 l/menit</li> <li>• <i>Suction head</i>: 9 meter</li> <li>• <i>Discharge head</i>: 24 meter</li> <li>• Diameter pipa: 1 inch</li> <li>• Putaran maksimal : 2850 RPM</li> </ul>
6	 <p><i>Water Heater</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Water wasser</li> <li>• Kapasitas : 2000 Watt</li> </ul>

Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Ukur

No	Alat	Spesifikasi
1	 <p><i>Low Pressure Gauge</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Lotus</li> <li>• <i>Range</i>: -30 – 220 psi -1 – 10 bar</li> <li>• Ketelitian: 2 psi / 0.2 bar</li> </ul>

2	 <p><i>High Pressure Gauge</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek: Lotus</li> <li>• <i>Range</i>: 0 – 500 psi 0 – 35 kgf/cm<sup>2</sup></li> <li>• Ketelitian: 5 psi 0.2 kgf/cm<sup>2</sup></li> </ul>
3	 <p>Termokopel</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe : Tipe K</li> <li>• <i>Range</i> : 0 – 1100°C</li> </ul>
4	 <p>Perangkat Data Akuisisi</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Yokogawa</li> <li>• Model : MX100 <i>Data Acquisition Unit</i></li> <li>• <i>Supply volt</i>: 100/240 V AC</li> </ul>

5	 <p><i>Dual Pressure Control (HLP)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Danfoss</li> <li>• <i>High pressure range</i>: 8 – 32 bar</li> <li>• <i>Low pressure range</i>: -0.2 – 7.5 bar</li> <li>• <i>Inlet Diameter</i> : ¼ inch</li> </ul>
6	 <p><i>Sight Glass</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Danfoss</li> <li>• Model : SY/L-02</li> <li>• <i>Flare tube</i>: ¼ inch</li> <li>• <i>Thread</i> : 7/16 inch</li> </ul>
7	 <p><i>Flowmeter</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Rota</li> <li>• <i>Range</i> : 0 – 0.7 L/s</li> </ul>
8	 <p><i>Gauge Manifold</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merek : Starmec</li> <li>• <i>Range (low)</i>: -30 – 150 psi</li> <li>• <i>Range (high)</i>: 0 – 500 psi</li> </ul>



### 3.2.2 Bahan

Bahan yang mendukung dalam penelitian tugas akhir ini berupa fluida kerja yang terdiri dari refrigeran primer yaitu:

1. Refrigeran-22
2. *Musicool-22*

## 3.3 Alur Pengujian

### 3.3.1 Langkah Pengisian Refrigeran

Dalam melakukan pengisian refrigeran harus dilakukan dengan baik dan benar, diperhatikan jumlah refrigeran yang akan diisikan kedalam sistem. Jumlah refrigeran dalam sistem akan berpengaruh pada performasi dari sistem refrigerasi tersebut. Pengisian yang tidak tepat akan menghasilkan data yang tidak baik dan tidak tepat. Adapun langkah-langkah dalam pengisian refrigeran adalah sebagai berikut:

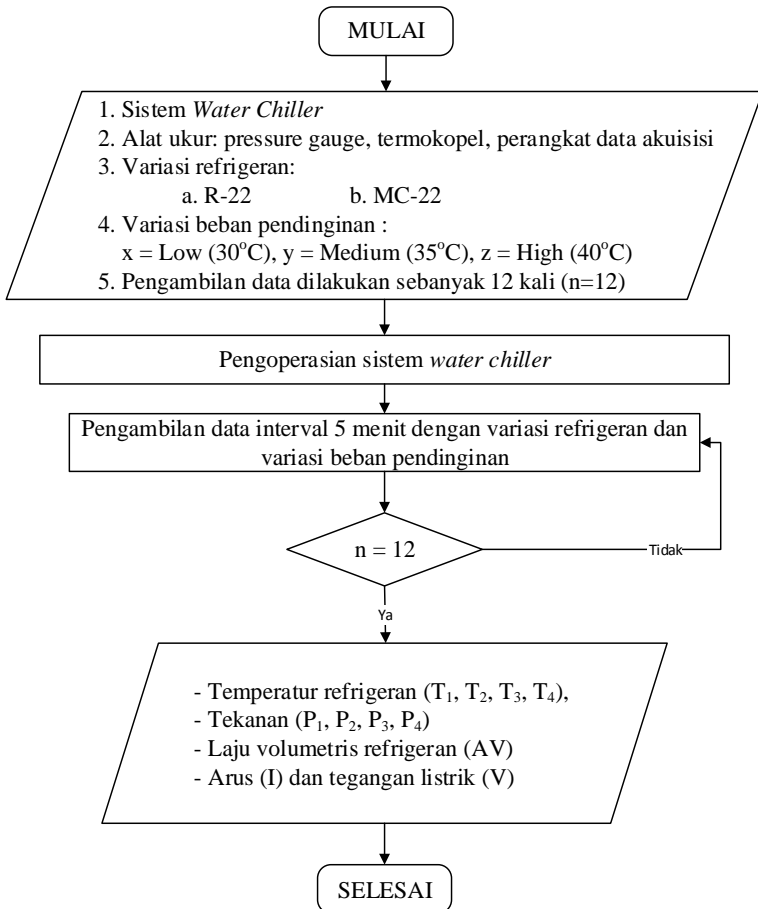
1. Lakukan prosedur pemvakuman yang baik dan benar sesuai dengan langkah-langkah yang sudah ditetapkan terhadap sistem refrigerasi hingga mencapai nilai tekanan dibawah minus 1 bar sebelum melakukan pengisian refrigeran.
2. Lakukan penimbangan tabung di atas timbangan elektronik dan catat berat awalnya.
3. Pasang dan hubungkan selang ke tabung refrigeran dan pastikan selang terhubung dengan baik dan benar.
4. Lakukan *flushing* yaitu membuang sedikit refrigeran dengan cara membuka sedikit katup tabung refrigeran sehingga refrigeran mengalir dan membuang udara yang berada di dalam selang.
5. Hubungkan ujung selang yang lain ke saluran *suction* pada kompresor. Pastikan keadaan katup servis pada saluran *suction* dalam keadaan terbuka (CCW).

6. Buka katup refrigeran sedikit lebih besar dan refrigeran akan masuk ke dalam sistem refrigerasi hingga mencapai tekanan kerja pada *discharge*.
7. Jika tekanan *discharge* telah sesuai, tutup katup refrigeran, hidupkan sistem refrigerasi maka tekanan *suction* akan naik dan tekanan *discharge* akan turun.
8. Setelah pengisian cukup, tutup tabung refrigeran kembali dan tutup katup servis pada saluran *suction* (CW).
9. Catat berat tabung yang tersisa sehingga dapat mengetahui jumlah refrigeran yang diisi pada sistem dengan menghitung berat awal sebelum pengisian dikurangi dengan berat akhir setelah pengisian.
10. Jika semua prosedur telah dilaksanakan, maka jalankan sistem dan lakukan pengambilan data sesuai dengan data yang telah disiapkan.

### 3.3.2 Proses *Retrofitting*

Proses *retrofitting* adalah proses pergantian refrigeran yang menggunakan metode *drop-in substitute* karena hanya mengganti refrigeran tanpa melakukan pergantian pada komponen yang lainnya yang terdapat pada sistem refrigerasi. Pada saat proses pergantian refrigeran, langkah yang dilakukan sama dengan langkah pengisian refrigeran pada sistem. Pengisian jumlah massa refrigeran MC-22 sama dengan 46.6% berat pengisian R-22. Pengisian dilakukan dengan melihat berat awal tabung MC-22 dikurangi dengan 46.6% dikalikan dengan refrigeran yang diisi saat R-22. Nilai 46.6% tersebut didapat dari hasil massa jenis MC-22 dibagi massa jenis R-22 dikali 100% (pada saat kondisi uap, massa jenis R-22 yaitu  $44.232 \text{ kg/m}^3$  dan MC-22 yaitu  $20.646 \text{ kg/m}^3$  (Refprop 2007)). Jadi jika berat sisa tabung di timbangan elektronik telah cukup maka pengisian selesai.

### 3.3.3 Flowchart Pengujian



Gambar 3.2 Flowchart pengujian

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISIS

#### 4.1 Data Hasil Percobaan

Proses analisis merupakan proses pengolahan semua data hasil pengamatan dan yang pada akhirnya akan dijadikan pembahasan dalam bab ini. Pengambilan data dalam percobaan ini dilakukan dengan cara memvariasikan jenis refrigeran yaitu R-22 dan MC-22, serta memvariasikan air sebagai beban untuk didinginkan yaitu 40 °C, 35 °C, dan 30°C. Parameter yang diambil dalam percobaan ini adalah tekanan, temperatur, laju massa refrigerant, arus dan tegangan pada kompresor. Waktu pengujian dilakukan selama 1 jam dan diambil tiap 5 menit agar dapat diketahui proses refrigerasi di dalam sistem. Data rata-rata hasil percobaan dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.2 Perhitungan Data

Perhitungan data diambil dari satu contoh data, yaitu pada percobaan refrigeran R-22 dengan beban temperatur 40°C

Tabel 4.1 Parameter Analisa.

Parameter Analisis	Simbol	Nilai
Tekanan refrigeran masuk kompresor	P1	66 Psi
Temperatur refrigeran masuk kompresor	T1	26 °C
Tekanan refrigeran keluar kompresor	P2	260 Psi
Temperatur refrigeran keluar kompresor	T2	103.2 °C
Tekanan refrigeran keluar kondenser	P3	245 Psi
Temperatur refrigeran keluar kondenser	T3	30.9 °C
Tekanan refrigeran masuk evaporator	P4	80 Psi
Temperatur refrigeran masuk evaporator	T4	8.6 °C
Laju aliran massa refrigeran	AVref	0.025 l/s
Arus Listrik	I	8 A
Tegangan Listrik	V	220 V

### 4.2.1 Konversi Tekanan

Konversi satuan tekanan dilakukan agar memudahkan dalam pencarian property refrigeran. Perubahan ini dilakukan karena data-data yang tersedia pada *website* pencari properti refrigeran menggunakan satuan tekanan *absolute*. Perubahan dilakukan pada satuan tekanan dari psia menjadi MPa dengan cara nilai dari satuan psig ditambah 14.7 untuk dijadikan satuan psia kemudian mengalikan nilai satuan psia dengan angka 6894.76 kemudian membagi dengan  $10^{-6}$ . Hal ini dilakukan untuk memudahkan plot data-data yang diperoleh kedalam grafik P-h diagram. Hasil dari konversi data tekanan diperoleh sebagai berikut :

- Tekanan masuk kompresor ( $P_1$ )  

$$P_1 = (66 + 14.7) \times 6894.76 / 1000000 = 0.56 \text{ MPa}$$
- Tekanan keluar kompresor ( $P_2$ )  

$$P_2 = (260 + 14.7) \times 6894.76 / 1000000 = 1.89 \text{ MPa}$$
- Tekanan keluar kondensor ( $P_3$ )  

$$P_3 = (245 + 14.7) \times 6894.76 / 1000000 = 1.79 \text{ MPa}$$
- Tekanan masuk evaporator ( $P_4$ )  

$$P_4 = (80 + 14.7) \times 6894.76 / 1000000 = 0.65 \text{ Mp}$$

### 4.2.2 Mencari Properti Refrigeran

Mencari properti dari refrigeran pada percobaan ini digunakan *software Refprop*, pada masing-masing refrigerant yang digunakanyaitu R-22 dan *Musicool-22*. *Musicool-22* menggunakan property dari R-290 karena *Musicool-22* pada dasarnya dibuat dari propane dan iso-butana sama seperti R-290 yang terbuat dari propane. Dari pencarian data property tersebut diperoleh nilai sebagai berikut:

- Titik 1 (masuk kompresor)  

$$T_1 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 0.56 \text{ MPa}$$

Dengan nilai  $T_1 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$  dan nilai  $P_1 = 0.56 \text{ MPa}$ , maka didapatkan *properties* sebagai berikut:

$$h_1 = 266.3 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 0.9799 \text{ kJ/kg.K}$$

- Titik 2 (keluar kompresor)

$$T_2 = 103.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_2 = 1.89 \text{ MPa}$$

Dengan nilai  $T_2 = 113.2 \text{ }^\circ\text{C}$  dan nilai  $P_2 = 1.89 \text{ MPa}$ , maka didapatkan *properties* sebagai berikut:

$$h_2 = 315.9 \text{ kJ/kg}$$

Untuk mencari nilai  $h_{2s}$  maka dibutuhkan 2 data yaitu:  $P_2 = 1.89 \text{ MPa}$  dan  $s_2 = s_1 = 0.9799 \text{ kJ/kg.K}$  dengan asumsi kompresor bekerja secara isentropis (entropi konstan). Kemudian masukkan 2 data tersebut kedalam *software Refprop* sehingga didapatkan *properties* sebagai berikut:

$$h_{2s} = 302.1 \text{ kJ/kg}$$

- Titik 3 (keluar kondensor)

$$T_3 = 30.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_3 = 1.79 \text{ MPa}$$

Dengan nilai  $T_3 = 30.9 \text{ }^\circ\text{C}$  dan nilai  $P_3 = 1.79 \text{ MPa}$ , maka didapatkan *properties* sebagai berikut:

$$h_3 = 81.63 \text{ kJ/kg}$$

- Titik 4 (keluar evaporator)

$$T_4 = 8.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_4 = 0.65 \text{ MPa}$$

Nilai *properties* pada titik 4 ditentukan dengan mengasumsikan proses 3–4, yaitu penurunan tekanan refrigeran oleh TXV, berlangsung secara isoentalpi sehingga diperoleh:

$$h_4 = h_3 = 81.63 \text{ kJ/kg}$$

### 4.2.3 Laju Aliran Massa Refrigeran

Pada sistem ini laju aliran massa refrigeran diasumsikan *steady state* sehingga pada setiap titik dari keseluruhan sistem besaran laju aliran massa refrigerant sama besarnya. Dari hasil pengukuran pada titik 3 maka akan didapatkan massa jenis dari refrigeran.

$$\dot{m} = 1144.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.025 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{l}}$$

$$\dot{m} = 0,029 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

### 4.2.4 Daya Input Compressor

Daya input kompresor dihitung berdasarkan perkalian besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada saat kompresor bekerja serta dengan mengalikan nilai  $\cos\phi$  sebagai faktor daya seperti persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$\dot{W}_{\text{in}} = VI \cos \phi$$

$$\dot{W}_{\text{in}} = 220 \text{ V} \times 8 \text{ A} \times 0,935$$

$$\dot{W}_{\text{in}} = 1.646 \text{ kW}$$

### 4.2.5 Kerja Kompresor

Untuk menghitung kerja nyata pada kompresor, maka dilakukan dengan cara mengalikan laju aliran massa refrigeran dengan selisih entalpi kompresi aktualnya sesuai persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\dot{W}_{\text{komp}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_1)$$



$$\dot{W}_{\text{komp}} = 0.029 \text{ kg/s} (315.9 \text{ kJ/kg} - 266.3 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{W}_{\text{komp}} = 1.451 \text{ kW}$$

#### 4.2.6 Efisiensi Kompresi Kompresor

Efisiensi isentropis adalah unjuk kerja isentropi kompresor. Untuk mengetahui efisiensi isentropi kompresor dapat menggunakan persamaan 2.7.

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_c}{\dot{W}_{in}}$$

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_c}{\dot{W}_{in}} = \frac{1.451 \text{ kW}}{1.646 \text{ kW}}$$

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_c}{\dot{W}_{in}} = 0.881$$

$$\eta_c \approx 88.1 \%$$

#### 4.2.7 Kapasitas Evaporator

Besarnya panas yang diserap refrigeran pada evaporator dapat diketahui dengan mengalikan laju aliran massa refrigeran dengan selisih entalpi pada evaporator. Besarnya panas yang diserap oleh evaporator ini disebut juga sebagai kapasitas pendinginan dengan perhitungan sesuai persamaan 2.10. sebagai berikut:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q}_e = 0,029 \text{ kg/s} (266.3 \text{ kJ/kg} - 81.63 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{Q}_e = 5.402 \text{ kW}$$

#### 4.2.8 Kapasitas Kondenser

Besarkanya kapasitas kondensor atau besarnya energi panas yang dibuang oleh kondensor dapat dihitung dengan cara mengalikan laju aliran massa refrigeran dengan perubahan entalpi seperti persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_3)$$

$$\dot{Q}_c = 0,029 \text{ kg/s} (315.9 \text{ kJ/kg} - 81.63 \text{ kJ/kg})$$

$$\dot{Q}_c = 6.853 \text{ kW}$$

#### 4.2.9 COP (Coefficient of Performance)

Nilai COP yang dihitung pada penelitian ini adalah nilai COP yang diperoleh dengan membagi antara panas yang diserap oleh refrigeran pada evaporator ( $Q_{\text{evaporator}}$ ) dengan daya input kompresor pada sistem refrigerasi sesuai gambar persamaan 2.12 sebagai berikut:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{W_{\text{in}}}$$

$$\text{COP} = \frac{5.402 \text{ kW}}{1.646 \text{ kW}}$$

$$\text{COP} = 3.28$$

#### 4.2.10 HRR (Heat Rejection Ratio)

Rasio pelepasan kalor atau heat rejection ratio adalah perbandingan antara panas yang dibuang oleh sistem dengan panas yang diserap oleh sistem. Dalam hal ini, panas yang dibuang oleh kondensor dan yang diserap oleh evaporator. Nilai dari *heat rejection ratio* diperoleh dengan membandingkan nilai

kapasitas kondensor dengan nilai kapasitas evaporator sesuai dengan persamaan 2.11.

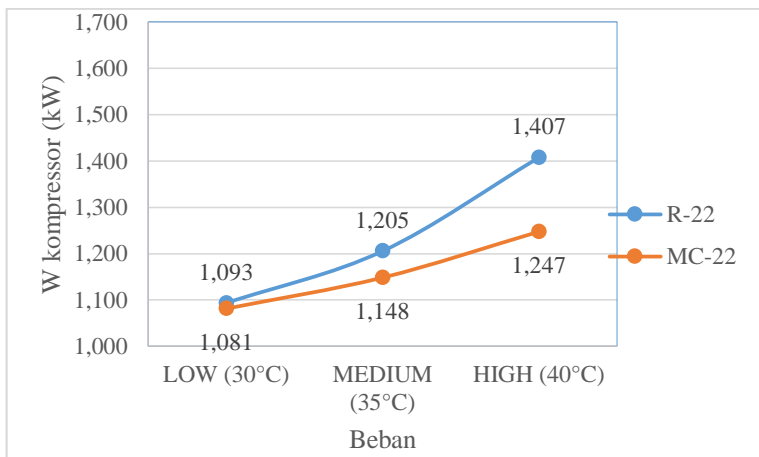
$$HRR = \frac{\dot{Q}_{kondensor}}{\dot{Q}_{evaporator}}$$

$$HRR = \frac{6.853 \text{ kW}}{5.402 \text{ kW}}$$

$$HRR = 1.269$$

### 4.3 Analisa Grafik

#### 4.3.1 Kerja Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator



Gambar 4.1 Grafik Kerja Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator

Pada gambar 4.1 menunjukkan perbandingan grafik kerja pada kompresor antara R-22 dan MC-22 dengan beban low, medium dan high. Hasil dari analisa kerja kompresor terhadap beban terlihat pada R-22 dibutuhkan kerja kompresor lebih besar 1.09% (0.012kW) pada beban low, 16.6% (0.057kW) pada beban medium dan 22.6% (0.160kW) untuk beban high dibandingkan dengan menggunakan MC-22. Tren pada grafik menunjukkan kerja kompresor menggunakan R-22 lebih tinggi dan meningkat yaitu 1.093kW pada beban low, 1.205kW pada beban medium dan 1.407kW pada beban high, dibandingkan dengan menggunakan MC-22 memiliki nilai yang rendah yaitu 1.081kW pada beban low, 1.148kW pada beban medium dan 1.247kW pada beban high. Hal ini disebabkan R-22 memiliki massa jenis (*density*) yang lebih besar dibandingkan dengan MC-22, sehingga mengakibatkan laju aliran massa refrigeran pada sistem meningkat.

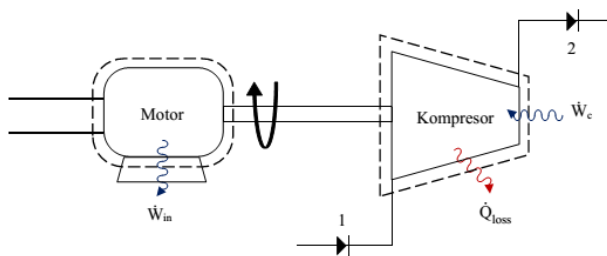
Peningkatan beban evaporator menyebabkan refrigeran mengalami perpindahan panas yang lebih besar sehingga temperature yang dideteksi oleh *sensing bulb* yang memberikan sinyal kepada TXV untuk memperbesar bukaan katup agar jumlah refrigeran masuk evaporator semakin banyak dan tekanan akan mengalami kenaikan. Tekanan evaporator yang semakin tinggi menimbulkan peningkatan pada tekanan *suction*. Tekanan *discharge* akan mengalami peningkatan untuk

mempertahankan *pressure ratio* kompresor. Peningkatan tekanan akan menghasilkan nilai entalpi yang semakin besar sehingga kerja kompresor yang dibutuhkan semaik besar.

Nilai pada tren untuk R-22 masing-masing lebih besar dibandingkan dengan MC-22. selain massa jenis R-22 yang lebih besar, kerja kompresor dengan R-22 juga lebih besar dibandingkan MC-22 yang memiliki massa jenis dan kerja kompresor rendah. Kerja kompresor yang semakin besar akan mengalami penambahan kapasitas kondensasi dan berpengaruh pada kebutuhan konsumsi listrik pada kompresor.

#### 4.3.2 Efisiensi Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator

Efisiensi isentropis kompresor dianalisis dengan menggunakan pendekatan kesetimbangan energi untuk menghitung temperatur bodi kompresor. Perhitungan melibatkan daya motor, kerja kompresor, dan kerugian termal yang dialami kompresor berupa panas yang hilang (*heat loss*). Motor dan kompresor masing-masing dianggap sebagai sebuah volume atur (*control volume*). Temperatur bodi tinggi mengindikasikan *heat loss* yang besar dan kerja yang rendah.



Gambar 4.2 Skema Motor Dan Kompresor.

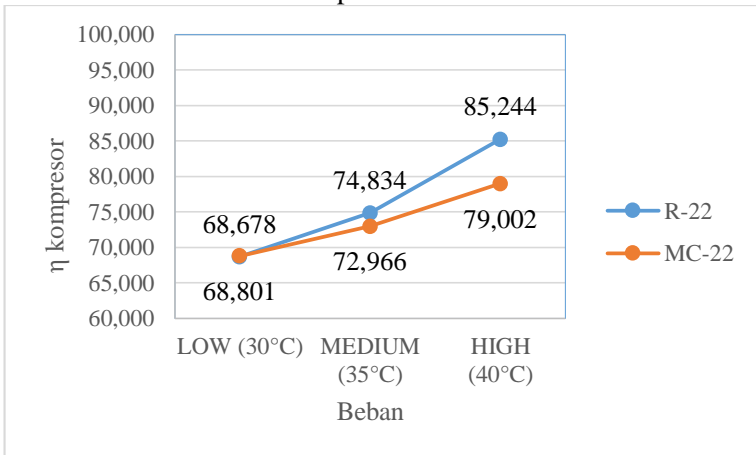
Persamaan kesetimbangan energy untuk sistem pada gambar 4.4 adalah:

$$\dot{W}_{\text{motor}} = \dot{Q}_{\text{loss}} - \dot{W}_{\text{useful}} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\dot{W}_{\text{in}} = \dot{Q}_{\text{loss}} + \dot{W}_c \dots\dots\dots(4.2)$$

$$\dot{Q}_{\text{loss}} = \dot{W}_{\text{in}} - \dot{W}_c \dots\dots\dots(4.3)$$

$\dot{Q}_{\text{loss}}$  yang dialami kompresor dapat berupa  $\dot{Q}_{\text{loss, panas}}$  maupun  $\dot{Q}_{\text{loss, mekanis}}$ .  $\dot{Q}_{\text{loss, panas}}$  adalah panas yang hilang akibat perpindahan panas dari bodi kompresor ke udara sekitar, sedangkan  $\dot{Q}_{\text{loss, mekanis}}$  adalah panas yang hilang akibat gesekan antara komponen mekanis selama proses kompresi berlangsung. Nilai  $\dot{Q}_{\text{loss, panas}}$  dapat dihitung dengan menggunakan perpindahan panas konveksi, sedangkan  $\dot{Q}_{\text{loss, mekanis}}$  sulit dihitung karena dipengaruhi oleh banyak factor yang tidak diketahui, antara lain viskositas pelumas dan energi yang timbul akibat gesekan. Pengukuran temperatur bodi kompresor tidak dilakukan dalam eksperimen ini.

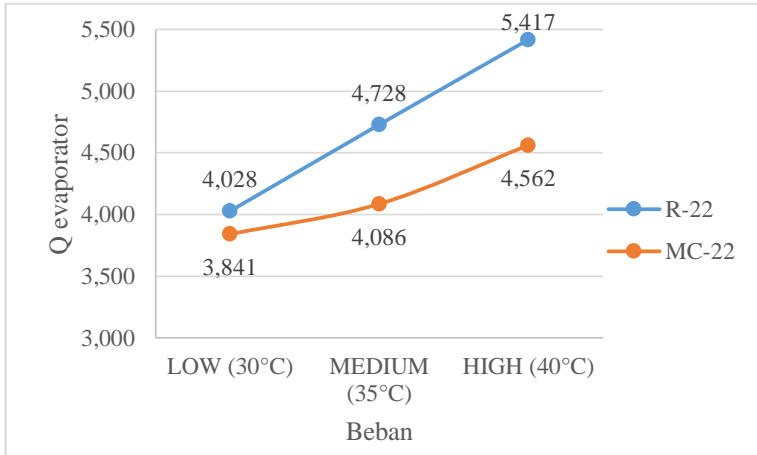


Gambar 4.3 Grafik Efisiensi Kompresor Sebagai Fungsi Beban Evaporator

Pada Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan efisiensi kompresor dengan menggunakan R-22 dan MC-22. Hasil dari analisa grafik terlihat bahwa pada beban low R-22 memiliki efisiensi yang lebih rendah 0.17% dibandingkan dengan menggunakan MC-22. Penambahan beban pada sistem R-22 mengalami peningkatan 8.22% dan pada MC-22 juga mengalami peningkatan 5.7% lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan R-22. Pada beban tertinggi dengan menggunakan R-22 kembali mengalami peningkatan 12.21% dan dengan menggunakan MC-22 mengalami peningkatan sebesar 7.64%.

Peningkatan beban evaporator menyebabkan kompresor perlu bekerja lebih berat untuk menangani kebutuhan refrigerasi yang meningkat. Dengan demikian, peningkatan beban pada evaporator berbanding lurus dengan peningkatan kerja kompresor, baik secara isentropis maupun nyata. Efisiensi kompresor pada R-22 mengalami peningkatan tiap kenaikan beban, hal ini dapat disebabkan kerja kompresor yang semakin besar dengan menggunakan R-22 akan mengalami peningkatan pada efisiensi kompresor dikarenakan kerja actual pada kompresor tidak sebanding dengan kenaikan kerja kompresor ideal mengakibatkan kenaikan efisiensi isentropis kompresor. MC-22 mengalami peningkatan namun memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan R-22 dengan peningkatan beban disebabkan oleh kerja kompresor yang lebih rendah. Penggunaan R-22 lebih besar menyerap kalor pada evaporator dan mengakibatkan kenaikan pada tekanan *suction* dan *discharge* sehingga menyebabkan kerja kompresor meningkat dan terjadi peningkatan efisiensi kompresor. Peningkatan dari tekanan *discharge* mempengaruhi nilai entalpi yang dihasilkan.

### 4.3.3 Kapasitas Evaporator sebagai Fungsi Beban Evaporator



Gambar 4.4 Grafik Kapasitas Evaporator sebagai Fungsi Beban Evaporator.

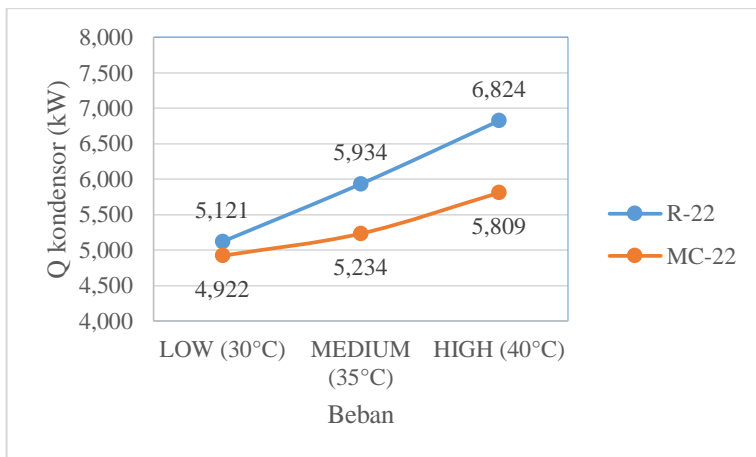
Pada gambar 4.4 menunjukkan perbandingan grafik pada kapasitas evaporator terhadap beban evaporator menggunakan R-22 dan MC-22. Tren grafik R-22 dan MC-22 terjadi peningkatan setiap beban mengalami kenaikan. Peningkatan pada tren R-22 dan MC-22 tidak signifikan dan dapat dikatakan konstan. Pada R-22 memiliki nilai 4.028kW pada beban low, 4.728kW pada beban medium dan 5.417kW pada beban high. MC-22 memiliki nilai 3.841kW pada beban low, 4.086kW pada beban medium dan 4.562kW pada beban high. Tren grafik menggunakan R-22 rata-rata lebih besar dibandingkan dengan menggunakan MC-22.

Kapasitas evaporator merupakan kemampuan evaporator untuk memberikan efek refrigerasi terhadap refrigeran. Efek refrigerasi adalah kemampuan evaporator menyerap kalor dari beban dalam percobaan ini yaitu air untuk menguapkan



refrigerant di dalam evaporator, semakin besar beban evaporator, semakin banyak jumlah kalor yang digunakan untuk menguapkan refrigerant sehingga laju perpindahan panas yang terjadi semakin besar. Besarnya kapasitas evaporator dapat membawa kalor lebih besar oleh refrigeran. Tinggi rendahnya kapasitas refrigerasi dipengaruhi oleh kemampuan evaporator dalam menyerap kalor dari lingkungannya. Laju aliran refrigeran dapat berpengaruh pada kapasitas evaporator, semakin besar laju aliran refrigeran maka semakin besar kapasitas evaporator. Hal ini disebabkan oleh perbedaan densitas dari R-22 dan MC-22. Besarnya kapasitas evaporator dapat meningkatkan kerja pada kompresor.

#### 4.3.4 Kapasitas Kondenser Sebagai Fungsi Beban Evaporator



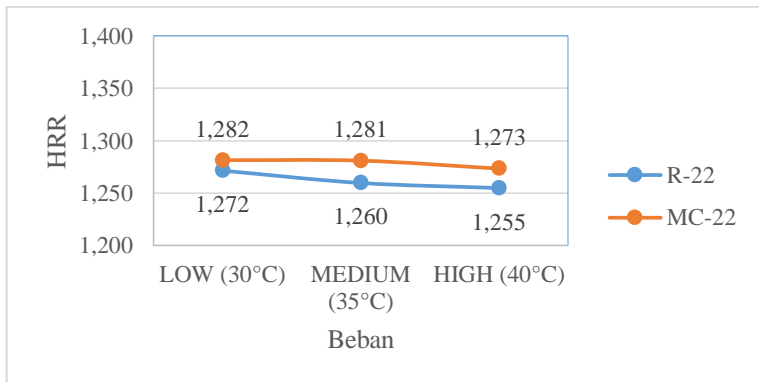
Gambar 4.5 Grafik Kapasitas Kondenser Terhadap Beban Evaporator.

Pada gambar 4.5 menunjukkan perbandingan kapasitas kondenser menggunakan R-22 dan MC-22. Tren grafik pada R-22 mengalami peningkatan tiap kenaikan beban, dimana nilai pada beban low 5.121kW meningkat menjadi 5.934kW pada

beban medium dan 6.824kW pada beban high. Dengan refrigeran MC-22 mengalami peningkatan yang tidak signifikan dari beban low yaitu 4.922kW menjadi 5.234kW pada beban medium dan mengalami penurunan pada beban high menjadi 5.809kW. Nilai kapasitas kondenser pada R-22 lebih besar daripada MC-22. Hal ini disebabkan pembuangan kalor pada R-22 lebih besar dibandingkan dengan MC-22. Kapasitas kondenser menggunakan R-22 lebih besar 3.8% pada beban low, 14.2% pada beban medium dan 17.35% pada beban high dibandingkan dengan menggunakan MC-22.

Panas yang diserap oleh refrigeran pada evaporator dan daya yang diberikan ke kompresor menyebabkan besarnya kalor yang dikeluarkan oleh refrigeran melalui kondenser sebanding nilai kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator ditambah dengan kerja yang diberikan ke kompresor. Tren grafik R-22 dan MC-22 dapat dikatakan sama dengan kapasitas evaporator, R-22 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan MC-22. Hal ini menandakan R-22 lebih besar mengeluarkan kalor pada kondenser dibanding dengan MC-22.

#### 4.3.5 *HRR (Heat Rate Rejection)* Sebagai Fungsi Beban Evaporator

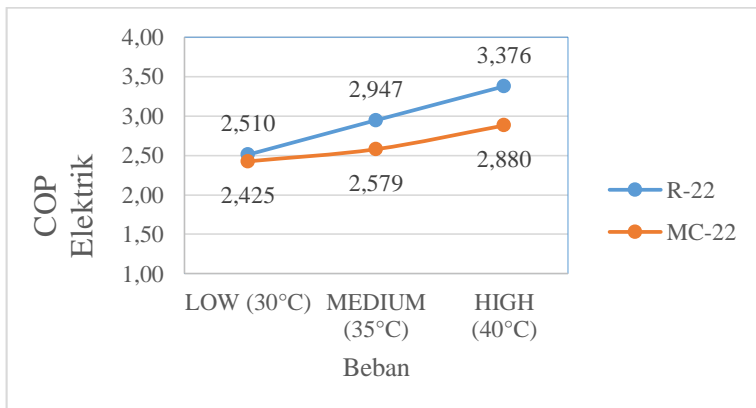


Gambar 4.6 Grafik *HRR* Terhadap Beban Evaporator

Berdasarkan grafik *HRR* yang ditunjukkan pada gambar 4.6, *HRR* pada beban low menggunakan MC-22 lebih besar 0.8% dibandingkan dengan menggunakan R-22. Penurunan terjadi pada tren MC-22 dari beban low turun 0.8% menjadi 1.281 pada beban medium dan kembali mengalami penurunan pada beban high menjadi 1.273. sedangkan dengan menggunakan R-22 nilai *HRR* mengalami penurunan dari beban low 0.7% menjadi 1.260 pada beban medium dan mengalami penurunan pada beban high 0.5% menjadi 1.255.

*HRR* merupakan rasio kapasitas kondenser terhadap kapasitas evaporator. Perubahan kapasitas kondenser secara tidak langsung dipengaruhi oleh peningkatan beban evaporator dengan timbulnya kenaikan kerja kompresor. Semakin besar kerja yang diberikan kompresor terhadap refrigeran, semakin besar energy yang dimiliki refrigeran untuk melakukan kondensasi. Dengan kata lain, banyak panas buang yang dihasilkan sehingga kapasitas kondenser naik. Peningkatan beban evaporator juga menyebabkan kenaikan kapasitas evaporator.

#### 4.3.6 *COP* Elektrik Sebagai Fungsi beban Evaporator



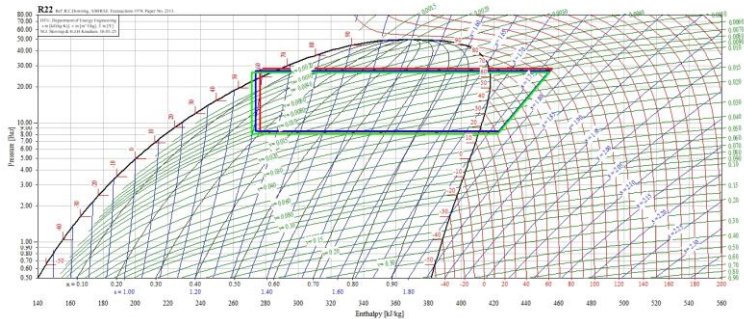
Gambar 4.7 Grafik  $COP_{\text{elektrik}}$  Terhadap Beban Evaporator.

Pada gambar 4.7 menunjukkan perbandingan grafik  $COP_{\text{elektrik}}$  pada sistem *water chiller* menggunakan refrigeran R-22 dan MC-22. Tren pada grafik mengalami peningkatan dengan menggunakan R-22 dan MC-22. Pada beban low menggunakan R-22 lebih besar 3% dibandingkan dengan menggunakan MC-22. Seiring dengan bertambahnya beban, nilai  $COP_{\text{elektrik}}$  menggunakan R-22 mengalami peningkatan cukup signifikan yaitu 14.8% dan lebih besar 12.5% dibandingkan dengan menggunakan MC-22. Pada beban high dengan menggunakan R-22 mengalami kenaikan 12.7% dari beban medium dan lebih besar 14.7% dibandingkan dengan menggunakan MC-22.  $COP_{\text{elektrik}}$  merupakan hasil dari perbandingan besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran dengan daya listrik yang dibutuhkan oleh kompresor.

Daya listrik kompresor akan meningkat jika kalor yang didistribusikan oleh refrigeran semakin besar. Hal ini disebabkan kerja kompresor yang semakin berat sehingga arus yang dibutuhkan oleh kompresor juga semakin besar. Kalor yang diserap oleh refrigeran R-22 lebih besar dibandingkan dengan menggunakan MC-22, hal ini menyebabkan arus listrik yang dibutuhkan oleh refrigeran R-22 lebih besar dibandingkan dengan menggunakan MC-22. dengan menggunakan MC-22 arus yang dibutuhkan kompresor lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan R-22, hal ini dikarenakan densitas dari MC-22 lebih rendah dibandingkan R-22 sehingga kerja dari kompresor dapat dikatakan lebih ringan menggunakan MC-22 dibandingkan menggunakan R-22.

## 4.4 Analisa P-h Diagram

### 4.4.1 P-h Diagram R-22



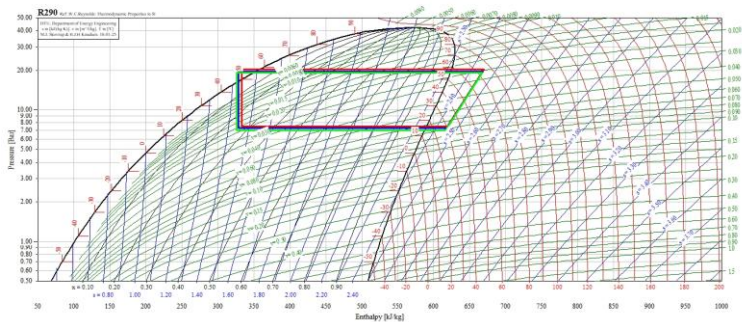
Gambar 4.8 Perbandingan P-h Diagram R-22 Beban *Low*, *Medium*, dan *High*.

Pada gambar 4.8 didapatkan gambar berbandingan dengan mengplotkan data-data yang telah didapatkan pada hasil uji eksperimen. Gambarr 4.8 merupakan perbandingan antara beban low, medium dan high dengan menggunakan R-22. Plot untuk beban low ditunjukkan oleh garis kurva berwarna hijau, medium dengan garis kurva berwarna biru dan high dengan garis kurva berwarna merah. Kurva hijau menampilkan garis tekanan evaporasi dan tekanan *suction* yang lebih rendah dibandingkan dengan dua kurva lainnya, namun garis pada garis tekanan *discharge* dan tekanan kondensasi ketiga variasi terlihat berhimpitan. Kurva merah terlihat memiliki tekanan *discharge* dan tekanan kondensasi yang sedikit lebih besar.

Pada kurva dapat dilihat dengan adanya penambahan beban pada sistem kerja kompresor terjadi peningkatan, yang berarti tekanan dan temperatur kerja pada sisi *discharge* lebih tinggi dari sebelumnya. Penambahan beban berdampak pada proses kondensasi pada sistem dapat dilihat pada kurva garis proses kondensasi lebih kearah *subcooled*. Dengan efek *subcooled* maka akan menurunkan temperatur lebih rendah dari

sebelumnya. Penurunan tekanan *suction* menyebabkan peningkatan kerja kompresi yang dibutuhkan semakin besar. Hal ini sesuai dengan garis kompresi kurva hijau yang lebih panjang. Disamping kerja kompresi, hal ini berdampak pada garis ekspansi yang lebih panjang sehingga tekanan evaporasi lebih rendah. Penurunan tekanan evaporasi mengindikasikan penurunan temperature evaporasi sehingga kapasitas evaporasi yang dihasilkan semakin besar.

#### 4.4.2 P-h Diagram MC-22



Gambar 4.9 Perbandingan P-h Diagram MC-22 Beban *Low*, *Medium*, dan *High*.

Pada gambar 4.9 didapatkan gambar perbandingan beban low, medium dan high pada sistem menggunakan MC-22 yang ditunjukkan oleh garis kurva berwarna hijau untuk beban low, warna biru untuk beban medium, dan warna merah untuk beban high.

Pada kurva dapat dilihat adanya penambahan beban evaporator garis kerja kompresor semakin meningkat, yang berarti kerja kompresor lebih berat dari sebelumnya. Laju aliran refrigerant MC-22 yang lebih rendah dibanding R-22 mengakibatkan kapasitas evaporator tidak berubah begitu signifikan tiap kenaikan beban. kerja kompresor pada MC-22 tidak mengalami perubahan signifikan dikarenakan laju aliran

massa refrigeran MC-22 yang lebih rendah dibanding R-22. Kurva warna hijau yaitu pada beban low memiliki tekanan evaporasi dan tekanan *suction* lebih rendah dibanding yang lainnya. Hal ini mengindikasikan kerja kompresi yang lebih berat sehingga terjadi penurunan pada tekanan *discharge* dan tekanan kondensasi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan.*



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan pada penulisan tugas akhir “Studi Eksperimen Perbandingan Performasi Refrigeran-22 dan *Musicool-22* Pada Sistem *Water Chiller*” yaitu sebagai berikut:

1. Kemampuan kapasitas evaporasi sistem yang dapat dicapai dengan menggunakan R-22 pada beban low yaitu 4.028kW lebih besar dibandingkan dengan menggunakan MC-22 yaitu 3.841kW, pada beban medium dengan menggunakan R-22 lebih besar yaitu 4.728kW lebih besar dibandingkan dengan menggunakan MC-22 yaitu 4.086kW, pada beban high R-22 lebih besar yaitu 5.417kW dibandingkan dengan menggunakan MC-22 yaitu 4.562kW.
2. Daya yang dibutuhkan kompresor pada sistem dengan beban low yang menggunakan refrigeran MC-22 yaitu 1.081kW lebih rendah dibandingkan menggunakan R-22 yaitu 1.093kW, pada beban medium dengan menggunakan MC-22 yaitu 1.148kW lebih rendah dibandingkan menggunakan R-22 yaitu 1.205kW, dan pada beban high dengan menggunakan MC-22 yaitu 1.274kW lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan R-22 yaitu 1.407kW.
3. *Coefficient of Performance* sistem yang menggunakan R-22 pada beban low lebih besar yaitu 2.510 dibandingkan dengan menggunakan MC-22 yaitu 2.425, pada beban medium R-22 lebih besar yaitu 2.947 dibandingkan menggunakan MC-22 yaitu 2.579 dan pada beban high menggunakan R-22 yaitu 3.376 lebih besar dibandingkan menggunakan MC-22 yaitu 2.880.

4. Dari pembahasan tersebut dapat diperoleh kesimpulan, yaitu sistem yang menggunakan MC-22 adalah yang mampu menghemat energi paling baik. Meskipun sistem yang menggunakan refrigeran R-22 memiliki kinerja sistem yang lebih besar akan tetapi dapat dikatakan tidak hemat energi dan tidak ramah lingkungan berdasarkan dari studi eksperimen dan analisa yang telah dilakukan.

## 5.2 Saran

Dalam melakukan tugas akhir yang sama dengan sistem *water chiller* ini ada beberapa saran lebih lanjut yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. dapat pula dilakukan penambahan beban yang sesuai dengan kapasitas sistem *water chiller* dengan variasi beban.
2. dapat pula dilakukan dilakukan variasi alat ekspansi lainnya yang akan dianalisa lebih dengan perbandingan alat ekspansi sebelumnya yaitu TXV.
3. Dapat pula dilakukan variasi laju aliran massa refrigeran pada sistem sehingga diperoleh performansi yang maksimal yang dapat digunakan pada sistem untuk menghemat konsumsi energi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. 2006. *“Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 8th”*. US: John & Wiley Inc.
2. Stoecker, Wilbert F. Jones, Jerold W. 1987. *“Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Edition”*. Jakarta: Erlangga.
3. Wang, S. K., 2001. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2 ed. New York: McGraw-Hill.
4. Nasruddin, and Hamdi, E., 2003, “Natural Refrigerant in Indonesia: Chalange and Opportunity”, presented in ISSM Delft, The Netherlands
5. Winarno, Sahid. 2010, “Analisa Efektifitas Kerja Freon R-22 Dengan Hidrokarcon Musicool-22 Dan Pengaruhnya Pada Viskositas Pelumas Kompresor” Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia.
6. Firdaus Aneka, 2010, “Analisa Pengaruh Penggunaan Refrigeran Hidrokarbon Musicool-22 Pengganti Freon-22 Terhadap Kinerja Alat Air Conditioning”, Seminar Tahunan Teknik Mesin, ISBN, Sriwijaya University, Palembang-Indonesia.
7. Aisbett, E. K., Pham, Q. T., 1988 “Natural Replacement for Qzone-Depleting Refrigerants in Eastern and Southern Asia”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 21, No.1, pp. 18-28.
8. Arora, C.P., 1983. *Refrigeration and Air Conditioning*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
9. Wang, S. K.,2001. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2 ed.. New York: MCGraw-Hill.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

### A. Data R-22

Time	CHECK POINT 1		CHECK POINT 2		CHECK POINT 3		CHECK POINT 4		m ref AVG (l/s)	V	I	WATER		AV <sub>water</sub>
	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)				Tin (°C)	Tout (°C)	AVG (LPM)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	66	26	260	103.2	245	30.9	80	8.6	0.025	220	8	39	23	6
10	66	25	260	102.1	245	31.1	80	9	0.025	220	8	39	23	6
15	68	26.4	265	102.7	245	31.4	80	9	0.025	220	8.1	39	22	6
20	68	26.1	265	103.4	245	31.4	80	8.9	0.025	220	8.1	38	22	6
25	68	25.9	265	103.8	245	31.2	80	8.8	0.025	220	8.1	38	22	6
30	66	25	260	104	245	31.3	80	8.6	0.025	220	8	38	22	6
35	66	25	265	103	245	31.3	82	8.5	0.025	220	8.1	38	22	6
40	66	26.1	265	103.4	250	31.2	82	8.7	0.025	220	8.1	38	22	6
45	66	26.1	260	103.5	245	31.2	80	8.7	0.025	220	8	38	22	6
50	66	26.1	265	103.6	250	31.2	82	8.6	0.025	220	8	38	22	6
55	66	25.7	260	103.8	250	31.3	82	8.6	0.025	220	7.9	38	22	6
60	70	25.7	265	103.9	250	31.3	82	8.8	0.025	220	7.9	38	22	6

Time	h1	s1	h2	h2s	h3	h4 (kJ/kg) h4 = h3	v ref	v water	Cp	m water
	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg		m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg K	AVG (m <sup>3</sup> /s)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	266.3	0.9799	315.9	302	81.63	81.63	0.0008546	0.001005	4.18	0.0001
10	266.4	0.9801	314.8	302.4	81.63	81.63	0.0008552	0.001004	4.18	0.0001
15	266.3	0.9773	315.9	301.3	81.89	81.89	0.0008561	0.001004	4.18	0.0001
20	266.3	0.9773	315.9	301.3	81.89	81.89	0.0008561	0.001004	4.18	0.0001
25	267.4	0.976	314.3	300.9	81.63	81.63	0.0008555	0.001004	4.18	0.0001
30	266.9	0.9726	314.8	299.7	81.51	81.51	0.0008558	0.001004	4.18	0.0001
35	266.9	0.9726	313.6	299.7	81.51	81.51	0.0008558	0.001004	4.18	0.0001
40	266.3	0.9795	313.9	302.2	80.87	80.87	0.0008555	0.001004	4.18	0.0001
45	266.3	0.9795	314.4	301.2	81.21	81.21	0.0008555	0.001004	4.18	0.0001
50	267	0.9795	314.1	302.2	81.21	81.21	0.0008555	0.001004	4.18	0.0001
55	266.3	0.9785	314.6	301.8	79.74	79.74	0.0008558	0.001004	4.18	0.0001
60	266.3	0.9728	314.4	299.8	79.21	79.21	0.0008558	0.001004	4.18	0.0001
Mean	266.558	0.977	314.717	301.208	81.161	81.161	0.0008556	0.001	4.18	0.0001

Time	CHECK POINT 1		CHECK POINT 2		CHECK POINT 3		CHECK POINT 4		m <sub>ref</sub>	V	I	WATER		AV <sub>water</sub>
	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	AVG (l/s)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	AVG (l/s)			Tin (°C)	Tout (°C)	AVG (LPM)
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	60	22	250	101.7	235	30.3	70	7.4	0.022	220	7.8	35	22	6
10	60	22	250	97.8	235	30.3	70	7.4	0.022	220	7.8	34	22	6
15	60	23.3	250	99.7	235	30.5	70	7.3	0.022	220	7.8	33	21	6
20	60	23.1	250	97.2	235	30.5	70	7.1	0.022	220	7.8	33	21	6
25	62	22.9	255	97.2	240	30.3	72	7	0.022	220	7.9	33	20	6
30	62	22.7	255	102.8	245	30.2	72	6.8	0.022	220	7.9	33	20	6
35	64	22.6	255	103.1	245	30.2	74	9.5	0.022	220	7.9	32	19	6
40	64	24.1	250	102.7	245	29.7	74	16.2	0.022	220	7.8	32	19	6
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	18	6
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	19	6
55	60	26.3	250	102.8	235	28.8	70	20.8	0.022	220	7.8	33	20	6
60	60	27	250	101.9	235	28.4	70	21.9	0.022	220	7.8	34	20	6

MEDIUM (35°C) R-22

Time	h1	s1	h2	h2s	h3	h4	v ref	v water	Cp	m water
	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	(kJ/kg) h4 = h3	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg K	AVG (m <sup>3</sup> /s)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	265	0.9834	312.7	302.5	82.4	82.4	0.000853	0.001	4.179	0.0001
10	265	0.982	311.8	320	82.66	82.66	0.000853	0.001	4.179	0.0001
15	266.4	0.9817	312.2	301.9	83.04	83.04	0.000853	0.001	4.179	0.0001
20	266.3	0.9813	311.4	301.8	83.04	83.04	0.000853	0.001	4.179	0.0001
25	265.9	0.9778	311.4	301	82.79	82.79	0.000853	0.001	4.179	0.0001
30	265.8	0.9773	313.4	300.9	82.92	82.92	0.000853	0.001	4.179	0.0001
35	265.4	0.974	313.3	299.7	82.92	82.92	0.000853	0.001	4.179	0.0001
40	266.5	0.9777	313.3	300.5	82.79	82.79	0.000851	0.001	4.179	0.0001
45	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
50	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
55	266.3	0.989	313.4	304.6	82.92	82.92	0.000848	0.001	4.179	0.0001
60	266.3	0.9907	312.6	305.2	82.92	82.92	0.000847	0.001	4.179	0.0001
Mean	265.89	0.98149	312.55	303.81	82.84	82.840	0.000852	0.001	4.17900	0.0001

Time	CHECK POINT 1		CHECK POINT 2		CHECK POINT 3		CHECK POINT 4		m <sub>ref</sub> AVG (l/s)	V	I	WATER		AV <sub>water</sub> AVG (LPM)
	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)				T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	62	25.6	295	97.8	285	32.5	72	8.4	0.019	220	7.8	30	22	6
10	62	24.6	295	94.6	285	32.7	72	7	0.019	220	7.8	30	21	6
15	62	24.1	295	94.4	285	33.2	72	7.4	0.019	220	7.7	29	21	6
20	62	23.6	295	93.8	285	33.2	72	7.3	0.019	220	7.7	29	20	6
25	62	22.9	295	93.3	285	32.5	72	7.1	0.019	220	7.7	29	19	6
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	20	6

LOW (30°C) R-22

Time	h1	s1	h2	h2s	h3	h4 (kJ/kg) h4 = h3	v ref	v water	Cp	m water
	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg		m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg K	AVG (m <sup>3</sup> /s)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	267.9	0.9844	315.6	307.6	84.46	84.46	0.000864	0.001	4.179	0.0001
10	267.1	0.9825	315.7	306.7	84.78	84.78	0.000859	0.001	4.179	0.0001
15	266.8	0.9808	315.6	306.3	85.65	85.65	0.000858	0.001	4.179	0.0001
20	266.4	0.9795	316.5	305.8	85.65	85.65	0.000857	0.001	4.179	0.0001
25	265.9	0.9778	317.5	305.1	84.46	84.46	0.000856	0.001	4.179	0.0001
30	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
35	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
40	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
45	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
50	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
55	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
60	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
Mean	266.820	0.981	316.180	306.30	85.000	85.000	0.00086	0.001	4.17900	0.0001

## B. Data MC-22

Time	CHECK POINT 1		CHECK POINT 2		CHECK POINT 3		CHECK POINT 4		m <sub>ref</sub> AVG (l/s)	V	I	WATER		AV water AVG (LPM)
	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)				T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	62	23.1	240	80.1	230	22.9	62	2	0.023	220	7.6	40	24	6
10	62	24.4	240	80.5	230	22.7	62	2.1	0.023	220	7.6	40	24	6
15	62	27.8	240	81.3	230	22.9	62	2.6	0.023	220	7.6	39	23	6
20	64	29	245	81.8	235	23	64	3.2	0.023	220	7.7	39	23	6
25	64	28.7	245	82.3	235	23.2	64	3.3	0.023	220	7.7	39	22	6
30	64	28.1	245	82.8	235	23.2	64	3.2	0.023	220	7.7	39	22	6
35	64	27.7	245	82.8	235	23.2	64	3.1	0.023	220	7.7	39	22	6
40	64	27.5	245	82.9	235	23.2	64	3	0.023	220	7.7	38	22	6
45	64	27.3	245	82.8	235	23.2	64	3	0.023	220	7.7	38	22	6
50	64	27.3	245	82.9	235	23.2	64	3	0.023	220	7.7	38	21	6
55	64	27.3	245	82.8	235	23.2	64	2.9	0.023	220	7.7	38	21	6
60	64	27.3	245	82.8	235	23.2	64	2.9	0.023	220	7.7	38	21	6

Time	h1	s1	h2	h2s	h3	h4	v ref	v water	Cp	m water
	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	(kJ/kg) h4 = h3	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg K	AVG (m <sup>3</sup> /s)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	516.7	1.797	614.96	585.5	136.02	136.02	0.002077	0.001005	4.18	0.0001
10	519.1	1.805	615.8	585.2	136.59	136.59	0.002075	0.001004	4.18	0.0001
15	515.2	1.826	617.7	585.6	136.02	136.02	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
20	517	1.828	617.8	585.5	136.75	136.75	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
25	516.5	1.826	618.9	586.8	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
30	515.4	1.823	620	586.5	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
35	514.7	1.82	620	586.7	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
40	511.8	1.811	620.3	586.5	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
45	514	1.818	620	585.8	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
50	514	1.818	620.3	585.9	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
55	514	1.818	620	585.3	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
60	514	1.818	620	585	136.18	136.18	0.002077	0.001004	4.18	0.0001
Mean	515.20	1.82	618.81	585.86	136.24	136.24	0.00208	0.001004	4.18	0.0001



Time	CHECK POINT 1		CHECK POINT 2		CHECK POINT 3		CHECK POINT 4		m ref	V	I	WATER		AV water
	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	AVG (l/s)			Tin (°C)	Tout (°C)	AVG (LPM)
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	52	28.2	240	91.7	230	22	60	3	0.023	220	7.6	35	22	6
10	52	28.1	240	93.2	230	22	60	3	0.023	220	7.6	35	22	6
15	54	28.3	245	93.2	235	22	64	3	0.023	220	7.6	35	22	6
20	54	28.8	245	93.3	235	22.9	64	3.1	0.023	220	7.6	34	21	6
25	54	29.2	245	93.4	235	22	64	3.2	0.023	220	7.7	34	21	6
30	54	29.4	245	93.5	235	22.9	64	3.1	0.023	220	7.7	34	21	6
35	54	29.2	245	93.7	235	22.2	64	3.2	0.023	220	7.7	34	19	6
40	54	28.6	245	93.8	235	22.4	64	3.2	0.023	220	7.7	33	19	6
45	54	28.3	245	93.7	235	22.3	64	3.2	0.023	220	7.7	33	19	6
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	18	6
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	19	6
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	19	6

Time	h1	s1	h2	h2s	h3	h4	v ref	v water	Cp	m water
	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	(kJ/kg) h4 = h3	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg K	AVG (m <sup>3</sup> /s)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	516.9	1.828	618.4	588.5	148.74	148.74	0.002077	0.001	4.179	0.0001
3	516.7	1.828	621.8	588.5	148.74	148.74	0.002077	0.001	4.179	0.0001
4	516.7	1.872	621	587.4	148.75	148.75	0.002077	0.001	4.179	0.0001
5	517.6	1.875	621.2	588.4	149.03	149.03	0.002077	0.001	4.179	0.0001
6	518.3	1.878	621.4	589.5	148.75	148.75	0.002077	0.001	4.179	0.0001
7	518.7	1.879	621.7	589.9	149.03	149.03	0.002077	0.001	4.179	0.0001
8	518.3	1.878	622.1	589.5	148.18	148.18	0.002077	0.001	4.179	0.0001
9	517.2	1.874	622.3	588.1	147.62	147.62	0.002077	0.001	4.179	0.0001
10	516.7	1.872	622.1	587.4	147.9	147.9	0.002077	0.001	4.179	0.0001
11	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
12	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
13	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
Mean	517.46	1.86	621.33	588.58	148.53	148.53	0.00208	0.001	4.179	0.0001

Time	CHECK POINT 1		CHECK POINT 2		CHECK POINT 3		CHECK POINT 4		m <sub>ref</sub> AVG (l/s)	V	I	WATER		AV water AVG (LPM)
	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)	P(Psig)	T (°C)				Tin (°C)	Tout (°C)	
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	52	23.7	240	90.5	230	19.5	60	2	0.023	220	7.6	30	22	6
10	52	24.4	240	91.3	230	19.6	60	1.8	0.023	220	7.6	30	21	6
15	52	24.8	240	91.3	230	19.5	60	1.9	0.023	220	7.6	29	20	6
20	54	25.3	245	91.4	235	19.7	64	2.6	0.023	220	7.7	29	20	6
25	54	25.2	245	91.3	235	19.3	64	2	0.023	220	7.7	29	19	6
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	18	6
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	18	6
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	18	6
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	18	6
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	19	6
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	20	6

LOW (30°C) MC-22

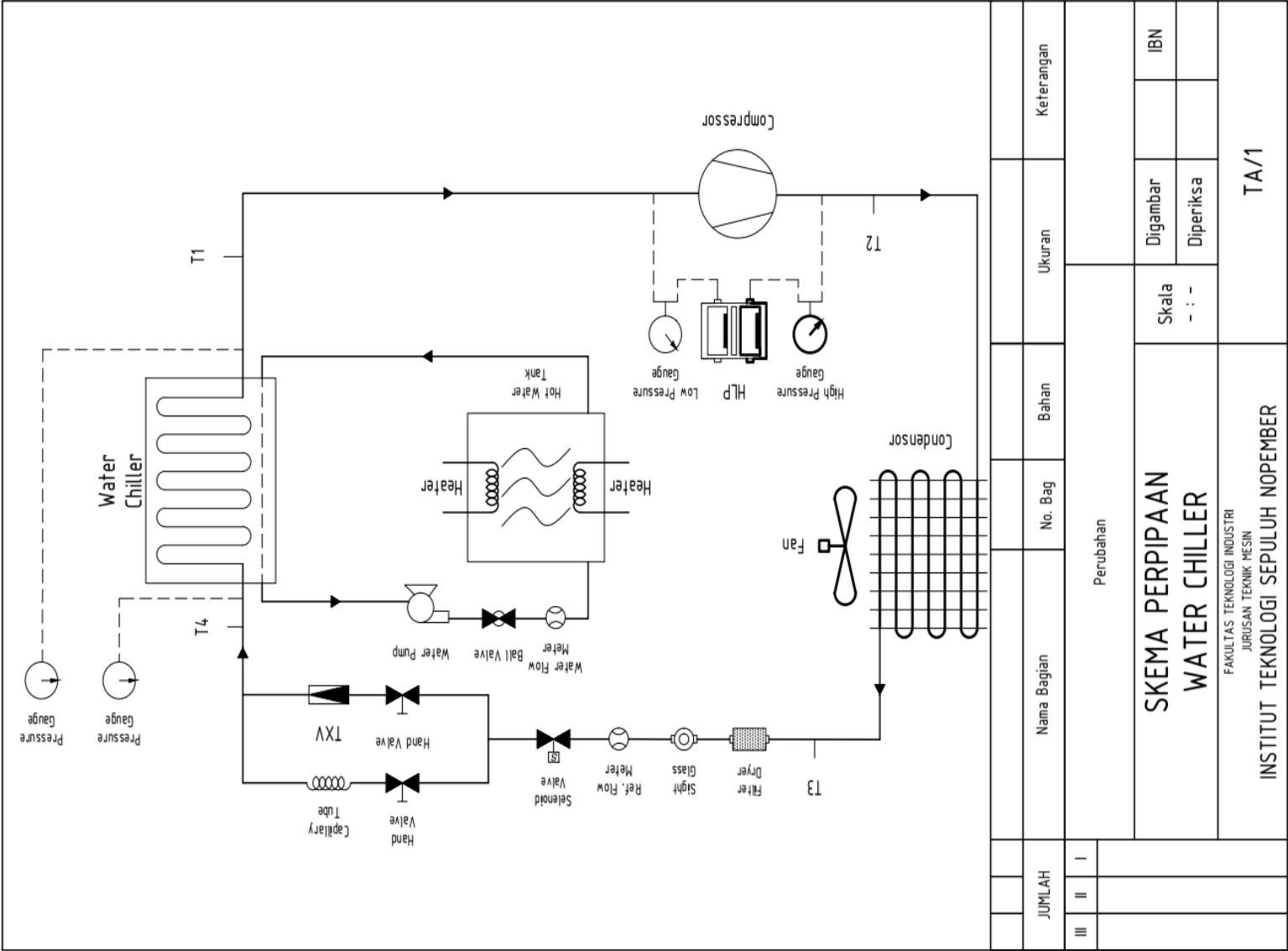
Time	h1	s1	h2	h2s	h3	h4	v ref	v water	Cp	m water
	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	(kJ/kg) h4 = h3	m3/kg	m3/kg	kJ/kg K	AVG (m <sup>3</sup> /s)
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	487.8	2.081	585.8	558.8	143.15	143.15	0.002074	0.001	4.179	0.0001
10	489.1	2.085	587.7	558.9	142.87	142.87	0.002074	0.001	4.179	0.0001
15	489.8	2.088	587.7	559.2	143.15	143.15	0.002074	0.001	4.179	0.0001
20	490.3	2.086	586.9	559.7	142.59	142.59	0.002074	0.001	4.179	0.0001
25	490.2	2.085	586.6	559.4	143.72	143.72	0.002074	0.001	4.179	0.0001
30	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
35	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
40	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
45	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
50	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
55	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
60	-	-	-	-	-	-	-	0.001	4.179	0.0001
Mean	489.44	2.085	586.94	559.20	143.10	143.10	0.00207	0.001	4.179	0.0001

### C. Data Hasil

R-22										
Beban Evaporator	Qe	Qc	Win	Wcomp	Wcomp,s	Eff. Comp.	Eff. C <sub>s</sub>	HRR	COP	Qwater
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(%)	(%)			(kW)
Low (30°C)	4.028	5.121	1.592	1.093	0.875	68.678	54.929	1.272	2.51	4.179
Medium (35°C)	4.728	5.934	1.611	1.205	0.980	74.834	60.817	1.292	2.94	5.398
High (40°C)	5.417	6.824	1.651	1.407	1.012	85.244	61.333	1.298	3.37	6.695

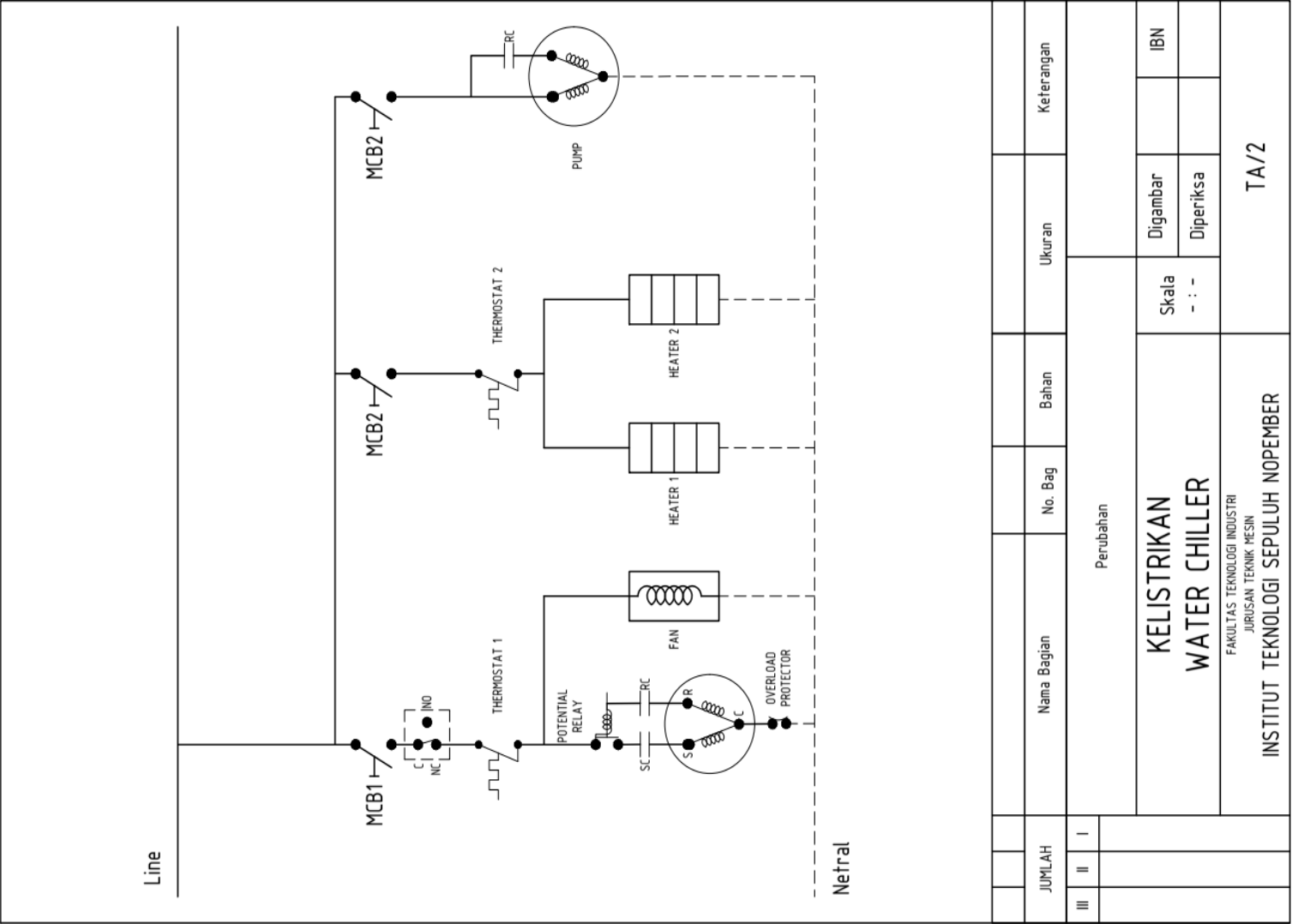
MC-22										
Beban Evaporator	Qe	Qc	Win	Wcomp	Wcomp,s	Eff. Comp.	Eff. C <sub>s</sub>	HRR	COP	Qwater
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(%)	(%)			(kW)
Low (30°C)	3.841	4.922	1.572	1.081	0.774	68.801	49.226	1.282	2.42	4.179
Medium (35°C)	4.086	5.234	1.574	1.148	0.788	72.966	50.087	1.281	2.58	5.398
High (40°C)	4.562	5.809	1.579	1.247	0.851	79.002	53.875	1.273	2.88	6.695

# LAMPIRAN B



JUMLAH	Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan				
I	<b>SKEMA PERPIPAAN WATER CHILLER</b> FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER								
II						Perubahan		Skala	Digambar
III								--	Diperiksa
TA/1									

# LAMPIRAN C



JUMLAH		Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan			
III						Perubahan			
II		<b>KELISTRIKAN WATER CHILLER</b> <small>FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN</small>				Skala	Digambar	IBN	
I						- : -	Diperiksa		
		<b>INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</b>				<b>TA/2</b>			



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Cilacap, 11 Desember 1992 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Tedie Purwanto dan Veydiane Tarima. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN IX Cilegon pada tahun 1999-2005, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Mardi Yuana Cilegon 2005-2008, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 2 Krakatau Steel Cilegon 2008-2011. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang D-3 Jurusan Teknik Mesin di Universitas Diponegoro Semarang pada tahun 2012-2013.

Semasa kuliah penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) sebagai ketua Departemen Riset dan Teknologi periode 2013-2014 serta aktif dalam Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik Universitas Diponegoro sebagai Divisi Riset dan Teknologi periode 2012-2013. Penulis mengikuti kerja praktik di PT.Pertamina *Refinery Unit VI* Balongan Indramayu sebagai *Maintenance Engineer* pada bulan April – Mei 2013.

Penulis melanjutkan pendidikannya ke jenjang S-1 Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui program Lintas Jalur. Penulis mengambil bidang studi Termodinamika Terapan dan Perpindahan Panas dengan tugas akhir performansi dari sistem *water chiller*. Penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang bersifat membangun, baik untuk tugas akhir ataupun hal – hal lainnya. Untuk keperluan diskusi, penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [andipambudi@rocketmail.com](mailto:andipambudi@rocketmail.com).