

TUGAS AKHIR

ANALISIS RUANG PENDINGIN COLD STORAGE MINIMALIS TERHADAP TEMPERATUR RUANG PENDINGIN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD HUSEIN LUBIS
1707230038



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Husein Lubis
NPM : 1707230038
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : ANALISIS RUANG PENDINGIN COLD STORAGE
MINIMALIS TERHADAP TEMPERATUR RUANG
PENDINGIN
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Mei 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



H. Muharnif M, S.T., M., Sc

Dosen Penguji III



Riandini Wanty Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Husein Lubis
Tempat /Tanggal Lahir : Hutarimbaru, 18 Agustus 1997
NPM : 1707230038
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Ruang Pendingin Cold Storage Minimalis Terhadap Temperatur Ruang Pendingin”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Mei 2022

Saya yang menyatakan,



Muhammad Husein Lubis

ABSTRAK

Cold Storage adalah ruang penyimpanan produk dengan tujuan produk yang disimpan akan bertahan lebih lama. Temperatur produk harus sesuai dengan temperatur *cold storage*. *Cold storage* merupakan sebuah mekanisme berupa siklus yang mengambil energi dari daerah bertemperatur rendah dan dibuang ke daerah bertemperatur tinggi sehingga beban pendinginan sangat berpengaruh terhadap prestasi mesin pendingin. Semakin besar beban pendinginan yang diinginkan maka akan diperlukan daya mesin pendingin yang lebih besar. Begitu juga sebaliknya semakin kecil beban pendinginan maka lebih kecil daya mesin pendingin yang diperlukan. Penelitian sebelumnya menggunakan metode *deskriptif* dan metode ini bersifat *eksploratif* yang bertujuan untuk menggambarkan keadaan atau status fenomena yang mana pada umumnya penelitian ini merupakan penelitian *non hipotesis* sehingga dalam langkah penelitiannya tidak perlu merumuskan *hipotesis*. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data yang diambil langsung pada saat mesin beroperasi sedangkan data sekunder diperoleh dari jurnal harian mesin pendingin, serta studi pustaka mengenai mesin pendingin *cool storage* yang lebih khusus. Untuk memenuhi syarat tersebut diperlukan sebuah *cold storage* yang berfungsi ganda yaitu sebagai ruang penyimpanan dan ruang pendingin. *Cold storage* ini dapat menghasilkan suhu pada temperatur 3°C, 5°C dan 7°C.

Kata kunci : Sistem *Cold Storage*, Sistem *Refrigerasi*, Analisis Ruang Pendingin

ABSTRACT

Cold Storage is a product storage space with the aim that stored products will last longer. The product temperature must comply with the cold storage temperature. Cold storage is a mechanism in the form of a cycle that takes energy from low temperature areas and discharges it to high temperature areas so that the cooling load greatly affects the performance of the cooling machine. The greater the cooling load to be cooled, the greater the cooling power required. Vice versa, the smaller the cooling load, the less cooling power required. Previous research used a descriptive method and this method is exploratory in nature which aims to describe the state or status of a phenomenon which in general this research is a non-hypothetical research so that in the research step there is no need to formulate a hypothesis. The data collected in this study includes primary data and secondary data. Primary data, namely data taken directly when the machine is operating, while secondary data is obtained from daily journals of refrigeration machines, as well as literature studies regarding more specific cool storage refrigeration machines. To meet these requirements, a cold storage is needed which has a double function, namely as a storage room and a cold room. This cold storage can produce temperatures at a temperature of 3°C, 5°C dan 7°C.

Keywords : *Cold Storage System, Refrigeration System, Cold Room Analysis*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Ruang Pendingin *Cold Storage* Minimalis Terhadap Temperatur Ruang Pendingin ” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Riadini Wanty Lubis S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik UMSU, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Zulkifli Lubis dan Rosliana, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Sahabat-sahabat penulis: M.Riski, Irham Yahya, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
8. Lisa Mardiyah Pulungan yang selalu memberikan support serta semangat kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 27 Mei 2022

Muhammad Husein Lubis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Cold Storage</i>	4
2.1.1 Pengertian <i>Cold Storage</i>	4
2.1.2 Klasifikasi <i>Cold Storage</i>	4
2.1.2.1 Defenisi <i>Cold Storage</i>	4
2.1.2.2 <i>Chilled Room</i>	5
2.1.2.3 <i>Freezer Room</i>	5
2.1.2.4 <i>Blast Freeze</i>	5
2.2 <i>Refrigerator</i>	6
2.2.1 <i>Kompresor</i>	6
2.2.2 <i>Evaporator</i>	7
2.2.3 <i>Pipa kapiler</i>	7
2.2.4 <i>Kondensor</i>	8
2.3 Pemilihan Komponen Sistem <i>Refrigerasi</i>	9
2.3.1 <i>Evaporasi</i>	9
2.3.2 <i>Kompresi</i>	9
2.3.2.1 Siklus <i>Kompresi</i> Uap Ideal	9
2.3.2.2 Proses <i>Kompresi</i> pada <i>kompresor</i>	9
2.3.3 <i>Kondensasi</i>	10
2.3.4 <i>Ekspansi</i>	11
2.3.5 <i>Coefficient of Performance (COP)</i>	11
2.4 Perhitungan Beban Produk	12
2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi	12
2.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi	13
2.4.3 Perpindahan Kalor Radiasi	15
2.4.4 Kalor Jenis	17
2.4.5 Hubungan Kalor Jenis dengan Kapasitas Kalor	17

2.4.6	Dimensi dan Satuan	19
2.4.7	Konduktivitas Termal	20
2.4.8	Metode Interpolasi	21
BAB 3	METODOLOGI	24
3.1	Tempat dan Waktu	24
3.1.1	Tempat	24
3.1.2	Waktu	25
3.2	Bahan Dan Alat	25
3.2.1	Bahan Penelitian	25
3.2.2	Alat Penelitian	26
3.3	Bagan Alir Perancangan Dan Pengujian <i>Cold Storage</i>	27
3.4	Rancang Alat Penelitian	28
3.4.1	Objek Penelitian	28
3.4.2	Set Up Alat Uji	29
3.5	Prosedur Penelitian	30
3.5.1	Observasi Awal	30
3.5.2	Studi Literatur	30
3.5.3	Pengujian <i>Cold Storage</i>	30
3.5.4	Pengumpulan Data	30
3.5.5	Pengujian Hasil Perancangan	31
3.5.6	Analisa Hasil Pengujian dan Kesimpulan	31
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1	Perhitungan Beban Pendingin Ruang <i>Cold Storage</i>	32
4.1.1	Pengambilan Data Pada Temperatur 3°C, 5°C dan 7°C	32
4.1.2	Prosedur Pelaksanaan Pengujian	33
4.1.3	Variasi pada Temperatur 3°C	35
4.1.4	Variasi pada Temperatur 5°C	37
4.1.5	Variasi pada Temperatur 7°C	40
4.2	Perhitungan COP <i>Cold Storage</i>	43
4.2.1	COP pada Temperatur 3°C	43
4.2.2	COP pada Temperatur 5°C	44
4.2.3	COP pada Temperatur 7°C	45
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	48

LAMPIRAN
LEMBAR ASISTENSI
DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kalor Jenis Beberapa Jenis Zat	18
Tabel 2.2	Rumus Interpolasi untuk Mencari Nilai Entalpi	21
Tabel 3.1	Jadwal Dan Kegiatan Penelitian	22
Tabel 3.2	Data-Data Lapangan Yang Dibutuhkan Untuk Perancangan <i>Cold Storage</i>	26
Tabel 4.1	Tabel <i>Saturated Refrigerant 22</i>	33
Tabel 4.2	Variasi Pada Temperatur 3°C	34
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Pada Temperatur 3°C	35
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Pada Temperatur 5°C	36
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Pada Temperatur 5°C	38
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Pada Temperatur 7°C	38
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Pada Temperatur 7°C	40
Tabel 4.8	Data Analisis Pada Temperatur 3°C	41
Tabel 4.9	Data Analisis Pada Temperatur 5°C	42
Tabel 4.10	Data Analisis Pada Temperatur 7°C	43
Tabel 4.11	Variasi Pada Temperatur 3°C, 5°C dan 7°C	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a)Unit <i>Cold Storage</i> ,b) Unit <i>Refrigerator</i> , c) Contoh Produk <i>Reagen</i>	4
Gambar 2.2 <i>Chilled Room</i>	5
Gambar 2.3 <i>Freezer Room</i>	5
Gambar 2.4 <i>Blast Freezer</i>	6
Gambar 2.5 <i>Kompresor</i>	6
Gambar 2.6 <i>evaporator</i>	7
Gambar 2.7 <i>Pipa Kapiler</i>	8
Gambar 2.8 <i>Kondensor</i>	8
Gambar 2.9 Volume unsur untuk analisis konduksi-kalor satu-dimensi	13
Gambar 3.1 Panel <i>Cold Room</i>	24
Gambar 3.2 AC ½ PK	24
Gambar 3.3 <i>Thermometer Infrared</i>	25
Gambar 3.4 <i>Pressure Gauge</i>	25
Gambar 3.5 <i>Tang Ampere Multimeter</i>	25
Gambar 3.6 Set Up Alat Uji	28
Gambar 4.1 Pengambilan Data Pada Temperatur (a) 3°C, (b) 5°C dan (c) 7°C	31
Gambar 4.2 <i>Reset</i> sensor digital	32
Gambar 4.3 Pengukuran suhu pipa kondensor	32
Gambar 4.4 Pengukuran suhu pipa evaporator	33
Gambar 4.5 Pengukuran suhu beban <i>cold storage</i>	33
Gambar 4.7 Grafik pada temperatur 5°C	40
Gambar 4.8 Grafik Pada Temperatur 7°C	40
Gambar 4.9 Grafik Gabungan Pada Temperatur 3°C, 5°C dan 7°C	40
Gambar 4.10 Grafik COP pada temperatur 3°C	42
Gambar 4.11 Grafik COP pada temperatur 5°C	43
Gambar 4.12 Grafik COP pada temperatur 7°C	44
Gambar 4.13 Grafik COP pada temperatur 3°C, 5°C dan 7°C	44

DARTAR NOTASI

1. m = Laju aliran masa refrigerant (kg/s)	7
2. h_1 = entalpi refrigerant pada awal kompresi (kJ/kg-refrigerant)	7
3. h_2 = entalpi refrigerant pada akhir kompresi (kJ/kg-refrigerant)	7
4. W = kerja pada kompresor (kW)	7
5. q_e = laju panas yang diterima evaporatoe (kW)	7
6. h_4 = entalpi refrigerant keluar dari evaporator (kJ/kg-refrigerant)	7
7. q_k = laju panas yang dipindahkan kondensor (kW)	8
8. h_3 = entalpi refrigerant keluar dari kondensor (kJ/kg-refrigerant)	9
9. (Q_p) = Massa (kg)	12
10. C_p = Panas jenis (J/kg°C)	12
11. ΔT = Perubahan suhu bahan (°C)	12
12. Q = kalor (J atau kalori)	18
13. C = kapasitas kalor (J/K atau kal/C)	18
14. c = kalor jenis suatu zat (J/kg K atau kal/gC)	18
15. m = massa benda (kg)	18
16. L = panjang	19
17. M = massa	19
18. F = gaya	19
19. T = waktu	19
20. T = suhu	19

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cold Storage adalah ruang penyimpanan produk dengan tujuan produk yang disimpan akan bertahan lebih lama. Temperatur produk harus sesuai dengan temperatur *cold storage*. Untuk memenuhi syarat tersebut diperlukan sebuah *cold storage* yang berfungsi ganda yaitu sebagai ruang penyimpanan dan ruang pendingin. *Cold storage* ini dapat menghasilkan suhu pada temperatur 2-8 °C. (Anwar Ilmar Ramadhan¹, Ery Diniardi², Mulyadi³)

Cold storage merupakan sebuah mekanisme berupa siklus yang mengambil energi dari daerah bertemperatur rendah dan dibuang ke daerah bertemperatur tinggi sehingga beban pendinginan sangat berpengaruh terhadap prestasi mesin pendingin. Semakin besar beban pendinginan yang diinginkan maka akan diperlukan daya mesin pendingin yang lebih besar. Begitu juga sebaliknya semakin kecil beban pendinginan maka lebih kecil daya mesin pendingin yang diperlukan. (Edi Purwanto, Kemas Ridhuan)

Perkembangan teknologi di bidang ini mengalami kemajuan dengan pesat seiring berkembangnya zaman. Teknologi *refrigerasi* memberikan banyak keuntungan bagi manusia. Salah satunya untuk industri penyimpanan dan pendistribusian produk salah satunya buah. Sehingga produk yang disimpan dapat terjaga kualitas dan kesegarannya sampai waktu yang lama dan hingga saat diperlukan untuk diolah lebih lanjut. (Anwar Ilmar Ramadhan¹, Ery Diniardi², Mulyadi³).

Penelitian sebelumnya menggunakan metode *deskriptif* dan metode ini bersifat *eksploratif* yang bertujuan untuk menggambarkan keadaan atau status fenomena yang mana pada umumnya penelitian ini merupakan penelitian *non hipotesis* sehingga dalam langkah penelitiannya tidak perlu merumuskan *hipotesis*. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan

data sekunder. Data primer yaitu data yang diambil langsung pada saat mesin beroperasi sedangkan data sekunder diperoleh dari jurnal harian mesin pendingin, serta studi pustaka mengenai mesin pendingin *cool storage* yang lebih khusus. (Andie Murtono, Patrice N.I. Kalangi dan Frangky E. Kaparang).

Mengingat betapa banyak permasalahan yang terjadi *cold storage* terutama pada sistem *refrigerasi*, untuk merumuskan masalah bagaimana mendesign sebuah *cold storage* yang efisien dan optimal terutama pada perhitungan beban kalor untuk perhitungan beban kalor untuk keperluan penentuan peralatan pada sistem *refrigerasi* khususnya *kompresor*. Pada unit *refrigerator* tidak bisa menampung banyak produk karena keterbatasan tempat mengingat besarnya peranan sistem *refrigerasi* (pendinginan) dalam industri penyimpanan produk dan makin banyaknya produk yang dihasilkan sehingga menuntut agar produk tersebut tersimpan dalam kualitas yang baik dan jumlah yang banyak. (Anwar Ilmar Ramadhan¹, Ery Diniardi², Mulyadi³).

1.2 Rumusan Masalah

Pada saat ini *cold storage* tidak bisa menampung produk dengan jumlah yang banyak temperatur ruang yang optimal terutama pada perhitungan beban kalor pada sistem *refrigerasi*. Sedangkan untuk kedepannya produk yang akan di produksi cukup banyak, sehingga memerlukan tempat dengan daya tampung yang besar serta temperatur yang optimal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka penulis mengajukan sebagai solusi untuk dibuatkan unit *cold storage room*.

1.3. Ruang Lingkup.

1. Design *Cold Storage* dengan temperatur 3°C, 5°C dan 7 °C.
2. Jumlah beban pendinginan *cold storage* adalah 2 kg.
3. Temperatur lingkungan konstan.
4. Temperatur produk seragam.
5. Refrigerant yang digunakan adalah R22

1.4. Tujuan Penulisan.

1. Untuk menghitung beban pendingin ruangan *cool storage*.
2. Untuk menghitung COP *cold storage*.

1.5 Manfaat

Ada beberapa manfaat yang akan diambil dari penulisan atau pembuatan alat ini nantinya adalah

1. Bagi mahasiswa dapat menambah pengetahuan tentang *cool storage* ruang pendingin sederhana ini, dan bisa menjadi bahan literatur untuk mengembangkannya.
2. Bagi masyarakat memperoleh pengetahuan tentang perancangan *cool storage* ruang pendingin sederhana ini.

BAB 2

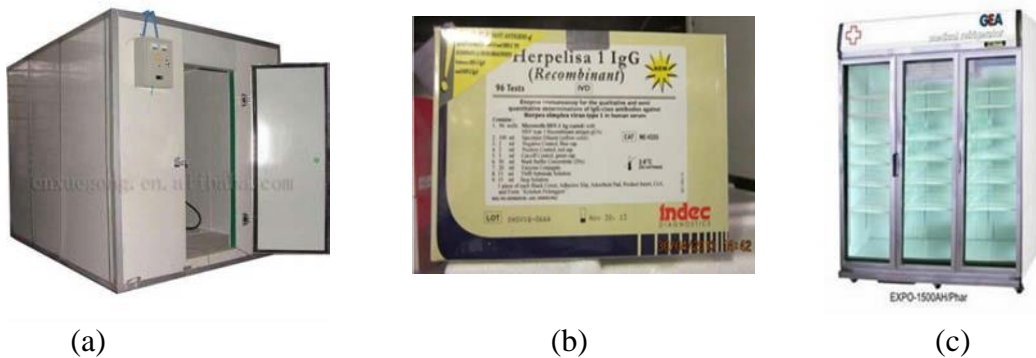
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Cold Storage*

2.1.1 Pengertian *Cold Storage*

Cold Storage merupakan suatu alat mesin pendingin yang menampung benda-benda yang akan mengalami proses pendinginan. Unit *cold storage* biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk mendinginkan atau mengawetkan makanan seperti daging, sayuran dan buah-buahan begitu juga dengan minuman. Adapun penggunaan *cold storage* di industri biasa digunakan untuk mendinginkan bahan baku atau bahan jadi dari suatu produk. Salah satu tujuan *cold storage* adalah untuk memperpanjang umur penyimpanan dengan cara pendinginan.

2.1.2 Klasifikasi *Cold Storage*



Gambar 2.1
a) Unit *Cold Storage*, b) Unit *Refrigerator*, c) Contoh Produk *Reagen*
(Sumanto, 2002)

2.1.2.1 Defenisi *Cold Storage*

Cold Storage merupakan suatu alat mesin pendingin yang menampung benda-benda yang akan mengalami proses pendinginan. Unit *cold storage* biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk mendinginkan atau mengawetkan makanan seperti daging, sayuran dan buah-buahan begitu juga dengan

minuman. adapun jenis-jenis *cold storage* ialah *Chilled Room*, *Freezer Room*, *Blast Freezer*

2.1.2.2 *Chilled Room*

Merupakan ruangan penyimpanan dengan suhu *chiller* yang berkisar antara 0 ~ 8 C. *Chilled room* biasanya digunakan untuk menyimpan bahan-bahan segar seperti sayur dan buah, ataupun jenis bahan makanan lain yang daya tahan kesegarannya kurang dari 2 bulan.



Gambar 2.2 *Chilled Room* (Sumanto, 2002)

2.1.2.3 *Freezer Room*

Freezer room memiliki rentang suhu -25 ~ -18 °C yang berfungsi untuk membekukan bahan makanan. Pada suhu tersebut, bahan makanan yang biasa disimpan yaitu daging, susu, keju, dan lainnya yang membutuhkan suhu di bawah 0 °C.



Gambar 2.3 *Freezer Room* (Sumanto, 2002)

2.1.2.4 *Blast Freezer*

Dengan rentang suhu -40 ~ -30 C, *blast freezer* berfungsi untuk membekukan bahan makanan dengan waktu singkat. Tujuannya yaitu untuk

mencegah bakteri tidak dapat berkembang dan merusak bahan makanan, misalnya saja pada *seafood* yang merupakan salah satu jenis makanan yang bernutrisi tinggi namun mudah rusak jika penyimpanannya tidak benar.



Gambar 2.4 *Blast Freezer* (Sumanto, 2002)

2.2 Refrigerator

Showcase refrigerator adalah suatu alat pendingin yang digunakan untuk menyimpan produk yang membutuhkan kondisi temperatur yang sesuai dengan karakter produk tersebut. *Refrigerator* banyak dipakai untuk keperluan rumah tangga dan industri. Penggunaannya untuk menyimpan produk makanan dan minuman. Untuk di industri *refrigerator* berfungsi untuk menyimpan produk jadi yaitu salah satunya produk *reagen diagnostik*.

Komponen-komponen yang dipakai di *refrigerator* adalah *Kompresor*, *Evaporator*, *Pipa kapiler* dan *Kondensor*.

2.2.1 Kompresor

Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk menghisap refrigerant bertekanan rendah dari evaporator dalam bentuk uap. Selanjutnya uap refrigerant ditekan dan dialirkan ke kondensor untuk diikondensasikan. Kerja yang dilakukan refrigerant selama kompresi isentropic dihitung berdasarkan perkalian perubahan enthalpi dan laju alir refrigerant :



Gambar 2.5 *Kompresor* (Fauzi, 2021)

$$W = m(h_2-h_1) \quad (1-1)$$

Dimana :

m = Laju aliran masa refrigerant (kg/s)

h_1 = entalpi refrigerant pada awal kompresi (kJ/kg-refrigerant)

h_2 = entalpi refrigerant pada akhir kompresi (kJ/kg-refrigerant)

W = kerja pada kompresor (kW)

2.2.2 Evaporator

Evaporator adalah salah satu bagian dari sistem pendingin. Letaknya berada di antara katup ekspansi dan *kompresor*. *Evaporator* berfungsi menangkap hawa panas di udara, kemudian disalurkan pada *refrigerant* untuk dijadikan udara dingin. Tanpa adanya *evaporator*, tidak akan dapat menghasilkan udara dingin. Sebab, tidak ada komponen yang mengubah hawa panas di udara menjadi udara dingin. Begitu pula jika *evaporator* mengalami kerusakan, maka tidak akan bisa menghasilkan udara dingin dengan maksimal.



Gambar 2.6 *evaporator* (Service Jogja, 2021)

$$q_e = m(h_1-h_4) \quad (1-2)$$

dimana :

q_e = laju panas yang diterima evaporatoe (kW)

h_4 = entalpi refrigerant keluar dari evaporator (kJ/kg-refrigerant)

2.2.3 Pipa kapiler

Pipa kapiler merupakan alat ekspansi yang umum digunakan pada mesin pendingin. Alat *ekspansi* termasuk komponen mesin pendingin yang berfungsi menurunkan tekanan *refrigerant* cair dan mengatur aliran *refrigerant* menuju *evaporator*.



Gambar 2.7 *Pipa Kapiler* (Anton, 2017)

2.2.4 *Kondensor*.

Kondensor Berfungsi sebagai alat penukar kalor, menurunkan temperatur *refrigeran*, dan mengubah wujud *refrigeran* dari fasa gas menjadi fasa cair. *Kondensor* berfungsi sebagai pembuang panas (*heat rejection*) dari dalam sistem ke luar sistem. Proses kondensasi untuk mengendalikan/ menyisahkan gas polutan dibedakan atas teknik kondensasi kontak langsung dan tidak langsung (*surface*). Dalam teknik kondensasi kontak langsung, gas polutan berkontak langsung dengan media pendingin, dan *kondensat* (polutan yang terkondensasi) akan bercampur dengan media pendingin. Sedangkan dalam teknik tidak langsung, gas polutan dan pendingin dipisahkan oleh suatu permukaan *Kondensor*, permukaan disebut pula *shell-and-tube heat exchanger*.



Gambar 2.8 *Kondensor* (Fauzi, 2021)

$$q_k = (h_2 - h_3) \quad (1-3)$$

dimana :

q_k = laju panas yang dipindahkan kondensor (kW)

m = laju arilan massa refrigerant (kg/s)

h_2 = entalpi refrigerant pada akhir kompresi (kJ/kg-refrigerant)

h_3 = entalpi refrigerant keluar dari kondensor (kJ/kg-refrigerant)

2.3 Pemilihan Komponen Sistem *Refrigerasi*

2.3.1 *Evaporasi*

Proses evaporasi terjadi pada *evaporator* atau penguap yang digunakan pada mesin *refrigerasi* berbentuk pipa bersirip plat. Tekanan cairan *refrigerant* yang diturunkan pada katup *ekspansi* didistribusikan secara merata kedalam *evaporator* oleh *refrigeran*. *Refrigeran* akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang dialirkan melalui permukaan luar pipa *evaporator*. Jadi cairan *refrigerant* diuapkan secara berangsur-angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan selama mengalir di dalam setiap pipa dari koil *evaporator*.

2.3.2 *Kompresi*

Bila suatu gas di *kompresi* berarti ada energi mekanik yang diberikan dari luar kepada gas. Energi tersebut diubah menjadi energi panas sehingga temperatur gas akan naik jika tekanan semakin tinggi. Proses kompresi yang terjadi pada *kompresor* menyebabkan naiknya tekanan *refrigeran* sehingga memudahkan pencairannya kembali. Energi yang diperlukan untuk kompresi diberikan oleh motor listrik yang menggerakkan *kompresor*. Dalam proses *kompresi*, energi diberikan kedalam uap *refrigeran*.

2.3.2.1 Siklus *Kompresi* Uap Ideal

Mesin pendingin *kompresi* uap bekerja atas dasar siklus *Carnot* terbalik, dengan fluida kerja yang bersirkulasi membentuk siklus tertutup. Siklus *refrigerasi* merupakan kebalikan dari siklus *carnot* yang membutuhkan kerja untuk memindahkan kalor dari temperatur lebih tinggi. *Refrigerasi* merupakan kebalikan dari siklus *carnot* yang membutuhkan kerja untuk memindahkan kalor dari temperatur yang lebih tinggi.

2.3.2.2 Proses *Kompresi* pada *kompresor*

Proses *kompresi* berlangsung dari titik 1 ke titik 2. Pada siklus sederhana diasumsikan *refrigerant* tidak mengalami perubahan kondisi selama mengalir di jalur hisap. Proses kompresi diasumsikan *isentropik* sehingga pada diagram tekanan-entalpi titik 1 dan titik 2 berada pada satu garis *entropi konstan*, dan titik

2 berada pada kondisi super panas. Proses *kompresi* memerlukan kerja dari luar dan *entalpi* uap naik dari h_1 ke h_2 . Kenaikan *entalpi* sama dengan besarnya kerja *kompresi* yang dilakukan pada uap *refrigerant*. Jadi tujuan proses *kompresi* adalah untuk menaikkan tekanan *refrigeran* hingga mencapai tekanan *condenser* pada kondisi 2.

Pada proses ini terjadi kenaikan temperatur *refrigeran*. Perpindahan kalor pada proses ini terjadi pada kondisi *kompresi isentropik / adiabatik*. Pada sistem *refrigerasi*, *kompresor* bekerja dengan cara membuat perbedaan tekanan, sehingga fluida pendingin dapat mengalir dari satu bagian ke bagian lain dari sistem tersebut. Perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah menyebabkan bahan pendingin cair dapat mengalir melalui alat pengatur bahan pendingin (pipa kapiler) ke *evaporator*. Tekanan gas di *evaporator* harus lebih tinggi dari pada tekanan gas di dalam saluran hisap, agar gas dingin dari *evaporator* dapat mengalir melalui saluran hisap ke *kompresor*.

Tingkat keadaan *refrigeran* baik pada *kondensor* maupun *evaporator* senantiasa berada pada tingkat keadaan campuran cair-uap, hal ini berkaitan dengan sifat *laten* zat sehingga *refrigeran* dapat menyerap dan membuang kalor sebanyak panas spesifik fluida tersebut. Di dalam operasinya, *refrigeran* selalu bercampur dengan minyak pelumas, hal ini bertujuan untuk mengurangi efek erosi pada instalasi yang akan dilalui *refrigeran*.

2.3.3 Kondensasi

Proses pengembunan adalah proses perubahan wujud gas menjadi wujud cair karena adanya perbedaan temperatur. Temperatur pengembunan berubah sejalan dengan tekanan uap. Oleh karena itu temperatur pengembunan didefinisikan sebagai temperatur pada kondisi jenuh akan dicapai bila udara didinginkan pada tekanan tetap tanpa penambahan kelembaban. Untuk menghasilkan pengembunan dilakukan dua cara, yaitu:

1. Menurunkan temperatur sehingga mereduksi kapasitas dari uap air.
2. Menambah jumlah uap air Kondensasi diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

3. Jenis kondensasi: *homogenous, heterogenous, dropwise, film*, atau *direct contact*.
4. Kondisi uap: satu komponen; banyak komponen dengan semua komponen mampu terkondensasi; banyak komponen beserta komponennya yang tidak mampu terkondensasi.
5. Geometri sistem: *plane surface, external, internal*, dan lain-lain.

2.3.4 Ekspansi

Untuk menurunkan tekanan dari *refrigeran* cair yang dicairkan didalam *kondensor* supaya dapat mudah menguap, maka dipergunakan katup *ekspansi* atau pipa *kapiler*. Cairan *refrigeran* dari katup *ekspansi* kemudian mengalir kedalam *evaporator*, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga mengalami penguapan secara berangsur-angsur. Selanjutnya, proses siklus tersebut di atas terjadi secara berulang-ulang.

2.3.5 Coefficient of Performance (COP)

Koefisien kinerja atau *COP* berhubungan dengan kapasitas pendinginan dan daya yang diperlukan dan menunjukkan konsumsi daya keseluruhan untuk beban yang diinginkan. Nilai *COP* yang tinggi menunjukkan konsumsi energi rendah untuk penyerapan daya pendinginan ruang yang sama untuk didinginkan. Nilai *COP* dapat diketahui dari perbandingan antara *refrigerasi* bermanfaat terhadap kerja bersih.

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1-4)$$

Penelitian ini bertujuan untuk mengangkat suatu percobaan pengembangan mesin *refrigerasi* dengan menggunakan *refrigeran* yang berbeda sehingga dapat diamati kinerja *kompresor*, kinerja *evaporator* dan *COP*. masuk dan keluar *kompresor* selama 300 menit. Penentuan nilai *entalpi* pada setiap titik dengan menggunakan program *REFPROP (REFerence fluid PROPerties)*. Program ini digunakan untuk menghitung sifat termodinamika dan transport dari suatu fluida dan campurannya. Pengolahan data dilakukan untuk menentukan kinerja dari komponen mesin *refrigerasi* dan nilai *COP*.

2.4 Perhitungan Beban Produk

Panas yang dimiliki produk pada saat awal dimasukkan ke dalam *cold storage*. Jika sejumlah bahan memasuki ruangan dingin pada suhu lebih besar dari suhu ruangan tersebut, maka akan terjadi pelepasan panas sampai suhu bahan sama dengan suhu ruangan. Maka panas yang dilepaskan (Q_p) untuk pendinginan :

$$(Q_p) = m_p C_p \Delta T \quad (1-5)$$

Dimana : (Q_p) = Massa (kg)

C_p = Panas jenis (J/kg°C)

ΔT = Perubahan suhu bahan (°C)

2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat *gradient* suhu (*temperature gradien*), maka menurut pengalaman akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan *gradient* suhu normal.

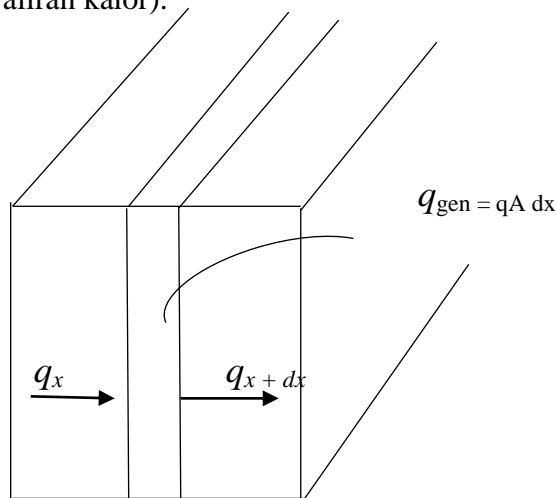
$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1-6)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas (*proportionality constant*) atau tetapan ke sebandingan, maka:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1-7)$$

Dimana q ialah laju perpindahan kalor dan $\partial T/\partial x$ merupakan *gradient* suhu kearah perpindahan kalor. Konstanta positif k disebut *konduktivitas* atau *kehantarann termal (thermal conductivity)* benda itu, sedangkan tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum kedua *thermodinamika*, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu. Disebutkan dalam hokum *Fourier* tentang konduksi kalor, yaitu menurut nama ahli mamtematika fisika bangsa *Prancis, Joseph Fourier*, yang telah memberikan sumbangan yang sangat penting dalam pengolahan analisis masalah perpindahan kalor konduksi. Perlu

dicatat bahwa persamaan dasar dari konduktivitas termal, dan bahwa satuan k ialah *watt per meter per derajat Celsius* (dalam sistem satuan yang menggunakan *watt* sebagai satuan aliran kalor).



Gambar 2.9 Volume unsur untuk analisis konduksi-kalor satu-dimensi

Energi yang dihantarkan di muka kiri + energi yang dibangkitkan dalam unsur itu = perubahan energi dalam atau dakhil (*internal energy*) + energi yang dihantarkan ke luar unsur itu melalui muka kanan.

2.4.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Sudah umum diketahui bahwa plat logam panas akan menjadi dingin lebih cepat bila ditaruh di depan kipas angin dibandingkan dengan bilamana ditempatkan di udara tenang. Kita katakan bahwa kalor dikonveksi dan proses ini dinamakan *perpindahan-kalor secara konveksi*. Istilah konveksi barangkali sudah memberi gambaran tentang apa yang terjadi dalam proses perpindahan-kalor ini. Tetapi gambaran ini masih harus dikembangkan agar kita dapat melakukan pengolahan analitis yang memadai tentang masalah ini.

Umpamanya, kita sudah tahu bahwa kecepatan udara yang ditiupkan ke plat panas ini akan mempengaruhi laju perpindahan-kalor. Tetapi, apakah pengaruh ini berlangsung dalam perbandingan lurus, artinya jika kecepatan di lipatduakan apakah laju perpindahan kalor juga akan menjadi dua kali lebih cepat? Juga dapat diperkirakan bahwa laju perpindahan-kalor akan berbeda jika plat itu di dinginkan dengan air dan bukan dengan udara; tetapi juga

disini, masalahnya ialah berapa bedanya itu. Pertanyaan-pertanyaan ini dapat dijawab dengan batuan analisis yang agak mendasar yang akan disajikan dalam bab-bab yang akan datang. Sementara ini, cukuplah kita gambarkan mekanisme fisis perpindahan kalor konveksi untuk menunjukkan hubungannya dengan proses konduksi.

Guna menyatakan pengaruh konduksi secara menyeluruh, kita gunakan hukum *Newton* tentang pendinginan.

$$q = hA (T_w - T_\infty) \quad (1-8)$$

Disini laju perpindahan kalor dihubungkan dengan beda suhu menyeluruh antara dinding dan fluida, dan luas permukaan A . Besaran h disebut koefisien perpindahan-kalor konveksi (*convection heat-transfer coefficient*) dan persamaan itulah rumus dasarnya. Kita dapat melakukan perhitungan analitis atas h untuk beberapa sistem. Untuk situasi yang rumit h harus ditentukan dengan percobaan. Koefisien perpindahan kalor kadang-kadang disebut *koduktans film (film conductance)* karena hubungannya dengan proses konduksi pada lapisan fluida diam yang tipis pada muka dinding.

Dari pembahasan di atas, dapatlah diharapkan bahwa perpindahan kalor konveksi bergantung pada *viskositas* fluida disamping ketergantungannya kepada sifat-sifat termal fluida itu (*konduktivitas termal, kalor spesifik, densitas*). Hal ini dapat dimengerti karena *viskositas* mempengaruhi profil kecepatan, dan karena itu, mempengaruhi laju perpindahan energi di daerah dinding.

Jika suatu plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar, maka udara itu akan bergerak sebagai akibat terjadinya *gradien densitas* di dekat plat itu. Peristiwa ini dinamakan *konveksi alamiah (natural convection)* atau *konveksi bebas (free convection)* yang terjadi apabila udara itu dihembuskan di atas plat itu dengan kipas.

2.4.3 Perpindahan Kalor Radiasi

Berlainan dengan mekanisme konduksi dan konveksi, dimana perpindahan energi terjadi melalui bahan antara, kalor juga dapat berpindah melalui daerah-daerah hampa. Mekanismenya disini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik. Pembahasan kita disini akan dibatasi pada radiasi termal (*thermal radiation*) saja.

Pembahasan termodinamika menunjukkan bahwa radiator (penyiar) ideal, atau *benda hitam (blackbody)*, memancarkan energi dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan.

Jadi,

$$q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4 \quad (1-9)$$

dimana σ ialah konstanta proporsionalitas dan disebut konstanta *Stefan-Boltzmann* dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ .K}^4$. Persamaan (1-9) disebut hukum *Stefan-Boltzmann* tentang radiasi termal, dan berlaku hanya untuk benda hitam. Perlu dicatat bahwa persamaan ini hanya berlaku untuk radiasi termal saja; radiasi elektromagnetik lain tidaklah sesederhana itu.

Persamaan (1-9) hanya berlaku untuk radiasi yang dipancarkan oleh benda hita. Pertukaran radiasi netto antara dua permukaan berbanding dengan suhu *absolut* pangkat empat; artinya,

$$\frac{q_{\text{pertukaran netto}}}{A} \propto \sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (1-10)$$

Telah kita singgung di atas bahwa benda hitam ialah benda yang memancarkan energi menurut hukum T^4 . Kita namakan benda demikian itu hitam, karena permukaannya yang hitam, seperti umpamanya logam yang diisi dengan jelaga. Permukaan jenis lain, seperti yang dicat mengkilap atau plat logam yang dipoles tidak memancarkan energi sebanyak benda hitam; akan tetapi jumlah radiasi yang dipancarkan benda-benda itu masih mengikuti proporsionalitas T_1^4 .

Untuk memperhitungkan sifat “kelabu” permukaan yang demikian, kita tampilkan suatu faktor yang disebut *emisivitas* ϵ atau kepancaran (*emissivity*), yang menghubungkan sinar dari permukaan “kelabu” dengan permukaan yang hitam sempurna.

Di samping itu, harus pula kita perhitungkan kenyataan bahwa radiasi dari suatu permukaan tidak seluruhnya sampai ke permukaan lain, karena radiasi elektromagnetik berjalan menurut garis lurus dan sebagian hilang ke lingkungan. Untuk memperhitungkan kedua situasi itu kita masukkan dua faktor baru, sehingga :

$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad (1-11)$$

dimana F_{ϵ} adalah fungsi emisivitas dan F_G fungsi “faktor pandangan”. (*view factor*) geometrik. Penentuan bentuk fungsi untuk konfigurasi-konfigurasi yang khas akan dibahas dalam bab-bab berikut ini. Namun, perlu kita ingatkan di sini, bahwa fungsi-fungsi itu biasanya saling bergantung satu sama lain.

Radiasi dalam Ruang-kurung .

Suatu masalah radiasi sederhana dapat ditemukan bila kita mempunyai suatu permukaan perpindahan kalor pada suhu T_1 yang seluruhnya terkurung oleh permukaan lain yang jauh lebih luas yang berada pada suhu T_2 . Pertukaran radiasi *netto* dalam hal ini dapat dihitung dengan rumus :

$$q = \epsilon_1 \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (1-12)$$

Fenomena perpindahan-kalor radiasi bisa rumit sekali, dan perhitungannya jarang sesederhana yang digambarkan. Namun, untuk sementara kita ingin menekankan disini adanya perbedaan mekanisme fisis antara perpindahan-kalor radiasi dengan sistem konduksi-konveksi.

2.4.4 Kalor Jenis

Setelah memahami apa itu kalor? selanjutnya kita bahas besaran fisis yang berkaitan dengan kalor, yakni Kalor Jenis atau panas jenis. Panas Jenis suatu benda merupakan ukuran banyaknya kalor yang diserap atau diperlukan oleh benda/zat bermassa (1 kg atau 1 gram) untuk menaikkan suhu sebesar 1 derajat.

Dengan kata lain, Kalor Jenis merupakan ukuran kemampuan suatu benda untuk melepas atau menerima kalor. Semakin besar Kalor Jenis benda maka semakin besar kalor yang di butuhkan untuk menaikkan suhunya, begitu juga sebaliknya. Satuan Kalor Jenis adalah $J/Kg^{\circ}C$ atau $kal/g^{\circ}C$ dan disimpulkan dengan c (huruf kecil). Benda yang memiliki kalor jenis besar, akan membutuhkan kalor lebih banyak di bandingkan dengan benda yang kalor jenisnya kecil. Dalam penerapannya, konsep ini digunakan dalam menghasilkan peralatan memasak seperti panci.

Para produsen peralatan masak ini akan menggunakan bahan yang memiliki kalor jenis yang kecil. Hal ini agar energi panas atau kalor yang di perlukan untuk menaikkan suhu masakan lebih kecil, sehingga akan menghemat energi. Jika suatu zat mempunyai kalor jenis tinggi maka zat itu memerlukan banyak kalor untuk menaikkan suhunya.

2.4.5 Hubungan Kalor Jenis dengan Kapasitas Kalor

Kapasitas panas atau kapasitas kalor, disimbolkan dengan C (huruf kapital), merupakan ukuran panas yang diperlukan untuk mengubah suhu suatu zat. Konsep kapasitas panas banyak digunakan untuk menjelaskan perilaku gas. Dari definisi tersebut, kita dapat menuliskan,

$$C = Q / \Delta T \quad (1-13)$$

karena, $Q = m c \Delta T$ dan $C = Q / \Delta T$, maka, $C = (m c \Delta T) / \Delta T$ dan di peroleh, $C = m c$

Faktor mc dalam persamaan ini adalah satu kesatuan, dan faktor inilah yang di sebut kapasitas panas (C).

dengan demikian maka hubungan Kalor (Q) dengan Kapasitas Kalor (C) dapat di tuliskan sebagai,

$$Q = C \Delta T \quad (1-14)$$

atau,

$$C = Q / \Delta T \quad (1-15)$$

di mana:

Q = kalor (J atau kalori)

C = kapasitas kalor (J/K atau kal/C)

c = kalor jenis suatu zat (J/kg K atau kal/gC)

m = massa benda (kg)

ΔT = perubahan suhu/temperatur (K)

No	Nama Zat	Kalor Jenis	
		J/kg°C	Kkal/kg°C
1.	Alkohol	2.400	550
2.	Es	2.100	500
3.	Air	4.200	1.000
4.	Uap air	2.010	480
5.	Alumunium	900	210
6.	Besi/Baja	450	110
7.	Emas	130	30
8.	Gliserin	2.400	580
9.	Kaca	670	160
10.	Kayu	1.700	400
11.	Kuningan	380	90
12.	Marmer	860	210
13.	Minyak tanah	2.200	580
14.	Perak	230	60
15.	Raksa	140	30
16.	Seng	390	90
17.	Tembaga	390	90
18.	Timbal	130	30
19.	Badan manusia	3.470	830

Sumber: Fisika, kane & Sterheim, 1991.

Tabel 2.1 . Kalor Jenis Beberapa Jenis Zat

2.4.6 Dimensi dan Satuan

Dalam bagian ini akan kita ikhtisarkan sistem satuan yang digunakan dalam buku ini. Kita harus hati-hati agar tidak mengacaukan makna istilah *satuan* dan *dimensi*. Dimensi ialah variabel fisis yang digunakan untuk menyatakan sifat atau tingkah laku sistem tertentu. Misalnya, panjang sebuah batang adalah dimensi batang itu. Demikian pula, suhu suatu gas dapat dianggap sebagai suatu dimensi termodinamika gas itu. Kalau kita mengatakan batang itu panjangnya sekian meter atau gas itu suhunya sekian derajat *Celsius*, maka disini kita menyatakan pula satuan yang kita gunakan untuk mengukur dimensi itu. Dalam mengembangkan perpindahan kalor, kita menggunakan dimensi-dimensi berikut:

L = panjang

M = massa

F = gaya

T = waktu

θ = suhu

Semua besaran fisis yang digunakan dalam ilmu perpindahan-kalor dapat kita nyatakan dalam dimensi-dimensi fundamental di atas. Satuan yang digunakan untuk dimensi tertentu dipilih dari rumusan yang agak sembarang yang biasanya berhubungan dengan suatu hukum atau fenomena fisis. Umpamanya hukum kedua *Newton* tentang gerak dapat dituliskan sebagai berikut :

Gaya~laju-waktu perubahan momentum

$$F = k \frac{d(mv)}{dt} \quad (1-16)$$

Dimana k ialah konstanta proporsionalitas. Jika massa tetap, maka

$$F = kma \quad (1-17)$$

Dimana percepatan $a = dv/dt$. Persamaan (1-13) biasanya dituliskan sebagai berikut:

$$F = \frac{1}{g_c} ma \quad (1-18)$$

Dengan $1/g_c = k$. Biasanya digunakan untuk merumuskan satuan sistem kita untuk massa, gaya, panjang, dan waktu. Berikut ini beberapa sistem satuan khas:

1. 1-pon (*pound*) gaya akan mempercepat 1-lb massa $32,17 \text{ ft/s}^2$
2. 1-pon (*pound*) gaya akan mempercepat 1-slug massa 1 ft/s^2
3. 1-*dyne* gaya akan mempercepat 1-g massa 1 cm/s^2
4. 1-*newton* gaya akan mempercepat 1-kg massa 1 m/s^2
5. 1-kilogram gaya akan mempercepat 1-kg massa $9,806 \text{ m/s}^2$

2.4.7 Konduktivitas Termal

Berdasarkan rumusan dapat dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan *konduktivitas termal* berbagai bahan. Untuk gas-gas pada suhu agak rendah, pengolahan analitis teori kinetik gas dapat dipergunakan untuk meramalkan *konduktivitas termal* zat cair dan padat, ada teori-teori yang dapat digunakan dalam beberapa situasi tertentu tetapi, pada umumnya dalam zat cair dan zat padat terdapat banyak masalah yang masih memerlukan penjelasan.

Mekanisme *konduksi termal* pada gas cukup sederhana. Energi kinetik molekul ditunjukkan oleh suhunya, jadi pada bagian bersuhu tinggi molekul-molekul mempunyai kecepatan yang lebih tinggi daripada yang berada pada bagian suhu rendah. Molekul-molekul itu selalu berada dalam gerakan rambang atau acak, saling bertumbukan satu sama lain, dimana terjadi pertukaran energi dan momentum. Perlu diingat bahwa molekul itu selalu berada dalam gerakan rambang walaupun tidak terdapat gradien suhu dalam gas itu. Jika suatu molekul bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah

bersuhu rendah, maka molekul itu mengangkut energi kinetik ke bagian sistem yang suhunya lebih rendah. Pada umumnya *konduktivitas termal* sangat bergantung pada suhu.

2.4.8 Metode interpolasi

Interpolasi adalah metode menghasilkan titik-titik data baru dalam suatu jangkauan dari suatu set diskret data-data yang diketahui. Dalam teknik dan sains seringkali seseorang memiliki sejumlah titik data yang didapatkan melalui pengambilan sampel atau eksperimen, mewakili nilai-nilai suatu fungsi dengan jumlah nilai variable bebas yang terbatas. Seringkali diperlukan mengekstrapolasi (alias memperkirakan) nilai fungsi tersebut pada nilai variable bebas di pertengahan. Hal ini dapat dicapai melalui pencocokan kurva atau analisis regresi.

Suatu permasalahan berbeda yang berhubungan dekat dengan interpolasi adalah pendekatan/aproksimasi suatu fungsi kompleks melalui suatu fungsi sederhana. Seandainya formula untuk suatu fungsi tertentu diketahui namun terlalu rumit untuk dinilai secara efisien, maka beberapa titik data yang diketahui dari fungsi asli tersebut dapat digunakan untuk menghasilkan suatu interpolasi berdasarkan suatu fungsi yang lebih sederhana. Rumus interpolasi adalah sebagai berikut :

Data Primer	Data Dicari
A	X
B	Y
C	Z

Tabel 2.2 Rumus Interpolasi Untuk Mencari Nilai Entalpi

Bila $Z > X$

Maka

$$Y = X + (B - A) \frac{(Z - X)}{(C - A)} \quad (1-19)$$

Bila $X > Z$

Maka

$$Y = X - (A - B) \frac{(X - Z)}{(A - C)} \quad (1-20)$$

$$Y = X - (A-B) \frac{(X-Z)}{(A-C)} \quad (1-21)$$

Cara mencari nilai entalpi pada h_1 dalam satuan vapor dapat dilihat pada table 2.3.

Dimana

h_1 = entalpi keluar evaporator (Saturated vapor)

h_2 = entalpi masuk kondensor (Saturated liquid)

h_3 = entalpi keluar kondensor (Saturated liquid)

h_4 = entalpi masuk evaporator (Saturated vapor)

table 2.3 Cara mencari nilai entalpi pada h_1

Data Primer	Data Dicari
0	249.92
0.07	Y
2	250.60

$$\begin{aligned}
 Y &= X + (B-A) \frac{(Z-X)}{(C-A)} \\
 &= 249.92 + (0.07-0) \frac{(250.60-249.92)}{(2-0)} \\
 &= 249.92 + (0.07) \frac{(0.64)}{(2)} \\
 &= 249.92 + (0.07) (0.32) \\
 &= 249.9424
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang dipakai dalam pengujian

a. Laju aliran massa refrigerant

$$m = \frac{(Q_w)}{(h_2-h_1)} \quad (\text{Kg/s}) \quad (1-22)$$

m = Laju aliran massa refrigerant (kg/s)

Q_w = Kerja kompresor (kW)

h_1 = Enthalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = Enthalpi masuk kondensor(kJ/kg)

b. Kapasitas kondensor

$$Q_{\text{kond}} = m \times (h_2-h_3) \quad (1-23)$$

Q_c = kalor yang di lepas oleh kondensor (kW)

m = massa aliran fluida (kg/s)

h_2 = entalpi masuk kondensor (kJ/kg)

c. Laju Aliran Pendingin

$$Q_{\text{evap}} = m \times (h_1-h_4) \quad (1-24)$$

Q_e = efek pendinginan (kW)

m = massa aliran fluida (kg/s)

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

d. Dampak Refrigrasi

$$h_{\text{ref}} = h_1-h_4 \quad (1-25)$$

h_{ref} = dampak refrigrasi (kJ/kg)

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian analisis kebutuhan pendingin *cold storage* dilakukan di Laboratorium Teknik Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara di Jalan Mukhtar Basri N0.3 Medan Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dimulai dikeluarkannya surat penentuan Tugas Akhir dan pengujukan Dosen Pembimbing oleh Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan dikerjakan selama kurang lebih 5 bulan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1 Jadwal Dan Kegiatan Penelitian

NO	Uraian Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Litelatur	■	■	■			
3	Pembuatan alat				■		
4	Pengujian dan pengolahan data					■	
5	Penyelesaian tulisan						■
6	Seminar proposal						■

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Panel *Cold Room*



Gambar 3.1 Panel *Cold Room*

2. AC ½ PK



Gambar 3.2 AC 1 PK

3.2.2 Alat Penelitian

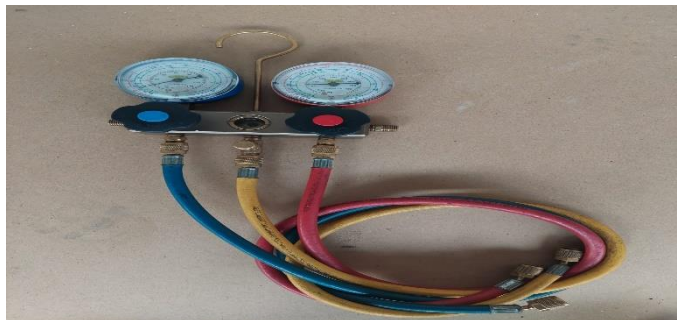
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. *Thermometer Infrared*



Gambar 3.3 *Thermometer Infrared*

2. *Pressure Gauge*



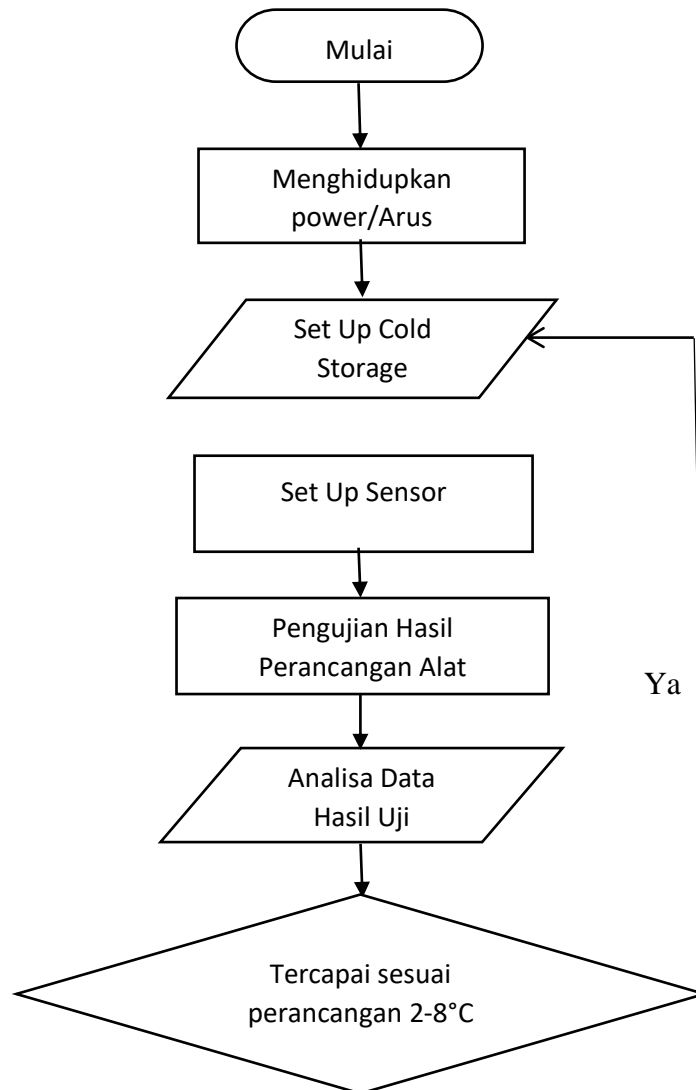
Gambar 3.4 *Pressure Gauge*

3. *Tang Ampere Multimeter*



Gambar 3.5 *Tang Ampere Multimeter*

3.3 Bagan Alir Perancangan dan Pengujian *Cold Storage*



3.4 Rancang Alat Penelitian

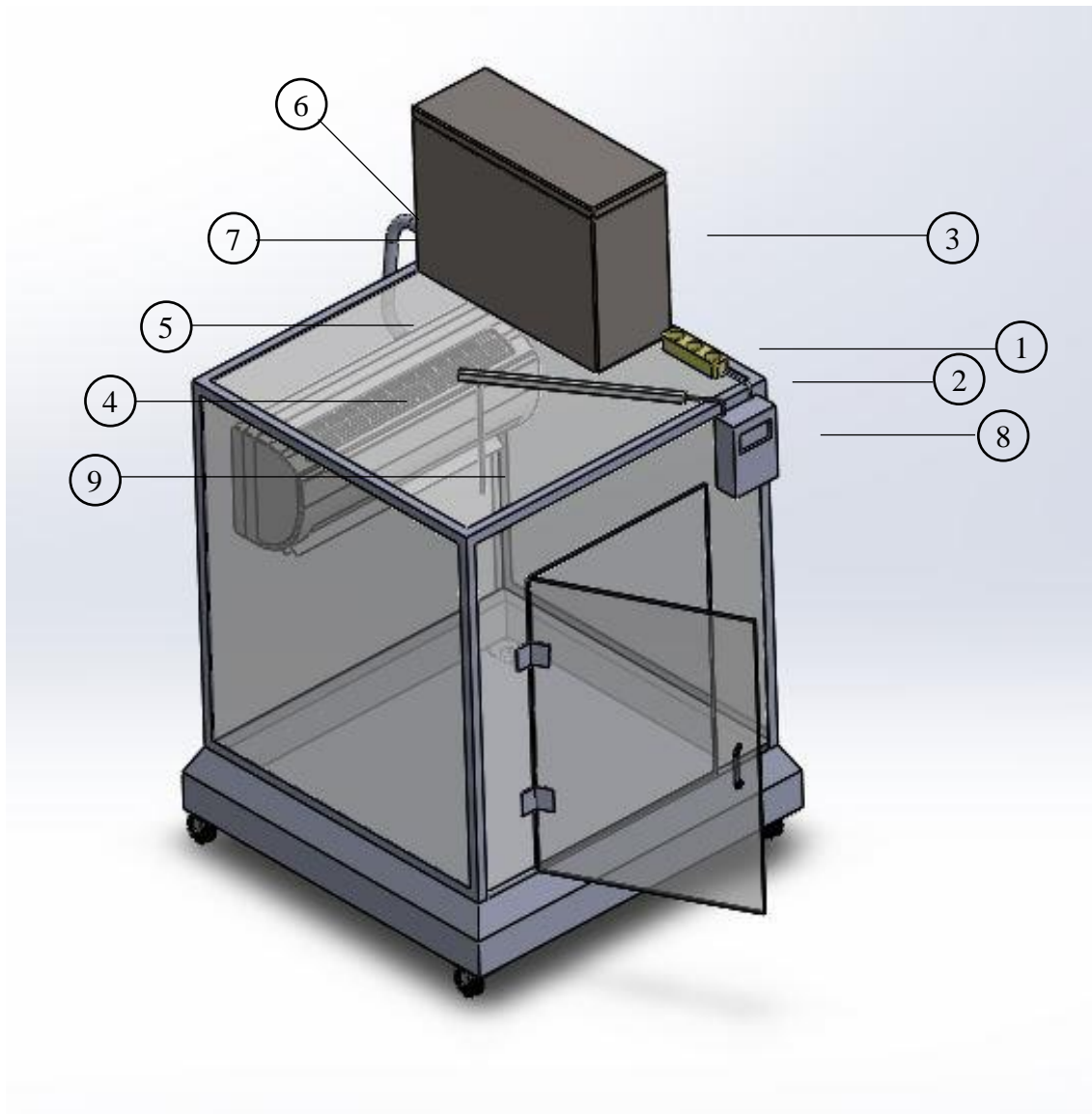
3.4.1 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah unit penyimpanan produk buah yang akan di distribusikan ke masyarakat, yaitu *cold storage*.

Tabel 3.2 Data-Data Lapangan Yang Dibutuhkan Untuk Perancangan *Cold Storage*

No.	Uraian	Spesifikasi
1	Dimensi ruangan	P x L x T = 1 x 1 x 1 m
2	Temperatur ruangan	2-8°
3	Produk yang di inginkan	Buah
4	Jumlah produk	2 kg
5	Temperatur lingkungan	25,6°
6	Temperatur produk sebelum masuk <i>cold storage</i>	28,1°
7	Operasional unit	24 jam

3.4.2 Set Up Alat Uji



Set up alat uji :

1. power
2. Kabel arus listrik AC
3. Kondensor
4. Evaporator
5. Pipa Freon AC
6. Pipa kapiler masuk
7. Pipa kapiler keluar
8. Kontak sensor digital
9. Sensor

Dalam bagian ini akan dilakukan perhitungan beban pendinginan yang terjadi di dalam unit *cold storage*, sehingga dari hasil perhitungan tersebut penulis dapat menentukan komponen-komponen sistem *refrigerasi* yang sesuai dengan kapasitas yang dibutuhkan. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam perencanaan unit *cold storage* adalah :

- a. Beban pendinginan yang bersumber dari produk yang akan dikondisikan
- b. Beban pendinginan yang bersumber dari lingkungan
- c. Nilai COP dari produk

3.5.1 Observasi Awal

Tahap ini merupakan langkah awal sebelum melakukan penelitian dimana kita melakukan pengenalan dan pengamatan sebelum menemukan identifikasi masalah. Pada tahap ini kita melakukan pengamatan langsung ke alat yang di rancang yaitu di Laboratorium Teknik Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara di Jalan Mukhtar Basri N0.3 Medan Sumatera Utara

3.5.2 Studi Literatur

Mempelajari buku-buku sumber untuk mendapatkan teori- teori dan konsep-konsep yang mendukung dalam pengujian.

3.5.3 Pengujian *cold storage*

Tahap pengujian ini mencakup beberapa kegiatan seperti pengujian menggunakan *Thermometer Infrared*, *Pressure Gauge* dan sensor digital.

3.5.4 Pengumpulan Data

Cara pengumpulan data Jenis data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Data Primer

Data ini adalah data yang langsung diperoleh dari sumber melalui pengamatan dan pencatatan langsung.

- a) Ukuran dimensi ruangan
 - b) Bahan insulasi yang digunakan
 - c) Banyaknya produk buah yang didinginkan
- 2) Data skunder

Data yang diperoleh bukan dari hasil pengamatan langsung. Data ini diperoleh melalui referensi tertentu atau literatur-literatur yang berhubungan dengan perancangan.

3.5.5 Pengujian Hasil Perancangan

Tahap selanjutnya adalah pengujian hasil perancangan unit *cold storage* di Laboratorium Teknik Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara di Jalan Mukhtar Basri N0.3 Medan Sumatera Utara. Pada tahap awal pengujian dilakukan untuk memastikan unit *cold storage* beroperasi sesuai dengan perancangan. Kemudian pengujian yang lainnya adalah melakukan pengukuran temperatur ruangan *cold storage* sesuai spesifikasi yang diinginkan dan menganalisa kinerja mesin pendingin dari sistem *refrigerasi* dari *unit cold storage*.

3.5.6 Analisa Hasil Pengujian dan Kesimpulan

Dalam tahap ini data hasil pengujian diolah untuk mengetahui keberhasilan dari perancangan unit *cold storage* serta untuk mengetahui seberapa optimalnya kinerja dari unit *cold storage* hasil rancangan ini. Kemudian setelah data hasil pengujiannya selesai diolah maka kita dapat mengambil kesimpulan dari hasil perancangan *unit cold storage* ini.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Beban Pendingin Ruangan *Cold Storage*

Pada penelitian ini dilakukan tiga variasi temperatur, yaitu 3°C , 5°C dan 7°C . Untuk ketiga variasi dilakukan percobaan sebanyak 3 kali pada setiap variasi untuk mendapatkan nilai dari entalpi h_1, h_2, h_3 dan h_4 . Adapun langkah atau prosedur untuk pengambilan data penelitian adalah sebagai berikut :

4.1.1 Pengambilan data pada temperatur 3°C , 5°C dan 7°C

Pengambilan suhu menggunakan *Thermometer Infrared* dan sensor suhu yang sudah terpasang pada *cold storage*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1 Pengambilan Data Pada Temperatur (a) 3°C , (b) 5°C dan (c) 7°C

4.1.2 Prosedur pelaksanaan pengujian

Adapun prosedur yang dilakukan pada pengujian *cold storage* adalah sebagai berikut :

1. Menghidupkan sensor digital untuk membaca suhu ruangan *cold storage*



Gambar 4.2 *Reset* sensor digital

2. Pengukuran suhu pipa pada kondensor



Gambar 4.3 Pengukuran suhu pipa kondensor

3. Pengukuran suhu pipa pada evaporator



Gambar 4.4 Pengukuran suhu pipa evaporator

4. Pengukuran suhu beban *cold storage*



Gambar 4.5 Pengukuran suhu beban *cold storage*

4.1.3 Variasi pada temperatur 3°C

Tabel 4.1 Variasi Pada Temperatur 3°C

Pengujian	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)
1	249.9424	67.2525	64.375	251.961
2	250.172	68.4775	62.375	247.386
3	251.165	66.3815	71.565	251.961
Nilai Rata-Rata	250.426	67.3705	66.105	250.436

Dari hasil tabel 4.2 diperoleh nilai rata-rata dari h_1 , h_2 , h_3 dan h_4 sebesar 250.426, 67.3705, 66.105 dan 250.436. data tersebut menjadi referensi untuk menghitung beban pendinginan, laju alir massa *refrigerant*, kapasitas kondensor, laju alir pendingin, dampak refrigrasi.

a. Perhitungan Beban Pendinginan

Tabel 4.2 Perhitungan Beban Pendinginan

Temperatur Ruangan (°C)	Suhu Awal Buah (°C)	Suhu Akhir Buah (°C)
3°	29°	12.5°
5°	29°	13.4°
7°	29°	17.7°

$$Q_p = mC_p\Delta T \quad (1-25)$$

$$= 2 \text{ kg} \times 3517.4 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (29^\circ\text{C} - 12.5^\circ\text{C})$$

$$= 116074 \text{ kJ}$$

b. Laju alir massa *refrigerant*

$$m = \frac{Q_w}{h_2 - h_1} \text{ (kg/s)} \quad (1-26)$$

$$m = \frac{184.331}{67.3705 - 250.426}$$

$$= \frac{184.331}{-183.0555}$$

$$= -1.007 \text{ kg/s}$$

c. Kapasitas kondensor

$$Q_{\text{kond}} = m \times (h_2 - h_3) \quad (1-27)$$

$$= -1.007 \times (67.3705 - 66.105)$$

$$= -1.007 \times (1.2655)$$

$$= -1.2743585$$

d. Laju aliran pendingin

$$Q_{\text{evap}} = m \times (h_1 - h_4) \quad (1-28)$$

$$= -1.007 (250.426 - 250.436)$$

$$= -1.007 (-0.01)$$

$$= 0.01007$$

e. Dampak refrigrasi

$$h_{\text{ref}} = h_1 - h_4 \quad (1-29)$$

$$= 250.426 - 250.436$$

$$= -0.01$$

$$= 18305.55$$

Keterangan :

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

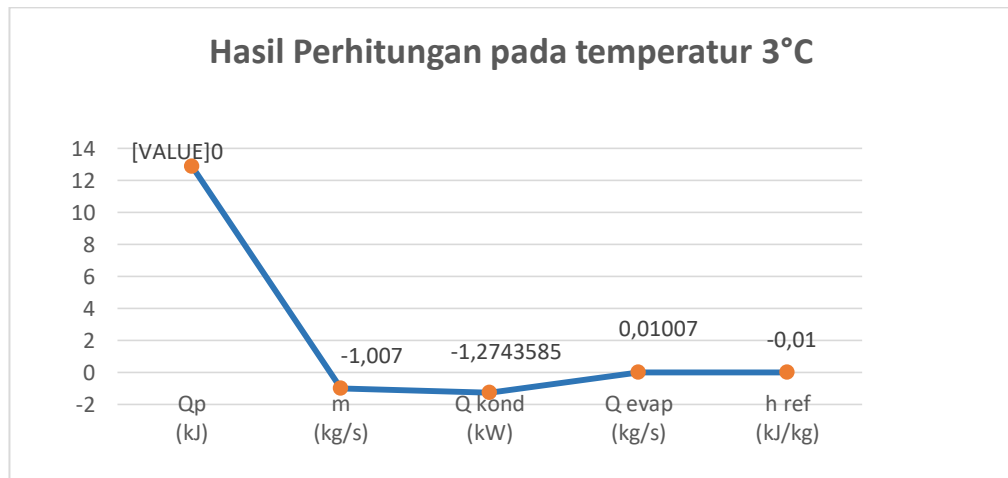
h_3 = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

h_4 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

Adapun hasil yang diperoleh pada perhitungan yang telah dilakukan pada temperatur 3°C adalah

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Pada Temperatur 3°C

Temperatur	Qp (kJ)	m (kg/s)	Q kond (kW)	Q evap (kg/s)	h ref (kJ/kg)
3°	12.870	-1.007	-1.2743585	0.01007	-0.01



Gambar 4.6 Grafik pada temperatur 3°C

4.1.4 Variasi Pada Temperatur 5°

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Pada Temperatur 5°C

PENGUJIAN	h ₁ (kJ/kg)	h ₂ (kJ/kg)	h ₃ (kJ/kg)	h ₄ (kJ/kg)
1	251.685	68.9675	61.407	256.717
2	254.23975	72.43125	69.708	247.5845
3	251.409	69.486	71.441	249.704
Nilai Rata-Rata	252.444	70.294	67.518	251.335

Dari hasil tabel 4.4 diperoleh nilai rata-rata dari h_1 , h_2 , h_3 dan h_4 sebesar 252.444, 70.294, 67.518 dan 251.335. Data tersebut menjadi referensi untuk menghitung beban pendinginan, laju alir massa *refrigerant*, kapasitas kondensor, laju alir pendingin, dampak *refrigerasi*.

a. Perhitungan Beban Pendinginan

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Pada Temperatur 3°C

Temperatur Ruangan (°C)	Suhu Awal Buah (°C)	Suhu Akhir Buah (°C)
3°	29°	12.5°
5°	29°	13.4°
7°	29°	17.7°

$$Q_p = mC_p\Delta T \quad (1-30)$$

$$= 2 \text{ kg} \times 3517.4 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (29^\circ\text{C} - 13.4^\circ\text{C})$$

$$= 109742.88 \text{ kJ}$$

b. Laju alir massa *refrigerant*

$$m = \frac{Q_w}{h_2 - h_1} \text{ (kg/s)} \quad (1-31)$$

$$m = \frac{183.817}{70.294 - 252.444}$$

$$= \frac{183.817}{-182.15}$$

$$= -1.009 \text{ kg/s}$$

c. Kapasitas kondensor

$$Q_{\text{kond}} = m \times (h_2 - h_3) \quad (1-32)$$

$$= -1.009 \times (70.294 - 67.518)$$

$$= -1.009 \times (2.776)$$

$$= -2.800984$$

d. Laju aliran pendingin

$$\begin{aligned} Q_{\text{evap}} &= m \times (h_1 - h_4) & (1-23) \\ &= -1.009 (252.444 - 251.335) \\ &= -1.009 (1.109) \\ &= -1.118981 \end{aligned}$$

e. Dampak refrigrasi

$$\begin{aligned} h_{\text{ref}} &= h_1 - h_4 & (1-34) \\ &= 252.444 - 251.335 \\ &= 1.109 \end{aligned}$$

Keterangan :

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

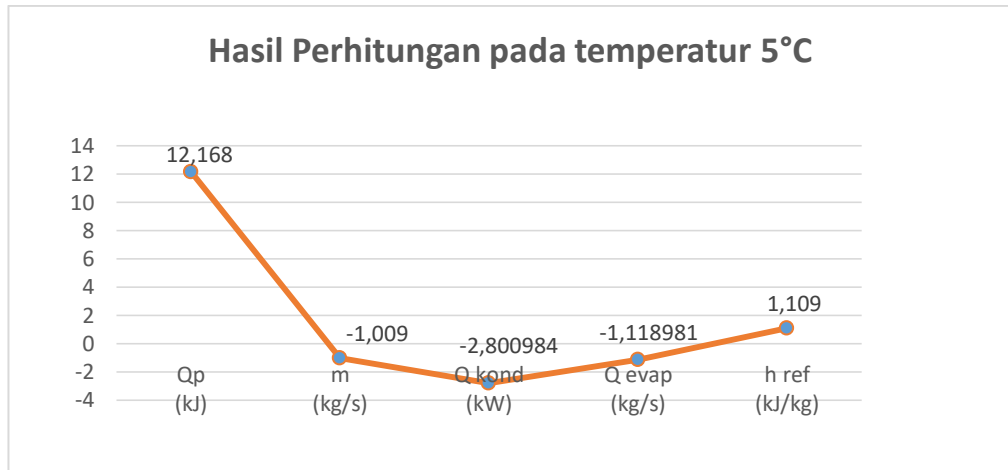
h_3 = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

h_4 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

Adapun hasil yang diperoleh pada perhitungan yang telah dilakukan pada temperatur 5°C adalah

Tabel 4.6 Tabel hasil perhitungan pada temperatur 5°C

Temperatur	Qp (kJ)	m (kg/s)	Q kond (kW)	Q evap (kg/s)	h ref (kJ/kg)
5°	12.168	-1.009	-2.800984	-1.118981	1.109



Gambar 4.7 Grafik pada temperatur 5°C

4.1.5 Variasi Pada Temperatur 7°

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Pada Temperatur 7°C

PENGUJIAN	h ₁ (kJ/kg)	h ₂ (kJ/kg)	h ₃ (kJ/kg)	h ₄ (kJ/kg)
1	246.9685	49.704	59.713	245.55
2	248.825	70.05	72.3075	250.208
3	253.382	73.5	70.575	246.4335
Nilai Rata-Rata	249.725	64.418	67.531	247.397

a. Perhitungan Beban Pendinginan

Tabel 4.8 Perhitungan Beban Pendinginan

Temperatur Ruang (°C)	Suhu Awal Buah (°C)	Suhu Akhir Buah (°C)
3°	29°	12.5°
5°	29°	13.4°
7°	29°	17.7°

$$\begin{aligned}
 Q_p &= mC_p\Delta T & (1-35) \\
 &= 2 \text{ kg} \times 3517.4 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (29^\circ\text{C} - 17.7^\circ\text{C}) \\
 &= 79493.24 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

b. Laju alir massa *refrigerant*

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{Q_w}{h_2 - h_1} \text{ (kg/s)} & (1-36) \\
 m &= \frac{179.86}{64.418 - 249.725} \\
 &= \frac{179.86}{-185.307} \\
 &= -0.970 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

c. Kapasitas kondensor

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kond}} &= m(h_2 - h_3) & (1-37) \\
 &= -0.970 \times (64.418 - 67.531) \\
 &= -0.970 \times (-3.113) \\
 &= 3.01961
 \end{aligned}$$

d. Laju aliran pendingin

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{evap}} &= m(h_1 - h_4) & (1-38) \\
 &= -0.970 (249.725 - 247.397) \\
 &= -0.970 (2.328) \\
 &= -2.25816
 \end{aligned}$$

e. Dampak refrigrasi

$$\begin{aligned}
 h_{\text{ref}} &= h_1 - h_4 & (1-39) \\
 &= 249.725 - 247.397 \\
 &= 2.328
 \end{aligned}$$

Keterangan :

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

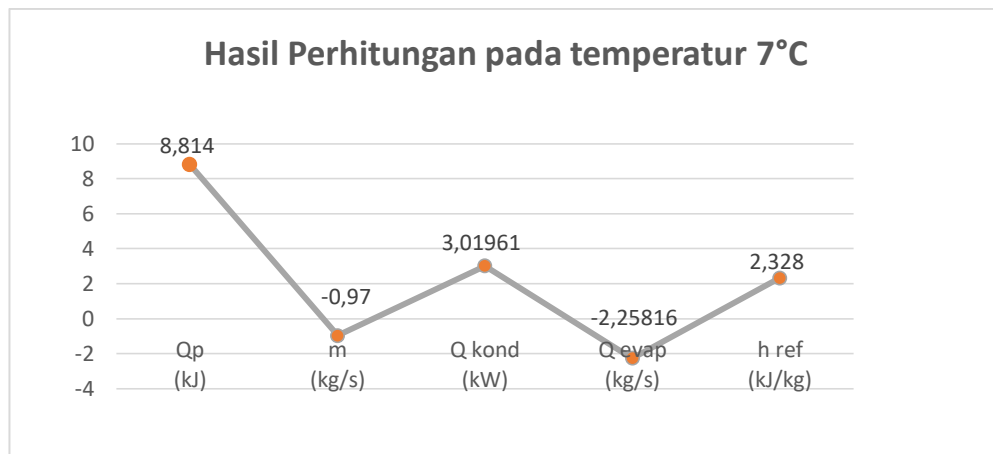
h_3 = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

h_4 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

Adapun hasil yang diperoleh pada perhitungan yang telah dilakukan pada temperatur 7°C adalah

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Pada Temperatur 7°C

Temperatur	Qp (kJ)	m (kg/s)	Q kond (kW)	Q evap (kg/s)	h ref (kJ/kg)
7°	79493.24	-0.970	3.01961	-2.25816	2.328



Gambar 4.8 Grafik Pada Temperatur 7°C

Adapun hasil yang diperoleh pada perhitungan yang telah dilakukan pada temperatur 3°C, 5°C dan 7°C adalah

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Pada Temperatur 3°C, 5°C dan 7°C

Temperatur	Qp (kJ)	m (kg/s)	Q kond (kW)	Q evap (kg/s)	h ref (kJ/kg)
3°	12.870	-1.007	-1.2743585	0.01007	-0.01
5°	12.168	-1.009	-2.800984	-1.118981	1.109
7°	8.814	-0.970	3.01961	-2.25816	2.328

4.2 Perhitungan COP Cold Storage

Data yang digunakan untuk menghitung COP berdasarkan tabel 4.2 untuk menghitung temperatur 3°C, tabel 4.4 untuk temperatur 5°C dan tabel 4.6 untuk temperatur 7°C Adapun hasil yang diperoleh sebagai berikut :

4.2.1 COP pada temperatur 3°C

Table 4.11 Nilai enthalpy Pada Temperatur 3°C

Temperatur	h ₁ (kJ/kg)	h ₂ (kJ/kg)	h ₃ (kJ/kg)	h ₄ (kJ/kg)	h ₅ (kJ/kg)
3°	250.426	67.3705	67.3705	66.105	250.436

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} && (1-40) \\ &= \frac{250.426 - 250.436}{67.3705 - 250.426} \\ &= \frac{-0.01}{-183.0555} \\ &= 0.00005462824 \end{aligned}$$

Keterangan :

h₁ = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h₂ = entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

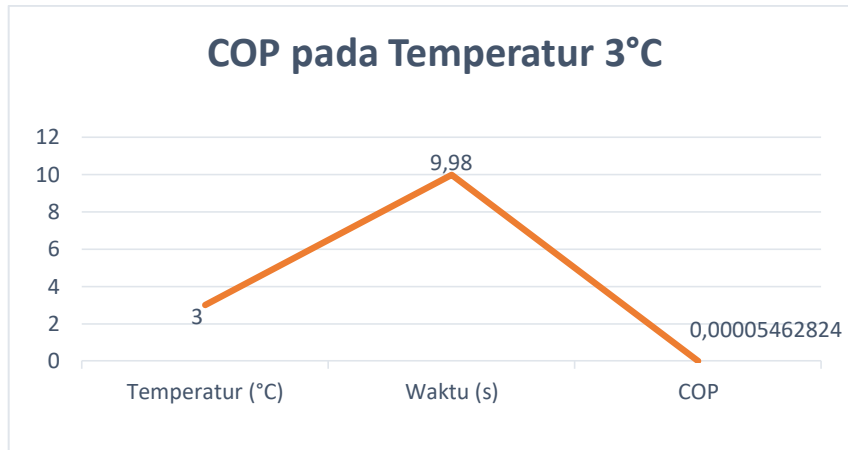
h₃ = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

h₄ = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

Data analisis di atas dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.12 Data Analisis Pada Temperatur 3°C

Temperatur (°C)	Waktu (s)	COP
3	9,98	0.00005462824



Gambar 4.10 Grafik COP pada temperatur 3°C

4.2.2 COP pada temperatur 5°C

Table 4.13 Nilai enthalpy Pada Temperatur 5°C

Temperatur	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)
5°	252.444	70.294	67.518	251.335

$$\begin{aligned}
 \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} && (1-41) \\
 &= \frac{249.725 - 247.397}{64.418 - 249.725} \\
 &= \frac{2.328}{-185.307} \\
 &= -0.0125629361
 \end{aligned}$$

Keterangan :

h_1 = entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_2 = entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

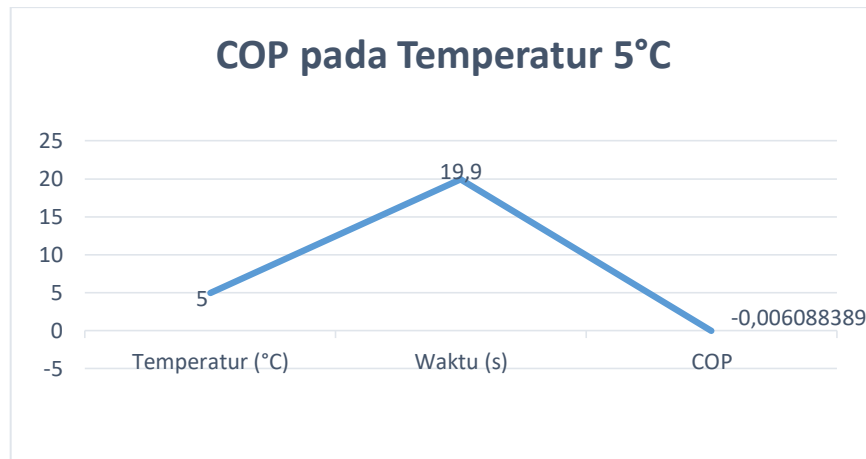
h_3 = entalpi keluar kondensor (kJ/kg)

h_4 = entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

Data analisis di atas dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.14 Data Analisis Pada Temperatur 5°C

Temperatur (°C)	Waktu (s)	COP
5	19.90	- 0.00608838869



Gambar 4.11 Grafik COP pada temperatur 5°C

4.2.3 COP pada temperatur 7°C

Tabel 4.15 Nilai enthalpy Pada Temperatur 7°C

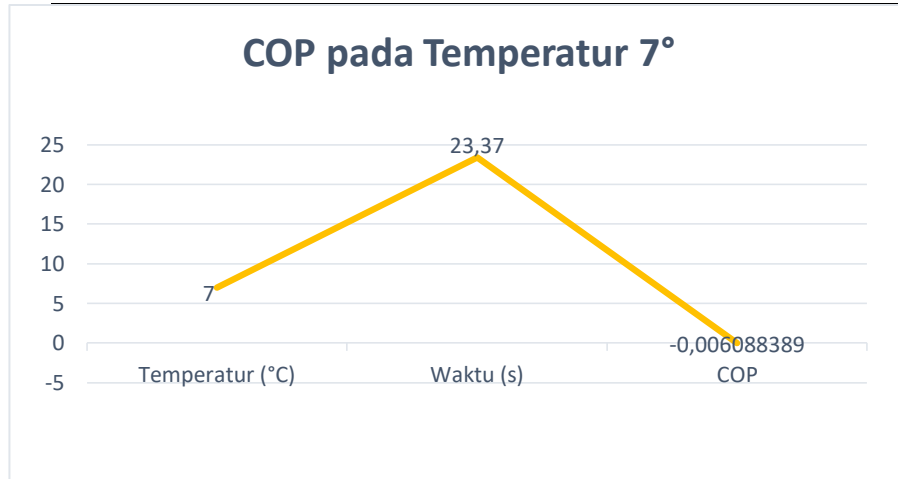
Temperatur	h ₁ (kJ/kg)	h ₂ (kJ/kg)	h ₃ (kJ/kg)	h ₄ (kJ/kg)
7°	249.725	64.418	67.518	247.397

$$\begin{aligned}
 \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} && (1-42) \\
 &= \frac{252.444 - 251.335}{70.294 - 252.444} \\
 &= \frac{1.109}{-182.15} \\
 &= -0.00608838869
 \end{aligned}$$

Data analisis di atas dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.16 Data Analisis Pada Temperatur 7°C

Temperatur (°C)	Waktu (s)	COP
7	23.37	- 0.00608838869



Gambar 4.12 Grafik COP pada temperatur 7°C

Dari ketiga variasi temperatur di atas, dapat dapat dilihat pada tabel 4.12

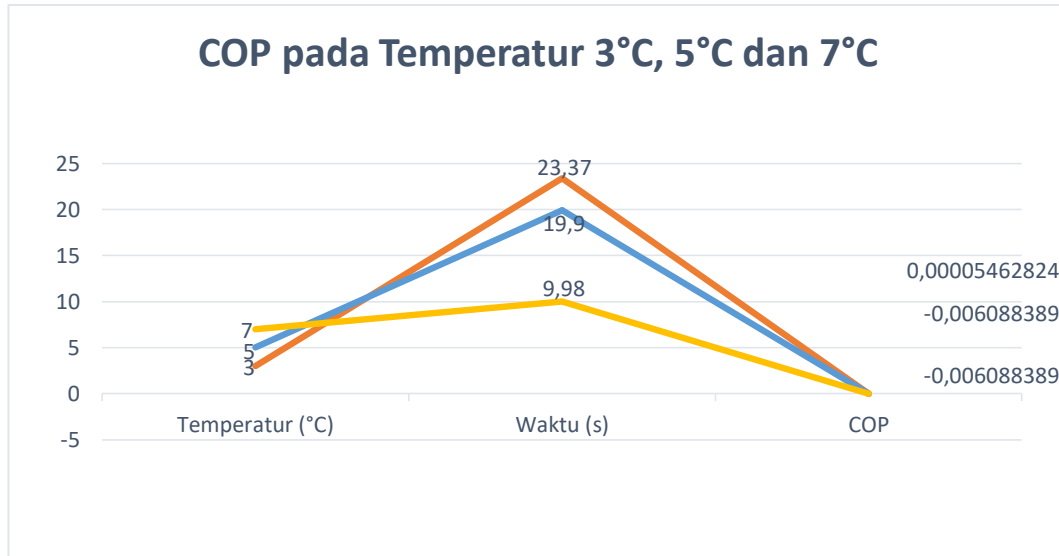
Tabel 4.17 Variasi Pada Temperatur 3°C, 5°C dan 7°C

Temperatur (°C)	Waktu (s)	COP
3°	23.37	0.00005462824
5°	19.90	- 0.00608838869
7°	9.98	- 0.00608838869

Dari ketiga variasi temperatur di atas, dapat dapat dilihat pada tabel 4.16

Tabel 4.18 Variasi Pada Temperatur 3°C, 5°C dan 7°C

Temperatur (°C)	Waktu (s)	COP
3°	23.37	0.00005462824
5°	19.90	- 0.00608838869
7°	9.98	- 0.00608838869



Gambar 4.13 Grafik COP pada temperatur 3°C, 5°C dan 7°C

Grafik diatas menunjukkan bahwa temperatur 3°C berada di posisi paling atas dan waktu yang paling lama yaitu 23.37 detik dengan nilai COP 0.00005462824, sedangkan temperatur 5°C berada di antara temperatur 3°C dan 7°C pada waktu 19.9 detik dengan nilai COP -0.00608838869 dan waktu pada temperatur 7°C adalah waktu yang paling cepat yaitu 9.98 detik dengan nilai COP sama dengan nilai COP pada temperatur 5°C yaitu -0.00608838869. Disini menunjukkan bahwa semakin rendah temperatur, maka semakin lama waktu yang dicapai dan nilai COP nya juga semakin naik. Kemudian semakin tinggi temperatur maka semakin cepat waktu yang dicapai dan nilai COP nya juga akan semakin rendah.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil analisis kebutuhan pendingin *Cold Storage* adalah sebagai berikut :

1. Semakin rendah temperature beban pendingin, maka beban pendinginnya juga semakin kecil. Hal ini dapat disimpulkan dari hasil analisa data di Bab 4, secara berturut untuk temperatur 3°C, 5°C dan 7°C. Adapun hasil beban pendingin secara berturut adalah 12.870 kJ, 12.168 kJ dan 8.814 kJ
2. Semakin kecil temperatur maka nilai COP nya semakin naik, tetapi semakin besar temperatur COP nya maka semakin menurun. Hal ini terbukti dari hasil yang diperoleh pada analisa data pada temperatur 3°C, 5°C dan 7°C. hasil COP nya secara berturut adalah 0.00005462824, - 0.00608838869 dan - 0.00608838869.

5.2 Saran

Peneliti berharap pengujian analisis *Cold Storage* ini dapat dikembangkan dan dikaji ulang yang lebih efektif dan lebih efisien di generasi selanjutnya dengan pengujian dan sistem yang lebih baik lagi.

DARTAR PUSTAKA

- 1Amrullah D. (2017). ANALISA KINERJA MESIN REFRIGERASI RUMAH TANGGA DENGAN VARIASI REFRIGERAN. *Jurnal Teknologi Terapan | Volume 3, Nomor 2, September 2017*, 7-11.
- ANDIE MURTONO, P. N. (2015). Analisis beban pendingin cold storage PT. Sari Tuna Makmur Aertembaga Bitung, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan Tangkap 2(2): 89-93, Desember 2015*, 89-93.
- Anggara Trisna Nugraha, M. Z. (2021). Analisis Optimalisasi Manajemen Daya Chiller Untuk Rencana AC. *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi*, 35-45.
- Anwar Ilmar Ramadhan. E. (2017). Perancangan Cold Storage untuk Produk Kedelai dengan Kapasitas 2410. *JURNAL TEKNOLOGI TERPADU VOL. 5 NO. 2 OKTOBER 2017*, 146-150.
- Azman Hussina, L. C. (2019). Pengendalian Konsumsi Energi Chiller Berpendingin Udara dari Penggunaan Sistem . *Jurnal Kejuruteraan 32(1) 2020: 131-139*, 131-139.
- Baheramsyah, K. A. (2010). Studi Eksperimental Sistem Kondensasi Uap Hasil. *Jurnal Bisnis dan Teknologi, vol. 9 (2).*, 1-6.
- C A Siregar, A. M. (2021). Efek Penambahan APK Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>, 01-07.
- Canny Cado Dwi Putri Ayu, B. U. (2017). Perancangan Unit Mesin Pendingin (Cold Storage) untuk Produk Karkas Sapi Kapasitas 25 Ton dengan Kombinasi Refrigerasi Kompresi Uap, Refrigerasi Absorpsi, dan Flat Plate Solar Collector di Kabupaten Pamekasan-Madura. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 2 (2017)*, 2337-3520, 305-309.
- David Hubert, E. A. (2016). PERANCANGAN KONDENSOR UNTUK FAST CHILLER DENGAN KAPASITAS 10 LITER MAKANAN CAIR. *TA No.02011143/MES/2016*, 1-4.
- Edi Purwanto, K. R. (2007). PENGARUH JENIS REFRIGERANT DAN BEBAN PENDINGINAN TERHADAP KEMAMPUAN KERJA MESIN PENDINGIN. *Galuh Renggani Willis. Penggunaan*, 11-16.
- Haris Isyanto, D. H. (2017). MONITORING SISTEM REFRIGERASI PADA COLD STORAGE BERBASIS SCADA. <urnal.umj.ac.id/index.php/semnastek>, 1-9.
- Haris Ramadan, A. C. (2018). UJI PRESTASI REFRIGERANT R22 PADA MESIN PENDINGIN KOMPRESI UAP DENGAN METODE PENGUJIAN AKTUAL DAN SIMULASI. *JURNAL KONVERSI ENERGI DAN MANUFaktur UNJ, Edisi Terbit II-Oktober 2018*, 74-81.
- Hartomo, K. D. (2006). IMPLEMENTASI METODE INTERPOLASI LINEAR UNTUK PEMBESARAN RESOLUSI CITRA. *TEKNOIN, Vol. 11, No.3, September 2006*, 219-232, 219-232.

- J.P.HOLMAN. (1991). *PERPINDAHAN KALOR*. JAKARTA: ERLANGGA.
- Kemas Ridhuan, A. R. (2004). ANALISA KEBUTUHAN BEBAN PENDINGIN DAN. *TURBO ISSN 2301-6663 Vol. 2 NO. 2*, 7-12.
- Putra, A. S. (2016). Studi Eksperimen Pengaruh Dimensi Pipa. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2*, 918-923.
- Rahmat, M. R. (2015). Perancangan Cold Storage Untuk Produk Reagen. *jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol 3, No.1 Februari 2015 Universitas islam 45 Bekasi*, 16-32.
- Safri Gunawan, H. H. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif. *Vol. 3, No. 1, Maret 2020*, 38 – 47.
- Selan, R. N. (2022). Desain Cold Storage untuk Pembekuan Ikan Laut Menggunakan. <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>, 71-76.
- Setiawan, H. (2014). PENGARUH CHILLER PENDINGIN PADA KEKERASAN PRODUK COR PROPELER ALUMUNIUM. *Jurnal SIMETRIS, Vol 5 No 2 Nopember 2014*, 105-113.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg # K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

R-22

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg [#] /K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg [#] K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg [#] /K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg # K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg·K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg # K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

R-22

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg # K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

R-22

R-22

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg [#] /K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg # K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

R-22

R-22

TABLE A-7 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid–Vapor): Temperature Table







Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg [#] /K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
−60	0.3749	0.6833	0.5370	−21.57	203.67	−21.55	245.35	223.81	−0.0964	1.0547	−60
−50	0.6451	0.6966	0.3239	−10.89	207.70	−10.85	239.44	228.60	−0.0474	1.0256	−50
−45	0.8290	0.7037	0.2564	−5.50	209.70	−5.44	236.39	230.95	−0.0235	1.0126	−45
−40	1.0522	0.7109	0.2052	−0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005	−40
−36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914	−36
−32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828	−32
−30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787	−30
−28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746	−28
−26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707	−26
−22	2.2698	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631	−22
−20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595	−20
−18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559	−18
−16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525	−16
−14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490	−14
−12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457	−12
−10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424	−10
−8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392	−8
−6	4.0777	0.7683	0.0571	37.83	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361	−6
−4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330	−4
−2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300	−2
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271	0
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241	2
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213	4
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184	6
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157	8
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129	10
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102	12
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048	16
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996	20
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944	24
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893	28
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842	32
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790	36
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738	40
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672	45
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603	50
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455	60

Source: Tables A-7 through A-9 are calculated based on equations from A. Kamei and S. W. Beyerlein, "A Fundamental Equation for Chlorodifluoromethane (R-22)," *Fluid Phase Equilibria*, Vol. 80, No. 11, 1992, pp. 71–86.

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

ANALISIS RUANG PENDINGIN COLD STORAGE MINIMALIS TERHADAP TEMPERATUR RUANG PENDINGIN

Nama : Muhammad Husein Lubis
NPM : 1707230038
Dosen Pembimbing : Riadini Wanty Lubis S.T., M.T

No	Hari Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	19 Agustus 2022	Asistensi & Diskusi BAB IV & Analisa Data	
2.	03 November 2022	Asistensi & Diskusi BAB IV & Analisa Data lanjutan	
3.	10 Januari 2023	Asistensi Korelasi tujuan Penelitian & Hasil Analisa Data	
4.	20 Februari 2023	Asistensi Korelasi Analisa Data & Kesesuaian Pengujian	
5.	01 Maret 2023	Asistensi final tulis Akhir	
6.	15 Mei 2023	Acc. Sidang Skripsi 15/06/2023	



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [f umsumedan](#) [i umsumedan](#) [t umsumedan](#) [u umsumedan](#)

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Sila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor :281.3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 08 Maret 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : MUHAMMAD HUSEIN LUBIS
Npm : 1707230038
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 12 (DUA BELAS)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS RUANG PENDINGIN COLD STORAGE .MINIMALIS
TERHADAP TEMPERATUR RUANG PENDINGIN .

Pembimbing : RIADINI WANTY LUBIS ST. MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin.
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan, 14 Syaban 1444 H
8 Maret 2023 M

Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202




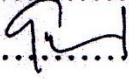





**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2022 – 2023**

Peserta seminar

Nama : Muhammad Husein Lubis

NPM : 1707230038

Judul Tugas Akhir : Analisis Ruang Pendingin Cold Storage Minimalis Terhadap Temperatur Ruang Pendingin

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I	: Riadini Wanty Lubis, ST, MT	:	
Pembanding – I	: Chandra A Siregar, ST, MT	:	
Pembanding – H	: H. Muharnif, ST, M.Sc	:
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1707230038	MUHAMMAD HUSEIN LUBIS	
2	1707230004	MUHAMMAD RISKI	
3	1907230041	M. Rizki Hidayat Sirait	
4	1907230107	M. Rizki Husni	
5	1907230049	Banu Prasanto	
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 14 Ramadhan 1444 H
05 April 2023 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Muhammad Husein Lubis
NPM : 1707230038
Judul Tugas Akhir : Analisis Ruang Pendingin Cold Storage Minimalis Terhadap Temperatur Ruang Pendingin

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembimbing – I : Riadini Wanty Lubis, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ②. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

lihat buku tugas akhir
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....

Medan, 14 Ramadhan 1444 H
05 April 2023 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I

Handwritten signature of Chandra A Siregar

Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Muhammad Husein Lubis
NPM : 1707230038
Judul Tugas Akhir : Analisis Ruang Pendingin Cold Storage Minimalis Terhadap Temperatur Ruang Pendingin

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembimbing – I : Riadini Wanty Lubis, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ② Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
lihat buchu scraps
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 14 Ramadhan 1444 H
05 April 2023 M

Diketahui
Ketua Prodi T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II

H. Muharnif, ST, M.Sc

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : Muhammad Husein Lubis
2. Tempat dan Tanggal Lahir : Hutarimbaru, 18 Agustus 1997
3. Jenis Kelamin : Laki-Laki
4. Agama : Islam
5. Status Pernikahan : Belum Menikah
6. Warga Negara : Indonesia
7. Alamat KTP : Hutarimbaru SM
8. Nomor Telepon/HP : 082283103334
9. Email : huseinlubis171@gmail.com
10. KodePos : 22994

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD EGERI 213 HUTARIMBARU : 2004 - 2010
2. SMP NEGERI 4 KOTANOPAN : 2010 - 2013
3. SMK NEGERI 2 KOTANOPAN : 2013 – 2016
4. UNIVERSITAS MUHAMMADIYA SUMATERA UTARA : 2017 - 2023

C. PENGALAMAN KERJA

1. *Pelatihan Kerja Berbasis Kompetensi Blk-Uptd Madina, Panyabungan*
04 Agustus 2016-08 September 2016
2. Bekerja Di Teknisi Di Bengkel Linda Sari , Panyabungan
11 Januari 2017-20 Mei 2017
3. *Teknisi Di Bengkel Pt Karya Muda , Panyabungan*
01 Agustus 2017 – 20 Desember 2017
4. *Quality Control Di Executive Car And Care , Medan*
26 Februari 2018 – 05 November 2018
5. *Teknisi Coldroom Di Cv Sejuk Jaya , Medan*
09 November 2019 – 17 Mei 2022