



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI DENGAN *SINGLE
CONDENSING UNIT* DAN *DOUBLE EVAPORATOR* DENGAN
VARIASI PUTARAN MOTOR FAN KONDENSER**

SKRIPSI

**LUKY AULIA ABADI
0806368673**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI DENGAN *SINGLE
CONDENSING UNIT* DAN *DOUBLE EVAPORATOR* DENGAN
VARIASI PUTARAN MOTOR FAN KONDENSER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**LUKY AULIA ABADI
0806368673**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI DENGAN *SINGLE CONDENSING UNIT* DAN *DOUBLE EVAPORATOR* DENGAN VARIASI PUTARAN MOTOR FAN KONDENSER

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : Luky Aulia Abadi

NPM : 0806368673

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Luky Aulia Abadi
NPM : 0806368673
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengujian sistem refrigerasi dengan *single condensing unit* dan *double evaporator* dengan variasi putaran motor fan kondenser.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. -Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng (.....)
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid (.....)
Penguji : Ir. Rusdy Malin M.ME (.....)
Penguji : Ir. Aries Subiantoro M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok (Universitas Indonesia)

Tanggal : 10 Januari 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan inayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada saya untuk tetap semangat.
2. Dr. –Ing, Ir. Nasrudin, M.Eng, atas segala waktu, tenaga dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan.
3. Ir. Darwin Rio Budi Syaka, M.T dan Ir. Senoadi, M.T yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalamannya dalam pembuatan alat pengujian skripsi.
4. Teman – teman lab pendingin yang banyak memberikan bantuan, saran dan motivasinya dalam mengerjakan skripsi.
5. Kuncoro Sidi, Fajri Hidayat, Adhi Wakitajati, Raksa Aulia, Maqbul Supena dan Fredy Satriyo yang banyak memberikan bantuan, saran dan motivasinya dalam mengerjakan skripsi.
6. Teman – teman teknik mesin ekstensi 2008 yang telah berkontribusi membantu dan mendukung skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan untuk membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 10 Januari 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Luky Aulia Abadi
NPM : 0806368673
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI DENGAN SINGLE CONDENSING UNIT DAN DOUBLE EVAPORATOR DENGAN VARIASI PUTARAN MOTOR FAN KONDENSER

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok (Universitas Indonesia)

Pada tanggal : 10 Januari 2011

Yang menyatakan

(Luky Aulia Abadi)

ABSTRAK

Nama : Luky Aulia Abadi
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : **Pengujian Sistem Refrigerasi Dengan Single Condensing Unit Dan Double Evaporator Dengan Variasi Frekuensi Putaran Motor Kondenser**

Pada saat ini mesin pendingin telah menjadi salah satu alat yang dapat menunjang kinerja manusia. Akibatnya mesin pendingin tergolong mesin yang berkembang dengan pesat. Efisiensi merupakan hal yang sangat penting dalam perancangan suatu sistem. Bagaimana dengan jumlah energi masuk sekecil mungkin dan didapat jumlah energi keluaran yang lebih besar. Dalam rangka meningkatkan efisiensi kerja mesin pendingin, dewasa ini digunakanlah sistim pendingin dengan pengaturan aliran refrigerant, dalam unit outdoor, yang putaran motor kompresornya diatur melalui inverter. Motor fan kondenser yang bekerja secara terus – menerus dengan daya yang berubah – ubah sesuai dengan berubahnya beban akan lebih efisien dari pada motor fan kondenser yang bekerja secara start– stop.

Daya yang terukur oleh Power Quality Analyser ialah pada frekuensi 60 Hz sebesar 1.032 kW, pada frekuensi 50 Hz sebesar 1.035 kW dan pada frekuensi 40 Hz sebesar 1.074.

Kata Kunci : Efisiensi, Inverter, Putaran Motor

ABSTRACT

Name : Luky Aulia Abadi
Study Programe: Mechanical Engineering
Title : **Testing of Refrigeration System with Single Condensing Unit and Double Evaporator with Condenser Motor Speed Variation**

At this time the refrigeration machine has to be one tool that can support human performance. As a result, the refrigeration machine that evolved quite rapidly. Efficiency is very important in designing a system. Amount of energy into as small as possible and get the amount of energy output is greater. In order to improve work efficiency refrigeration, cooling system is used today by setting the flow of refrigerant, the outdoor unit, the motor rotation condenser arranged through the inverter. Motor condenser with work continues with the change of power according to changing load will be more efficient than a condenser motor start-stop work. Motor condenser with the start-stop will reduce motor efficiency. Power of system measured by Power Quality Analyser are: at frequency 60 Hz is 1.032 kW, at frequency 50 Hz is 1.035 kW and at frequency 40 Hz is 1.074 kW.

Key Words : Efficiency, Inverter, Motor Ration

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
2. DASAR TEORI.....	4
2.1 Sistem Pendingin.....	4
2.1.1 Penjelasan Mengenai Sistem Pendingin.....	4
2.1.2 Komponen Utama Sistem Pendingin.....	6
2.1.3 Aksesoris Dalam Suatu Sistem Pendingin	11
2.1.4 Refrigerant dan Piping	19
2.1.5 Persamaan Dalam Sistem refrigerasi.....	20
2.2 Cold Storage	23
3. SISTEM PENDINGIN DAN COLD STORAGE.....	24
3.1 Sistem Pendingin yang Telah Dibuat	24
3.2 Sistem Elektrik dan Kontrol	28
3.3 Komponen dan peralatan tambahan	28
3.4 Akuisisi Data	31
4. PERHITUNGAN SISTEM PENDINGIN.....	33
4.1 Variasi Kondisi Heater	34
4.2 Analisa Data sistem Pendingin.....	34
4.3 Variasi Putaran Motor Fan Kondenser	39
5. PENUTUP.....	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran	44
DAFTAR REFERENSI.....	45

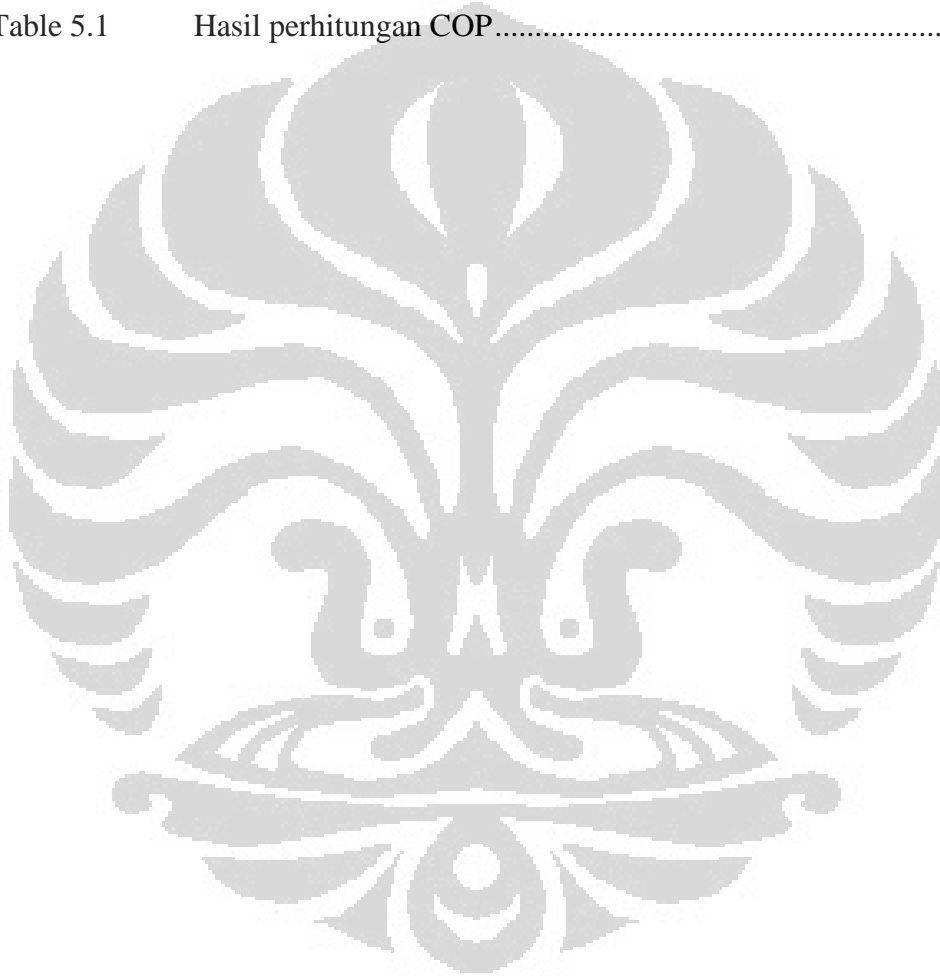
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem refrigerasi standar	4
Gambar 2.2	Diagram p-h dan t-s sistem refrigerasi standar	5
Gambar 2.3	Diagram t-s sistem refrigerasi aktual	6
Gambar 2.4	Jenis-jenis kompresor	7
Gambar 2.5	Klasifikasi Kompresor.....	7
Gambar 2.6	prinsip kerja dari reciprocating compressor	8
Gambar 2.7	Ilustrasi kondenser secara sederhana	8
Gambar 2.8	Instalasi kondenser yang biasa dipergunakan dengan Fan	9
Gambar 2.9	Evaporator	9
Gambar 2.10	Ilustrasi komponen-komponen pada ekspansion device (TXV) ...	10
Gambar 2.11	Muaian sensing bulb yang mempengaruhi bukaan katup	11
Gambar 2.12	Letak orifices pada TXV	11
Gambar 2.13	Contoh oil separator yang dilngkapi sight glass	12
Gambar 2.14	Skema instalasi filter drier pada suatu sistem refrigerasi	12
Gambar 2.15	Ilustrasi kerja liquid receiver	13
Gambar 2.16	Ilustrasi kerja oil separator	13
Gambar 2.17	Ilustrasi kerja pada Check Valve	14
Gambar 2.18	Kumparan magnetic	14
Gambar 2.19	Ilustrasi kerja solenoid valve	15
Gambar 2.20	Contoh solenoid valve untuk aliran 2 arah.....	15
Gambar 2.21	Contoh sight glass.....	16
Gambar 2.22	Komponen pada hand valve	16
Gambar 2.23	Contoh single pressure switch	17
Gambar 2.24	Contoh dual pressure switch.....	17
Gambar 2.25	Bourdon Pressure gage	17
Gambar 2.26	Ilustrasi kerja EVR	18
Gambar 2.27	Ilustrasi kerja termocouple	18
Gambar 2.28	Tabel jenis-jenis termocouple	19
Gambar 2.29	Tabel refrigerant yang biasa dipergunakan	19
Gambar 2.30	Tabel pipa tembaga yang biasa dipergunakan	20
Gambar 2.31	Sistem refrigerasi standar dengan diagram T-s	21

Gambar 2.32	Bentuk fisik dan skema kimiawi Polyurethane	22
Gambar 3.1	Skema sistem refrigerasi yang telah dibuat	23
Gambar 3.2	Komponen-komponen pada cold storage	26
Gambar 3.3	Sistem kelistrikan yang telah dibuat	27
Gambar 3.4	Charging hose	27
Gambar 3.5	Timbangan Digital	28
Gambar 3.6	Vacuum pump	28
Gambar 3.7	Acetylene torch	29
Gambar 3.8	Service Valve	29
Gambar 3.9	Inverter	29
Gambar 3.10	PQA	30
Gambar 3.11	Heater	30
Gambar 3.12	DAQ National Instruments	30
Gambar 3.13	Circulating Thermal Bath	31
Gambar 4.1	Grafik perbandingan temperatur kabin -4 °C dengan variasi beban	33
Gambar 4.2	Grafik perbandingan temperatur kabin 5 °C dengan variasi beban	34
Gambar 4.3	P-h diagram pada variasi I=0.5 A.....	35
Gambar 4.4	P-h diagram pada variasi I=1 A.....	36
Gambar 4.5	P-h diagram pada variasi I=1.5 A.....	37
Gambar 4.6	P-h diagram pada variasi I=2 A	38
Gambar 4.7	Grafik perbandingan temp kondenser dengan variasi putaran motor	40
Gambar 4.8	Grafik perbandingan temp kabin -4 °C dengan variasi putaran motor	40
Gambar 4.9	Grafik perbandingan temp kabin 5 °C dengan variasi putaran motor	41
Gambar 4.10	Grafik perbandingan arus listrik dengan variasi frekuensi.....	41
Gambar 4.11	Grafik perbandingan tegangan listrik dengan variasi frekuensi	42
Gambar 4.12	Grafik perbandingan Daya sistem dengan variasi frekuensi	42

DAFTAR TABEL

Table 4.1	Hasil pengukuran variasi $I = 0.5 A$	35
Table 4.2	Hasil pengukuran variasi $I = 1 A$	36
Table 4.3	Hasil pengukuran variasi $I = 1.5 A$	37
Table 4.4	Hasil pengukuran variasi $I = 2 A$	38
Table 4.5	Hasil pengukuran laju aliran massa.....	39
Table 4.6	Hasil perhitungan COP.....	39
Table 5.1	Hasil perhitungan COP.....	43



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik refrigerasi (pendingin) dan pengkondisian udara saling berhubungan satu sama lain, akan tetapi memiliki lingkup yang berbeda dalam pembahasannya. Teknik refrigerasi banyak digunakan industri untuk pemrosesan, pengawetan, dan penyerapan kalor, sedangkan pengkondisian udara bukan hanya sebagai pendingin tetapi perlakuan terhadap temperatur, kelembapan udara, kebersihan hingga mencapai kondisi yang diinginkan dalam suatu ruangan yang menjadi parameter kenyamanan suatu ruangan bagi penghuninya. Aplikasi yang memanfaatkan kedua teknik tersebut, teknik pendingin dan pengkondisian udara salah satunya yaitu ruang penyimpanan bertemperatur rendah (*cold storage*).

Cold storage digunakan sebagai penyimpanan makanan (buah, daging, sayur-sayuran, es krim dll) menjaga kualitas tetap baik, tetap dingin sewaktu dilakukan pendistribusian makanan tersebut sehingga tahan untuk beberapa bulan, akan tetapi ruangan yang digunakan untuk setiap jenis bahan yang akan disimpan memiliki perbedaan temperatur penyimpanan, karena perbedaan kondisi dari bahan-bahan tersebut. Beban pendinginan yang berubah-ubah mengikuti dari kondisi lingkungan dan jumlah beban yang ada di dalam *cold storage*, membuat kapasitas pendinginan dari suatu mesin pendingin menjadi sia-sia. Untuk meningkatkan efisiensi kerja mesin pendingin maka akan dibahas mengenai pengujian sistem refrigerasi dengan *single condensing unit* dan *double evaporator* dengan variasi putaran motor kondenser.

1.2 Perumusan Masalah

Mesin pendingin yang dipakai, menggunakan satu kondensing unit dan multi evaporator yang dipasang secara paralel antar evaporator. Temperatur masing-masing *cold storage* yang diinginkan pada saat pengujian ialah 5 °C untuk sisi tekanan tinggi dan -4 °C pada sisi tekanan rendah.

1.3 Tujuan Penulisan

Sistem ini dibuat guna membuktikan seberapa jauh nilai efisiensi dari suatu cold storage dapat ditingkatkan melalui dengan variasi frekuensi, untuk mengetahui kapasitas pendinginan pada tiap frekuensi.

1.4 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Pada skripsi ini hanya menggunakan kompresor 220 Volt dengan kapasitas 1 Pk.
2. Refrigeran yang digunakan R-22.
3. Pengujian performa sistem dilakukan pada variasi frekuensi motor fan Kondenser.

1.5 Metodologi

Dalam pengerjaan laporan ini dilakukan pengumpulan data dengan menggunakan

1. Studi Literatur

Digunakan referensi dari buku dan penelusuran internet sebagai informasi tambahan mengenai dasar sistem refrigerasi dan perhitungan yang ada, serta informasi yang mendukung untuk pengolahan data lapangan.

2. Software Ref Prop

Software ini digunakan untuk menemukan kondisi pada tiap titik (*state point*) untuk membuat suatu P-h Diagram.

3. Perbaikan Alat Uji

Pada tahap ini meliputi perbaikan, penggantian dan penambahan alat uji. Hal ini dilakukan untuk mengembalikan dan meningkatkan kondisi alat, sehingga pengujian dapat dilakukan dan data yang diperoleh lebih akurat, perbaikan dilakukan penambahan alat ukur temperatur .

4. Verifikasi Alat Ukur Uji

Verifikasi adalah membandingkan alat ukur yang akan kita gunakan dengan alat ukur standar, sebelum pengujian dilakukan verifikasi terhadap alat ukur temperatur dengan tujuan data yang dihasilkan nanti lebih akurat.

5. Pengecekan Sistem

Setelah semua alat terpasang pada sistem, proses selanjutnya adalah pengecekan yang meliputi tes kebocoran pada tekanan tinggi dan tekanan vakum, pengetesan sistem kelistrikan dan pembacaan alat ukur.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I mengenai Pendahuluan yang berisikan latar belakang pembuatan skripsi disertai dengan pemusatan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah dan metodologi dalam pengerjaan skripsi.

Bab II mengenai Dasar teori yang diperlukan guna mendukung perhitungan dan penjelasan yang disampaikan.

Bab III mengenai Penjelasan per komponen yang dipergunakan serta instalasi system pendinginan dan juga system elektrik yang dipergunakan.

Bab IV mengenai Perhitungan dan analisa pada system pendingin yang telah dibuat.

Bab V Kesimpulan dan Saran yang didapat dari hasil pembahasan yang dijabarkan dalam bab sebelumnya.

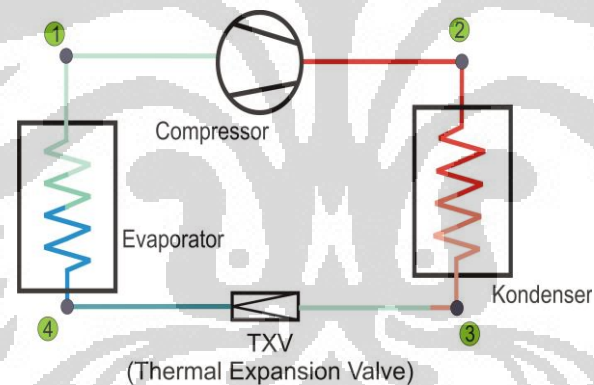
BAB 2

DASAR TEORI

3.1 Sistem Pendingin

3.1.1 Penjelasan Mengenai Sistem Pendingin

Sistem refrigerasi yang biasa digunakan yaitu dengan kompresi uap, karena fluida berubah fase menjadi uap setelah dikompresi dan dikondensasikan menjadi cairan kemudian cairan kembali diuapkan agar dapat dikompresi, hal ini terjadi secara terus-menerus sehingga biasa disebut dengan siklus refrigerasi kompresi uap. Seperti yang telah dijelaskan bahwa terdapat fluida yang akan diuapkan dan dicairkan, dalam sistem refrigerasi fluida yang bekerja dalam sistem ini disebut dengan refrigeran. Pada *Gambar 2.1* menggambarkan aliran kerja dari sebuah sistem refrigerasi standar dan berikut adalah jalannya refrigeran dalam sistem tersebut.

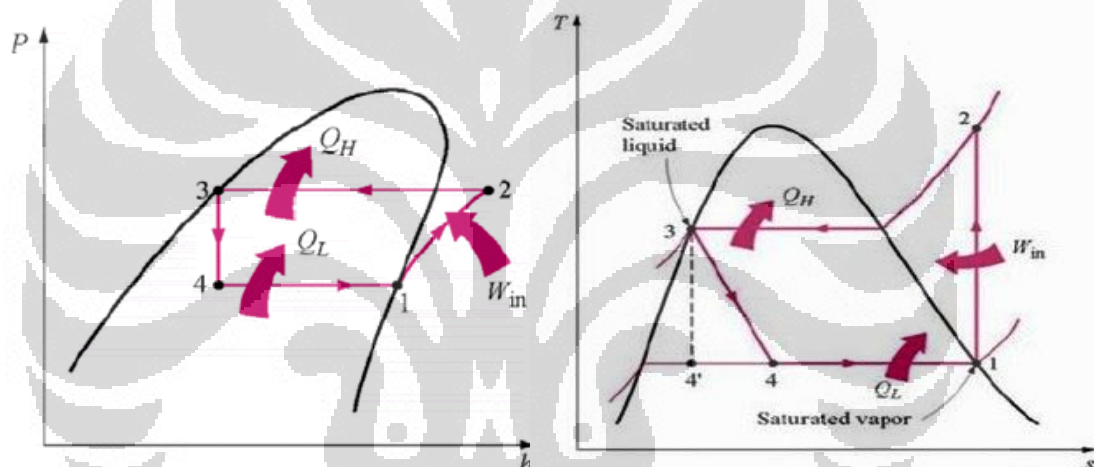


Gambar 2.1. Sistem Refrigerasi Standar

Dimulai dari titik 1, refrigeran memasuki kompresor dalam bentuk gas untuk dikompresi sehingga temperatur dan tekanan refrigeran bertambah dan terjadi secara isentropik kemudian memasuki kondenser untuk diembunkan. Pada kondenser (titik 2), refrigeran berubah fase menjadi cairan karena refrigeran melepas kalor ke lingkungan sehingga temperatur menurun dikenal dengan efek

pemanasan. Refrigeran mengalir menuju Expansion Device (titik 3) sehingga tekanan menurun tanpa ada perubahan entalpi, memasuki evaporator (titik 4). Di bagian ini, refrigeran mengambil kalor dari lingkungan, sehingga temperatur lingkungan menurun, dikenal dengan efek pendinginan dan refrigeran berubah fase menjadi uap kemudian gas, dan kembali mengalami kompresi.

Sistem refrigerasi juga digambarkan dalam diagram tekanan-entalpi ($p-h$) atau temperatur-entropi ($t-s$) untuk melihat perubahan yang terjadi pada refrigeran, oleh sebab itu grafik yang tergambar dalam diagram tersebut dapat saja berbeda karena perbedaan sifat dari refrigeran yang digunakan. Berikut diagram $p-h$ dan $T-s$ untuk sistem refrigerasi secara umum.



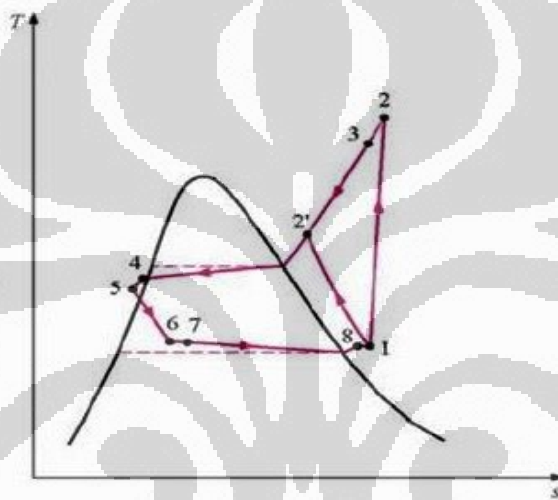
Gambar 2.2. Diagram $p-h$ dan $T-s$ sistem refrigerasi standar
sumber: coolingdevice.net/4.html

Pada $p-h$ diagram dapat dibaca, sebagai berikut:

- Proses 1-2 : Kompresi isentropik, tekanan dan temperatur bertambah, refrigeran pada kondisi superheated.
- Proses 2-3 : Kondensasi refrigeran (uap – campuran uap dan cair), tekanan dan temperatur menurun, sewaktu di daerah kubah uap, temperatur dan tekanan konstan.

- Proses 3-4 : Ekspansi adiabatik, tekanan dan temperatur menurun, refrigeran berupa campuran uap dan cairan (lebih banyak cairan).
- Proses 4-1 : Pendidihan refrigeran, tekanan dan temperatur bertambah setelah keluar dari kubah uap, dan refrigeran seutuhnya berada pada fase uap.

Gambar 2.2 merupakan siklus dari sistem refrigerasi yang ideal berbeda dengan yang terjadi pada kehidupan sehari-hari karena terdapat kerugian-kerugian yang terjadi pada sistem tersebut, misalnya kerugian panas, penurunan tekanan yang disebabkan oleh aliran dalam pipa, bentuk pipa, maka pada aplikasinya terdapat perbedaan garis-garis pada siklus tersebut (gambar 2.3).

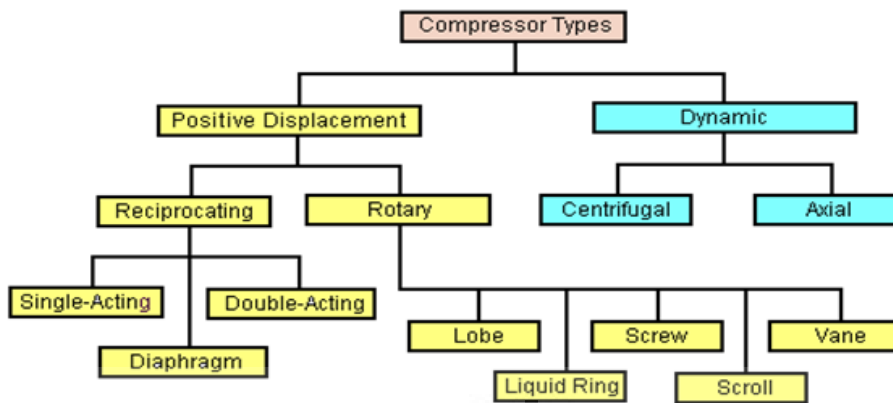


Gambar 2.3. Diagram T-s sistem refrigerasi aktual
sumber: coolingdevice.net/4.html

3.1.2 Komponen Utama Sistem Pendingin

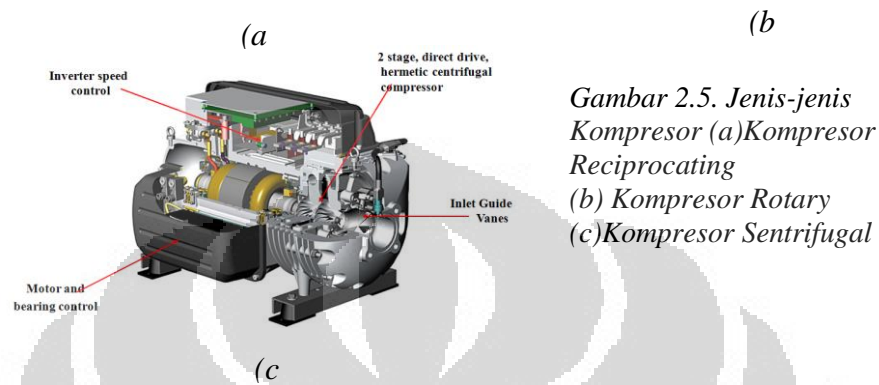
2.1.2.1 Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari sistem refrigerasi kompresi uap karena bertugas memompa refrigeran dan mengalirkannya dalam sistem, membuat perbedaan tekanan sehingga sistem refrigerasi dapat berkerja.



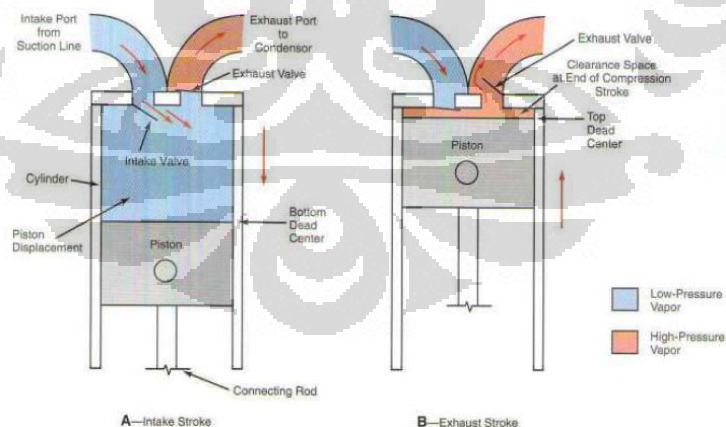
Gambar 2.4. Jenis-jenis kompresor

Kompresor yang digunakan memiliki berbagai variasi dan digunakan sesuai dengan kebutuhan, akan tetapi dapat dibagi secara garis besar menjadi dua bagian, yaitu *positive displacement* dan *dynamic*. *Positive displacement* merupakan jenis kompresor yang menaikkan tekanan dengan pengurangan volume secara kontinu, sedangkan *dynamic* karena perubahan momentum.



Gambar 2.5. Jenis-jenis Kompresor (a) Kompresor Reciprocating (b) Kompresor Rotary (c) Kompresor Sentrifugal

Prinsip kerja kompresor adalah pada kompresi uap pada piston yang berada di dalamnya. Seperti diilustrasikan dalam gambar berikut:

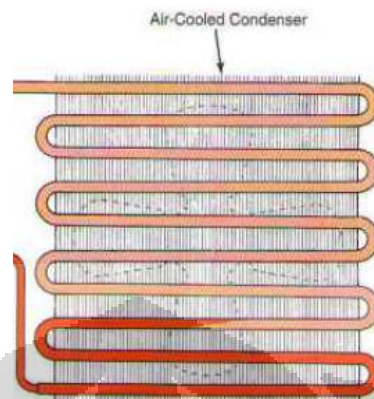


Gambar 2.6. Prinsip kerja dari Reciprocating Compressor. A-Intake Stroke, B-Exhaust Stroke

2.1.2.2 Kondenser

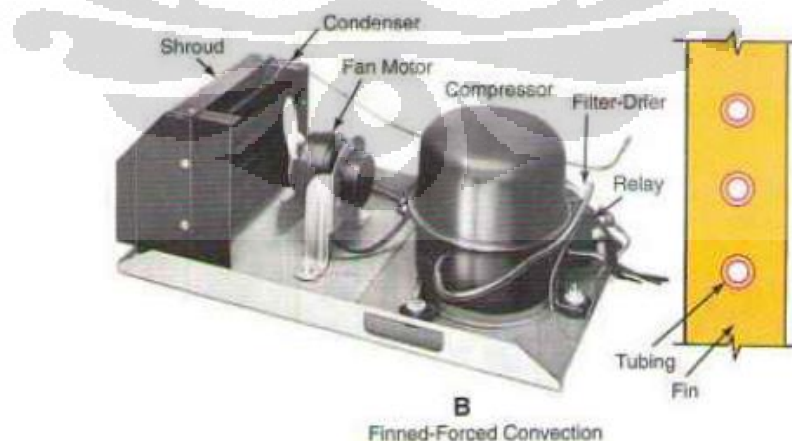
Kondenser dan evaporator secara berturut-turut terjadi perpindahan kalor dari sistem ke lingkungan dan dari lingkungan ke sistem, oleh sebab itu keduanya

disebut sebagai alat penukar kalor. Terdapat dua jenis untuk kondenser dan evaporator yaitu refrigeran yang berada di dalam pipa atau di luar pipa.



Gambar 2.7. Ilustrasi kondenser secara sederhana

Kondenser yang digunakan memiliki dua tipe berdasarkan lingkungan yang mendinginkannya atau tempat yang akan dibuang kalor dari refrigeran yaitu cairan dan udara. Kondenser berpendingin air seperti *open shell and tube*, *shell and coil* (horisontal atau vertikal) dan *double pipe*, perpindahan yang terjadi secara konveksi dan konduksi. Berpendingin udara terjadi konveksi alamiah, sering kali ditambahkan kipas agar perpindahan kalor terjadi dengan cepat disebut sebagai konveksi paksa. Jenis ini diaplikasikan dengan pipa/tube dan fin. Sehingga refrigeran berada di dalam pipa dan udara lingkungan mengalir masuk ke dalam kondenser, yang terdapat fin agar kalor berkurang melalui fin tersebut.

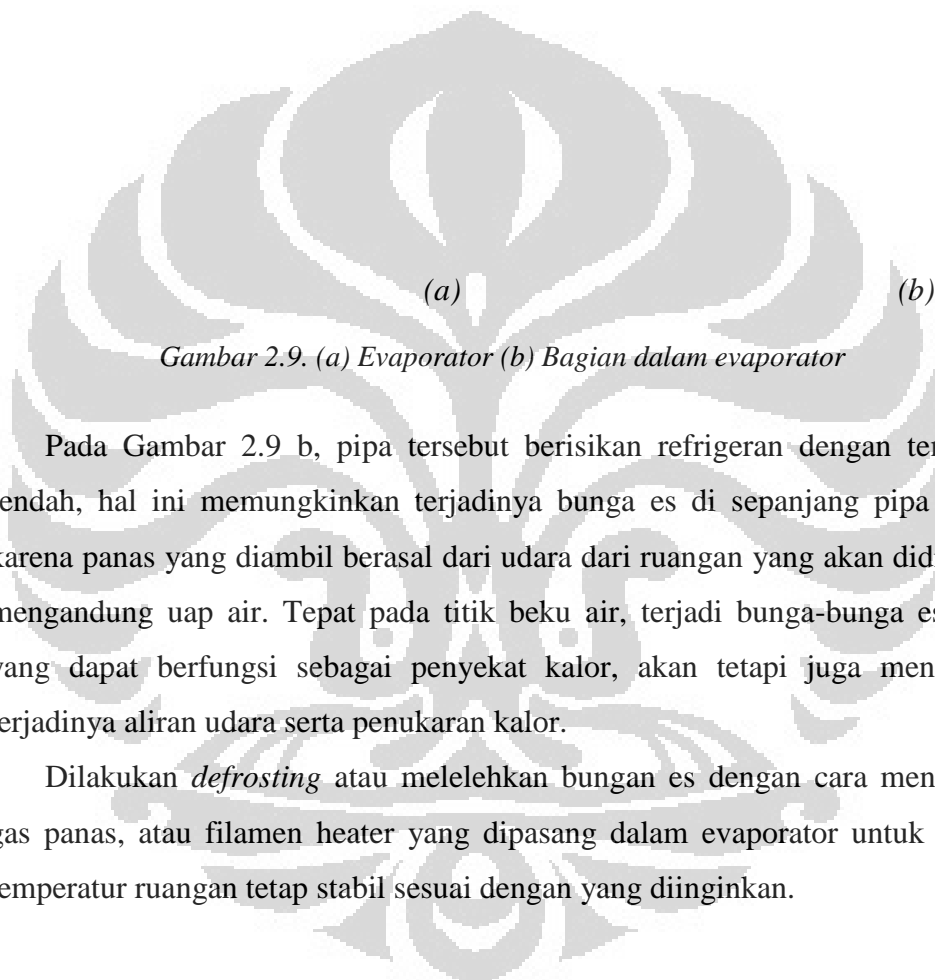


Gambar 2.8. Instalasi kondenser yang biasa dipergunakan dengan Fan

2.1.2.3 Evaporator

Evaporator yang sering digunakan yaitu refrigeran berada di dalam pipa dan mendinginkan fluida (lingkungan) yang melewatinya karena kalor dari fluida tersebut diambil untuk mendidihkan refrigeran yang berada dalam pipa.

Aliran refrigeran yang masuk ke dalam evaporator diatur oleh Expansion Device sehingga refrigeran bertemperatur rendah dengan kualitas uap yang lebih kecil, sehingga refrigeran dapat lebih banyak mengambil kalor agar kualitas uapnya bernilai 1.



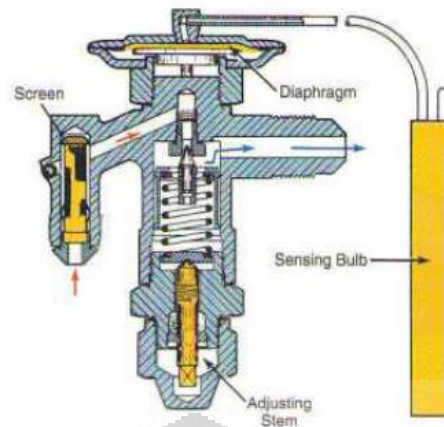
Gambar 2.9. (a) Evaporator (b) Bagian dalam evaporator

Pada Gambar 2.9 b, pipa tersebut berisikan refrigeran dengan temperatur rendah, hal ini memungkinkan terjadinya bunga es di sepanjang pipa tersebut karena panas yang diambil berasal dari udara dari ruangan yang akan didinginkan mengandung uap air. Tepat pada titik beku air, terjadi bunga-bunga es (*frost*), yang dapat berfungsi sebagai penyekat kalor, akan tetapi juga menghalangi terjadinya aliran udara serta penukaran kalor.

Dilakukan *defrosting* atau melelehkan bungan es dengan cara menggunakan gas panas, atau filamen heater yang dipasang dalam evaporator untuk menjaga temperatur ruangan tetap stabil sesuai dengan yang diinginkan.

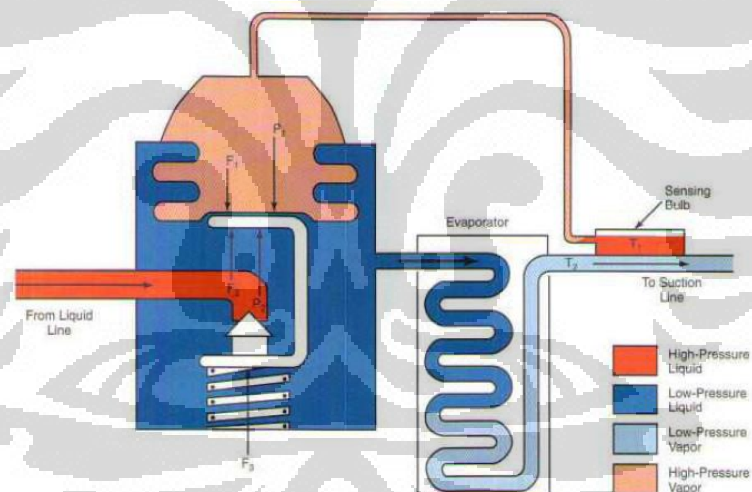
2.1.2.4 Expansion Device

Expansion Device berfungsi untuk menurunkan tekanan secara adiabatik dan mengatur laju aliran refrigeran. Saat suhu di evaporator menjadi semakin dingin maka laju aliran refrigerant masuk ke evaporator akan semakin kecil.



Gambar 2.10. Ilustrasi komponen-komponen pada Expansion Device (TXV)

Hal itu bisa terjadi karena adanya Sensing Bulb yang berguna untuk mengatur bukaan pegas yang terhubung ke katup untuk mengatur besar kecilnya aliran refrigerant. Hal ini terjadi akibat pemuaian cairan yang ada pada sensing bulb yang akan mempengaruhi muaiian pegas. Seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Muaiian sensing bulb yang mempengaruhi bukaan katup

Selain itu Expansion Device memiliki fungsi untuk menurunkan tekanan aliran refrigerant yang masuk ke dalam evaporator. Hal ini terjadi karena adanya Orifices yaitu suatu lubang masuk yang memiliki diameter yang amat kecil.

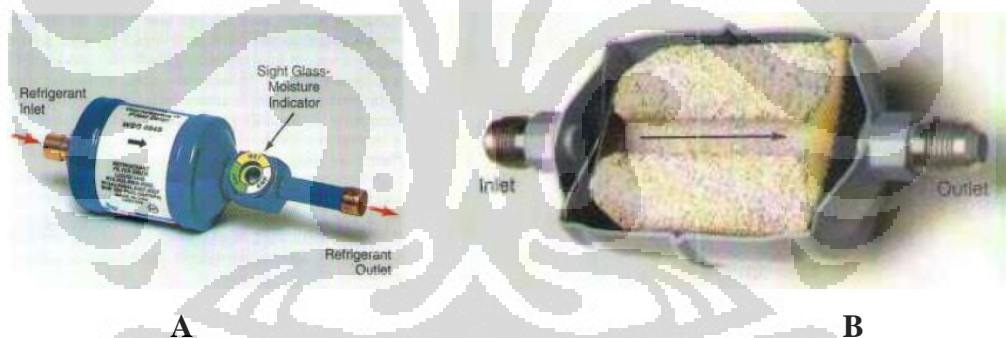


Gambar 2.12. Letak orifices pada TXV

3.1.3 Aksesoris dalam suatu system pendinginan

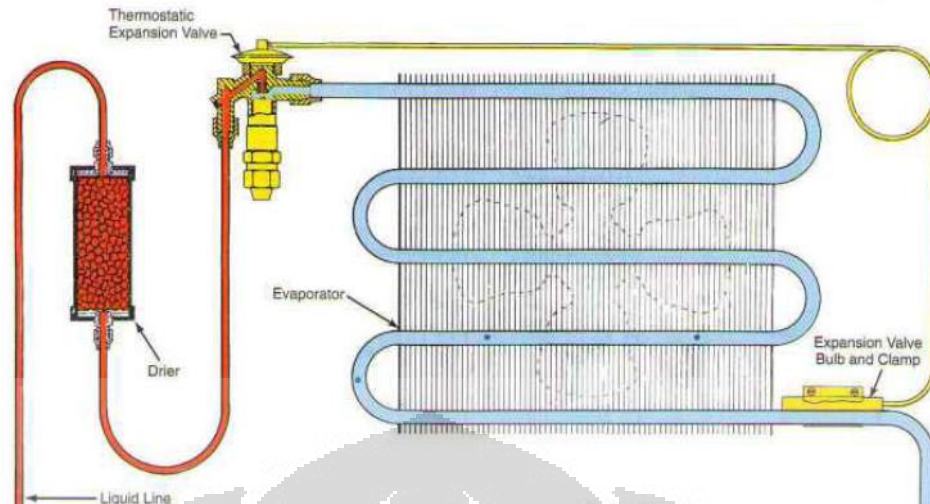
2.1.3.1. Filter Drier

Berguna untuk menyaring kotoran atau debu yang ada di dalam sistem pendinginan. Dan juga untuk menyaring moisture (kelembapan) dari suatu refrigerant. Hal ini karena adanya suatu material di dalamnya yang berguna untuk menyerap kelembapan yang ada di dalam suatu aliran refrigerant.



Gambar 2.13. A-Contoh Oil separator yang dilengkapi sight glass untuk mengukur kelembapan refrigerant. B-Cut Off suatu filter drier

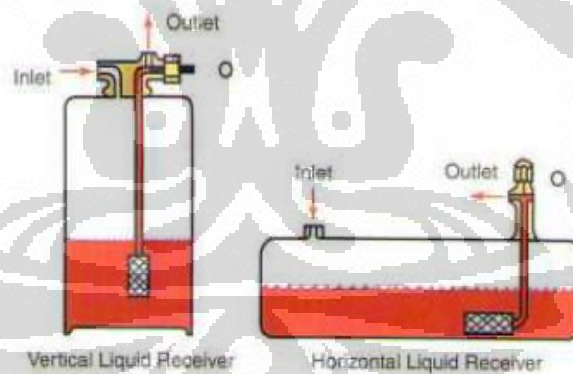
Apabila dilihat dari segi intalasinya maka posisi filter driers akan tampak sebagai berikut:



Gambar 2.14. Skema instalasi filter drier pada suatu system refrigerasi

2.1.3.2. Liquid Receiver

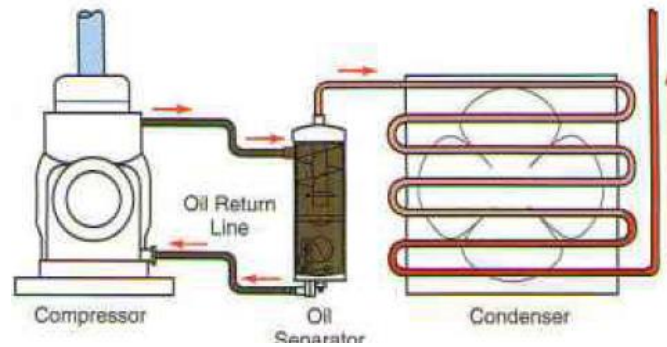
Merupakan tempat berkumpulnya refrigerant dalam fase cair. Refrigerant cair tersebut akan dipompa keluar untuk menuju ke TXV, komponen ini diperlukan untuk meningkatkan efisiensi evaporator, terlebih dalam suatu system yang memerlukan jumlah refrigerant yang besar.



Gambar 2.15. Ilustrasi kerja Liquid Receiver

2.1.3.3. Oil Separator

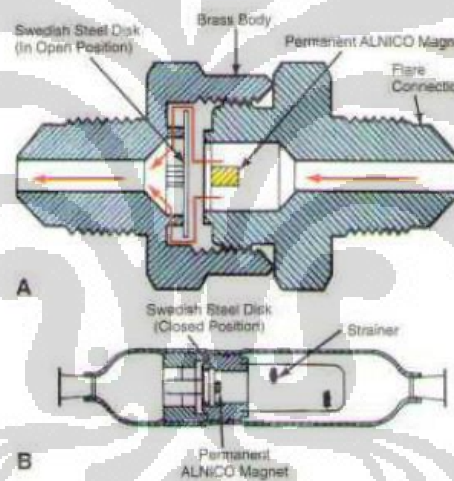
Kompresor memerlukan pelumasan dalam berkerja, diperlukan sejumlah kecil pelumas agar compressor lebih mudah dalam berkerja. Pelumas ini ditempatkan pada compressor crackcase atau housing. Pelumas ini bersirkulasi di seluruh bagian compressor, bahkan ikut mengalir dalam aliran refrigerant. Oil separator berguna untuk menyaring aliran campur antara refrigerant dan pelumas.



Gambar 2.16. Ilustrasi kerja Oil Separator

2.1.3.4. Check Valve

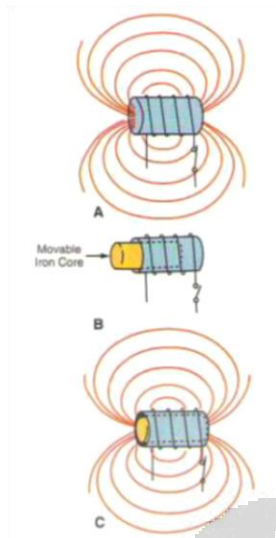
Check valve berfungsi untuk mengatur aliran refrigerant agar tetap mengalir dalam satu arah. Cara kerjanya berdasarkan katup dan magnet permanen yang berada di dalam. Seperti digambarkan dalam contoh berikut:



Gambar 2.17. Ilustrasi kerja pada Check Valve

2.1.3.5. Soleoid Valve

Solenoid valve berguna untuk menutup aliran refrigeran saat mendapat respon listrik. Cara kerjanya terletak pada coil (kumparan) yang terletak pada bagian atas solenoid valve.



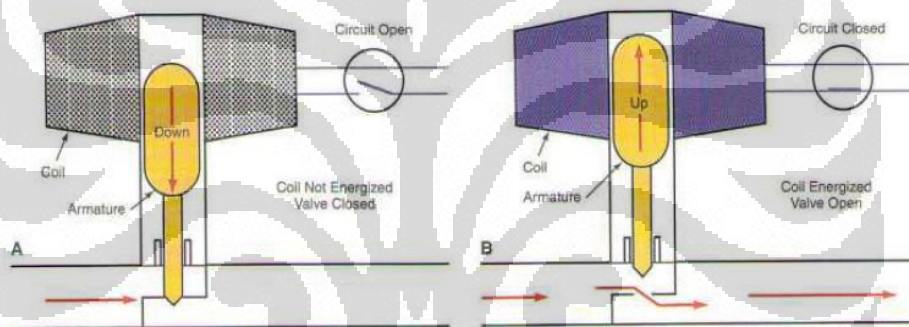
Gambar 2.18. Kumparan magnetic yang berguna untuk membuka dan menutup Solenoid Valve.

A. Kumparan menjadi bersifat magnetic saat diberi arus listrik

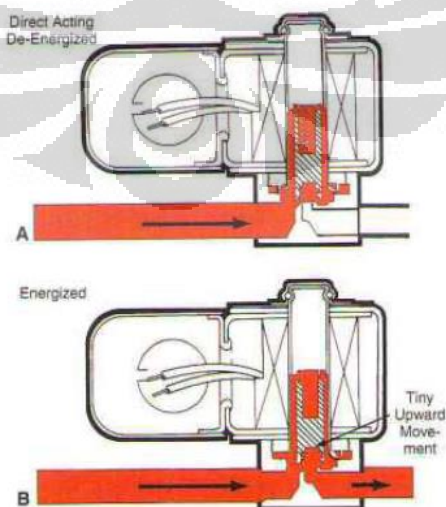
B. Bagian batang logam yang dimasukkan ke dalam kumparan

C. Bagian batang logam tertarik masuk ke dalam kumparan saat magnet dinyalakan.

Secara lebih jelas saat beroperasi dapat diilustrasikan sebagai berikut:



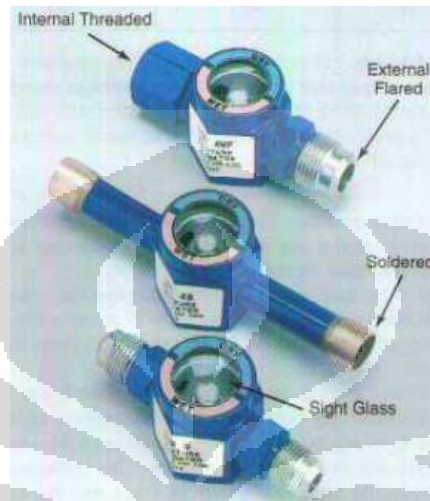
Gambar 2.19. Ilustrasi kerja Solenoid Valve A-Saat menutup (tanpa ada aliran listrik ke kumparan), B-Saat membuka (dialiri aliran listrik ke kumparan)



Gambar 2.20. Contoh solenoid valve untuk aliran 2 arah.

2.1.3.6. Sight Glass

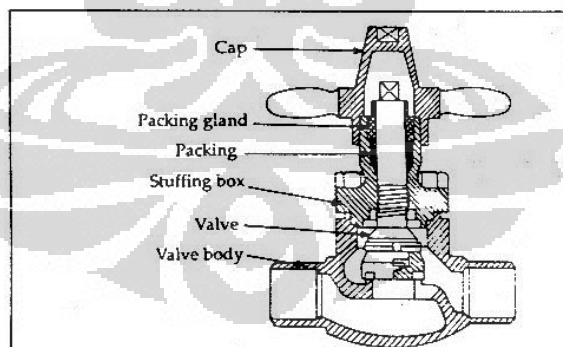
Merupakan komponen yang berfungsi untuk menunjukkan apakah aliran refrigerant yang masuk telah cukup atau masih kurang. Serta untuk mengindikasikan tingkat kelembapan refrigerant.



Gambar 2.21. Contoh Sight Glass

2.1.3.7. Shut-Off Valve

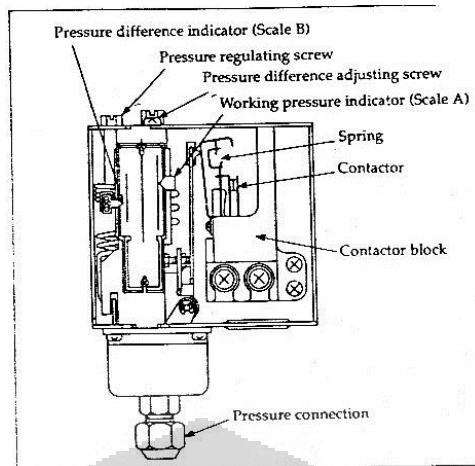
Berfungsi untuk mengatur besar kecil atau pun menutup aliran refrigerant yang mengalir secara manual.



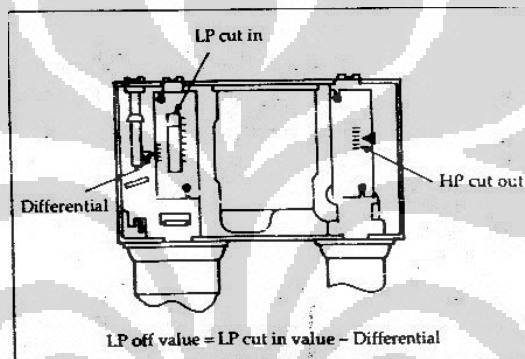
Gambar 2.22. Komponen pada Hand Valve

2.1.3.8. Pressure Switch

Merupakan suatu alat untuk mengontrol tekanan discharge dari kompresor agar tidak terlampaui besar. Dimana saat tekanan compressor telah melebihi tekanan yang telah ditentukan, maka aliran arus ke compressor akan terputus.



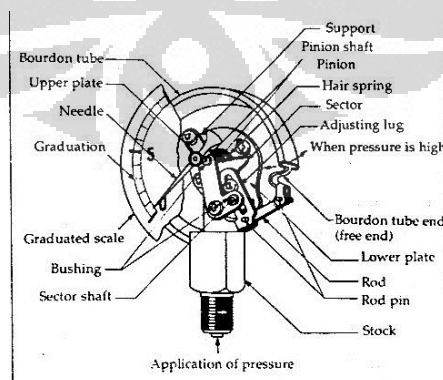
Gambar 2.23. Contoh Single Pressure switch



Gambar 2.24. Contoh Dual Pressure switch

2.1.3.9. Pressure Gauge

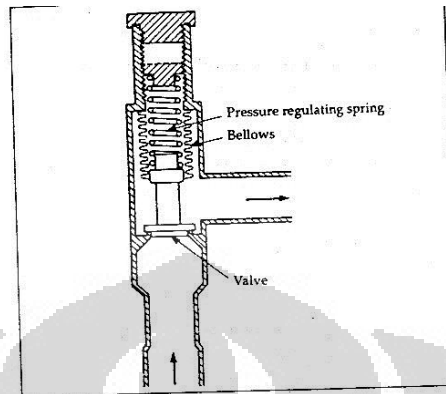
Merupakan suatu indicator analog untuk menunjukkan tekanan pada suatu titik dalam instalasi system pendingin.



Gambar 2.25. Bourdon Pressure Gauge

2.1.3.10. Evaporating Pressure Regulator (EPR)

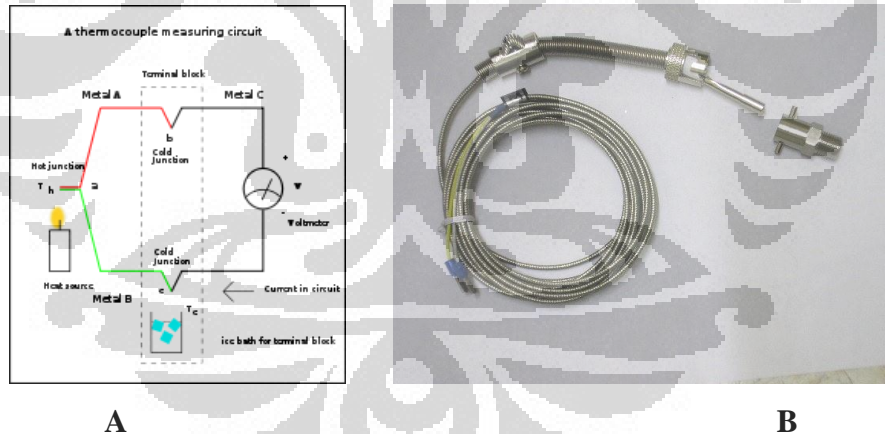
Merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk menjaga tekanan evaporator agar selalu konstan sesuai dengan setingan yang telah ditentukan.



Gambar 2.26. Ilustrasi kerja EPR

2.1.3.11. Thermocouple

Thermocouple merupakan suatu sambungan antara 2 buah material berbentuk kawat yang berbeda. Dimana kedua kawat tersebut memproduksi tegangan sesuai dengan perbedaan temperature di antar keduanya.



Gambar 2.27. A-Ilustrasi kerja pengukuran menggunakan thermocouple, B-Wujud thermocouple yang biasa dipergunakan

Thermocouple dapat dibagi menjadi beberapa jenis, tergantung pada kedua material yang dipergunakan, seperti dicantumkan dalam gambar berikut:

Type	Temperature range °C (continuous)	Temperature range °C (short term)	Tolerance class one (°C)	Tolerance class two (°C)	IEC Color code	BS Color code	ANSI Color code	
K	0 to +1100	-180 to +1300	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C				
J	0 to +700	-180 to +800	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 750 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 750 °C				
N	0 to +1100	-270 to +1300	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C				
R	0 to +1600	-50 to +1700	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±[1 + 0.003×(T - 1100)] between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.	
S	0 to 1600	-50 to +1750	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±[1 + 0.003×(T - 1100)] between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.	
B	+200 to +1700	0 to +1820	Not Available	±0.0025×T between 600 °C and 1700 °C	No standard use copper wire	No standard use copper wire	Not defined.	
T	-185 to +300	-250 to +400	±0.5 between -40 °C and 125 °C ±0.004×T between 125 °C and 350 °C	±1.0 between -40 °C and 133 °C ±0.0075×T between 133 °C and 350 °C				
E	0 to +800	-40 to +900	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 800 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 900 °C				
Chromel/AuFe	-272 to +300	n/a	Reproducibility 0.2% of the voltage, each sensor needs individual calibration.					

Gambar 2.28. Tabel jenis-jenis thermocouple

3.1.4 Refrigerant dan piping

Refrigerant merupakan komponen yang bersifat kimiawi yang berguna sebagai media penghantar kalor. Jenis-jenis Freon yang sering dipergunakan ialah sebagai berikut:

Cylinder Color	Number	Refrigerant Name	Chemical Composition	General Application
Orange	R-11	Trichlorofluoromethane	CFC	Used in centrifugal chillers for large applications. Versatile, widely used in reciprocating and rotary-type equipment; household and industrial applications. Low-temperature refrigerant used in low stage of cascade systems. Medium- to low-temperature applications with one or two stages of compression. Residential, commercial, and industrial applications. Low-temperature refrigerant to be used as replacement in low stage of cascade system. Low capacity centrifugal chillers. Principally used with chillers for higher capacities. Serves as a replacement for R-11 in centrifugal chillers. Medium-pressure refrigerant for chiller applications. Used in marine applications. Substitute for use in low-temperature refrigeration applications. Medium-temperature refrigerant used in the automobile industry and refrigeration systems in residential, commercial, and industrial applications. Substitute for use in most medium-temperature systems. Used in transport refrigeration equipment and domestic and commercial refrigerators. Replacement refrigerant in mobile air conditioning, ice machines, food service, vending, supermarket. Supermarket, transport, food service. Medium and low temperature applications. Used for R-12 retrofit. Used for R-502 retrofit. R-22 replacement. Replacement refrigerant in residential air conditioning applications. Used with reciprocating compressors in industrial and commercial applications. Supermarket freezers and refrigerated cases. Used in low stage of cascade-type systems. Replacement refrigerant for low-temperature commercial refrigeration applications. Used in large reciprocating compressors and absorption-type systems.
White	R-12	Dichlorodifluoromethane	CFC	
Light blue	R-13	Chlorotrifluoromethane	CFC	
Coral	R-13B1	Bromotrifluoromethane	CFC	
Light green	R-22	Chlorodifluoromethane	HCFC	
Light gray	R-23	Trifluoromethane	HFC	
Purple	R-113	Trichlorotrifluoroethane	CFC	
Dark blue	R-114	Dichlorotetrafluoroethane	CFC	
Light gray	R-123	Dichlorotrifluoroethane	HCFC	
Deep green	R-124	Chlorotetrafluoroethane	HCFC	
Medium brown or Tan	R-125	Pentafluoroethane	HFC	
Light (sky) blue	R-134a	Tetrafluoroethane	HFC	
Coral red	R-401A	R-22 + R-152a + R-124	Zeotropic (HCFC)	
Mustard yellow	R-401B	R-22 + R-152a + R-124	Zeotropic (HCFC)	
Blue-green (Aqua)	R-401C	R-22 + R-132a + R-124	Zeotropic (HCFC)	
Pale brown	R-402A	R-22 + R-125 + R-290	Zeotropic (HCFC)	
Green-brown	R-402B	R-22 + R-125 + R-290	Zeotropic (HCFC)	
Orange	R-404A	R-125 + R-143a + R-134a	Zeotropic (HCFC)	
Light gray-green	R-406A	R-22 + R-142b + R-600a	Zeotropic (HCFC)	
Bright green	R-407A	R-32 + R-125 + R-134a	Zeotropic (HFC)	
Peach	R-407B	R-32 + R-125 + R-134a	Zeotropic (HFC)	
Chocolate brown	R-407C	R-32 + R-125 + R-134a	Zeotropic (HFC)	
Rose	R-410A	R-32 + R-125	Zeotropic (HFC)	
Yellow	R-500	Refrigerants 152a/12	Azeotropic (CFC)	
Light purple	R-502	Refrigerants 22/115	Azeotropic (CFC)	
Aquamarine	R-503	Refrigerants 23/13	Azeotropic (CFC)	
Teal	R-507A	Refrigerants 125/143a	Azeotropic (HFC)	
Silver	R-717	Ammonia	Inorganic Compound	

Chlorofluorocarbons = CFC Hydrofluorocarbons = HFCs Hydrochlorofluorocarbons = HCFCs

Gambar 2.29. Tabel Refrigerant yang biasa dipergunakan

Sedangkan untuk pemipaan jenis material pipa yang digunakan untuk system pendinginan ialah pipa tembaga (Copper). Hal ini karena tembaga memiliki nilai konduktivitas kalor yang tinggi sehingga cocok dipergunakan sebagai media penyerap kalor.

Outside diameter (mm)	Thick-ness (mm)	Outside area (m ² /m)	Internal sectional area (cm ²)	Volume (ℓ/m)	Weight (kg/m)
6.4	0.8	0.02	0.18	0.018	0.12
9.5	0.8	0.03	0.49	0.049	0.20
12.7	1.0	0.04	0.90	0.090	0.33
15.9	1.2	0.05	1.43	0.143	0.49
19.1	1.2	0.06	2.16	0.216	0.60
22.2	1.2	0.07	3.08	0.308	0.71
25.4	1.2	0.08	4.15	0.415	0.81
31.8	1.5	0.10	6.51	0.651	1.28
38.1	1.5	0.12	9.67	0.963	1.53
45.0	2.0	0.14	13.20	1.320	2.40
50.8	2.0	0.16	17.19	1.719	2.77
63.5	2.0	0.20	27.79	2.779	3.44
76.2	2.5	0.24	39.80	3.980	4.96

Gambar 2.30. Tabel pipa tembaga yang biasa dipergunakan

3.1.5 Persamaan dalam Sistem Refrigerasi

Gambar 2.31. Sistem refrigerasi standar dengan diagram T-s

Dalam menganalisa suatu sistem refrigerasi, diketahui sistem yang digunakan kemudian dilakukan perhitungan untuk memilih komponen-komponen utama dan tambahan dalam sistem. Berikut perhitungan dasar dalam sebuah sistem refrigerasi standar dengan asumsi bahwa sistem merupakan sistem tertutup,

1. Coefficient of performance (COP)

COP merupakan nilai keefektifan dari suatu sistem refrigerasi karena membandingkan nilai output dengan kerja yang dilakukan. Nilai output suatu sistem merupakan kalor yang diserap oleh evaporator, dan kerja dilakukan oleh kompresor.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{\text{evaporator}}}{\dot{W}_{\text{kompresor}}}$$

2. Daya kompresor

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

3. Kalor yang dibuang kondenser

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

4. Kapasitas Pendinginan

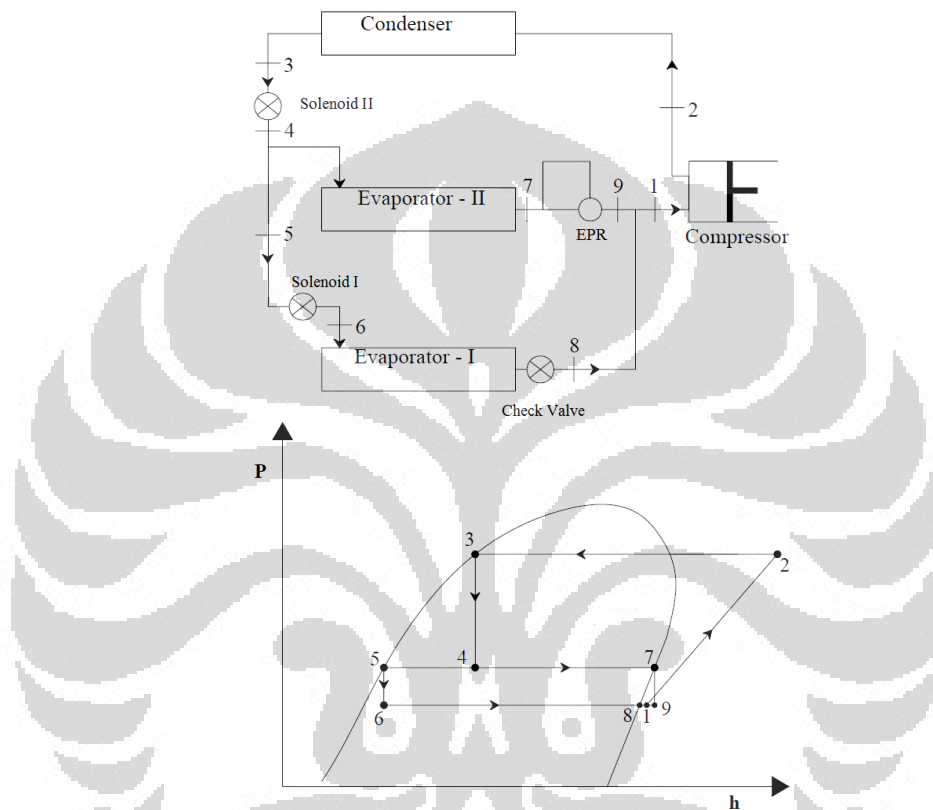
$$Q_{evaporator} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

5. Expansion Device

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_4 - h_3)$$

$$0 = \dot{m}(h_4 - h_3)$$

$$h_4 = h_3$$



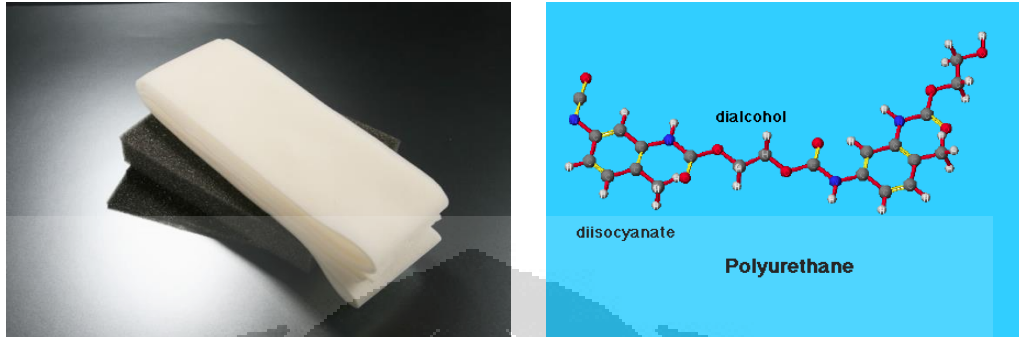
Gambar 2.32. sistem refrigerasi dengan single condensing unit dan multi evaporator dengan diagram p-h

$$COP = \frac{Q_{E,I} + Q_{E,II}}{W_C} = \frac{m_I(h_8 - h_6) + m_{II}(h_7 - h_4)}{(m_I + m_{II})(h_2 - h_1)}$$

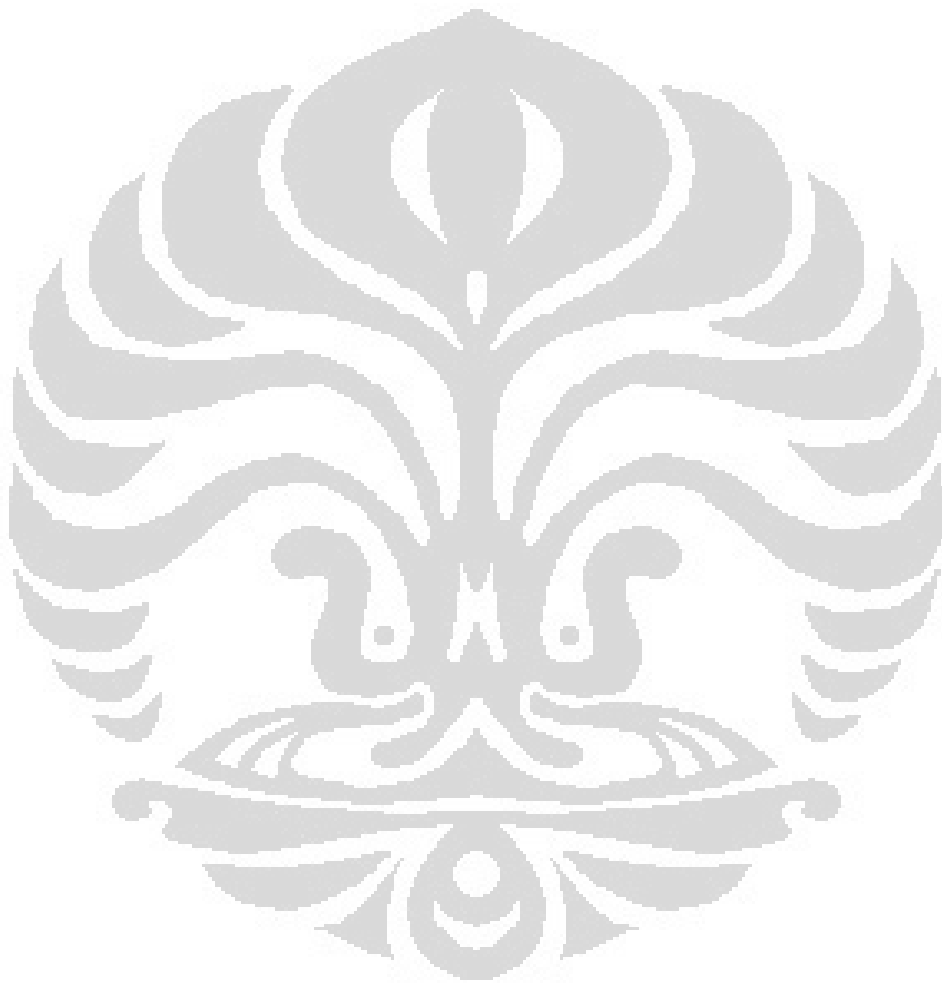
3.2 Cold Storage

Cold storage merupakan suatu ruangan penyimpanan (gudang) yang ditujukan untuk mengalami proses pengambilan kalor oleh evaporator, atau ruangan yang ingin didinginkan.

Cold storage biasanya terbuat dari material yang bersifat Isolator. Untuk mencegah terjadinya infiltrasi kalor ke dalam cold storage. Bahan yang paling umum dipergunakan sekarang ini untuk cold storage yaitu Polyurethane.



A **B**
Gambar 2.33. A-Bentuk fisik Polyurethane, B-Skema kimiawi Polyurethane

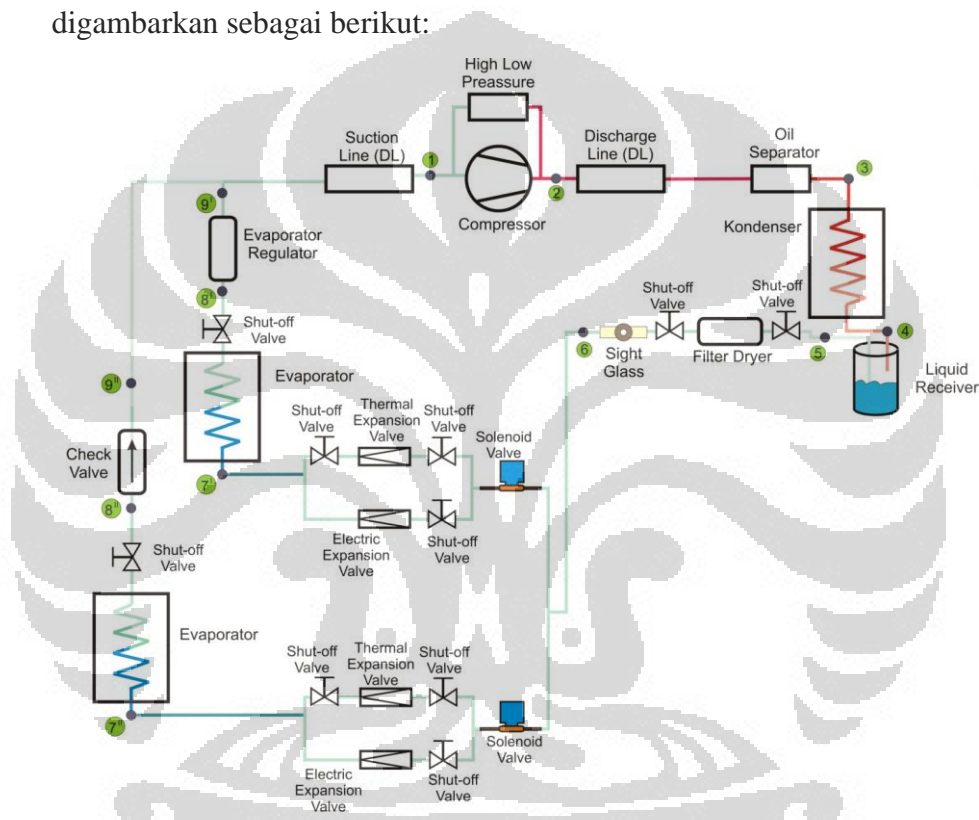


BAB 3

SISTEM PENDINGIN DAN COLD STORAGE

6.1 Sistem Pendingin yang telah dibuat

System pendingin yang telah dibuat yaitu system pendingin dengan menggunakan 1 condensing unit serta 2 evaporator yang masing-masing terdapat dalam satu cold storage. System pendingin tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1. Skema sistem Refrigerasi yang telah dibuat

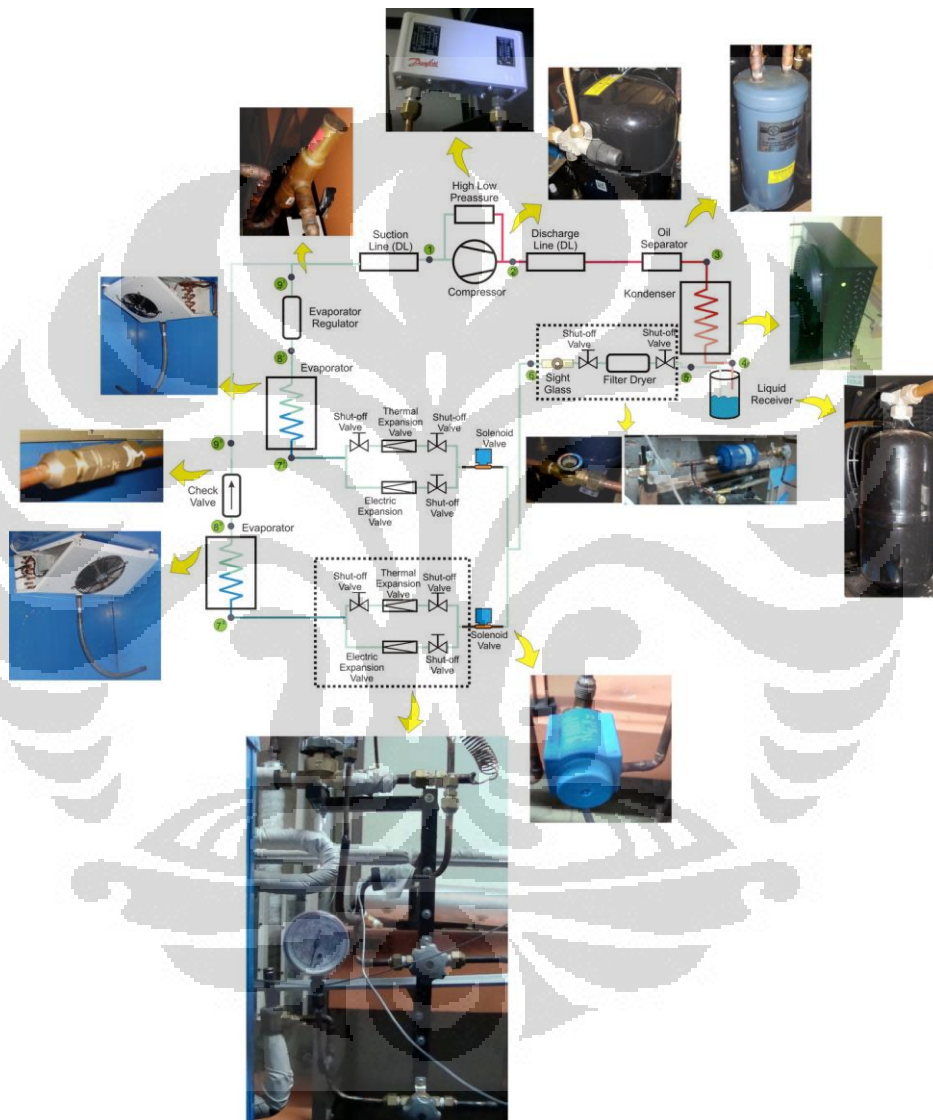
Proses yang terjadi di setiap titik adalah:

- Titik 1 : Uap dari evaporator yang melalui *suction line* mengalami pressure drop dan siap untuk masuk ke kompresor. Pada titik ini, refrigeran berada dalam fasa vapor. Dari sini terdapat HLP yang berfungsi untuk mematikan compressor saat perbedaan tekanan *suction* dan *discharge* melampaui dari setting HLP yang ditentukan.
- Titik 2 : Uap telah dikompres, memiliki tekanan uap yang tinggi dengan temperatur dan enthalpy yang tinggi. Pada titik ini, refrigeran berada dalam fasa *super heated vapor*.
- Titik 3 : Uap yang telah melalui kompresor, bertekanan tinggi dengan temperatur dan enthalpy tinggi dialirkan melalui discharge line. Kemudian uap tersebut dialirkan melalui oil separator untuk memisahkan uap refrigerant dan pelumas kompresor yang terbawa dari kompresor sebelum masuk ke kondenser.
- Titik 4 : Uap air dialirkan melalui kondenser. Sebagaimana diketahui bahwa kondenser merupakan alat yang digunakan untuk mendinginkan uap refrigeran agar dapat mengembun menjadi cairan. Pada proses ini terjadi pembuangan kalor dari refrigeran sehingga temperatur dan enthalpy refrigeran turun dan fasanya berubah menjadi liquid dan masuk ke *liquid receiver*.
- Titik 5 : Pada *liquid receiver*, refrigeran telah berada pada fasa liquidnya dan dialirkan melalui filter dryer untuk menghilangkan kotoran yang terlarut dalam aliran refrigeran cair serta menghilangkan sisa uap lembab yang mungkin terjadi disamping juga untuk menetralkan asam yang terbentuk dari interaksi uap lembab dan oli. *Sight glass* untuk melihat tingkat kelembapan, apakah aliran refrigeran terlalu basah atau terlalu kering.

- Titik 6 : Setelah melalui komponen-komponen tersebut, refrigeran siap dialirkan menuju katup ekspansi untuk diturunkan lagi tekanannya.
- Titik 7' dan 7'' : Pada titik ini aliran refrigerant diatur secara manual dengan menggunakan shut-off valve. Shut-off valve dipergunakan juga untuk memilih di antara 2 expansion valve yang terpasang apakah akan menggunakan TXV ataukah EXV atau kombinasi antara keduanya. Refrigeran yang telah melalui katup ekspansi mengalami penurunan tekanan, berubah fasanya menjadi campuran liquid dan vapor, seiring dengan penurunan temperatur, namun memiliki nilai enthalpy yang sama dengan pada keadaan di titik 4 setelah keluar dari kondenser, kemudian refrigeran siap dialirkan menuju evaporator untuk diubah fasanya menjadi vapor. Di sini juga terdapat *solenoid valve* yang berguna untuk menutup aliran refrigerant saat suhu cold storage melebihi dari batas yang ditentukan (*Thermostat* sebagai sensor).
- Titik 8' dan 8'' : Refrigeran yang telah melalui evaporator mengalami perubahan fasa menjadi vapor karena menyerap kalor dari lingkungan dan membuat enthalpy dari refrigeran juga meningkat.
- Titik 9' : Refrigeran sudah berubah menjadi fase uap dimana pada titik ini aliran uap refrigerant yang mengalir keluar dikendalikan dengan menggunakan evaporator regulator. Dimana alat tersebut berfungsi untuk mengatur tekanan aliran refrigerant saat keluar dari evaporator, sebelum kemudian dialirkan ke *suction line*.
- Titik 9'' : Refrigeran sudah berubah fase menjadi uap, dalam titik ini ditambahkan komponen berupa check valve. Komponen ini berfungsi untuk mencegah terjadinya

aliran balik refrigerant menuju evaporator. Alat ini diperlukan dikarenakan kondisi aliran refrigerant yang bercabang dan juga panjang pipa yang digunakan.

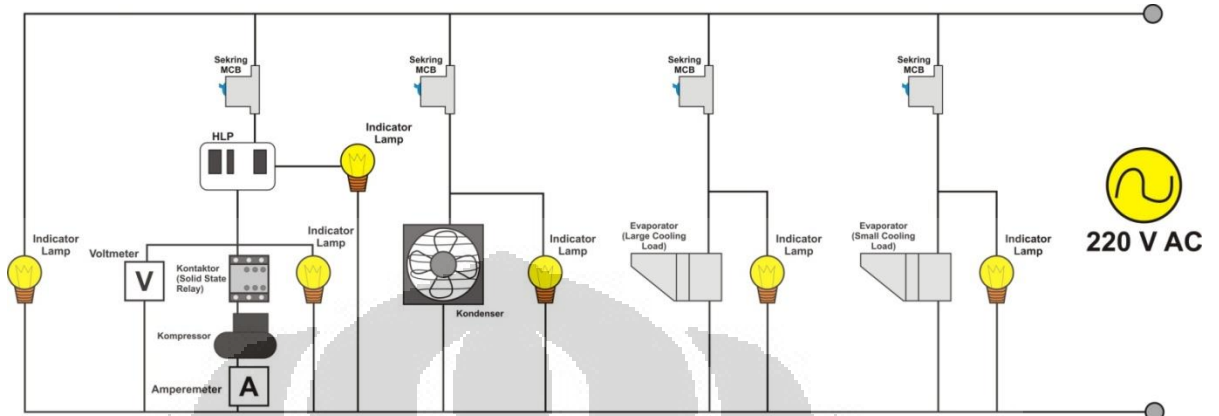
Berikut adalah preview dari sistem *cold storage* yang telah dibangun:



Gambar 3.2. Komponen-komponen pada Cold Storage

6.2 Sistem elektrik dan control

System kelistrikan yang dibuat pada cold storage, dapat dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 3.3 System kelistrikan yang dibuat

Dimana pada High low preassure berguna untuk mematikan kerja compressor saat perbedaan tekanan antara suction dan discharge melampaui batas yang telah ditentukan.

6.3 Komponen dan peralatan tambahan

Komponen dan peralatan tersebut meliputi:

1. Termocouple

Merupakan komponen untuk mengukur temperature di suatu titik pada system.

2. Charging Hose

Merupakan peralatan untuk mengisi refrigeran ke dalam system. Untuk system ini refrigeran yang diisikan sebesar ± 3 kg.



Gambar 3.4. Charging Hose

3. Timbangan Digital

Merupakan peralatan untuk mengetahui berapa berat refrigeran yang dimasukkan ke dalam system dengan menghitung selisih antara berat tabung refrigeran sebelum dan sesudah diisi.



Gambar 3.5. Timbangan digital

4. Vacuum Pump

Merupakan peralatan untuk memvakum system sebelum diisi Freon untuk memastikan bahwa tidak ada lagi udara di dalam system.



Gambar 3.6. Vacuum Pump

5. Acetilene Torch

Merupakan peralatan untuk menyambung antara pipa-pipa tembaga.



Gambar 3.7. Acetelene Torch

6. Service valve

Merupakan komponen yang dipergunakan untuk keperluan mengisi atau mengeluarkan refrigerant dari dalam system.



Gambar 3.8. Service valve

7. Inverter

Merupakan komponen yang dipergunakan untuk mengubah frekuensi pada motor, yang secara langsung mengubah arus listrik dan mengubah putaran dari motor.



Gambar 3.9. Inverter

8. Power Quality Analyser

Merupakan alat untuk mengukur dan merekam daya, voltase dan arus listrik dari suatu sistem.



Gambar 3.10. PQA

9. Heater

Alat ini difungsikan untuk mengganti produk dalam *cold storage* sehingga beban dari *cold storage* dapat divariasikan.



Gambar 3.11. Heater

6.4 Akusisi Data

Sistem akusisi data menggunakan DAQ National Instruments dengan software Labview.



Gambar 3.12. DAQ National Instruments

6.4.1 Kalibrasi Thermocouple

1. Siapkan thermocouple yang akan dijadikan titik pengukuran.
2. Masukkan thermocouple kedalam circulating thermal bath (CTB) untuk menjaga temperatur yang diinginkan.



Gambar 3.13. Circulating Thermal Bath

3. Masukkan thermometer standar ke dalam CTB sebagai tolak ukur pembacaan thermocouple.
4. Nyalakan labview pada komputer save data pembacaan thermocouple selama 15 menit dengan jarak perubahan temperatur 5°C ke atas dan ke bawah.
5. Rata-ratakan hasil pembacaan, bandingkan dengan thermometer standar dan plot kedalam microsoft excel.
6. Masukkan persamaan ke dalam software labview.

6.4.2 Pengambilan data

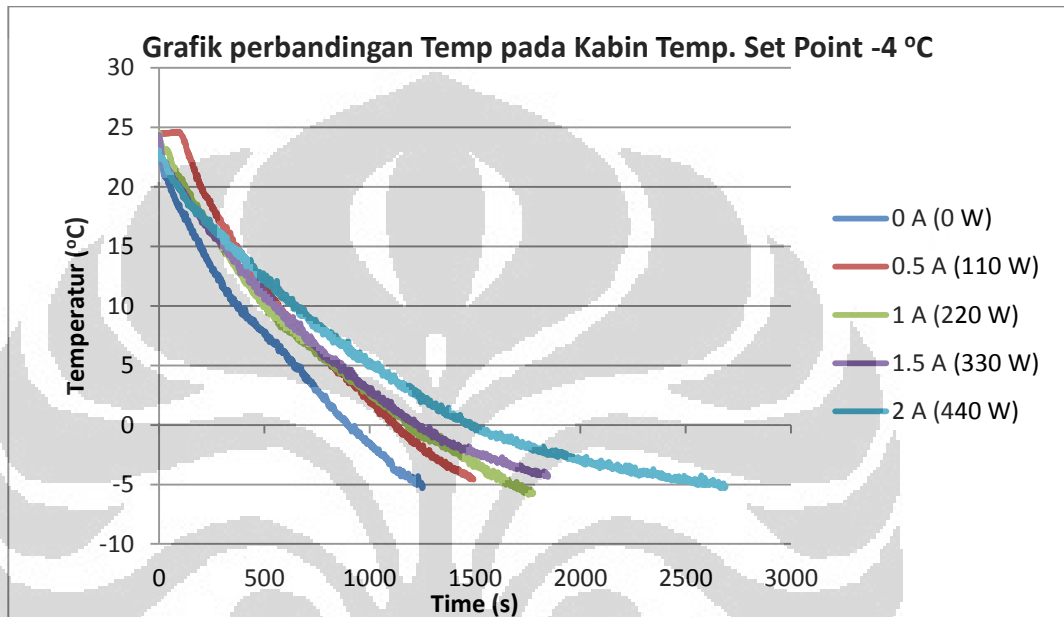
1. Nyalakan komputer dan buka program labview.
2. Nyalakan motor kompresor, motor evaporator dan motor kondenser.
3. *Running* program labview dan tekan save.
4. Tekan tombol stop jika selesai mengambil data, dan matikan semua motor.
5. Ambil data dari notepad dan save ke dalam microsoft excel.

BAB 4

PERHITUNGAN SISTEM PENDINGIN

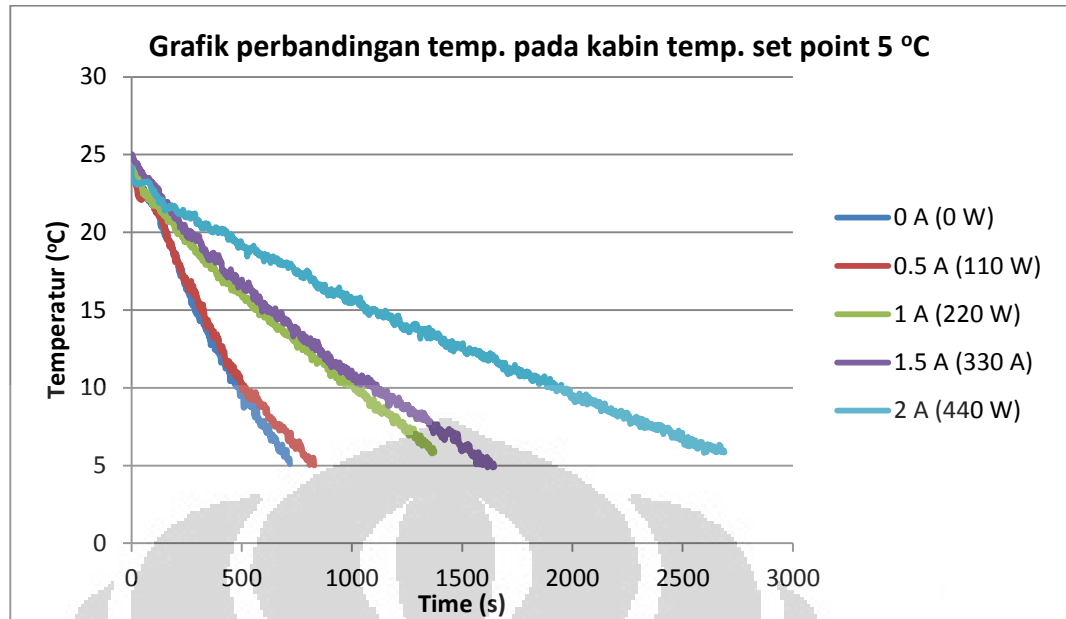
10.1 Variasi Beban Heater

Data ini merupakan data yang diambil dengan menggunakan variasi heater yang di atur arus listriknya menggunakan dimmer.



Gambar 4.1. Grafik perbandingan temperature pada kabin temperatur set point -4°C .

Grafik 4.1 menunjukkan grafik temperatur kabin terhadap waktu dengan variasi heater. Grafik di atas menunjukkan bahwa variasi arus listrik pada heater berpengaruh pada waktu pendinginan ruangan. Semakin kecil beban pendinginan, maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur set point. Hal ini ditunjukkan pada grafik variasi 0 Ampere (tanpa beban), yang mencapai temperatur set pointnya pada detik ke- 1253. Pada variasi 0 A, kalor yang diserap oleh evaporator tidak terlalu besar sehingga tidak dibutuhkan waktu yang lama untuk mencapai temperatur set pointnya. Lain halnya dengan grafik variasi 2 Ampere (440 W) yang mencapai temperatur set pointnya pada detik ke- 2690. Besarnya kalor yang harus diserap oleh evaporator membuat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur set point semakin lama.



Gambar 4.2. Grafik perbandingan temperature pada kabin temperatur set point 5 °C.

Grafik 4.2 menunjukkan grafik temperatur kabin terhadap waktu dengan variasi heater. Grafik di atas menunjukkan bahwa variasi arus listrik pada heater berpengaruh pada waktu pendinginan ruangan. Sama seperti dengan temperatur set point -4 °C, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur set point tergantung pada besarnya kalor dalam kabin yang harus diserap oleh evaporator. Variasi 0 A (tanpa beban) mencapai temperatur set pointnya pada detik ke-719, sedangkan variasi 2 A (440 W) memerlukan waktu 2590 detik untuk mencapai temperatur set pointnya. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai set point pada kabin set point 5 °C lebih cepat daripada waktu yang dibutuhkan pada kabin -4 °C, karena perbedaan temperatur dari temperatur lingkungan ke temperatur yang diinginkan lebih kecil.

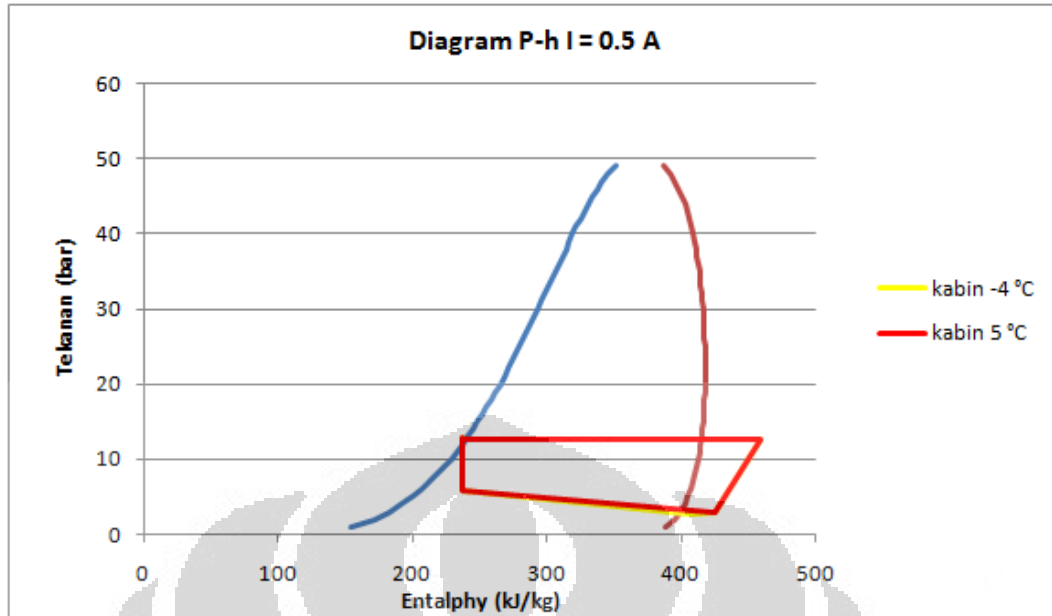
10.2 Analisa Data Sistem Pendingin

Kapasitas evaporasi mesin refrigerasi cascade didefinisikan sebagai :

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_r (h_1 - h_4) \quad (1)$$

Daya yang dibutuhkan kompresor untuk sirkuit temperatur rendah yaitu :

$$\dot{W}_r = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (2)$$

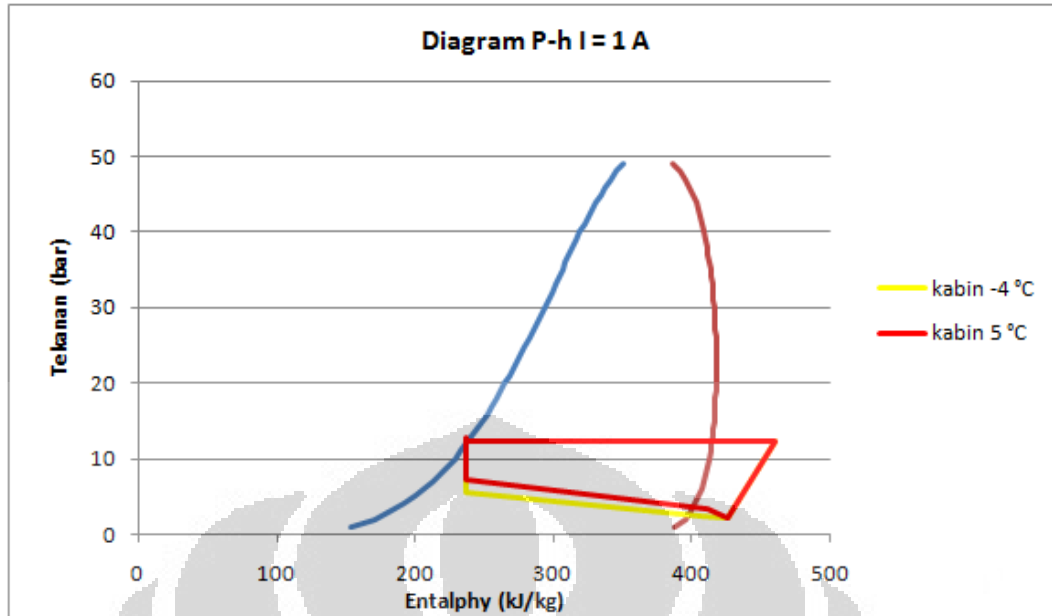


Gambar 4.3. P-h diagram pada variasi arus listrik 0,5 A

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran variasi $I = 0,5 A$

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
Discharge	83.917	12.6	41.027	458.51	1.8411
Before TXV HP	27.99	12.8	1179.8	234.06	1.1164
Out Kondenser	30.825	12.6	1167.7	237.68	1.1284
After TXV HP	-5.563	5.9	1298.9	194.21	0.97834
Out Evap HP	0.986	3.2	12.982	409.55	1.8061
Before TXV LP	28.64	12.8	1177.1	234.88	1.1191
After TXV LP	-15.44	5.8	1331.7	182.78	0.93493
Out Evap LP	-4.76	2.6	10.675	406.89	1.815
Suction	22.169	2.9	10.688	424.59	1.8679

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kalor yang diserap oleh evaporator antara kabin temperatur 4 °C dengan kabin -5 °C melakukan penyerapan kalor yang hampir sama. Hal ini disebabkan beban kalor yang harus diserap oleh evaporator tidak terlalu besar, sehingga efek pendinginannya tidak terlalu berbeda.

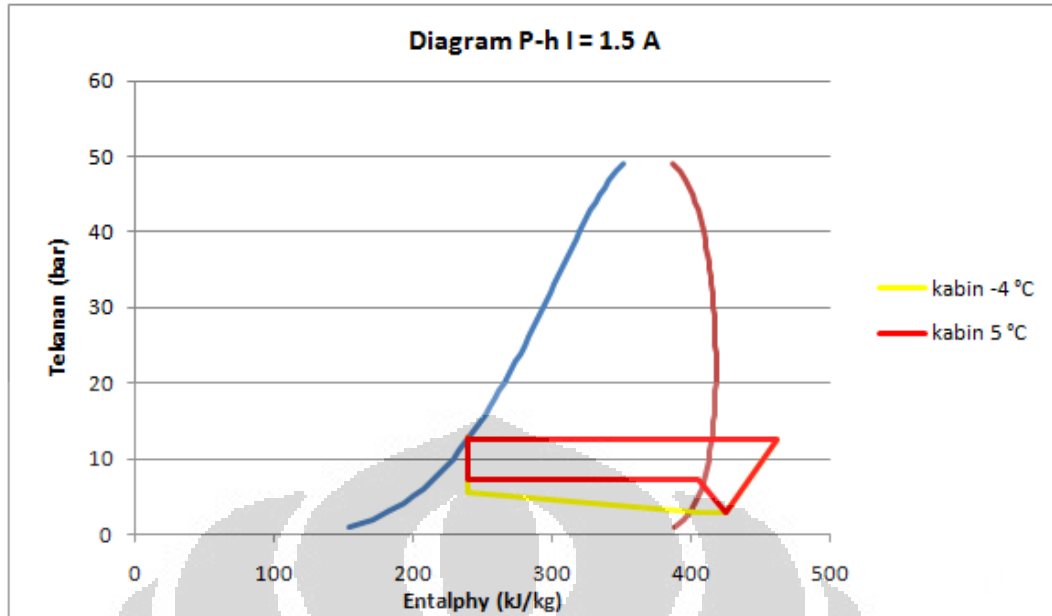


Gambar 4.4. P-h diagram pada variasi arus listrik 1 A

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran variasi I = 1 A

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
Discharge	84.94	12.2	39.402	459.78	1.8474
Before TXV HP	27.579	12.8	1181.5	233.53	1.1147
Out Kondenser	30.41	12.2	1169.2	237.15	1.1268
After TXV HP	-5.243	7.3	1299.4	194.24	0.97806
Out Evap HP	3.4125	3.3	13.27	411.02	1.8087
Before TXV LP	28.53	12	1177	234.75	1.1189
After TXV LP	-14.63	5.5	1331.6	182.77	0.93498
Out Evap LP	-5.389	2.5	10.269	406.68	1.8178
Suction	22.44	2.2	8.0067	425.85	1.8977

Gambar 4.4 menunjukkan mulai adanya perbedaan efek pendinginan antar evaporator dengan temperatur 4 °C dengan evaporator temperatur -5 °C. Semakin besar kalor yang diserap maka kerja evaporator semakin besar. Evaporator temperatur -5 °C memiliki tekanan yang lebih rendah dari pada evaporator temperatur 4 °C karena temperatur kabin yang diinginkan lebih rendah.

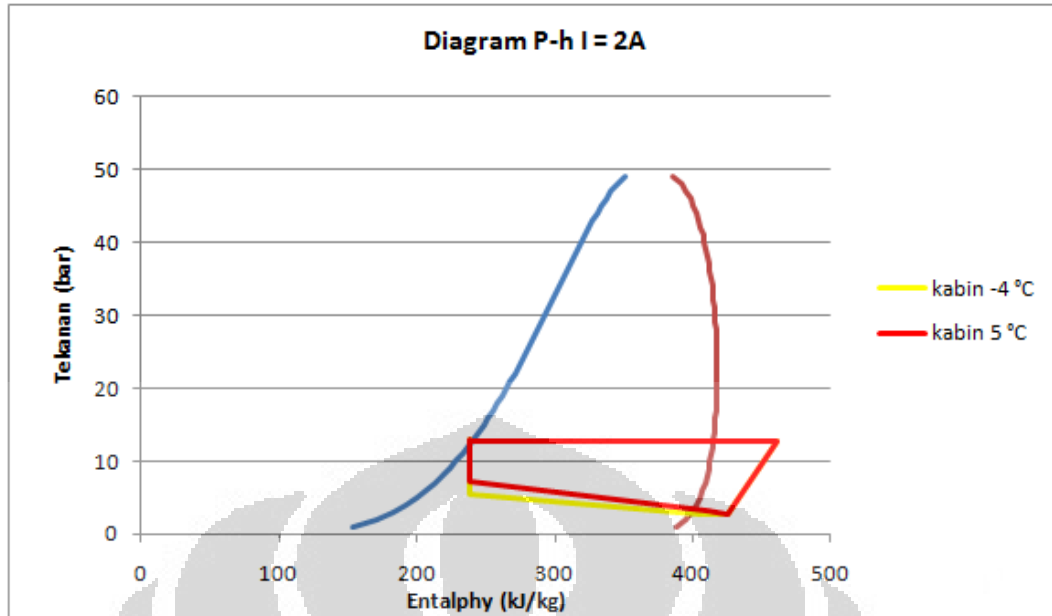


Gambar 4.5. P-h diagram pada variasi arus listrik 1,5A

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran variasi I = 1,5 A

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
Discharge	87.67	12.6	40.413	461.56	1.8496
Before TXV HP	29.43	12.8	1173.8	235.89	1.1225
Out Kondenser	31.716	12.6	1163.8	238.82	1.1322
After TXV HP	-4.91	7.2	1299.4	194.24	0.97808
Out Evap HP	3	7.2	1272	203.56	1.0123
Before TXV LP	30.419	12.8	1169.6	237.15	1.1267
After TXV LP	-15.61	5.6	1331.6	182.77	0.93496
Out Evap LP	-5	2.9	12.009	406.09	1.8022
Suction	22.088	2.8	10.305	424.69	1.8715

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa antara evaporator dengan temperatur 4 °C dengan evaporator temperatur -5 °C mulai menunjukkan perbedaan tekanan sehingga mengakibatkan perbedaan entalphy.



Gambar 4.6. P-h diagram aktual pada variasi arus listrik 2 A

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran variasi I = 2 A

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg-K)
Discharge	87.18	12.8	41.216	460.95	1.8465
Before TXV HP	29	13	1175.7	235.34	1.1206
Out Kondenser	31.45	12.8	1165.1	238.48	1.131
After TXV HP	-4.22	7.2	1299.4	194.24	0.97808
Out Evap HP	2.1896	3.1	12.478	410.57	1.8127
Before TXV LP	30.277	13	1170.3	236.97	1.126
After TXV LP	-14.21	5.5	1331.6	182.77	0.93498
Out Evap LP	-5.129	2.8	11.573	406.22	1.8058
Suction	22.172	2.8	10.302	424.74	1.8716

Gambar 4.6 menunjukkan perbedaan efek pendinginan antara evaporator dengan temperatur 4 °C dengan evaporator temperatur -5 °C yang tidak terlalu besar. Seperti halnya gambar 4.4 evaporator temperatur -5 °C memiliki tekanan yang lebih rendah dari pada evaporator temperatur 4 °C karena temperatur kabin yang diinginkan lebih rendah.

Mengasumsikan laju aliran massa yang sama dengan percobaan yang dilakukan oleh Rikko Defriadi, karena jumlah charging refrigeran yang sama dan menganggap laju aliran massa yang konstan, maka kita dapatkan laju aliran massa sebagai berikut:

Tabel 4.5. Hasil Pengukuran Laju Aliran Massa

	m1 (kg/s)	m2 (kg/s)	m1+m2 (kg/s)
Kapiler panjang sebelum	0.00505	0.00494	0.00999
Kapiler panjang sesudah	0.00423	0.0033	0.00753
TXV sebelum	0.00253	0.00169	0.00422
TXV sesudah	0.00217	0.00161	0.00378

Maka kita dapat peroleh COP sebagai berikut:

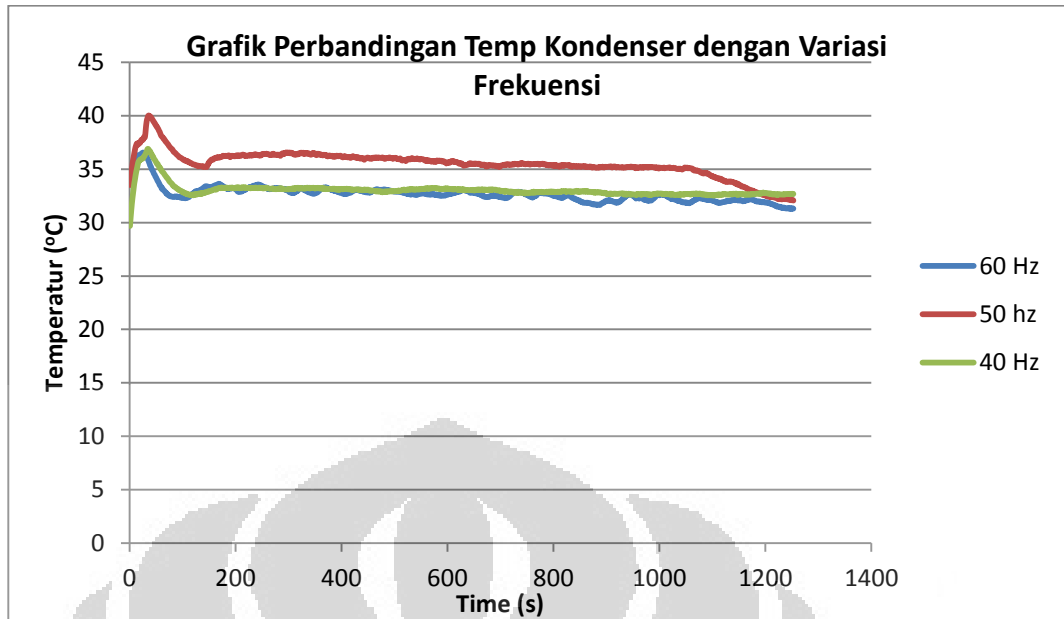
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan COP

	0,5 A	1,0 A	1,5 A	2,0 A
Qevaporator (kW)	0.11	0.22	0.33	0.44
Wkompresor (kW)	0.51	0.51	0.495	0.495
Δh Evap LP (kJ/kg)	241.81	243.08	241.92	241.97
Δh Evap HP (kJ/kg)	190.53	231.61	230.45	230.5
Δh Kompresor (kJ/kg)	33.92	33.93	36.87	36.21
COP	5.510318	5.56145	5.041226	5.143883

10.3 Variasi Putaran Motor Fan Kondenser

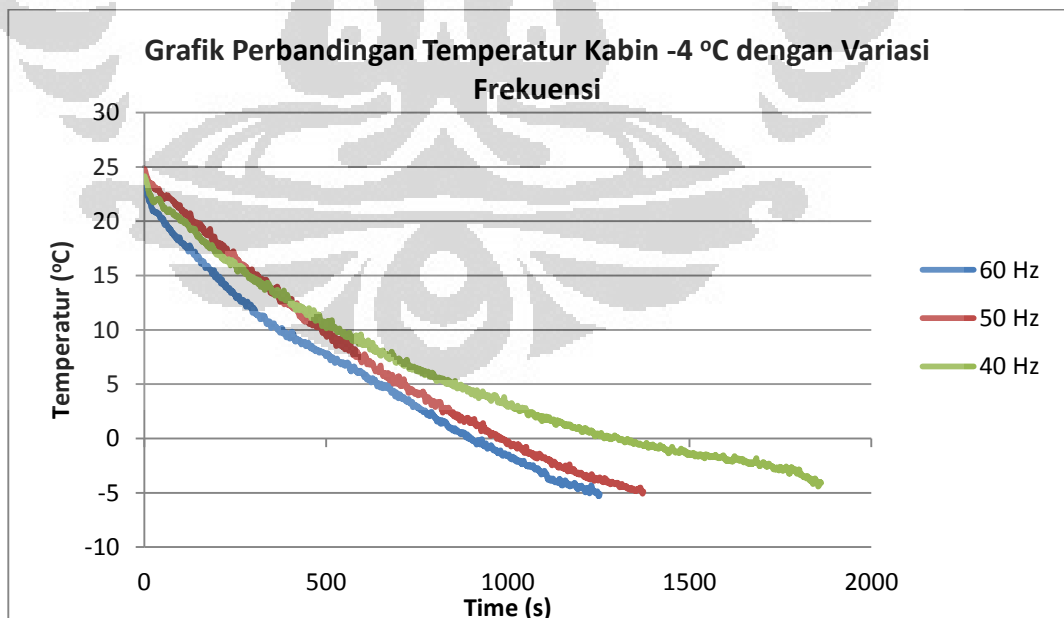
Salah satu penghematan energi ialah dengan menurunkan konsumsi pemakaian listrik. Motor fan kondenser merupakan perangkat motor elektrik yang dapat dilakukan penghematan. Apabila temperatur lingkungan dan temperatur kondenser mempunyai jarak yang jauh berbeda, maka kerja kondenser akan semakin mudah karena kalor yang dilepaskan ke lingkungan akan semakin mudah, sehingga kerja fan motor kondenser akan semakin ringan pula. Berbeda apabila temperatur lingkungan semakin tinggi, maka kerja motor fan kondenser akan semakin berat karena proses pelepasan kalor di kondenser hanya memiliki perbedaan temperatur yang tidak terlalu besar.

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan frekuensi motor fan kondenser untuk melihat pengaruhnya terhadap sistem pendinginan dan pengaruhnya dalam penghematan energi. Pelepasan kalor di kondenser akan mempengaruhi penyerapan kalor di evaporator. Semakin besar pelepasan kalor di kondenser maka semakin besar pula penyerapan kalor di evaporator.

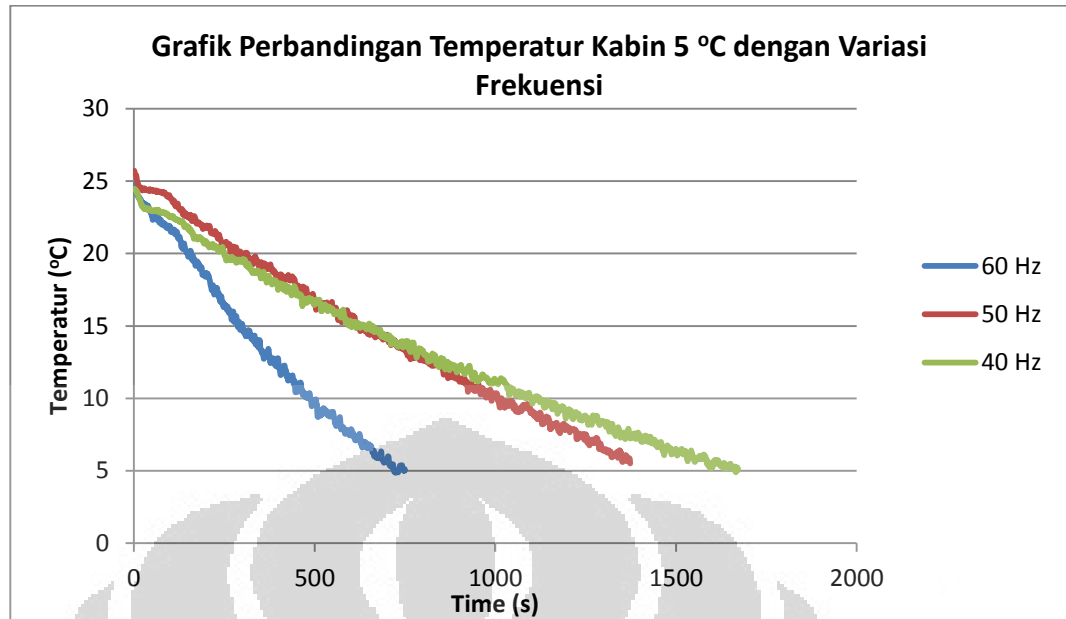


Gambar 4.7. grafik perbandingan temperatur kondenser dengan variasi putaran motor fan kondenser.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar putaran motor fan kondenser (pada frekuensi 60 Hz) maka semakin cepat pula temperatur kondenser mencapai titik steady-nya. Semakin rendah putaran motor fan kondenser (pada frekuensi 40 Hz) maka semakin lama untuk kondenser untuk mencapai temperatur steady-nya

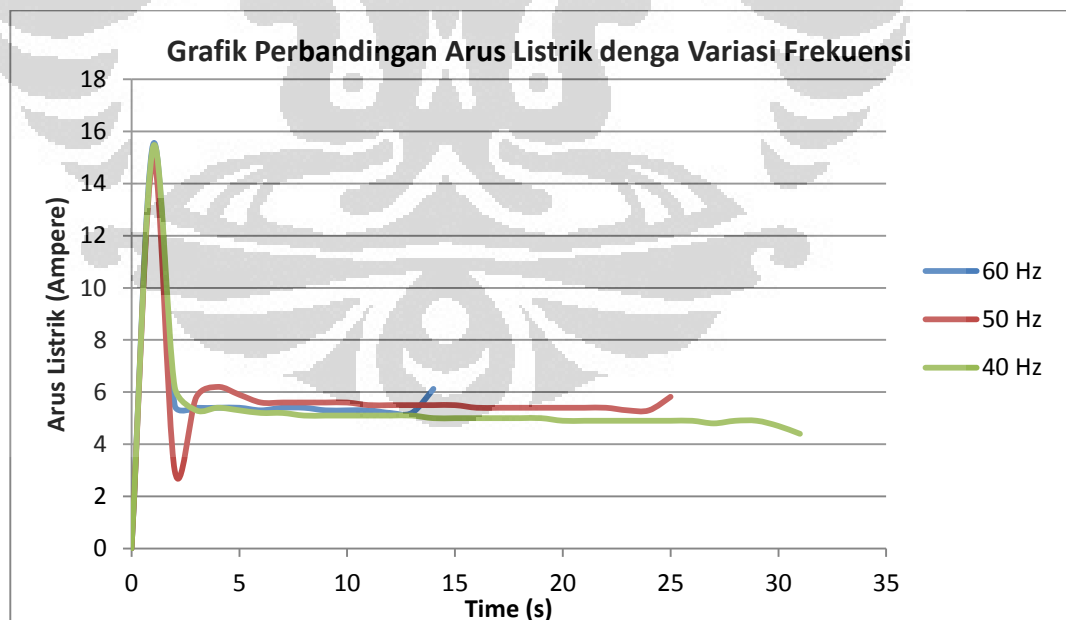


Gambar 4.8. grafik perbandingan temperatur kabin temperatur -4 °C dengan variasi putaran motor fan kondenser.



Gambar 4.9. grafik perbandingan temperatur kabin temperatur 5 °C dengan variasi putaran motor fan kondenser

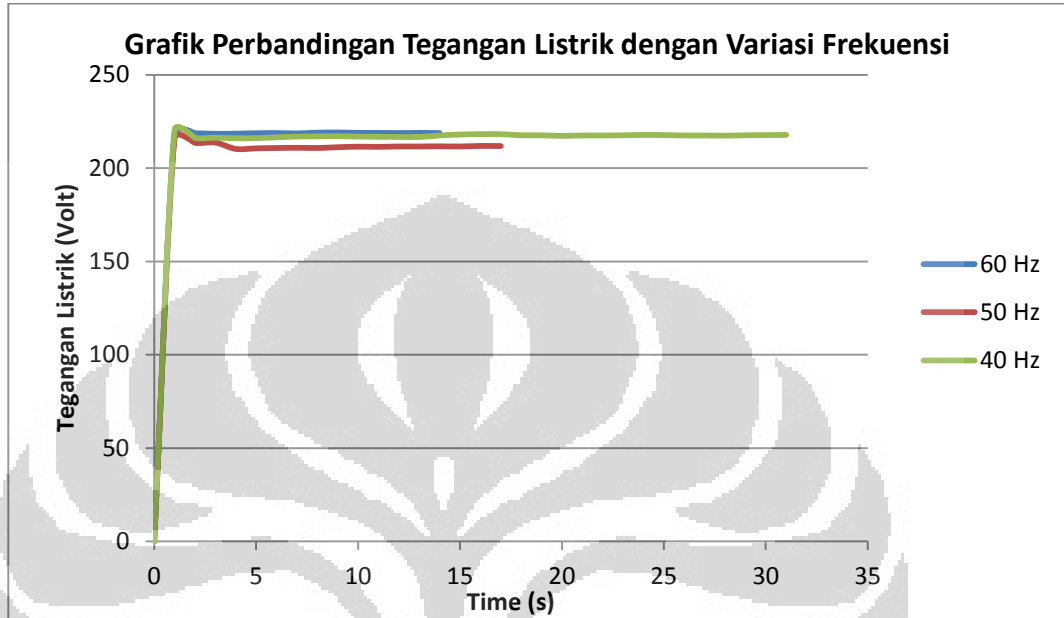
Gambar 4.8 dan gambar 4.9 menunjukkan bahwa pelepasan kalor di kondenser mempengaruhi penyerapan kalor di kedua evaporator. Sehingga semakin banyak kalor yang dilepas di kondenser maka semakin banyak kalor yang diserap di evaporator.



Gambar 4.10. grafik perbandingan arus listrik dengan variasi frekuensi

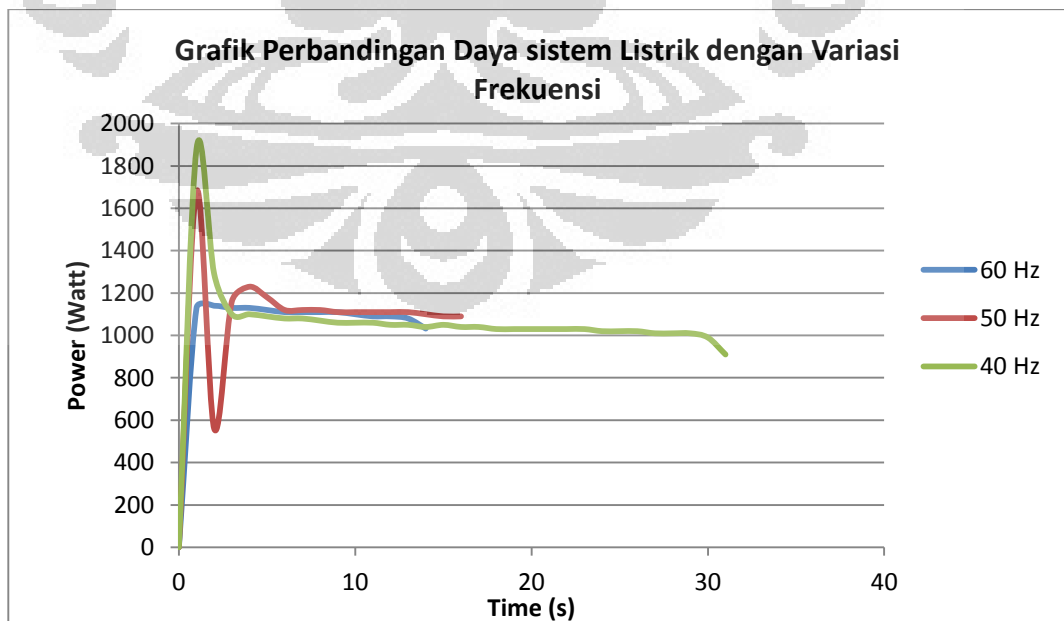
Perubahan frekuensi pada motor fan kondenser mengakibatkan berubahnya juga arus listrik. Semakin tinggi frekuensi, semakin tinggi pula

arus listrik yang mengalir. Arus listrik rata-rata yang mengalir pada frekuensi 60 Hz sebesar 6.123 Ampere dan arus listrik pada frekuensi 50 Hz ialah sebesar 5.82 Ampere, sedangkan arus listrik rata-rata yang mengalir pada frekuensi 40 Hz adalah 5.37 Ampere.



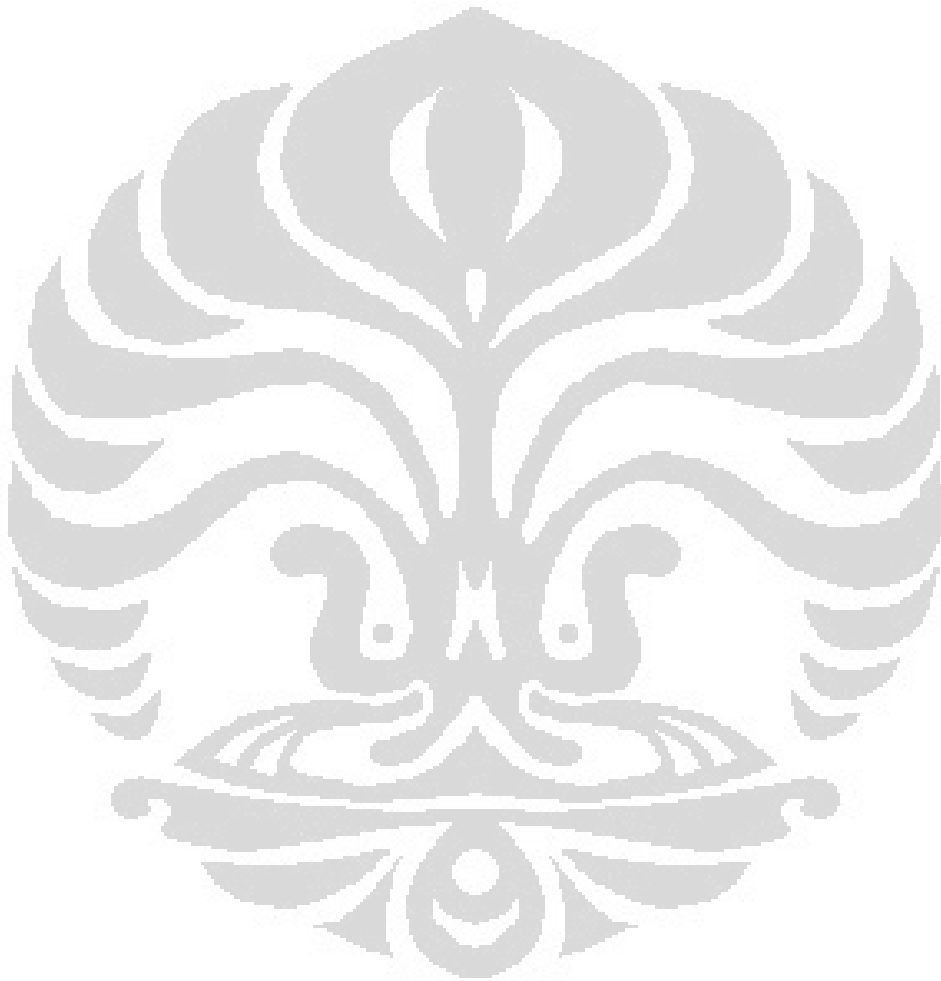
Gambar 4.11. grafik perbandingan tegangan listrik dengan variasi frekuensi

Tegangan listrik yang mengalir pada sistem refrigerasi ini relatif sama yaitu pada tegangan 220 V. Perubahan frekuensi pada motor fan kondenser tidak terlalu berpengaruh pada tegangan listrik yang berada pada sistem.



Gambar 4.11. grafik perbandingan daya sistem dengan variasi frekuensi

Daya listrik pada sistem hanya dipengaruhi oleh perubahan arus listrik yang mengalir pada motor fan kondenser, karena faktor daya yang berada pada sistem relatif sama.



BAB 5

PENUTUP

15.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Waktu pendinginan pada *cold storage* berbanding lurus dengan jumlah beban di dalamnya. Semakin besar beban pendinginan maka semakin lama waktu pendinginannya.
- COP yang paling besar terjadi pada variasi beban 1 A (110 Watt) yaitu sebesar 5.56.

Tabel 5.1 Hasil perhitungan COP

	0,5 A	1,0 A	1,5 A	2,0 A
Qevaporator (kW)	0.11	0.22	0.33	0.44
Wkompresor (kW)	0.51	0.51	0.495	0.495
COP	5.510318	5.56145	5.041226	5.143883

- Dengan pengukuran menggunakan PQA, terukur nilai faktor daya yang seragam, yaitu sebesar 0.96.
- Daya yang terukur oleh Power Quality Analyser ialah pada frekuensi 60 Hz sebesar 1.032 kW, pada frekuensi 50 Hz sebesar 1.035 kW dan pada frekuensi 40 Hz sebesar 1.074.

15.2 Saran

Diperlukannya otomasisasi dalam merubah putaran motor kondenser, sehingga kerja motor kondenser dapat berubah-ubah mengikuti jumlah beban yang ada dan kondisi temperatur lingkungan. Sehingga frekuensi putaran motor dapat mengikuti kondisi yang ada pada *cold storage* tanpa ditangani secara langsung oleh tangan operatornya.

DAFTAR REFERENSI

- Andrew D.Althouse, Carl H.Turnquist, Alfred F.Bracciano. *Modern Refrigeration And Air Conditioning*. Illinois : 2004. The Goodheart-WillCox Company,Inc.
- Tecumseh company official website. (n.d.) Januari, 2010.
<http://www.tecumseh.com/product/>
- Tecumseh company official website. (n.d.) Mei, 2010.
<http://www.guntner.com/>
- Woollard, Peri. (2010, June 1). Guntner customer service. Guntner Company. June 3, 2010. *Peri@guntner.co.uk*
- Siemens company official website. (n.d.) June, 2010.
[http:// www.siemens.com/automation/](http://www.siemens.com/automation/)

