



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGUJIAN EFEK PEMBEBANAN DI KEDUA KABIN  
PENDINGIN PADA SISTEM REFRIGERASI  
*SINGLE CONDENSING UNIT-DOUBLE EVAPORATOR***

**SKRIPSI**

**AHMAD FAUZI RIDWAN  
0706266821**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGUJIAN EFEK PEMBEBANAN DI KEDUA KABIN  
PENDINGIN PADA SISTEM REFRIGERASI  
*SINGLE CONDENSING UNIT-DOUBLE EVAPORATOR***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**AHMAD FAUZI RIDWAN  
0706266821**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

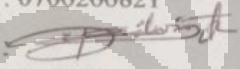
Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **PENGUJIAN EFEK PEMBEBANAN DI KEDUA KABIN PENDINGIN PADA SISTEM REFRIGERASI *SINGLE CONDENSING UNIT-DOUBLE EVAPORATOR***

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 : Ahmad Fauzi Ridwan

NPM : 0706266821

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Ahmad Fauzi Ridwan  
NPM : 0706266821  
Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengujian Efek Pembebanan di Kedua  
Kabin Pendingin Pada Sistem  
Refrigerasi *Single Condensing Unit-  
Double Evaporator*

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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 : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. -Ing (.....)

Penguji : Ir. Rusdy Malin, M.Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok (Universitas Indonesia)

Tanggal : 27/6-2011



## UCAPAN TERIMA KASIH

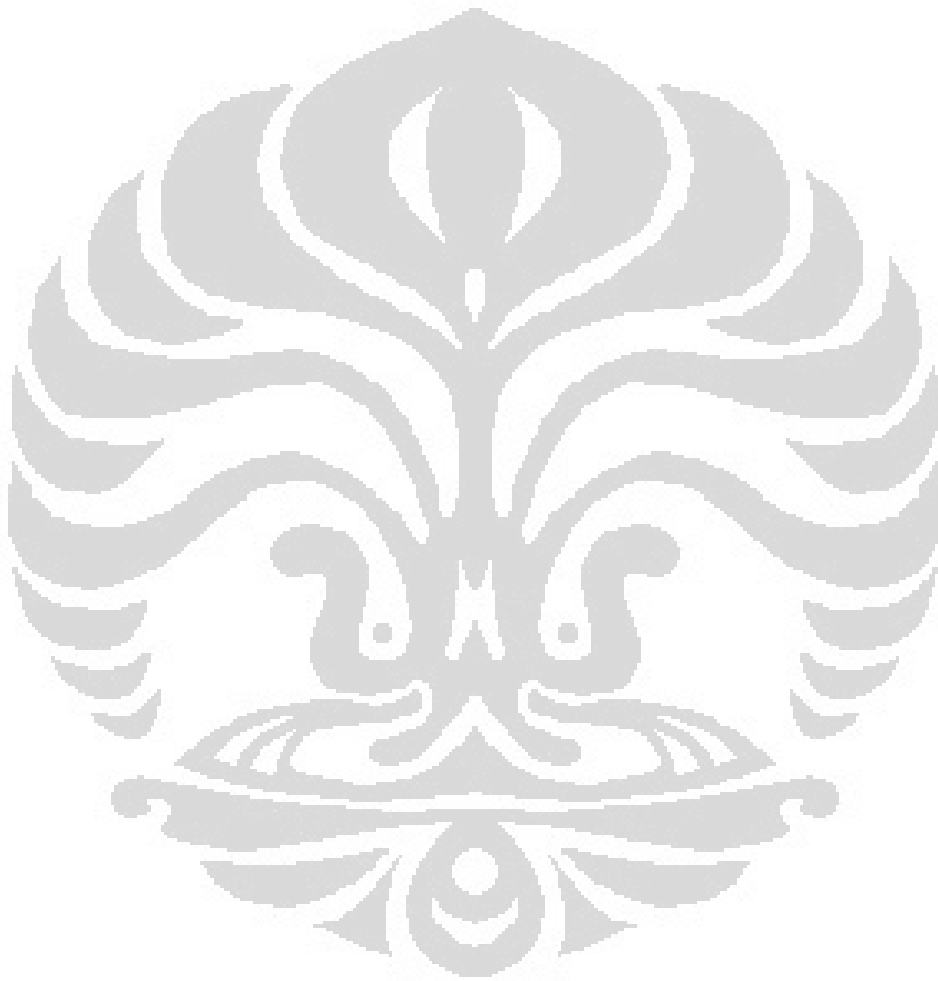
Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat atas rahmat dan inayah-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penelitian skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.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

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan limpahan kasih sayang dan do'a restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan arahan dan penjelasan pada skripsi ini.
3. Ricky Ardiansyah sebagai rekan satu tema skripsi yang telah bersedia memberikan waktu dan tenaganya.
4. Rekan-rekan di Lab. Pendingin, Ir. Darwin Rio Budi Syaka, M.T. , Ir. M. Yulianto, M.T., Ir. Senoadi, M.T. , Bayu Perdana, mas Dedi, mas Firman, Rio Ricardi, M. Novel, mas Arnas, Arief Setiawan, Irawan, dan rekan-rekan satu lab lainnya.
5. Rekan-rekan di Lab. Mekanika Fluida, Fredy Lay, Andre Grivanzy, Ahmad Tri Ageng, Ken Ferry, dan Edward.
6. Teman-teman Departemen Teknik Mesin angkatan 2007 untuk segala canda tawanya.
7. Nabilah Syifa Suaidah yang telah memberikan semangat kepada penulis dari awal penelitian hingga akhir.
8. Rikko Defriadi dan Ahmad Shoim yang telah memberikan saran-saran dan bantuannya di dalam lab.
9. Dosen-dosen Departemen Teknik Mesin UI yang selama ini telah memberikan ilmu dan pengetahuannya kepada penulis.

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

Depok, 25 Juni 2010

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Ahmad Fauzi Ridwan

NPM : 0706266821

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demikian 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 EFEK PEMBEBANAN DI KEDUA KABIN  
PENDINGIN PADA SISTEM REFRIGERASI  
SINGLE CONDENSING UNIT-DOUBLE EVAPORATOR**

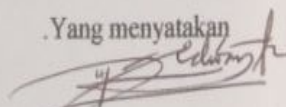
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian persyaratan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok (Universitas Indonesia)

Pada tanggal : 25 Juni 2011

.Yang menyatakan



(Ahmad Fauzi Ridwan)

## ABSTRAK

Nama : Ahmad Fauzi Ridwan  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : **Pengujian Efek Pembebanan di Kedua Kabin  
Pendingin Pada Sistem Refrigerasi  
Single Condensing Unit-Double Evaporator**

*Cold Storage pada umumnya digunakan untuk menyimpan bahan makanan seperti daging, sayur mayur, buah-buahan, susu, dan lain-lain. Keberadaan cold storage sangat vital sekali, mengingat bahwa bahan makanan tersebut kualitasnya harus terjaga dengan baik dan harus sampai ke tangan konsumen dalam keadaan yang masih segar. Bahan makanan ini pun juga mempunyai beban panas yang harus diserap oleh evaporator di cold storage agar temperatur di bahan makanan tersebut harus seminimal mungkin direndahkan untuk menjaga kesegaran bahan makanan tersebut. Pada percobaan kali ini, beban panas di kabin cold storage akan diganti dengan beban panas yang dihasilkan oleh heater, heater tersebut akan divariasikan arus listriknya agar mempunyai daya yang bervariasi pula. Heater pada percobaan kali ini menggunakan konduktor listrik dengan material besi dengan panjang 970 mm pada kabin evaporator besar dan panjang 760 mm pada evaporator kecil dengan diameter batang sebesar 8 mm. Tentunya daya yang dihasilkan oleh heater ini bukanlah daya panas yang harus diserap, namun cukup untuk menghasilkan beban panas pada kedua kabin. Variasi arus listrik yang digunakan adalah 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 A. Diharapkan variasi tersebut akan menunjukkan temperatur yang dicapai oleh kedua kabin.*

*Kata Kunci : Heater, Beban Panas, Arus listrik*

## ABSTRACT

Name : Ahmad Fauzi Ridwan  
Study Programme : Mechanical Engineering  
Title : **Experimental of Cooling Load Effects In Double Cold Storage on Single Condensing Unit-Double Evaporator Refrigeration System.**

*Cold storage usually used to keep food- stuff like meat,vegetables, milk, etc. The existance of cold storage is very vital, its because the function of cold storage to keep the food-stuff in good condition when it was on consumer hands. The food-stuff also have cooling load which is they must absorbed by evaporator to make the food temperature low as possible. On this experiment, the cooling load which is produced by food-stuff will replaced by heater. The heater will variated by electric currenton the other hand it will have variation of heater power. The heater which is used on this experimental have length 970 mm on large evaporator and 760 mm on small evaporator, both of them have diametre 8 mm. And the variation of electric current is 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 A. Hope those variation wil show the steady temperature each cabin.*

*Keywords : Heater, Cooling Load, Electric Current*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penulisan .....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 Sistem Refrigerasi.....	6
2.1.1 Penjelasan Mengenai Sistem Refrigerasi.....	6
2.1.2 Komponen Utama Sistem Refrigerasi .....	8
2.1.3 Aksesoris dalam Suatu Sistem Refrigerasi .....	14
2.1.4 Freon dan Piping.....	21
2.2 Cold Storage .....	23
2.3 Pengukuran Aliran Refrigeran dengan Orifis.....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1 Alur Metode Penelitian .....	30

3.2	Sistem dan Komponen Pengujian .....	31
3.2.1	Skema Sistem Refrigerasi .....	31
3.2.2	Komponen Sistem Refrigerasi yang Digunakan .....	33
3.2.3	Skema Sistem Kelistrikan .....	44
3.3	<i>Cold Storage</i> .....	46
3.4	<i>Heater</i> .....	48
3.5	Kalibrasi <i>Termocouple</i> .....	49
3.6	Kalibrasi <i>Orifice-Flowmeter</i> .....	51
3.7	Tes Kebocoran .....	53
3.8	Pemvakuman Sistem Pipa .....	53
3.9	Pengisian Refrigeran .....	54
3.10	Metode Pengambilan Data .....	55
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL.....</b>		<b>56</b>
4.1	Perhitungan Daya <i>Heater</i> .....	56
4.2	Hasil Pengujian Berbagai Kondisi .....	57
4.3	Analisa Pengujian dari Berbagai Kondisi .....	62
4.3.1	Analisa diagram p-h .....	62
4.3.2	Analisa Pengaruh Pembebanan.....	70
4.3.3	Perbandingan Daya Kompresor dan Massa Aliran Refrigeran Antara Menggunakan Orifis dengan PQA.....	72
4.4	Distribusi Temperatur Di Dalam Kabin .....	74
4.4.1	Distribusi Temperatur Di Dalam Kabin Evap Besar.....	74
4.4.2	Distribusi Temperatur Di Dalam Kabin Evap Kecil .....	74
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>79</b>
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem refrigerasi standar .....	6
Gambar 2.2	Diagram p-h dan t-s sistem refrigerasi standar .....	7
Gambar 2.3	Diagram t-s sistem refrigerasi aktual .....	8
Gambar 2.4	Jenis-jenis kompresor .....	9
Gambar 2.5	Klasifikasi Kompresor.....	9
Gambar 2.6	prinsip kerja dari reciprocating compressor .....	10
Gambar 2.7	Ilustrasi kondenser secara sederhana .....	11
Gambar 2.8	Instalasi kondenser yang menggunakan fan .....	11
Gambar 2.9	Evaporator .....	12
Gambar 2.10	Ilustrasi komponen-komponen pada ekspansi device (TXV) .....	13
Gambar 2.11	Muaian sensing bulb yang mempengaruhi bukaan katup .....	14
Gambar 2.12	Letak orifices pada TXV .....	14
Gambar 2.13	Filter drier .....	15
Gambar 2.14	Skema instalasi filter drier pada suatu sistem refrigerasi .....	15
Gambar 2.15	Ilustrasi kerja liquid receiver .....	16
Gambar 2.16	Ilustrasi kerja oil separator .....	16
Gambar 2.17	Ilustrasi kerja pada Check Valve .....	17
Gambar 2.18	Kumparan magnetic .....	17
Gambar 2.19	Ilustrasi kerja solenoid valve .....	17
Gambar 2.20	Contoh solenoid valve untuk aliran 2 arah .....	18
Gambar 2.21	Contoh sight glass .....	18
Gambar 2.22	Komponen pada hand valve .....	19
Gambar 2.23	Contoh single pressure switch .....	19
Gambar 2.24	Contoh dual pressure switch.....	19
Gambar 2.25	Bourdon Pressure gage .....	20
Gambar 2.26	Ilustrasi kerja EVR .....	20
Gambar 2.27	Ilustrasi kerja termocouple .....	21
Gambar 2.28	Tabel jenis-jenis termocouple .....	21
Gambar 2.29	Tabel freon yang biasa dipergunakan .....	22



Gambar 2.30	Tabel pipa tembaga yang biasa dipergunakan .....	23
Gambar 2.31	Ilustrasi cold storage .....	23
Gambar 2.32	Bentuk fisik dan skema kimiawi Polyurethane.....	24
Gambar 2.33	manometer tabung U sederhana.....	25
Gambar 2.34	manometer tabung U pada orifis.....	25
Gambar 2.35	efek vena contracta.....	27
Gambar 2.36	pemasangan orifis.....	28
Gambar 2.37	tampak luar bagian orifis .....	28
Gambar 2.38	manometer U yang digunakan .....	28
Gambar 2.39	keran manometer.....	29
Gambar 2.40	shut-off valve pada inlet dan outlet orifis.....	29
Gambar 3.1	diagram alir pengujian .....	30
Gambar 3.2	Skema sistem refrigerasi yang telah dibuat .....	31
Gambar 3.3	Komponen-komponen pada cold storage .....	34
Gambar 3.4	Kondensing unit yang dipergunakan .....	35
Gambar 3.5	Kompresor .....	35
Gambar 3.6	Kondenser .....	36
Gambar 3.7	Liquid receiver .....	36
Gambar 3.8	Evaporator besar (low temp) .....	37
Gambar 3.9	Evaporator kecil (high-temp) .....	37
Gambar 3.10	Thermal Expansion Valve .....	38
Gambar 3.11	Electric Expansion Valve .....	38
Gambar 3.12	Filter drier .....	39
Gambar 3.13	Sight Glass .....	40
Gambar 3.14	Solenoid Valve .....	40
Gambar 3.15	Shut-Off Valve .....	41
Gambar 3.16	Pressure control .....	41
Gambar 3.17	Pressure gauge .....	42
Gambar 3.18	Oil separator .....	42
Gambar 3.19	Evaporator regulator.....	43
Gambar 3.20	Check valve .....	43
Gambar 3.21	Skema Sistem Kelistrikan .....	44

Gambar 3.22	Panel Box I .....	44
Gambar 3.23	Skema kelistrikan panel box II .....	45
Gambar 3.24	Panel Box II .....	45
Gambar 3.25	Cold storage untuk beban pendinginan yang besar .....	46
Gambar 3.26	Cold storage untuk beban pendinginan yang kecil .....	46
Gambar 3.27	Tabel properties polyurethane .....	47
Gambar 3.28	Jenis isolator untuk dinding ruangan pendingin .....	47
Gambar 3.29	Sistem defrost pada cold storage .....	48
Gambar 3.30	MCB .....	48
Gambar 3.31	dimmer.....	48
Gambar 3.32	batang Heater .....	49
Gambar 3.33	Skema kelistrikan Heater .....	49
Gambar 3.34	diagram alir kalibrasi termocouple .....	50
Gambar 3.35	Skematik kalibrasi termocuple.....	50
Gambar 3.36	NI-DAQ.....	51
Gambar 3.37	CTB .....	51
Gambar 3.38	diagram alir kalibrasi orifis.....	51
Gambar 3.39	Skematik kalibrasi orifis.....	52
Gambar 3.40	Pompa Vakum.....	54
Gambar 3.41	Timbangan digital .....	55
Gambar 4.1	PQA.....	56
Gambar 4.2	Temperatur kabin tanpa beban.....	57
Gambar 4.3	Temperatur kabin dengan pembebanan ke-1 .....	57
Gambar 4.4	Temperatur kabin dengan pembebanan ke-2 .....	58
Gambar 4.5	Temperatur kabin dengan pembebanan ke-3 .....	58
Gambar 4.6	Temperatur kabin dengan pembebanan ke-4 .....	59
Gambar 4.7	Temperatur yang dicapai pada kabin evap besar dengan berbagai kondisi .....	59
Gambar 4.8	Temperatur yang dicapai pada kabin evap kecil dengan berbagai kondisi .....	61
Gambar 4.9	diagram p-h kondisi tanpa pembebanan .....	63
Gambar 4.10	diagram p-h kondisi pembebanan ke-1 .....	64

Gambar 4.11	diagram p-h kondisi pembebanan ke-2.....	66
Gambar 4.12	diagram p-h kondisi pembebanan ke-3.....	67
Gambar 4.13	diagram p-h kondisi pembebanan ke-4.....	69
Gambar 4.14	beban vs temperatur kabin evap kecil .....	70
Gambar 4.15	beban vs temperatur kabin evap besar.....	71
Gambar 4.16	pengaruh beban terhadap perubahan entalpi di evap kecil .....	71
Gambar 4.17	pengaruh beban terhadap perubahan entalpi di evap besar .....	72
Gambar 4.18	distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 107.56 Watt.....	74
Gambar 4.19	distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 208.8 Watt.....	75
Gambar 4.20	distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 327.27 Watt.....	75
Gambar 4.21	distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 485.1 Watt.....	76
Gambar 4.22	distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 146.7 Watt.....	76
Gambar 4.23	distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 287.1 Watt.....	77
Gambar 4.24	distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 428.8 Watt.....	77
Gambar 4.25	distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 591.66 Watt.....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data untuk mencari nilai $c$ pada orifis evap besar .....	53
Tabel 3.2	Data untuk mencari nilai $c$ pada orifis evap kecil.....	53
Tabel 4.1	Daya yang dihasilkan oleh <i>heater</i> .....	56
Tabel 4.2	Temperatur yang dicapai dari berbagai kondisi.....	62
Tabel 4.3	Hasil dari diagram p-h kondisi tanpa pembebanan .....	64
Tabel 4.4	Hasil dari diagram p-h kondisi pembebanan ke-1.....	65
Tabel 4.5	Hasil dari diagram p-h kondisi pembebanan ke-2.....	67
Tabel 4.6	Hasil dari diagram p-h kondisi pembebanan ke-3.....	68
Tabel 4.7	Hasil dari diagram p-h kondisi pembebanan ke-4.....	70
Tabel 4.8	Perbandingan massa aliran refrigeran antara orifis dengan PQA.....	73
Tabel 4.9	Perbandingan daya kompresor antara metode orifis dengan PQA.....	73

# BAB I

## 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. 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 waktu, akan tetapi ruangan yang digunakan untuk setiap jenis bahan yang akan disimpan memiliki perbedaan temperatur penyimpanan, karena perbedaan kondisi dari bahan-bahan tersebut. Dalam hal ini, akan dibahas mengenai rancangan suatu *cold storage* dengan sistem satu *condensing unit* dan dua *cold storage*, dalam rangka meningkatkan efisiensi.

*Cold storage* tersebut akan dilakukan pengujian pembebanan kalor (*cooling load*) dimana pada masing-masing kabin terpasang pemanas (*heater*). Beban kalor yang dihasilkan oleh *heater* tersebut diibaratkan beban kalor yang dihasilkan oleh barang yang disimpan di dalam *cold storage*, hal ini dilakukan untuk mempermudah mendapatkan beban kalor dan memvariasikan kalor yang ingin diuji.

### 1.2 Tujuan Penulisan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk :

- a. Menguji sistem refrigerasi *single condensing unit-double evaporator* dengan variasi beban *heater* di kedua kabin pendingin.

- b. Mengetahui karekteristik pembebanan sistem refrigerasi *single condensing unit-double evaporator*.

### 1.3 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pembebanan dengan variasi arus listrik *heater* pada sistem refrigerasi *single condensing unit-double evaporator*, variasi arus listrik ini tentunya akan memvariasikan daya pada *heater* tersebut. Daya yang akan dihasilkan oleh *heater* kan menghasilkan panas, dengan adanya panas yang dihasilkan oleh *heater* diharapkan dapat menguji pembebanan sistem ini karena akan dilihat apakah pengaruh pembebanan akan mempengaruhi karekteristik sistem refrigerasi *single condensing unit-double evaporator* yang akan berdampak pada konsumsi energi dan kualitas produk.

### 1.4 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Pengambilan data-data yang diperlukan diambil setelah keadaan telah *steady*.
- b. *Pressure drop* antara *discharge compressor* dan keluar kondenser dianggap nol (0).
- c. Kedua evaporator memiliki kapasitas yang pendinginan yang berbeda (*evap besar = low-temp* dan *evap kecil = high-temp*) seperti penelitian yang dilakukan Rikko Defriadi dan Ahmad Shoim.
- d. Sumber yang digunakan merupakan satu unit *condensing*.
- e. Refrigeran yang digunakan adalah R22 dengan *charging* pada sistem sebesar 3 kg.
- f. Cold Storage yang digunakan merupakan storage dengan ukuran (128 cm x 150 cm x 115.5 cm) yang dibuat dari polyurethane dengan tebal 7.6 cm .
- g. *Expansion Device* yang digunakan adalah *Thermal Expansion Valve* (TXV) pada kedua evaporator.
- h. Alat ukur aliran refrigeran menggunakan metode orifis dengan perbandingan antara pipa dan lubang orifis ( $\beta$ ) = 0.3

- i. *Heater* yang digunakan pada cabin evaporator besar mempunyai bentuk batang silinder diameter 8 mm dengan panjang 970 mm dan pada cabin evaporator kecil mempunyai diameter 8 mm dengan panjang 760 mm.
- j. Variasi arus listrik adalah 1.5 , 2, 2.5, dan 3 A,

## 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah :

- a. Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pengumpulan informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku dan jurnal.

- b. Perbaikan Alat Uji

Perbaikan alat uji dilakukan untuk mengembalikan dan meningkatkan performa kondisi alat, sehingga pengujian dapat dilakukan. Perbaikan dilakukan dengan cara mengetes kebocoran pada saluran pipa, memasang isolator dinding pipa, pemasangan isolator cold storage, penambahan alat ukur laju aliran massa, penambahan berat pengisian refrigeran, dan sebagainya.

- c. Kalibrasi Alat Ukur Temperatur

Alat ukur temperatur ini berupa kabel termokopel tipe K yang kawatnya dilas ke bagian ujung pipa tembaga yang ukurannya lebih kecil dari pipa tembaga yang ingin dipasang ke pipa sistem, kalibrasi ini bertujuan agar temperatur yang terbaca sangat mendekati keadaan aktual.

- d. Kalibrasi Alat Ukur Aliran Refrigeran

Alat ukur aliran refrigeran menggunakan metode orifis, perbandingan pipa dan lubang orifis yang digunakan adalah 0.3. Kalibrasi ini bertujuan mendapat koefisien *vena contracta* (*c*). nilai *c* didapat setelah

dilakukannya kalibrasi dengan air dengan metode yang akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

e. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan variasi beban oleh *heater*. Kemudian data-data temperatur akan tercatat di data akusisi yang akan ditampilkan oleh monitor PC, data-data tekanan dan aliran massa dicatat secara manual.

f. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Dari data tekanan, temperatur dan laju aliran massa yang didapat kemudian diolah untuk mendapatkan nilai enthalpy serta dianalisa dengan menggunakan grafik yang diperoleh (diagram p-h) untuk tiap kondisi pada masing-masing cold storage. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian dan mengetahui COP sistem refrigerasi serta kesimpulan terkait efek pembebanan *heater*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi tentang latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Bagian ini mengenai Dasar Teori yang diperlukan guna mendukung perhitungan dan penjelasan yang disampaikan.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bagian ini berisi tentang deskripsi alat yang diuji, komponen-komponen yang mendukung performa sistem, komponen-komponen yang mendukung pengambilan data, langkah-langkah persiapan pengambilan data dan metode pengambilan data.



#### **BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL**

Bab ini berisi tentang hasil yang diperoleh dari proses pengujian, yaitu temperatur yang dicapai kedua kabin pada masing-masing pembebanan, analisa diagram p-h masing-masing *cold storage* akibat pembebanan oleh *heater*.

#### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil percobaan dan beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan yang akan datang.



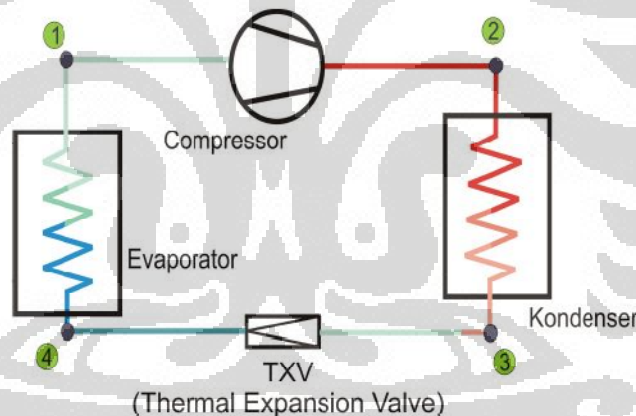
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Sistem Refrigerasi

##### 2.1.1 Penjelasan Mengenai Sistem Refrigerasi

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 refrijerasi 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.

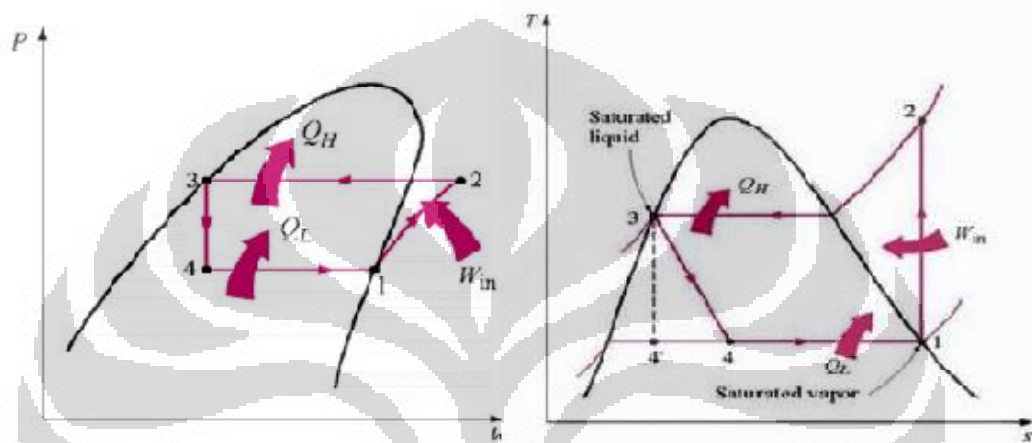


**Gambar 2.1** Sistem Refrigerasi Standar

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.



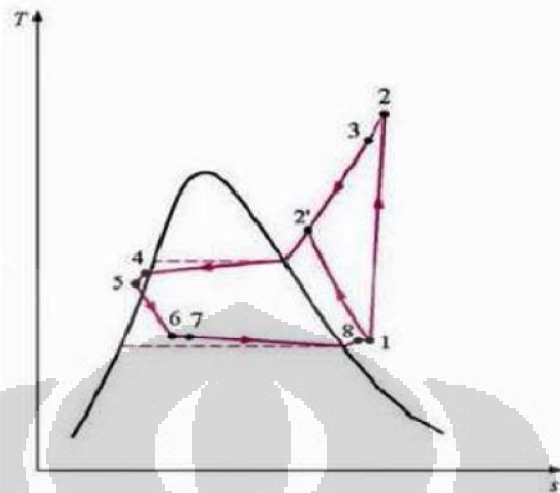
**Gambar 2.2** Diagram  $p-h$  dan  $T-s$  sistem refrigerasi standar

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).

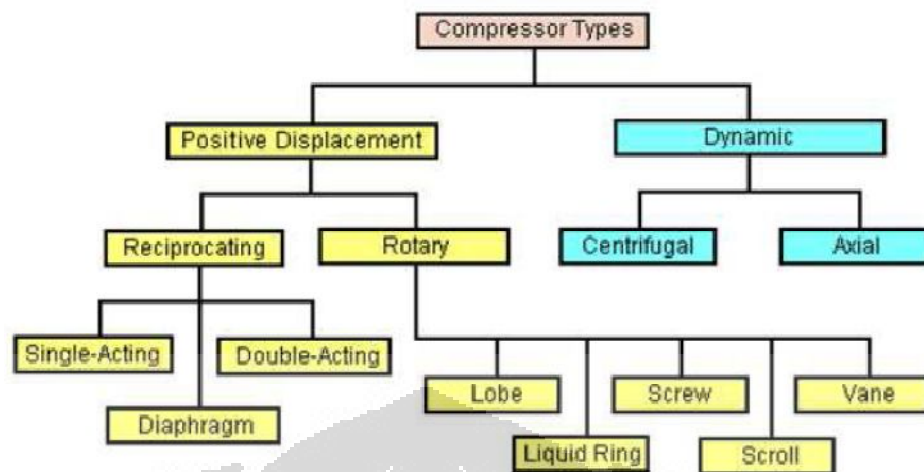


Gambar 2.3 Diagram T-s sistem refrigerasi aktual

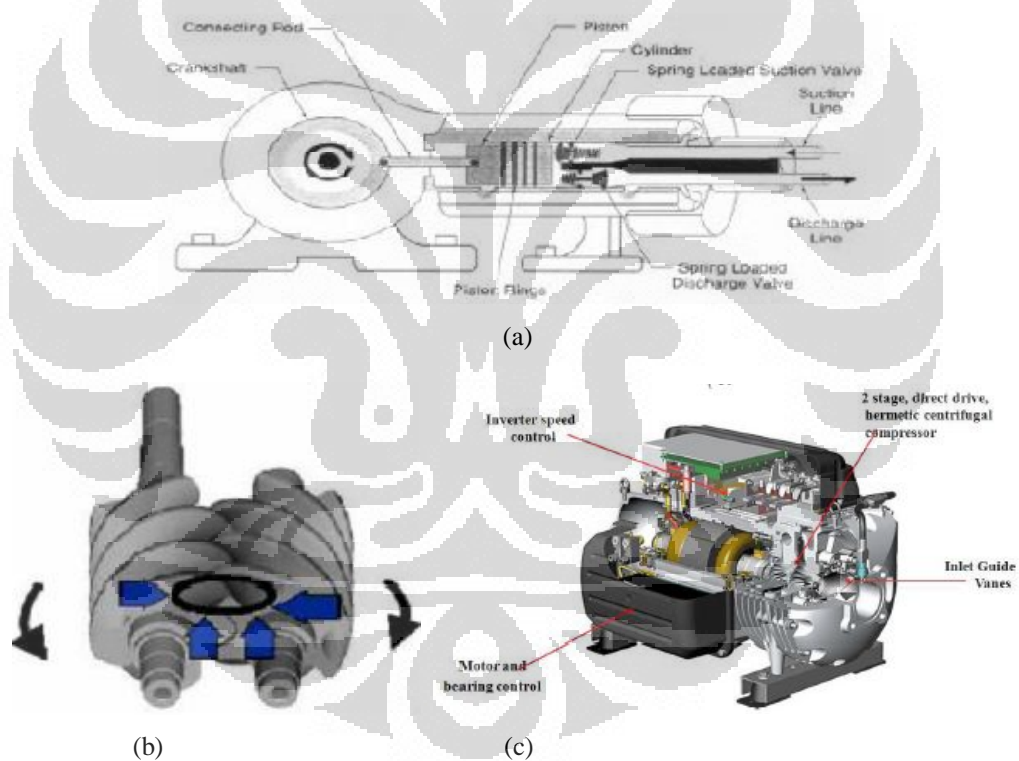
## 2.1.2 Komponen Utama Sistem Refrigerasi

### a. Kompresor

Kompresor merupakan salah satu komponen utama penyusun sistem refrigerasi yang memiliki fungsi untuk mensirkulasikan dan menjaga perbedaan tekanan refrigeran antara evaporator dan kondenser. Jika diibaratkan tubuh manusia, kompresor merupakan jantung dari sistem refrigerasi. Kompresor merupakan sebuah alat untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrigeran dari tekanan dan temperatur rendah menjadi tekanan dan temperatur tinggi. Disini kompresor memastikan bahwa suhu gas refrigeran yang disalurkan ke kondenser harus lebih tinggi dari suhu condensing medium. Bila suhu gas refrigeran lebih tinggi dari suhu condensing medium (udara atau air) maka energi panas yang dikandung refrigeran dapat dipindahkan ke *condensing* medium. akibatnya suhu refrigerant dapat diturunkan walaupun tekanannya tetap. Oleh karena itu kompresor harus dapat mengubah kondisi gas refrigeran yang bersuhu rendah dari evaporator menjadi gas yang bersuhu tinggi pada saat meninggalkan saluran discharge kompresor. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrigeran dan suhu lingkungannya.

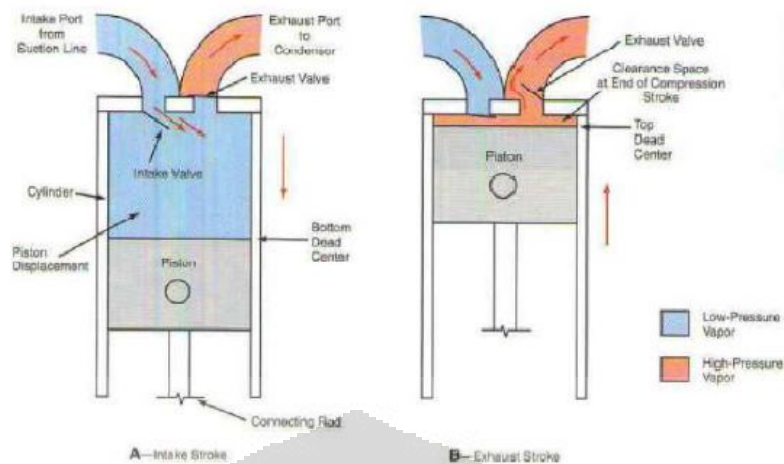


Gambar 2.4 jenis-jenis kompresor



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

Kerja kompresi isentropik :

$$w_{is} = (h_{is,comp-out} - h_{comp-in}) \quad 2.1$$

Kerja kompresor :

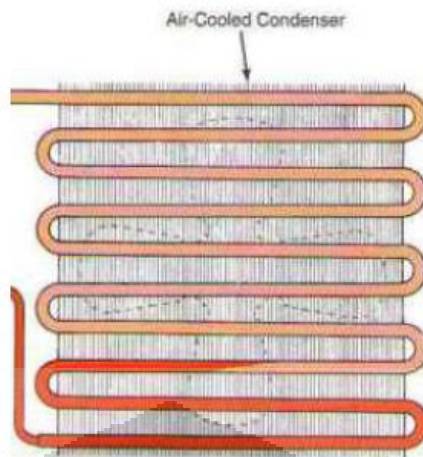
$$w = w_{is} / \eta_{is} \quad 2.2$$

Daya kompresor :

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m} \times w \quad 2.3$$

## b. Kondenser

Kondenser merupakan sebuah alat penukar kalor dimana refrigeran melepas kalor ke medium pendingin seperti air atau udara. Jadi, di kondenser Refrigeran yang berada pada keadaan uap super panas melepas kalor sehingga berubah menjadi cair (*liquid refrigerant*). Pada saat gas bergerak dari sisi *discharge* kompresor masuk ke dalam kondenser, ia mengandung beban kalor yang meliputi kalor yang diserap oleh evaporator untuk penguapan liquid refrigeran, kalor yang diserap untuk menurunkan suhu liquid refrigeran dari suhu kondensing ke suhu evaporating, kalor yang dihisap oleh silinder chamber dan kalor yang dipakai untuk mengkompresi gas dari evaporator. Kondenser harus mampu membuang kalor tersebut ke cooling medium yang digunakan oleh kondensernya.



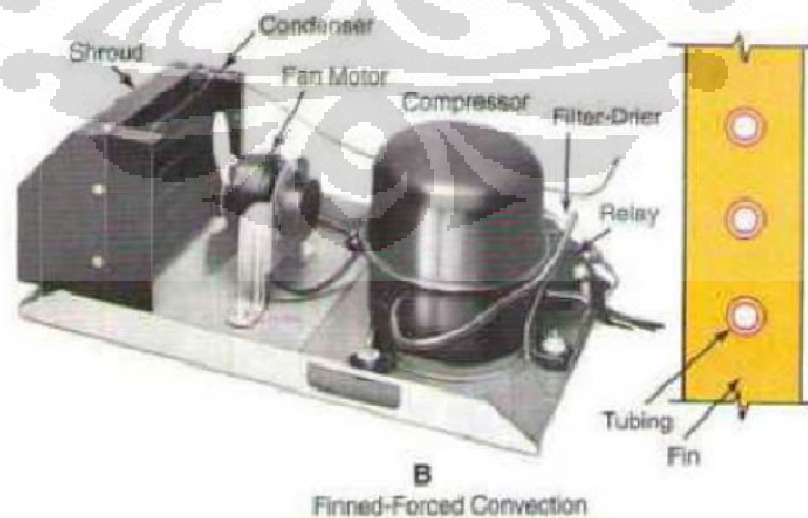
**Gambar 2.7** Ilustrasi kondenser secara sederhana

Untuk membuang kalor yang dikandung refrigeran yang berada di dalam coil kondenser diperlukan cooling medium. Sesuai dengan jenis cooling medium yang digunakan maka kondenser dapat dibedakan menjadi 3, yaitu :

- (1) Air Cooled Condenser (menggunakan udara sebagai cooling medium),
- (2) Water Cooled Condenser (menggunakan air sebagai cooling medium)
- (3) Evaporative Condenser (menggunakan kombinasi udara dan air)

Jumlah kalor yang dipindahkan oleh kondenser ditunjukkan dengan persamaan:

$$q_{cond} = (h_{cond-out} - h_{cond-in}) \quad 2.4$$



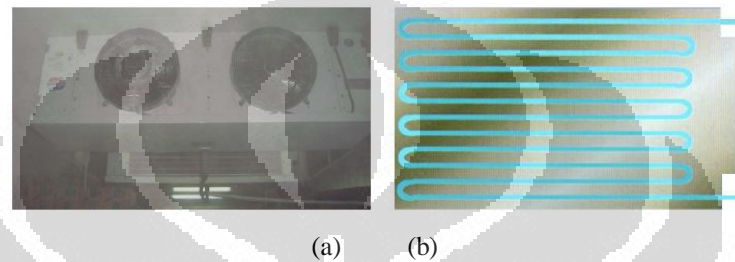
**Gambar 2.8** Instalasi kondenser yang menggunakan fan



### c. *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** Evaporator (a) tampak luar Evaporator (b) Bagian dalam evaporator

Pada Gambar 2.9b, 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 es (*frost*), yang dapat berfungsi sebagai penyekat kalor, akan tetapi juga menghalangi terjadinya aliran udara serta penukaran kalor.

Untuk mengatasi hal di atas dilakukan *defrosting* atau melelehkan bunga es dengan cara menggunkan gas panas, atau filamen *heater* yang dipasang dalam evaporator untuk menjaga temperatur ruangan tetap stabil sesuai dengan yang diinginkan.

Secara termodinamika, Jumlah kalor yang diserap oleh evaporator dapat ditentukan dengan persamaan :

$$q_{\text{evap}} = (h_{\text{evap-out}} - h_{\text{evap-in}}) \quad 2.5$$

Dan dengan diketahuinya laju aliran massa (besaran yang menentukan seberapa banyak massa yang mengalir tiap satuan waktu) pada evaporator.maka



kapasitas refrigerasi/pendinginan yang dihasilkan oleh evaporator dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Q_{evap} = \dot{m} \times q_{evap} \quad 2.6$$

Besarnya laju aliran massa juga dapat dicari jika daya kompresor dan kerja kompresor diketahui. Besarnya adalah sama dengan daya kompresor dibagi dengan kerja kompresor.

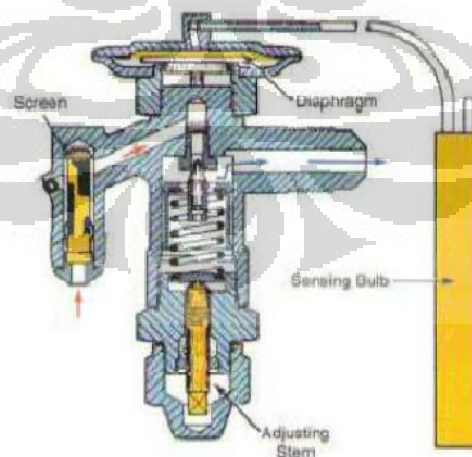
$$\dot{m} = \frac{W_{komp}}{w} \quad 2.7$$

Dari efek refrigerasi yang dihasilkan, dapat dihitung besarnya COP (*Coefficient of Performance*) dari sistem refrigerasi. COP dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} \quad 2.8$$

#### d. *Expansion Device*

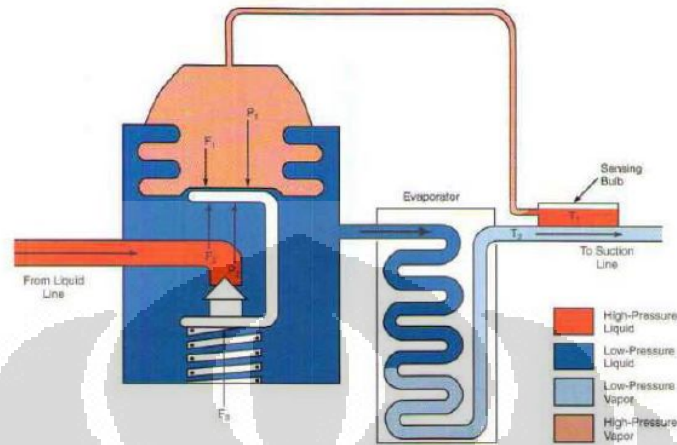
*Expansion Device* berfungsi untuk menurunkan tekanan secara adiabatik dan mengatur laju aliran refrigeran. Saat suhu di *evaporator* menjadi semakin dingin maka laju aliran refrigeran masuk ke *evaporator* akan semakin kecil.



**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 refrigeran. Hal ini terjadi akibat pemuain cairan yang ada pada *sensing bulb* yang akan mempengaruhi muain pegas. Seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Muain sensing bulb yang mempengaruhi bukaan katup

Selain itu *expansion device* memiliki fungsi untuk menurunkan tekanan aliran refrigeran yang masuk ke dalam *evaporator*. Hal ini terjadi karena adanya *orifice* yaitu suatu lubang masuk yang memiliki diameter yang amat kecil.



**Gambar 2.12** letak orifis pada TXV

Proses yang terjadi didalam alat ekspansi diasumsikan dalam kondisi adiabatik.

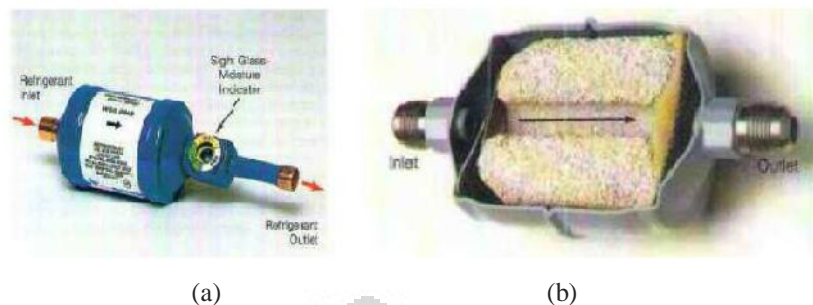
$$h_{xv-in} = h_{xv-out} \quad 2.9$$

### 2.1.3 Aksesoris dalam Suatu Sistem Refrigerasi

#### a. Filter Drier

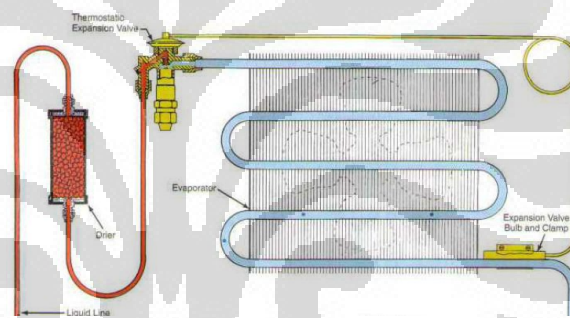
Berguna untuk menyaring kotoran atau debu yang ada di dalam sistem pendinginan. Dan juga untuk menyaring *moisture* (kelembapan) dari suatu

refrigeran. Hal ini karena adanya suatu material di dalamnya yang berguna untuk menyerap kelembapan yang ada di dalam suatu aliran refrigeran



**Gambar 2.13** Filter drier (a) contoh filter drier yang dilengkapi sight glass untuk mengukur kelembapan refrigeran (b) cut off suatu filter drier

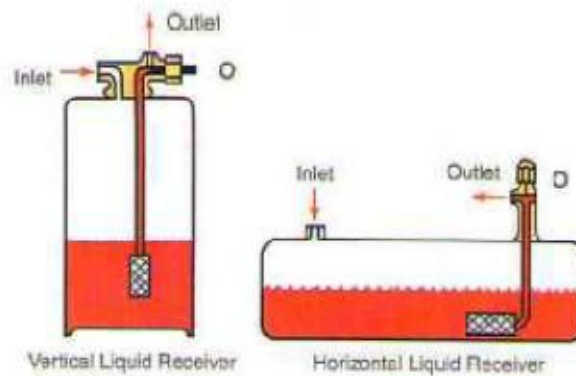
Apabila dilihat dari segi instalasinya maka posisi filter driers akan tampak sebagai berikut:



**Gambar 2.14** Skema instalasi filter drier pada suatu system refrigerasi

### b. Liquid Receiver

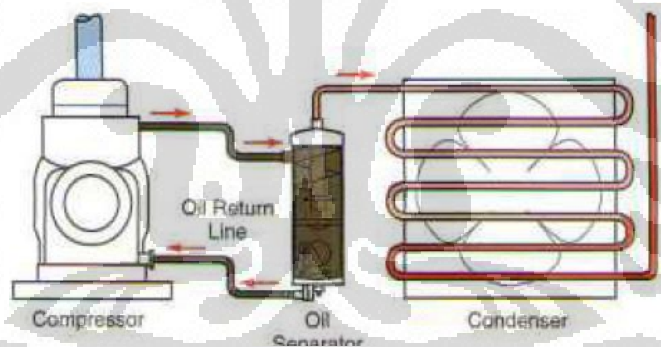
Merupakan tempat berkumpulnya refrigeran dalam fase cair. Refrigeran cair tersebut akan dipompa keluar untuk menuju ke TXV, komponen ini diperlukan untuk meningkatkan efisiensi *evaporator*, terlebih di dalam suatu sistem yang memerlukan jumlah refrigeran yang besar.



**Gambar 2.15** Ilustrasi kerja Liquid Receiver

### c. Oil Separator

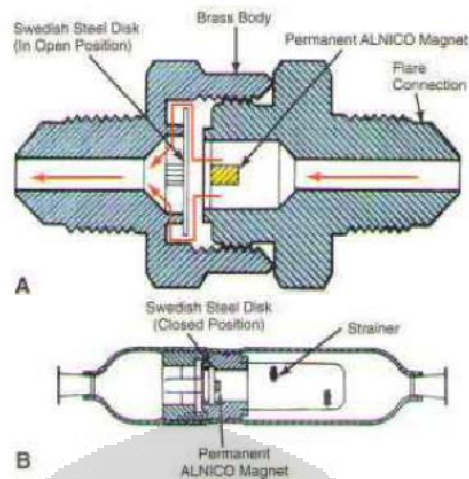
Kompresor memerlukan pelumasan dalam berkerja, diperlukan sejumlah kecil pelumas agar kompresor lebih mudah dalam berkerja. Pelumas ini ditempatkan pada *compressor crackcase* atau *housing*. Pelumas ini bersirkulasi di seluruh bagian kompresor, bahkan ikut mengalir dalam aliran refrigeran. *Oil separator*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



**Gambar 2.16** Ilustrasi kerja Oil Separator

### d. Check Valve

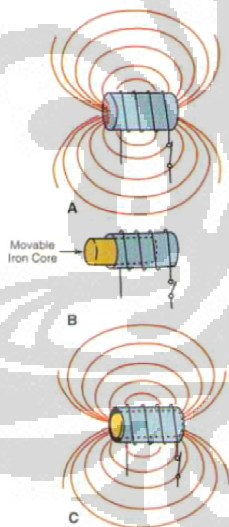
*Check valve* berfungsi untuk mengatur aliran refrigeran agar tetap mengalir dalam satu arah. Cara kerjanya berdasarkan katup dan magnet permanen yang berada di dalam. Seperti digambarkan dalam contoh berikut:



**Gambar 2.17** Ilustrasi kerja pada Check Valve

### e. Solenoid Valve

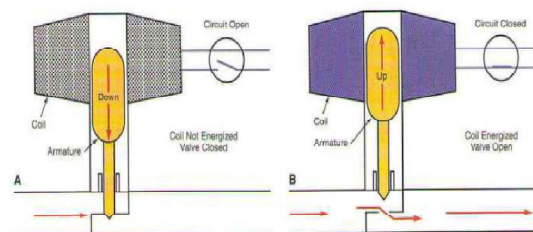
*Solenoid valve* berguna untuk menutup aliran refrigeran saat mendapat respon listrik. Cara kerjanya terletak pada coil (kumparan) yang terletak pada bagian atas solenoid valve.



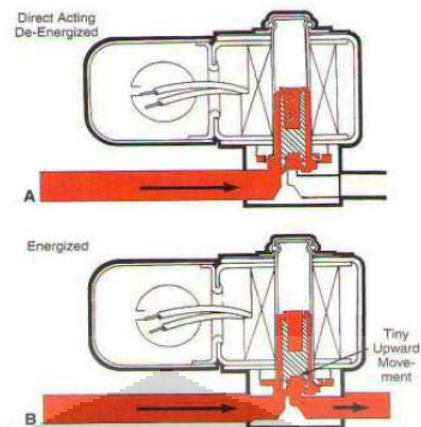
**Gambar 2.18** Kumparan magnetic yang berguna untuk membuka dan menutup Solenoid Valve.

- Kumparan menjadi bersifat magnetic saat diberi arus listrik
- Bagian batang logam yang dimasukkan ke dalam kumparan
- 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.

#### f. *Sight Glass*

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

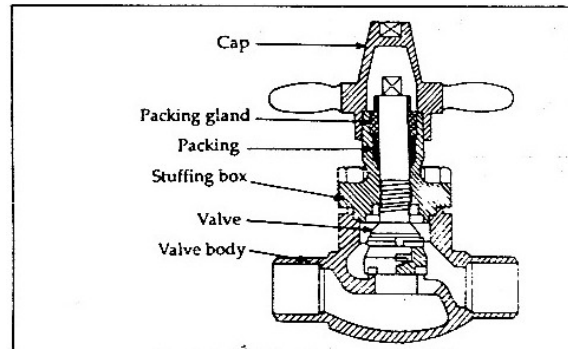


**Gambar 2.21.** Contoh Sight Glass

#### g. *Shut-Off Valve*

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

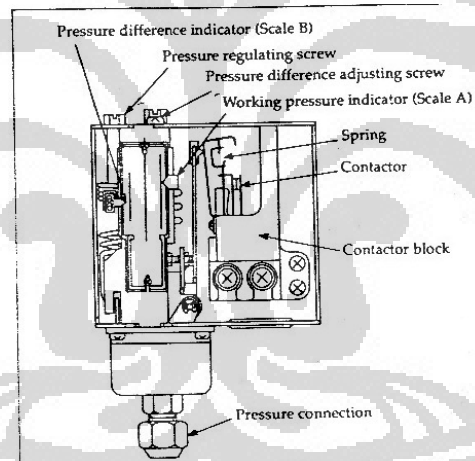




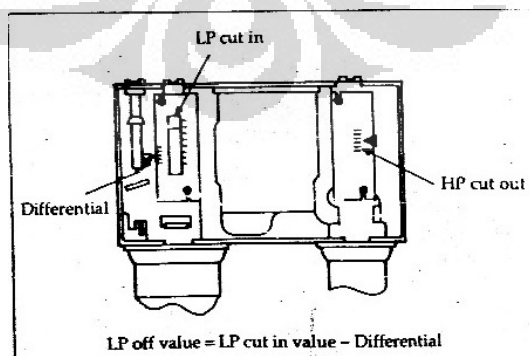
Gambar 2.22 Komponen pada Hand Valve

#### h. Pressure Switch

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



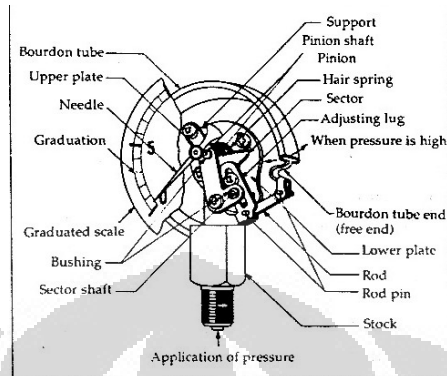
Gambar 2.23 Contoh Single Pressure switch



Gambar 2.24 Contoh Dual Pressure switch

### i. *Pressure Gauge*

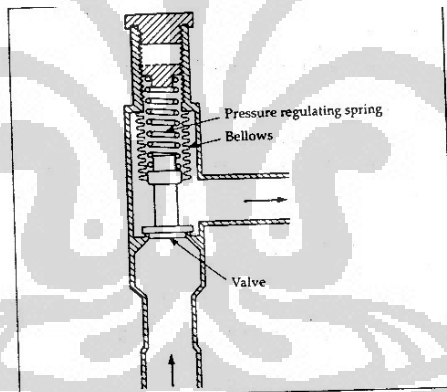
Merupakan suatu indikator analog untuk menunjukkan tekanan pada suatu titik dalam instalasi sistem pendingin.



**Gambar 2.25.** Bourdon Pressure Gauge

### j. *Evaporating Pressure Regulator*

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

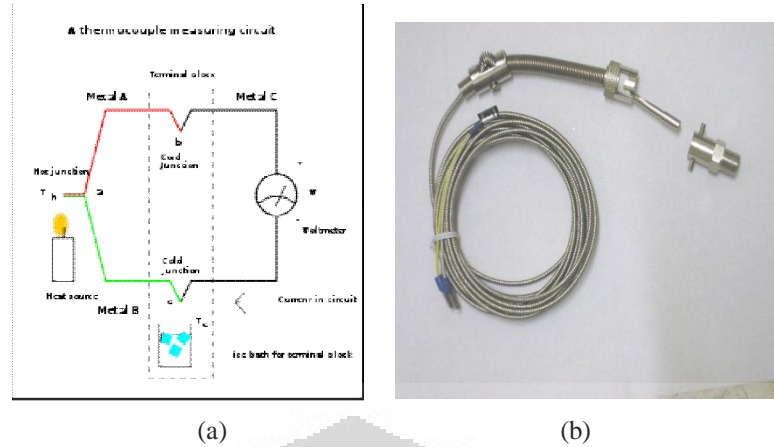


**Gambar 2.26** Ilustrasi kerja EVR

### k. *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

### 2.1.4 Freon dan Piping

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

Chlorofluorocarbons = CFC      Hydrofluorocarbons = HFCs      Hydrochlorofluorocarbons = HCFCs

Gambar 2.29. Tabel Freon 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)	Thickness (mm)	Outside area (m <sup>2</sup> /m)	Internal sectional area (cm <sup>2</sup> )	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

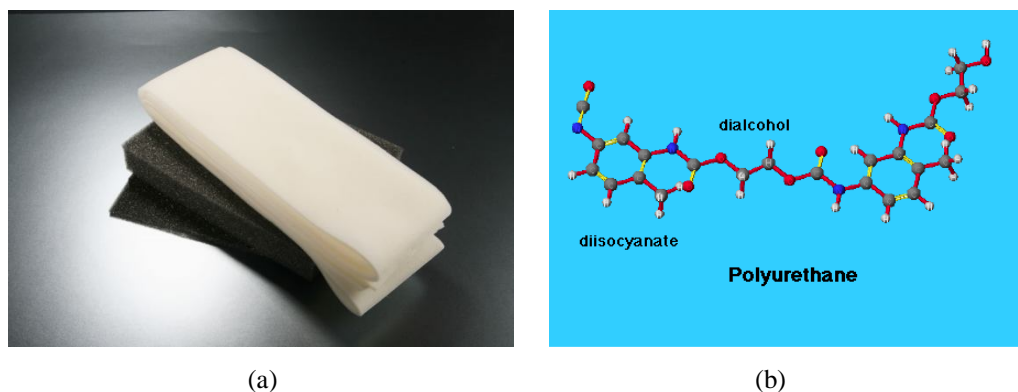
## 2.2 Cold Storage

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



Gambar 2.31 Ilustrasi Cold Storage

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.

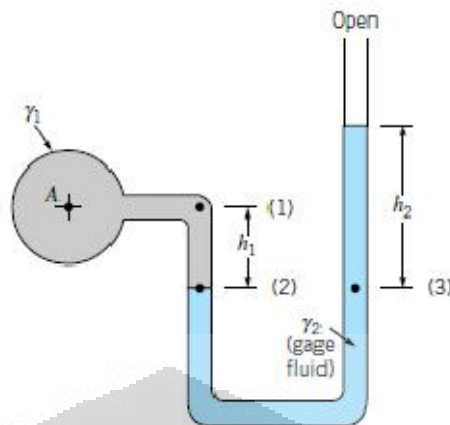


**Gambar 2.32** (a)Bentuk fisik Polyurethane, (b)Skema kimiawi Polyurethane

### 2.3 Pengukuran Aliran Refrigeran dengan Orifis

Dalam perhitungan refrigerasi dibutuhkan massa aliran yang mengalir dalam suatu sistem refrigerasi. Untuk mengukur berapa besar massa aliran yang mengalir maka dibutuhkan suatu alat ukur dalam percobaan kali ini menggunakan orifis. Dipilih orifis karena orifis mudah dibuat dibandingkan dengan metode pengukuran lainnya seperti *venturi* dan *nozzle* dan juga orifis lebih murah dibandingkan dengan membeli flowmeter refrigeran yang dijual dipasaran. Bagian-bagian orifis terdiri dari tabung U atau manometer dan orifisnya itu sendiri, seperti pada penjelasan dibawah.

Manometer tabung U adalah alat yang digunakan untuk mengetahui perbedaan tekanan di dua titik yang akan diukur. Pada manometer didalamnya terdapat fluida pengukur seperti raksa, alkohol, minyak, dan lain sebagainya. Untuk mengetahui tekanan biasanya ditunjukkan dengan ketinggian kolom, barulah setelah dimasukkan kedalam persamaan maka akan diketahui perbedaan tekanan di titik yang kita ukur. Pada gambar 2.33 adalah ilustrasi pengukuran tekanan sederhana.

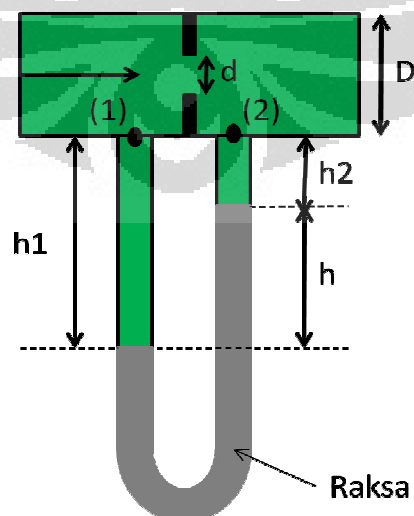


**Gambar 2.33** manometer tabung U sederhana

Dari gambar 2.33 kita mencoba untuk mengetahui tekanan di titik A ( $p_A$ ). Jadi, langkah awal kita akan telusuri dari titik (1), tekanan di titik A akan sama dengan tekanan di titik (1) kemudian menuju ke titik (2) dimana tekanan pada titik (2) akan bertambah sebesar  $\gamma_1 h_1$ . Tekanan di titik (2) akan sama dengan tekanan di titik (3) kemudian tekanan akan berkurang sebesar  $\gamma_2 h_2$  dan yang terakhir karena tekanan pada titik tersebut dalam wadah terbuka maka tekanannya nol. Dalam bentuk persamaan maka dapat ditulis menjadi :

$$p_A = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad 2.10$$

Untuk mengukur perbedaan tekanan di orifis tidak jauh berbeda dengan ilustrasi gambar diatas. Berikut adalah ilustrasi manometer pada orifis



**Gambar 2.34** manometer tabung U pada orifis



Maka untuk mengetahui perbedaan di titik 1 dan 2 dilakukan penurunan persamaan seperti berikut ini

$$\begin{aligned}
 p_1 + \gamma h_1 - \gamma_{Hg} h - \gamma h_2 &= p_2 \\
 p_1 + \gamma h_1 - \gamma_{Hg} h - \gamma(h_1 - h) &= p_2 \\
 p_1 - \gamma_{Hg} h + \gamma h &= p_2 \\
 p_1 - p_2 &= h(\gamma_{Hg} - \gamma)
 \end{aligned}
 \tag{2.11}$$

dimana,

$p_1, p_2$  = tekanan sebelum dan setelah melewati orifis (Pa)

$\gamma_{Hg}$  = berat jenis dari Raksa ( $N/m^3$ )

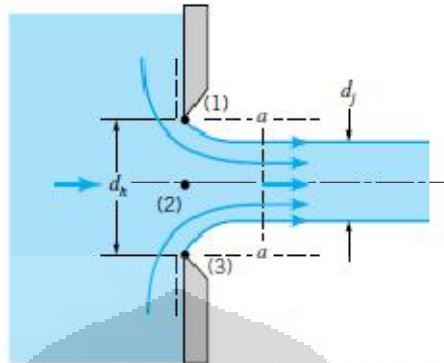
$\gamma$  = berat jenis fluida yang mengalir ( $N/m^3$ )

$h$  = beda ketinggian oleh raksa (m)

Dan untuk mengetahui massa aliran refrigeran yang mengalir maka dari persamaan Bernoulli dapat diturunkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 &= p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \\
 V &= v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \\
 v_1 &= \frac{A_2}{A_1} v_2 = \left(\frac{d}{D}\right)^2 v_2 \\
 p_1 + \frac{1}{2} \rho \left(\frac{d}{D}\right)^4 v_2^2 &= p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \\
 p_1 - p_2 &= \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho \left(\frac{d}{D}\right)^4 v_2^2 \\
 p_1 - p_2 &= \frac{1}{2} \rho v_2^2 \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right] \\
 v_2^2 &= \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]} \\
 v_2 &= \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}} \\
 \dot{V}_{ideal} &= A_2 \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right]}}
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Pada aliran yang melewati pelat datar lubang orifis, alirannya akan membentuk seperti fenomena gambar dibawah



Gambar 2.35 efek vena contracta

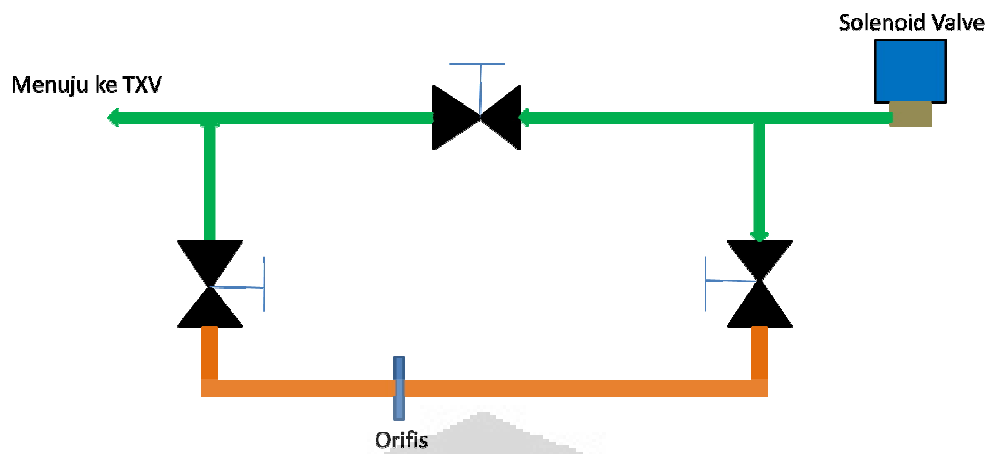
Fenomena tersebut dinamakan *vena contracta*, dimana aliran yang keluar dari lubang orifis tidak mampu membelok 90° akibatnya terjadi pengecilan diameter jet ( $d_j$ ) dibandingkan dengan lubang orifisnya ( $d_h$ ). Efek *vena contracta* merupakan fungsi dari bentuk geometri saluran keluar (Munson, Young, Okishi. Mekanika Fluida jilid 1) sehingga perbandingan diameter lubang tersebut mempunyai nilai koefisien sebesar  $c$  akibatnya aliran akan mengalami penurunan debit. Nilai  $c$  dapat diketahui dengan

$$\frac{\dot{V}_{\text{aktual}}}{\dot{V}_{\text{ideal}}} = c \quad 2.13$$

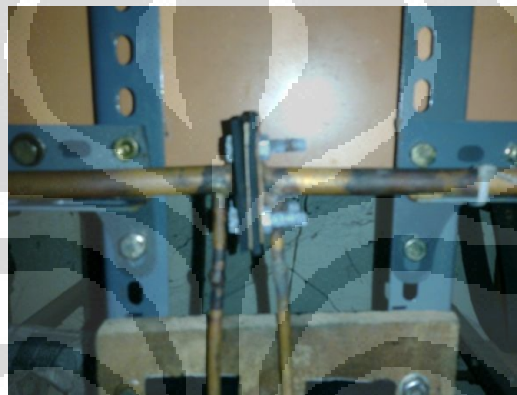
Sehingga persamaan 2.12 menjadi

$$\dot{V}_{\text{aktual}} = c \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]}} \quad 2.14$$

Berikut adalah skematik pemasangan orifis diantara solenoid valve dan TXV.



**Gambar 2.36** pemasangan orifis



**Gambar 2.37** tampak luar bagian orifis

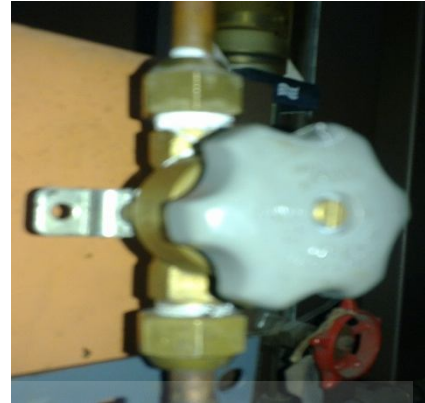


**Gambar 2.38** manometer U yang digunakan

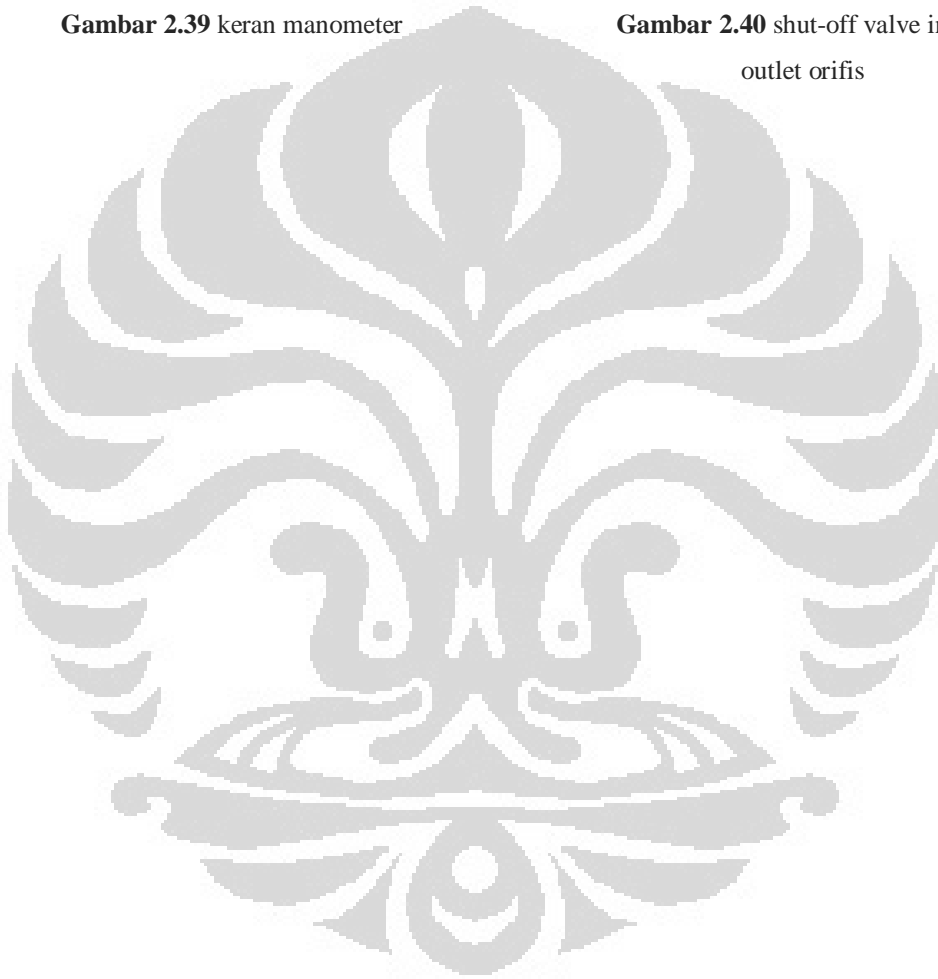




**Gambar 2.39** keran manometer



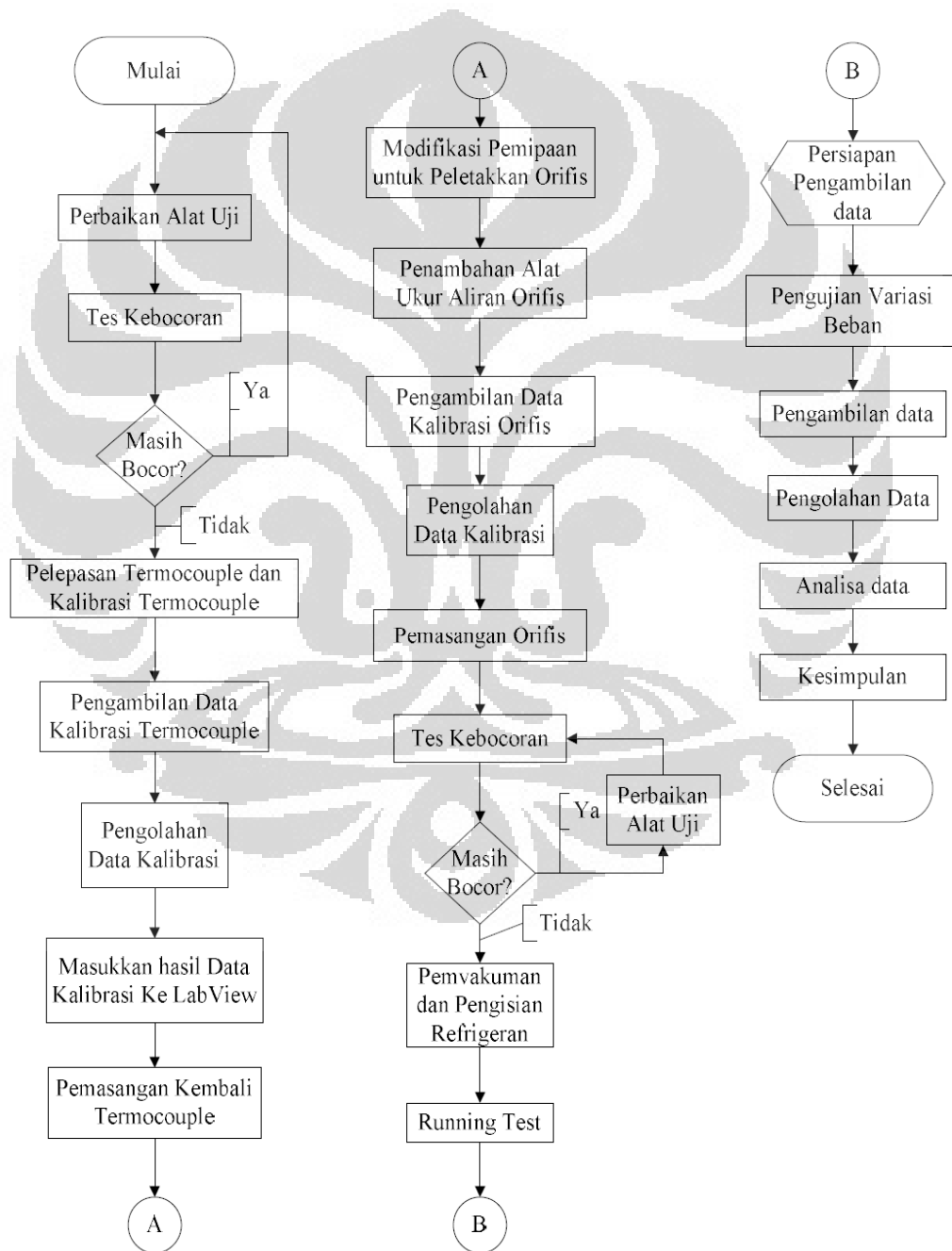
**Gambar 2.40** shut-off valve inlet dan outlet orifis



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Metode Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir pengujian yang dilakukan. Dari mulai perbaikan alat uji yang sudah ada sampai bisa mengambil kesimpulan terhadap pengujian yang dilakukan.

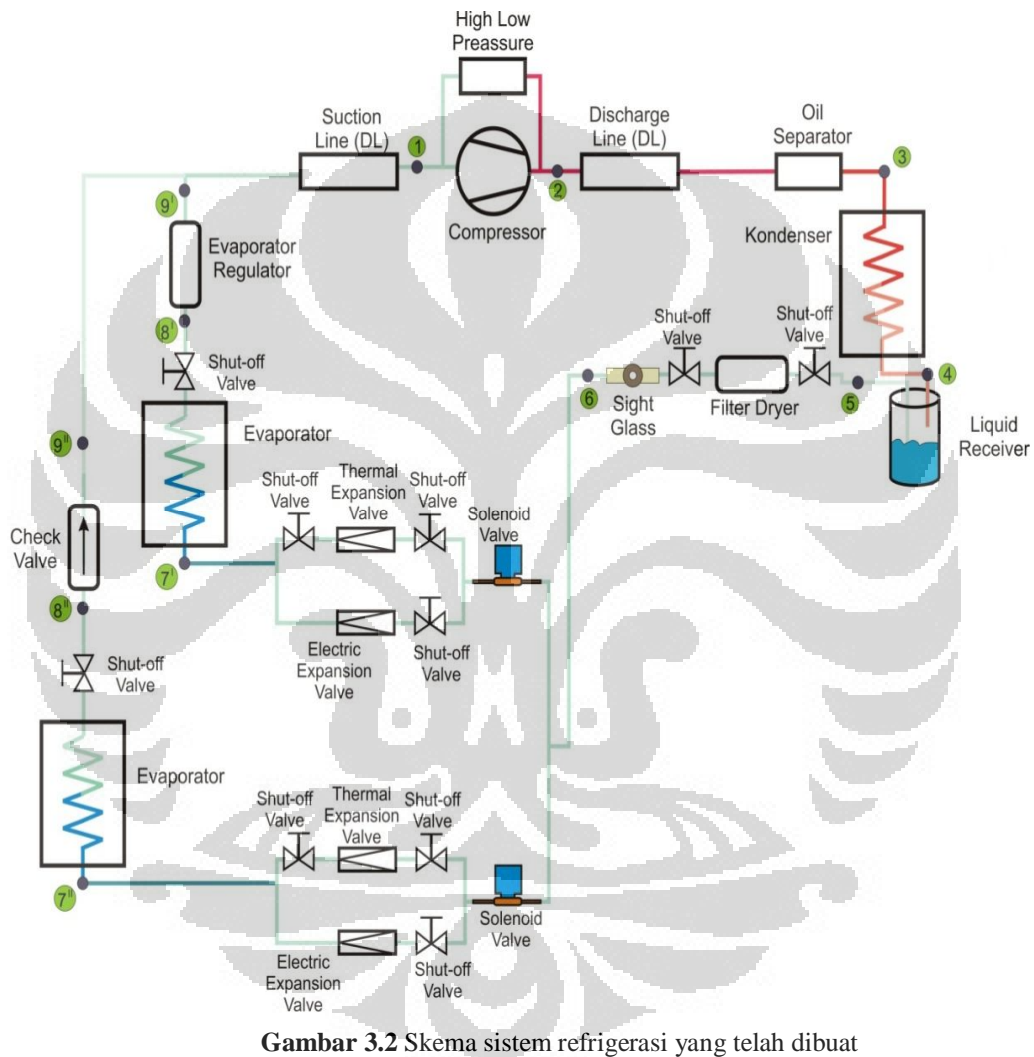


Gambar 3.1 Diagram Alir Pengujian

## 3.2 Sistem dan Komponen Pengujian

### 3.2.1 Skema Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi yang telah dibuat yaitu sistem refrigerasi dengan menggunakan satu *condensing unit* serta dua *evaporator* yang masing-masing terdapat dalam satu *cold storage*. Sistem pendingin tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.2 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.

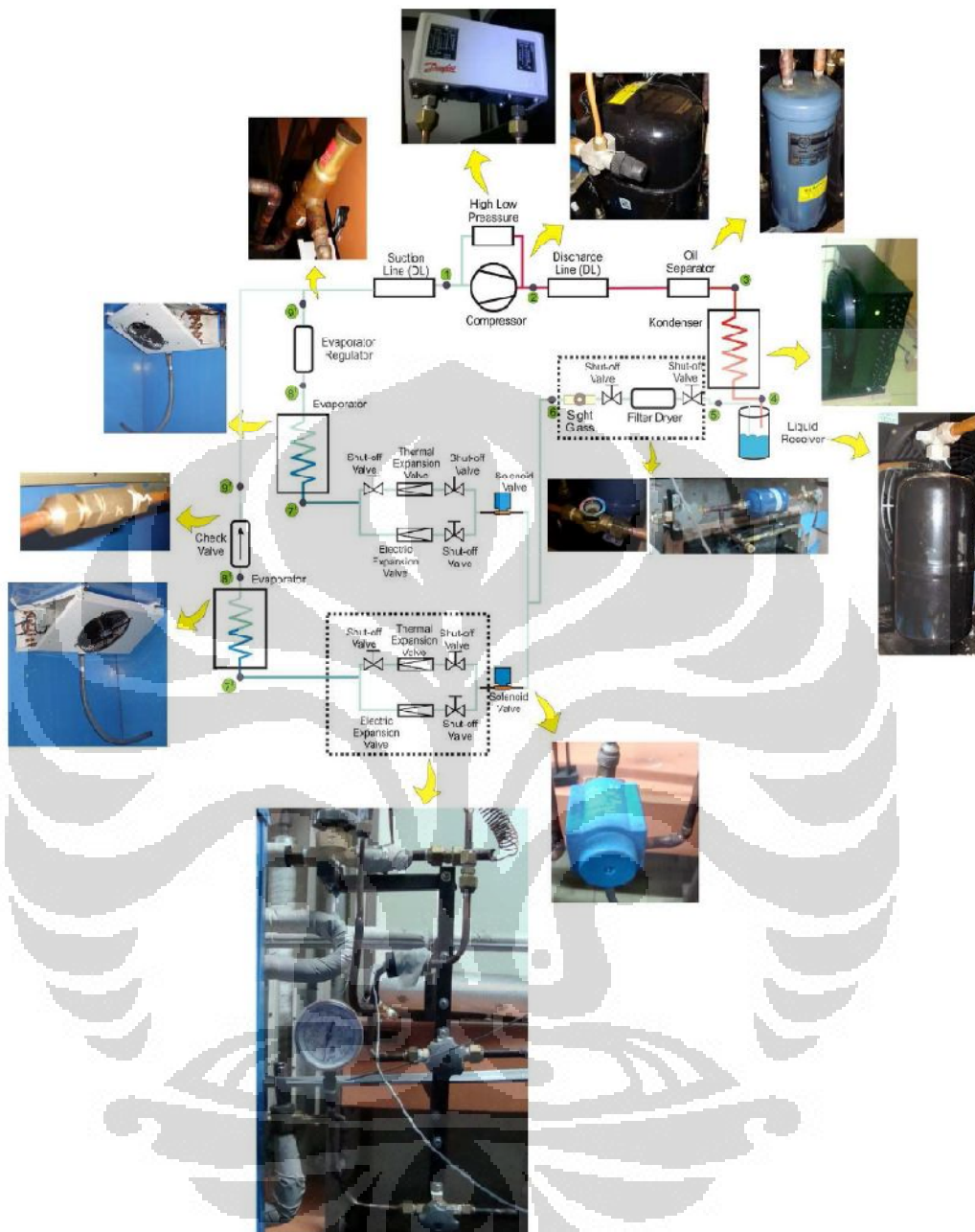
- Titik 2 : Uap telah dikompres, memiliki tekanan uap yang tinggi dengan temperatur dan enthalpy yang tinggi. Pada titik ini, refrigeran berada dalam fasa *super heated vapor*.
- Titik 3 : Uap yang telah melalui kompresor, bertekanan tinggi dengan temperatur dan enthalpy tinggi dialirkan melalui discharge 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.

### 3.2.2 Komponen Sistem Refrigerasi yang Digunakan

Berikut adalah *preview* dari sistem *cold storage* yang telah dibangun dan komponen-komponen yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 3.3. Komponen-komponen pada Cold Storage

Komponen yang digunakan dalam membangun sistem pendingin untuk *cold storage* ialah sebagai berikut:

### 1. *Codensing Unit*

*Condensing unit* merupakan gabungan antara kompresor dan kondenser dalam satu kedudukan. Dengan tipe kompresor yang digunakan ialah hermetic serta satu buah kondenser fan serta sebuah liquid receiver.



**Gambar 3.4.** Kondensing unit yang dipergunakan

➤ **Kompresor**

Merk/model : Tecumseh/ 19TFB4104

*Horse Power* : 1

*Voltage/Hz* : 230/50-60

*Refrigeran* : R22

*Lubricant* : Alkylbenzene

Dimensi : Panjang 25 cm, lebar 17 cm dan tinggi 32 cm



**Gambar 3.5.** Kompresor

➤ **Kondenser**

Tipe : *Tubes & Fins Air Cooled Evaporator*

Material : Pipa tembaga

Dimensi : Panjang 32 cm, lebar 10 cm dan tinggi 30 cm





**Gambar 3.6.** Kondenser

Dalam *condensing unit* ini juga dilengkapi dengan *liquid receiver* yang berfungsi untuk memisahkan refrigeran yang berada pada fasa uap dan liquid dimana refrigeran yang dialirkan ialah refrigerant yang berfase liquid untuk menyerap kalor saat di evaporator.

➤ **Liquid Receiver**

Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC



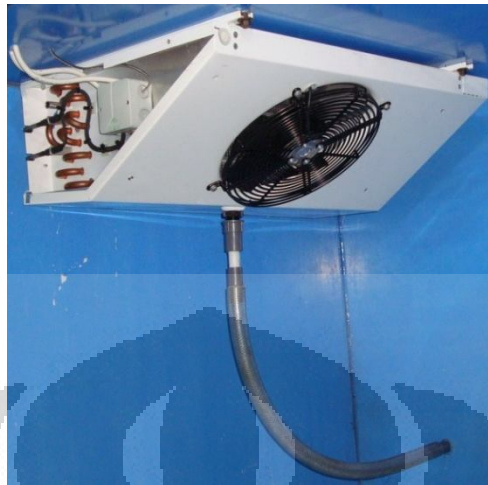
**Gambar 3.7.** Liquid Receiver

## 2. *Evaporator*

Karena *cold storage* yang dipergunakan ada dua buah, dimana suhu dan beban pendinginan yang dibutuhkan berbeda, maka untuk evaporator dipergunakan dua buah evaporator tipe DX keluaran dari PT. Guntner. Untuk



*cold storage* yang memerlukan beban pendinginan yang besar, maka dipergunakan evaporator berikut :



**Gambar 3.8.** Evaporator Besar (Low-Temp)

Merk : Guntner

Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC

Untuk *cold storage* yang memerlukan beban pendinginan yang kecil, maka dipergunakan *evaporator* berikut :



**Gambar 3.9.** Evaporator kecil (High-Temp)

Merk : Guntner

Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC

### 3. Katup ekspansi

Untuk katup ekspansi digunakan dua jenis katup ekspansi yaitu TXV (*thermal expansion valve*) dan EXV (*electric expansion valve*) dimana keduanya adalah keluaran PT. Danfoss.



**Gambar 3.10.** Thermal Expansion Valve

Merk/type : Danfoss/ TX 2

Adj. Range : -40 C s/d 10 C

Refrigerant : R22



**Gambar 3.11.** Electric Expansion Valve

Merk : Danfoss

Refrigerant : R22

Perbedaan di antara keduanya ialah pada TXV besar kecilnya bukaan katup tergantung dari respon temperatur dari sensor berupa *Bulb* yang ditempelkan

pada aliran refrigerant keluar dari evaporator. Sedangkan EXV responnya bergantung dari sensor temperature dan tekanan yang dipasang pada aliran keluar refrigerant dari evaporator dan proses pembukaan katup berlangsung secara otomatis dengan menggunakan *Magnetic Coil* yang merespon dari input temperature dan tekanan yang telah dipasang sebelumnya.

#### 4. Aksesoris

Aksesoris yang dipergunakan pada *cold storage* ini antara lain :

##### a. Filter Dryer

Berguna untuk menyaring kotoran atau debu yang ada di dalam sistem pendinginan. Biasanya masuk ke dalam sistem akibat proses instalasi awal dimana masih terdapat kotoran di dalam pipa sehingga tertinggal di dalam sistem.



**Gambar 3.12.** Filter Dryer

Merek/model : Emerson/EK 163

Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC

Dimensi : Panjang 18 cm dan diameter 7 cm

##### b. Sight glass

Berguna untuk mengecek apakah aliran refrigeran yang ada basah atau kering. Hal ini mempengaruhi karena untuk aliran *liquid line*, nilai pembacaan harus menunjukkan warna putih. Hal itu menandakan bahwa aliran refrigeran tidak boleh terlalu kering ataupun basah, karena itu akan mempengaruhi nilai *heat transfer* saat ia mengambil panas dari evaporator.



**Gambar 3.13.** Sight Glass

Merk/Type : Danfoss

Indicator : Red (Wet ), Green (Caution), Blue (Dry)

### c. Solenoid valve

Solenoid valve berguna untuk menutup aliran refrigeran saat mendapat respon listrik. Solenoid valve yang dipakai menggunakan sistem *Normally closed*. Sama halnya seperti sebuah relay, solenoid valve akan berpindah dalam keadaan open bila ada arus listrik yang mengalirinya. Dalam *cold storage* ini, *solenoid valve* dihubungkan dengan menggunakan relay dan Thermostat sebagai sensor. Sehingga saat relay mendapat respon listrik dari thermostat, relay akan berganti posisi dari *Normally Closed* menjadi *Normally Open*, sehingga arus listrik yang menuju solenoid valve akan terputus dan solenoid valve akan menutup aliran refrigerant.



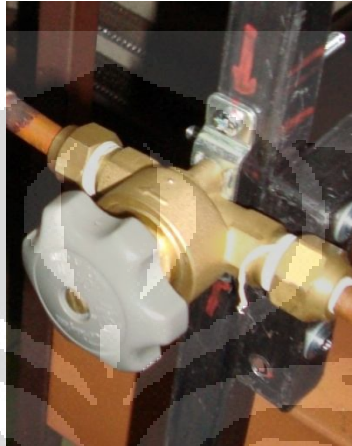
**Gambar 3.14.** Solenoid Valve

Merk : Danfoss

Tipe : *Normally Closed*  
 Refrijeran : HFC, HCFC, CFC

**d. Shut-off valve (*Hand Valve*)**

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



**Gambar 3.15.** Shut-off Valve

Merk : Danfoss  
 Diameter Pipa : 3/8 inch ,1/2 inch  
 Refrijeran : HFC-HCFC-CFC

**e. HLP (*High low preassure*)**

Merupakan suatu alat untuk mengontrol tekanan *discharge* dari kompresor agar tidak terlampau besar. Alat ini berguna sebagai sistem pengaman agar tidak terjadi *breakdown* pada sistem akibat overload dari kompresor.



**Gambar 3.16.** Pressure Control



**f. Pressure gauge**



**Gambar 3.17.** Pressure Gauge

Merupakan penunjuk nilai tekanan pada bagian suction (kiri) dan bagian discharge (kanan).

**g. Oil separator**



**Gambar 3.18.** Oil Separator

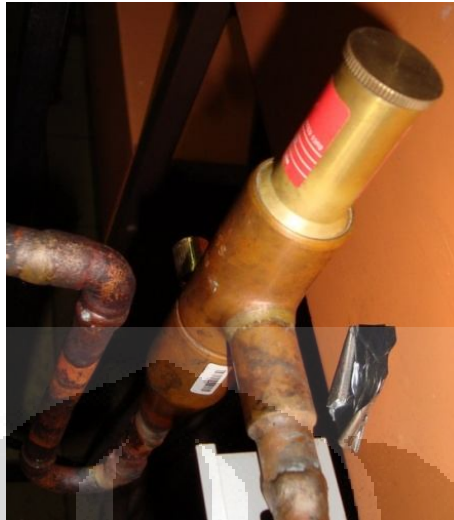
Merk/model : AIRMEDES

Refrigeran : CFC, HCFC dan HFC

Dimensi : Tinggi 26 cm, diameter 11 cm

Alat ini berguna untuk memisahkan pelumas kompresor dan refrigeran dari dalam kompresor sebelum menuju ke kondenser. Karena refrigeran dan oli memiliki perbedaan titik didih, beku, serta nilai koefisien kalor, maka akan menjadi masalah bila oli ikut mengalir dalam aliran refrigeran.

#### *h. Evaporator regulator*



**Gambar 3.19.** Evaporator Regulator

Merk : Danfoss  
 Refrijeran : R-22

Evaporator regulator berfungsi untuk mengatur tekanan aliran refrigerant keluar dari evaporator agar berada pada jumlah yang tetap sesuai settingan.

#### **i. Check valve**

Check valve berfungsi untuk mengatur aliran refrigeran agar tetap mengalir dalam satu arah. Alat ini dipergunakan untuk mencegah aliran balik yang mungkin terjadi pada uap refrigeran.

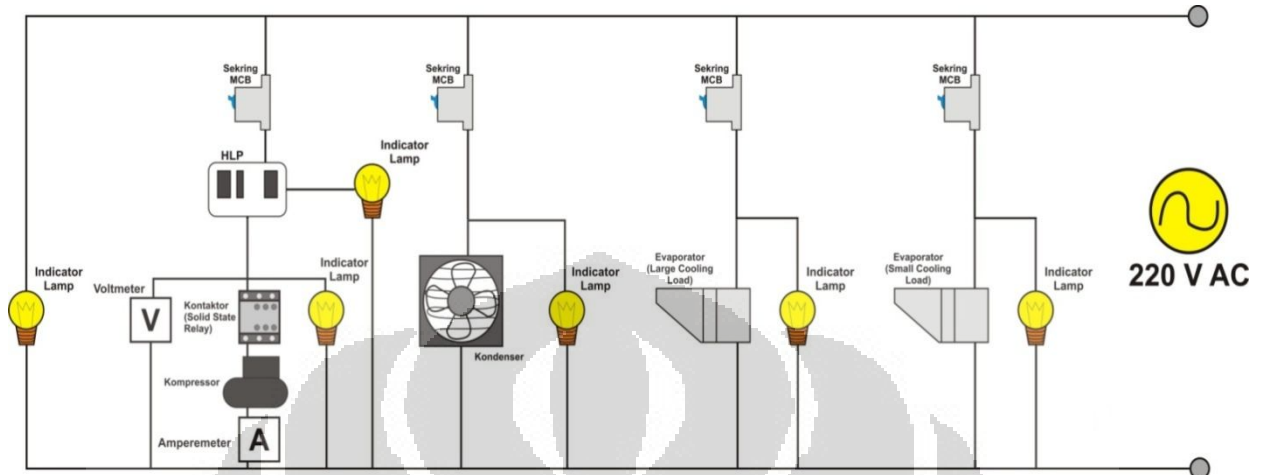


**Gambar 3.20.** Check Valve

Merk : Castel  
 Refrijeran : R-22

### 3.2.3 Skema Sistem Kelistrikan

Pada sistem kelistrikan sistem refrigerasi kali ini, skemanya dapat dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 3.21 Skema Sistem Kelistrikan

Pada High-Low Pressure, sistem dibuat seperti di atas agar bertujuan untuk mematikan kerja compressor saat perbedaan tekanan antara suction dan discharge melampaui batas yang telah ditentukan. Sedangkan pada komponen lainnya, on-off dari komponen dilakukan manual dengan skring *MCB*.

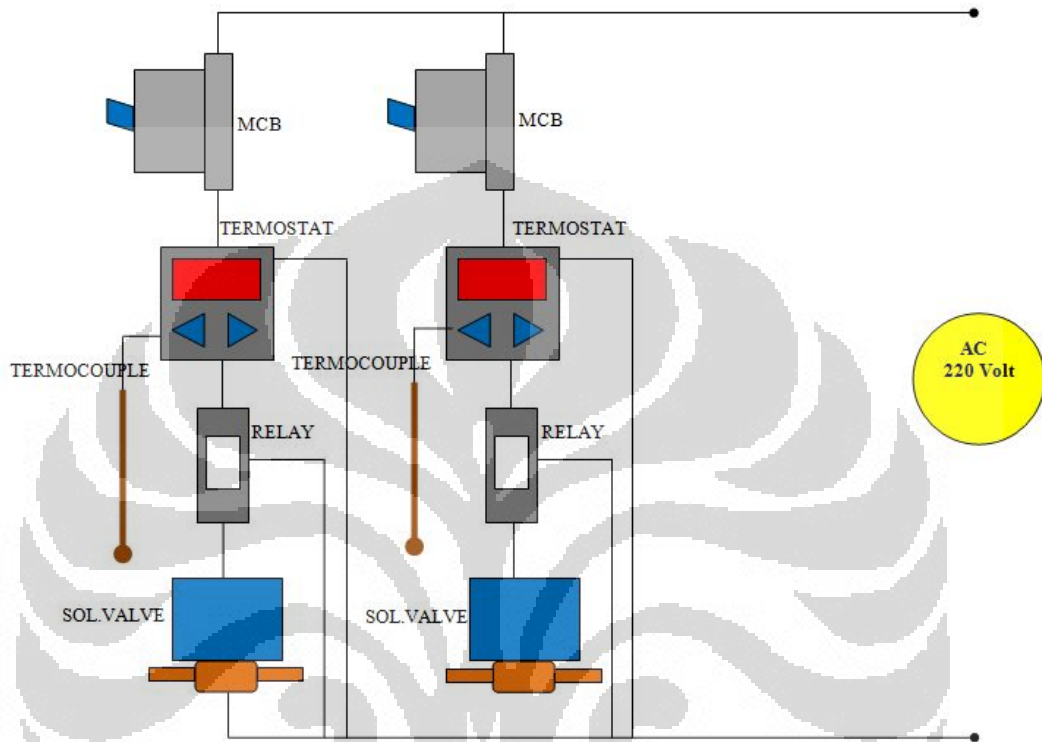
Sistem kelistrikan untuk komponen di atas (Kompresor, Kondenser, Evaporator kapasitas Besar, Evaporator Kapasitas Kecil) dimasukkan ke dalam satu panel box tersendiri (Panel Box I), yaitu:



Gambar 3.22 Panel Box I



Kemudian pada sistem control (Panel Box II), control yang digunakan pada system refrijerasi ini adalah mengacu pada komponen High-Low Pressure serta Dua Buah Solenoid valve. Solenoid valve disambungkan ke thermostat sebagai sensor untuk menutup aliran refrigerant.



**Gambar 3.23** Skema kelistrikan Panel Box II



**Gambar 3.24** Panel Box II

### 3.3 Cold storage

*Cold storage* yang digunakan ialah *cold storage* dengan bahan penyusun berupa panel-panel *polyurethane* dengan ukuran 128 cm x 150 cm x 7.6 cm. Kemudian panel-panel tersebut disusun menjadi sebuah kubus berukuran 128 cm x 150 cm x 115.5 cm. *Cold storage* yang digunakan terdapat dua buah yaitu *cold storage* untuk beban pendinginan yang besar dan beban pendinginan yang kecil. Hal yang membedakannya ialah kapasitas *evaporator* yang dipasang pada tiap-tiap *cold storage*.



**Gambar 3.25.** Cold Storage untuk beban pendinginan yang besar



**Gambar 3.26.** Cold Storage untuk beban pendinginan yang kecil

Ruang pendingin yang digunakan terbuat dari bahan Polyuretane, suatu bahan yang mirip seperti busa stereofoam hanya saja lebih keras dan juga memiliki nilai konduktivitas kalor yang kecil (isolator yang baik).

Property	Unit	Polyurethane Foam
Injected Density	Kg/m <sup>3</sup>	45 ± 5 %
Compression Strength	Kpa	220
Modulus Of Elasticity	Mpa	3.0 – 8.5
Shearing Strength	Mpa	3.0 – 5.0
Bending Strength	Kpa	550 – 560
Tensile Strength	Kpa	300 – 500
Water Absorption	P/V %	1.7 – 2.3
Closed Cells	%	95 – 97
Stable Operating (temp)	°C	-60 to +80
Flash Operating (temp)	°C	300
Thermal Conductivity	W/(mk)	0.020

Gambar 3.27. Polyuretane Properties

Tidak hanya karena sifat termal yang baik, tetapi Polyuretane untuk membuat suatu *cold storage* tidak memerlukan ketebalan dinding yang terlalu besar, sehingga dengan polyurethane dengan ketebalan yang tidak terlalu besar, dapat diperoleh suatu *cold storage* untuk memenuhi spesifikasi yang diperlukan.

Material	Thickness For Equivalent Insulation
Polyurethane	25 mm*
Fibreglass	45 mm*
Polystyrene	51 mm*
Foam Glass	64 mm*
Fibreboard	64 mm*
Softwood	140 mm*
Concrete Blocks	380 mm*
Common Bricks	860 mm*

Gambar 3.28. Jenis Isolator untuk Dinding Ruang Pendingin

Sistem ini juga melakukan *defrost*. Sistem *defrost* dilakukan secara manual saat *evaporator* tidak dalam keadaan menyala untuk mencairkan bunga-bunga es yang menempel di pipa.



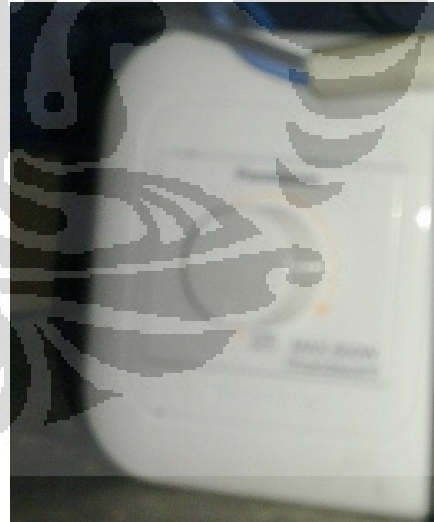
**Gambar 3.29.** Sistem defrost pada cold storage

### 3.4 Heater

Digunakan untuk pembebanan panas pada kedua kabin. Komponen-komponen yang digunakan adalah MCB, *dimmer*, dan batang *heater*. Batang *heater* yang digunakan berdimensi panjang 970 mm pada kabin evaporator besar dan panjang 760 mm pada kabin evaporator kecil dengan kedua diameter 8 mm.



**Gambar 3.30.** MCB

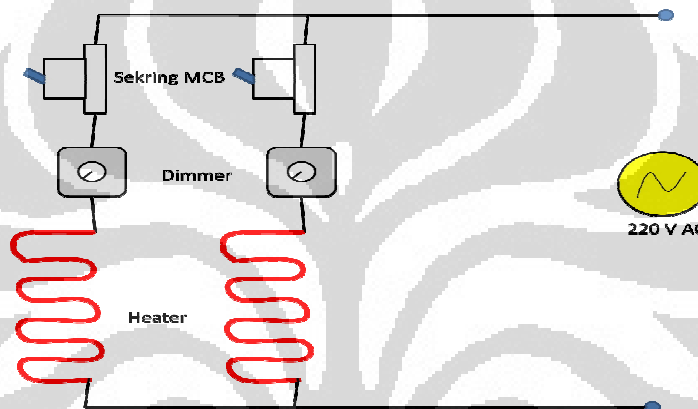


**Gambar 3.31** dimmer





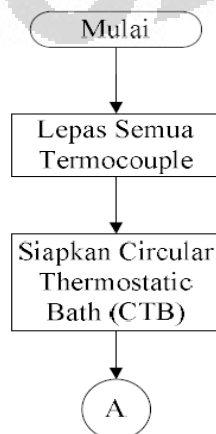
Gambar 3.32. batang heater

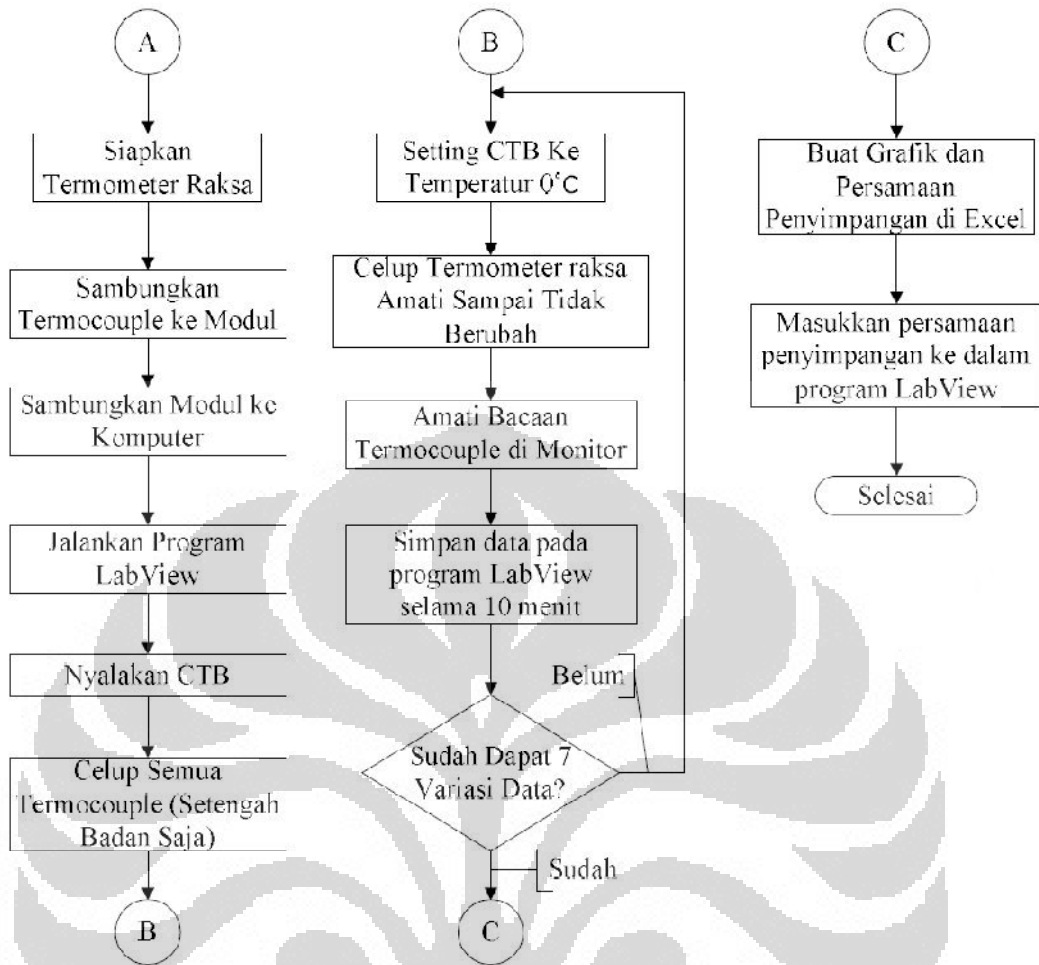


Gambar 3.33. Skema kelistrikan Heater pada kabin

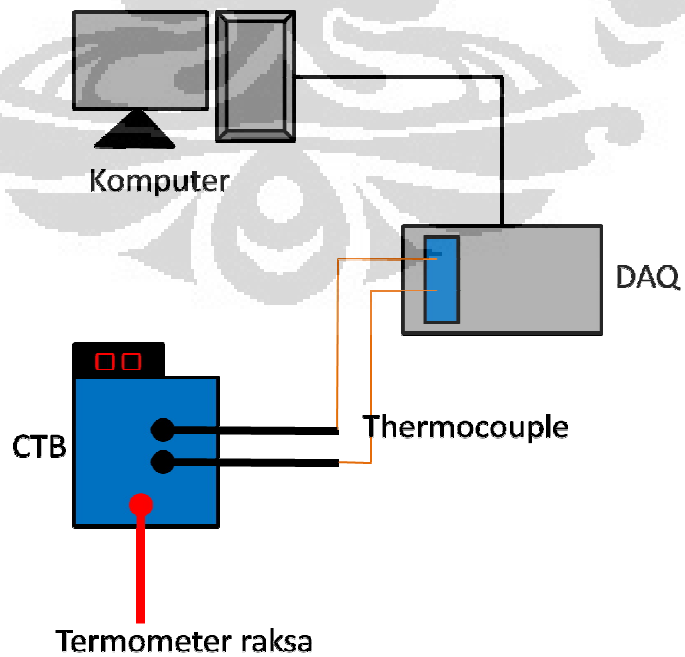
### 3.5 Kalibrasi Termocouple

Kalibrasi termokopel bertujuan untuk memastikan termokopel yang terpasang di sistem pemipaan refrigerasi cocok dengan keadaan aktual, verifikasi ini dicocokkan dengan termometer raksa. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

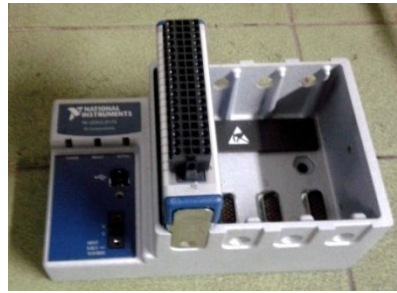




Gambar 3.34. digram alir kalibrasi termocouple



Gambar 3.35. skematic kalibrasi termokopel



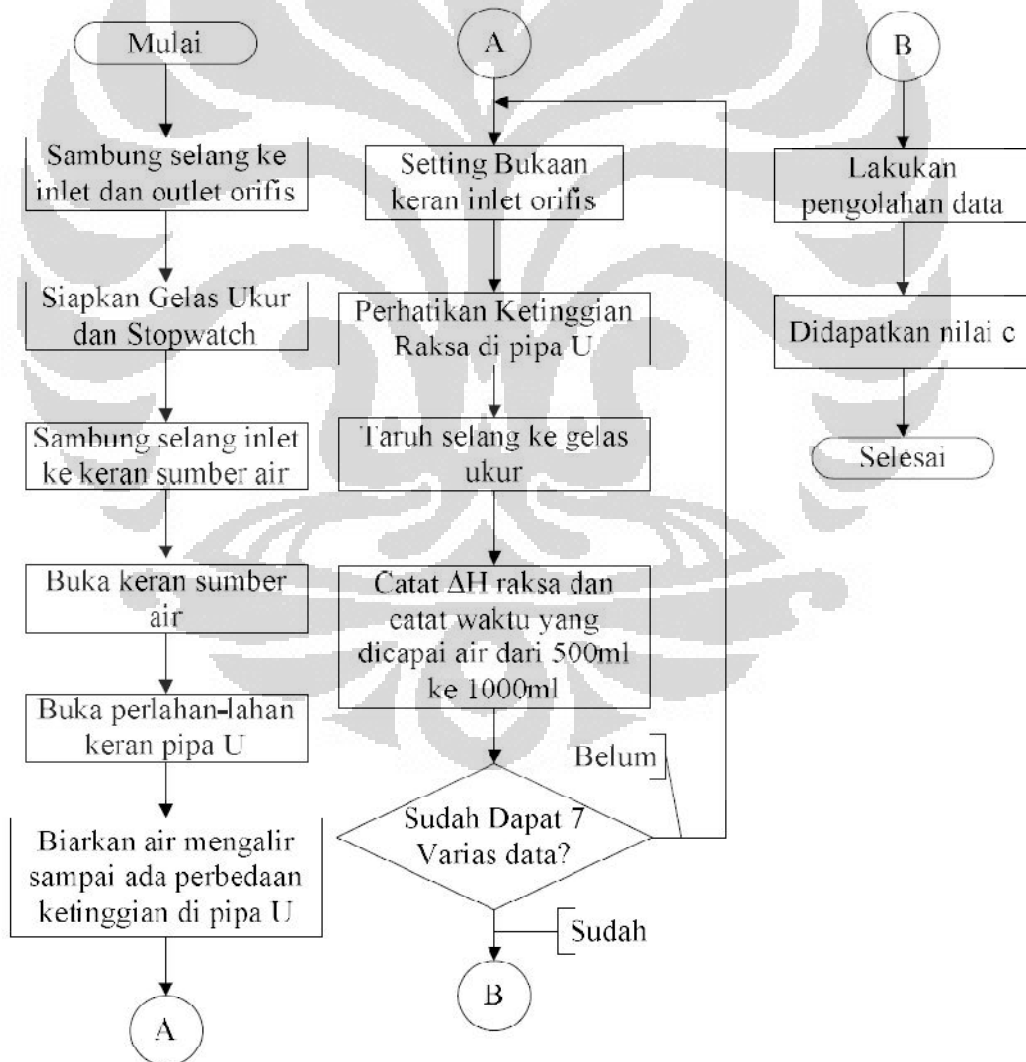
Gambar 3.36. NI-DAQ



Gambar 3.37. CTB

### 3.6 Kalibrasi Orifice-Flowmeter

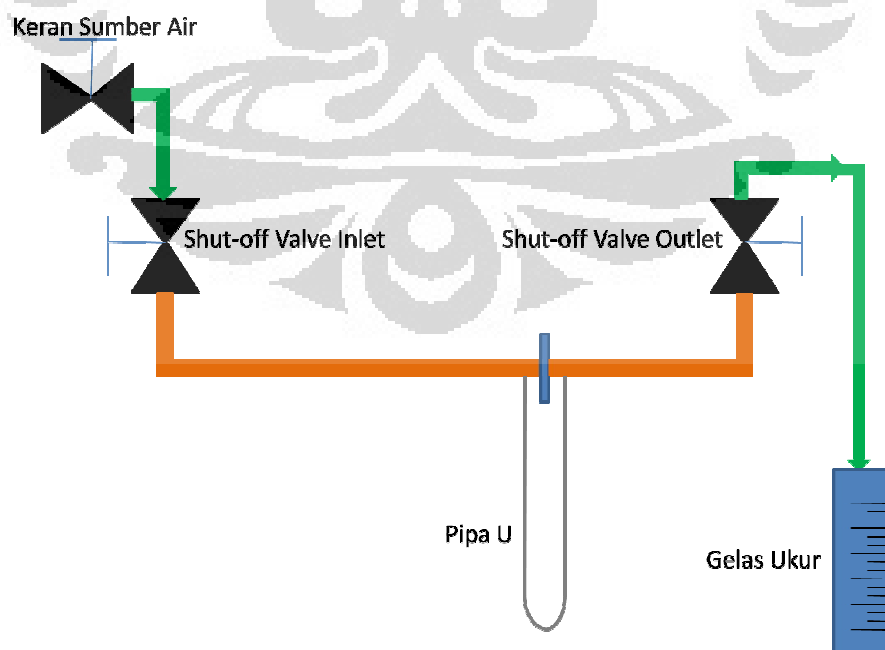
Kalibrasi orifis bertujuan untuk mendapatkan nilai koefisien *vena contracta* ( $c$ ). Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.38. diagram alir kalibrasi orifis

1. Siapkan selang untuk bagian *inlet* dan *outlet*, pasang dimasing-masing bagian *inlet* dan *outlet* orifis, dan pastikan terikat erat agar tidak bocor.
2. Siapkan gelas ukur 1000 ml dan stopwatch.
3. Sambungkan selang *inlet* ke keran sumber air (keran dalam keadaan tertutup)
4. Buka penuh keran air (pastikan keran yang memisahkan pipa aliran utama dengan selang U dalam keadaan tertutup), biarkan air mengalir didalam pipa dan jangan taruh selang *outlet* di gelas ukur
5. Buka perlahan-lahan keran pipa U, bagian *outlet* dahulu kemudian *inlet*, biarkan sampai air mendorong dan terlihat perbedaan ketinggian raksa di pipa U
6. Masukkan selang *outlet* ke dalam gelas ukur
7. Catat waktu yang dicapai air dari volume 500 ml sampai 1000 ml.
8. Lihat perbedaan ketinggian raksa dan catat
9. Ubah posisi bukaan keran sumber air, nantinya akan berpengaruh pada perbedaan ketinggian raksa. Catat perubahan ketinggian dan waktu yang dicapai oleh air di gelas ukur.

Skematik kalibrasi orifis flowmeter adalah sebagai berikut:



Gambar 3.39. skematik kalibrasi orifis



Berikut adalah data-data yang dihasilkan oleh kedua orifis :

**Tabel 3.1** Data untuk mencari nilai c pada orifis evap besar

H(m)	P1-P2 (Pa)	t(s)	V'aktual(m <sup>3</sup> /s)	V'ideal(m <sup>3</sup> /s)	C (V'ktual/V'ideal)
0.2	24639.2	15.33	3.262E-05	4.980E-05	6.550E-01
0.193	23776.828	15.74	3.177E-05	4.892E-05	6.494E-01
0.161	19834.556	17.3	2.890E-05	4.468E-05	6.469E-01
0.131	16138.676	18.3	2.732E-05	4.030E-05	6.779E-01
0.088	10841.248	24.02	2.082E-05	3.303E-05	6.302E-01
0.06	7391.76	28.24	1.771E-05	2.728E-05	6.491E-01
0.031	3819.076	39.67	1.260E-05	1.961E-05	6.429E-01
				<b>C rata-rata</b>	<b>0.650195105</b>

**Tabel 3.1** Data untuk mencari nilai c pada orifis evap kecil

H(m)	P1-P2 (Pa)	t(s)	V'aktual(m <sup>3</sup> /s)	Qideal(m <sup>3</sup> /s)	C (V'aktual/V'ideal)
0.244	30059.824	13.93	3.58938E-05	5.5003E-05	0.652578036
0.218	26856.728	14.62	3.41997E-05	5.199E-05	0.657813622
0.191	23530.436	15.23	3.28299E-05	4.8664E-05	0.674624167
0.14	17247.44	17.59	2.84252E-05	4.16635E-05	0.682257981
0.095	11703.62	21.79	2.29463E-05	3.43205E-05	0.668589342
0.062	7638.152	27.41	1.82415E-05	2.7726E-05	0.657920777
0.054	6652.584	31.55	1.58479E-05	2.58755E-05	0.612466358
				<b>C rata-rata</b>	<b>0.658035755</b>

### 3.7 Tes Kebocoran

Setelah semua sistem pemipaan serta komponennya terpasang, maka terlebih dahulu dilakukan tes kebocoran. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Unit dalam keadaan OFF.
2. Hubungkan selang angin bertekanan kepada inlet sistem.
3. Charging , Tekanan = 7-8 bar.
4. Sistem Pemipaan di tes kebocoran dengan busa sabun.
5. Tandai setiap tempat yang bocor.
6. Perbaiki kebocoran.

### 3.8 Pemvakuman Sistem Pipa

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran pada sistem, maka langkah selanjutnya adalah melakukan evakuasi sistem menggunakan pompa vakum.

Langkah ini dimaksudkan untuk memastikan sistem tidak mengandung uap air. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Unit dalam keadaan OFF.
2. Hubungkan selang pompa vakum pada katup *suction kompresor*.
3. Start pompa vakum hingga selama kurang lebih 30 menit.
4. Tutup katup *suction* kompresor dan lepaskan selang pompa vakum.
5. Stop pompa vakum.



Gambar 3.40 Pompa Vakum

### 3.9 Pengisian Refrigeran

Setelah proses evakuasi sistem dengan menggunakan pompa vakum selesai, maka dilanjutkan dengan pengisian refrigeran kedalam sistem sesuai dengan kebutuhan. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Unit dalam keadaan OFF
2. Hubungkan selang refrigeran pada suction kompresor.
3. Buka katup tabung refrigeran.
4. Purge/flash refrigeran beberapa saat pada katup kompresor.
5. Kencangkan selang refrigeran pada suction kompresor.
6. Start Unit (Nyalakan Sistem Secara Keseluruhan.)
7. Charge R-22 kedalam sistem melalui suction kompresor sesuai dengan komposisinya (perhatikan timbangan digital untuk mengukur beratnya refrijeran yang masuk ke sistem).

8. Kemudian setelah massa refrijeran yang dibutuhkan terpenuhi, tutup katup tabung refrijeran dan cabut selang penghubung pada suction kompressor.



Gambar 3.41. timbangan digital

### 3.10 Metode Pengambilan data

Setelah semua proses persiapan sudah dipenuhi (tes kebocoran, Pemvakumam sistem, dan charging sistem), maka pengambilan data bisa dilakukan. Adapun prosedur pengambilan data ini adalah sebagai berikut:

Untuk keadaan tanpa beban :

1. Nyalakan panel box I dan panel box II.
2. Nyalakan komputer dan NI
3. Nyalakan program LabView.
4. Ubah posisi ON pada semua MCB dipanel box I dan II
5. Klik save pada program yang telah dibuat di LabView
6. Tunggu sampai keadaan steady dan catat data-data yang dibutuhkan.

Untuk keadaan dengan beban *heater*:

1. Lakukan langkah 1 sampai 5 seperti pada keadaan tanpa beban
2. Tunggu sampai 15 menit kemudian nyalakan kedua *heater* . setting dimmer menggunakan *clampmeter* ke posisi 1.5 A
3. Tunggu sampai keadaan steady dan catat data-data yang diperlukan.
4. Ulangi langkah 1 dan 2 untuk variasi beban 2, 2.5, dan 3.

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN HASIL

#### 4.1 Perhitungan Daya Heater

Perhitungan daya *heater* ini diperlukan untuk mengetahui daya (Watt) yang digunakan untuk pembebanan pada kedua kabin. Untuk mengetahui daya pada *heater* digunakan *Power Quality Analysis* (gambar 4.1) sehingga didapatkan nilai Volt, Ampere, dan  $\cos \psi$ . Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$P = V I \cos \psi \quad 4.1$$



Gambar 4.1 PQA

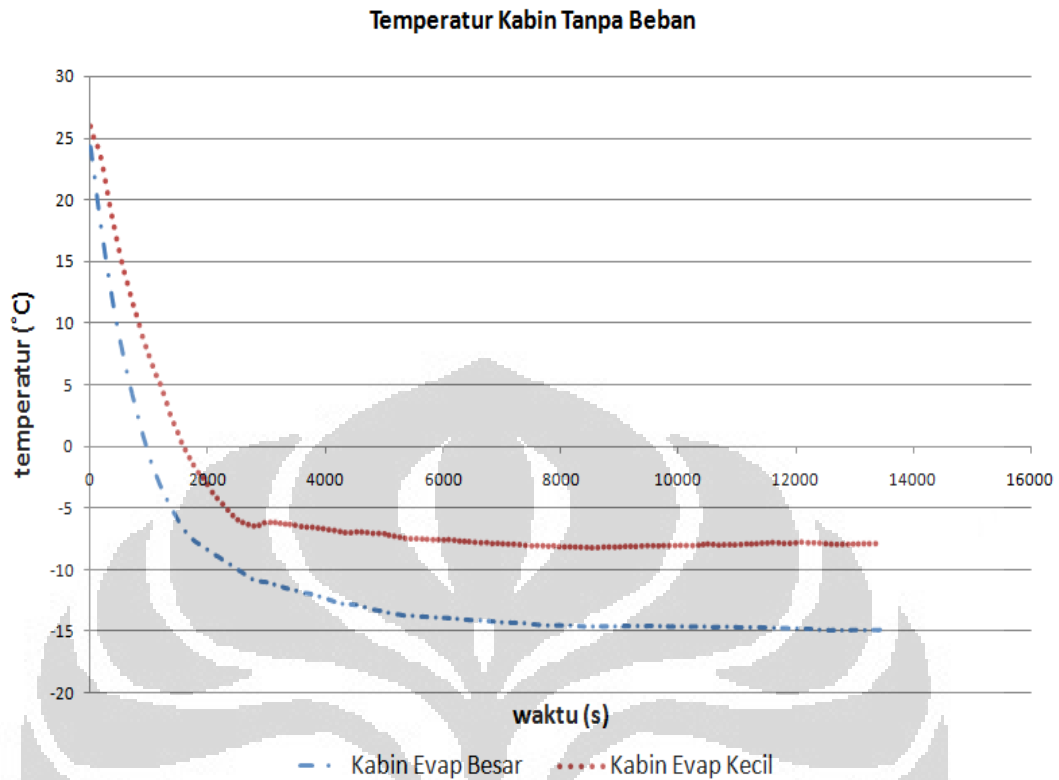
Berikut ini adalah hasil perhitungannya

Tabel 4.1 Daya yang dihasilkan oleh *Heater*

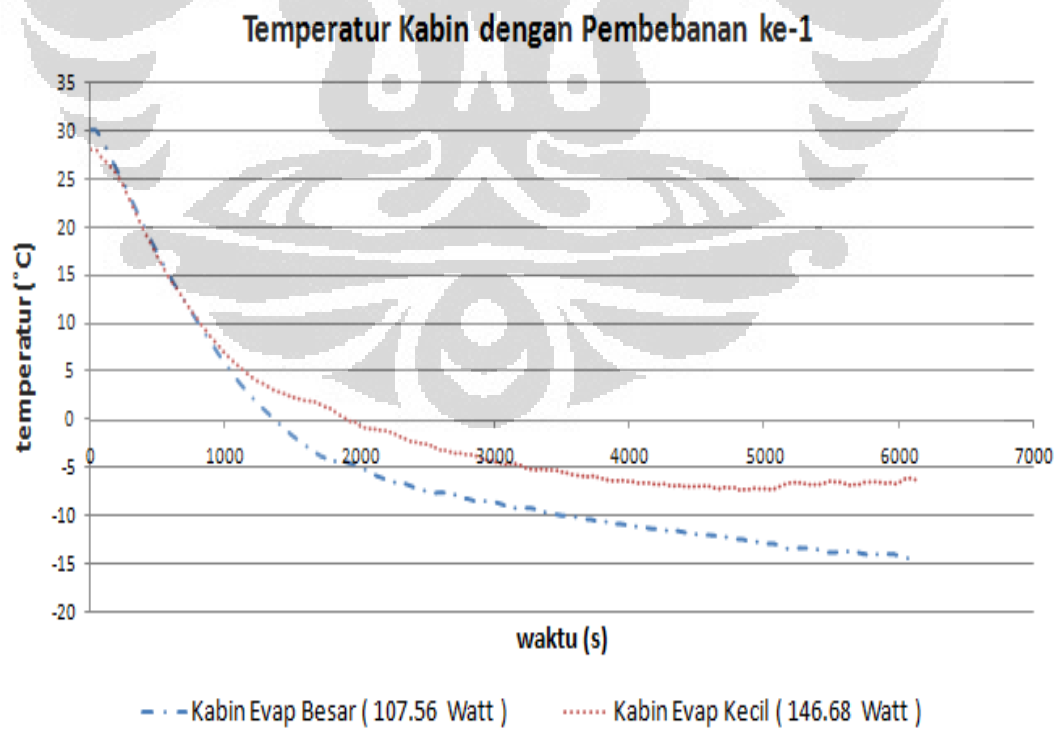
Heater Pada Kabin Evap Kecil				Heater Pada Kabin Evap Besar			
I (A)	V (Volt)	$\cos \psi$	P (Watt)	I (A)	V (Volt)	$\cos \psi$	P (Watt)
1.5	217.3	0.45	146.6775	1.5	217.3	0.33	107.5635
2	217.5	0.66	287.1	2	217.5	0.48	208.8
2.5	214.4	0.8	428.8	2.5	214.6	0.61	327.265
3	207.6	0.95	591.66	3	207.3	0.78	485.082

Daya yang dihasilkan oleh *heater* tersebut akan menghasilkan panas, panas tersebut nantinya akan menjadi beban kalor bagi tiap kabin. Pada pengujian kali ini diharapkan kedua kabin akan mempunyai kondisi *steady* temperatur yang berbeda-beda sesuai dengan peningkatan beban.

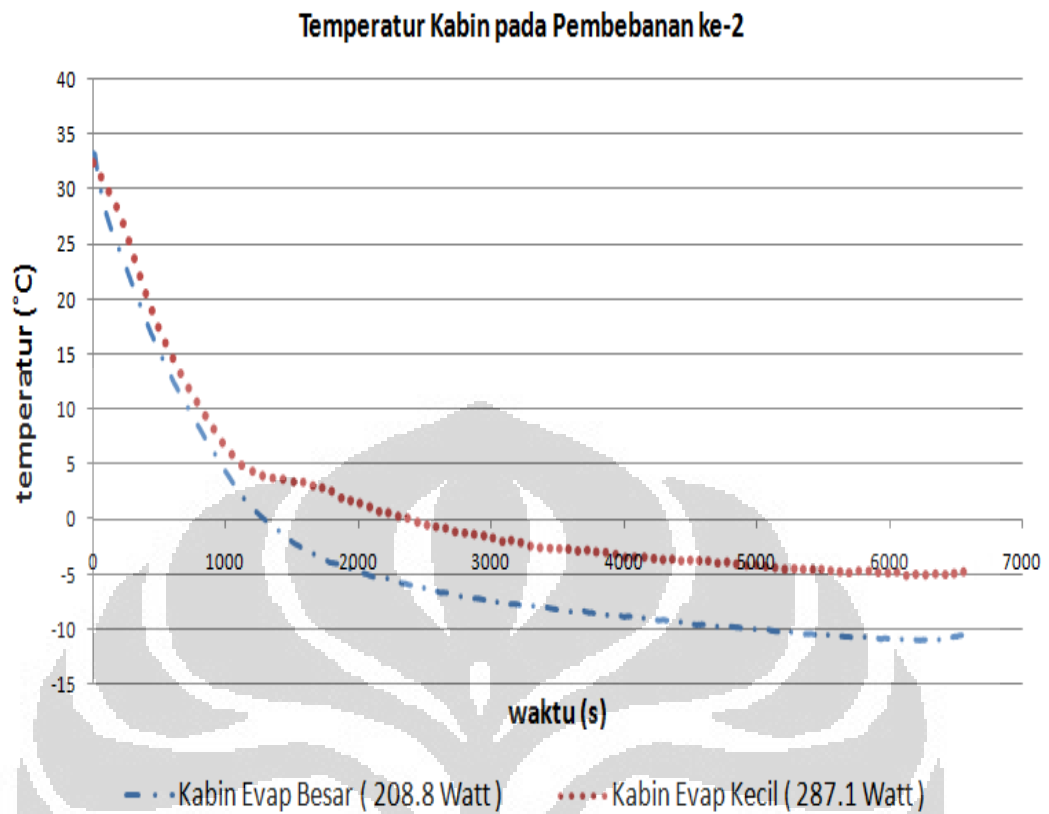
## 4.2 Hasil Pengujian Variasi Beban



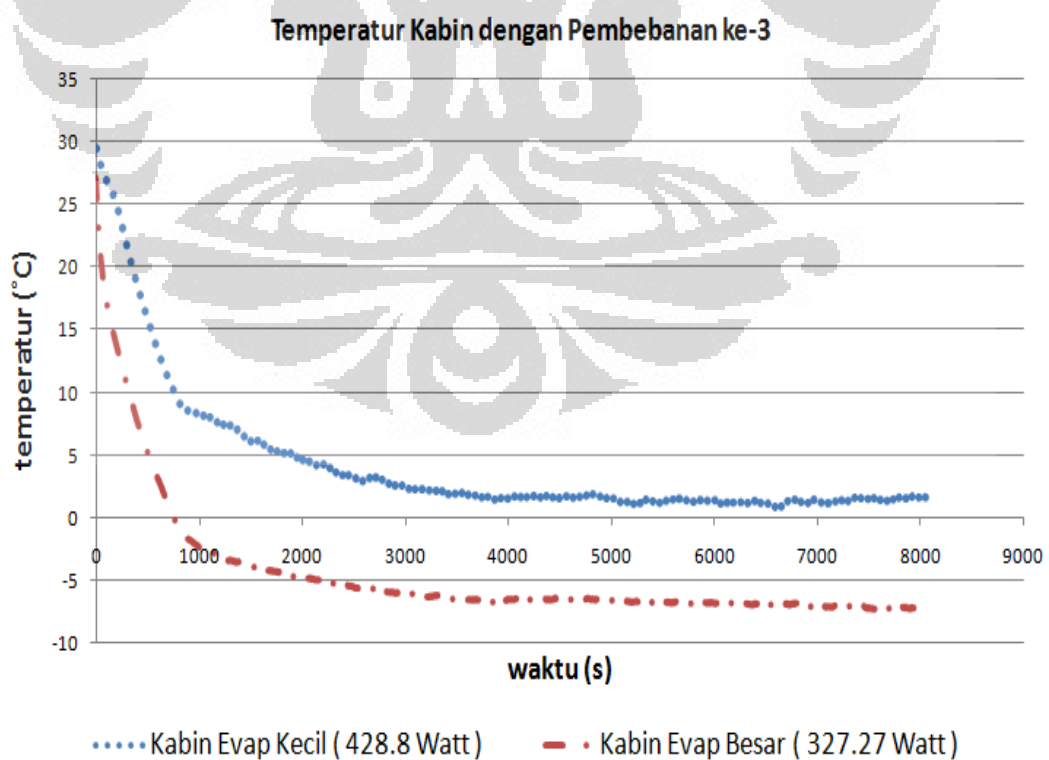
**Gambar 4.2.** temperatur kabin tanpa beban



**Gambar 4.3.** temperatur kabin dengan pembebanan ke-1

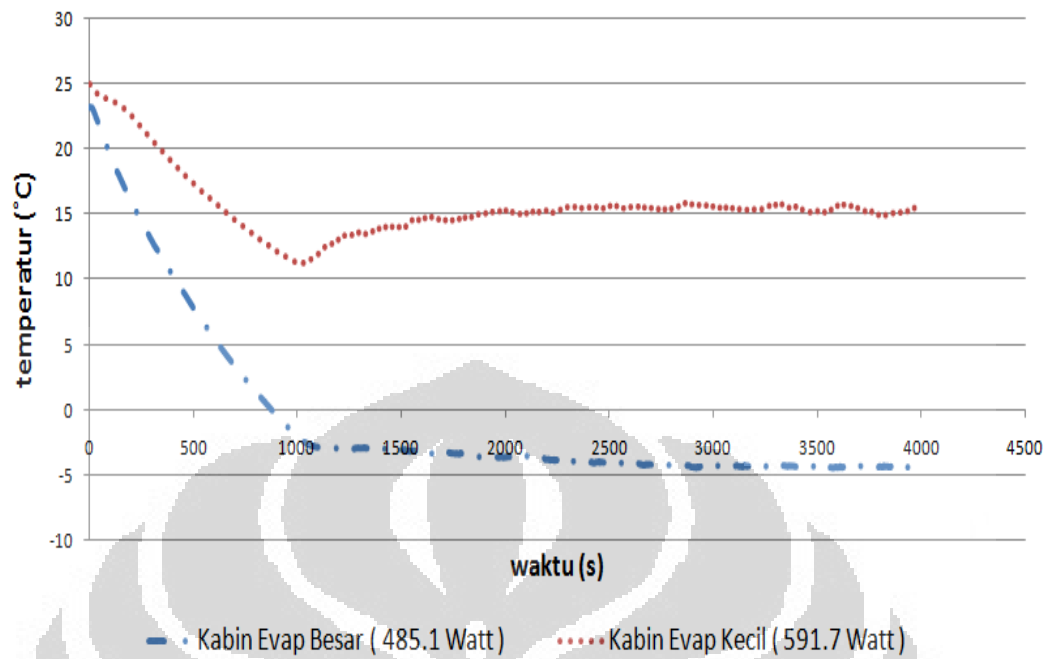


**Gambar 4.4** temperatur kabin dengan pembebanan ke-2



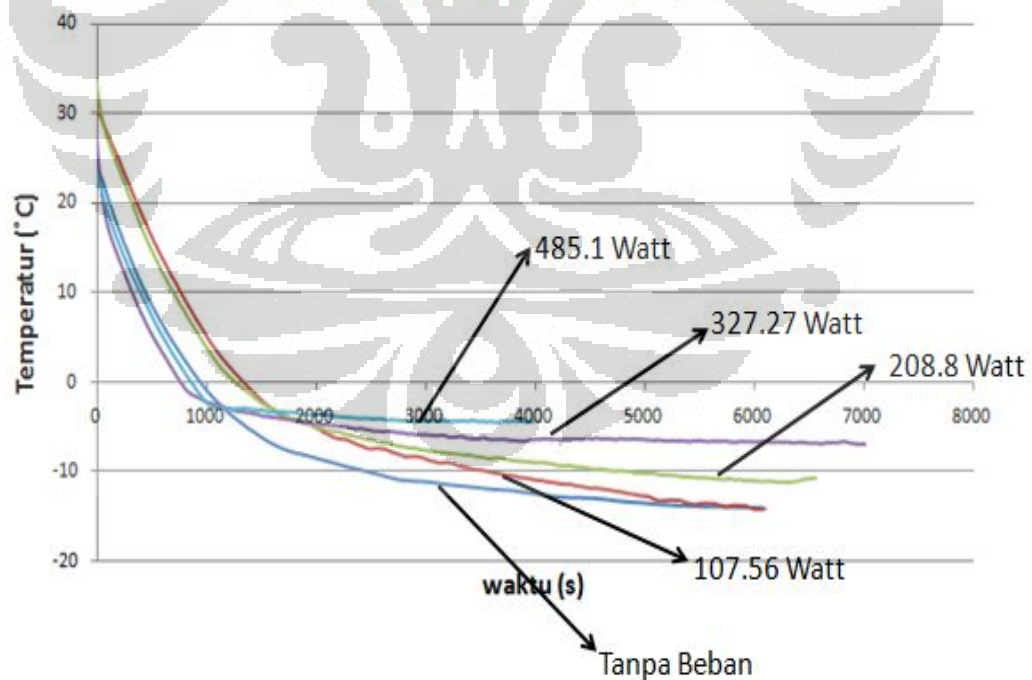
**Gambar 4.5** temperatur kabin dengan pembebanan ke-3

Temperatur Kabin dengan Pembebanan ke-4



Gambar 4.6 temperatur kabin dengan pembebanan ke-4

Temperatur yang Dicapai Pada Kabin Evap Besar



Gambar 4.7 temperatur yang dicapai pada kabin evap besar dengan berbagai kondisi



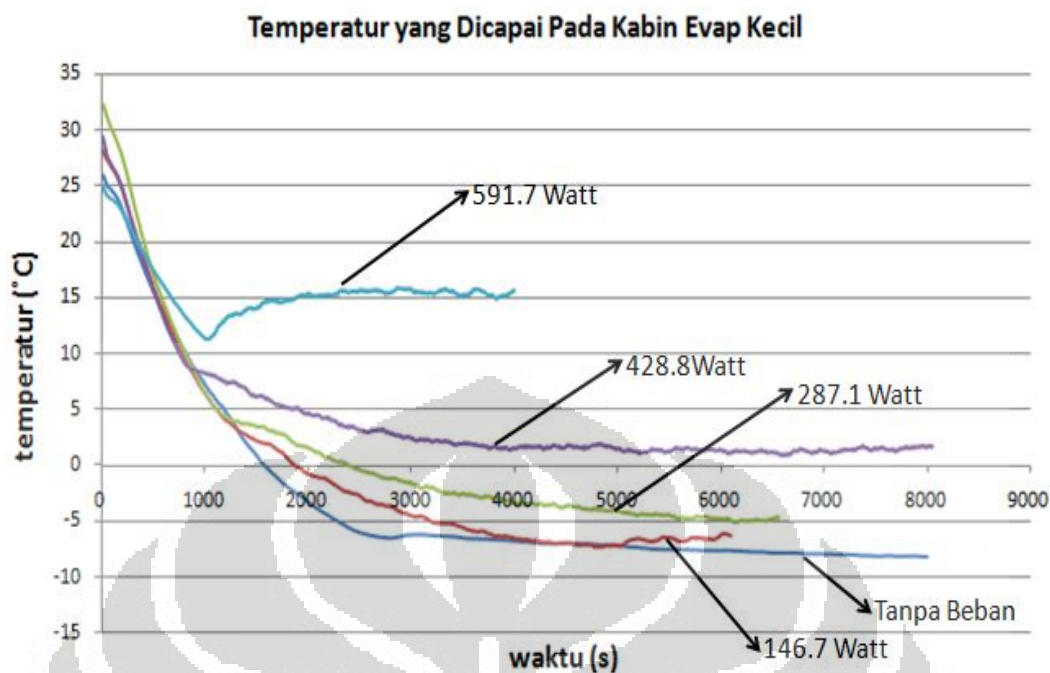
Gambar 4.7 merupakan grafik perbandingan variasi pembebanan pada kabin evap besar. Pada grafik dengan kondisi tanpa pembebanan mempunyai waktu pencapaian yang lebih lama dibandingkan dengan kondisi dengan pembebanan. Padahal kalor yang diserap oleh kabin hanyalah beban yang ada di *cold storage* itu sendiri, hal ini dikarenakan evaporator terus menerus menyerap kalor yang ada di *cold storage* sampai dia mencapai titik keseimbangan antara kalor yang diserap dengan kalor yang dihasilkan.

Begitu pula dengan kondisi masing-masing pembebanan. Pembebanan 485.1 Watt menempati posisi paling tercepat disusul dengan 327.27 Watt, 208.8 Watt, dan terakhir 107.56 Watt. Kondisi pembebanan dengan daya 485.1 Watt memiliki *steady state* yang sangat cepat dikarenakan oleh beban kalor yang ada di *cold storage* ( beban kalor kabin itu sendiri ditambah dengan panas yang dihasilkan oleh *heater* ) beban kalor tersebut akan diserap oleh evaporator, karena beban kalor pada kabin itu tinggi maka evaporator tidak kuat lagi untuk menyerap kalor sehingga evaporator tidak perlu berlama-lama menurunkan suhu di dalam kabin, hal ini dikarenakan tidak ada pertukaran kalor lagi antara yang diserap dengan kalor yang dihasilkan oleh heater dan kabin itu sendiri.

Lalu pada kondisi pembebanan yang paling kecil yaitu 107.56 Watt, memiliki waktu steady yang paling cepat dibandingkan dengan pembebanan lainnya. Ini sama halnya dengan kondisi ketika pembebanan paling tinggi ( 485.1 Watt ), namun karena beban kalor yang ada di kabin itu kecil maka evaporator akan terus-menerus menyerap kalor sampai pada kondisi kalor yang diserap sama dengan kalor yang dihasilkan oleh *heater* dan kabin tersebut. Kemampuan evaporator juga semakin tinggi karena beban kalor di dalam kabin juga rendah.

Dari gambar 4.7 juga menunjukkan naiknya temperatur akibat kenaikan pembebanan. Dalam hal ini *cold storage* pada penelitian ini mempunyai kemampuan sampai  $-14.3^{\circ}\text{C}$  dengan kondisi tanpa beban, dengan adanya pembebanan maka kemampuan *cold storage* tersebut akan menurun dan hanya mampu mencapai suhu  $-4.33^{\circ}\text{C}$ .





**Gambar 4.8** temperatur yang dicapai pada kabin evap kecil dengan berbagai kondisi

Pada gambar 4.8 merupakan grafik temperatur yang dicapai pada variasi pembebanan di dalam kabin evap kecil. Di grafik tersebut menunjukkan kondisi *steady state* pada masing-masing variasi beban. Pada kondisi tanpa beban kondisi steady dicapai dalam waktu sekitar 10000 detik ( 167 menit ), kondisi dengan beban 146.7 watt dicapai dalam waktu 6000 detik ( 100 menit ), kondisi dengan beban 287.1 Watt dicapai dalam waktu 6800 detik ( 113 menit ), kondisi dengan beban 428.8 Watt dicapai dengan waktu 4500 detik ( 75 menit ), dan kondisi dengan beban 591.7 Watt dicapai dengan waktu 3000 detik ( 50 menit ).

Dari hasil pencapaian waktu steady maka dapat diketahui pencapaian waktu steady yang paling cepat adalah kondisi pembebanan dengan pembebanan tertinggi yaitu 591.7 Watt, fenomena ini hampir sama dengan yang terjadi di dalam kabin evap besar. Dapat dilihat grafik dengan pembebanan 591.7 watt memiliki waktu steady yang cepat. Hal ini dikarenakan ketika evaporator menyerap kalor yang ada di kabin tersebut, dalam beberapa waktu yang tidak lama langsung setimbang dengan panas yang dihasilkan oleh *heater* dan kalor yang ada di kabin tersebut. Evaporator dalam kondisi pembebanan ini sudah tidak

mampu lagi menyerap panas disekitarnya, alhasil tidak ada pertukaran kalor lagi. Ini lah yang membuat waktu pencapaian

Dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.6 grafik pada evaporator kecil dengan kondisi pembebanan 591.7 Watt mengalami penurunan dan ketika pada menit ke 15 *heater* dinyalakan maka seketika temperatur di kabin menjadi naik dan akhirnya *steady* pada suhu 15.12°C . Fenomena inilah yang menjadi jawaban mengapa pada kondisi dengan pembebanan teringgi temperatur di kabin menjadi lebih cepat *steady*.

Kemudian waktu *steady* yang paling lama adalah pada kondisi tanpa pembebanan. Walaupun grafik antara tanpa beban dengan beban 146.7 Watt hampir berimpit namun masing-masing memiliki waktu *steady* yang berbeda. Bila dilihat perbandingan dengan gambar 4.2 dan 4.3 maka akan terlihat perbedaan diantara keduanya.

Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa kondisi tanpa beban memiliki temperatur yang paling rendah, kemudian dengan adanya kenaikan pembebanan maka temperatur yang dicapai semakin naik karena adanya beban kalor. Temperatur terendah untuk kabin evaporator dalam pengujian ini adalah -7.97°C dan pada pembebanan yang paling tinggi ( 591.7 Watt ) temperatur yang dicapai adalah 15.12°C.

Tabel 4.2 Temperatur yang dicapai dari berbagai kondisi

Evap Kecil		Evap Besar	
Beban (W)	Temperatur yang Dicapai(°C)	Beban (W)	Temperatur yang Dicapai(°C)
0	-7.97	0	-14.3
146.6775	-6.42	107.5635	-13.53
287.1	-4.77	208.8	-10.67
428.8	1.77	327.265	-7.11
591.66	15.12	485.082	-4.33

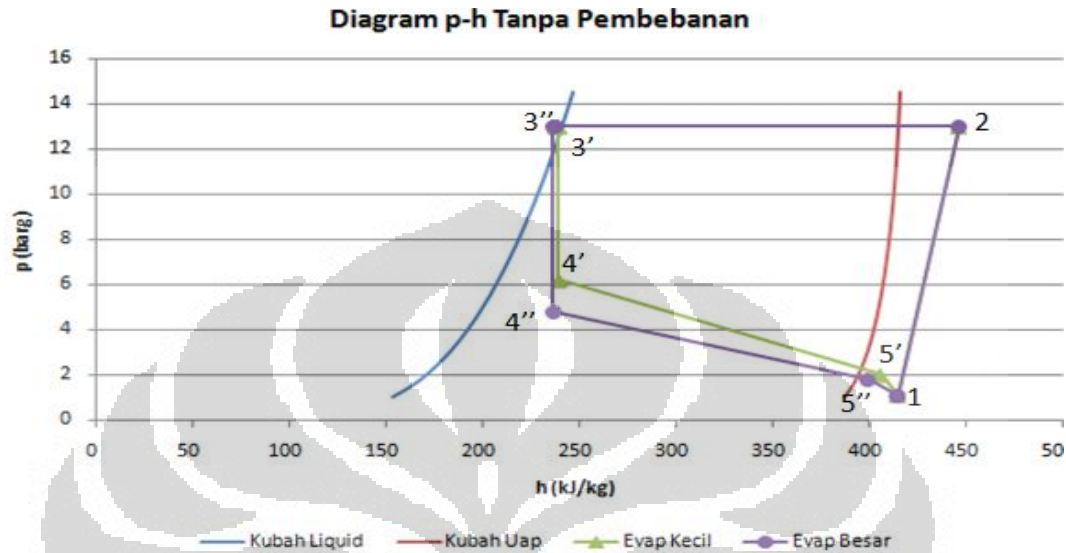
### 4.3 Analisa Pengujian dari Berbagai Kondisi

#### 4.3.1 Analisa Diagram p-h

Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan diagram p-h dari masing-masing kondisi untuk melihat COP, kerja kompresor, pengaruh *heater* dari kedua

evaporator, dan jumlah aliran refrigeran yang mengalir dari masing-masing kondisi.

a. Kondisi tanpa pembebanan



**Gambar 4.9** diagram p-h kondisi tanpa pembebanan

Diagram p-h diatas adalah ketika kondisi saat tanpa ada pembebanan. Refrigeran yang berfasa uap masuk dari titik 1 kemudian dikompresikan sampai ke titik 2 dimana tekanan masuk dan keluar kompresor sebesar 1.1 barg dan 13 barg. Kemudian dikondensasikan dengan asumsi sepanjang *liquid line* tidak ada *pressure drop* lalu dicabang ke masing-masing pipa sehingga mempunyai perbedaan entalpi sebelum diekspansi (agak berhimpit titik 3' dan 3'') kemudian masuk melalui TXV pada masing-masing pipa sehingga jatuh ke titik 4' ( evaporator kecil ) dan 4'' ( evaporator besar ). Refrigeran kemudian menyerap kalor dan kemudian berubah fasa menjadi uap. Dapat dilihat perubahan entalpi evaporator besar lebih kecil dari evaporator kecil.  $h_5 - h_{4'}$  = 166.77 kJ/kg dan  $h_{5''} - h_{4''}$  = 162.63 kJ/kg, ini disebabkan tekanan dan temperatur pada evap besar ( titik 4'' dan 5'' ) lebih kecil dibandingkan dengan temperatur dan tekanan evap kecil sehingga entalpi yang dihasilkan pada titik tersebut menjadi kecil. Kemudian refrigeran yang keluar dari evap kecil disamakan tekanannya sehingga menyamai

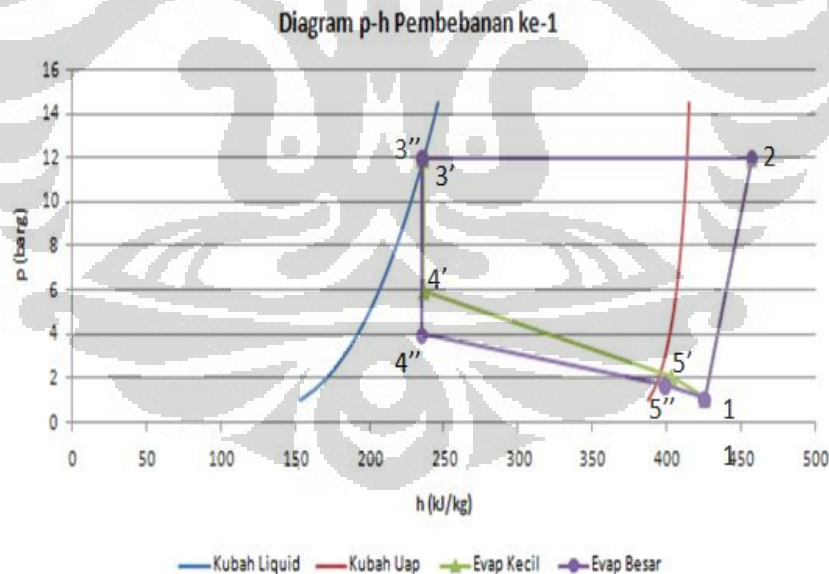
refrigeran yang keluar dari evap besar yang rendah, barulah kemudian masuk ke *suction compressor*.

Dari digram p-h tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Hasil dari diagram p-h kondisi tanpa pembebanan

	Evap Kecil	Evap Besar
H1 (m)	0.085	0.185
H2 (m)	0.077	0.175
$\Delta H$ (m)	0.008	0.01
$\rho @ \text{liquid} (\text{kg}/\text{m}^3)$	1162.6	1170.3
$\Delta P$ (Pa)	976.087152	1219.35357
A orifis (m <sup>2</sup> )	0.000007065	0.000007065
c	0.658	0.65
V <sup>o</sup> orifis (m <sup>3</sup> /s)	6.04851E-06	6.65615E-06
m (kg/s)	0.007031995	0.007789687
Q (kJ/s)	1.172725851	1.26683679
W comp.o (kJ/s)	0.468661592	
COP	5.205382055	

b. Kondisi dengan pembebanan ke-1



**Gambar 4.10** diagram p-h kondisi pembebanan ke-1

Gambar 4.10 merupakan diagram p-h pada pembebanan sebesar 146.7 Watt pada *heater* kabin evap kecil dan 107.56 Watt pada *heater* kabin evap besar. Pada titik 1 refrigeran yang berfase uap dikompresikan sampai ke titik

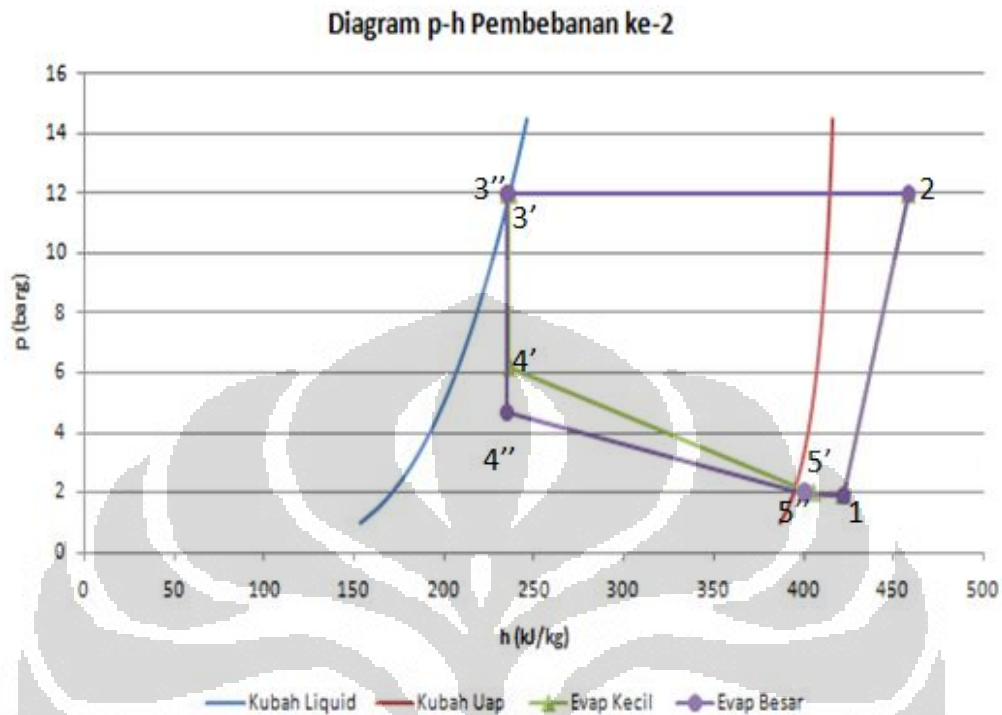
2, tekanan pada titik tersebut adalah 1.1 barg dan 12 barg, lalu dikondensasikan dengan asumsi tidak ada *pressure drop* di bagian *liquid line*. Refrigeran yang berfase cair kemudian dipisahkan ke pipa bagian evap kecil dan evap besar ( titik 3' dan 3'' ), kedua titik memiliki perbedaan entalpi yang sedikit hingga titiknya berhimpit, pada titik 3' 236.74 kJ/kg dan pada titik 3'' 235.54 kJ/kg. Kemudian masing-masing dikspansikan dengan TXV sehingga titik 4' karena temperatur dan tekanannya lebih besar maka akan mempunyai entalpi yang lebih besar dibandingkan dengan titik 4'' pada bagian evap besar yang lebih rendah tekanan dan temperturnya. Refrigeran kemudian menyerap kalor dari masing-masing kabin termasuk beban kalor pada masing-masing kabin sampai ke titik 5' dan 5'', pada titik tersebut terlihat hampir berhimpit karena tekanan pada titik tersebut perbedaannya hanya 0.4 barg ( titik 5' = 2.1 barg dan titik 5'' = 1.7 barg ) namun temperatur keluar dari masing-masing evap mempunyai perbedaan pada titik 5' = - 11.1°C dan pada titik 5'' = -19.3°C. Kemudian pada titik 5' menuju titik 1 tekanannya disamakan oleh Evaporator Pressure Regulator (EPR) sehingga tekanannya sama dengan tekanan titik 1. Dapat dilihat titik 5'' mengalami penurunan karena menyamakan keadaan pada titik 1 yang sudah campuran uap refrigeran dari masing –masing evaporator yang sudah memiliki propertis pada titik 1 tersebut.

Dari digram p-h tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Hasil dari digram p-h kondisi pembebanan ke-1

	Evap Kecil	Evap Besar
H1 (m)	0.06	0.173
H2 (m)	0.045	0.169
$\Delta H$ (m)	0.015	0.004
$\rho_{\text{liquid}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1174.1	1174.4
$\Delta P$ (Pa)	1828.471185	487.580544
A orifis (m <sup>2</sup> )	0.000007065	0.000007065
c	0.658	0.65
V <sup>orifis</sup> (m <sup>3</sup> /s)	8.23779E-06	4.20167E-06
$\dot{m}$ (kg/s)	0.009671987	0.004934439
Q (kJ/s)	1.615415316	0.80835979
W comp.o (kJ/s)	0.462147326	
COP	5.244594025	

c. Kondisi dengan pembebanan ke-2



**Gambar 4.11** diagram p-h kondisi pembebanan ke-2

Gambar 4.11 merupakan diagram p-h pada kondisi pembebanan ketika *heater* pada kabin evap kecil sebesar 287.1 Watt dan *heater* pada kabin evap besar 208.8 Watt. Pada titik 1 uap refrigeran dikompresikan sampai titik 2 dengan besar tekanan pada masing-masing titik adalah 1.9 barg dan 12 barg. Kemudian dikondensasikan dengan asumsi tidak ada *pressure drop* pada *liquid line*, lalu refrigeran yang sudah berfase cair didistribusikan ke masing-masing pipa evaporator dan memiliki masing-masing propertis pada titik 3' (sebelum TXV evap kecil) dan 3'' (sebelum TXV evap besar) dapat dilihat garis ekspansi ke titik 4' dan ke titik 4'' berhimpit, namun keduanya memiliki entalpi yang berbeda-beda, pada titik 3' sebesar 237.22 kJ/kg dan pada titik 3'' sebesar 235 kJ/kg. Kemudian pada titik 4' dan 4'' (setelah diekspansi) maka keduanya memiliki propertis yang berbeda, perbedaan ini dikarenakan pada titik 4' karena temperatur dan tekanannya lebih tinggi dibandingkan titik 4''. Refrigeran kemudian mulai menyerap kalor di masing-masing kabin dan *heater* nya. Kemudian sampai ke titik 5' dan 5'' dimana

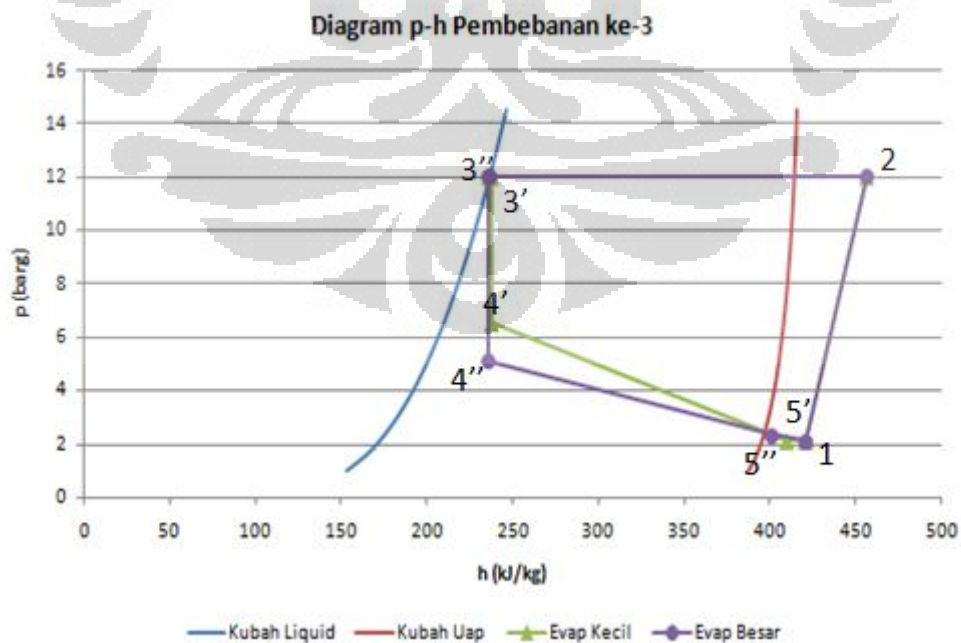
temperatur dan tekanan keluar evaporator. Dapat dilihat pada gambar titik 5' dan titik 5'' berhimpit karena tekanan pada saat itu sama, namun keduanya memiliki entalpi yang berbeda, pada titik 5' sebesar 405.54 kJ/kg dan pada titik 5'' sebesar 400.41 kJ/kg. Lalu masuk ke bagian *suction compressor*

Dari digram p-h tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.5** Hasil dari diagram p-h kondisi pembebanan ke-2

	Evap Kecil	Evap Besar
H1 (m)	0.065	0.175
H2 (m)	0.05	0.17
$\Delta H$ (m)	0.015	0.005
$\rho$ @liquid(kg/m <sup>3</sup> )	1169.5	1174.3
$\Delta P$ (Pa)	1829.148075	609.480585
A orifis (m <sup>2</sup> )	0.000007065	0.000007065
c	0.658	0.65
V' orifis (m <sup>3</sup> /s)	8.2555E-06	4.69783E-06
m (kg/s)	0.009654808	0.005516658
Q (kJ/s)	1.625097343	0.909421035
W comp(kj/s)	0.548296786	
COP	4.622530063	

d. Kondisi dengan pembebanan ke-3



**Gambar 4.12** diagram p-h kondisi pembebanan ke-3



Gambar 4.12 merupakan diagram p-h pada kondisi pembebanan di kabin evaporator kecil sebesar 428.8 Watt dan pada kabin evap besar 327.3 Watt. Refrigeran uap pada titik 1 dikompresikan ke titik 2 dengan tekanan pada titik-titik tersebut adalah 2.1 barg dan 12 barg kemudian dikondensasikan. Refrigeran yang telah berfasa cair kemudian didistribusikan pada titik 3' dan 3'', titik tersebut merupakan keadaan sebelum tereksipansi pada masing-masing TXV. Dapat dilihat kedua titik saling menyatu namun sebenarnya tidak, karena pada kedua titik tersebut mempunyai entalpi yang berbeda. Pada titik 3' mempunyai entalpi sebesar 238.22 kJ/kg dan pada titik 3'' mempunyai entalpi sebesar 236.02 kJ/kg. Kemudian refrigeran tersebut diekspansi pada masing-masing TXV, dapat dilihat titik 4' dan 4'' memiliki perbedaan dikarenakan pada titik 4' jatuh temperatur dan tekanannya lebih tinggi dibanding dengan pada titik 4'' . Titik 4'' lebih rendah karena evaporatornya memiliki kapasitas pendinginan yang besar sehingga mampu mendinginkan suhu yang lebih rendah. Kemudian refrigeran menyerap kalor pada pembebanan yang ada di masing-masing kabin dan keluar pada titik 5' dan 5'', dapat dilihat titik 5' dan 5'' hampir berhimpit namun keduanya memiliki temperatur, tekanan, dan entalpi yang berbeda.

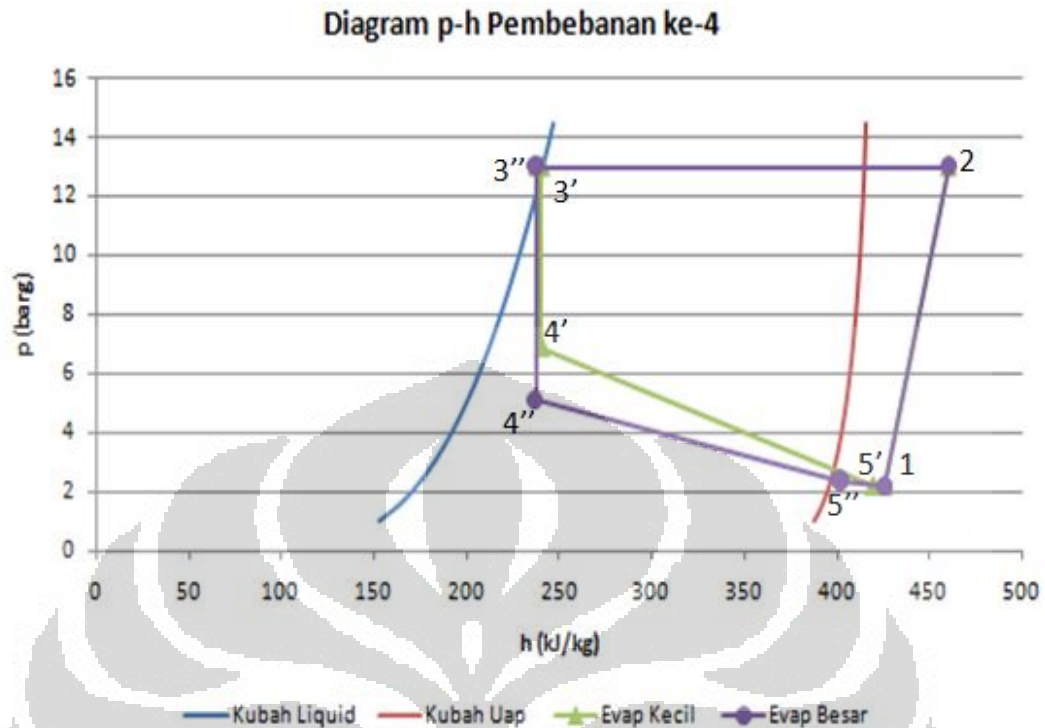
Dari digram p-h tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.6** Hasil dari digram p-h kondisi pembebanan ke-3

	Evap Kecil	Evap Besar
H1 (m)	0.09	0.177
H2 (m)	0.047	0.172
$\Delta H$ (m)	0.043	0.005
$\rho_{\text{liquid}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1166.3	1172.8
$\Delta P$ (Pa)	5244.907671	609.55416
A orifis (m <sup>2</sup> )	0.000007065	0.000007065
c	0.658	0.65
V' orifis (m <sup>3</sup> /s)	1.39985E-05	4.70111E-06
$\dot{m}$ (kg/s)	0.016326503	0.005513466
Q (kJ/s)	2.809791177	0.910989994
W comp (kJ/s)	0.775755702	
COP	4.79633106	



- e. Kondisi dengan pembebanan ke-4



**Gambar 4.13** diagram p-h kondisi pembebanan ke-4

Gambar 4.13 merupakan diagram p-h pada pembebanan evap kecil sebesar 591.66 Watt dan pada evap besar sebesar 485.1 Watt. Refrigeran uap dikompresikan pada titik sampai ke titik 2 dimana tekanannya sebesar 2.2 barg dan 13 barg. Kemudian dikondensasikan dengan asumsi tidak ada *pressure drop* di *liquid line*. Refrigeran yang sudah berfase cair kemudian didistribusikan ke masing-masing pipa ke evap kecil dan ke evap besar. Pada titik 3' adalah keadaan sebelum masuk ke TXV evap kecil demikian pula dengan titik 3'' merupakan keadaan sebelum masuk ke TXV evap besar. Dari gambar terlihat kedua titik menyatu namun keduanya memiliki propertis yang berbeda pada masing-masing titik. Entalpi pada titik 3' sebesar 241.01 kJ/kg dan pada titik 3'' sebesar 237.61 kJ/kg. Kemudian refrigeran diekspansi dan jatuh pada titik 4' dan 4'' perbedaan ini terjadi seperti diagram p-h sebelumnya. Kemudian refrigeran mulai menyerap kalor di evaporator dan keluar pada titik 5' dan 5''. Pada titik 5' terlihat seperti berhimpit dengan titik 1 ini dikarenakan tekanan keluar evap kecil sama dengan tekanan suction,

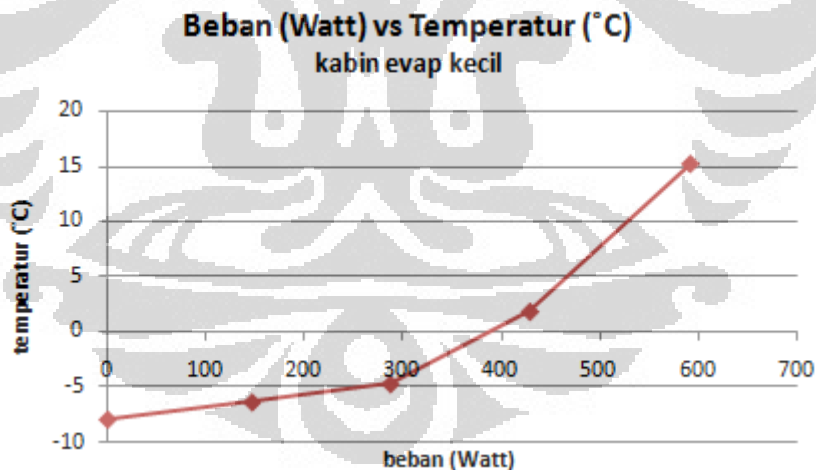
namun keduanya mempunyai temperatur yang berbeda sehingga mempunyai entalpi yang berbeda pula.

Dari digram p-h tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut

**Tabel 4.7** Hasil dari diagram p-h kondisi pembebanan ke-4

	Evap Kecil	Evap Besar
H1 (m)	0.06	0.175
H2 (m)	0.048	0.17
$\Delta H$ (m)	0.012	0.005
$\rho_{\text{liquid}}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1157.4	1168.2
$\Delta P$ (Pa)	1464.742872	609.77979
A orifis (m <sup>2</sup> )	0.000007065	0.000007065
c	0.658	0.65
V <sup>o</sup> orifis (m <sup>3</sup> /s)	7.42605E-06	4.71123E-06
m (kg/s)	0.008594914	0.005503661
Q (kJ/s)	1.535997126	0.904196495
W comp(kJ/s)	0.48682381	
COP	5.01247797	

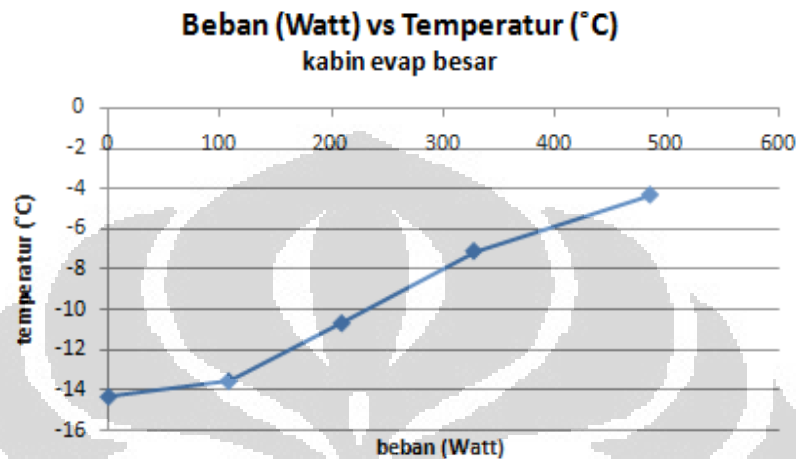
#### 4.3.2 Analisa Pengaruh Pembebanan



**Gambar 4.14** beban (Watt) vs Temperatur Kabin evap kecil

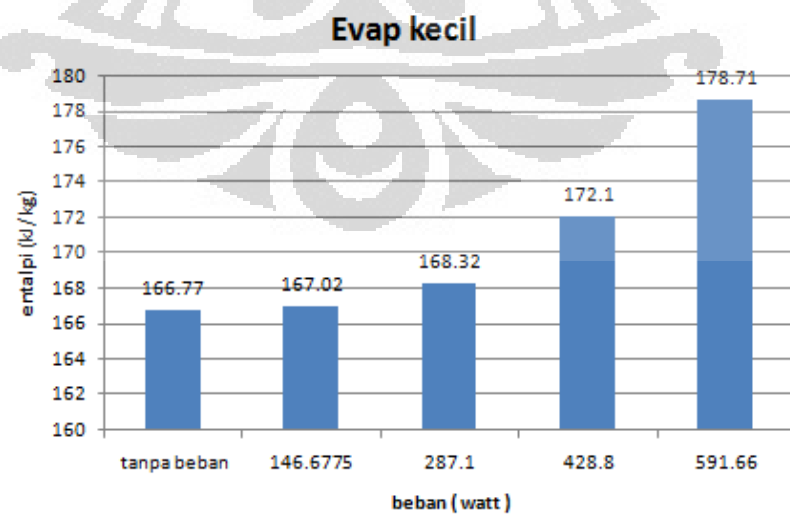
Gambar 4.14 merupakan perbandingan antara beban yang diberi dengan kenaikan temperatur *steady* pada kabin evap kecil. Dapat dilihat dari gambar kenaikan pembebanan dari mulai *heater* belum dinyalakan dan variasi kondisi ketika *heater* dinyalakan. Pengaruh kenaikan pembebanan mengakibatkan temperatur yang dicapai pada kabin evap kecil mengalami peningkatan. Pengaruh

kenaikkan ini disebabkan oleh kemampuan evaporator yang terbatas untuk menurunkan suhu ketika ada pembebanan tertentu sehingga ketika keadaan dalam kabin sudah setimbang maka kalor yang diserap oleh evaporator akan sama untuk waktu selanjutnya. Untuk penjabaran peningkatan temperatur pada masing-masing beban data-datanya bisa dilihat pada tabel 4.2.

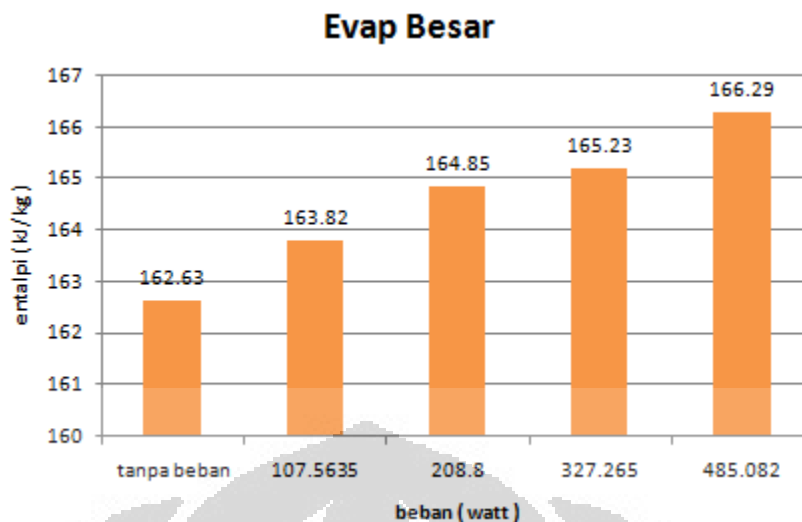


**Gambar 4.15** beban (Watt) vs Temperatur Kabin evap besar

Gambar 4.14 juga merupakan grafik perbandingan antara pembebanan dengan temperatur *steady*. Pada grafik menunjukkan peningkatan temperatur yang dicapai seiring dengan kenaikan beban yang diberi. Untuk penjabaran peningkatan temperatur pada masing-masing beban data-datanya bisa dilihat pada tabel 4.2.



**Gambar 4.16** pengaruh beban terhadap perubahan entalpi di evap kecil



**Gambar 4.17** pengaruh beban terhadap perubahan entalpi di evap besar

Pada gambar 4.16 merupakan pengaruh variasi kondisi pembebanan terhadap perubahan entalpi yang terjadi di evaporator kecil. Dapat dilihat pada grafik perubahan entalpi yang terjadi di evaporator kecil semakin meningkat seiring dengan peningkatan beban. Peningkatan entalpi ini dikarenakan oleh peningkatan temperatur keluar evaporator sehingga entalpinya makin tinggi, kemudian kalor yang dihasilkan oleh *heater* merupakan kalor tambahan bagi penyerapan di evaporator, peningkatan kalor akan meningkatkan perubahan entalpi.

Kemudian pada gambar 4.17 merupakan pengaruh variasi kondisi pembebanan dengan perubahan entalpi di evaporator besar. Peningkatan perubahan entalpi dipengaruhi oleh peningkatan beban yang diberikan di kabin evaporator besar. Sama dengan keadaan di evaporator kecil, hal ini menunjukkan bahwa *heater* menjadi beban tambahan bagi penyerapan kalor di evaporator sehingga dengan naiknya kalor yang diserap maka akan meningkatkan entalpi.

### 4.3.3 Perbandingan Daya Kompresor dan Massa Refrigeran Antara

#### Menggunakan Orifis dan PQA

Pada pengujian sistem refrigerasi ini menggunakan metode pengukuran aliran refrigeran oleh orifis dan juga menggunakan *Power Quality Analysis (PQA)* untuk mengetahui kerja kompresor, nantinya akan dibandingkan massa refrigeran

dan kerja kompresor. Tabel 4.7 merupakan perbandingan massa refrigeran dan kerja kompresor yang didapat dengan menggunakan orifis dan PQA.

**Tabel 4.8** Perbandingan massa aliran refrigeran antara orifis dan PQA

Beban, I (A)	Massa Aliran Refrigeran, $\dot{m}$ (kg/jam)			
	dengan orifis			dengan PQA
	Evap Kecil	Evap Besar	Jumlah	
0	25.31518297	28.04287305	53.35805602	89.46079696
1.5	34.81915422	17.76398024	52.58313446	86.90654867
2	34.75731009	19.85996801	54.6172781	82.31153957
2.5	58.77541101	19.84847775	78.62388876	86.98427027
3	30.9416913	19.81318025	50.75487154	92.42890009
		rata-rata	57.98744578	87.61841111

Dari tabel 4.7 dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan antara massa aliran refrigeran yang ditunjukkan di orifis dengan hasil perhitungan antara perubahan entalpi di kompresor dengan daya yang ditunjukkan oleh PQA. Ketidaksamaan ini dikarenakan kondisi pembacaan di manometer yang fluktuatif sehingga sulit menentukan  $\Delta H$ . Untuk massa aliran refrigeran yang didapat dari perhitungan PQA, nilai-nilai tersebut didapat dari:

$$W = \dot{m}(h_{dis} - h_{suc})$$

$$V \cdot I \cdot \cos \psi = \dot{m}(h_{dis} - h_{suc})$$

$$m = \frac{V \cdot I \cdot \cos \psi}{(h_{dis} - h_{suc})} \quad 4.2$$

**Tabel 4.9** Perbandingan daya kompresor antara metode orifis dan PQA

Beban, I (A)	Daya Kompresor (kJ/s)	
	dengan orifis	dengan PQA
0	0.468661592	0.785764
1.5	0.462147326	0.763812
2	0.548296786	0.8263164
2.5	0.775755702	0.8582448
3	0.48682381	0.8865472

Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan antara daya kompresor dengan massa aliran refrigeran menggunakan orifis dan dengan pengukuran menggunakan PQA. Dapat dilihat terjadi perbedaan antara kedua metode, namun dapat dianalisa dari masing-masing kondisi, dari kedua metode sama-sama menunjukkan pada kondisi tanpa beban terdapat penurunan daya kompresor ke

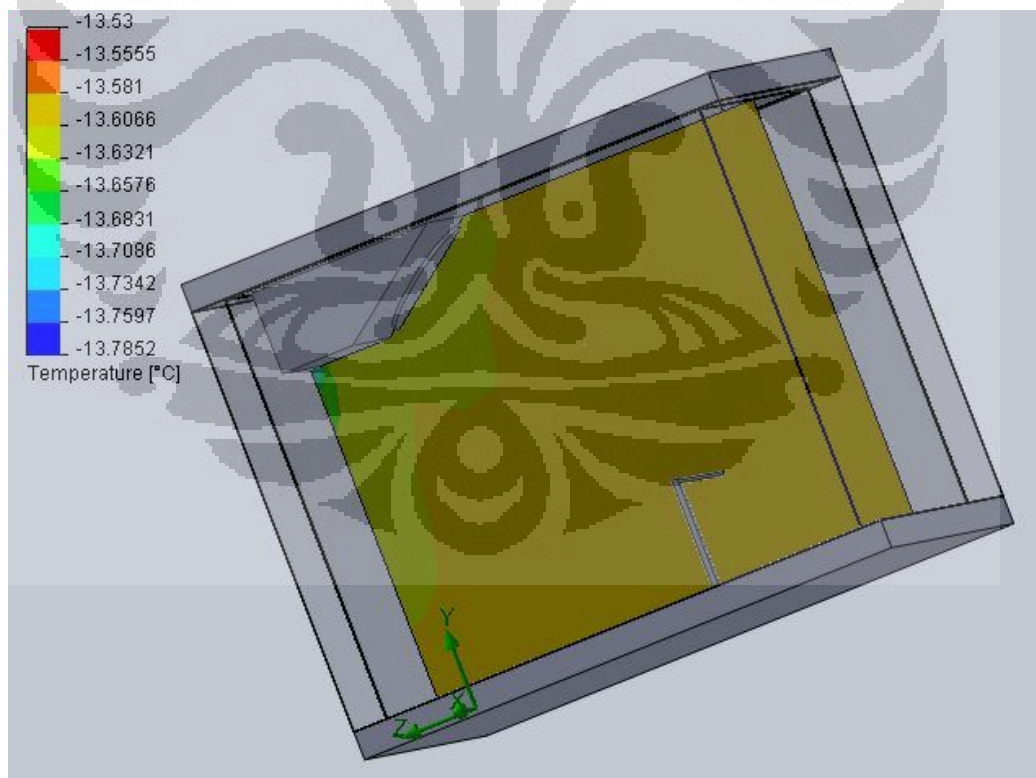
kondisi beban 1.5 A, kemudian naikan daya kompresor pada kondisi beban 2 A dan 2.5 A, dan pada kondisi beban 3 A terjadi perbedaan, dengan metode orifis menunjukkan penurunan sedangkan dengan PQA menunjukkan kenaikan.

Dari peningkatan beban tersebut maka akan terjadi peningkatan daya kompresor, boleh dikatakan bahwa semakin besar beban yang diserap maka kompresor membutuhkan *supply* daya yang besar. Ini dikarenakan kalor yang diserap di evaporator semakin besar sehingga semakin besar pula kalor yang harus dikompresi dan akhirnya dibuang dikondenser.

#### 4.4 Simulasi Distribusi Temperatur di Dalam Kabin

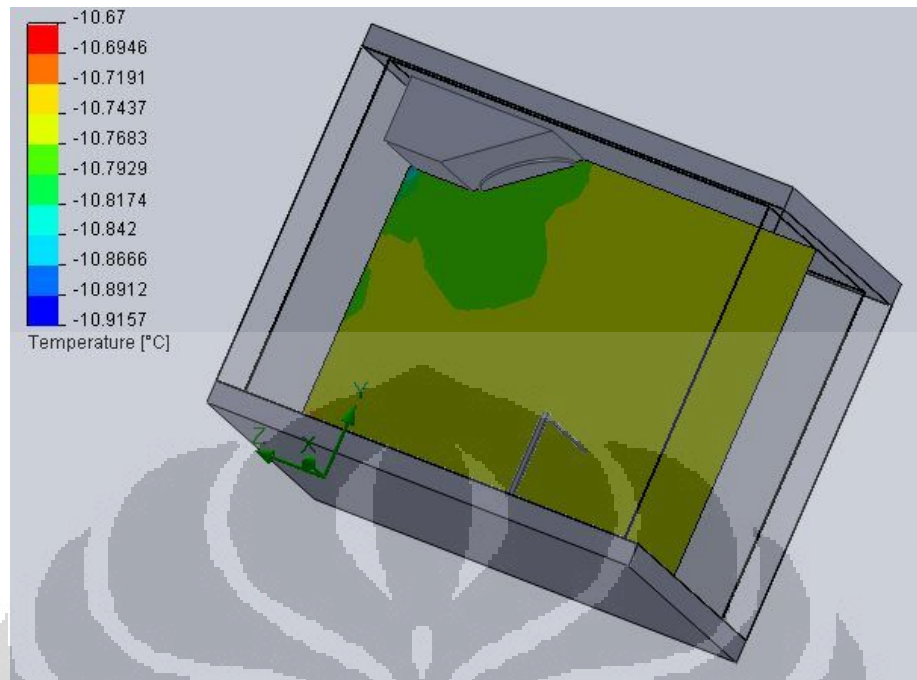
Setelah dilakukan pengujian pembebanan, akan dilihat simulasi distribusi temperatur di dalam kabin, simulasi menggunakan *software SolidWork 2009* .  
Dibawah ini merupakan gambar-gambar hasil simulasi yang telah dilakukan.

##### 4.4.1 Distribusi Temperatur di Dalam Kabin Evap Besar

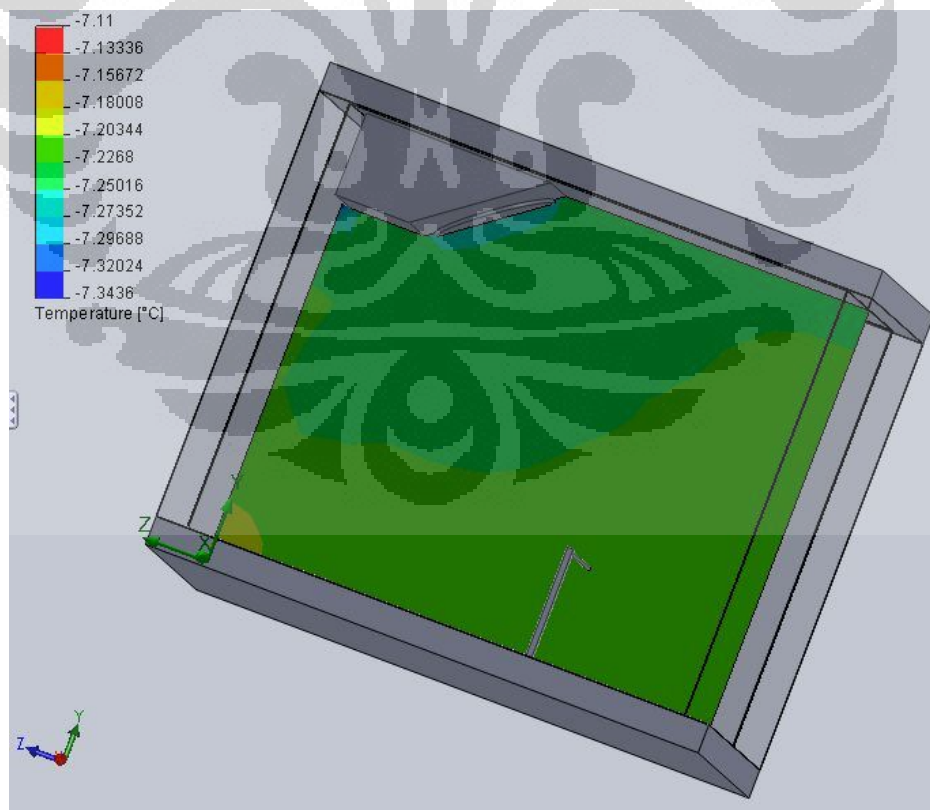


**Gambar 4.18** Distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 107.56 Watt

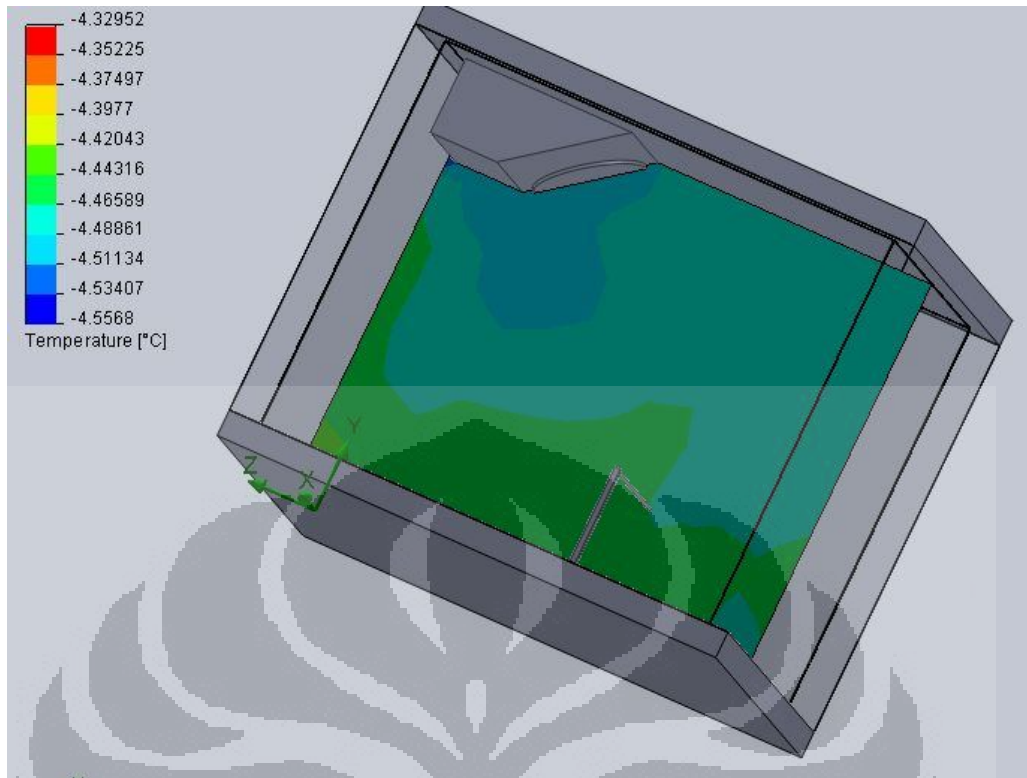




**Gambar 4.19** Distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 208.8 Watt

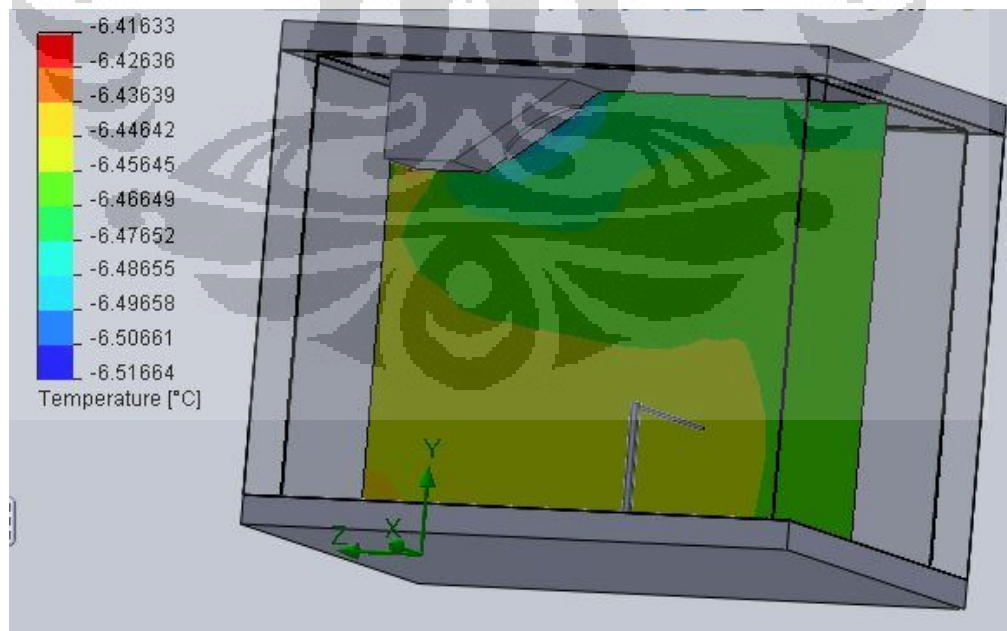


**Gambar 4.20** Distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 327.27 Watt



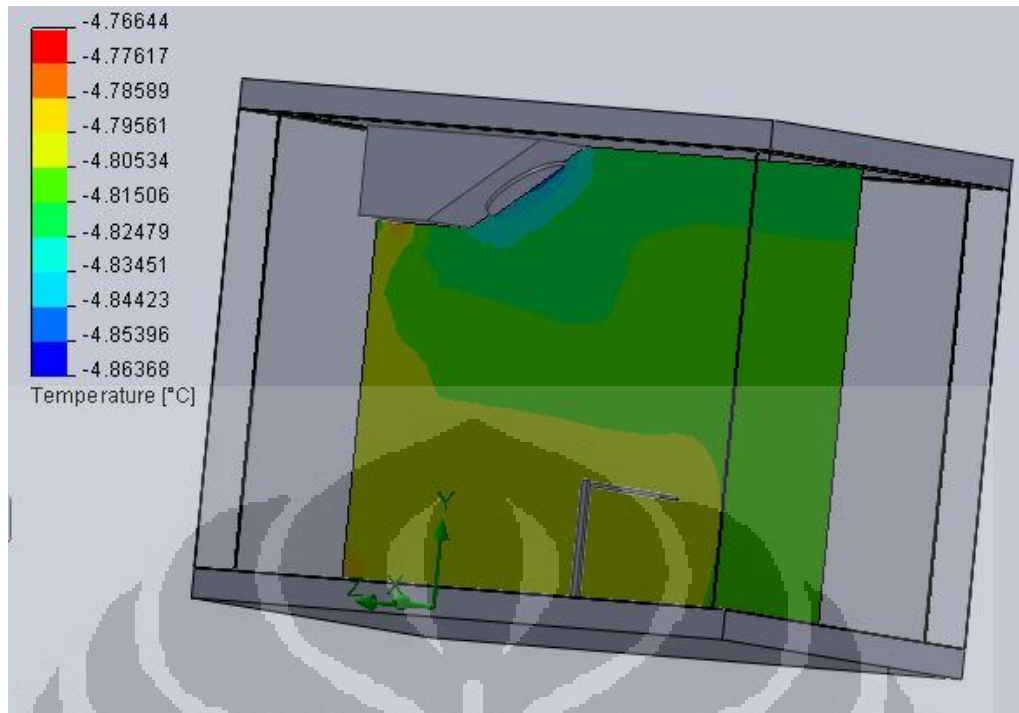
**Gambar 4.21** Distribusi temperatur pada kabin evap besar dengan beban 485.1 Watt

#### 4.4.2 Distribusi Temperatur di Dalam Kabin Evap Kecil

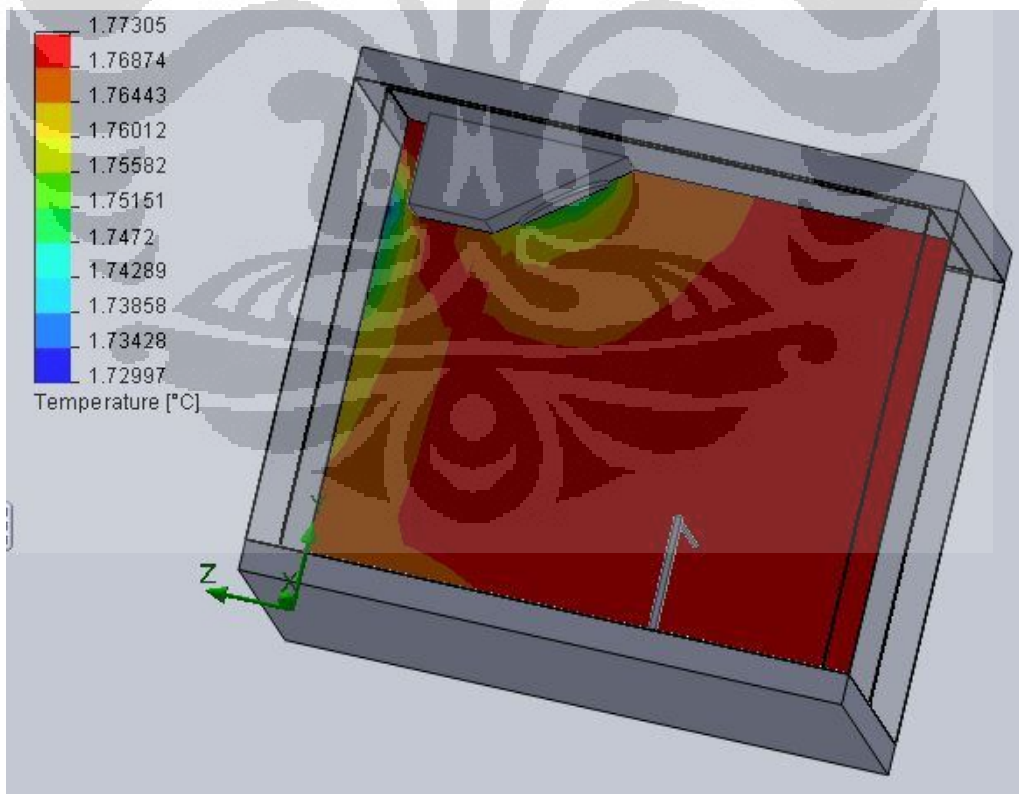


**Gambar 4.22** Distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 146.7 Watt

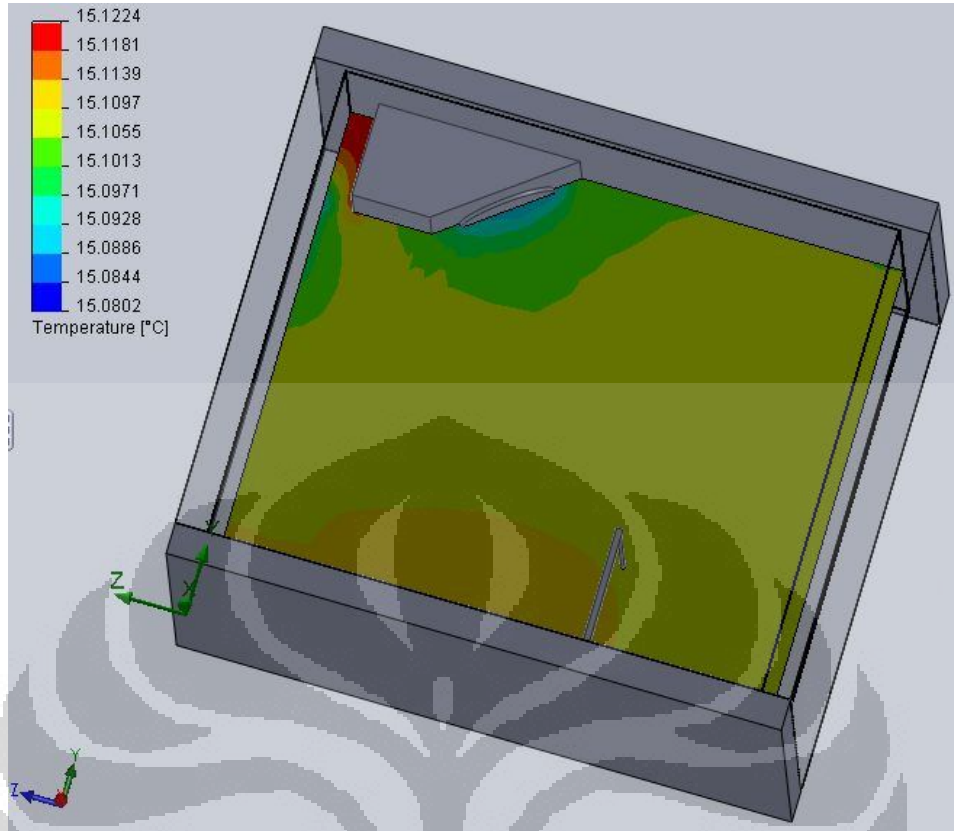




**Gambar 4.23** Distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 287.1 Watt



**Gambar 4.24** Distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 428.8 Watt



**Gambar 4.25** Distribusi temperatur pada kabin evap kecil dengan beban 591.66 Watt

Gambar-gambar diatas adalah hasil simulasi untuk mengetahui distribusi temperatur yang ada di dalam kabin akibat pembebanan oleh *heater*, dapat dilihat pada gambar rata-rata temperatur yang ada di pengujian dengan simulasi yang dilakukan hampir mendekati kesamaan. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pada bagian bawah kabin kabin memiliki temperatur yang tinggi kemudian semakin keatas semakin rendah, ini dikarenakan pada bagian bawah terdapat heater dan pada bagian atas temperaturnya agak rendah diakibatkan dekat dengan *blower* dari evaporator.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengujian pembebanan menggunakan *heater* dengan variasi kondisi, maka dapat disimpulkan:

- Semakin besar beban pada kedua *heater* maka temperatur yang dicapai oleh kedua evaporator akan semakin tinggi, ini disebabkan oleh kalor yang diserap oleh evaporator semakin besar sehingga kerja evaporator semakin berat.
- Dalam analisa perbandingan berbagai kondisi diagram p-h pada masing-masing evaporator, perubahan entalpi masuk dan entalpi keluar evaporator semakin besar seiring dengan kenaikan kondisi pembebanan, ini membuktikan bahwa kalor yang dihasilkan oleh *heater* berpengaruh pada kalor yang harus diserap di evaporator akibatnya terjadi kenaikan perubahan entalpi.
- Pada pengukuran daya kompresor dengan menggunakan PQA terjadi kenaikan daya kompresor seiring dengan kenaikan pembebanan, ini berarti konsumsi listrik semakin tinggi dengan adanya kenaikan pembebanan.
- Pada pengukuran massa aliran refrigeran menggunakan orifis terjadi perbedaan dengan massa aliran refrigeran yang didapat dengan menggunakan rumus 4.2 hal ini disebabkan oleh pembacaan  $\Delta H$  pada manometer. Pembacaan  $\Delta H$  ini sangat berpengaruh sekali dengan massa aliran refrigeran yang dihasilkan oleh rumus 2.14.

#### **5.2 Saran**

Saran-saran yang disampaikan berdasarkan penelitian ini untuk menjadi bahan pertimbangan penelitian selanjutnya yang menggunakan alat ini adalah:

- Perlu dilakukan pengembangan model bentuk dari *heater*, misalnya bentuk *heater* yang berkelok-kelok, bentuk spiral, dan lain sebagainya hal

ini bertujuan agar kalor yang dihasilkan oleh *heater* semakin lebih besar dan penyebaran panasnya juga semakin luas.

- Pada penelitian ini, beban kalor yang diserap oleh evaporator merupakan jenis beban kalor sensibel ( *sensible heat load* ) maka perlu dilakukan pertimbangan lagi untuk beban kalor laten.
- Untuk melakukan pengukuran aliran refrigeran sebaiknya dicari metode lain selain menggunakan orifis, atau dilakukan perbandingan dengan alat ukur aliran lainnya, hal ini bertujuan untuk menentukan apakah penggunaan metode orifis layak atau tidak.



## DAFTAR PUSTAKA

- Andrew D.Althouse, Carl H.Turnquist, Alfred F.Bracciano.*Modern Refrigeration And Air Conditioning*. Illinois : 2004. The Goodheart-WillCox Company,Inc.
- Cengel. Yunus A., Michael A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach* (New York: McGraw-Hill, Inc., 1994)
- Defriadi, Rikko. *Perancangan Sistem Refrigerasi Single Condensing Unit-Double Evaporator*. 2010.
- Michael J. Moran,H .N. Shapiro. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. England : 2006. John Wiley & Sons, Inc.
- Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., *Fundamentals of Fluid Mechanics* : 2002. John Milley & Sons Inc.
- Shoim, Achmad. *Pengujian Efek Variasi Expansion Devices Pada Sistem Refrigerasi Single Condensing Unit-Double Evaporator*. 2010
- Wang, S.K. and Lavan, Z. *Air-Conditioning and Refrigeration*, dalam Frank Kreith (Ed.), *Mechanical Engineering Handbook*, (Boca Raton: CRC Press LLC, 1999).