



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PERUBAHAN KONSENTRASI KOMPOSISI REFRIGERAN  
CAMPURAN CO<sub>2</sub>/ETHANE SEBAGAI REFRIGERAN ALTERNATIF  
RAMAH LINGKUNGAN DALAM REFRIGERASI CASCADE**

**SKRIPSI**

**INDRA PUTRA TEMAGANGKA  
0806368622**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PERUBAHAN KONSENTRASI KOMPOSISI REFRIGERAN  
CAMPURAN CO<sub>2</sub>/ETHANE SEBAGAI REFRIGERAN ALTERNATIF  
RAMAH LINGKUNGAN DALAM REFRIGERASI CASCADE**

**SKRIPSI**

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

**INDRA PUTRA TEMAGANGKA  
0806368622**

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

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **PENGARUH PERUBAHAN KONSENTRASI KOMPOSISI REFRIGERAN CAMPURAN CO<sub>2</sub>/ETHANE SEBAGAI REFRIGERAN ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN DALAM REFRIGERASI CASCADE**

yang dibuat untuk melengkapi sebagai 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 di publikasikan 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.

Skripsi ini merupakan bagian yang dikerjakan bersama saudara Luthfianto Iedhar Budiyo (0806368686) dengan judul **ANALISA TEMPERATUR DI ALAT PENUKAR KALOR SISTEM REFRIGERASI CASCADE PADA APLIKASI TEMPERATUR RENDAH** dan Insan Fadlillah (0806368641) dengan judul **OPTIMALISASI TEMPERATUR KONDENSER CASCADE TERHADAP COP SISTEM REFRIGERASI CASCADE**. Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini ada kesamaan dengan skripsi tersebut.

Nama : Indra Putra Temagangka  
NPM : 0806368622  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 3 Januari 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Indra Putra Temagangka  
NPM : 0806368622  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : PENGARUH PERUBAHAN KONSENTRASI KOMPOSISI  
REFRIGERAN CAMPURAN CO<sub>2</sub>/ETHANE SEBAGAI  
REFRIGERAN ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN  
DALAM REFRIGERASI CASCADE

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

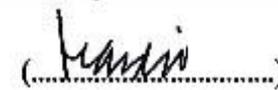
### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng



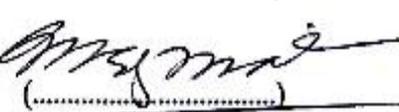
(.....)

Penguji : Dr.Ir. M. Idrus Alhamid



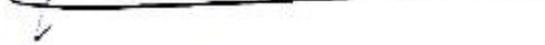
(.....)

Penguji : Dr.Ir. Budiharjo, Dipl.Ing



(.....)

Penguji : Ir. Rusdy Malin, M.ME



(.....)

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 3 Januari 2011

## UCAPAN TERIMA KASHI

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa dalam proses pembuatan hingga selesainya skripsi ini banyak pihak yang telah membantu dan menyemangati saya dalam pembuatan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan bantuan baik moril maupun materiil.
- 2) Dr.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng dan Dr.Ir. M. Idrus Alhamid selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 3) Bapak Ir. Darwin Rio Budi Syaka, MT dan rekan Arnas Lubis, ST yang telah banyak membimbing dan membantu dalam proses pembuatan skripsi.
- 4) Siti Ihsana, S.Sos, M.Si yang selalu memberikan perhatian dan motivasi.
- 5) Luthfianto Iedhar B. dan Insan F. yang telah bekerja sama dengan baik selama pengerjaan skripsi ini.
- 6) Teman-teman lab. Pendingin dan rekan-rekan PPSE '08 yang membuat hari-hari selalu berwarna.
- 7) Karyawan-karyawan DTM mulai dari Bang Yasin, Mas Syarif, Acong, Bang Supri dan Mas Udiyono yang juga ikut ambil membantu saya menyelesaikan skripsi ini.
- 8) Teman-teman teknik mesin seperjuangan yang telah ikut berkontribusi dalam pembuatan skripsi ini.

Depok, 3 Januari 2011

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Indra Putra Temagangka  
NPM : 0806368622  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

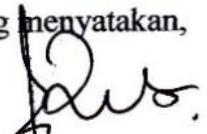
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah yang berjudul :

### **PENGARUH PERUBAHAN KONSENTRASI KOMPOSISI REFRIGERAN CAMPURAN CO<sub>2</sub>/ETHANE SEBAGAI REFRIGERAN ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN DALAM REFRIGERASI CASCADE**

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

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 3 Januari 2011

Yang menyatakan,  
  
(Indra Putra Temagangka)

## ABSTRAK

Nama : Indra Putra Temagangka  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Pengaruh Perubahan Konsentrasi Komposisi Refrigeran  
Campuran CO<sub>2</sub>/Ethane Sebagai Refrigeran Alternatif  
Ramah Lingkungan Dalam Refrigerasi Cascade

*Cold storage* untuk kebutuhan biomedis disyaratkan dapat mencapai -80°C dan untuk itu digunakan sistem refrigerasi *cascade* (Tianing et al, 2002). sistem refrigerasi cascade masih menggunakan refrigeran CFC dan HCFC. Campuran azeotropis karbondioksida dan ethane merupakan refrigeran alternatif yang menjanjikan. Studi simulasi dan eksperimen mengindikasikan campuran karbondioksida dan ethane mampu mencapai temperatur -80°C (Darwin et.al, 2008). Namun demikian, temperatur minimum tersebut masih belum stabil. Hal ini diduga karena adanya perubahan komposisi saat refrigeran campuran bersirkulasi dalam sistem refrigerasi. Hal ini dibuktikan oleh Kim et al. (2008) yang melakukan studi campuran CO<sub>2</sub>/propane mendapati bahwa komposisi CO<sub>2</sub> lebih besar 0,03 (fraksi mole) daripada komposisi pengisiannya. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini akan berkonsentrasi pada pengaruh perubahan komposisi refrigeran yang bersirkulasi pada sistem refrigerasi cascade melalui metode simulasi dan eksperimen. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan komposisi optimal campuran karbondioksida dan dalam sirkuit temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade.

Kata kunci : azeotrop; cold storage; cascade; karbondioksida; ethane; mass fraction

## ABSTRACT

Name : Indra Putra Temagangka  
Programme : Mechanical Engineering  
Topic : Effect Of Concentration Change Of Refrigerant Mixture From CO<sub>2</sub>/Ethane As An Environment Friendly Alternative Refrigerant In A Cascade Refrigeration System

Cold storage for biomedical need is required to achieve -80°C, therefore cascade refrigeration system is applied (Tianing et al, 2002). Cascade refrigeration system still uses refrigerant CFC and HCFC. An azeotropic mixture of carbon dioxide and ethane is a promising alternative refrigerant. Past simulation and experiment studies indicate that this carbondioxide and ethane mixture was able to achieve temperature of -80°C (Darwin et al, 2008). However, this temperature is still not stable because of the refrigerant mixture's composition during circulation inside the refrigeration system .This has been proved by Kim et al. (2008) who study carbon dioxide/propane mixture that the CO<sub>2</sub>'s mole fraction was larger by 0.03 than its charging composition. As such, this study will be concentrating on the effect of a change of refrigerant mixture's composition during circulation in cascade refrigeration system through simulation and experiment. The main objective of this study is to obtain the optimum composition mixture of carbondioxide/ethane used in a low temperature cascade refrigeration system.

Keywords : azeotrop; cold storage; cascade; carbon dioxide; ethane; mass fraction

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
I.1. LATAR BELAKANG.....	1
I.2. PERUMUSAN MASALAH.....	2
I.3. TUJUAN PENELITIAN.....	3
I.4. PEMBATAAN MASALAH.....	3
I.5. METODOLOGI PENELITIAN.....	4
I.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
II.1. REFRIGERASI.....	7
II.2. SISTEM REFRIGERASI.....	8
II.3. SISTEM REFRIGERASI CASCADE.....	11
II.4. REFRIGERAN.....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
III.1. ALAT PENGUJIAN DAN KOMPONEN.....	19
III.2. TES KEBOCORAN.....	36
III.3. VACUUM SYSTEM.....	36
III.4. CHARGING SYSTEM.....	37
III.5. METODE PENGAMBILAN DATA.....	38
<b>BAB IV ANALISA DATA.....</b>	<b>40</b>
IV.1. PROPERTIES REFRIGERAN PADA SIRKUIT TEMPERATUR RENDAH (LS).....	40
IV.2. HASIL PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI CASADE.....	41
IV.3. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN KONSENTRASI KOMPOSISI REFRIGERAN.....	44
IV.3.1. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA DISCHARGE.....	45
IV.3.2. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA KELUARAN KONDENSER.....	46
IV.3.3. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA IN EVAPORATOR.....	47
IV.3.4. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA SUCTION.....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>49</b>
DAFTAR PUSTAKA.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Siklus Kompresi Uap.....	7
Gambar II.2.	Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap.....	8
Gambar II.3.	Sistem Refrigerasi Cascade Dua Tingkat.....	12
Gambar II.4.	Diagram Fase Tekanan-Temperatur CO <sub>2</sub> .....	15
Gambar II.5.	Diagram T-x Campuran Zeotropis.....	17
Gambar II.6.	Diagram T-x Campuran Azeotropis.....	17
Gambar III.1.	Skematik Alat Pengujian Cascade.....	19
Gambar III.2.	Wiring Diagram Pada Sistem Refrigerasi Cascade.....	20
Gambar III.3.	Pipa Tembaga.....	27
Gambar III.4.	Shut Off Valve.....	27
Gambar III.5.	Tampilan LabView 8.5.....	33
Gambar III.6.	Tabung Refrigeran R290.....	35
Gambar III.7.	Tabung Refrigeran R744 dan R170.....	35
Gambar III.8.	Tabung Sampel Refrigeran.....	36
Gambar III.9.	Alat Vacuum.....	37
Gambar III.10.	Timbangan Digital.....	38
Gambar IV.1.	Grafik Temperatur In Evaporator Terhadap Waktu.....	41
Gambar IV.2.	Grafik Pressure Discharge Terhadap Waktu.....	41
Gambar IV.3.	Grafik Pressure Suction Terhadap Waktu.....	42
Gambar IV.4.	Grafik Temperatur Kabin Terhadap Waktu.....	42
Gambar IV.5.	Grafik Mass Flow Terhadap Waktu.....	43
Gambar IV.6.	Diagram T-x Pada Discharge LS.....	45
Gambar IV.7.	Diagram T-x Pada Out Kondenser LS.....	46
Gambar IV.8.	Diagram T-x Pada In Evaporator LS.....	47
Gambar IV.9.	Diagram T-x Pada Suction LS.....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Pilihan Refrigeran Pengganti Alternatif Untuk CFC .....	14
Tabel III.1.	Spesifikasi Kompresor.....	21
Tabel III.2.	Spesifikasi Heat Exchanger.....	22
Tabel III.3.	Spesifikasi Kondenser.....	23
Tabel III.4.	Spesifikasi Pipa Kapiler.....	23
Tabel III.5.	Spesifikasi Filter Dryer.....	24
Tabel III.6.	Spesifikasi Akumulator.....	25
Tabel III.7.	Spesifikasi Oil Separator.....	26
Tabel III.8.	Spesifikasi Evaporator.....	28
Tabel III.9.	Spesifikasi Pressure Gauge.....	29
Tabel III.10.	Spesifikasi Pressure Transmitter.....	29
Tabel III.11.	Spesifikasi Thermokopel.....	30
Tabel III.12.	Spesifikasi Power Meter (GPIB).....	31
Tabel III.13.	Spesifikasi Coriolis.....	31
Tabel III.14.	Spesifikasi Komputer.....	32
Tabel III.15.	Spesifikasi National Instrument.....	34
Tabel III.16.	Spesifikasi Power Supply.....	34
Tabel IV.1.	Critical Properties Refrigeran Campuran R744/R170.....	40
Tabel IV.2.	Properties Dari Karbondioksida dan Ethane .....	40
Tabel IV.3.	Hasil Pengujian Konsentrasi Komposisi Refrigeran.....	44
Tabel IV.4.	Pressure dan Temperatur Pada Empat Posisi Pengambilan Sampel Refrigeran.....	44

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. LATAR BELAKANG

Dewasa ini kemajuan teknologi berkembang sangat pesat dalam kehidupan manusia. Salah satu teknologi tersebut adalah alat pengkondisian udara atau yang biasa disebut dengan sistem refrigerasi. Pada hakekatnya refrigerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang bertemperatur lebih rendah sehingga didapatkan tercapainya suatu temperatur dan dipertahankannya temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan.

Pada awalnya refrigerasi sudah digunakan manusia sejak zaman dahulu kala, yaitu dengan menggunakan gumpalan es yang disimpan pada musim dingin dan digunakan pada musim panas.

Seiring dengan kemajuan teknologi, sistem refrigerasi terus mengalami perkembangan. Hingga kini pemanfaatan dari refrigerasi dapat dinikmati hampir dalam semua aspek kehidupan. Contohnya, pemanfaatan efek refrigerasi pada suatu gedung atau ruangan perkantoran dalam memberikan kenyamanan kepada penghuninya ataupun dalam suatu industri untuk menjaga kualitas proses dan produksinya.

Dalam beberapa bidang industri seperti, pengawetan makanan, perminyakan, pengolahan bahan kimia, dibutuhkan temperatur ruangan yang sangat rendah berkisar dari  $-30^{\circ}\text{C}$  hingga  $-50^{\circ}\text{C}$ . Bahkan dalam kegiatan biomedis dibutuhkan temperatur yang lebih rendah lagi hingga  $-80^{\circ}\text{C}$ .

Untuk mendapatkan kondisi tersebut dapat kita gunakan sistem refrigerasi satu tingkat yang menggunakan satu kompresor, sistem bertekanan banyak menggunakan lebih dari satu kompresor seperti yang terdapat pada sistem refrigerasi bertingkat (*multistage*) atau kombinasi dua atau lebih sistem refrigerasi tunggal (*cascade*) dimana satu sistem sebagai *high-stage* (HS) dan lainnya sebagai *low-stage* (LS).

Dalam kegiatan dan penelitian biomedis yang menuntut dibutuhkannya *cold storage* bertemperatur sangat rendah, disyaratkan mencapai temperatur  $-80^{\circ}\text{C}$ ,

sebagai tempat penyimpanan spesimen biomedis dalam jangka waktu lama. Penggunaan sistem refrigerasi siklus tunggal hanya mampu mencapai pendinginan efektif sekitar  $-40^{\circ}\text{C}$ , dan efisiensinya memburuk di bawah  $-35^{\circ}\text{C}$  karena turunnya tekanan evaporasi. Sehingga, untuk dapat menjangkau temperatur yang lebih rendah, digunakan sistem bertekanan banyak yang menggunakan lebih dari satu kompresor seperti yang terdapat pada sistem refrigerasi bertingkat (*multi stage*) atau kombinasi dua atau lebih sistem refrigerasi tunggal (*cascade*).

Sistem refrigerasi cascade minimal terdiri dari dua sistem refrigerasi yang bekerja secara mandiri. Dua sistem refrigerasi ini dihubungkan penukar kalor cascade di mana kalor yang dilepaskan kondenser di sistem temperatur rendah (*low-stage temperature/LS*) diserap evaporator dari sistem temperatur tinggi (*high-stage temperature/HS*).

Dalam sistem refrigerasi, dibutuhkan media yang digunakan untuk memindahkan atau melepaskan panas dari suatu ruangan ke luar ruangan atau sistem, yang biasa disebut dengan refrigeran. Refrigeran berubah fase dari *liquid* menjadi *vapour* selama proses penyerapan panas dan mengkondensasi menjadi *liquid* kembali ketika melepaskan panas.

Selama ini CFC (*chlorofluorocarbon*) dan HCFC (*hydrochlorofluorocarbon*) digunakan secara luas sebagai refrigeran. Hal ini dikarenakan CFC mempunyai banyak keuntungan pada berbagai segi, seperti memiliki properti thermal dan fisik yang baik sebagai refrigeran, tidak mudah terbakar, tidak beracun, sesuai untuk sebagian besar komponen sistem refrigerasi dan ekonomis. Tetapi ternyata disisi lain, CFC belakangan diketahui bertanggung jawab terhadap penipisan lapisan ozon yaitu dengan dilepaskannya atom klorin ke atmosfer (Nasruddin et al., 2006). Sehingga diperlukan dengan segera refrigeran alternatif sebagai pengganti yang ramah lingkungan.

## **I.2. PERUMUSAN MASALAH**

Perubahan komposisi pada refrigeran mempengaruhi sistem refrigerasi. Studi variasi komposisi R32/R134a yang dilakukan oleh Kim et al. (2002) memperlihatkan bahwa peningkatan komposisi R32, akan meningkatkan kapasitas pendinginan sedangkan COP optimum pada kondisi tertentu berkaitan dengan

adanya pengaruh glide temperatur. Komposisi campuran refrigeran yang bersirkulasi dalam sistem refrigerasi tidak selalu konstan. Hal ini dibuktikan oleh Kim et al. (2008) yang melakukan studi campuran CO<sub>2</sub>/propane mendapati bahwa komposisi CO<sub>2</sub> lebih besar 0,03 (fraksi mole) daripada komposisi pengisiannya.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut memperlihatkan bahwa ada perbedaan antara komposisi pengisian dan sirkulasi. Jika konsentrasi sirkulasi tidak diketahui, maka tidak mungkin mengevaluasi sistem untuk menentukan kapasitas, efisiensi dan perpindahan panasnya. Oleh karena itu penelitian ini akan berkonsentrasi pada pengaruh perubahan komposisi refrigeran yang bersirkulasi pada sistem refrigerasi cascade untuk mendapatkan komposisi optimal campuran karbondioksida dan ethane yaitu komposisi yang memiliki efisiensi energi tinggi, dan aman yakni memiliki *flammability* yang rendah dan tidak beracun untuk dipergunakan dalam sirkuit temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade.

### **I.3. TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan prototype *cold storage* temperatur rendah untuk aplikasi di bidang biomedis dengan mencari komposisi optimal campuran karbondioksida dan ethane (R744/R170) yaitu komposisi yang memiliki efisiensi energi tinggi, dan aman yakni memiliki *flammability* yang rendah dan tidak beracun untuk dipergunakan dalam sirkuit temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade.

### **I.4. PEMBATASAN MASALAH**

Hal yang akan dibahas dalam laporan tugas akhir ini adalah pengaruh perubahan komposisi refrigeran campuran R744/R170 terhadap nilai COP dari sistem refrigerasi cascade, dengan asumsi dan batasan sebagai berikut :

1. Refrigeran yang digunakan adalah propane (R290) pada sirkuit temperatur tinggi (HS) dan campuran karbondiosida dan ethane (R744/R170) pada sirkuit temperatur rendah (LS).
2. Total Massa Refrigeran campuran R744/R170 pada LS sebesar 115 gr dengan R290 pada HS sebesar 500 gr.

3. Komposisi Massa R744/R170: 63%-37% pada LS dan pada HS tetap menggunakan R290.
4. Penggunaan pipa kapiler 2 m pada LS dan pipa kapiler 8 m pada HS.
5. Sistem dianggap siklus ideal.

## I.5. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### 1. Studi Literatur

Merupakan pengumpulan data-data, teori atau informasi yang berkaitan dengan materi bahasan yang berasal dari buku-buku, jurnal yang berasal dari dosen maupun perpustakaan.

### 2. Modifikasi Sistem Refrigerasi Cascade

Modifikasi ini meliputi rancang ulang sistem pemipaan, penambahan jalur pada 4 titik lokasi untuk penempatan tabung sampel refrigeran, penambahan alat ukur dan tekanan, *water cooled condenser* pada HS, penambahan *Circulating Thermal Bath*, evaporator pada LS, *layout* kompresor, *oil separator*, *sight glass*, pipa kapiler sebagai alat ekspansi, *cascade heat exchanger*, dan *accumulator*.

### 3. Pengadaan Alat

Proses ini meliputi persiapan dan pembelian terhadap alat-alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian diantaranya pipa, kawat las, *pressure gauge*, *pressure transmitter*, *power meter*, termokopel, 4 buah tabung sampel refrigeran yang akan ditempatkan pada 4 titik, insulasi thermal untuk sistem refrigerasi cascade, perekat insulasi thermal, panel listrik, kabel-kabel, amperemeter, voltmeter, satu set komputer, seperangkat *Data Acquisition System* (DAQ) merk *National Instrument* (NI) 9211 dan 9203, timbangan digital, mesin vakum dan refrigeran R290/R744/R170.

### 4. Perbaikan Alat Uji

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

dilakukan pada bagian-bagian seperti sambungan pipa, insulasi pada dinding pipa, penambahan alat ukur tekanan dan temperatur, dan evaporator pada LS.

#### 5. Kalibrasi Alat Uji

Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur yang akan kita gunakan dengan alat ukur standar, sebelum pengujian dilakukan dilakukan kalibrasi terhadap alat ukur tekanan dan temperatur agar data yang dihasilkan nantinya lebih akurat.

#### 6. Pengecekan Sistem

Setelah semua alat terpasang pada sistem proses selanjutnya adalah pengecekan yang meliputi tes kebocoran, vakum, dan pengecekan kelistrikan.

#### 7. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan dengan memantau data dari alat ukur seperti *pressure gauge*, *pressure transmitter*, NI, *power meter*, amperemeter, dan voltmeter untuk mengetahui karakteristik sistem. Proses pengujian ini meliputi pengambilan data pada alat ukur, pengujian 4 buah sampel refrigeran dengan menggunakan alat *Gas Chromatography*.

#### 8. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Data yang telah diolah, kemudian dianalisa terhadap grafik yang diperoleh. Dari analisa tersebut akan diperoleh kesimpulan terhadap proses pengujian.

### **I.6. SISTEMATIKA PENULISAN**

Penulisan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab agar maksud dan tujuan yang ingin disampaikan oleh penulis dapat tercapai dengan baik.

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori ini meliputi dasar teori sistem refrigerasi dan dasar pemilihan refrigeran. Dasar teori yang ada dikutip dari beberapa buku dan referensi lain yang mendukung dalam penulisan ini.

### BAB III METODE PENELITIAN

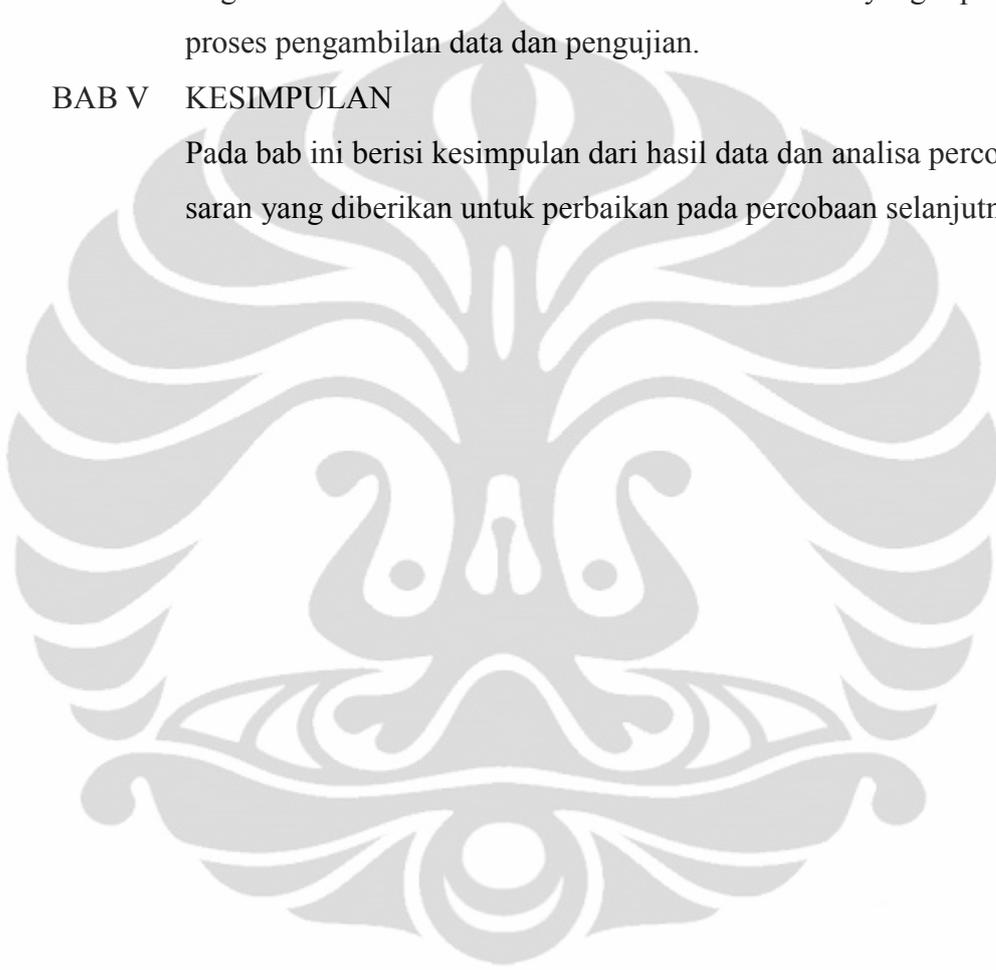
Bab ini menjelaskan tentang alat pengujian yang digunakan, metode persiapan, metode pengambilan data dan metode pengujian yang dilakukan.

### BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bagian ini berisikan data-data dan analisa dari hasil yang diperoleh dari proses pengambilan data dan pengujian.

### BAB V KESIMPULAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil data dan analisa percobaan dan saran yang diberikan untuk perbaikan pada percobaan selanjutnya.



## BAB II

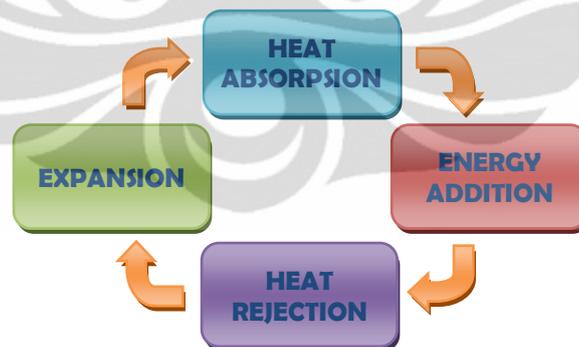
### DASAR TEORI

#### II.1. REFRIGERASI

Pada hakekatnya refrigerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang bertemperatur lebih rendah sehingga didapatkan tercapainya suatu temperatur dan dipertahankannya temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan. Penyerapan serta pemindahan kalor ini menggunakan kemampuan *heat transfer* dari suatu medium yang disebut refrigeran.

Untuk mempertahankan temperatur pada suatu ruangan, penyerapan kalor oleh suatu sistem refrigerasi harus dilakukan secara terus menerus atau *continue* dan kemudian dilepaskan keluar sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan melalui beberapa proses yang disebut dengan siklus refrigerasi. Karena proses penyerapan dan pemindahan kalor harus dilakukan secara terus menerus maka siklus ini haruslah tertutup dan dapat beroperasi secara *continue*.

Salah satu siklus refrigerasi yang umum digunakan adalah siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*). Siklus kompresi uap terdiri dari 4 proses, yaitu:



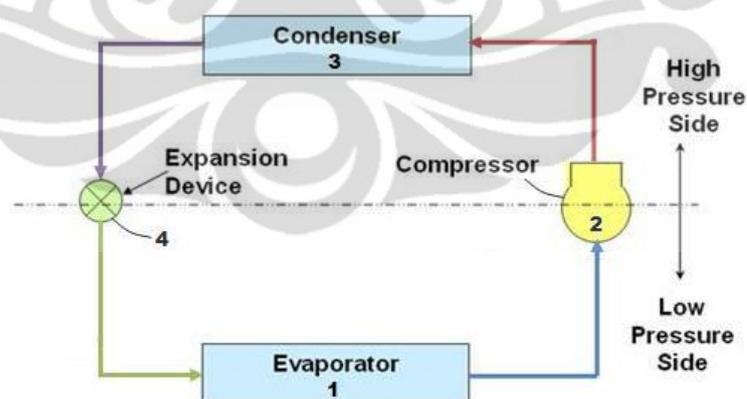
Gambar II.1. Siklus Kompresi Uap

- *Heat Absorption* : Proses penyerapan kalor oleh refrigeran dalam bentuk dari suatu ruangan. Penyerapan kalor menyebabkan refrigeran berubah fase dari *liquid* (cair) menjadi *vapour* (uap). Dalam fase uap, refrigeran juga tetap menerima kalor sehingga temperaturnya juga akan meningkat. Jadi pada

proses ini refrigeran berubah fase dari cair dengan temperatur rendah menjadi uap dengan temperatur tinggi.

- *Energy Addition* : Penambahan energi terhadap refrigeran, agar dapat menuju proses berikutnya. Refrigeran dalam fase uap di kompresi sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Proses ini disebut juga sebagai langkah kompresi.
- *Heat Rejection* : Pelepasan kalor dari proses penyerapan kalor pada refrigeran keluar sistem refrigerasi. Selama proses pelepasan kalor, temperatur dari refrigeran menurun dan menyebabkan perubahan fase dari uap menjadi cair kembali.
- *Expansion* : Refrigeran dalam fase cair di ekspansi sehingga terjadi penurunan tekanan dan temperatur secara drastis. Setelah proses ini refrigeran berada dalam kondisi fase cair dengan temperatur rendah. Dalam kondisi ini refrigeran siap untuk menyerap kalor dan memulai siklus kembali.

## II.2. SISTEM REFRIGERASI



Gambar II.2. Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sumber: [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)

Komponen utama dalam sistem refrigerasi kompresi uap sederhana siklus tunggal seperti yang digambarkan pada gambar II.2. diatas adalah:

1. Evaporator : Evaporator adalah jenis dari penukar kalor (*heat exchanger*) sebagai media pemindahan kalor melalui permukaan evaporator agar refrigeran cair menguap dan menyerap panas dari suatu ruangan. Refrigeran yang berada dalam fase campuran cair jenuh dan uap menyerap kalor sehingga berubah menjadi uap. *Heat transfer* terjadi karena temperatur refrigeran yang lebih rendah daripada temperatur disekitar evaporator.
2. Kompresor : Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam sistem refrigerasi. Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrigeran dari tekanan dan temperatur rendah menjadi tekanan dan temperatur tinggi, refrigeran dalam fase uap dikompresikan pada alat ini. Dengan adanya kompresi ini, maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (*discharge*) dengan sisi masuk (*suction*) yang menyebabkan refrigeran dapat mengalir dalam sistem refrigerasi. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrigeran dan suhu lingkungannya.
3. Kondenser : Kondenser adalah suatu alat penukar kalor dimana refrigeran melepas atau membuang kalor ke media pendingin seperti udara atau air. Refrigeran didalam kondenser berada pada keadaan uap super panas melepas kalor sehingga berubah fase menjadi cair. Untuk membuang kalor yang terkandung dalam refrigeran yang berada didalam kondenser diperlukan cooling medium. Sebuah kondenser harus mampu membuang kalor tersebut ke *cooling medium* yang digunakan oleh kondensernya. Sesuai dengan jenis *cooling medium* yang digunakan maka kondenser dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu:
- a. *air cooled condenser*, menggunakan media udara sebagai pendinginnya.

b. *water cooled condenser*, menggunakan media air sebagai pendinginnya.

c. *evaporative condenser*, menggunakan media campuran air dan udara sebagai pendinginnya.

4. *Expansion Device* : Refrigeran pada fase cair dari kondenser yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh alat ekspansi. Refrigeran berbentuk cair diekspansi yang menyebabkan fasenya berubah menjadi campuran cair jenuh & uap (*a saturated liquid-vapor mixture*) dan tekanannya turun. Ketika terjadi penurunan tekanan, temperaturnya juga turun. Fungsi *expansion device* adalah :

a. Untuk menakar refrigeran cair dari saluran liquid line ke evaporator pada jumlah yang tepat sesuai kapasitas evaporator

b. Untuk menjaga perbedaan tekanan antara tekanan kondensasi dan tekanan evaporasi tetap konstan, agar refrigeran cair yang diuapkan di evaporator selalu berada pada tekanan rendah sesuai yang diinginkan dan sekaligus menjaga tekanan tinggi di sisi kondenser.

Ada 6 (enam) macam alat ekspansi, yaitu :

1. *Manual Expansion Valve*

Beban pendinginan yang diinginkan diatur melalui katup ekspansi yang diatur secara manual.

2. *Capillary Tubes* (Pipa kapiler)

Pipa kapiler adalah pipa panjang dengan diameter kecil dan konstan, berfungsi untuk menurunkan tekanan.

3. *Automatic Expansion Valve* (AEV)

Disebut juga katup ekspansi tekanan konstan, dimana katup digerakkan oleh tekanan didalam evaporator, supaya menjaga tekanan didalam evaporator konstan.

#### 4. *Thermostatic Expansion Valve* (TEV)

Jumlah aliran refrigeran diatur secara otomatis yang menyesuaikan dengan beban pendinginannya. Dengan sensor temperatur yang dipasang setelah evaporator maka jumlah aliran refrigeran dapat diatur secara otomatis.

#### 5. *Float Type Expansion Valve* :

##### a) *High side float valve*

Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan tinggi dari sistem, yaitu pada saluran cairan (*liquid line*).

##### b) *Low side float valve*

Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan rendah dari sistem, yaitu di dalam tabung evaporator.

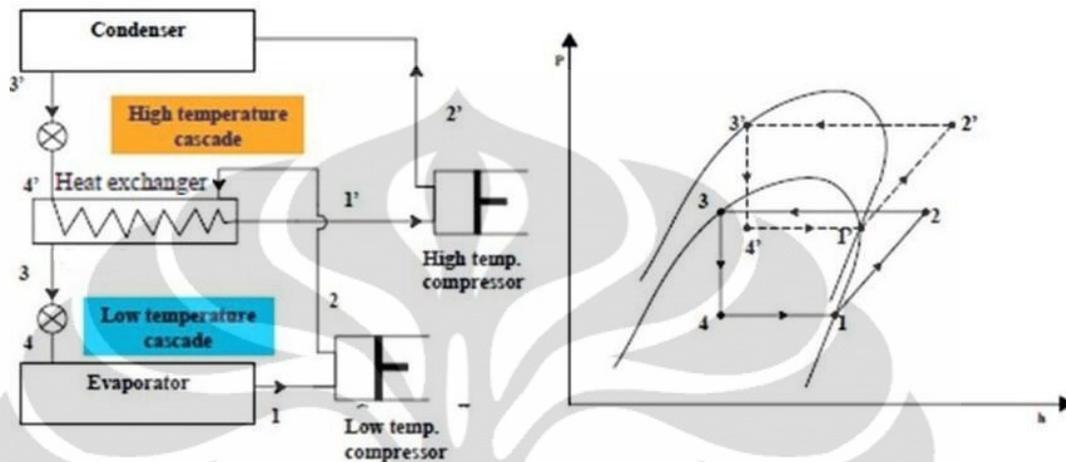
#### 6. *Electronic Expansion Valve*

Jumlah aliran refrigeran diatur secara otomatis menyesuaikan beban pendinginannya dengan menggunakan arus listrik dan sensor yang dipasang setelah evaporator.

### **II.3. SIKLUS REFRIGERASI CASCADE**

Pada beberapa bidang industri dan kegiatan biomedis dibutuhkan temperatur pendinginan yang sangat rendah. Penelitian jaringan sel kanker payudara misalnya, agar tidak rusak maka harus disimpan dalam *freezer*  $-80^{\circ}\text{C}$  (Tianing, 2002). Untuk mencapai temperatur pendinginan yang sangat rendah tersebut maka dibutuhkan pula perbedaan tekanan yang sangat tinggi, yang berarti kerja kompresor yang semakin berat. Perbedaan tekanan yang sangat tinggi yang dimiliki kompresor mengakibatkan efisiensi dari sistem refrigerasi tersebut menjadi rendah. Sehingga diperlukan sistem refrigerasi yang mempunyai dua atau lebih siklus refrigerasi.

Sistem refrigerasi cascade merupakan sistem refrigerasi yang terdiri dari dua model atau lebih siklus refrigerasi tunggal. Pada tingkat pertama biasa disebut sebagai siklus temperature tinggi (*High Stage/HS*) dan tingkat yang kedua disebut siklus temperature rendah (*Low Stage/LS*).



Gambar II.3. Sistem Refrigerasi Cascade Dua Tingkat  
(Sumber: Refrigerant & Air Conditioning, EE IIT, Kharagpur, India)

Pada gambar II.3. di atas, dua siklus refrigerasi kompresi uap dihubungkan dengan suatu *heat exchanger*. *Heat exchanger* tersebut berfungsi sebagai evaporator pada siklus yang pertama (*High Temperatur Cascade/HS*) dan berfungsi sebagai kondenser pada siklus yang kedua (*Low Temperature Cascade/LS*).

Pada prinsipnya, efek refrigerasi yang dihasilkan oleh evaporator HS dimanfaatkan untuk menyerap kalor yang dilepas oleh kondenser LS sehingga dapat dihasilkan temperatur yang sangat rendah pada evaporator LS.

## II.4. REFRIGERAN

Dalam suatu sistem refrigerasi, dibutuhkan media yang digunakan untuk menyerap, memindahkan dan melepaskan panas dari suatu ruangan ke luar ruangan atau sistem, yang biasa disebut dengan refrigeran. Refrigeran berubah fase dari *liquid* menjadi *vapour* selama proses penyerapan panas dan mengkondensasi menjadi *liquid* kembali ketika melepaskan panas.

Suatu refrigeran harus memenuhi beberapa persyaratan, sebagian dari persyaratan tersebut tidak secara langsung berhubungan dengan kemampuannya

pada perpindahan kalor. Stabilitas kimia pada beberapa kondisi tertentu saat digunakan merupakan karakteristik yang paling penting. Beberapa sifat yang berhubungan dengan keamanan refrigeran seperti tidak mudah terbakar (*non-flammable*) dan tidak beracun saat digunakan merupakan sifat yang juga dibutuhkan. Harga, ketersediaan, efisiensi, dan kecocokan dengan pelumas kompressor dan bahan-bahan dari komponen-komponen sistem refrigerasi juga harus diperhatikan. Pengaruh refrigeran terhadap lingkungan apabila refrigeran tersebut bocor dari suatu sistem harus pula dipertimbangkan.

Selama ini CFC (*chloro-fluoro-carbon*) dan HCFC (*hydro-chloro-fluoro-carbon*) digunakan secara luas sebagai refrigeran. Hal ini dikarenakan CFC mempunyai banyak keuntungan pada berbagai segi, seperti memiliki properti thermal dan fisik yang baik sebagai refrigeran, tidak mudah terbakar, tidak beracun, sesuai untuk sebagian besar komponen sistem refrigerasi dan ekonomis. Tetapi ternyata disisi lain, CFC belakangan diketahui bertanggung jawab terhadap penipisan lapisan ozon yaitu dengan dilepaskannya atom klorin ke atmosfer (Nasruddin et al., 2006). Sehingga diperlukan dengan segera refrigeran alternatif sebagai pengganti yang ramah lingkungan.

Pada sistem refrigerasi cascade, di sirkuit temperatur tinggi digunakan refrigeran yang umum digunakan yakni ammonia (R717), Propane (R290), Propylene (R1270), Isobutan (R600a) atau R404A (Gettu, 2008). Untuk temperatur kerja 15°C s/d -25°C, Isobutane (R600a) merupakan pilihan refrigeran yang menghasilkan kinerja tertinggi bila digunakan di sirkuit temperatur tinggi (Nasruddin, 2009). Sedangkan untuk temperatur rendah -40°C s/d -70°C, dipilih refrigeran tekanan tinggi dengan densitas uap tinggi (ASHRAE Handbook, 2006). Tetapi hanya sedikit refrigeran yang memenuhi syarat ini. Selama ini umumnya R13 dan R503a yang dipakai namun, refrigeran ini merupakan refrigeran CFC, yang menurut Protokol Montreal pada 2010 tidak dapat dipergunakan lagi.

Semenjak disepakatinya protokol Montreal dan Kyoto, terdapat dua kriteria yang harus dipenuhi suatu jenis refrigeran agar dapat digunakan secara aman dan komersial. Dua kriteria tersebut adalah ODP (*Ozone Depletion Potential*) merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrigeran terhadap

kerusakan ozon dan GWP (*Global Warming Potential*) merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrigeran terhadap pemanasan global.

Tabel II.1. Pilihan refrigeran pengganti alternatif untuk CFC

Refrigerant	Composition	Normal Boiling Point (NBP) (°C)*	Ozone Depletion Potential (ODP) (R11=1)	Global Warming Potential (GWP) (CO <sub>2</sub> =1)	Retrofit or New
<b>Example Candidate Replacements for CFC-11</b>					
CFC-11		23.8	1.0	3800	
HCFC-123		27.9	0.020	90	Both
HCFC-141b		32.2	0.110	630	New
HFC-245fa		15.3	0	900	New
n-pentane		36.19	0	0	Both
<b>Example Candidate Replacements for CFC-114</b>					
CFC-114		3.78	0.8	9300	
HCFC-124		-13.2	0.022	480	Both
HFC-134		4.67	0	1300	New
R600		-0.45	0	0	Both
<b>Example Candidate Replacements for CFC-12</b>					
CFC-12		-29.79	1	8100	
HFC-134a		-26.1	0	1300	New
R401A	R22/152a/124 (53/13/34)	-33.0/6.3	0.037	1100	Both
R409A	R22/124/142b (60/25/15)	-34.3/8.5	0.048	1400	Both
propane-ethane	R290/170 (43/57)	-31.9/7.9	0	3	Both
<b>Example Candidate Replacements for HCFC-22</b>					
HCFC-22		-40.75	0.055	1700	
R407C	R32/125/134a (23/25/52)	-44.0/7.2	0	1600	Both
R410A	R32/125	-52.7/-0.1	0	1900	New
	R23/32/134a	-43.0/10.2	0	1600	New
propane-ethane	R290/170 (95/5)	-49.3/7.9	0	3	Both
<b>Example Candidate Replacements for R502</b>					
R502	CFC115/HCFC22 (48.8/51.2)	-45.6 azeo		5500	
R404a	R125/143a/134a (44/52/4)	-46.5/0.8	0	3700	Both
R507	R125/143a (50/50)	-46.7 azeo	0	3800	Both
	R32/125/143a (10/45/45)	-49.7/0.9	0	3500	Both
propane-ethane	R290/170 (95/5)	-49.3/7.9	0	3	Both
<b>Other Options - Natural Refrigerants</b>					
Air			0	0	
Water			0	?	
Ammonia			0	0	
Carbon dioxide			0	1	

\* or bubble point temperature glide for mixtures. Temperature glide =  $T_{dew} - T_{bubble}$

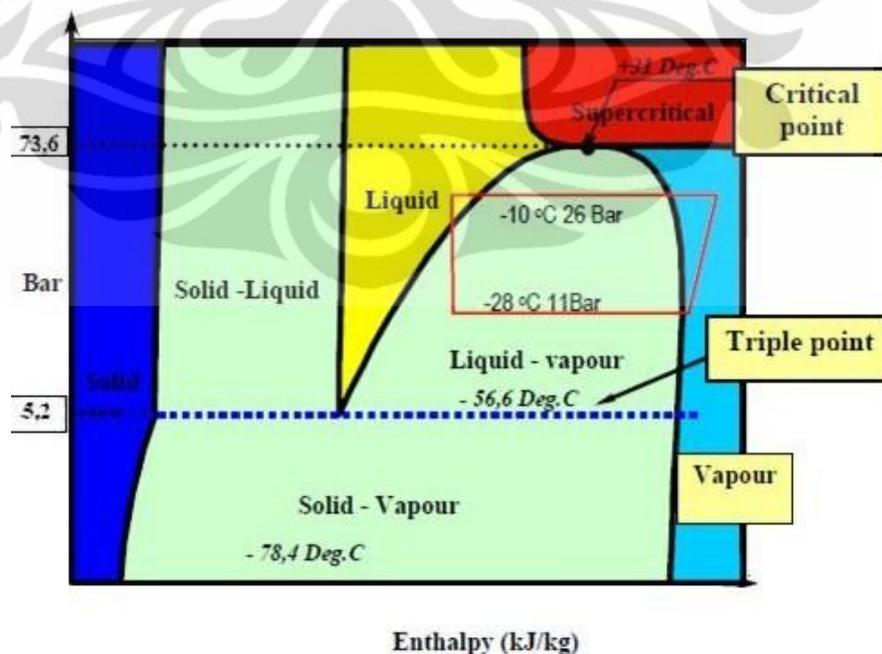
(Sumber: Refrigerant & Air Conditioning, EE IIT, Kharagpur, India)

Penggunaan refrigeran alternatif golongan HFC (*Hydro-fluoro-carbon*) seperti R23, R508B dan R508A untuk menggantikan R13 untuk jangka panjang kini sedang dipertanyakan. Hal ini berkaitan dengan kontribusi HFC terhadap efek rumah kaca (Wu, 2007). Oleh karena itu, untuk jangka panjang perlu dicari

refrigeran alternatif baru bebas terhadap zat halogen yang diarahkan pada penggunaan refrigeran-refrigeran alamiah semisal karbondioksida (CO<sub>2</sub>), amonia atau hidrokarbon.

Selain ramah terhadap lingkungan, karbondioksida dirasa masih lebih menguntungkan dibandingkan dengan amonia atau hidrokarbon. Hal ini dikarenakan refrigeran karbondioksida tidak mudah terbakar, tidak mengandung racun, murah dan sesuai dengan pelumas dan peralatan pada sistem refrigerasi.

Namun demikian, penggunaan karbondioksida sebagai refrigeran dibatasi oleh tingginya tekanan dan tingginya temperatur *triple* (5,2 bar dan -56,6°C). Karbondioksida cair terbentuk hanya pada tekanan di atas 5.1 atm (abs). Tekanan dan temperatur dalam sistem refrigerasi tidak boleh lewat dibawah tekanan dan temperatur *triple* (gambar II.4.), apabila CO<sub>2</sub> berada dibawah tekanan dan temperatur *triple* maka karbondioksida akan berubah secara langsung dari fase gas ke fase padat yang disebut deposisi atau dari fasa padat ke fasa gas melalui sublimasi (terbentuk *dry ice*) dan hal ini tidak diinginkan. Hal inilah yang menghalangi penggunaan karbondioksida untuk bagian temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade. Solusi untuk mengatasi kekurangan ini diantaranya adalah dengan mencampurkan karbondioksida dengan refrigeran yang lain.



Gambar II.4. Diagram Fase Tekanan-Temperatur CO<sub>2</sub>

sumber: [wikipedia.org/carbondioxide.htm](http://wikipedia.org/carbondioxide.htm)

Menurut Cox (2007), performa terbaik refrigeran hidrokarbon dapat di representasikan dengan parameter-parameter sebagai berikut:

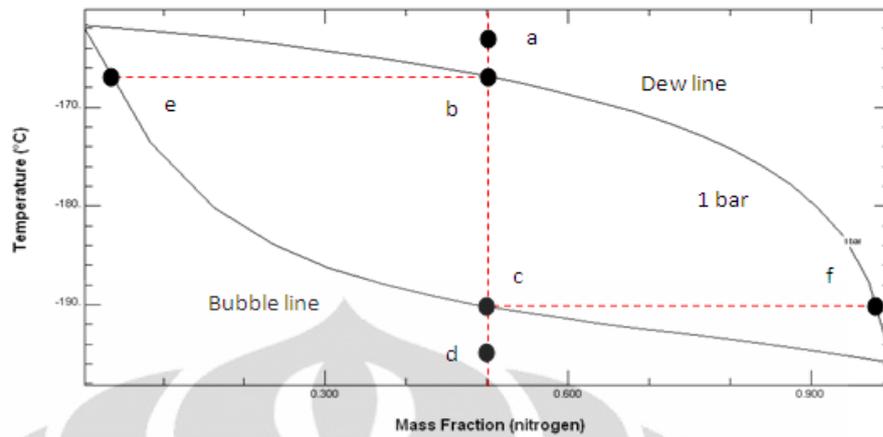
- Rasio kompresi yang rendah (dalam kaitan dengan tekanan pengisapan (*suction*) tinggi dan rendahnya tekanan *discharge* pada temperatur operasi)
- Tingginya angka pemindahan kalor yang pada alat penukar kalor (karena properti yang baik dari cairan *fluid thermal* dan transport)
- Berkurangnya kerugian tekanan pada sistem (karena rendahnya densitas dan viskositas refrigeran)

Hidrokarbon lebih baik dari refrigeran HFC dalam semua aspek selain dari *flammabilitas* (mudah terbakar). Hal inilah yang menyebabkan hidrokarbon tidak digunakan secara luas. Solusi untuk mengatasi kekurangan ini diantaranya adalah dengan mencampurkan karbondioksida dengan refrigeran yang lain seperti CO<sub>2</sub>. Sehingga resiko *flammabilitas* (mudah terbakar) dapat dikurangi seiring dengan dikurangnya penggunaan hidrokarbon.

Campuran refrigeran secara luas dapat digolongkan ke dalam dua kelompok berdasarkan perubahan suhu selama proses kondensasi atau penguapan yaitu :

1. Campuran zeotropis

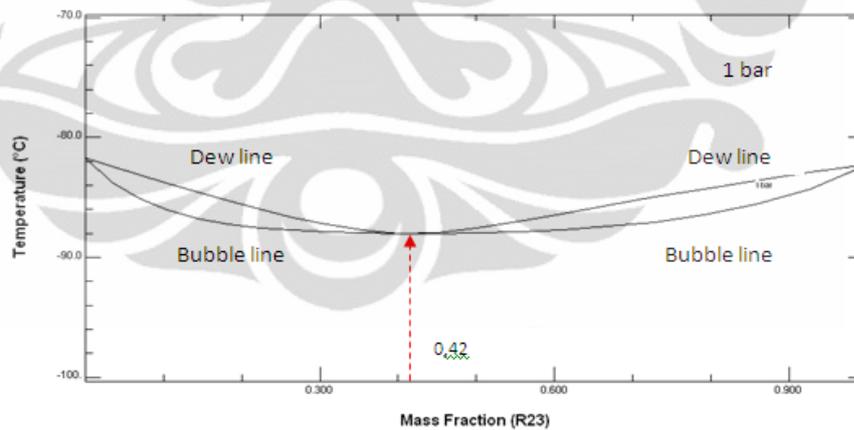
Contoh campuran zeotropes antara nitrogen dan methane. Pada saat nitrogen memiliki fraksi 0,5 , campuran dalam keadaan superheated vapor pada titik a, saturated vapor pada titik b, saturated liquid pada titik c dan subcooled liquid pada titik d. Komposisi equilibrium dari vapor dan liquid akan berbeda pada wilayah 2 fase. Contohnya saat fraksi dari vapor pada keadaan equilibrium dengan liquid pada titik c akan lebih besar dari 0,5 (titik f), saat fraksi dari liquid pada keadaan equilibrium dengan vapor pada titik b akan lebih kecil dari 0,5 (titik e). Sehingga campuran zeotropes didefinisikan sebagai campuran dimana fraksi dari coexisting phase tidak sama.



Gambar II.5. Diagram T-x Campuran Zeotropes

## 2. Campuran azeotropis

Contoh campuran azeotropes antara R23 dan R13. Gambar dibawah ini menunjukkan variasi identik dari *bubble* dan *dew point temperatures* dari sebuah campuran azeotropes. Glide dari refrigeran menjadi nol saat fraksi R23 dalam campuran sebesar 0,42. Fraksi dari fase *vapor* dan *liquid* memiliki nilai yang sama pada kondisi tersebut. Campuran azeotropes biasanya digunakan untuk *constant-temperature refrigeration*.



Gambar II.6. Diagram T-x Campuran Azeotropes

Pada sistem refrigerasi cascade yang digunakan dalam penelitian, penggunaan refrigeran alternatif ramah lingkungan, campuran azeotropis karbondioksida/ $\text{CO}_2$  (yang memiliki nilai  $\text{ODP}=0$ ;  $\text{GWP}=1$ ) dan refrigeran hidrokarbon ethane/ $\text{C}_2\text{H}_6$  (yang memiliki nilai  $\text{ODP}=0$ ;  $\text{GWP}=3$ ), sebagai salah

satu upaya mengurangi kerusakan ozon dan pemanasan global. Studi pendahuluan simulasi dan eksperimen mesin pendingin cascade dua tingkat mengindikasikan campuran karbondioksida dan ethane mampu mencapai temperatur minimum hingga  $-80^{\circ}\text{C}$  (Darwin et al., 2008). Namun demikian, temperatur minimum tersebut masih belum stabil. Hal ini diduga karena adanya perubahan komposisi saat refrigeran campuran karbondioksida dan ethane bersirkulasi dalam sistem refrigerasi (Darwin et al., 2010).

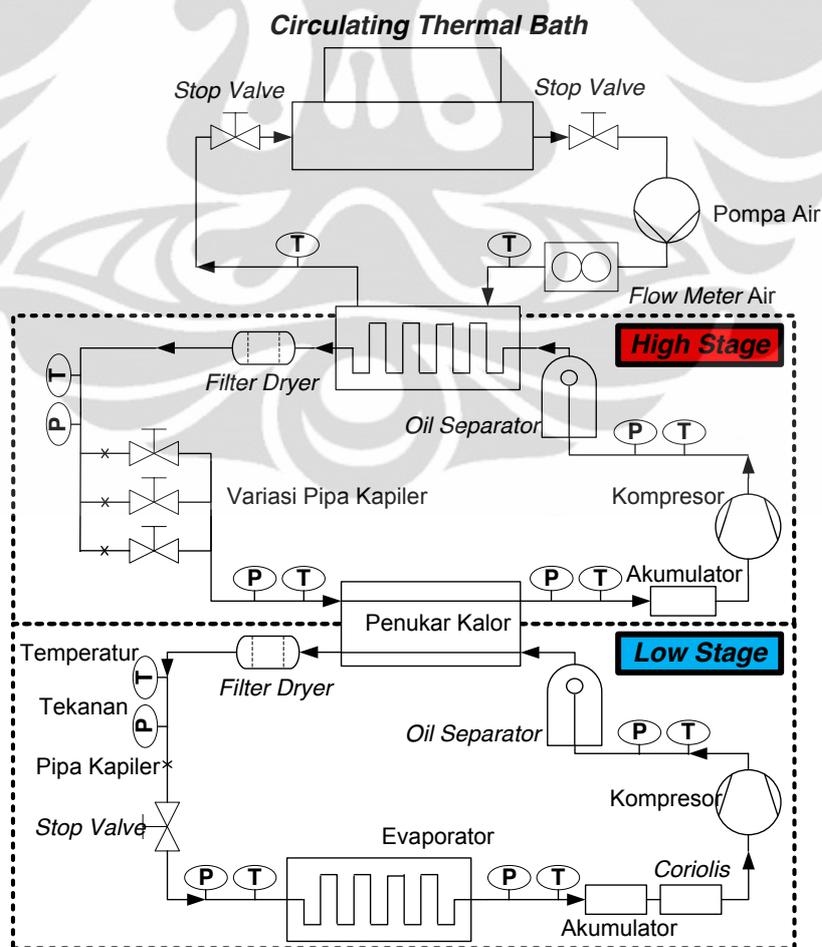


# BAB III

## METODE PENELITIAN

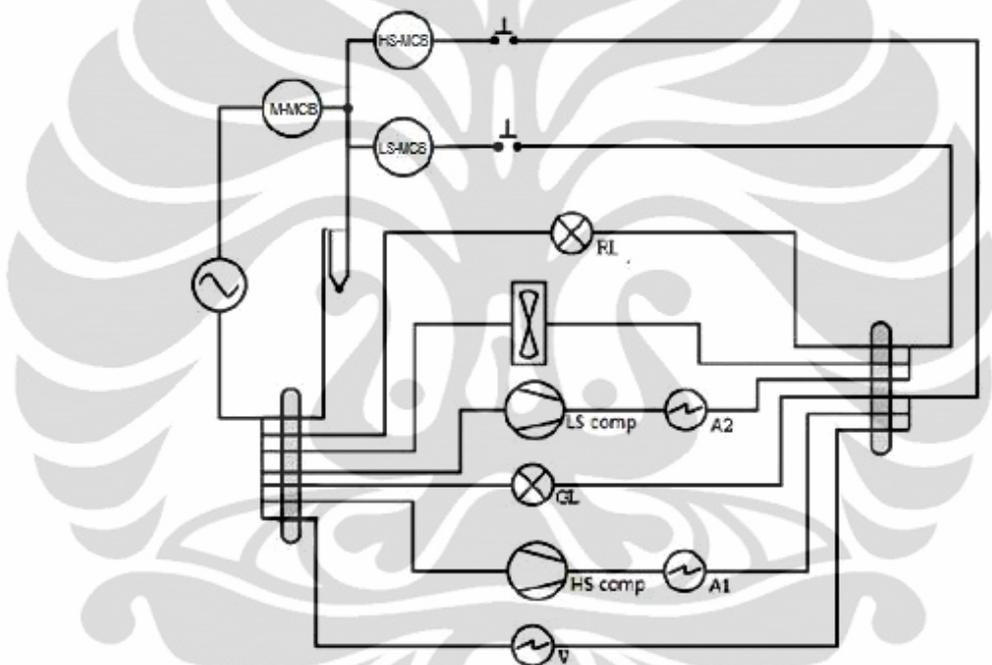
### III. 1. ALAT PENGUJIAN DAN KOMPONEN

Alat uji yang digunakan untuk melakukan pengujian adalah mesin refrigerasi cascade yang tersedia di Laboratorium Teknik Pendingin Dan Tata Udara Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya dengan memodifikasi beberapa komponen yang ada pada alat terlebih dahulu. Mesin refrigerasi cascade ini terdiri dari dua sirkuit refrigerasi, yaitu sebuah sirkuit refrigerasi yang dinamakan sirkuit temperatur tinggi (*High Stage/HS*) yang akan diisi refrigeran ramah lingkungan propane (R290) dan sirkuit temperatur rendah (*Low Stage/LS*) yang akan diisi dengan refrigeran campuran R744/R170 pada komposisi azeotropik.



Gambar III.1. Skematik Alat Pengujian Cascade

Gambar III.1. menunjukkan skematik dari alat penguji dari sistem refrigerasi *cascade*. Beberapa modifikasi yang telah dilakukan antara lain instalasi tambahan seperti *circulating thermal bath* yang berfungsi untuk menjaga temperatur pada keluaran kondenser, pemasangan alat ukur tekanan (*pressure transmitter*) dan temperatur (*thermocouple*) masing-masing di empat titik pada *high stage* maupun *low stage* yang berbasis komputer dengan menggunakan *software* labview, penggunaan variasi pipa kapiler sebagai alat ekspansi, perubahan *layout* pipa sistem refrigerasi *cascade*, serta pemasangan sitrans FC siemens massflo mass 6000 yang digunakan untuk mengukur laju ukuran massa pada *low stage*.



Gambar III.2. *Wiring Diagram* Pada Sistem Refrigerasi *Cascade*

*Wiring diagram* pada sistem refrigerasi *cascade* dapat dilihat pada gambar III.2. tiga *mini circuit breaker* (MCB) dipasang masing-masing sebagai *power* utama, kompresor *high stage*, dan kompresor *low stage*. Dimana arus yang terbaca pada amper meter merupakan arus dari masing-masing kompresor akan tetapi pada power meter arus yang terbaca merupakan arus gabungan dari kompresor *high stage* dan kompresor *low stage*. Sehingga daya yang di baca adalah daya total dimana daya kompresor *high stage* dan kompresor *low stage*. *Power* utama untuk menyalakan seluruh sistem tergabung, setelah *power* utama ditekan maka tombol yang aktif selanjutnya adalah kompresor pada bagian *high stage* dan oleh

karenanya jika tombol kompresor *low stage* ditekan tanpa menyalakan kompresor *high stage* dan maka kompresor *low stage* tidak akan menyala, karena aliran listrik tidak langsung terhubung pada kompresor *low stage* melainkan melalui kompresor *high stage* terlebih dahulu.

- **Kompresor**

Kompresor merupakan bagian terpenting dari sistem refrigerasi, yaitu berfungsi untuk memompa refrigeran yang berbentuk uap dari evaporator sehingga menimbulkan perbedaan tekanan dan mengalirkan refrigeran dalam sebuah sistem refrigerasi. Dalam pengujian sistem ini digunakan dua unit kompresor tecumseh dengan karakteristik yang berbeda pada masing-masing sirkuit.

Tabel III.1. Spesifikasi Kompresor

Spesifikasi	High Stage	Low Stage
Merk/Model :	Tecumseh / AJB551EXD	Tecumseh / AJA7494ZXD
Tipe :	Hermatik	Hermatik
Daya :	1 hp	1 hp
Refrigeran :	R22	R404a
Voltage :	230V/50Hz	230V/50Hz
Pelumas :	Alkylbenze	<i>Alkylbenze</i>
Dimensi :	Panjang : 23 cm Lebar : 15 cm Tinggi : 30 cm	Panjang : 23 cm Lebar : 15 cm Tinggi : 30 cm
Gambar :		

- **Cascade Heat Exchanger**

*Cascade heat exchanger* atau alat penukar kalor merupakan komponen dari sistem refrigerasi cascade dalam mentransfer kalor dari *low stage* ke *high stage*, dimana pada *high stage* alat ini berfungsi sebagai evaporator, sedangkan pada *low stage* alat ini sebagai kondenser. Berikut spesifikasi alat penukar kalor yang digunakan pada proses pengujian sistem refrigerasi *cascade*.

Tabel III.2. Spesifikasi *Heat Exchanger*

Spesifikasi Heat Exchanger	
Tipe :	<i>Double pipe</i>
Material :	Pipa tembaga
Dimensi :	Panjang : 60 cm Diameter: 2,375 inch
Gambar :	

- **Kondenser**

Kondenser yang digunakan pada pengujian ini telah mengalami modifikasi pada mekanisme pelepasan kalornya. Sebelumnya kondenser ini menggunakan *air cooled cooling condenser*, namun jika tetap menggunakan sistem tersebut ditemui kesulitan dalam menjaga keluaran kondenser oleh karena itu dilakukan modifikasi dengan menggunakan mekanisme *water cooled condenser* pada kondenser yang digunakan pada sirkuit *high stage*. Sedang air yang keluar dan masuk dari kondenser dikondisikan temperaturnya dengan menggunakan *circulating thermal bath*. Dengan mekanisme ini maka keluaran dari kondenser HS dapat diatur dan

dijaga dengan stabil pada temperatur lingkungan yaitu 30°C dengan toleransi  $\pm$  0,5°C.

Tabel III.3. Spesifikasi Kondenser

Spesifikasi Kondenser	
Tipe :	<i>Shell and coils water cooled condenser</i>
Material :	Pipa tembaga, Polycarbonat
Dimensi :	Panjang : 31 cm Lebar : 9 cm Tinggi : 31 cm
Gambar :	

- **Alat Ekspansi**

Dalam pengujian yang dilakukan, alat ekspansi yang digunakan adalah pipa kapiler. Pipa kapiler yang digunakan pada HS sepanjang 8 meter dan 2 meter pada LS. Pemilihan pipa kapiler ini didasari karena tekanan *suction* LS dibutuhkan lebih besar dari tekanan lingkungan agar refrigeran yang akan di uji dapat masuk dalam jumlah dan tekanan yang cukup untuk pengujian konsentrasi komposisi.

Tabel III.4. Spesifikasi Pipa Kapiler

Spesifikasi	High Stage	Low Stage
Panjang :	8 meter	2 meter
Diameter :	0,08 inch	0,054 inch



- **Filter Dryer**

*Filter dryer* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menyaring partikel-partikel kecil seperti serpihan logam, plastic, dan debu yang dapat membahayakan bagi kerja kompresor. Selain itu alat ini juga bermanfaat untuk menangkap uap air yang dapat menghambat proses perpindahan kalor serta membahayakan kompresor, *filter dryer* yang digunakan dalam pengujian ini adalah :

Tabel III.5. Spesifikasi *Filter Dryer*

<b>Spesifikasi Filter Dryer</b>	
Tipe	: Emerson/EK 163
Refrigeran	: CFC, HCFC dan HFC
Dimensi	: Panjang : 17,46 cm Lebar : 6,67 cm
Gambar	: 

- **Akumulator**

Akumulator berfungsi untuk memastikan bahwa tidak ada refrigeran yang masuk ke dalam kompresor pada fase cair, karena dapat menyebabkan kerusakan pada kompresor, akumulator ditempatkan diantara alat ekspansi dan *suction line* kompresor, kapasitas akumulator diharuskan minimal 50% dari kapasitas refrigeran dalam sistem. Dalam sistem akumulator yang dipakai adalah :

Tabel III.6. Spesifikasi Akumulator

Spesifikasi Akumulator	
Tipe	Emerson/A-AS 464
Refrigeran	CFC, HCFC dan HFC
Dimensi	Panjang : 15,95 cm Diameter : 10,16 cm
Gambar	

- **Oil separator**

*Oil separator* berfungsi untuk memastikan pelumas yang digunakan kompresor untuk kembali ke *crankcase* kompresor. Sebelum masuk ke kondenser, campuran pelumas dan refrigeran masuk ke *inlet oil separator* dan melalui serangkaian *baffle* yang menyebabkan partikel pelumas terkumpul dan jatuh ke bagian bawah *oil separator*. Pelumas yang telah dipisahkan dari refrigeran kemudian kembali ke *crankcase* karena tekanan pada *oil separator* yang lebih tinggi dibandingkan pada *crankcase*. *Oil separator* diletakkan diantara

*discharge line* kompresor dan kondenser. Pada alat uji ini digunakan dua unit *oil separator* pada *high stage* dan *low stage*.

Tabel III.7. Spesifikasi *Oil Separator*

Spesifikasi Oil Separator	
Tipe	: Asian First Brand
Refrigeran	: CFC, HCFC dan HFC
Dimensi	: Panjang : 26,04 cm Diameter : 10,16 cm
Gambar	: 

- **Pipa Tembaga**

Sebagai medium tempat mengalirnya refrigeran maka digunakan pipa dengan mterial tembaga, dipilih tembaga dengan pertimbangan bahwa material ini memiliki konduktivitas termal yan baik sehingga memiliki perpindahan panas yang cukup baik. Pipa tembaga yang kita gunakan merupakan pipa tembaga Australia dengan pertimbangan pipa tersebut memiliki sifat fisik yang lebih kuat dibanding merk lain. Dalam percobaan ini digunakan pipa tembaga dengan ukuran diameter 3/8 dan 1/4.



Gambar III.3. Pipa Tembaga

- **Shut Off Valve**

Penggunaan *shut off* dalam percobaan ini untuk *charging system* yaitu proses pemasukan refrigeran, untuk lebih memudahkan dalam pemasukan refrigeran. *Shut off* yang digunakan berukuran 1/4 hal ini disesuaikan dengan drat yang ada pada selang refrigeran yang digunakan. Penggunaan *shut off* lainnya adalah pada variasi kapiler. Hal ini bertujuan agar dalam proses pengujian tidak bongkar pasang yang dapat meminimalisir kehilangan banyak refrigeran. Sehingga dalam pengujian dapat dikatakan kandungan refrigeran dalam sistem memiliki komposisi yang sama.



Gambar III.4. *Shut Off Valve*

- **Kabin (evaporator)**

Pada pengujian ini kabin yang digunakan didesain menggunakan pipa PVC dengan diameter tiga inch yang kemudian dilapis menggunakan *polyurethane* dengan ketebalan  $\pm 0,5$  inch. Di dalam kabin ini terdapat evaporator yang berfungsi untuk mendinginkan temperatur dalam kabin. Temperatur yang ada pada kabin kemudian dimonitor menggunakan termokopel.

Tabel III.8. Spesifikasi Evaporator

<b>Spesifikasi Evaporator</b>	
Tipe :	<i>Shell and Coil</i>
Dimensi :	Panjang 50 cm Lebar 39 cm Tinggi 35 cm
Material :	Tembaga
Gambar :	

- **Alat Ukur**

Untuk mendapatkan unjuk kerja dari sistem refrigerasi *cascade* maka pada sistem dipasang beberapa alat ukur yang diperlukan. Berikut adalah spesifikasi alat ukur yang digunakan pada pengujian sistem refrigerasi *cascade*.

- **Pressure Gauge**

Tekanan gage (*pressure gauge*) ini dipasang dengan tujuan memudahkan dalam pengetesan kebocoran dan pemvakuman sistem.

Tabel III.9. Spesifikasi *Pressure Gauge*

Spesifikasi Pressure Gauge	
<i>Range</i>	: High pressure : 0 – 35 bar Low pressure : 0 – bar
Gambar	: 

- **Pressure Transmitter**

Tabel III.10. Spesifikasi *Pressure Transmitter*

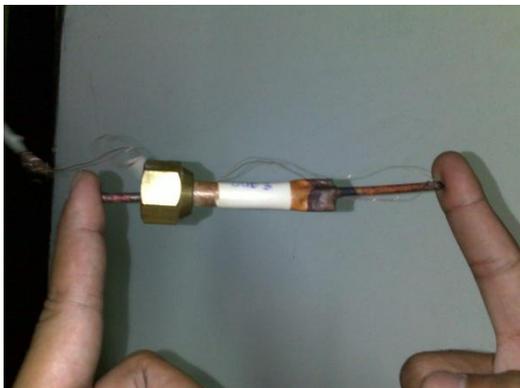
Spesifikasi Pressure Transmitter	
Pabrikan	: General electric
Tipe	: Druck PTK 1400
<i>Range</i>	: 0 – 40 bar absolute
Analog Output	: 4 – 20 mA
Akurasi	: 0.15 %
Gambar	: 

Untuk mengukur tekanan yang bekerja pada siklus refrigerasi *cascade*, *pressure transmitter* diletakan pada empat titik. Untuk mengukur tekanan di tiap titik kita menggunakan *pressure transmitter* yang datanya kemudian di informasikan melalui *labview*. *Pressure transmitter* ditempatkan di 4 (empat) titik *high stage* dan *low stage*. Titik-titik tersebut yaitu pada *discharge line*, *suction line*, keluaran kondenser, dan keluaran dari alat ekspansi. Kemudian data hasil pembacaan dari *pressure transmitter* diinformasikan oleh *labview*.

- **Termokopel**

Awalnya pada pengujian ini menggunakan termokopel tipe T, namun karena pada saat pengetesan termokopel ini bocor, maka untuk membaca temperature di semua titik pengujian ini menggunakan termokopel tipe K dengan sensor masuk ke dalam refrigeran dengan tujuan agar temperatur yang terbaca valid, kemudian data yang terbaca pada sensor termokopel di konversikan ke *labview* untuk memudahkan dalam proses pengambilan dan penyimpanan data.

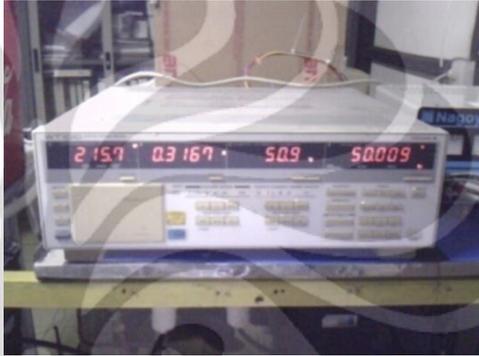
Tabel III.11. Spesifikasi Termokopel

Spesifikasi Termokopel	
Tipe	: K
Range	: 100 <sup>0</sup> C - 110 <sup>0</sup> C
Akurasi	: +/- 1 <sup>0</sup> C
Gambar	: 

- **Power Meter (GPIB)**

Dipakai untuk mengukur daya listrik kompresor HS dan LS

Tabel III.12. Spesifikasi *Power Meter* (GPIB)

Spesifikasi Power Meter (GPIB)	
Model :	Yokogawa W1010
Volt/Freq :	230/50
Gambar :	

- **Coriolis**

Alat ini digunakan untuk mengukur laju massa dari refrigeran.

Tabel III.13. Spesifikasi Coriolis

Spesifikasi Coriolis	
Model :	Yokogawa W1010
Volt/Freq :	230/50
Gambar :	

- **Komputer**

Tabel III.14. Spesifikasi Komputer

<b>Spesifikasi Komputer</b>	
Model :	Intel Pentium 4 Dual Core CPU E5400 2,7 GHz
Tipe :	2 GB of RAM
Jenis :	Microsoft XP service pack 2
Output :	4 port USB
<i>Software</i> :	Notepad, NI dan Labview 8.5
Gambar :	

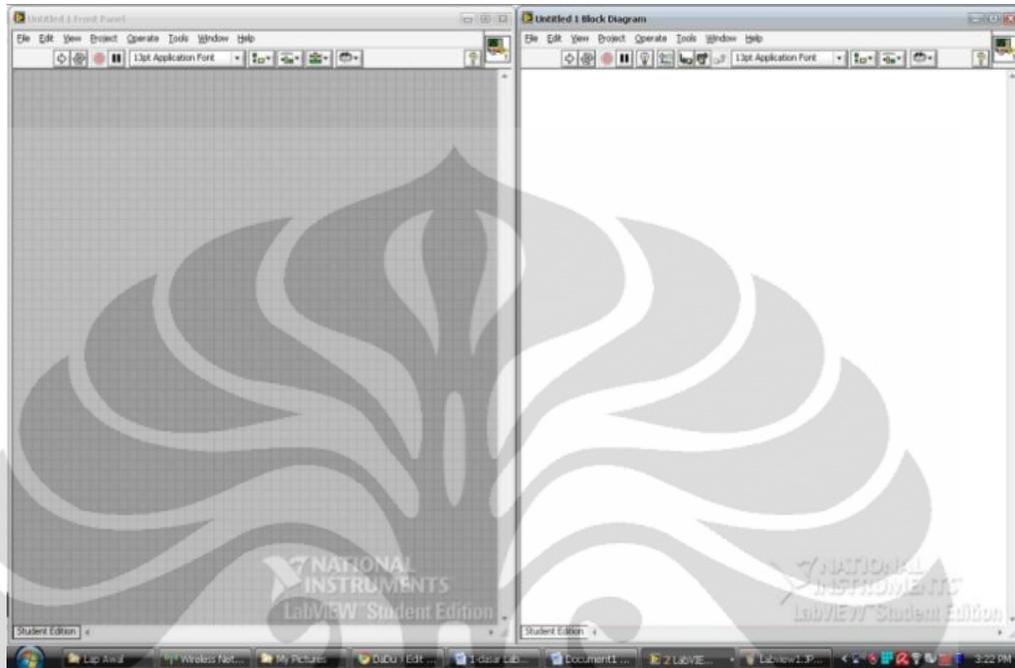
Komputer merupakan alat penunjang dalam pengujian sistem refrigerasi *cascade*. Komputer digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan penyimpan data pengujian. Komputer yang digunakan memiliki port USB dan ter-*install* perangkat lunak konversi tegangan dan ampere (Labview 8.5).

Selain komputer, berikut adalah perangkat lain yang terhubung sebagai alat penunjang pengujian.

- **Perangkat Lunak Labview**

Dalam memudahkan dalam pembacaan dan pengambilan data baik itu data temperatur, tekanan maupun data yang dihasilkan *power meter* maka dalam

pengujian ini menggunakan *software* labview, dengan ini kita dapat melakukan pengambilan data secara otomatis.



Gambar III.5. Tampilan Labview 8.5

- **Data Akuisisi**

National instrument merupakan data akuisisi yang digunakan untuk melakukan pengukuran dalam sistem ini, dalam pengujian ini kita menggunakan 4 panel dimana panel yang pertama dengan tipe 9211 digunakan untuk mengukur tekanan pada sistem, kemudian 3 (tiga) panel selanjutnya untuk mengukur temperatur. Nantinya data dari national instrument ini akan di konversikan ke dalam bentuk digital dengan bantuan *software* labview, sehingga data yang kita peroleh, terukur dengan akurat, national instrument yang digunakan dalam sistem ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel III.15. Spesifikasi National Instrument

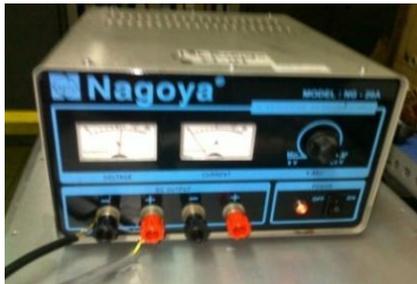
Spesifikasi National Instrument		
Model	:	9211 dan 9203
Tipe	:	4 panel

Dimensi :	Panjang 9 cm; Lebar 3 cm; Tinggi 7 cm
Gambar :	

- **Power supply**

Power supply digunakan untuk memberikan *supply* tegangan pada instrumen dan alat ukur. Pada *cascade*, *supply* tegangan diperlukan untuk memberikan tegangan pada data akusisi dan *pressure transmitter*. Besar tegangan *supply* untuk kedua komponen tersebut tidak boleh melebihi tegangan maksimal komponen. *Power supply* yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Tabel III.16. Spesifikasi *Power Supply*

Spesifikasi Power Supply	
Model :	Nagoya
Tipe :	D30 2T
Jenis :	Digital dual output power supply
Output :	Arus (A) dan tegangan (V)
Gambar :	

- **Refrigeran**

Refrigeran R290 digunakan pada sisi *high stage*. Hal ini dikarenakan pada pengujian sebelumnya R290 dinilai cukup optimal dalam sistem refrigerasi *cascade* yang digunakan. Total massa R290 yang digunakan sejumlah 500 gram.



Gambar III.6. Tabung Refrigeran R290

Sedangkan untuk *low stage* fluida digunakan R744 dan R170 dengan *high purity* (99,99%). Dengan perbandingan komposisi yang dinyatakan dalam fraksi massa secara berturut-turut 63% dan 37%. Dengan total massa 115 gram.



Gambar III.7. Tabung Refrigeran R744 dan R170

- **Tabung Sampel Refrigeran**

Tabung ini digunakan sebagai media penyimpanan sampel konsentrasi komposisi refrigeran. Tabung ini diletakkan di empat posisi pada sistem LS yaitu *discharge*, *out kondensor (heat exchanger)*, *in evaporator* dan *suction* pada sirkuit temperatur rendah.



Gambar III.8. Tabung Sampel Refrigeran

### **III.2. TES KEBOCORAN**

Setelah semua sistem pemipaan serta komponennya terpasang, maka terlebih dahulu dilakukan tes kebocoran dengan tujuan agar pada saat dijalankan sistem berjalan dengan baik tanpa adanya kebocoran. Kebocoran pada sistem dapat menurunkan performa dari sistem tersebut. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Unit dalam keadaan mati.
2. Sistem diisi dengan gas nitrogen hingga tekanan  $\pm 15$  bar.
3. Sistem pemipaan di tes kebocoran dengan menggunakan busa sabun.
4. Tandai setiap tempat yang menjadi indikasi kebocoran, untuk dapat diperbaiki.
5. Perbaiki kebocoran.
6. Tandai tekanan yang ada, kemudian tunggu hingga beberapa jam, jika tekanan tersebut berkurang maka ulangi dari langkah ke-3 hingga tekanan dipastikan tidak ada penurunan lagi.

### **III.3. VACUUM SYSTEM**

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran dalam sistem maka proses selanjutnya adalah melakukan evakuasi sistem menggunakan pompa vakum, langkah ini dimaksud untuk memastikan sistem tidak mengandung uap air. Langkah-langkah dalam *vacuum system* adalah sebagai berikut:

1. Unit sistem dalam keadaan mati.
2. Hubungkan selang *manifold gauge* pada suction kompresor dan alat vakum.

3. Buka semua *Shut off valve* tabung sampel refrigeran.
4. Nyalakan alat vakum hingga pada jarum pada pressure gauge menunjukkan angka dibawah 0 bar ( $\pm$  30 menit).
5. Tutup semua *Shut off valve* tabung sampel refrigeran.
6. Tutup katup *manifold gauge* dan pompa vakum.
7. Matikan pompa vakum.



Gambar III.9. Alat Vakum

#### **III.4. CHARGING SYSTEM**

Setelah proses evakuasi sistem dengan menggunakan alat vakum selesai maka dilanjutkan dengan pengisian refrigeran ke dalam sistem sesuai dengan kebutuhan. Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Unit sistem dalam keadaan mati.
2. Check semua *Shut off valve* tabung sampel refrigeran dalam kondisi tertutup.
3. Hubungkan selang manifold gauge pada suction kompresor dan tabung refrigeran yang sebelumnya telah ditimbang terlebih dahulu.
4. *Shut off valve* pada sistem dalam keadaan tertutup, kemudian buka katup pada refrigeran.
5. *Flashing* refrigerant beberapa saat.
6. Kemudian pastikan selang manifold gauge pada suction kompresor terpasang dengan kencang.

7. Buka perlahan-lahan *shut off valve* sambil memperhatikan pembacaan timbangan, hingga berat refrigeran yang akan diisi sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar III.10. Timbangan Digital

### **III.5. METODE PENGAMBILAN DATA**

Setelah semua proses persiapan dilewati (tes kebocoran, evakuasi sistem, dan *charging system*) maka pengambilan data dapat dilakukan. Adapun prosedur pengambilan data ini adalah sebagai berikut :

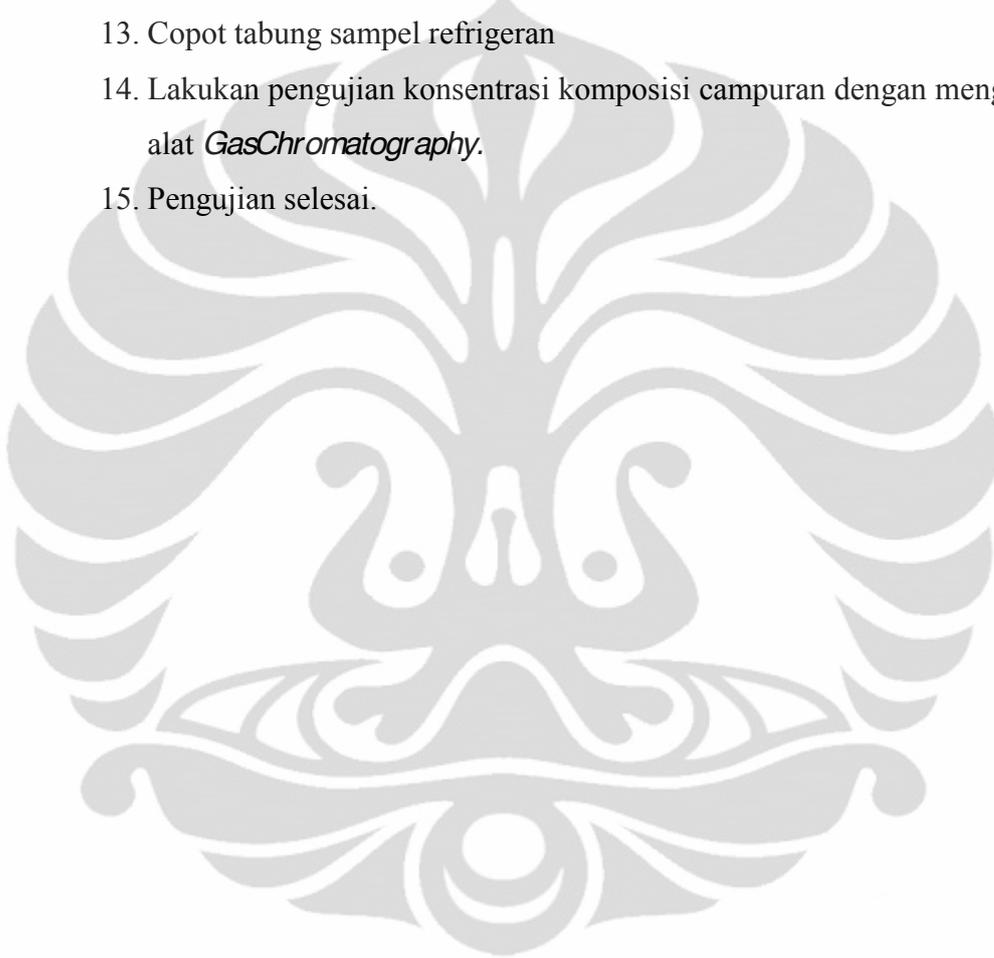
Langkah Persiapan:

1. Nyalakan circulating thermal bath.
2. Nyalakan kipas pendingin kompresor.
3. Nyalakan komputer, kemudian hubungkan kabel USB *Power Meter* dan *National Instrument*.
4. Buka *shut off valve* pada variasi pipa kapiler yang dikehendaki.
5. Hidupkan MCB utama dari sistem pada panel.

Langkah Pengujian:

1. Buka program perangkat lunak labview.
2. Jalankan program.
3. Pada detik ke-10 tekan icon “save” untuk menjalankan proses penyimpanan data.
4. Pada detik ke-20 nyalakan *high stage*.
5. Pada detik ke-1000 nyalakan *low stage*.
6. Tunggu hingga detik ke-12000 (pengujian dilakukan selama  $\pm 3$ jam).
7. Buka ke empat *Shut off valve* tabung sampel refrigeran secara bersamaan.

8. Setelah  $\pm$  10 detik tutup kembali ke empat *Shut off valve* tabung sampel refrigeran secara bersamaan.
9. Matikan program labview.
10. Matikan *low stage*, *high stage*, dan *power* utama secara berurutan.
11. Matikan komputer.
12. Buang refrigeran yang digunakan.
13. Copot tabung sampel refrigeran
14. Lakukan pengujian konsentrasi komposisi campuran dengan menggunakan alat *GasChromatography*.
15. Pengujian selesai.



## BAB IV ANALISA DATA

### IV.1. PROPERTIES REFRIGERAN PADA SIRKUIT TEMPERATUR RENDAH (LS)

*Properties* refrigeran campuran karbondioksida/ethane (R744/R170) dengan fraksi massa berturut-turut 63% dan 37% dengan total massa 115 gram (sumber: REFPROP 8.0):

Tabel IV.1. *Critical Properties* Refrigeran Campuran R744/R170

<i>Estimated Critical Properties</i>	
Temperatur	17,7 [°C]
<i>Pressure</i>	57,7 [bar]
<i>Density</i>	308,4 [kg/m <sup>3</sup> ]

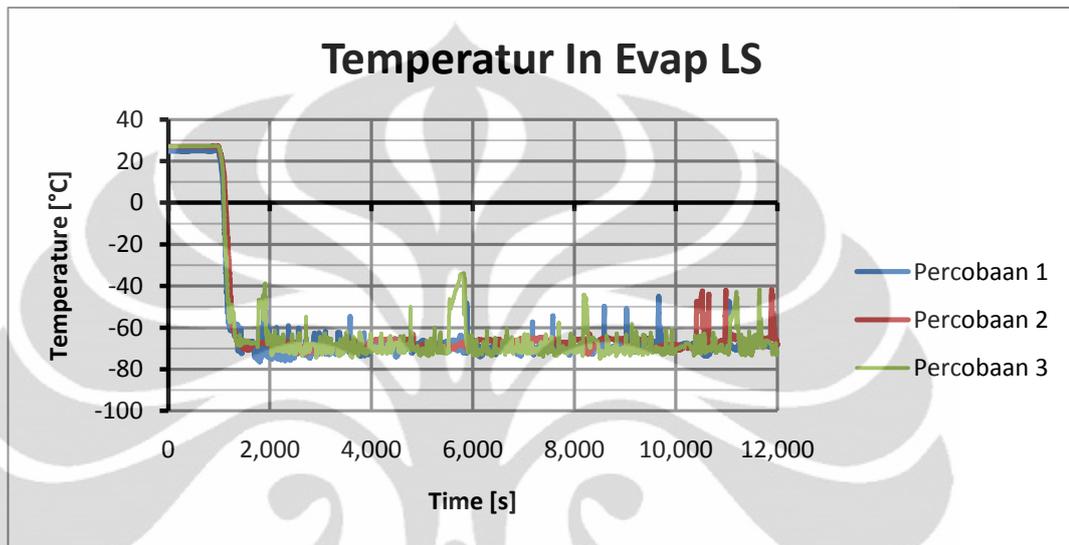
Sedangkan *properties* dari karbondioksida dan ethane sendiri adalah (sumber: REFPROP 8.0):

Tabel IV.2. *Properties* Dari Karbondioksida Dan Ethane

	Karbondioksida	Ethane
<i>Critical Temperature</i>	30,9 [°C]	32,2 [°C]
<i>Critical Pressure</i>	73,8 [bar]	48,7 [bar]
<i>Critical Density</i>	467,6 [kg/m <sup>3</sup> ]	206,2 [kg/m <sup>3</sup> ]
<i>Minimum Temperature</i>	-56,6 [°C]	-182,8 [°C]
<i>Maximum Temperature</i>	1726,9 [°C]	401,9 [°C]
<i>Maximum Pressure</i>	8000 [bar]	9000 [bar]
<i>Maximum Density</i>	1638,9 [kg/m <sup>3</sup> ]	674,2 [kg/m <sup>3</sup> ]

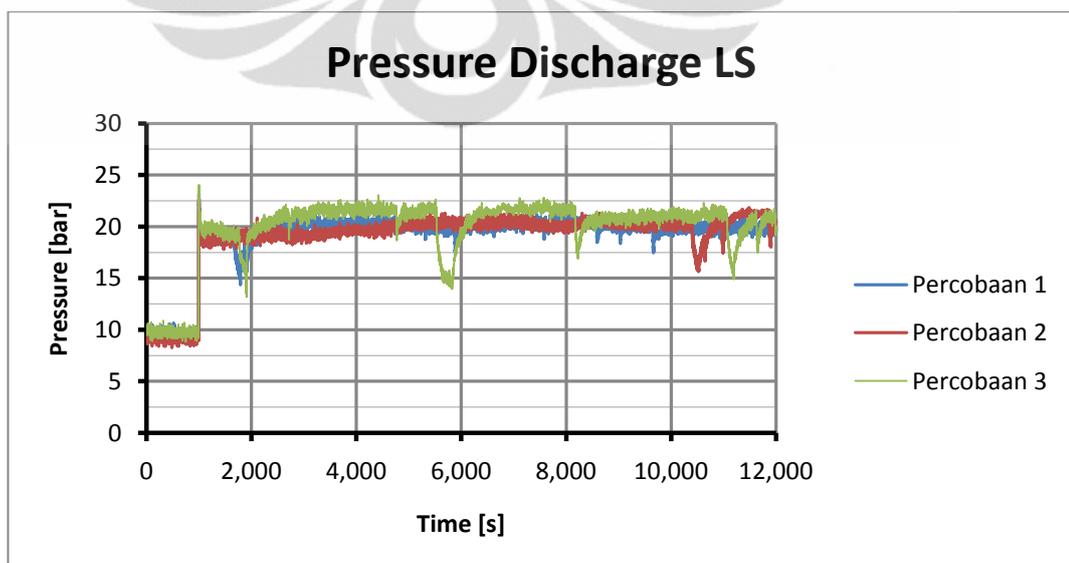
Dari tabel diatas kita bisa lihat adanya perubahan *properties* saat ethane dan karbondioksida dicampur. Terjadi penurunan *critical temperature* menjadi 17,668 °C dan *critical pressure* berubah menjadi 57,71 bar dibandingkan dengan karbondioksida maupun ethane sebelum dicampur.

#### IV.2. HASIL PENGUJIAN SISTEM REFRIGERASI CASCADE



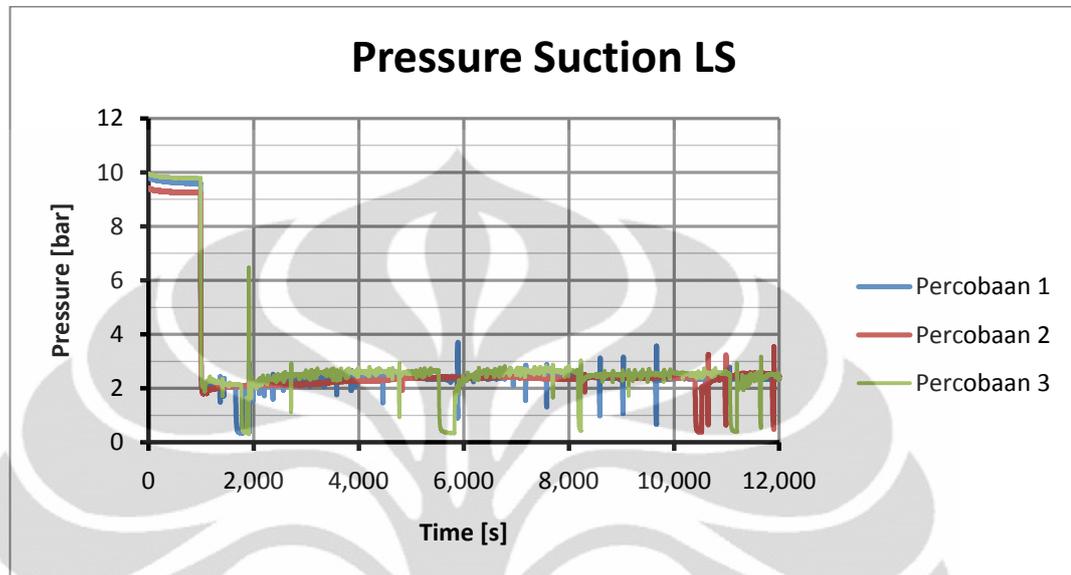
Gambar IV.1. Grafik Temperatur *In Evaporator LS* Terhadap Waktu

Gambar diatas menunjukkan bahwa dalam tiga kali percobaan nilai perbandingan temperatur refrigeran ketika memasuki evaporator seiring berjalannya waktu. Temperatur evaporasi yang dapat dicapai berkisar pada temperatur -68°C hingga 71°C.



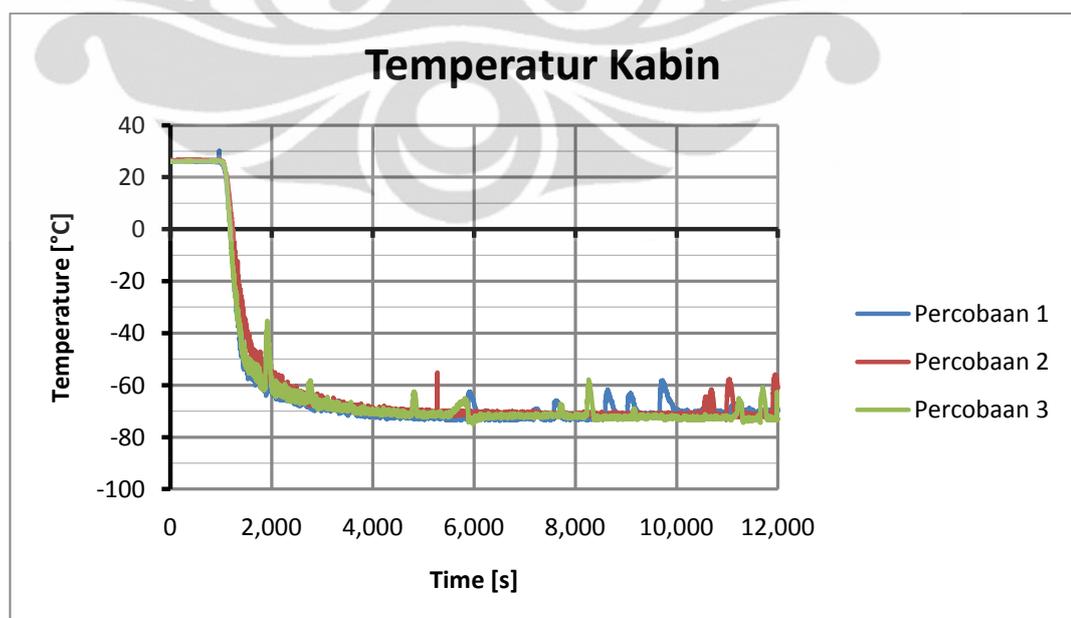
Gambar IV.2. Grafik *Pressure Discharge LS* Terhadap Waktu

Dan tekanan pada sisi keluar kompresor (*discharge*) disekitar 20 bar absolut dan tekanan sisi masuk kompresor (*suction*) sekitar 2,4 bar absolut. Seperti yang di gambarkan pada gambar IV.2. dan IV.3.



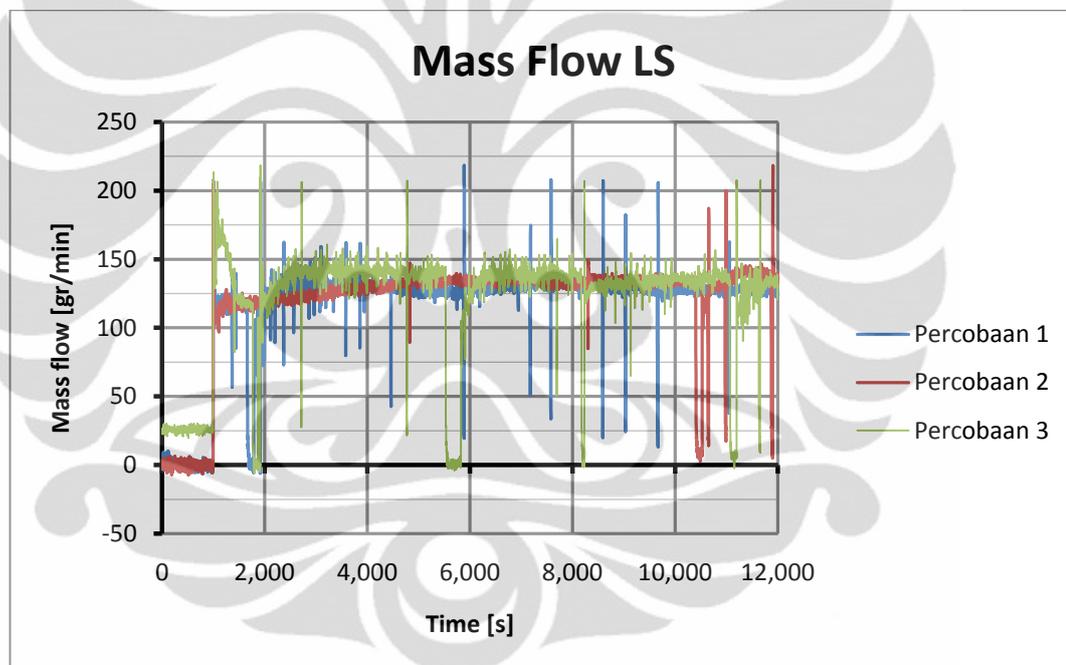
Gambar IV.3. Grafik *Pressure Suction LS* Terhadap Waktu

Walaupun temperatur masuk evaporator masih bisa diturunkan lagi sehingga lebih rendah dari  $-70^{\circ}\text{C}$  yaitu dengan cara menurunkan tekanan suction hingga batas 1 bar abs, akan tetapi agar contoh gas dapat dibaca pada *gas chromatography* maka tekanan minimumnya dibatasi hingga 2 bar abs.



Gambar IV.4. Grafik Temperatur Kabin Terhadap Waktu

Dari gambar IV.4. menunjukkan kinerja dari sistem refrigerasi cascade yang membandingkan antara perubahan temperatur kabin terhadap waktu. Dimana nilai temperatur pada kabin adalah  $-70^{\circ}\text{C}$ . Grafik tersebut untuk membuktikan bahwa kinerja dari sistem refrigerasi cascade stabil atau tidak. Karena jika tidak stabil dalam setiap pengambilan data tidak akan valid antara percobaan pertama dan percobaan selanjutnya. Untuk itu dilakukan percobaan antara tiga data yang memiliki komposisi campuran R744/R170 dengan komposisi berturut-turut 63% dan 37%. Percobaan dilakukan selama  $\pm 3$  jam dan didapat persentase perbedaan kedua percobaan tersebut yaitu 1,97% yang menunjukkan bahwa sistem refrigerasi cascade ini memiliki kerja yang identik atau stabil. Sehingga sistem refrigerasi cascade ini dapat digunakan untuk mengambil data percobaan selanjutnya.



Gambar IV.5. Grafik Mass Flow Terhadap Waktu

Dari grafik mass flow diatas terlihat bahwa mass flow pada tiga percobaan yang dilakukan memiliki kinerja yang identik atau stabil. Adapun lonjakan-lonjakan nilai pada grafik mass flow diduga disebabkan karena adanya mampat pada sistem refrigerasi temperatur rendah (LS). Mampat tersebut diduga disebabkan karena terpisahnya karbondioksida dari konsentrasi komposisi campuran azeotropis. Sehingga pada temperatur sekitar  $-70^{\circ}\text{C}$  karbondioksida sudah berada dibawah *triple point* atau berubah fase menjadi padat. Adapun

kemungkinan lainnya disebabkan karena adanya oli yang ikut bersirkulasi bersama-sama refrigeran dan membeku.

### IV.3. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN KONSENTRASI KOMPOSISI REFRIGERAN

Setelah melihat kinerja saat percobaan satu dan dua, pada percobaan ketiga dilakukan pengambilan sampel refrigeran pada empat posisi dari sistem LS. Dengan hasil sebagai berikut:

Tabel IV.3. Hasil Pengujian Konsentrasi Komposisi Refrigeran

	Percobaan 3	
	CO <sub>2</sub> [%]	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> [%]
Pengisian	63	37
<i>Discharge</i>	60,42	39,58
<i>Out Cond</i>	58,67	41,33
<i>In Evap</i>	59,11	40,89
<i>Suction</i>	60,41	39,59

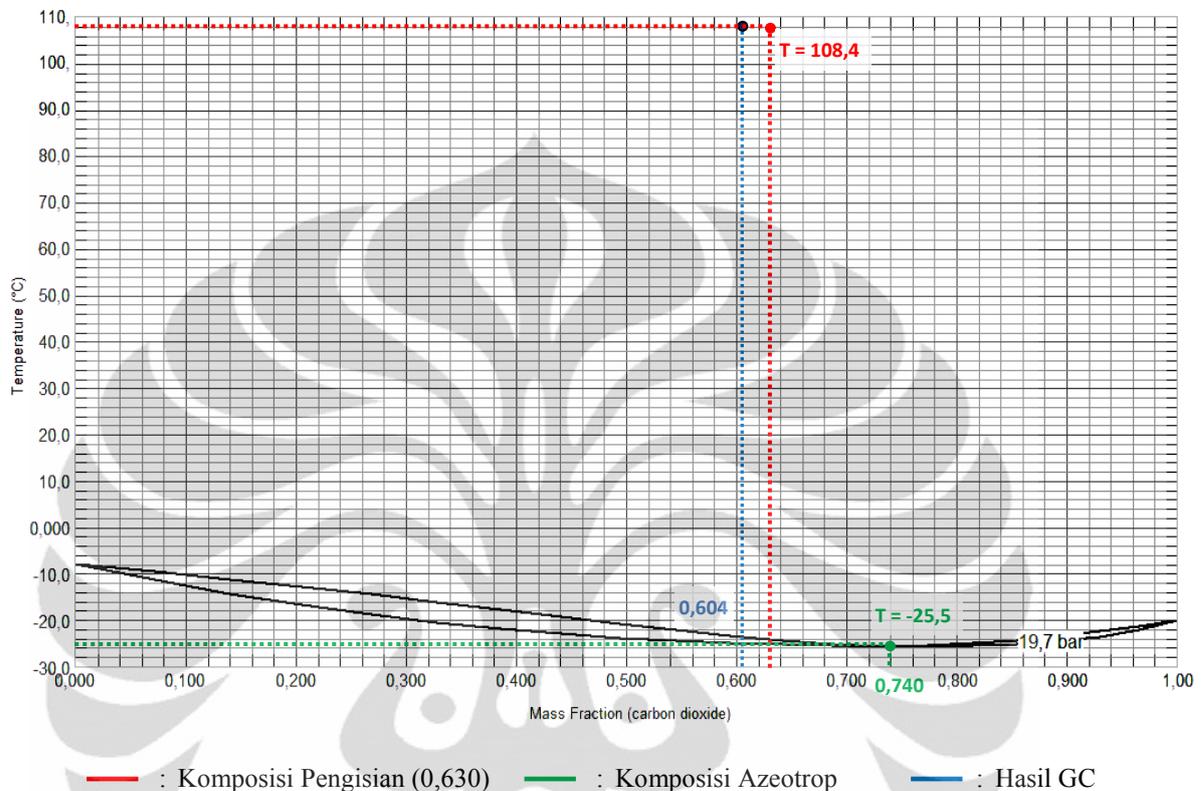
Tabel IV.4. *Pressure* Dan Temperatur Pada Empat Posisi Pengambilan Sampel Refrigeran

	Percobaan 3	
	<i>Pressure</i> [bar]	Temperatur [°C]
<i>Discharge</i>	19,7	108,4
<i>Out Cond.</i>	19,7	-23,2
<i>In Evap.</i>	2,9	-70,9
<i>Suction</i>	2,4	-70,3

Dari tabel IV.3 diatas menunjukkan bahwa konsentrasi komposisi campuran karbondioksida dan ethane percobaan tiga pada keempat titik pengambilan sampel

refrigeran didapat nilai konsentrasi komposisi ethane selalu lebih besar dari konsentrasi komposisi pengisian.

### IV.3.1. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA DISCHARGE



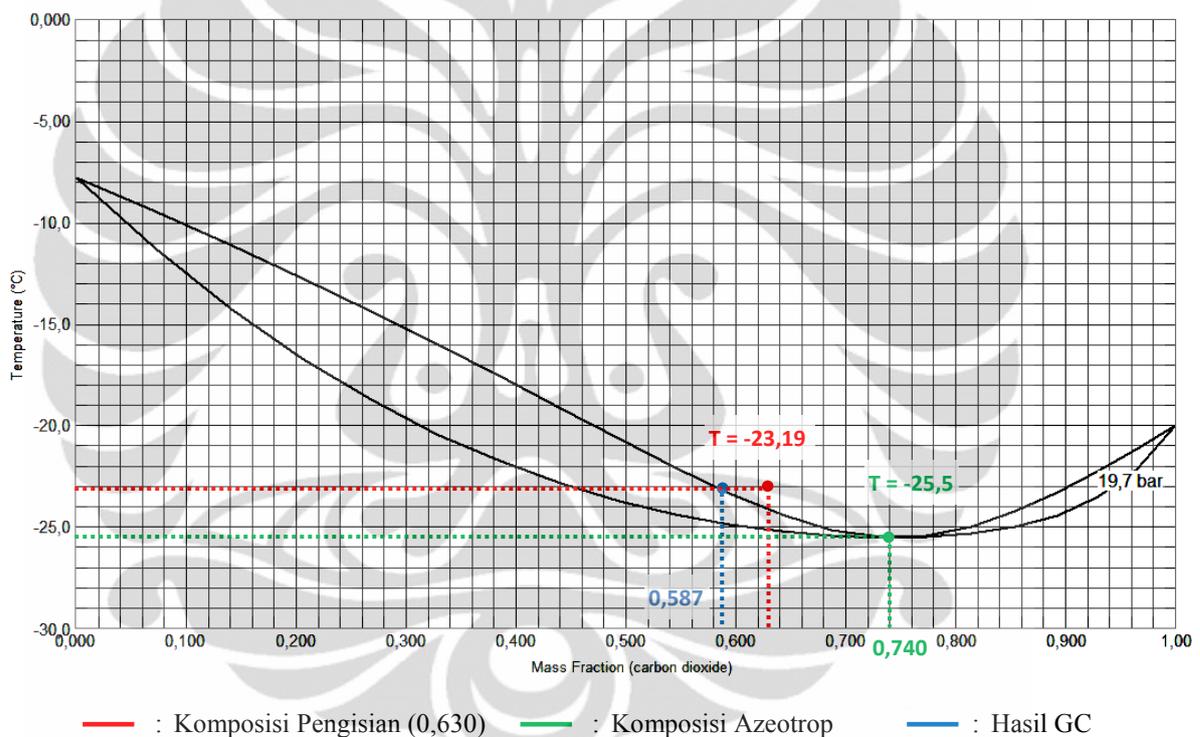
Gambar IV.6. Diagram T-x Pada Discharge LS

Bila dilihat pada gambar IV.6. dimana pada diagram hubungan antara temperatur, fraksi massa karbondioksida/ethane dan tekanan dengan menggunakan *software* REFPROP 8.0 menunjukkan bahwa saat pengambilan sampel pada posisi *discharge*, tekanannya sebesar 19,7 bar dengan temperatur kerja 108,4 °C.

Kurva yang ditunjukkan pada gambar IV.6. merupakan garis saturasi uap dan saturasi cair dan titik azeotrop campuran karbondioksida/ethane dengan tekanan konstan 19,7 bar. Titik azeotrop pada tekanan ini berada pada komposisi 74% karbon dioksida dan 26% ethane yang ditunjukkan dengan garis hijau. Sedangkan kondisi aktual yang ditunjukkan dengan garis merah berada pada temperatur 108,4 °C dengan komposisi 63% dan 37% yang berarti campuran berada dalam fase gas (*superheat*) dengan kondisi bukan azeotrop.

Hasil yang di dapat dari pengujian konsentrasi dengan menggunakan *Gas Chromatography* ditunjukkan dengan garis biru menunjukkan ada perubahan konsentrasi komposisi menjadi 60,42 % karbondioksida dan 39,58 % ethane. Dimana nilai konsentrasi ethane meningkat melebihi konsentrasi pengisian. Dan berdasarkan hasil ini, bila di lihat pada diagram T-x diatas campuran berada dalam fase gas.

#### IV.3.2. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA KELUARAN KONDENSER



Gambar IV.7. Diagram T-x pada Out Kondenser LS

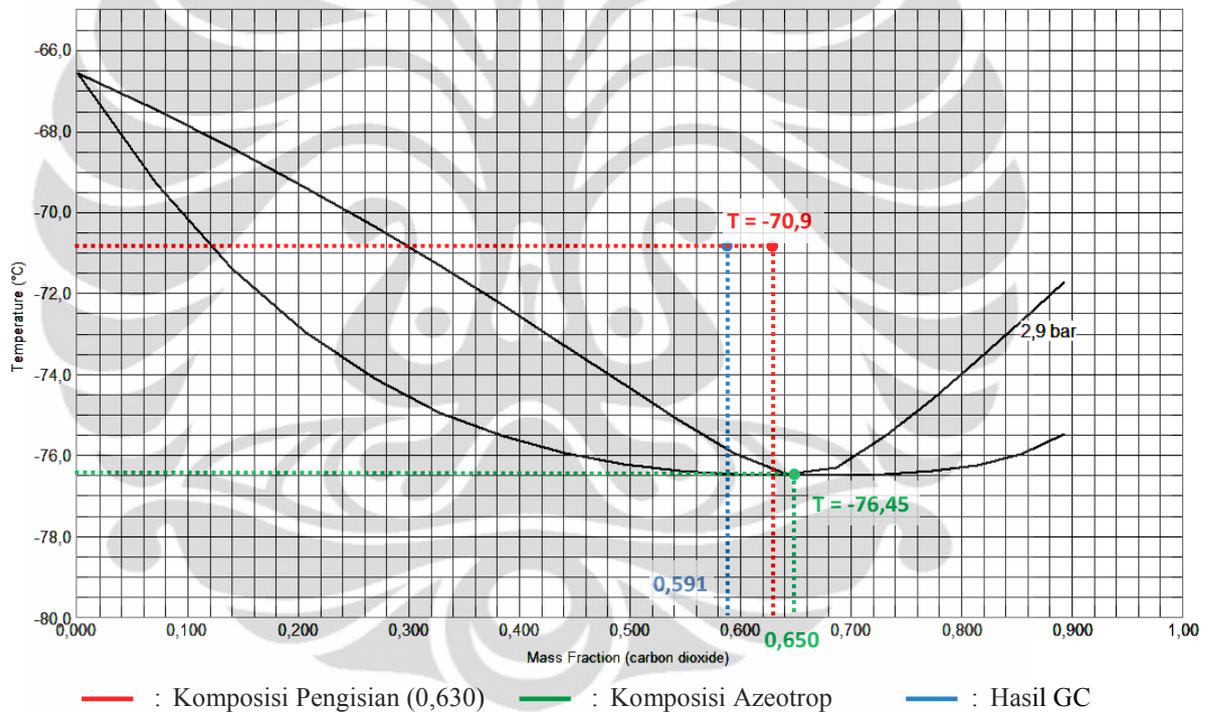
Gambar IV.7. menunjukkan kurva pada tekanan konstan di titik out kondenser nilainya sama dengan tekanan *discharge* sebesar 19,7 bar. Pada tekanan ini campuran azeotropis berada pada komposisi 74% karbon dioksida dan 26% ethane yang ditunjukkan dengan garis hijau dengan temperatur saturasi -25,5 °C.

Dengan melihat grafik IV.7. diatas, dapat diketahui dengan komposisi pengisian 63% karbondioksida dan 37% ethane dengan temperatur keluaran

kondenser  $-23,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , campuran berada dalam fase gas (*superheat*) dengan kondisi bukan azeotrop.

Sedangkan untuk hasil dari pengujian konsentrasi komposisi dengan alat uji *Gas Chromatography* menunjukkan perubahan komposisi sirkulasi dari komposisi pengisian dengan nilai ethane meningkat lebih besar dari komposisi pengisian dan *discharge* menjadi  $41,33\%$  sedangkan karbondioksida berkurang menjadi  $58,67\%$  dan berada pada dalam kurva sehingga fasenya campuran cair dan gas seperti yang ditunjukkan dengan garis biru.

#### IV.3.3. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA IN EVAPORATOR



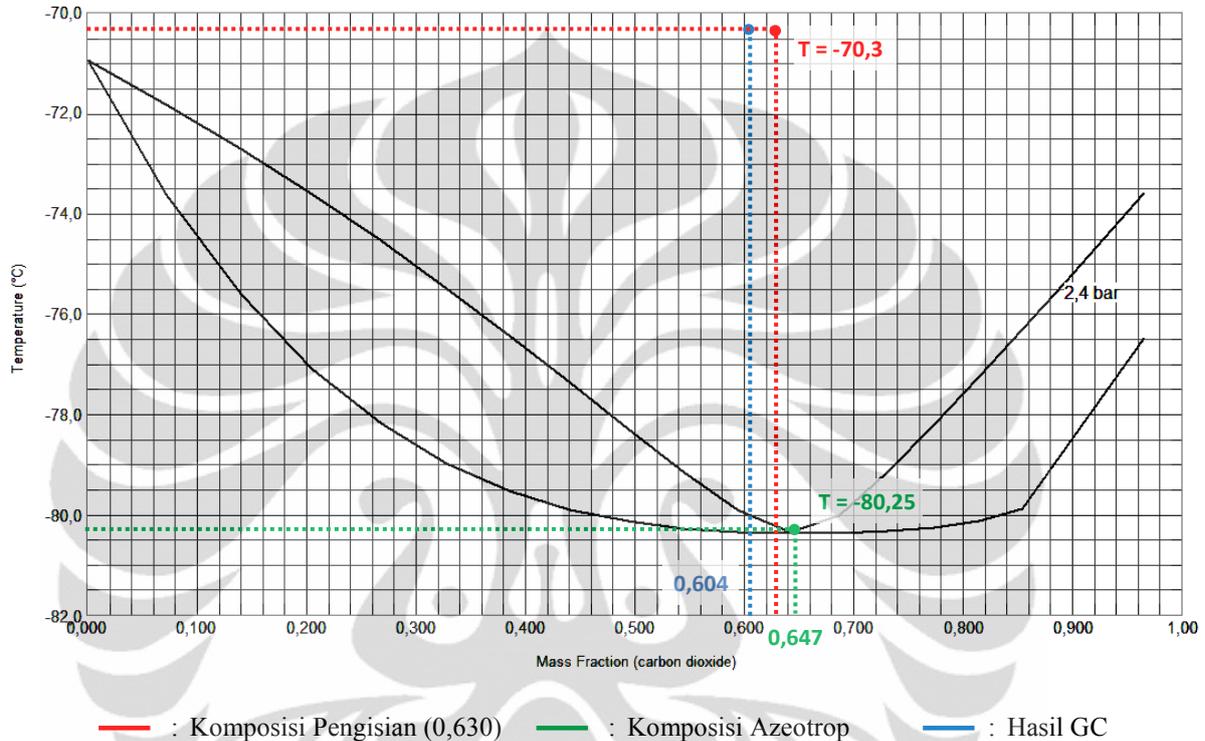
Gambar IV.8. Diagram T-x In Evaporator Ls

Saat tekanan evaporasi  $2,9\text{ bar}$  seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.8. komposisi azeotrop berada pada konsentrasi  $65\%$  karbondioksida dan  $35\%$  ethane pada temperatur  $-76,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan berdasarkan komposisi pengisian dan temperatur pengambilan sampel sebesar  $-70,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kondisi campuran hampir mencapai kondisi azeotrop dengan fase gas.

Nilai konsentrasi komposisi dari hasil alat uji *Gas Chromatography* menunjukkan  $59,11\%$  karbondioksida dan  $40,89\%$  ethane dengan temperatur pada

titik *in evaporator* berada pada fase gas. Berdasarkan nilai tersebut kita ketahui bahwa nilai komposisi ethane berkurang dari titik *out condenser*, namun tetap lebih besar dari komposisi pengisian.

#### IV.3.4. ANALISA KONSENTRASI KOMPOSISI PADA SUCTION



Gambar IV.9. Diagram T-x Suction LS

Gambar IV.9. menunjukkan pada tekanan suction 2,4 bar kondisi azeotrop berada pada komposisi 64,7% karbondioksida dan 35,3% ethane dengan temperatur -80,25 °C. Sedangkan temperatur suction dengan komposisi pengisian yang di dapat berada pada temperatur -70,3 °C, sehingga dengan kondisi komposisi pengisian fase pada campuran adalah gas.

Pengujian dengan alat uji *Gas Chromatography* menunjukkan perbedaan komposisi sirkulasi dengan pengisian dimana nilai komposisi CO<sub>2</sub> lebih kecil dari komposisi pengisian yaitu 60,41 % dan 39,59% ethane. Namun nilai ini mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan proses sebelumnya yaitu *in evaporator*.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1. KESIMPULAN

- Sistem refrigerasi cascade yang digunakan mempunyai performa yang cukup baik, hal tersebut dapat diketahui dengan melihat grafik kinerja yang stabil.
- Temperatur evaporasi terendah yang dicapai adalah  $-71^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan evaporasi 2,9 bar absolut.
- Konsentrasi komposisi campuran karbondioksida dengan ethane belum didapat campuran yang azeotrop, dikarenakan pada tekanan evaporasi pada LS sebesar 2,9 bar, diketahui campuran azeotrop berada pada komposisi karbondioksida/ethane 65% dan 35%.
- Konsentrasi komposisi campuran hasil alat uji *Gas Chromatography* menunjukkan bahwa pada empat titik pengambilan sampel, nilai komposisi ethane lebih besar dari komposisi pengisian.
- Hasil Uji alat *Gas Chromatography* menunjukkan nilai komposisi  $\text{CO}_2$  terbesar pada *discharge* dan *suction* sebesar 60,42% dan 60,41%, sedangkan nilai terendah pada *out condenser* dan *in evaporator* dengan nilai 58,67% dan 59,11%.
- Mampat yang terjadi pada LS diduga terjadi karena tidak tercampurnya karbondioksida dan ethane sehingga saat temperatur evaporasinya sangat rendah, dibawah *triple point*, karbondioksida berubah fase menjadi solid (*dry ice*). Selain itu dugaan oli yang ikut bersirkulasi dan membeku dalam sistem juga memungkinkan.

#### V.2. SARAN

- Dugaan bahwa mampat terjadi karena adanya oli yang ikut bersirkulasi dapat diatasi dengan penggantian atau penambahan *oil separator*.
- Perlu di dapatkan metode pengujian alternatif untuk mendapatkan kondisi campuran azeotropis.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE Handbook, 2009, *Refrigeration System and Applications (SI)*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineer, Atlanta, Georgia.
- Cengel. Yunus.A, Boles. Michael, 1998, " *Thermodynamics An Engineering Approach*", Third Edition, Mcgraw-Hill, International Edition
- Cox.N, 2007, Working towards more environmentally friendly Refrigerant Blends, 12th European Conference, Milano, Italy, Juni 8 – 9, 2007
- Darwin Rio Budi Syaka, Nasruddin, 2008, *Analisa Termodinamika Pemilihan Refrigeran Pada Mesin Refrigerasi Cascade*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)-VII, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, 4 – 6 November.
- Darwin Rio Budi Syaka, Nasruddin, 2010, *Pengaruh Perubahan Komposisi Refrigeran Campuran CO<sub>2</sub>/Ethane Dalam Sistem Refrigerasi Cascade*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)-IX Palembang, 13-15 Oktober.
- Gettu. H.M, Bansal. P.K, 2008, *Thermodynamic analysis of an R744-R717 cascade refrigeration system*, International Jurnal Of Refrigeration, 31 (2008):45-54
- Kim. Ju Hyok, Cho. Jin Min, Kim. Min Soo, 2008, *Cooling performance of several CO<sub>2</sub>/propane mixtures and glide matching with secondary heat transfer fluid*, International Jurnal Of Refrigeration, 31 (2008):800-806
- Nasruddin, Imam Syafi'I, Dani Arsanto, 2006, *Penelitian Perbandingan Unjuk Kerja Tiga Refrigeran Hidrokarbon Indonesia Terhadap Refrigeran R12 (CFC-12)*, *JURNAL TEKNOLOGI*, Edisi No.4 Tahun XX, 241-251 ISSN 0215-1685

- Nasruddin, 2008, *Utilization Of Co<sub>2</sub>/Ethane Mixture As A New Alternative Of Eco-Friendly Refrigerant For Low Temperature Applications*, Report Research, Osaka Gas Foundation Of International Cultural Exchange Japan, Department Of Mechanical Engineering, Faculty Of Engineering, University Of Indonesia, Depok
- Nasruddin, Donni Redford, 2008, *Pengujian Mesin Refrigerasi Cascade Menggunakan R22-R404A Dengan Variasi Tekanan Pada Low-Stage*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Nasruddin, Dedeng Rachmat, Lubi Rahadiyan, 2009, *Utilization of CO<sub>2</sub>/Ethane Mixture as a New Alternative of Eco-Friendly Refrigerant for Low Temperature Applications*, International Conference Of Saving Energy In Refrigeration And Air-Conditioning, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, Depok, January 14 – 17
- Nasruddin, Darwin Rio Budi Syaka, 2009, *Thermodynamics Analysis Of Refrigerant Selection In Cascade Refrigeration System*, International Conference Of Saving Energy In Refrigeration And Air-Conditioning, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, Depok, January 14 – 17
- NIST Standard Reference Database 23, 1998. NIST Thermodynamics and Transport Properties of Refrigerans and Refrigeran Mixtures, REFPROP, Version 8.0.
- Niu, Boulian, Zhang, Yufeng, 2006, *Experimental Study of the Refrigeration Cycle Performance for R744/R290 Mixtures*, International Jurnal Of Refrigeration, 30(2007):37-42
- Tianing. Ni Wayan, Sumitro, Sulistyowati dan Muliarta, 2002, *Gambaran Histopatologi Dan Amplifikasi Gen Atpase 6, 8 Serta Cox Iii Pada mtDNA Dari Jaringan Kanker Payudara*, Biosain, Vol. 2, No. 2, Agustus 2002
- Refrigeration And Air Conditioning*, 2008, EE Indian Institue of Technology, Kharagpur, India

Reinholdt. Lars, Andreasen. Marcin. Blazniak, 2007, Industrial Freezers For Food Utilizing CO<sub>2</sub> Part 2: Development And Testing Of A CO<sub>2</sub> Cascade System, Spiral Freezer And Ice-Cream Freezer, International Congress of Refrigeration, ICR07-B2-454, Beijing, 2007

Wu. Jianfeng, Gong. Maoqiong, Zhang. Yu, 2007, *Refrigerant mixtures used in the lower temperature stage of two-stage cascade refrigeration systems*, USPTO Applicaton #: 20070007487 - Class: 252067000 (USPTO).

