



**PENGARUH VARIASI *SEPARATION CONDENSER* TERHADAP
KINERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN
*REFRIGERANT LIQUEFIED PETROLEUM GAS***

SKRIPSI

Oleh

**Dirga Bhaskara
NIM 131910101080**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGARUH VARIASI *SEPARATION CONDENSER* TERHADAP
KINERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN
*REFRIGERANT LIQUEFIED PETROLEUM GAS***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Dirga Bhaskara
NIM 131910101080**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT, atas limpahan karunia dan rahmat-Nya yang teramat besar;
2. Nabi Muhammad SAW, yang menjadi panutan dalam menjalani hidup sebagai bekal kehidupan akhirat;
3. Keluargaku, Ayahanda Priyanto dan Ibunda Nur Laila, serta adikku yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tucurahkan dengan sepenuh hati;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M. Sc selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dr. Gaguk Djatisukanto, S. T., M. T. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S. T., M. T selaku dosen penguji I, Bapak Ir. FX. Kristianta, M. Eng. selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran dan arahan menuju kearah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Guru-guruku sejak taman kanak-kanan sampai dengan SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbing dan mendidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai ke jenjang perguruan tinggi;
6. Teman-temanku kelompok penelitian Condenser Research yaitu Amirul Yahya, Saiful Khabib, dan Heru Edy Nurcahyo yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, serta teman-temanku Teknik Mesin angkatan 2013 yang tidak kenal lelah memberikan dukungan dan doa serta kasih sayang;

MOTTO

“Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah.”

*(Thomas Alfa Edison)**

“Wahai mereka yang beriman, mintalah pertolongan kepada Allah SWT dengan sabar dan sholat. Sesungguhnya Allah SWT bersama orang-orang yang sabar”

*(Terjemah Surat Al-Baqarah (2) ayat 153)***

“Pandanglah kehidupan ini sebagai hal yang positif, jika kamu menebar kebaikan maka kebaikan akan lebih mudah mendatangimu”

*(Dirga Bhaskara)***)*

*) Thomas Alfa Edison

**) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Qur'an dan Terjemahnya. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo

***) Dirga Bhaskara

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dirga Bhaskara

NIM : 131910101080

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul *“Pengaruh Variasi Separation Condenser Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant Liquefied Petroleum Gas”* adalah hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsaan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat yang sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Januari 2019

Yang menyatakan,

Dirga Bhaskara

NIM 131910101080

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI *SEPARATION CONDENSER* TERHADAP
KINERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN
*REFRIGERANT LIQUEFIED PETROLEUM GAS***

Oleh

Dirga Bhaskara
NIM 131910101080

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M. Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Gaguk Djatisukamto, S. T., M. T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi *Separation Condenser* Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Menggunakan *Refrigerant Liquefied Petroleum Gas*” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Rabu, 16 Januari 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Digdo Listyadi., M.Sc

Dr. Gaguk Djatisukanto S.T., M.T

NIP. 196806171995011001

NIP. 196902091998021001

Penguji I,

Penguji II,

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

NIP. 198501171012121001

NIP. 196501202001121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Separation Condenser Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant Liquefied Petroleum Gas; Dirga Bhaskara, 131910101080; halaman 74; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penggunaan mesin pendingin telah menjadi kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat yang berfungsi dalam peningkatan kualitas hidup manusia. Hal ini berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan energi dalam penggunaan mesin pendingin sehingga menjadikan sebuah tantangan baru bagi para peneliti khususnya bidang Teknik Mesin atau *Mechanical Engineering* dalam upaya peningkatan prestasi kerja mesin pendingin. Para peneliti juga harus memperhatikan dengan seksama mengenai dampak penggunaan fluida pengisi sistem (*refrigerant*) terhadap lingkungan. Penelitian sebelumnya mengenai mesin pendingin menunjukkan hasil prestasi kerja mesin pendingin yang lebih baik pada kondensor yaitu separation condenser. Penggunaan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) menunjukkan hasil prestasi kerja mesin pendingin yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan refrigerant CFC (*Cholo Flouro Carbon*) dan HFC (*Hydro Flouro Carbon*). Selain itu penggunaan *Liquefied Petroleum Gas* memiliki sifat yang ramah lingkungan yaitu tidak mengandung unsur yang dapat merusak lapisan Ozon di Stratosfir atau ODS (*Ozone Depleting Substance*) dan tidak menyebabkan pemanasan global atau GWP (*Global Warming Potential*).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui prestasi kerja mesin pendingin dengan menggunakan *separation condenser* dan *refrigerant* yang digunakan adalah *Liquefied Petroleum Gas* prestasi kerja mesin pendingin meliputi: dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi dan koefisien prestasi mesin pendingin. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan penggunaan *separation*

condenser dan penggunaan kondensor biasa. Panjang total masing-masing kondensor disamakan. Data yang diperoleh pada penelitian ini meliputi suhu dan tekanan. Pengambilan data dilakukan pada kondisi mesin pendingin dalam keadaan *steady state* selama 180 menit dan pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pengambilan data agar hasilnya akurat.

Penggunaan variasi model kondensor dapat memberikan pengaruh pada COP (*Coefficient of Performance*). COP tertinggi pada penelitian ini terdapat pada model kondensor tipe C (*separation condenser* dengan sambungan profil Y dengan 2U pada bagian atas dan 7U pada bagian bawah) dengan nilai COP sebesar 10.37. Nilai tersebut menunjukkan hasil 34% lebih tinggi dibandingkan dengan COP pada kondensor biasa yang hanya memiliki nilai COP sebesar 6.87.

SUMMARY

Effect Variation of Separation Condenser on the Performance in Refrigerator Using Refrigerant Liquefied Petroleum Gas; Dirga Bhaskara, 131910101080; 74 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

The use of cooling machines has become a basic requirement for most people who function in improving the quality of human life. This is directly proportional to the increase in energy requirements in the use of cooling machines, making it a new challenge for researchers, especially in the field of Mechanical Engineering or in the effort to improve the work performance of refrigeration machines. Researchers must also pay close attention to the impact of using refrigerant on the environment. Previous research on cooling machines showed that the results of the work performance of the cooling engine were better in the condenser, namely the condenser separation. The use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) shows that the results of work performance of a cooling machine are better than the use of CFC (Chloro Fluoro Carbon) and HFC (Hydro Fluoro Carbon) refrigerants. In addition, the use of Liquefied Petroleum Gas has environmentally friendly properties that do not contain elements that can damage the Ozone layer in Stratosphere or ODS (Ozone Depleting Substance) and do not cause global warming or GWP (Global Warming Potential).

The purpose of this study is to determine the work performance of cooling machines by using a condenser separation and refrigerant used is Liquefied Petroleum Gas cooling machine work performance includes: the effect of refrigeration, compression work, refrigeration capacity and cooling machine performance coefficient. This study uses an experimental method by comparing the use of condenser separation and the use of ordinary condensers. The total length of each

condenser is equalized. The data obtained in this study include temperature and pressure. Data retrieval was carried out on the condition of the cooling engine in a steady state state for 180 minutes and the test was repeated three times for data retrieval so that the results were accurate.

The use of variations in the condenser model can have an effect on the COP (Coefficient of Performance). The highest COP in this study is found in the type C condenser model (separation condenser with Y profile connection with 2U at the top and 7U at the bottom) with COP value of 10.37. This value shows a yield of 34% higher compared to COP in an ordinary condenser which only has a COP value of 6.87.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Variasi Separation Condenser Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran Liquefied Petroleum Gas*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis berkeinginan untuk menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Priyanto dan Ibunda Nur Laila, serta adikku Albin Alveda yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tercurahkan dengan sepuh hati;
2. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M. Sc selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dr. Gaguk Djatisukamto, S. T., M. T. selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
3. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S. T., M. T selaku dosen penguji I, Bapak Ir. FX. Kristianta, M. Eng. selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan menuju kearah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
4. Guru-guruku sejak taman kanak-kanan sampai dengan SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbing dan mendidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai ke jenjang perguruan tinggi;
5. Teman-temanku kelompok penelitian Condenser Research yaitu Amirul Yahya, Saiful Khabib, dan Heru Edy Nurcahyo yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

6. Terimakasih saya ucapkan kepada Sri Hidayati yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, motivasi, doa dan dukungan selama ini;
7. Seluruh teman-teman Teknik Mesin 2013, atas kerjasama, semangat dan kebersamaannya selama ini, tetap semangat untuk teknik mesin yang lebih baik;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu dalam bidang teknik khususnya teknik mesin. Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Jember, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komponen-komponen Utama Mesin Pendingin	5
2.1.1 Evaporator	5
2.1.2 Kompresor	6

2.1.3 Kondensor	7
2.1.4 Pipa Kapiler	12
2.2 Komponen Pendukung Mesin Pendingin	13
2.2.1 Liquid Receiver	13
2.2.2 Access Port	14
2.2.3 Sight Glass	14
2.2.4 Filter Dryer	15
2.2.5 Kran Solenoid	15
2.3 Siklus Refrigerasi	16
2.3.1 Siklus Refrigerasi Sederhana	16
2.3.2 Siklus Kompresi Uap Aktual	19
2.3.3 Dampak Refrigerasi dan Kerja Kompresi	20
2.3.4 Kapasitas Refrigerasi	21
2.4 Bahan Pendingin (<i>Refrigerant</i>)	22
2.4.1 Persyaratan <i>Refrigerant</i>	22
2.4.2 Jenis-jenis <i>Refrigerant</i>	23
2.4.3 Dampak Penggunaan <i>Refrigerant</i>	24
2.4.4 LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>)	25
2.5 Penelitian Terdahulu	29
2.6 Hipotesis	31
BAB 3. METODE PENELITIAN	32
3.1 Metode Penelitian	32

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3.1 Alat	32
3.3.2 Bahan	33
3.4 Variabel Penelitian	33
3.4.1 Variabel Bebas	33
3.4.2 Variabel Terikat	33
3.5 Prosedur Penelitian	34
3.5.1 Persiapan Alat Pengujian	34
3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian	34
3.5.3 Tahap Pengambilan Data	34
3.6 Rangkaian Alat Uji dan Gambar Desain Kondensor	35
3.7 Pengolahan Data	43
3.8 Diagram Alir Penelitian	44
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Data Hasil Pengujian	45
4.2 Pembahasan	49
4.2.1 Temperatur Pendinginan Evaporator	49
4.2.2 Perhitungan Entalpi	50
4.2.3 Dampak Refrigerasi	53
4.2.4 Kerja Kompresi	55
4.2.5 Laju Aliran Massa	57

4.2.6 Kapasitas Refrigerasi	59
4.2.7 Pelepasan Kalor	60
4.2.8 Rasio Pelepasan Kalor	62
4.2.9 Temperatur Kondensor	64
4.2.10 Temperatur Kondensor pada <i>Separation Condenser</i>	66
4.2.11 <i>Coefficient of Performance</i> (COP)	67
BAB 5. PENUTUP	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR GAMBAR

2.1 Evaporator	6
2.2 Kompresor	7
2.3 Kondensor	8
2.4 Skema Dua Fasa <i>Separation Microchanel Condenser, Separation Condenser</i> ..9	
2.5 Perbandingan Dua Kondensor	9
2.6 Temperatur Kondensor untuk Dua Kondensor	10
2.7 Laju Aliran Massa Dua Kondensor.....	11
2.8 Pipa Kapiler.....	13
2.9 Liquid Receiver.....	14
2.10 Access Port	14
2.11 Sight Glasss	15
2.12 Filter Dryer	15
2.13 Kran Solenoid	16
2.14 Siklus Refrigerasi Sederhana	16
2.15 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	18
2.16 Skematik Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap Standart.....	19
2.17 Siklus Kompresi Uap Standart dan Aktual	20
3.1 Rangkaian Alat Uji Kondensor Biasa	35
3.2 Rangkaian Alat Uji Separation Condenser tipe A.....	36
3.3 Rangkaian Alat Uji Separation Condenser tipe B.....	36

3.4 Rangkaian Alat Uji Separation Condenser tipe C.....	37
3.5 Rangkaian Alat Uji Separation Condenser tipe D.....	37
3.6 Desain Kondensor Biasa	38
3.7 Desain Separation Condenser tipe A.....	39
3.8 Desain Separation Condenser tipe B.....	40
3.9 Desain Separation Condenser tipe C.....	41
3.10 Desain Separation Condenser tipe D.....	42
3.11 Diagram Alir Penelitian	44
4.1 Grafik Temperatur Pendinginan Evaporator	49
4.2 Grafik Dampak Refrigerasi	54
4.3 Grafik Kerja Kompresi	56
4.4 Grafik Laju Aliran Massa	58
4.5 Grafik Kapasitas Refrigerasi	60
4.6 Grafik Pelepasan Kalor	61
4.7 Grafik Rasio Pelepasan Kalor	63
4.8 Grafik Temperatur Kondensor	65
4.9 Grafik Selisih Temperatur Kondensor Bagian Atas dan Bagian Bawah	66
4.10 Grafik Coefficient of Performance	68

DAFTAR TABEL

2.1 ODP dan GWP beberapa refrigerant	25
2.2 Karakteristik Propana dan Butana	26
4.1 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa	46
4.2 Hasil Rata-rata Pengujian <i>Separation Condenser</i> tipe A	47
4.3 Hasil Rata-rata Pengujian <i>Separation Condenser</i> tipe B	47
4.4 Hasil Rata-rata Pengujian <i>Separation Condenser</i> tipe C	48
4.5 Hasil Rata-rata Pengujian <i>Separation Condenser</i> tipe D	48
4.6 Entalpi rata-rata pengujian kondensor biasa	50
4.7 Entalpi rata-rata pengujian <i>separation condenser</i> tipe A	51
4.8 Entalpi rata-rata pengujian <i>separation condenser</i> tipe B	51
4.9 Entalpi rata-rata pengujian <i>separation condenser</i> tipe C	52
4.10 Entalpi rata-rata pengujian <i>separation condenser</i> tipe D	52
4.11 Dampak refrigerasi	53
4.12 Kerja kompresi	55
4.13 Debit aliran <i>refrigerant</i>	57
4.14 Kapasitas Refrigerasi	59
4.15 Pelepasan Kalor	60
4.16 Rasio pelepasan kalor (RPK)	62
4.17 Temperatur Kondensor	64
4.18 Temperatur Kondensor pada <i>Separation Condenser</i>	66
4.19 <i>Coefficient of Performance</i>	68

DAFTAR LAMPIRAN

A. Data Penelitian	75
B. Contoh Perhitungan	77
C. Diagram P – H Atau Diagram Mollier	79
D. Tabel <i>Termophysical Properties</i>	81
E. Data Logger	83
F. Alat Ukur Debit Refrigerant	84
G. Spesifikasi Liquefied Petroleum Gas (LPG)	85
H. Dokumentasi Penelitian	86
I. Gambar <i>Separation Condenser</i>	96
J. Spesifikasi Mesin Pendingin Kulkas	97

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern, mesin pendingin merupakan salah satu alat yang berkembang pesat seiring dengan kemajuan teknologi. Mesin pendingin digunakan untuk mendinginkan atau mempertahankan suhu suatu bahan dibawah lingkungannya untuk mencapai tujuan tertentu. Penggunaan mesin pendingin telah menjadi suatu kebutuhan pokok bagi sebagian besar masyarakat yang berfungsi dalam peningkatkan kualitas hidup manusia. Peningkatan kebutuhan masyarakat terhadap mesin pendingin menjadi salah satu faktor peningkatan kebutuhan energi. Jumlah mesin pendingin yang meningkat secara tajam menjadikan sebuah tantangan baru bagi para peneliti khususnya bidang Teknik Mesin atau *Mechanical Engineering* dalam upaya peningkatkan prestasi kerja mesin refrigerasi. Para peneliti juga harus memperhatikan dengan seksama mengenai dampak penggunaan fluida pengisi sistem (*refrigerant*) terhadap lingkungan. Semakin berkembangnya teknologi seharusnya faktor keamanan, kenyamanan, dan keselamatan manusia menjadi suatu prioritas, serta tidak melupakan aspek dari lingkungan yang menjadi sasaran utamanya.

Proses refrigerasi merupakan suatu proses pemindahan kalor dengan cara menyerap kalor dalam sistem dan mengeluarkan kalor ke luar sistem atau lingkungan. Tujuan proses refrigerasi adalah mendinginkan suatu sistem dibawah suhu lingkungannya dan menciptakan kondisi khusus yang sesuai dengan kebutuhan misalnya penciptaan lingkungan kerja yang nyaman atau penyimpanan bahan-bahan baku. Serangkaian proses refrigerasi ini biasanya dilakukan oleh mesin refrigerasi seperti halnya *Refrigerator, Air Conditioning, Freezer* dan *Chiller*.

Fluida yang digunakan untuk menjalankan kinerja mesin pendingin adalah *refrigerant*. Dalam mesin pendingin *refrigerant* yang paling umum digunakan adalah CFC (*Chlorofluoride Carbonate*) seperti R12 dan R22. Namun, pada dasarnya *refrigerant* jenis ini dapat merusak alam dan menjadi salah satu

penyebab kerusakan lapisan ozon dan pemanasan global. CFC merupakan bahan yang ideal untuk *refrigerant* dan telah ditemukan sejak tahun 1930-an. Zat ini memiliki sifat fisik dan termal yang baik untuk dioperasikan pada mesin pendingin. Selain itu juga memiliki keunggulan lain seperti tidak beracun, tidak mudah terbakar, sangat stabil dan murah harganya. Molina (1974) mengatakan bahwa CFC yang terkandung pada *refrigerant* jenis R-12 dan R-22 dapat merusak lapisan Ozon di Stratosfir atau ODS (*Ozone Depleting Substance*). Selain berkontribusi pada kerusakan lapisan ozon, CFC disebut sebagai salah satu GWP (Global Warming Potential) yaitu pemanasan global melalui kebocoran dan buangan *refrigerant* (yang bersifat gas rumah kaca) ke lingkungan. Sejak saat itu banyak diselenggarakan pertemuan internasional yang membuahkan berbagai rekomendasi untuk mengurangi mekanisme ODS. Hasilnya adalah Konvensi Wina (1985), Konvensi Geneva (1986) dan Protokol Montreal (1987) yang diikuti amandemen London (1990). Indonesia telah meratifikasi melalui KEPRES RI No.23/1992 yang intinya menghapuskan pengadaan ODS termasuk CFC pada akhir tahun 1997.

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) memiliki unsur utama Hidrogen dan Karbon yang merupakan senyawa hidrokarbon berupa gas alam cair. Jika berdiri sendiri zat yang terkandung dalam LPG memiliki sifat termodinamika yang hampir sama dengan *refrigerant* pada umumnya. Dari pengujian di laboratorium, atas dasar mol, LPG memiliki komposisi 45% sampai 55% Propana (C_3H_8), 46% sampai 54% Butana (C_4H_{10}) serta 1% sampai 7% campuran pentana dan hidrokarbon lainnya (Direktorat Jendral Minyak & Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009).

Kelebihan LPG dibanding *refrigerant* sintetis pada mesin pendingin adalah sifatnya yang ramah lingkungan dan memiliki harga yang lebih murah. Efisiensi juga menjadi perhatian utama dalam mesin pendingin selain lingkungan. Semakin tinggi efisiensi maka semakin menghemat energi karena energi yang dibuang ke lingkungan semakin sedikit. Banyak penelitian yang dilakukan untuk menambah efisiensi mesin pendingin salah satunya dengan meningkatkan kinerja kondensor dalam mesin pendingin. Kondensor merupakan komponen penting dari

mesin pendingin yang fungsinya sebagai *heat exchanger* yaitu memindahkan panas dari sistem ke lingkungan. (Stoecker dan Jones. 1996)

Penelitian ini menggunakan LPG sebagai refrigeran dengan membandingkan antara kondensor biasa dengan *separation condenser* pada sistem refrigerasi. Sehingga penelitian ini di harapkan dapat memperbaiki koefisien prestasi mesin pendingin yang bisa menghemat energi dan meminimalisir dampak pemanasan global pada lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pemasangan *separation condenser* terhadap dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dan prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.

1.3 Batasan Masalah

1. Sistem terisolasi sempurna.
2. Kondisi *steady state* dalam sistem mesin pendingin diasumsikan tiga jam setelah penyalaan.
3. Suhu pipa pada setiap titik yang diamati di asumsikan suhu refrigeran.
4. Tidak menghitung perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi pada sistem.
5. Perubahan energi kinetik dan potensial tidak dihitung.
6. Aliran massa konstan pada setiap komponen mesin pendingin.

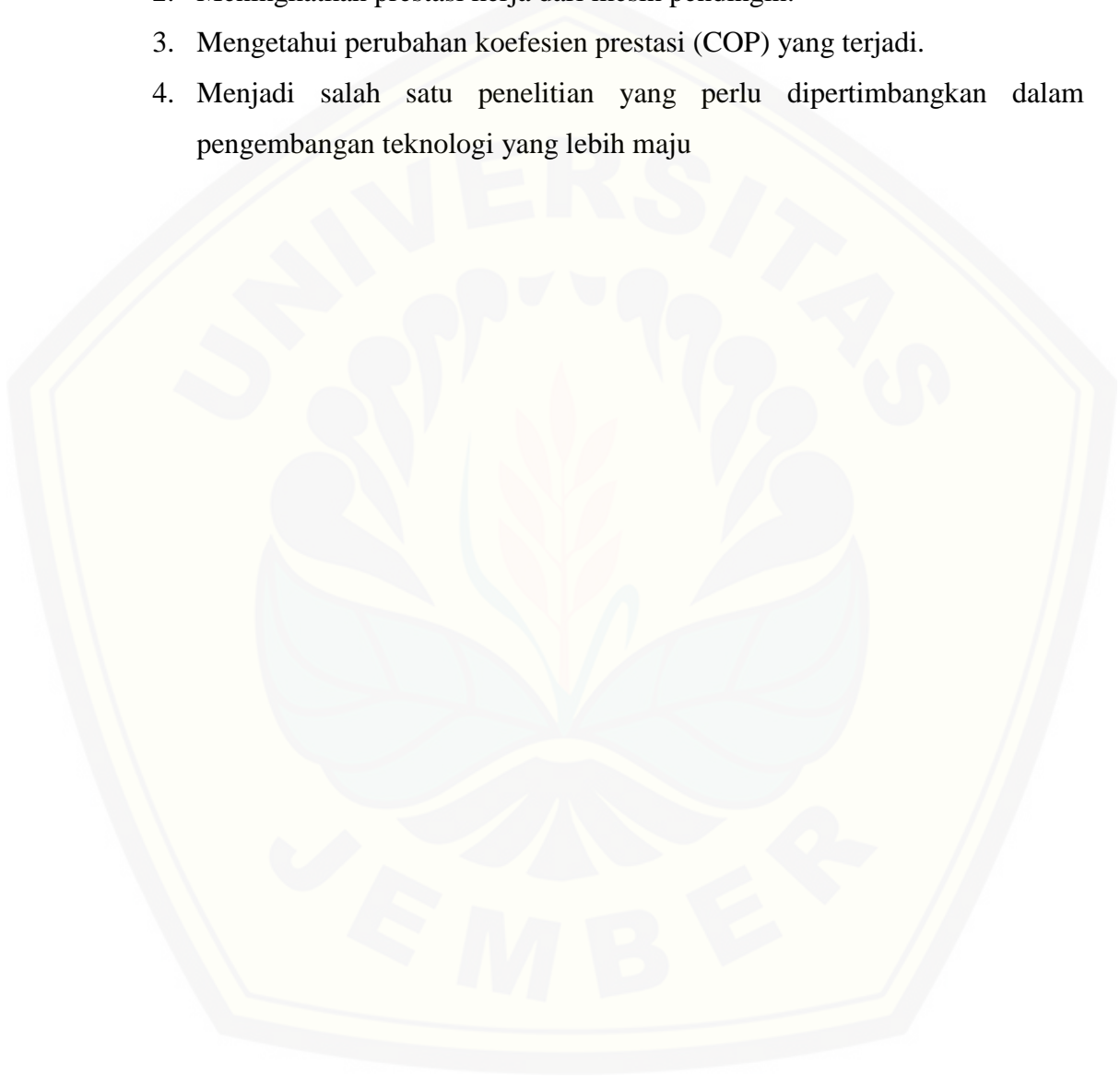
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

1. Mengetahui perbandingan dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, daya kompresi, dan koefisien prestasi kinerja pada mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG dari pemasangan *separation condenser* dengan kondensor biasa.
2. Mengetahui prestasi kerja dari mesin pendingin dari pemasangan *separation condenser* dengan kondensor biasa.

1.4.2 Manfaat

1. Memperoleh informasi bagaimana pengaruh variasi *separation condenser* dan kondensor biasa pada mesin refrigerasi berfluida LPG terhadap prestasi kerja mesin pendingin.
2. Meningkatkan prestasi kerja dari mesin pendingin.
3. Mengetahui perubahan koefisien prestasi (COP) yang terjadi.
4. Menjadi salah satu penelitian yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan teknologi yang lebih maju



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komponen-komponen Utama Mesin Pendingin

Mesin pendingin digunakan untuk mendinginkan atau mempertahankan suhu suatu bahan dibawah suhu lingkungannya untuk mencapai tujuan tertentu. (Syarief dkk., 1992). Pada mesin pendingin, kalor diserap di evaporator dan dibuang melalui kondensor. Uap *refrigerant* yang berasal dari evaporator bertekanan dan bertemperatur rendah masuk ke kompresor melalui saluran hisap. Di kondensor terjadi proses pemampatan uap *refrigerant*, sehingga ketika ke luar dari kompresor uap *refrigerant* mengalami kompresi yang menyebabkan tekanan meningkat dan bersuhu tinggi sehingga menyebabkan terjadinya perubahan fasa dari uap menjadi cair (terkondensasi). Suhu *refrigerant* didalam kondensor jauh lebih tinggi dibanding temperatur udara sekitar sehingga terjadi pelepasan kalor dari kondensor ke lingkungan. Selanjutnya cairan tersebut terkumpul di penampungan cairan refrigerant.

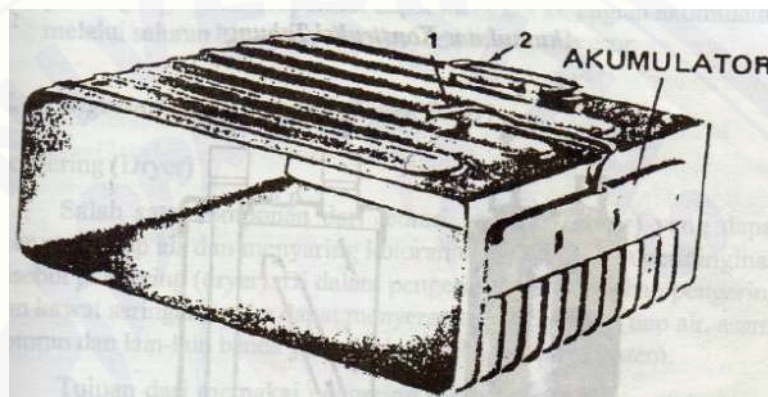
Cairan *refrigerant* yang bertekanan tinggi mengalir menuju pipa kapiler dan terjadi proses pemampatan. *Refrigerant* yang keluar dari pipa kapiler tekanannya menjadi sangat berkurang dan bersuhu sangat rendah. Pada saat itulah terjadi perpindahan kalor dari ruangan mesin pendingin ke *refrigerant* di dalam evaporator. Bagian inilah yang dimanfaatkan untuk mengawetkan bahan makanan atau untuk mendinginkan ruangan. Kemudian uap *refrigerant* akan dihisap oleh kompresor dan demikian seterusnya proses-proses tersebut berulang kembali pada sistem tertutup. Komponen utama dari sistem refrigerasi kompresi uap meliputi evaporator, kompresor, kondensor dan pipa kapiler. (Anwar, 2010)

2.1.1 Evaporator

Evaporator merupakan salah satu komponen utama mesin pendingin yang berfungsi sebagai penyerap panas dari udara atau benda yang ada di dalam ruangan mesin pendingin. Evaporator mempunyai fungsi yang berkebalikan dengan kondensor. *Refrigerant* yang ada didalam evaporator menyerap panas dari

ruangan sehingga *refrigerant* tersebut akan menguap. *Refrigerant* uap atau gas membawa kalor ke kompresor dan dibuang keluar melalui kondensor.

Evaporator yang digunakan untuk lemari es adalah jenis konstruksi evaporator kering yang terbuat dari bahan alumunium, tembaga, baja tahan karat dan lain-lain (Karyanto, 2003). Evaporator berupa koil telanjang tanpa sirip (*bare pipe coil*), koil bersirip (*finned coil*), pelat (*plate evaporator*), *shell and coil*, atau *shell and tube* evaporator. Jenis evaporator yang digunakan pada suatu sistem refrigerasi tergantung pada jenis aplikasinya (Stoecker dan Jones, 1996).



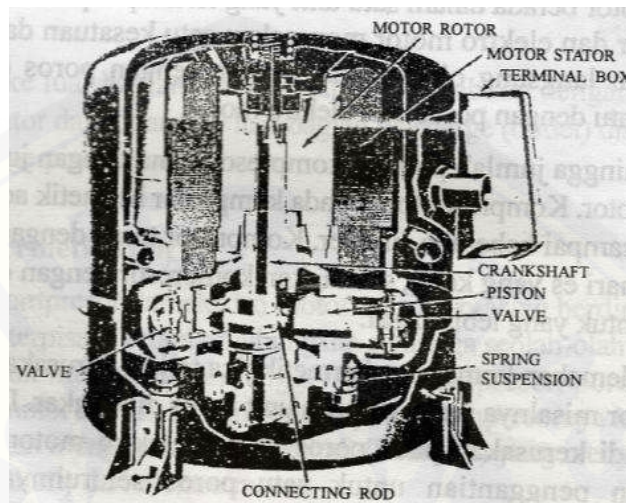
Gambar 2.1 Evaporator (Karyanto, 2003)

2.1.2 Kompresor

Kompresor digunakan untuk menghisap dan menaikkan tekanan uap *refrigerant* yang berasal dari evaporator. *Refrigerant* yang keluar dari kompresor masih berfasa uap dengan tekanan tinggi. Penambahan tekanan uap *refrigerant* dengan kompresor ini dimaksudkan agar *refrigerant* dapat mengembun pada temperatur yang relatif tinggi. Bagian yang menghubungkan antara evaporator dengan kompresor dikenal sebagai saluran hisap (*suction line*). Perbandingan antara absolut tekanan buang (*discharge pressure*) dan tekanan isap (*suction pressure*) disebut dengan rasio kompresi (*compression ratio*).

Kompresor pada sistem pendingin tebagi menjadi lima macam diantaranya yaitu kompresor torak, kompresor putar, kompresor helix, kompresor scroll dan kompresor sentrifugal. Kompresor yang paling umum digunakan dalam sistem pendingin adalah kompresor torak. *Refrigerant* yang masuk kedalam kompresor harus benar-benar berfasa uap. Adanya cairan yang masuk ke kompresor dapat

merusak piston, silinder, piston ring dan batang torak. Beberapa jenis mesin pendingin dilengkapi dengan *liquid receiver* untuk memastikan *refrigerant* yang diisap oleh kompresor benar-benar telah berfasa uap (Tampubolon and Robert, 2005)



Gambar 2.2 Kompresor (Karyanto, 2003)

2.1.3 Kondensor

Kondensor merupakan komponen mesin pendingin yang berfungsi sebagai alat penukar panas dari dalam sistem menuju ke lingkungan. Kondensor mempunyai tugas untuk melepaskan panas *refrigerant* ke lingkungan. Pembuangan kalor pada kondensor berpendingin udara diteruskan ke udara sekitar, sedangkan untuk kondensor berpendingin air pelepas kalor dibuang ke air sebagai media pendingin (Dossat, 1961).

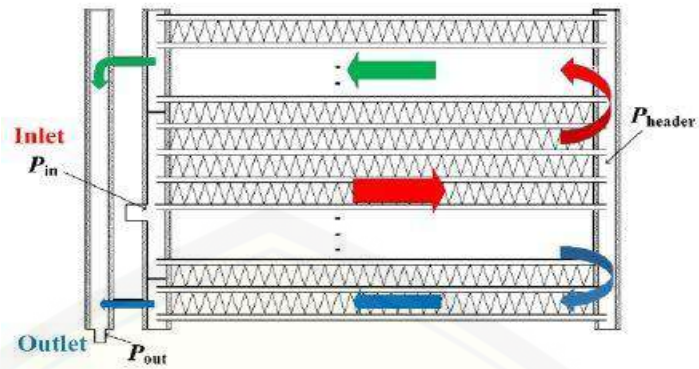
Pada kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*) pembuangan kalor dilakukan ke udara. Pada kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*) pembuangan kalor dilakukan ke air. Kondensor pada kulkas berpendingin air sangat jarang digunakan dibandingkan dengan kondensor berpendingin udara, kondensor berpendingin air sering disebut dengan *tube and tube condenser* yang hampir sama dengan *heat exchanger*. (Widodo, 2014)



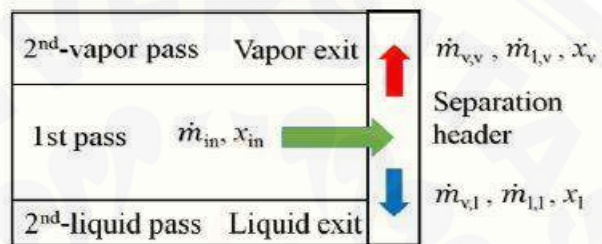
Gambar 2.3 Kondensor (Widodo, 2014)

Separation Condenser merupakan jenis kondensor yang digunakan sebagai pemisah fasa. *Separation condenser* memiliki sisi inlet yang berada di tengah kondensor, hal ini yang membedakan dengan kondensor biasa yang sisi inletnya berada di bawah. Kondensor pemisah fasa dapat memisahkan fasa yaitu fasa uap dan fasa cair. Fasa cair akan bergerak ke bawah berdasarkan gravitasi dan viskositas yang lebih tinggi dari pada fasa uap. Fasa uap diharapkan bergerak ke atas karena adanya perbedaan densitas dan daya apung antara fasa uap dan fasa cair. Li dan Hrnjak (2017) menyatakan bahwa pemisahan antara fasa uap dan fasa cair ini murni didasarkan karena adanya perbedaan properti dari keduanya, sehingga tidak ada biaya tambahan untuk pembuatan alat pemisah selanjutnya.

Li dan Hrnjak (2017) melakukan penelitian menggunakan model *separation condenser* untuk meningkatkan efisiensi dari kinerja kondensor. Dalam penelitiannya Li dan Hrnjak (2017) menggunakan dua perbandingan yaitu suhu keluaran *refrigerant* pada kondensor, pada keadaan ini suhu masuk pada kondensor dianggap sama pada kondensor pemisah fasa dan kondensor biasa. Perbandingan kedua adalah didasarkan pada teori bahwa kondensoryang lebih efisien adalah kondensor yang mampu mengmbunkan lebih banyak zat pendingin. Skema dan model kondensor dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

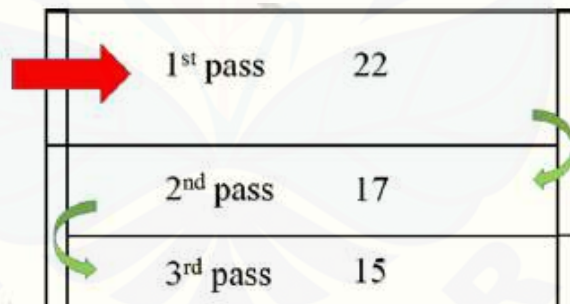


(a)

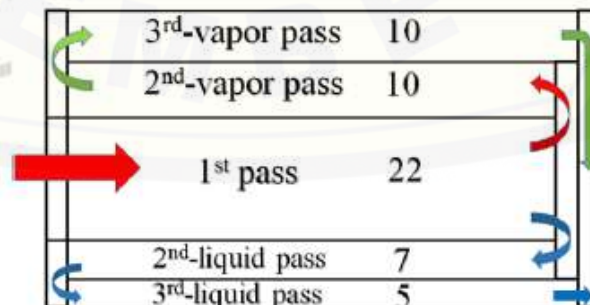


(b)

Gambar 2.4 (a) Skema dua fasa *separation microchannel condenser*, (b) perbesaran *separation condenser*



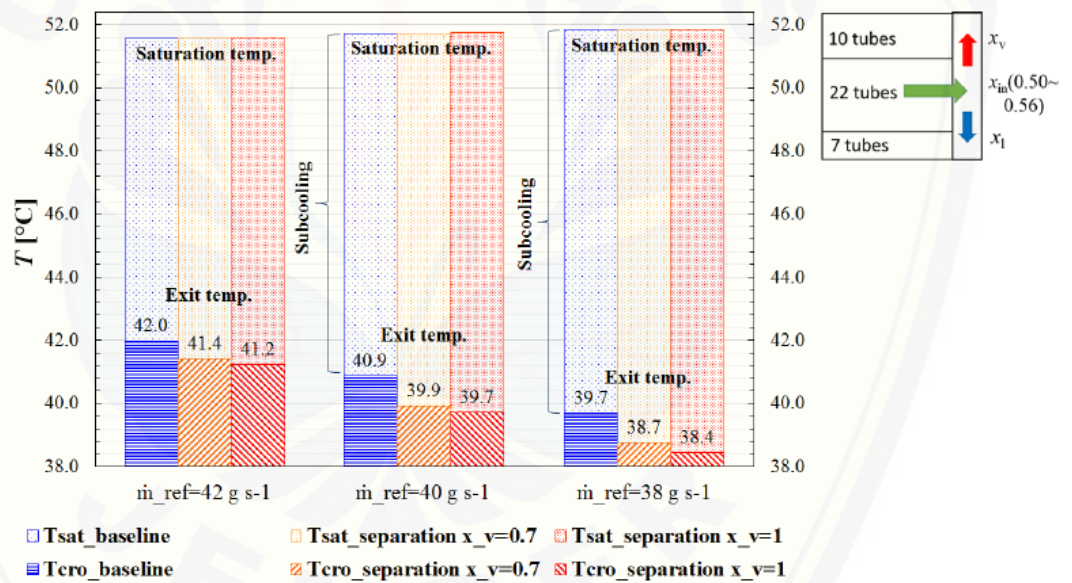
(a)



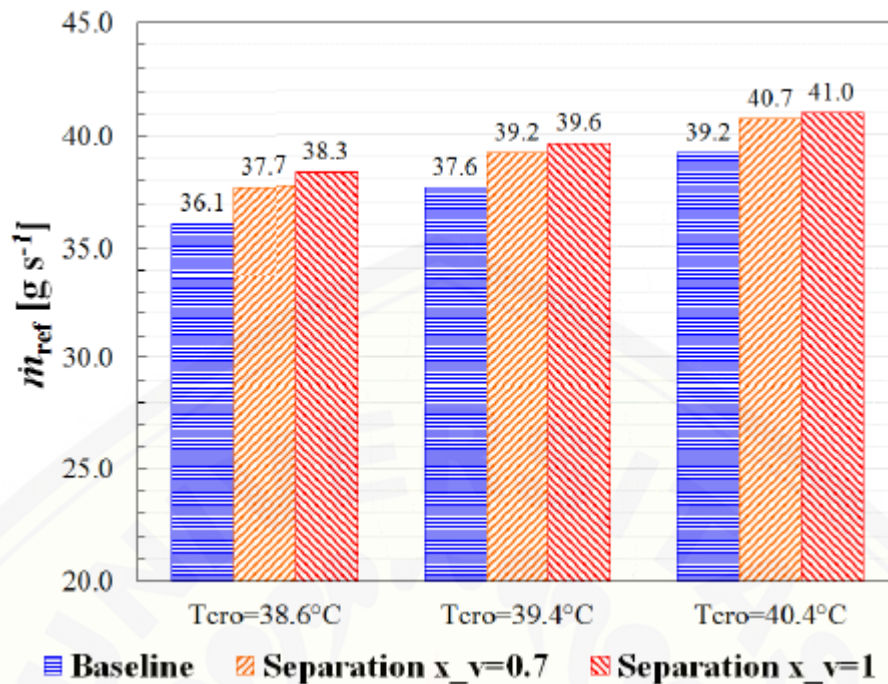
(b)

Gambar 2.5 perbandingan dua kondensator: (a) kondensator tipe baseline, (b) *separation condenser*

Kondensor dengan tipe baseline ditunjukkan pada gambar 2.4 (a) refrigeran dari kompresor masuk melalui sisi *inlet* pada kondensor bagian atas, kemudian bersirkulasi langsung menuju saluran keluar pada sisi bawah kondensor. Pada kondensor tipe ini perpindahan panas terjadi kurang optimal dikarenakan fasa uap dan cair menjadi satu dan waktu untuk berada di dalam kondensor terlalu singkat. Gambar 2.4 (b) adalah *separation condenser*, saluran masuk *refrigerant* berada di tengah kondensor, setelah *refrigerant* masuk ke dalam kondensor, fasa uap dan fasa cair akan berpisah pada *header* kondensor. Fasa uap akan bergerak ke atas dan fasa cair akan bergerak ke bawah di karenakan perbedaan densitas dari masing-masing fasa, dengan demikian diharapkan suhu keluaran dari *separation condenser* lebih dingin daripada kondensor tipe baseline. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.6 Temperatur keluar *refrigerant* (Tcro) untuk dua kondensor pada Temperatur masuk kondensor (Tcro) yang sama.



Gambar 2.7 Laju aliran massa pada kondensor tipe Baseline dan *Separation Condenser*

Gambar 2.6 dan 2.7 kondensor baseline ditunjukkan dengan warna biru, kondensor pemisah fasa di tunjukan dengan warna merah dan oranye. Gambar 2.6 menunjukkan bahwa keluaran temperatur pada kondensor pemisah fasa lebih rendah jika dibandingkan dengan kondensor baseline. Sedangkan pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa laju aliran massa pada kondensor pemisah fasa lebih besar jika dibandingkan dengan kondensor baseline. Dapat disimpulkan bahwa kondensor pemisah fasa dapat membuat efisiensi pada kondensor lebih baik.

Li dan Hrnjak (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pemisah uap-cairan pada *header* kondensor microcanel untuk sistem MAC (*mobile air conditioning*) dengan *refrigerant* R134a di tahun yang sama. Kondensor yang digunakan adalah kondensor dengan pemisah fasa dan kondensor tipe baseline. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tingkat penukar panas dan uji tingkat sistem. Hasil dari uji tingkat penukar kalor menunjukkan bahwa pada suhu inlet dan outlet yang sama kondensor pemisahan fasa menghasilkan 1,6% sampai 7,4% lebih banyak laju alir kondensat dari pada tipe baseline. Kondensor dengan

pemisah fasa juga lebih baik dalam menurunkan suhu pada kondensor. Hasil lain yaitu pada uji tingkat sistem, pada kondensor pemisah fasa memiliki COP 6.6% lebih tinggi daripada kondensor biasa.

Separation condenser merupakan model kondensor yang dapat memberikan efek penghematan energi menurut Zhu (2016). Zhu (2016) melakukan penelitian dengan merubah kondensor dengan *shell and tube* dengan menambahkan separator untuk pemisah cairan. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi perpindahan panas pada kondensor dengan pemisah cairan meningkat hingga 30%, sehingga efisiensi energi dari keseluruhan sistem menjadi lebih baik, dengan demikian tujuan untuk penghematan energi dapat tercapai. Disimpulkan dari beberapa penelitian tersebut bahwa penggunaan *separation condenser* membuat kinerja kondensor dan sistem refrigerasi lebih optimal.

2.1.4 Pipa Kapiler

Pipa kapiler bisa juga disebut dengan *restrictor tube* atau *choke tube*. Pipa kapiler digunakan untuk menurunkan tekanan *refrigerant*, mengatur jumlah *refrigerant*, dan membangkitkan tekanan *refrigerant* pada bagian kondensor. Pipa kapiler terbuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil dengan diameter pipa 0,026 – 0,031 *inch*. Panjang dan diameter lubang pipa kapiler dapat mengontrol jumlah *refrigerant* yang mengalir ke evaporator.

Pipa kapiler tidak dapat menahan atau menghentikan aliran *refrigerant* pada waktu kompresor sedang bekerja maupun waktu kompresor sedang berhenti. Kekurangan dari penggunaan pipa kapiler dalam sistem pendingin yaitu pipa kapiler tidak sensitif terhadap perubahan beban, seperti pada alat pengatur lainnya. Hal ini terjadi karena lubang dan panjang pipa kapiler tidak dapat diubah lagi setelah dipasang pada sistem lemari es (*refrigerator/freezer*).

Jumlah *refrigerant* yang diisikan ke dalam sistem pendingin yang memakai pipa kapiler harus tepat, tidak boleh lebih atau kurang. Jumlah *refrigerant* yang tepat yaitu apabila pada evaporator telah merata dinginnya dan mencapai suhu di bawah -5°C . Kondensor panasnya merata, bagian atas dan bagian bawah sampai saringan drier terasa hangat. *Refrigerant* yang terlalu

banyak dalam sistem dapat menyebabkan bagian luar dari saluran hisap (*suction line*) menjadi es sampai ke kompresor. Apabila *refrigerant* terlalu sedikit maka yang terjadi hanya ujung pipa kapiler dan sebagian evaporator dekat pipa-pipa kapiler saja yang menjadi es, sedang suhu di dalam lemari es tidak dingin. (Karyanto, 2003)

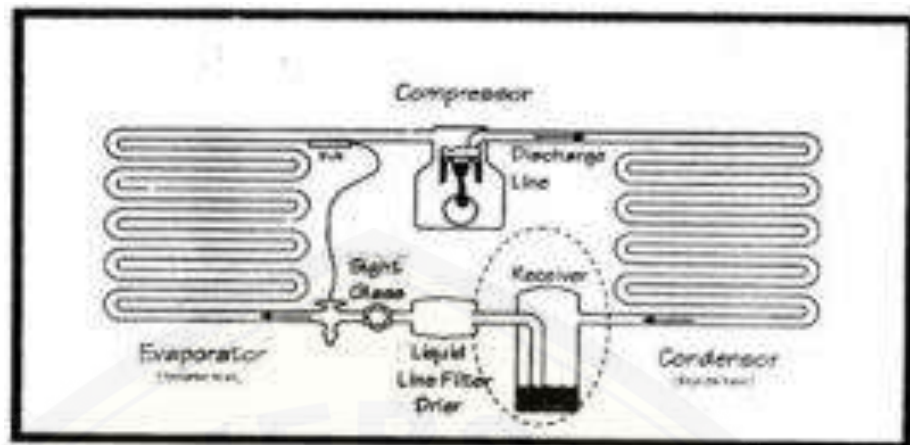


Gambar 2.8 Pipa Kapiler (Karyanto, 2003)

2.2 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

2.2.1 *Liquid Receiver*

Liquid Receiver berfungsi sebagai penampung cairan *refrigerant* sementara yang keluar dari kondensor agar *refrigerant* yang mengalir ke katup ekspansi semuanya berbentuk cairan. Cairan *refrigerant* ditampung di bagian bawah dari alat ini, sedangkan uap *refrigerant* ditampung di bagian atas. Alat ini dipasang setelah kondensor dan sebelum *filter dryer* (Tampubolon dan Robert, 2005)



Gambar 2.9 Liquid Receiver (Tampubolon dan Robert, 2005)

2.2.2 Access Port

Access port digunakan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian *refrigerant*. Alat ini juga bisa digunakan untuk keperluan *pumpdown*. (Tampubolon dan Robert, 2005)



Gambar 2.10 Access Port (Kusuma, 2014)

2.2.3 Sight Glass

Alat ini mempunyai fungsi untuk melihat keadaan *refrigerant* di dalam sistem. Jika di dalam *sight glass* terdapat buih-buih *refrigerant* maka sistem tersebut kurang *refrigerant*. Selain itu pada alat ini terdapat dua indikator yaitu kuning dan hijau. Kuning mengindikasikan bahwa sistem tersebut terdapat uap air dan jika hijau mengindikasikan bahwa sistem tersebut tidak ada uap air. (Tampubolon dan Robert, 2005)



Gambar 2.11 Sight Glass (Kusuma, 2014)

2.2.4 Filter Dryer

Alat ini berfungsi untuk menyaring kotoran dari sistem. Pada alat ini di dalamnya terdapat *silica gel*. *Silica gel* inilah yang dapat menyerap kotoran dari sistem. *Silica gel* dapat mempertahankan kelembabab yang akan masuk ke dalam evaporator. Filter dryer dipasang pada *liquid line*, yakni saluran yang menghubungkan antara kondensor dengan pipa kapiler. (Tampubolon dan Robert, 2005)

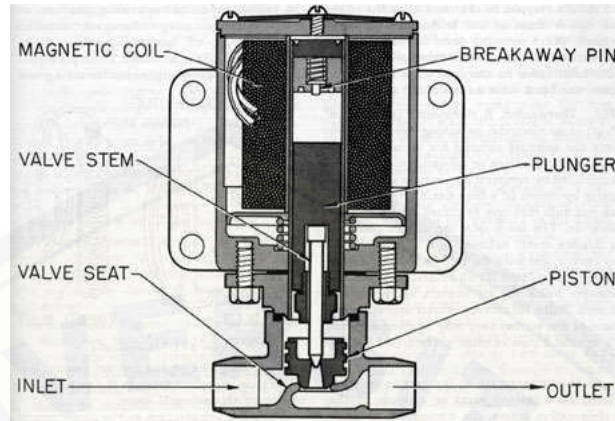


Gambar 2.12 Filter Dryer (Kusuma, 2014)

2.2.5 Kran Solenoid

Alat ini mempunyai fungsi untuk mengalirkan dan menghentikan *refrigerant* dalam sistem refrigerasi dan tata udara. Cara kerja dari alat ini adalah apabila plunyer (inti besi) dialiri arus listrik maka plunyer tersebut akan menjadi medan magnet sehingga akan menarik plunyer ke atas dan menyebabkan katup menjadi terbuka dan aliran *refrigerant* pun akan mengalir, sedangkan apabila arus listrik diputus maka tidak akan terjadi medan magnet pada plunyer dan dengan karena beratnya plunyer tersebut akan turun ke bawah dan menutup aliran *refrigerant*. Pada berbagai aplikasi, katup solenoid juga dapat digunakan sebagai

alat bantu untuk menghilangkan bunga es pada evaporator dengan metode *hot gas*. (Tampubolon dan Robert, 2005)

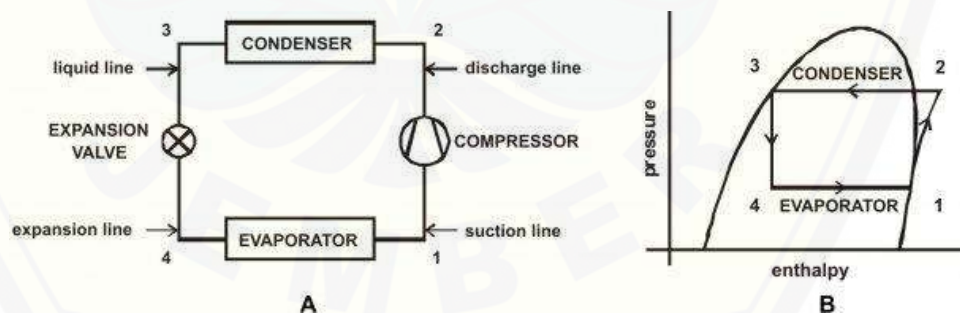


Gambar 2.13 Kran Solenoid (Kusuma, 2014)

2.3 Siklus Refrigerasi

2.3.1 Siklus Refrigerasi Sederhana

Siklus refrigerasi adalah siklus yang bekerja dengan mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi. Dalam siklus refrigerasi perpindahan kalor dilakukan dengan menggunakan kerja dari luar sistem. Ilustrator tentang refrigerator dapat dilihat pada dambor di bawah. (Handoyo dan Lukito, 2002)



Gambar 2.14 Siklus Refrigerasi Sederhana (Widodo, 2014)

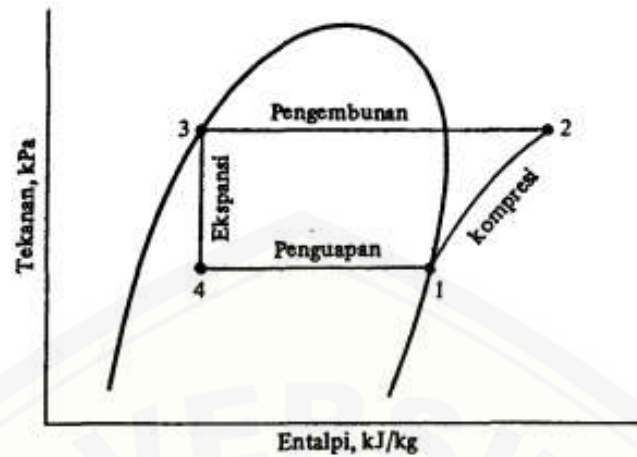
Siklus refrigerasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*) dimana *refrigerant* mengalami proses penguapan, kondensasi, dan dikompresi dalam fasa uap.

- b. Siklus gas (*gas refrigeration cycle*), dimana *refrigerant* tetap dalam kondisi gas.
- c. Siklus bertingkat (*cascade refrigeration cycle*), dimana merupakan gabungan lebih dari satu siklus refrigerasi.
- d. Siklus absorpsi (*absorption refrigeration cycle*), dimana *refrigerant* dilarutkan dalam sebuah cairan sebelum dikompresi.

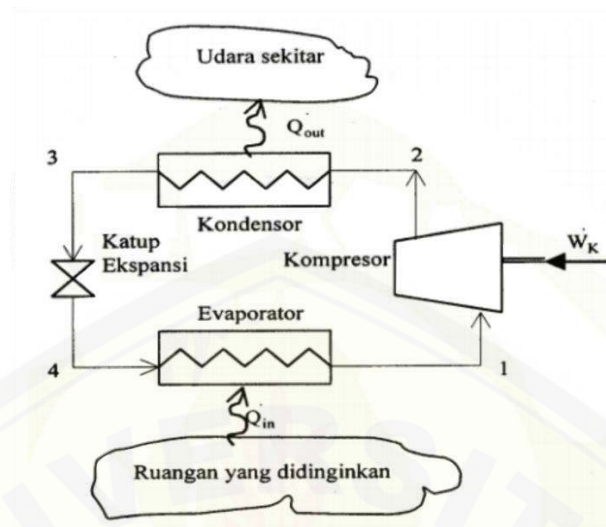
Sistem refrigerasi yang umum dan mudah dijumpai pada aplikasi sehari-hari, baik untuk keperluan rumah tangga, komersial, dan industri adalah sistem refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration*). (Anwar, 2010) Fluida kerja atau *refrigerant* pada siklus refrigerasi kompresi uap diberikan tekanan. Kemudian tekanan fluida diturunkan agar fluida tersebut dapat menguap kembali. Perubahan energi kinetik dan potensial pada saat menganalisa tiap komponen diabaikan, karena besar perubahan entalpi pada saat melalui komponen tersebut jauh lebih besar dibanding perubahan energi kinetik dan potensial. (Handoyo dan Lukito, 2002)

Menurut Pramana (2014), mesin pendingin dengan siklus kompresi uap yaitu mesin pendingin yang kerjanya berasal dari kompresor. Penyerapan kalor dilakukan oleh *refrigerant* dalam evaporator yang memiliki temperatur dan tekanan yang rendah. Didalam evaporator, *refrigerant* menyerap kalor dari fasa uap jenuh lalu masuk ke kompresor. *Refrigerant* menjadi gas yang bertemperatur dan bertekanan tinggi karena adanya kerja dari kompresor. Untuk melepaskan kalor yang diserap oleh evaporator, *refrigerant* diembunkan dalam kondensor sehingga *refrigerant* menjadi cair. Sebelum memasuki evaporator, *refrigerant* diekspansikan melalui alat ekspansi dengan cara dikabutkan guna menurunkan temperatur dan tekanan.



Gambar 2.15 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap (Stoecker dan Jones, 1996)

Proses 1-2 merupakan proses kompresi isentropik yang terjadi pada kompresor. Tekanan, temperatur, dan entalpi *refrigerant* naik pada proses tersebut. *Refrigerant* mengalami perubahan fase dari uap kering menjadi uap lanjut. Proses 2-3 menunjukkan pelepasan kalor secara isobarik yang menyebabkan penurunan panas lanjut dan pengembunan *refrigerant*. Temperatur dan entalpi *refrigerant* turun dan mengalami perubahan fase dari uap panas lanjut menjadi cair. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi secara isoentalpi, dari fasa cair menuju tekanan evaporator. Tekanan dan temperatur *refrigerant* turun, mengalami perubahan fasa dari cair menjadi uap jenuh. Proses ini pada mesin pendingin terjadi di dalam pipa kapiler atau alat ekspansi. Dan pada proses 4-1 merupakan proses penyerapan kalor dan penguapan pada tekanan konstan (isobarik). Temperatur dan entalpi *refrigerant* naik dan *refrigerant* mengalami perubahan fase dari uap campuran menjadi uap jenuh (Pramana, 2014)



Gambar 2.16 Skematik Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap Standart
(Handoyo, 2002)

Dengan bantuan diagram entalpi tekanan, besaran yang penting dalam sistem refrigerasi kompresi uap dapat diketahui. Besaran-besaran ini antara lain kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi (COP), laju aliran massa, dan daya refrigerasi. Koefisien prestasi dari sistem kompresi uap adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi.

$$\text{COP} = \frac{qe}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.1)$$

Keterangan:

qe = Efek refrigerasi, (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluar evaporator, (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_2 = Entalpi *refrigerant* keluar kompresor, (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_4 = Entalpi *refrigerant* masuk evaporator, (kJ/kg) atau (Btu/lb)

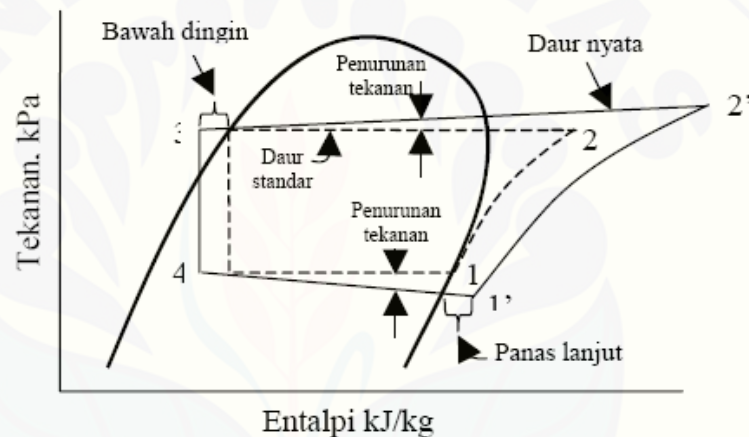
2.3.2 Siklus Kompresi Uap Aktual

Menurut Pramacakrayuda dkk. (2010), siklus kompresi uap kenyataannya mengalami penyimpangan dari kompresi uap standar. Perbedaan penting siklus kompresi uap aktual dari siklus kompresi uap standar adalah:

1. Terjadinya penurunan tekanan disepanjang pipa kondensor dan evaporator.

2. Adanya proses dibawah dingin (*subcooling*) cairan yang meninggalkan kondensor sebelum memasuki katup ekspansi.
3. Pendinginan lanjut uap yang meninggalkan evaporator sebelum memasuki kompresor.
4. Terjadi kenaikan entropi pada saat proses kompresi (kompresi tak isentropik)
5. Proses kompresi berlangsung non-adiabatik

Walaupun siklus aktual tidak sama dengan siklus standar, tetapi proses ideal dalam siklus standar sangat bermanfaat dan diperlukan untuk mempermudah analisis secara teoritik.



Gambar 2.17 Siklus Kompresi Uap Standart dan Aktual (Stoecker dan Jones, 1996)

2.3.3 Dampak Refrigerasi dan Kerja Kompresi

Besarnya kalor yang diambil oleh *refrigerant* pada evaporator dari lingkungannya akan sebanding dengan selisih entalpi antara keluaran dan masukan evaporator. Fenomena ini dikenal sebagai efek refrigerasi

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (2.2)$$

Keterangan:

q_e = Efek refrigerasi (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluar evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_4 = Entalpi *refrigerant* masuk evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

Kerja kompresi adalah perubahan entalpi pada proses 1 -2 pada gambar 2.11 atau $h_1 - h_2$. Hubungan ini diturunkan dengan persamaan:

$$h_1 + q = h_2 + w \quad (2.3)$$

Dengan perubahan energi kinetik dan energi potensial yang diabaikan karena pada kompresi adiabatik perpindahan kalor q nilainya nol, maka kerja w sama dengan $h_1 - h_2$. Perbedaan entalpi merupakan besaran negatif yang menunjukkan bahwa kerja diberikan kepada sistem.

Entalpi *refrigerant* akan mengalami kenaikan akibat energi yang ditambahkan oleh kompresor kepada *refrigerant* pada proses kompresi. Besarnya kenaikan energi *refrigerant* akan sebanding dengan kerja kompresor (Stoecker and Jones, 1996) yang dinyatakan dengan:

$$W = h_1 - h_2 \quad (2.4)$$

Keterangan:

W = Kerja kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluar kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_2 = Entalpi *refrigerant* masuk kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)

2.3.4 Kapasitas Refrigerasi

Kapasitas refrigerasi adalah laju aliran masa dikalikan pengurangan *refrigerant* yang meninggalkan dan memasuki evaporator. Besarnya kapasitas refrigerasi dinyatakan dengan:

$$Q = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (2.5)$$

Keterangan:

Q = Kapasitas refrigerasi (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/det) atau (gr/det)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluar evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_4 = Entalpi *refrigerant* masuk evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

2.4 Bahan Pendingin (*Refrigerant*)

Refrigerant adalah media pembawa kalor yang bersirkulasi didalam mesin pendingin yang fasenya bisa berubah dari uap menjadi cair atau sebaliknya. Untuk sistem refrigerasi kompresi uap, *refrigerant* menyerap panas didalam evaporator pada temperatur dan tekanan rendah serta melepaskan panas pada kondensor pada tekanan serta temperatur tinggi (Pramana, 2014)

2.4.1 Persyaratan *Refrigerant*

Refrigerant yang dipilih hendaknya sesuai dengan jenis kompresor yang dipakai serta karakteristik termodinamika yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan.

Persyaratan *refrigerant* pada unit refrigerasi menurut Arismunandar (1991) adalah sebagai berikut:

1. Tekanan penguapan harus cukup tinggi

Refrigerant hendaknya memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator serta turunnya efisiensi volumetric karena naiknya perbandingan kompresi.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi

Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Dengan tekanan pengembunan yang rendah sistem menjadi lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan menjadi lebih kecil.

3. Kalor laten penguapan harus tinggi

Refrigerant yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah *refrigerant* yang bersirkulasi lebih kecil.

4. Volume spesifik (terutama dalam fase gas) yang cukup kecil

Refrigerant dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian, untuk kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.

5. Koefisien prestasi harus lebih tinggi
Dari segi karakteristik termodinamika dari *refrigerant*, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menekan biaya operasi.
6. Konduktifitas termal yang tinggi
Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.
7. Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas.
Dengan turunnya tahanan aliran *refrigerant* dalam pipa, kerugian tekanan akan berkurang.
8. Konstanta dielektrika dari *refrigerant* yang kecil
Tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik (utamanya untuk kompresor hermatik)
9. *Refrigerant* hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, sehingga tidak menyebabkan korosi.
10. *Refrigerant* tidak boleh beracun dan berbau merangsang
11. *Refrigerant* harus mudah terdeteksi, jika terjadi kebocoran
12. *Refrigerant* tidak boleh mudah terbakar dan meledak
13. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh
14. Ramah lingkungan

2.4.2 Jenis-jenis *Refrigerant*

Proses pendinginan memerlukan suatu bahan yang mudah berubah fasa dari cair menjadi gas maupun sebaliknya. Proses perubahan fasa tersebut berfungsi untuk mengambil kalor melalui evaporator dan membuangnya melalui kondensor. Bahan pendingin tersebut disebut *refrigerant*. *Refrigerant* memiliki

beberapa karakteristik termodinamika antara lain temperatur penguapan, temperatur pengembunan, dan tekanan pengembunan.

Adapun macam-macam *refrigerant* yaitu:

- a. *Refrigerant fluorocarbon* terhidrogenasi (HFC), yang terdiri dari *hydrogen*, *fluorin*, dan karbon. Karena mereka tidak menggunakan atom klor (yang digunakan dalam sebagian besar *refrigerant*) mereka dikenal sebagai salah satu yang paling merusak lapisan ozon kita.
- b. *Refrigerant* klorofluorokarbon terhidrogenasi (HCFC), yang terdiri dari *hydrogen*, klorin, *fluorin*, dan karbon. *Refrigerant* ini mengandung jumlah minimal klorin, yang tidak merusak lingkungan karena berbeda dari *refrigerant* lain.
- c. *Refrigerant* klorofluorokarbon (CFC), yang mengandung klorin, *fluorin* dan karbon. *Refrigerant* ini membawa jumlah kaporit yang tinggi sehingga dikenal sebagai *refrigerant* yang paling berbahaya untuk merusak lapisan ozon.

2.4.3 Dampak Penggunaan *Refrigerant*

Refrigerant atau *Freon* adalah fluida yang memiliki peran penting dalam kinerja mesin pendingin. Banyak mesin pendingin yang masih menggunakan *chlorofluorocarbon* atau CFC sebagai *refrigerant*. CFC memiliki sifat yang stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan cocok untuk komponen-komponen mesin pendingin. Namun, pada akhir tahun 1970-an ditemukan bahwa CFC dapat merusak lapisan ozon.

Lapisan ozon adalah lapisan yang melindungi bumi dari radiasi yang berbahaya. CFC juga menjadi salah satu penyebab dari efek rumah kaca. Gas rumah kaca disebabkan karena meningkatnya konsentrasi gas karbondioksida dan gas berbahaya lainnya di atmosfer. Gas-gas ini banyak disebabkan oleh pembakaran bahan bakar minyak dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan dan laut untuk mengabsorbsinya.

Mesin pendingin komersial pada umumnya menggunakan R12 atau R134a sebagai *refrigerant* karena memiliki karakteristik yang sangat baik. Namun

menurut protokol Monreal dan Kyoto, R12 dilarang penggunaannya. Penggunaan R134a sebagai *refrigerant* juga dikurangi. Alasan dilarangnya penggunaan R12 adalah karena memiliki ODP. Adapun pengurangan penggunaan R134a disebabkan oleh tingginya GWP (El-Morsi, 2015)

Tabel 2.1 ODP dan GWP beberapa refrigerant

Refrigerant	Chemical Formula	Liquid Density (kg/m ³) at 20 °C	ODP	GWP
R12	CCl ₂ F ₂	1328,9	1	10,900
R134a	CH ₂ FCF ₂	1225,3	0	1430
R290	C ₃ H ₈	500,1	0	<20
R600a	C ₄ H ₁₀	556,9	0	<20
R436a	CH ₃ H ₈ +C ₄ H ₁₀	525	0	<20

(Sumber: Rasti, 2012)

Telah banyak diciptakan *refrigerant* yang tidak merusak lingkungan sebagai pengganti CFC. *Refrigerant* tersebut adalah HC (Hidrokarbon). Hidrokarbon memiliki beberapa kelebihan antara lain ramah lingkungan yang ditunjukkan dengan nilai ODP (*Ozon Depleting Potential*) nol, dan nilai GWP (*Global Warming Potential*) yang dapat diabaikan. Hidrokarbon juga memiliki karakteristik perpindahan kalor yang baik, kerapatan fasa uap yang rendah dan kelarutan yang baik dengan pelumas mineral.

2.4.4 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) adalah salah satu *refrigerant* hidrokarbon yang merupakan campuran dari propana dan butana. LPG yang dijual di Indonesia memiliki konsentrasi 50% propana dan 50% butana. Sebagai *refrigerant* hidrokarbon maka LPG tidak mempunyai potensi sebagai zat yang dapat menyebabkan efek pemanasan global karena tidak memiliki *Global Warming Potential* (GWP).

Komponen LPG didominasi propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil misalnya etana (C₂H₆)

dan pentana (C_5H_{12}). Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan, dan suhu, tetapi biasanya sekitar 250 : 1 (Yudisworo 2014).

Tabel 2.2 Karakteristik Propana dan Butana

Sifat-sifat	Propana	Butana
Rumus kimia	C_3H_8	C_4H_{10}
Temperatur pijar ($^{\circ}C$)	470 – 510	490
Temperatur bakar – Udara ($^{\circ}C$)	1025	1900
Temperatur bakar – O_2 ($^{\circ}C$)	2500	4925
Temperatur didih ($^{\circ}C$)	-42	-0,5
Berat jenis terhadap udara	1,55	2,09
Massa molekul	44,10	58,13
Temperatur kritis ($^{\circ}C$)	96,8	152
Tekanan kritis	4254	3794
Titik beku ($^{\circ}C$)	-187,7	-138,5

(Sumber: Kusuma, 2015)

Berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009, komposisi produk LPG minimal mengandung campuran propana dan butana sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran pentana dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi propana dan butana dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan (145 psi). Komposisi campuran tersebut dijaga pada level tekanan 120 psi atau 8 bar atau 8 kali tekanan

udara luar. Komposisi tersebut juga telah mempertimbangkan keamanan dan kemampuan aksesoris sesuai standar SNI.

Beberapa sifat yang dimiliki oleh gas LPG antara lain:

a. Wujud

Gas LPG yang ada di dalam tabung berwujud cair dan sebagian berwujud uap. Namun apabila gas tersebut dikeluarkan dari tabung, wujudnya berubah menjadi gas. Wujud awal dari LPG adalah gas, dan di pasaran dijual dalam bentuk cair. Dengan adanya perubahan wujud akibat temperatur dan tekanan, maka volume gas juga berubah.

b. Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis gas yaitu banyaknya massa (kg) dari gas yang mempunyai volume sebesar $1,0 \text{ m}^3$ pada kondisi tertentu (diukur pada temperatur 0°C dan tekanan 1013 bar / $1,013 \text{ kg/cm}^2$). Massa jenis gas *propane* adalah $2,004 \text{ kg/m}^3$, gas butane adalah $2,703 \text{ kg/m}^3$, dan udara sebesar $1,293 \text{ kg/m}^3$. Dari sini bisa diketahui bahwa dengan volume yang sama yaitu $1,0 \text{ m}^3$, massa propane, butane dan udara berbeda-beda.

c. *Spesific Gravity*

Spesific Gravity adalah perbandingan antara massa jenis fluida (*fluid density*) dengan massa jenis fluida tertentu (*specified reference density*). Massa relatif gas adalah perbandingan antara massa jenis gas dengan massa jenis udara (udara luar atau udara bebas). Massa jenis relatif udara adalah 1. Massa jenis relatif dari propane yaitu $2,004 \text{ kg/m}^3 : 1,293 \text{ kg/m}^3$ sama dengan 1,55 dan massa jenis relatif dari butane adalah 2,09. Apabila massa jenis relatif dari suatu gas lebih kecil daripada 1, maka gas tersebut akan naik ke udara. Namun apabila massa jenis relatifnya lebih kecil dari 1, maka gas tersebut akan turun ke tanah (mencari/mengalir ke tempat yang lebih rendah).

d. Temperatur Nyala (*ignition temperature*)

Temperatur nyala untuk propane adalah 5100°C , sedangkan butane adalah 4600°C . dari data ini kita bisa tahu bahwa apabila adalah LPG yang terlepas atau bocor dari tabung gas ke udara bebas, gas tersebut tidak akan

terbakar dengan sendirinya. Karena temperatur udara bebas biasanya sekitar 27°C. Untuk menimbulkan nyala pada peralatan yang menggunakan bahan bakar gas, misalnya kompor gas, kita menggunakan alat penyalu atau api penyalu. Apabila temperatur udara bebas ini minimal sama dengan temperatur nyala, maka gas tersebut berada dalam kondisi *autoignition* temperatur yaitu temperatur terendah dimana bahan akan terbakar dengan sendirinya tanpa diberi sumber nyala.

e. Batas Nyala (*flammable range*)

Batas nyala (*flammable range*) atau disebut juga batas meledak (*explosive range*) adalah perbandingan campuran (dalam bentuk prosentase) antara gas dengan udara, dimana pada batas tersebut dapat terjadi nyala api atau ledakan. Nilai batas nyala bawah disebut juga *lower explosive limit* (LEL) yaitu batas minimal konsentrasi uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api, gas tersebut akan terbakar. Nilai batas atau *upper explosive limit* (UEL) yaitu batas konsentrasi maksimal uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api, gas tersebut akan terbakar. Batas nyala (*flammable range*) untuk propana adalah antara 2,4% sampai dengan 9,6% dan butana antara 1,9% sampai dengan 8,6%. Ini artinya bahwa misalnya terjadi campuran 2,4% propana dengan 97,6% udara, maka campuran tersebut akan dapat menyala, tetapi jumlah gas propana ini merupakan jumlah yang minimal. Apabila jumlah propana kurang dari 2,4% maka tidak akan terjadi nyala. Demikian sebaliknya, apabila jumlah propana lebih dari 9,6% juga tidak akan terjadi nyala. Sebagai contoh terjadi campuran 15% propana dan 85% udara, maka tidak akan terjadi nyala. Jadi kesimpulannya bahwa meskipun ada sumber api tetapi karena perbandingan campuran antara propane dengan udara di bawah atau di atas batas nyala (*flammable range*), maka tidak akan terjadi pembakaran. Dengan mengetahui batas nyala (*flammable range*) dari gas, kita bisa mencegah dan mengantisipasi bahaya dari LPG tersebut. Dengan mengetahui bahwa gas akan terbakar apabila mempunyai campuran dengan udara dengan perbandingan tertentu, maka apabila ada gas yang

bocor, salah satu tindakan sederhana yang bisa dilakukan adalah dengan membuka pintu atau jendela atau berusaha mengipas-ngipas gas tersebut agar keluar ruangan. Hal ini dimaksudkan gas tersebut komposisi campurannya kurang dari 1,9% (untuk gas propana). Dengan demikian gas tersebut tidak bisa terbakar, meskipun ada sumber api.

2.5 Penelitian Terdahulu

Akash dan Said (2003) meneliti tentang perbandingan penggunaan *refrigerant* LPG dengan *refrigerant* R22 menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa nilai kapasitas pendinginan dan COP dari mesin pendingin yang menggunakan *refrigerant* LPG lebih tinggi dibandingkan dengan R22. Penggunaan LPG sebagai *refrigerant* dapat berkontribusi langsung terhadap lingkungan yaitu pengurangan pemanasan rumah kaca dan penipisan ozon.

Fatouh dan Kafafy (2006) meneliti mengenai penggunaan *refrigerant* LPG dengan R134a didalam mesin pendingin kulkas (*refrigerator*) menggunakan metode eksperimental berdasarkan prestasi kerja mesin pendingin (COP). Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa *refrigerator* yang menggunakan LPG sebagai *refrigerant* 7,6% lebih baik dibandingkan dengan R134a. Konsumsi energi ketika menggunakan LPG 10,8% lebih rendah dibandingkan menggunakan R134a.

Oyelami dan Bolaji (2015) meneliti mengenai perbandingan kinerja mesin pendingin dengan menggunakan *refrigerant* LPG dengan *refrigerant* R134a. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa hampir semua koefisien dari penggunaan *refrigerant* LPG memiliki rata-rata 11,16% lebih tinggi dari *refrigerant* R134a. Kapasitas pendinginan menggunakan *refrigerant* LPG memiliki nilai 4,3% lebih tinggi dari *refrigerant* R134a.

Hua dkk. (2013) meneliti dan mengklarifikasi dari peforma termodinamika dari *liquid-vapor condenser* menggunakan metode eksperimental. Penelitian membandingkan antara model kondensor biasa dengan *liquid-vapor separation condenser*. Dari hasil penelitian membuktikan bahwa hasil yang ditunjukkan dari

sistem *Liquid-vapor separation condenser* sangat baik sesuai dengan perhitungan secara teori. Desain yang sangat bagus dari *Liquid-vapor separation condenser* terbukti memiliki perpindahan panas tinggi dan pressure drop yang rendah dibandingkan dengan kondensor biasa.

Zheng dkk. (2014) meneliti sekaligus membandingkan kinerja mesin pendingin yang terpasang pada mobil berdasarkan model kondensor yaitu *Parallel flow micro-channel condenser* (PFMC) dengan *Liquid-vapor separation micro-channel condenser* (LSMC). Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa kapasitas pendinginan *Liquid-vapor micro-channel condenser* (LSMC) 5,18% lebih tinggi dari *parallel flow micro-channel condenser* (PFMC). Prestasi kerja dari serangkaian sistem LSMC lebih baik dibandingkan dengan serangkaian sistem PFMC.

Zhong dkk. (2014) meneliti performa kinerja mesin pendingin dengan membandingkan antara *liquid vapor separation condenser* (LSC), *parallel-flow condenser* (PFC), dan kondensor biasa menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa terjadi peningkatan kinerja sistem melalui koefisien perpindahan panas pada *liquid-vapor separation condenser* (LSC). Pressure drop pada LSC mengalami penurunan sebesar 77,1%-81,4% dibandingkan kondensor biasa dan dibandingkan *parallel-flow condenser* sebesar 57,5%-64,6%.

Luo dkk. (2015) melakukan penelitian lebih lanjut mengenai *organic rankine cycle* yang terjadi pada kondensor dengan membandingkan kinerja kondensor biasa dengan *separation condenser*. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dan dibantu program simulasi *Mixed-integer nonlinear programming* (MINLP). MINLP membuktikan bahwa *separation condenser* mampu meningkatkan kinerja dari *organic rankine cycle* karena memiliki koefisien perpindahan panas yang tinggi, tekanan yang lebih rendah dan lebih ringkas yang mampu menghemat energi sekaligus mengurangi biaya produksi.

Li dan Hrnjak (2017) meneliti mengenai kinerja mesin pendingin dengan membandingkan *separation condenser* dan kondensor biasa yang menggunakan metode eksperimental dan dilakukan evaluasi menggunakan program *Engineering*

Equation Solver (EES). Hasil penelitian membuktikan bahwa laju aliran masa pada *separation condenser* menghasilkan temperatur 1,3 K lebih rendah dibandingkan dengan kondensor biasa. *Separation condenser* dengan menggunakan header bertingkat menambah efisiensi kerja kompresor. Perpisahan sirkuit pada *separation condenser* mampu meningkatkan kinerja kondensor biasa menjadi lebih efektif. Peningkatan COP sebesar 1,3% sampai 6,6% dibandingkan dengan kondensor biasa.

2.6 Hipotesis

Separation condenser akan mempercepat perpindahan panas. Konveksi paksa yang dihasilkan dari kerapatan jenis fluida yang meningkat karena adanya pemisahan fasa antara uap jenuh dengan cairan akan mempercepat proses pelepasan kalor pada kondensor, sehingga suhu refrigeran keluaran kondensor akan semakin turun. Turunnya suhu keluaran kondensor akan menurunkan kerja kompresi. Semakin turun nilai kerja kompresi maka akan meningkatkan koefisien prestasi (COP) dari mesin pendingin.

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan memvariasikan model kondensor yaitu kondensor biasa, *separation condenser* tipe A, *separation condenser* tipe B, *separation condenser* tipe C, dan *separation condenser* tipe D menggunakan *refrigerant liquified petroleum gas* (LPG). Variasi ini dilakukan dengan cara mengganti kondensor biasa menjadi bentuk *separation condenser* yang memiliki ukuran kondensor yang sama. Berdasarkan data tersebut, kondisi *refrigerant* pada setiap titiknya dapat ditentukan dengan cara menghitung dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, koefisien prestasi, dan daya kompresor pada sistem refrigerasi untuk setiap variasi kondensor.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Patrang Jalan Slamet Riyadi pada bulan Maret 2018. Kegiatannya antara lain: pembuatan dan pemasangan alat, pengujian dan pengambilan data.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

- a. Mesin pendingin kulkas tipe NR-A15KE
- b. Kondensor dengan model berbeda yaitu kondensor biasa 10 U dan *separation condenser* 10 U
- c. *Pressure gauge* tipe AU-PG1395, sebagai pengukur tekanan
- d. *Manifold gauge*, sebagai alat penghubung serta pengisi *refrigerant*
- e. Las dan *filler metal*

f. *Thermocouple* tipe K

Termokopel yang digunakan adalah tipe K yang memiliki panjang kabel 3m dan rentang pengukuran (0-1250 °C).

g. Tabung gas LPG 3 kg sebagai wadah *refrigerant*

h. Pemotong pipa menggunakan jenis *tubing cutter*

i. *Regulator high pressure* LPG

3.3.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan pada saat penelitian adalah kondensor biasa dan *separation condenser* sedangkan bahan sebagai pengisi refrigerator adalah *refrigerant* LPG.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah faktor-faktor yang nantinya akan diukur dan dipilih oleh peneliti untuk melihat adanya keterkaitan di antara fenomena atau peristiwa yang diteliti. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi model kondensor antara lain kondensor biasa, *separation condenser* tipe A, *separation condenser* tipe B, *separation condenser* tipe C, dan *separation condenser* tipe D. *Refrigerant* yang digunakan yaitu LPG dengan massa 50 gram.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas Sugiyono (2013). Variabel terikat pada penelitian ini adalah tekanan dan temperatur pada titik yang akan dicari yaitu : temperatur *refrigerant* keluar dari evaporator (T1), temperatur *refrigerant* masuk ke kondensor (T2), temperatur *refrigerant* keluar dari kondensor (T3), temperatur *refrigerant* masuk ke evaporator (T4), temperatur ruangan kulkas (T5), temperatur *refrigerant* masuk kompresor (T6), temperatur *refrigerant* pada pipa bagian atas

separation condenser (T7), temperatur *refrigerant* sambungan pipa *separation condenser* (T8), temperatur *refrigerant* pada pipa bagian bawah *separation condenser* (T9), tekanan masuk kompresor (P1), tekanan keluar kompresor (P2), dan tekanan keluar kondensor (P3). Selain itu, untuk mengetahui nilai dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas dan koefisien prestasi mesin pendingin.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Alat Pengujian

Alat pengujian yang digunakan yaitu lemari es satu pintu. Persiapan alat pengujian dilakukan dengan instalasi perpipaan sesuai kebutuhan meliputi pemasangan kondensor serta pemasangan termokopel dan pressure gauge untuk mengetahui suhu dan tekanan pada titik yang telah ditentukan.

3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Sebelum melakukan penelitian pada komponen mesin pendingin, hendaknya melakukan pemeriksaan termasuk uji coba alat uji. Alat uji akan siap digunakan apabila alat uji dan komponen ujinya berjalan sesuai fungsinya.

3.5.3 Tahap Pengambilan Data

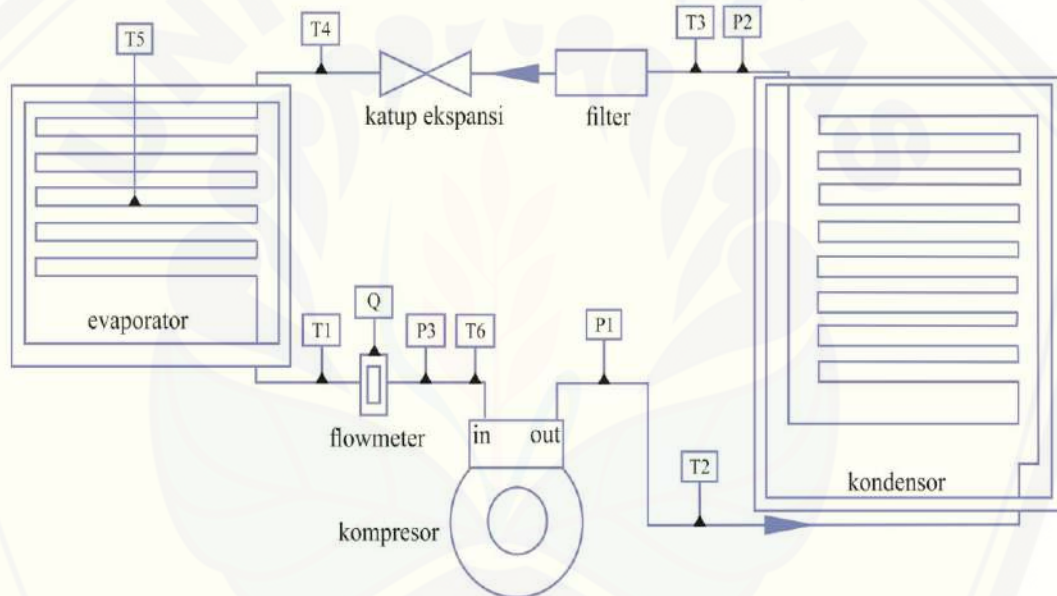
Tahap - tahan pengambilan data pada penelitian dijelaskan sebagai berikut :

1. Mengoperasikan mesin pendingin dalam waktu kurun waktu 3 jam dari waktu penyalaan hingga kondisi mesin tersebut steady state
2. Melakukan pengujian pada variasi model kondensor yaitu kondensor biasa dengan *separation condenser*
3. Mencatat pengujian temperature dan tekanan yang ditempatkan pada titik-titik tertentu setiap 15 menit sekali dalam waktu 3 jam
4. Pengujian alat akan dilakukan tiga kali pengulangan pada setiap variasi agar hasilnya akurat
5. Pengumpulan data yang disajikan dalam bentuk tabel

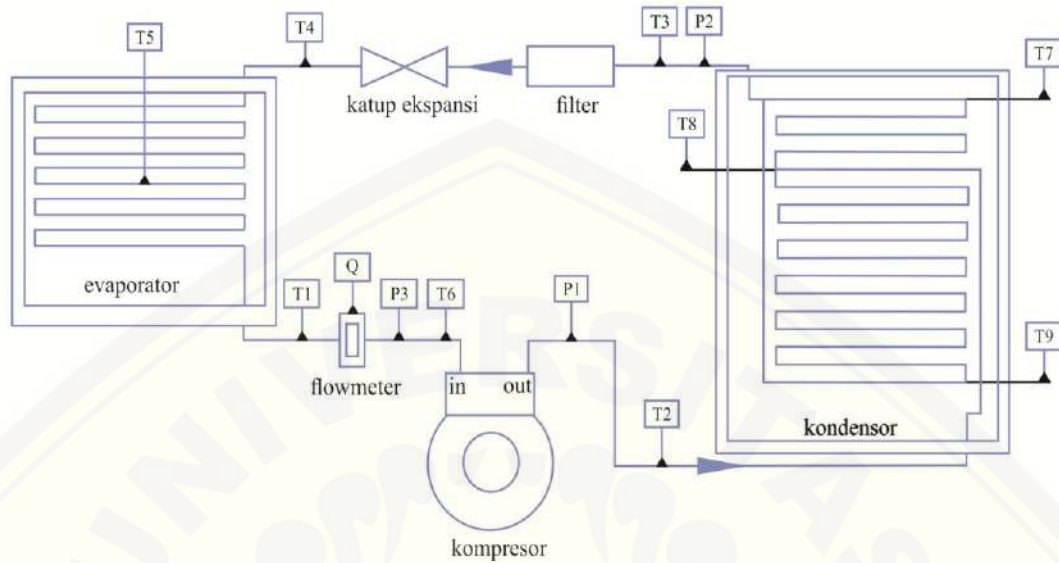
6. Pengolahan data perhitungan baik secara manual maupun dibantu dengan aplikasi *software coolpack*
7. Penyajian data dalam bentuk laporan

3.6 Rangkaian Alat Uji dan Gambar Desain Kondensator

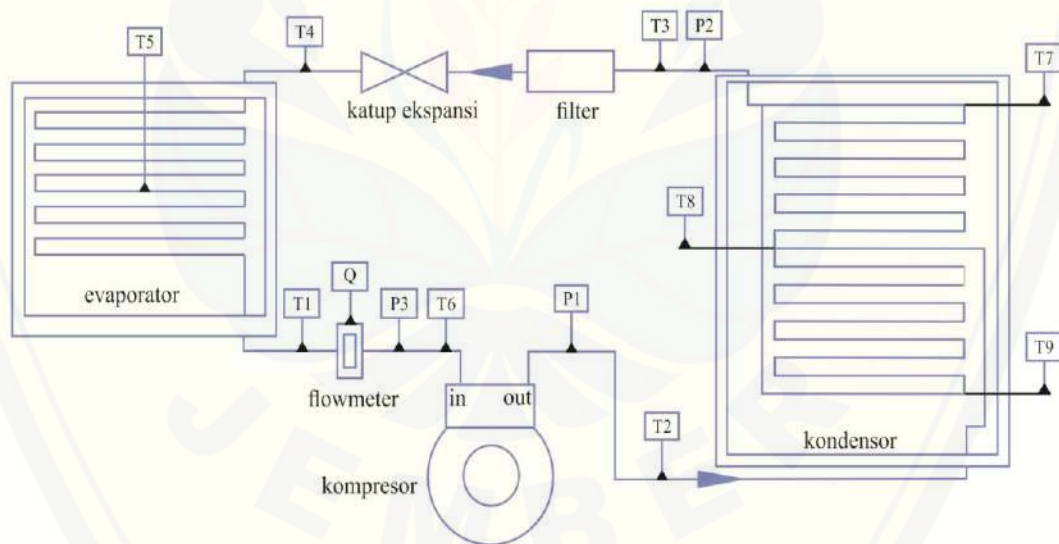
Skema rangkaian alat uji disajikan pada gambar dibawah. Pengambilan data berdasarkan titik tertentu juga disajikan sesuai gambar yang telah dilampirkan dibawah.



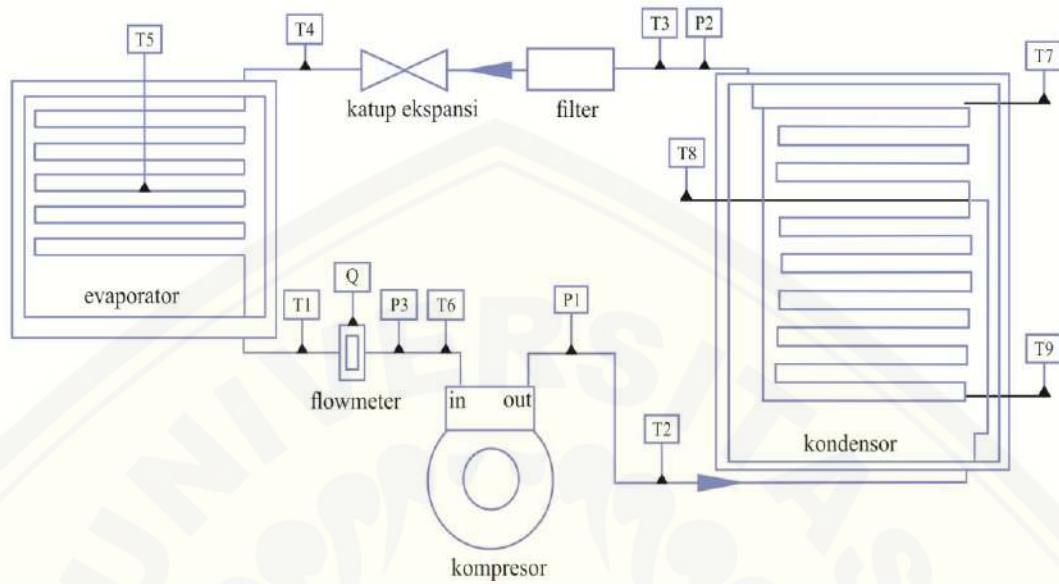
Gambar 3.1 Rangkaian alat uji kondensator biasa



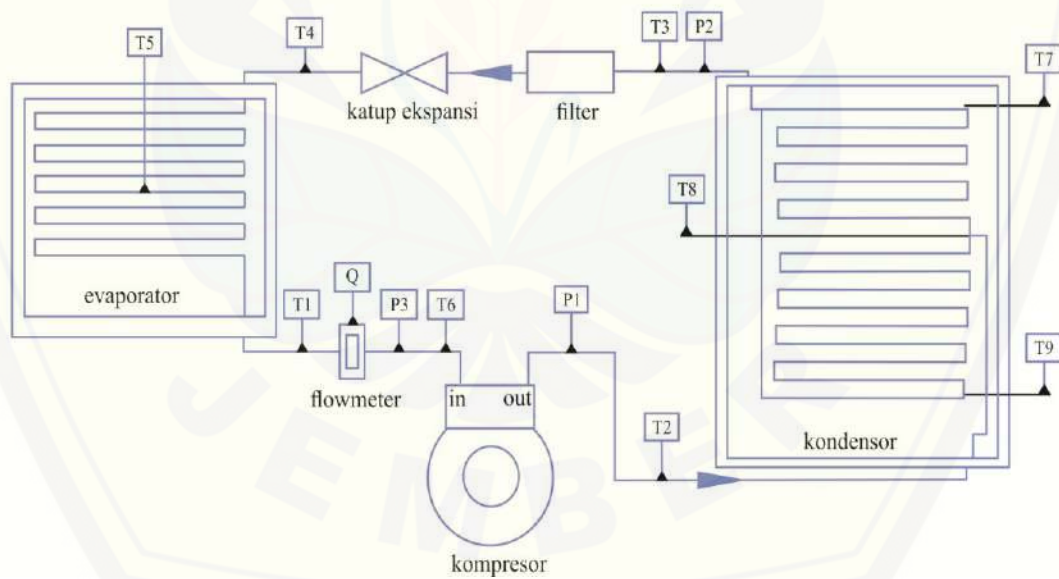
Gambar 3.2 Rangkaian alat uji *separation condenser* tipe A



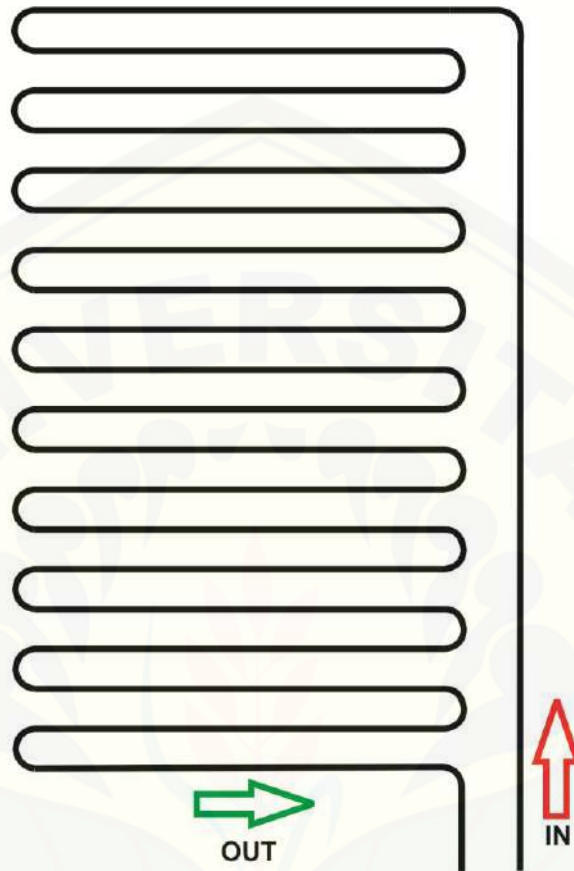
Gambar 3.3 Rangkaian alat uji *separation condenser* tipe B



Gambar 3.4 Rangkaian alat uji *separation condenser* tipe C



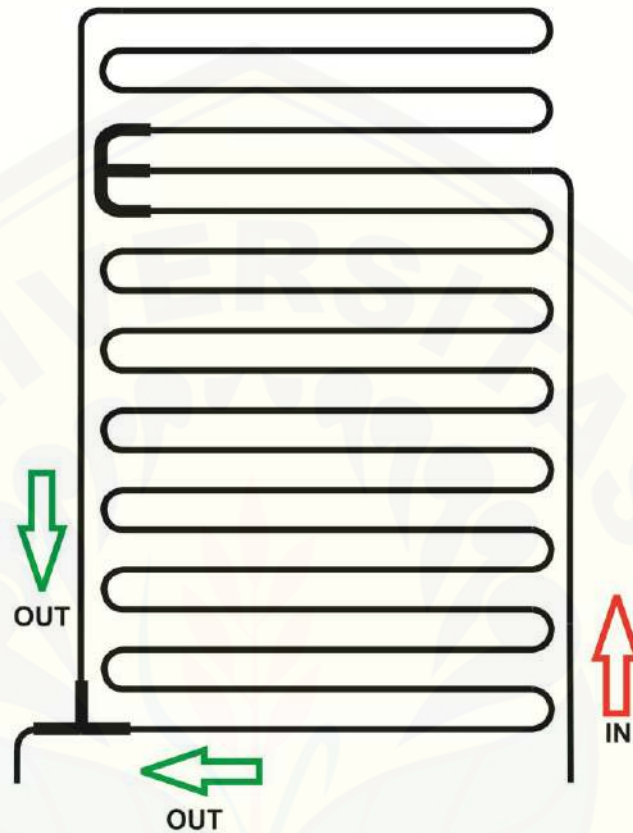
Gambar 3.5 Rangkaian alat uji *separation condenser* tipe D



Gambar 3.6 Desain kondensor biasa

Spesifikasi kondensor :

- Tipe : Kondensor 10 U
Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)
Diameter dalam : 4.0025 mm
Panjang Pipa : 1026 cm



Gambar 3.7 Desain *separation condenser* tipe A

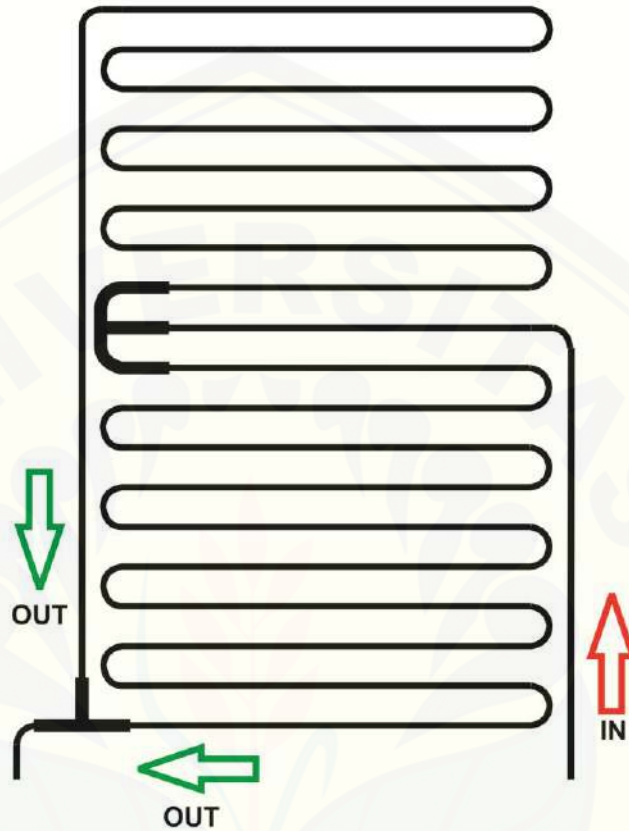
Spesifikasi kondensor :

Tipe : Separation condenser tipe A

Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)

Diameter dalam : 4.0025 mm

Panjang pipa : 1050 cm



Gambar 3.8 Desain *separation condenser* tipe B

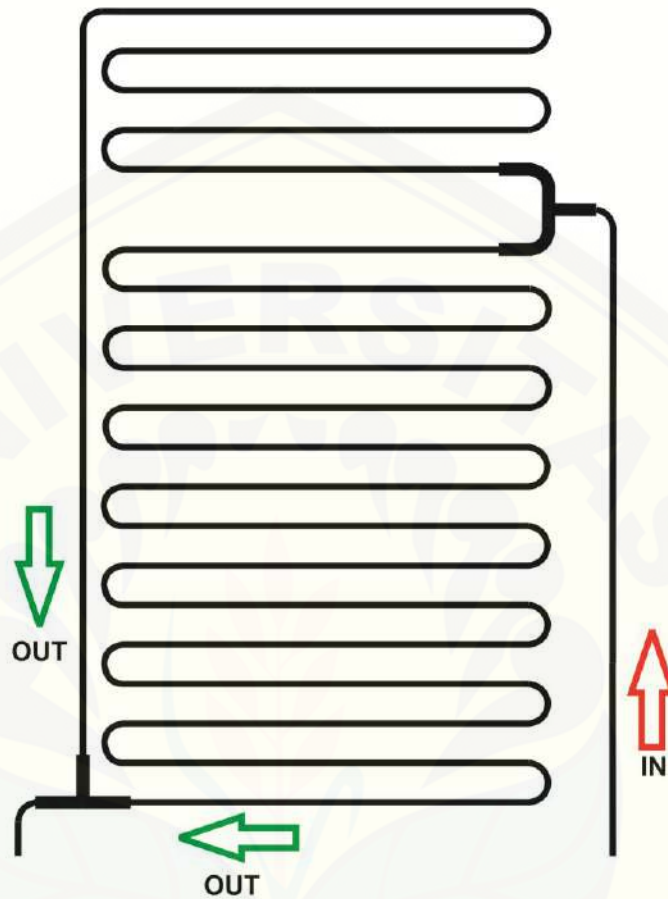
Spesifikasi kondensor :

Tipe : Separation condenser tipe B

Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)

Diameter dalam : 4.0025 mm

Panjang pipa : 1050 cm



Gambar 3.9 Desain *separation condenser* tipe C

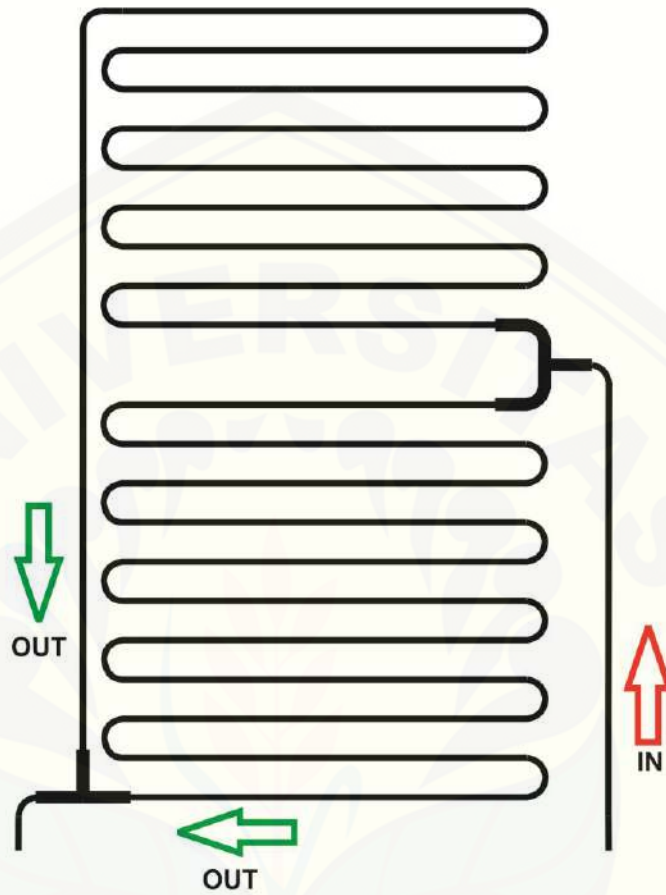
Spesifikasi kondensor :

Tipe : Separation condenser tipe C

Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)

Diameter dalam : 4.0025 mm

Panjang pipa : 1010.5 cm



Gambar 3.10 Desain *separation condenser* tipe D

Spesifikasi kondensor :

- Tipe : Separation condenser tipe D
- Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)
- Diameter dalam : 4.0025 mm
- Panjang pipa : 1010.5 cm

3.7 Pengolahan Data

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari pengujian dengan variasi pemodelan kondensor, maka data tersebut akan di kelola ke dalam rumus sebagai berikut:

a. Mencari nilai entalpi dari suhu yang telah didapatkan dengan menggunakan bantuan *software coolpack*

b. Setelah nilai entalpi diketahui, langkah selanjutnya yaitu menghitung:

1. Kerja Kompresi (kJ/kg)

$$W = (h_2 - h_1)$$

2. Dampak Refrigerasi (kJ/kg)

$$Q_e = (h_1 - h_4)$$

3. Pelepasan kalor (kJ/kg)

$$Q_c = (h_3 - h_2)$$

4. Rasio pelepasan kalor

$$RPK = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$$

5. Kapasitas refrigerasi (kW)

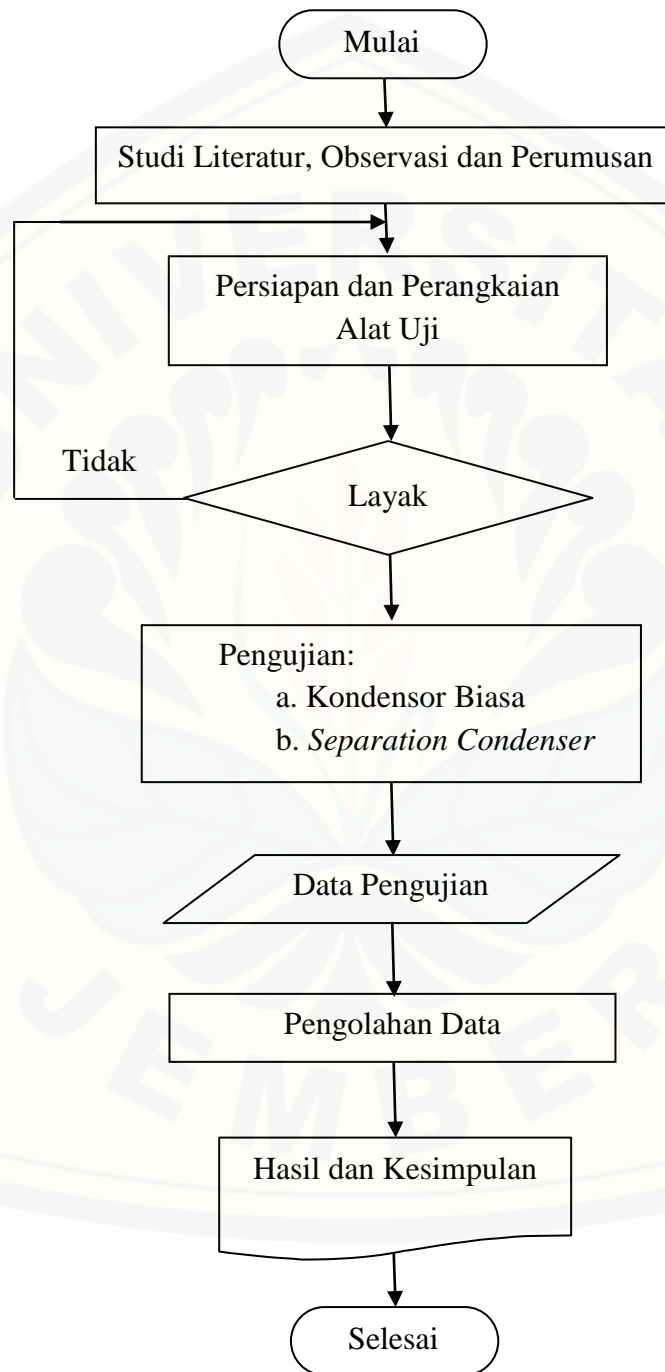
$$Q = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

6. Coefficient of Peformance (COP)

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

3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang variasi model pada kondensor maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan variasi model kondensor memberikan pengaruh pada COP (*Coefficient of Performance*) mesin pendingin kulkas. COP tertinggi pada penelitian ini terdapat pada model kondensor tipe C (*separation condenser* dengan sambungan profil Y dengan 2 U dibagian atas dan 7 U dibagian bawah) dengan nilai 10.37. Sedangkan COP terendah pada penelitian ini terdapat pada model kondensor tipe A (*separation condenser* dengan sambungan profil U dengan 2 U dibagian atas dan 7 U dibagian bawah) dengan nilai 6.65. Pada kondensor biasa nilai COP memiliki nilai 6.87. Perbedaan COP pada penelitian ini terjadi karena kerja kompresi pada masing-masing model *separation condenser* cenderung lebih rendah bila dibandingkan dengan kondensor biasa.
2. Penggunaan variasi kondensor dengan menggunakan *separation condenser* membuat COP dari mesin pendingin lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondensor biasa. Nilai COP tertinggi pada *separation condenser* yaitu 10.37 yang terdapat pada variasi *separation condenser* tipe C. Nilai COP pada *separation condenser* tipe C 34% lebih tinggi bila dibandingkan dengan kondensor biasa yaitu 6.87. Hal ini dikarenakan pelepasan kalor pada *separation condenser* lebih optimal sehingga memiliki dampak refrigerasi yang tinggi dan kerja kompresi yang rendah bila dibandingkan dengan kondensor biasa.
3. Variasi bentuk *separation condenser* dapat mempengaruhi kerja dari kondensor. Kerja kompresi terendah terdapat pada *separation condenser* tipe C dengan yaitu 46.44 kJ/kg. Kerja kompresi *separation condenser* tipe C memiliki nilai 36.5% lebih rendah dibandingkan dengan nilai kerja kompresi pada kondensor biasa. Kerja kompresi yang semakin rendah membuat nilai COP naik, sehingga

peforma mesin pendingin menjadi baik dan daya listrik yang dibutuhkan semakin rendah. Kerja kompresi yang rendah akan membuat kompresor lebih tahan lama dan tidak mudah aus.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang variasi model kondensor maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya perlu dilakukan pengujian yang lebih lanjut mengenai desain *separation condenser* dengan tambahan *header* agar fasa *refrigerant* dapat terpisah dengan sempurna.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pada suhu lingkungan yang konstan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan akurat.

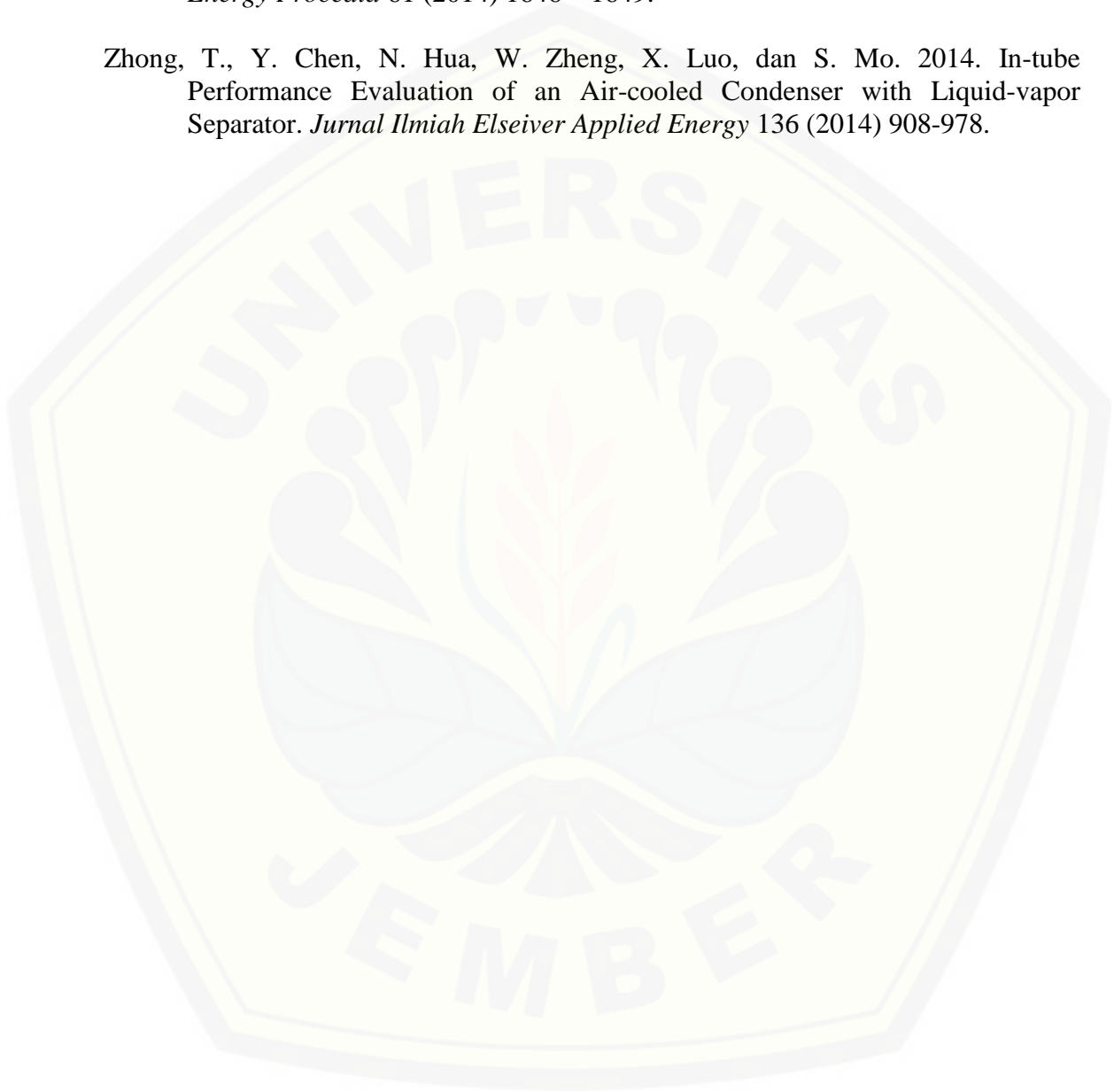
Hasil penelitian ini merupakan data pendukung yang diharapkan mampu menjadi acuan oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akash, B. A., and S. A. Said. 2003. Assessment of LPG as a Possible Alternative to R-12 in Domestic Refrigerators. *Jurnal Ilmiah Pergamon Energy Conversion and Management* 44 (2003) 381-388.
- Anwar, K. 2010. Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin. *Skripsi*. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Arismunandar, W. dan Saito, H. 1991. *Penyegaran Udara*. Edisi Keempat. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2009. *Standar Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Jenis Liquefied Petroleum Gas (LPG) Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri*. Jakarta: Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.
- Dossat, R. J. 1961. *Principles of Refrigeration*. Japan: Toppan Company, LTD.
- El-Morsi, M. 2015. Energy and Exergy Analysis of LPG (Liquefied Petroleum Gas) as a Drop in Replacement for R134a in Domestic Refrigerator. *Jurnal Internasional tentang Energy*: Vol. 86: 344-353.
- Fatouh., dan M. E. Kafafy. 2006. Experimental Evaluation of a Domestic Refrigerator Working with LPG. *Jurnal Ilmiah Elsevier Applied Thermal Engineering* 26 (2006) 1593-1603.
- Handoyo, E. A., dan A. Lukito. 2002. Analisis Pengaruhh Pipa Kapiler yang dililitkan pada Line Suction Terhadap Performasi Mesin Pendingin. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 4 (2): 94 – 98.
- Hua, N., Y. Chen, E. Chen, L. Deng, W. Zheng, dan Z. Yang. 2013. Prediction and Verification of the Thermodynamic Performance of Liquid-vapor Separation Condenser. *Jurnal Ilmiah Elsevier Energy* 58 (2013) 384 397.
- Karyanto, E. 2003. *Teknik Mesin Pendingin*. Jakarta: CV. Restu Agung.
- Kusuma, D. D. H. 2015. Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Line Suction Terhadap Perfromansi Mesin Pendingin. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.

- Li, J., dan P. Hrnjak. 2017. Improvement of Condenser Performance by Phase Separation Confirmed Experimentally and by Modeling. *Jurnal Internasional tentang Refrigerasi S0140-7007(17)30122-6*.
- Luo, X., J. Xu, Y. Chen, dan S. Mo. 2015. Mathematical Optimization of the Liquid Separation Condenser Used in the Organic Rankine Cycle. *Jurnal Ilmiah Elsevier Energy Procedia 75 (2015) 3127 – 3132*.
- Molina, M. J., dan F. S. Rowland. 1974. Stratospheric Sink for ChloroFluoro Methanes: Chlorine Atomic-analysed Destruction of Ozone. California: Department of Chemistry. University of California.
- Oyelami S., dan B. O. Bolaji. 2015. Experimental Investigation of the Performance of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Refrigerant in Vapour Compression Refrigeration System. *Jurnal Internasional tentang Scientific and Engineering Research Vol. 6 (6) ISSN 2229-5518*.
- Pramacakrayuda, Nugraha, Wijaksana, dan Suarnadwipa. 2010. Analisis Peformasi Sistem Pendingin Ruang Dikombinasikan dengan Water Heater. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram. Vol. 4. (1): 57-61*.
- Pramana, A. 2014. Unjuk Kerja AC Mobil Dengan Refrigeran LPG-CO₂ Pada Berbagai Mesin Pendingin. *Skripsi*. Malang: Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Stoecker, W. F., dan Jones J. W. 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.
- Syarief, A. M., J. Kumendong, dan L. Pujantoro. 1992. *Peyimpanan Dingin*. Bogor: Departemen Pendidikan dan kebdayaan Direktorat Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor.
- Tampubolon, D., dan R. Samosir. (2005). Pemahaman tentang Sistem Refrigerasi. *Jurnal Teknik SIMETRIKA Vol. 4 (1): 312 -316*.
- Widodo, E. 2014. Pengaruh Penambahan Fan pembuangan Udara pada Kondensor terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Yudisworo, W. D. 2014. Studi Alternatif Penggunaan BBG Gas Elpiji Untuk Bahan Bakar Mesin Bensin Konvensional. *Skripsi*. Cirebon: Universitas 17 Agustus Cirebon.

- Zheng, W., Y. Chen, N. Hua, T. Zhong, dan Y. Gong. 2014. Comparative Performance of an Automotive Air Conditioning System Using Micro-channel Condensers with and without Liquid-vapor Separation. *Jurnal Ilmiah Elseiver Energy Procedia* 61 (2014) 1646 – 1649.
- Zhong, T., Y. Chen, N. Hua, W. Zheng, X. Luo, dan S. Mo. 2014. In-tube Performance Evaluation of an Air-cooled Condenser with Liquid-vapor Separator. *Jurnal Ilmiah Elseiver Applied Energy* 136 (2014) 908-978.



LAMPIRAN

Lampiran A. Data Penelitian

A.1 Debit Aliran *Refrigerant* (Konversi)Debit Aliran *Refrigerant* (Konversi)

Waktu (menit)	Debit (m^3/s)				
	Variasi Kondensor				
	Biasa	Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe D
0	0.000127	0.000143	0.000155	0.000156	0.000147
15	0.000122	0.000143	0.000155	0.000156	0.000147
30	0.000122	0.000143	0.000155	0.000155	0.000147
45	0.000122	0.000143	0.000153	0.000155	0.000146
60	0.00012	0.000141	0.00015	0.000155	0.000145
75	0.00012	0.000141	0.00015	0.000153	0.000143
90	0.00012	0.00014	0.00015	0.000153	0.000143
105	0.00012	0.00014	0.000149	0.000153	0.000143
120	0.00012	0.00014	0.000149	0.000152	0.000143
135	0.000119	0.00014	0.000149	0.00015	0.000143
150	0.000119	0.00014	0.000147	0.00015	0.000142
165	0.000116	0.000138	0.000145	0.00015	0.000141
180	0.000116	0.000138	0.000145	0.00015	0.000141

A.2 Laju Aliran Massa

Data Laju Aliran Massa

Waktu (menit)	Laju Aliran Massa (kg/s)				
	Variasi Kondensor				
	Biasa	Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe D
0	0.067	0.079	0.086	0.087	0.080
15	0.065	0.079	0.086	0.087	0.080
30	0.065	0.079	0.086	0.086	0.080
45	0.065	0.079	0.085	0.086	0.079
60	0.063	0.078	0.083	0.086	0.079
75	0.063	0.078	0.083	0.085	0.078
90	0.063	0.077	0.083	0.085	0.078
105	0.063	0.077	0.082	0.085	0.078
120	0.063	0.077	0.082	0.085	0.078
135	0.063	0.077	0.082	0.084	0.078
150	0.063	0.077	0.082	0.084	0.077
165	0.061	0.076	0.080	0.084	0.077
180	0.061	0.076	0.080	0.084	0.077

Lampiran B. Contoh Perhitungan**B.1 Kerja Kompresi**

$$\begin{aligned}w &= h_2 - h_1 \\ &= 748.25 - 677.35 \\ &= 70.9 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

B.2 Dampak Refrigerasi

$$\begin{aligned}q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 677.35 - 171.185 \\ &= 506.165 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

B.3 Pelepasan Kalor

$$\begin{aligned}\text{Pelepasan Kalor} &= h_2 - h_3 \\ &= 748.25 - 171.185 \\ &= 576.4 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

B.4 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

$$\begin{aligned}\text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{748.25 - 171.185}{677.35 - 171.185} \\ &= 1.14\end{aligned}$$

B.5 Laju Aliran Massa

Diketahui

$$T_1 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 7.6 \text{ liter/menit (dari alat ukur flow meter)}$$

ρ (Propana) = 487.6 kg/m^3 (dari tabel *Thermophysical Properties of Refrigerant ASHARE Handbook*, 2009)

ρ (Butana) = 569.3 kg/m^3 (dari tabel *Thermophysical Properties of Refrigerant ASHARE Handbook*, 2009)

$$\begin{aligned}\rho \text{ (rata-rata)} &= \rho \text{ (Propana)} + \rho \text{ (Butana)} / 2 \\ &= (487.6 \text{ kg/m}^3 + 569.3 \text{ kg/m}^3) / 2 \\ &= 528.45 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \text{Massa jenis } \textit{refrigerant} \times \text{debit aliran} \\ &= 528.45 \text{ kg/m}^3 \times 7.6 \text{ liter/menit} \\ &= 528 \text{ kg/m}^3 \times 0.000127 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.06721 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

B.7 Kapasitas Refrigerasi

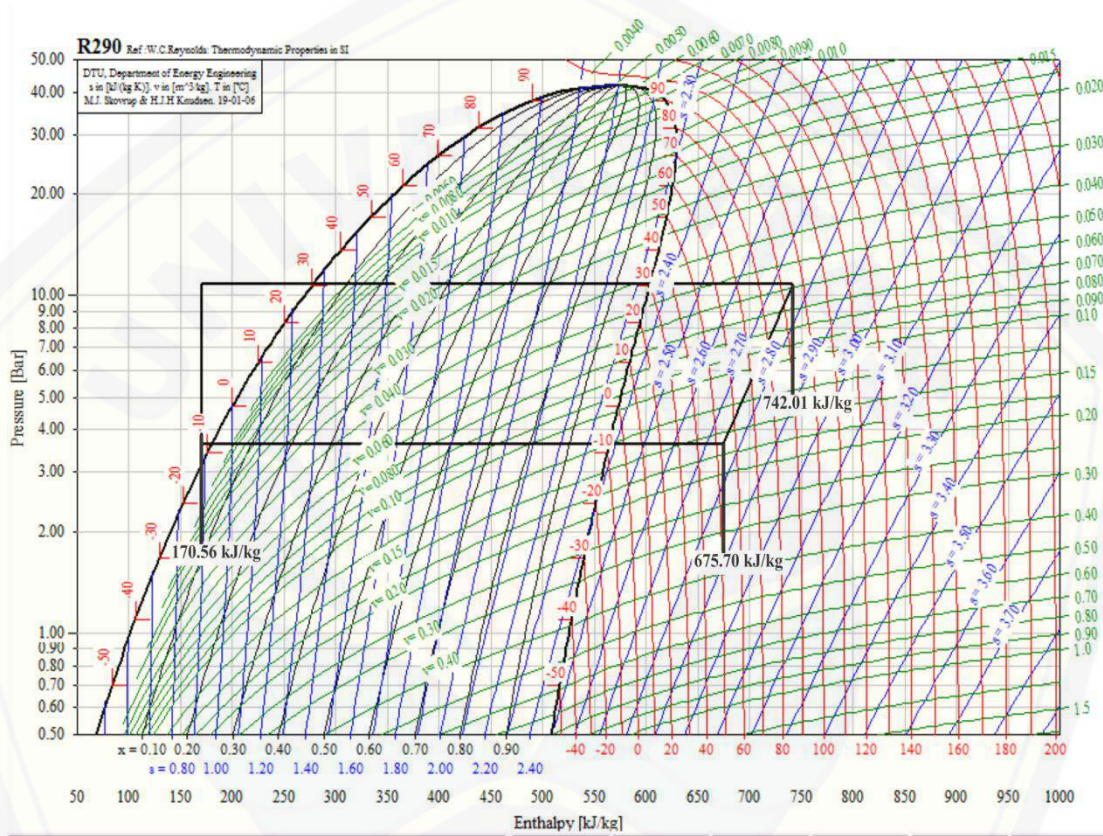
$$\begin{aligned}Q &= \dot{m} \times (h_1 - h_4) \\ &= 0.06721 \text{ kg/s} \times (677.35 - 171.185) \\ &= 34.01 \text{ kW}\end{aligned}$$

B.8 Coefficient of Peformance (COP)

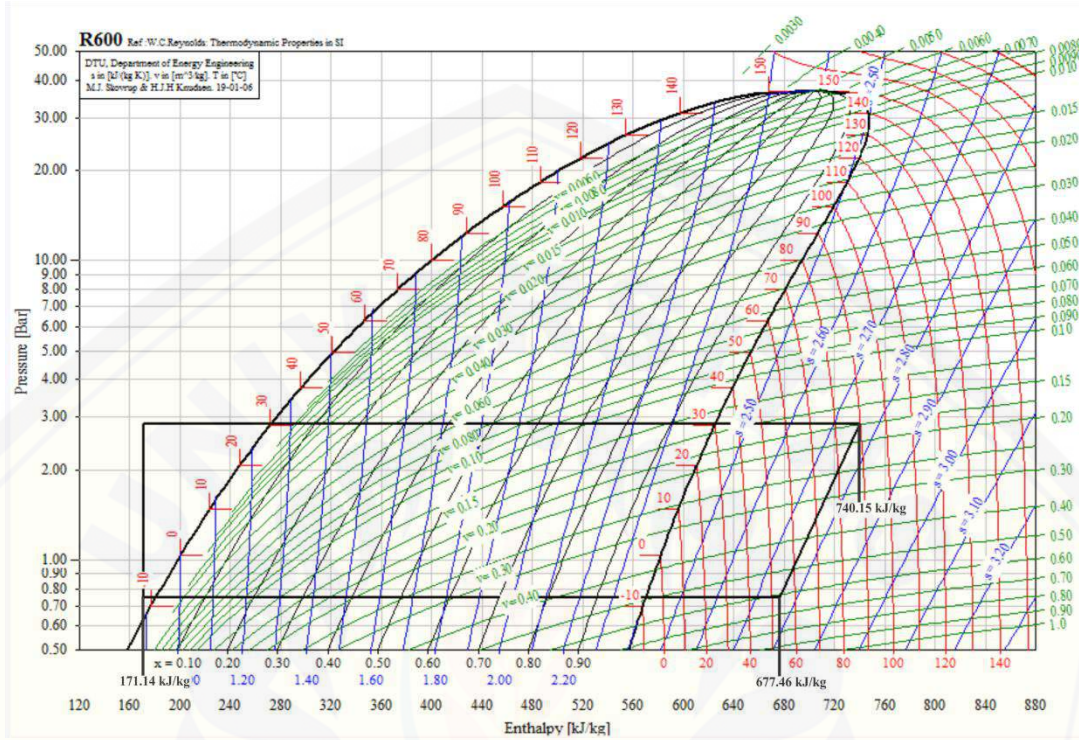
$$\begin{aligned}\text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{677.35 - 171.185}{748.25 - 677.35} \\ &= 7.139\end{aligned}$$

Lampiran C. Diagram P – h Atau Diagram Mollier

C.1 Diagram P – h Gas Propana



C.2 Diagram P – h Gas Butana



Lampiran D. Tabel *Thermophysical Properties*

Refrigerant R290 (Propane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pres. surc. MPa	Density, kg/m ³		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		c _p /c _v	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-150	0.00001	694.6	4316.4	-123.78402.06	-0.6903 3.5796	1.962	1.020	1.227	1880	168.8	1343.0	3.55	192.9	3.68	31.84	-150		
-140	0.00003	684.5	864.49	-104.09412.43	-0.5366 3.3426	1.977	1.054	1.218	1813	174.9	985.4	3.80	187.7	4.28	30.29	-140		
-130	0.00012	674.4	223.53	-84.23423.12	-0.3929 3.1514	1.994	1.087	1.210	1745	180.7	761.7	4.05	182.2	4.90	28.76	-130		
-120	0.00041	664.3	70.785	-64.21434.11	-0.2576 2.9962	2.012	1.119	1.203	1679	186.3	611.6	4.31	176.4	5.55	27.24	-120		
-110	0.00116	654.0	26.386	-43.99445.38	-0.1298 2.8697	2.032	1.151	1.197	1612	191.7	505.0	4.56	170.4	6.23	25.73	-110		
-100	0.00290	643.7	11.231	-23.56456.88	-0.0083 2.7664	2.054	1.184	1.192	1545	196.8	425.7	4.82	164.4	6.94	24.23	-100		
-90	0.00645	633.3	5.3300	-2.90468.58	0.1077 2.6820	2.078	1.220	1.188	1478	201.5	364.5	5.08	158.2	7.67	22.74	-90		
-80	0.01305	622.8	2.7676	18.03480.44	0.2189 2.6130	2.106	1.258	1.184	1411	205.9	315.9	5.34	152.1	8.43	21.27	-80		
-70	0.02440	612.0	1.5487	39.25492.41	0.3259 2.5566	2.137	1.300	1.182	1345	209.9	276.4	5.60	145.9	9.22	19.81	-70		
-60	0.04269	601.1	0.92250	60.81504.44	0.4294 2.5107	2.172	1.346	1.181	1278	213.5	243.6	5.85	139.8	10.04	18.37	-60		
-50	0.07057	589.9	0.57905	82.75516.48	0.5298 2.4734	2.212	1.397	1.182	1213	216.5	216.0	6.11	133.8	10.88	16.94	-50		
-42.11 ^b	0.10133	580.9	0.41388	100.36525.95	0.6070 2.4491	2.246	1.440	1.183	1161	218.4	197.2	6.31	129.2	11.57	15.83	-42.11		
-40	0.11112	578.4	0.37985	105.12528.48	0.6275 2.4433	2.256	1.453	1.184	1147	218.9	192.6	6.36	128.0	11.76	15.54	-40		
-38	0.12105	576.1	0.35076	109.65530.87	0.6468 2.4380	2.265	1.464	1.185	1134	219.3	188.3	6.41	126.8	11.94	15.26	-38		
-36	0.13106	573.8	0.32437	114.20533.26	0.6660 2.4330	2.275	1.476	1.185	1121	219.6	184.1	6.47	125.6	12.12	14.98	-36		
-34	0.14297	571.4	0.30037	118.77535.64	0.6851 2.4282	2.285	1.488	1.186	1108	220.0	180.1	6.52	124.5	12.30	14.70	-34		
-32	0.15502	569.0	0.27853	123.36538.01	0.7041 2.4236	2.295	1.501	1.187	1095	220.3	176.1	6.57	123.3	12.48	14.42	-32		
-30	0.16783	566.6	0.25861	127.97540.38	0.7231 2.4192	2.305	1.513	1.188	1082	220.6	172.3	6.62	122.2	12.67	14.15	-30		
-28	0.18144	564.2	0.24041	132.61542.75	0.7419 2.4150	2.316	1.526	1.189	1069	220.9	168.6	6.67	121.1	12.86	13.87	-28		
-26	0.19589	561.8	0.22376	137.26545.11	0.7607 2.4109	2.327	1.539	1.191	1056	221.1	165.0	6.73	120.0	13.05	13.60	-26		
-24	0.21119	559.4	0.20851	141.94547.46	0.7795 2.4071	2.338	1.553	1.192	1043	221.3	161.5	6.78	118.8	13.24	13.33	-24		
-22	0.22739	556.9	0.19452	146.64549.80	0.7982 2.4034	2.349	1.566	1.193	1030	221.5	158.1	6.83	117.7	13.43	13.06	-22		
-20	0.24452	554.5	0.18167	151.36552.13	0.8168 2.3999	2.361	1.580	1.195	1016	221.6	154.7	6.89	116.6	13.63	12.79	-20		
-18	0.26261	552.0	0.16984	156.11554.46	0.8353 2.3965	2.373	1.595	1.197	1003	221.8	151.5	6.94	115.5	13.83	12.52	-18		
-16	0.28170	549.5	0.15894	160.88556.77	0.8538 2.3933	2.385	1.609	1.198	990	221.8	148.3	6.99	114.4	14.03	12.25	-16		
-14	0.30181	546.9	0.14889	165.68559.08	0.8722 2.3903	2.397	1.624	1.200	977	221.9	145.2	7.05	113.4	14.23	11.98	-14		
-12	0.32300	544.4	0.13961	170.50561.37	0.8906 2.3874	2.410	1.639	1.202	964	221.9	142.2	7.10	112.3	14.44	11.71	-12		
-10	0.34528	541.8	0.13103	175.35563.65	0.9090 2.3846	2.423	1.655	1.205	951	221.9	139.3	7.16	111.2	14.65	11.45	-10		
-8	0.36870	539.2	0.12308	180.22565.92	0.9273 2.3819	2.436	1.671	1.207	938	221.8	136.4	7.22	110.1	14.86	11.18	-8		
-6	0.39329	536.6	0.11571	185.12568.18	0.9455 2.3794	2.450	1.687	1.209	925	221.8	133.6	7.27	109.1	15.08	10.92	-6		
-4	0.41909	533.9	0.10887	190.05570.42	0.9637 2.3769	2.464	1.704	1.212	912	221.6	130.9	7.33	108.0	15.29	10.65	-4		
-2	0.44613	531.3	0.10252	195.01572.65	0.9819 2.3746	2.478	1.721	1.215	899	221.5	128.2	7.39	107.0	15.52	10.39	-2		
0	0.47446	528.6	0.09661	200.00574.87	1.0000 2.3724	2.493	1.739	1.218	885	221.3	125.6	7.45	106.0	15.74	10.13	0		
2	0.50410	525.9	0.09111	205.02577.06	1.0181 2.3703	2.508	1.757	1.221	872	221.1	123.0	7.51	104.9	15.97	9.87	2		
4	0.53510	523.1	0.08598	210.06579.24	1.0362 2.3682	2.524	1.776	1.225	859	220.8	120.5	7.57	103.9	16.20	9.62	4		
6	0.56749	520.4	0.08120	215.14581.41	1.0542 2.3663	2.540	1.795	1.229	846	220.5	118.1	7.63	102.9	16.44	9.36	6		
8	0.60131	517.6	0.07673	220.25583.55	1.0722 2.3644	2.556	1.815	1.232	833	220.2	115.7	7.69	101.9	16.68	9.10	8		
10	0.63660	514.7	0.07255	225.40585.67	1.0902 2.3626	2.573	1.835	1.237	819	219.8	113.3	7.75	100.9	16.93	8.85	10		
12	0.67340	511.9	0.06865	230.57587.77	1.1082 2.3608	2.591	1.856	1.241	806	219.3	111.0	7.82	99.9	17.18	8.60	12		
14	0.71175	509.0	0.06498	235.79589.85	1.1261 2.3592	2.609	1.878	1.246	793	218.9	108.8	7.88	99.0	17.44	8.34	14		
16	0.75168	506.0	0.06155	241.03591.91	1.1440 2.3575	2.627	1.901	1.251	780	218.4	106.6	7.95	98.0	17.70	8.09	16		
18	0.79324	503.1	0.05833	246.32593.94	1.1620 2.3560	2.646	1.925	1.256	766	217.8	104.4	8.02	97.0	17.97	7.85	18		
20	0.83646	500.1	0.05530	251.64595.95	1.1799 2.3544	2.666	1.949	1.262	753	217.2	102.3	8.09	96.1	18.24	7.60	20		
22	0.88139	497.0	0.05246	256.99597.93	1.1978 2.3529	2.687	1.975	1.268	739	216.6	100.2	8.16	95.1	18.53	7.35	22		
24	0.92807	493.9	0.04978	262.39599.88	1.2157 2.3514	2.708	2.001	1.275	726	215.9	98.1	8.23	94.2	18.81	7.11	24		
26	0.97653	490.8	0.04726	267.83601.80	1.2336 2.3500	2.730	2.029	1.282	713	215.2	96.1	8.31	93.3	19.11	6.87	26		
28	1.0268	487.6	0.04488	273.31603.68	1.2515 2.3486	2.753	2.058	1.290	699	214.4	94.1	8.38	92.3	19.41	6.62	28		
30	1.0790	484.4	0.04264	278.83605.54	1.2695 2.3471	2.777	2.088	1.298	685	213.5	92.2	8.46	91.4	19.72	6.38	30		
32	1.1331	481.1	0.04053	284.40607.35	1.2874 2.3457	2.802	2.119	1.307	672	212.6	90.3	8.54	90.5	20.05	6.15	32		
34	1.1891	477.8	0.03853	290.01609.13	1.3053 2.3443	2.827	2.152	1.316	658	211.7	88.4	8.63	89.6	20.38	5.91	34		
36	1.2472	474.4	0.03664	295.68610.87	1.3233 2.3429	2.855	2.187	1.326	645	210.7	86.5	8.71	88.7	20.72	5.68	36		
38	1.3072	471.0	0.03485	301.39612.57	1.3413 2.3414	2.883	2.224	1.337	631	209.7	84.7	8.80	87.8	21.07	5.44	38		
40	1.3694	467.5	0.03315	307.15614.21	1.3594 2.3399	2.913	2.263	1.349	617	208.6	82.8	8.89	86.9	21.43	5.21	40		
42	1.4337	463.9	0.03154	312.96615.81	1.3774 2.3384	2.944	2.304	1.362	603	207.4	81.0	8.99	86.0	21.81	4.98	42		
44	1.5002	460.3	0.03002	318.83617.36	1.3955 2.3368	2.977	2.348	1.375	589	206.2	79.3	9.08	85.2	22.20	4.76	44		
46	1.5690	456.5	0.02857	324.76618.86	1.4137 2.3352	3.012	2.395	1.391	575	204.9	77.5	9.19	84.3	22.60	4.53	46		
48	1.6400	452.7	0.02720	330.75620.29	1.4319 2.3335	3.050	2.445	1.407	561	203.6	75.8	9.29	83.5	23.03	4.31	48		
50	1.7133	448.9	0.02589	336.80621.66	1.4502 2.3317	3.089	2.499	1.425	547	202.2	74.1	9.40	82.6	23.47	4.09	50		
55	1.9072	438.8	0.02288	352.23624.77	1.4962 2.3268	3.201	2.652	1.478	511	198.3	69.8	9.70	80.5	24.65	3.55	55		
60	2.1168	428.0	0.02020	368.14627.36	1.5429 2.3210	3.337	2.841	1.548	474	194.1	65.7	10.03	78.4	26.00	3.02	60		
65	2.3430	416.3	0.01781	384.60629.29	1.5903 2.3139	3.509	3.086	1.641	437	189.3	61.5	10.42	76.3	27.56	2.52	65		
70	2.5868	403.6	0.01565	401.75630.37	1.6389 2.3052	3.735	3.421	1.773	398	184.0	57.4	10.86	74.3	29.41	2.03	70		
75	2.8493	389.5	0.01367	419.76630.33	1.6891 2.2939	4.053	3.914	1.970	358	178.2	53.2	11.40	72.2	31.71	1.56	75		
80	3.1319	373.3	0.01185	438.93628.73	1.7417 2.2791	4.545	4.707	2.288	315	171.6	48.8	12.07	70.2	34.75	1.12	80		
85	3.4361	354.0	0.01012	459.81624.75	1.7980 2.2586</													

Refrigerant 600 (n-Butane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³		Volume, m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)			Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor			
-100	0.00016	699.3	150.44	-13.65450.85	0.0318	2.7144	2.013	1.231	1.132	1592	167.4	792.2	4.30	161.6	6.83	28.03	-100			
-95	0.00028	694.6	91.606	-3.57457.02	0.0892	2.6746	2.021	1.247	1.130	1563	169.6	719.0	4.43	159.4	7.12	27.33	-95			
-90	0.00045	689.9	57.588	6.56463.27	0.1453	2.6389	2.029	1.263	1.128	1534	171.8	655.9	4.55	157.2	7.43	26.64	-90			
-85	0.00072	685.2	37.271	16.73469.58	0.2000	2.6069	2.038	1.279	1.127	1505	174.0	601.2	4.68	154.9	7.73	25.94	-85			
-80	0.00111	680.5	24.773	26.94475.97	0.2536	2.5784	2.048	1.295	1.125	1477	176.1	553.2	4.81	152.6	8.05	25.26	-80			
-75	0.00168	675.8	16.873	37.21482.41	0.3061	2.5529	2.058	1.312	1.124	1449	178.1	510.9	4.93	150.2	8.38	24.57	-75			
-70	0.00247	671.0	11.752	47.53488.92	0.3575	2.5303	2.069	1.330	1.122	1420	180.1	473.4	5.06	147.9	8.71	23.89	-70			
-65	0.00345	666.2	8.3565	57.90495.50	0.4080	2.5103	2.081	1.347	1.121	1392	182.1	439.9	5.18	145.5	9.05	23.22	-65			
-60	0.00501	661.4	6.0558	68.34502.13	0.4575	2.4926	2.094	1.366	1.120	1364	184.0	409.8	5.31	143.1	9.40	22.54	-60			
-55	0.00695	656.6	4.4659	78.85508.82	0.5062	2.4772	2.108	1.385	1.119	1336	185.8	382.8	5.43	140.8	9.75	21.88	-55			
-50	0.00947	651.7	3.3470	89.42515.56	0.5541	2.4638	2.122	1.404	1.118	1309	187.5	358.3	5.55	138.4	10.11	21.21	-50			
-45	0.01270	646.8	2.5462	100.07522.35	0.6013	2.4522	2.137	1.425	1.118	1281	189.2	336.1	5.68	136.0	10.48	20.55	-45			
-40	0.01679	641.9	1.9638	110.80529.19	0.6478	2.4423	2.153	1.446	1.117	1253	190.8	315.8	5.80	133.6	10.86	19.90	-40			
-35	0.02190	636.9	1.5341	121.62536.08	0.6937	2.4340	2.170	1.468	1.117	1226	192.3	297.3	5.92	131.3	11.25	19.25	-35			
-30	0.02821	631.9	1.2127	132.52543.01	0.7389	2.4271	2.188	1.490	1.116	1198	193.8	280.3	6.04	128.9	11.64	18.60	-30			
-25	0.03591	626.8	0.96911	143.51549.98	0.7836	2.4216	2.206	1.514	1.116	1171	195.1	264.7	6.16	126.6	12.05	17.96	-25			
-20	0.04521	621.7	0.78237	154.60556.98	0.8278	2.4173	2.226	1.538	1.116	1144	196.3	250.3	6.28	124.3	12.46	17.32	-20			
-15	0.05635	616.6	0.63759	165.79564.02	0.8715	2.4141	2.246	1.563	1.117	1116	197.5	237.0	6.41	122.0	12.88	16.69	-15			
-10	0.06955	611.4	0.52415	177.08571.08	0.9147	2.4120	2.267	1.589	1.117	1089	198.5	224.7	6.53	119.8	13.30	16.06	-10			
-5	0.08509	606.1	0.43441	188.48578.17	0.9576	2.4108	2.289	1.616	1.118	1062	199.4	213.2	6.65	117.5	13.74	15.44	-5			
-0.49	0.10132	601.3	0.36910	198.87584.58	0.9959	2.4105	2.310	1.641	1.119	1038	200.1	203.5	6.76	115.5	14.14	14.88	-0.49			
0	0.10323	600.7	0.36275	200.00585.27	1.0000	2.4105	2.312	1.644	1.119	1035	200.2	202.5	6.77	115.3	14.19	14.82	0			
2	0.11127	598.6	0.33818	204.64588.12	1.0169	2.4106	2.321	1.655	1.120	1024	200.5	198.4	6.82	114.4	14.37	14.58	2			
4	0.11980	596.4	0.31562	209.30590.97	1.0337	2.4108	2.331	1.667	1.120	1014	200.7	194.4	6.87	113.6	14.55	14.33	4			
6	0.12882	594.2	0.29488	213.98593.82	1.0505	2.4112	2.341	1.678	1.121	1003	201.0	190.6	6.91	112.7	14.74	14.09	6			
8	0.13837	592.0	0.27578	218.68596.67	1.0672	2.4116	2.350	1.690	1.122	992	201.2	186.8	6.96	111.8	14.93	13.85	8			
10	0.14845	589.8	0.25817	223.40599.53	1.0838	2.4122	2.360	1.702	1.122	981	201.4	183.2	7.01	111.0	15.11	13.60	10			
12	0.15909	587.6	0.24192	228.13602.38	1.1005	2.4129	2.371	1.715	1.123	971	201.6	179.6	7.06	110.1	15.31	13.36	12			
14	0.17031	585.4	0.22691	232.89605.24	1.1170	2.4137	2.381	1.727	1.124	960	201.7	176.1	7.11	109.3	15.50	13.12	14			
16	0.18213	583.1	0.21302	237.68608.09	1.1335	2.4146	2.391	1.740	1.125	949	201.9	172.7	7.16	108.4	15.69	12.88	16			
18	0.19457	580.9	0.20016	242.48610.95	1.1500	2.4156	2.402	1.752	1.126	938	202.0	169.4	7.21	107.6	15.89	12.65	18			
20	0.20765	578.6	0.18823	247.30613.80	1.1665	2.4167	2.413	1.765	1.127	928	202.0	166.2	7.26	106.7	16.09	12.41	20			
22	0.22139	576.3	0.17717	252.15616.66	1.1829	2.4179	2.424	1.778	1.128	917	202.1	163.0	7.31	105.9	16.29	12.17	22			
24	0.23582	574.0	0.16688	257.02619.51	1.1992	2.4191	2.435	1.792	1.129	906	202.1	159.9	7.36	105.1	16.49	11.94	24			
26	0.25095	571.7	0.15732	261.91622.36	1.2155	2.4205	2.446	1.805	1.130	895	202.2	156.9	7.41	104.3	16.70	11.70	26			
28	0.26680	569.3	0.14842	266.82625.21	1.2318	2.4219	2.458	1.819	1.131	885	202.1	153.9	7.47	103.5	16.90	11.47	28			
30	0.28341	567.0	0.14012	271.76628.06	1.2481	2.4234	2.470	1.833	1.133	874	202.1	151.1	7.52	102.7	17.11	11.24	30			
32	0.30079	564.6	0.13238	276.72630.91	1.2643	2.4250	2.481	1.847	1.134	863	202.0	148.2	7.57	101.9	17.33	11.00	32			
34	0.31897	562.2	0.12516	281.71633.75	1.2805	2.4266	2.494	1.862	1.136	853	201.9	145.5	7.62	101.1	17.54	10.77	34			
36	0.33796	559.8	0.11841	286.72636.59	1.2966	2.4283	2.506	1.876	1.137	842	201.8	142.8	7.68	100.3	17.76	10.54	36			
38	0.35779	557.4	0.11209	291.76639.42	1.3127	2.4301	2.518	1.891	1.139	831	201.7	140.2	7.73	99.5	17.98	10.32	38			
40	0.37849	554.9	0.10618	296.82642.25	1.3288	2.4319	2.531	1.906	1.141	820	201.5	137.6	7.79	98.7	18.21	10.09	40			
42	0.40007	552.4	0.10065	301.90645.08	1.3449	2.4338	2.544	1.922	1.143	810	201.3	135.0	7.84	97.9	18.43	9.86	42			
44	0.42256	550.0	0.09545	307.02647.90	1.3609	2.4358	2.557	1.937	1.145	799	201.1	132.5	7.90	97.2	18.66	9.64	44			
46	0.44599	547.4	0.09058	312.15650.71	1.3769	2.4378	2.571	1.953	1.147	788	200.8	130.1	7.95	96.4	18.90	9.41	46			
48	0.47038	544.9	0.08600	317.32653.52	1.3929	2.4398	2.585	1.970	1.149	777	200.5	127.7	8.01	95.7	19.14	9.19	48			
50	0.49575	542.3	0.08170	322.51656.32	1.4089	2.4419	2.598	1.986	1.151	767	200.2	125.4	8.07	94.9	19.38	8.97	50			
55	0.56365	535.8	0.07201	335.62663.28	1.4488	2.4473	2.635	2.029	1.158	740	199.2	119.7	8.22	93.1	20.00	8.42	55			
60	0.63824	529.1	0.06366	348.91670.19	1.4885	2.4529	2.673	2.075	1.165	713	198.1	114.3	8.38	91.3	20.64	7.87	60			
65	0.71991	522.3	0.05642	362.39677.02	1.5282	2.4587	2.713	2.123	1.173	685	196.7	109.1	8.54	89.5	21.32	7.34	65			
70	0.80908	515.2	0.05012	376.06683.77	1.5679	2.4646	2.756	2.174	1.183	658	195.1	104.1	8.71	87.8	22.03	6.81	70			
75	0.90616	507.9	0.04462	389.95690.41	1.6075	2.4705	2.802	2.229	1.194	631	193.3	99.3	8.89	86.1	22.77	6.29	75			
80	1.0116	500.4	0.03978	404.06696.94	1.6471	2.4765	2.851	2.288	1.207	603	191.2	94.7	9.08	84.5	23.56	5.78	80			
85	1.1258	492.6	0.03552	418.40703.32	1.6868	2.4824	2.905	2.353	1.223	575	188.8	90.2	9.29	82.9	24.39	5.28	85			
90	1.2493	484.5	0.03175	433.00709.53	1.7266	2.4881	2.964	2.425	1.241	546	186.1	85.8	9.51	81.3	25.28	4.79	90			
95	1.3825	476.0	0.02840	447.87715.53	1.7665	2.4936	3.029	2.506	1.263	518	183.1	81.6	9.75	79.7	26.23	4.31	95			
100	1.5259	467.1	0.02541	463.03721.29	1.8066	2.4987	3.102	2.599	1.290	488	179.8	77.4	10.01	78.2	27.26	3.84	100			
105	1.6801	457.8	0.02273	478.51726.75	1.8469	2.5034	3.186	2.708	1.324	458	176.1	73.3	10.29	76.8	28.37	3.38	105			
110	1.8456	447.9	0.02032	494.36731.87	1.8876	2.5075	3.285	2.841	1.366	428	172.0	69.3	10.61	75.3	29.60	2.93	110			
115	2.0230	437.3	0.01813	510.61736.55	1.9287	2.5108	3.403	3.004	1.420	396	167.5	65.4	10.96	73.9	30.96	2.50	115			
120	2.2131	425.9	0.01615	527.34740.69	1.9704	2.5131	3.552	3.213	1.492	364	162.5	61.4	11.37	72.5	32.50	2.08	120			
125	2.4166	413.4	0.01432	544.65744.15	2.0129	2.5140	3.748	3.493	1.592	331	157.0	57.4	11.83	71.1	34.29	1.68	125			
130	2.6344	399.6	0.01264	562.68746.70	2.0566	2.5130	4.023	3.891	1.739	296	150.8	53.4	12.39	69.8	36.44	1.30	130			
135	2.8675																			

Lampiran E. Data Logger

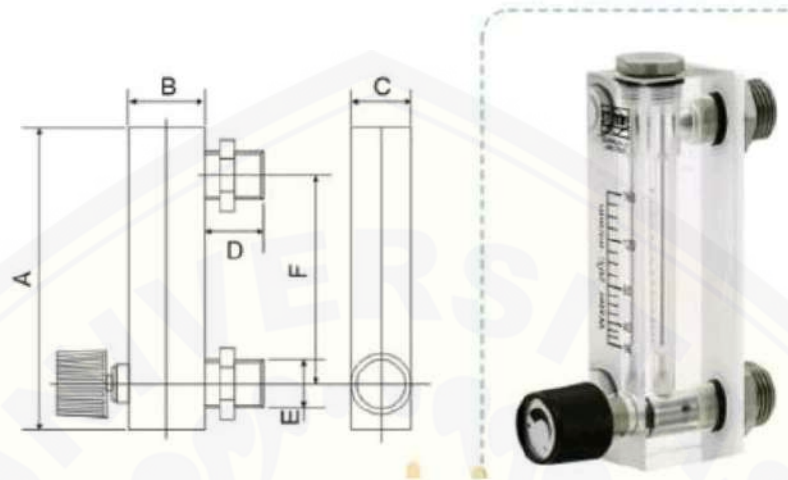


Gambar E.1 Midi Logger GL200A

Tabel F.1 Spesifikasi Midi Logger GL200A

Item	Description
Number of Channels	Analog 10ch, Logic 1ch, Pulse 1ch, (RPM, Instant, Count), Alarm output 1ch
Input Method	Isolated Input
Display Unit	3.5" TFT color LCD
Input Type	DC voltage 20 mV to 50 V, 1-5 V Temperature Humidity used an optional humidity sensor
Recording Interval	10 ms to 1 h (there is a limitation on no. of channels for 100ms or faster sampling, Volt range only)
Internal Memory	3.5MB (Flash Memory) hold data after put off the power
External Recording Medium USB	USB memory enable to save data directly
PC I/F	USB
Display	Waveform display/Digital display switching, Review display
Power Supply	AC adapter, DC driver, battery pack (Battery life: 6 hours with optional B-517, depending on our criteria specified)
Dimensions, Weight	194" x 122" x 41 mm, 480g
Accessories	AC power adapter, cable 1set, CD-ROM 1pc, PC software PDF user manual, quick start guide

Lampiran F. Alat Ukur Debit Refrigerant



Gambar F.1 Flow Meter Type LZM – 6

Model	Measure		Size (mm)					
	Range L/min	Accuracy	A	B	C	D	E	F
LZM - 6	1 - 10	±4%	102	29	25	10	M18x1.5	77

Spesifikasi Flow Meter :

Working Pressure : ≤ 0.6 MPa

Operationg Temperature : 0 – 60 oC

Body Material : Acrylic

Fitting Material : ABS OR SS 304

O – Ring Material : Silicon

Lampiran G. Spesifikasi Liquefied Petroleum Gas (LPG)



PT.Pertamina (Persero) , Indonesia - Corporate Website
www.pertamina.com

Liquefied Petroleum Gas

Description

LPG is the light gaseous product which is yielded from the petroleum distillation or also yielded from the natural gas condensation in Processing Unit Plant. LPG used as fuel for the household and the industry. LPG is especially used by middle level society which its requirement progressively mount from year to year because it's environment friendly.

Application

In the industrial area, the LPG product used as substitution of Freon, Aerosol, Refrigerant/ Cooling Agent, cosmetic and also used as special product raw material.

Specification

According to its use, LPG is differentiated to :

1. LPG Mix
2. LPG Propane
3. LPG Butane

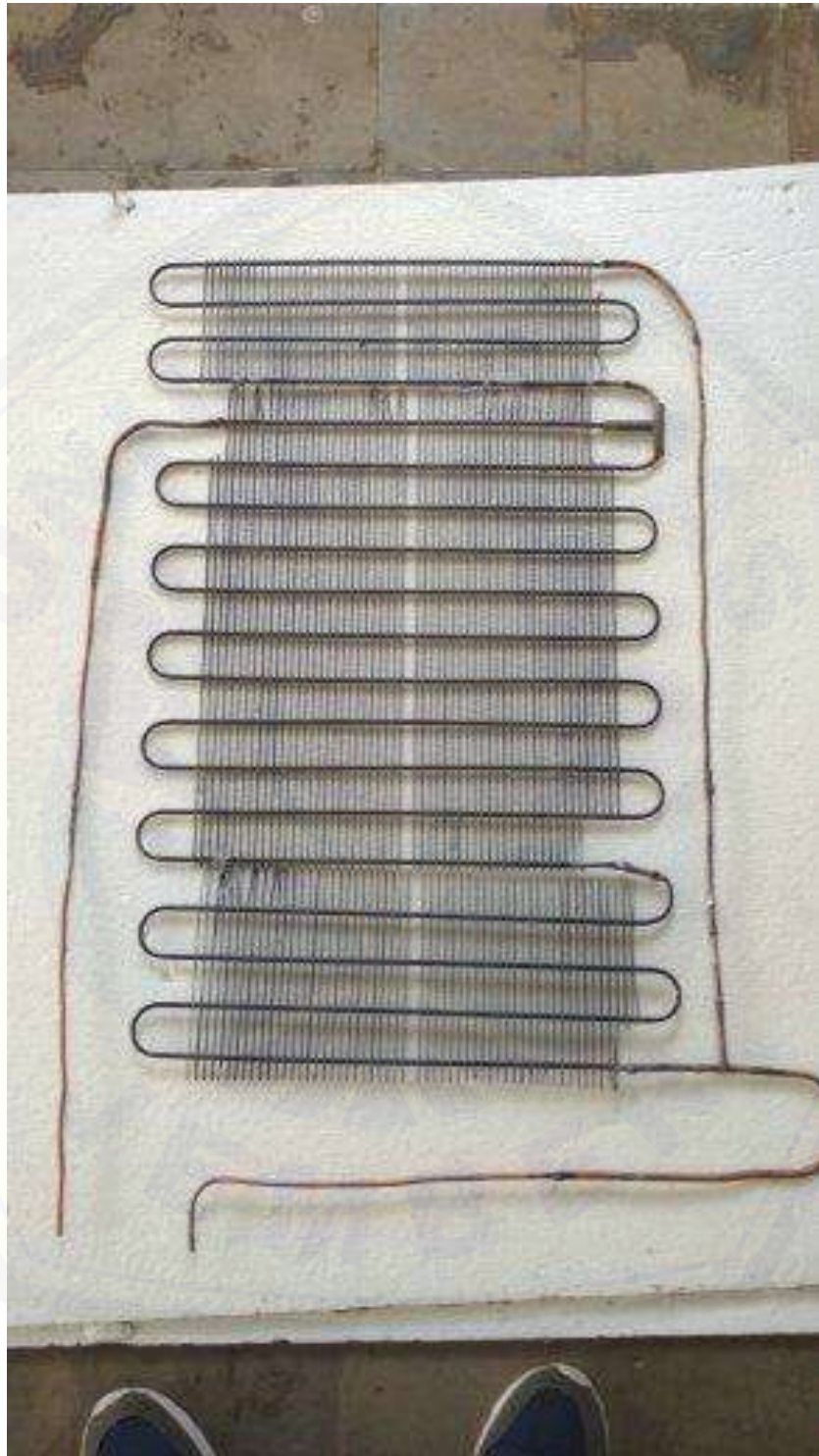
LPG Mix is the mixture of Propane and Butane with composition among 50 % and 50 % of volume and added by odorant (Mercaptant) and generally used for the fuel in household.

LPG Propane and LPG Butane are LPG which is containing Propane 95 % and Butane 97,5 % of volume each and added by odorant (Mercaptant), generally used for industry.

Lampiran H. Dokumentasi Penelitian



Gambar H.1 Kondensor Biasa



Gambar H.2 Separation Condenser Tipe A



Gambar H.3 Separation Condenser Tipe B



Gambar H.4 Separation Condenser Tipe C



Gambar H.5 Separation Condenser Tipe D



Gambar H.6 *Flow Meter*



Gambar H.7 *Data Logger*



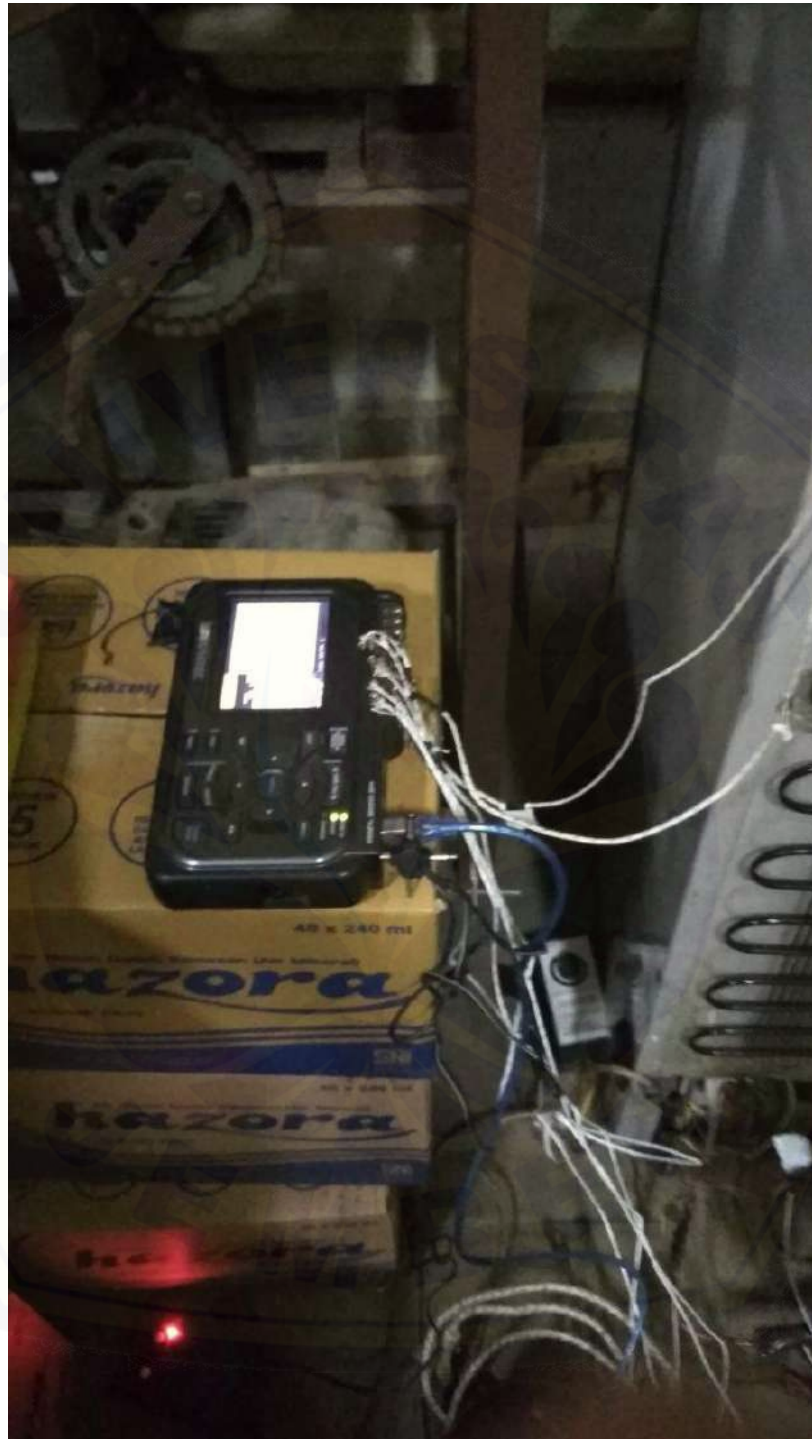
Gambar H.8 Proses Pemvakuman Mesin Pendingin Kulkas



Gambar H.9 Proses Pengisian Refrigerant LPG

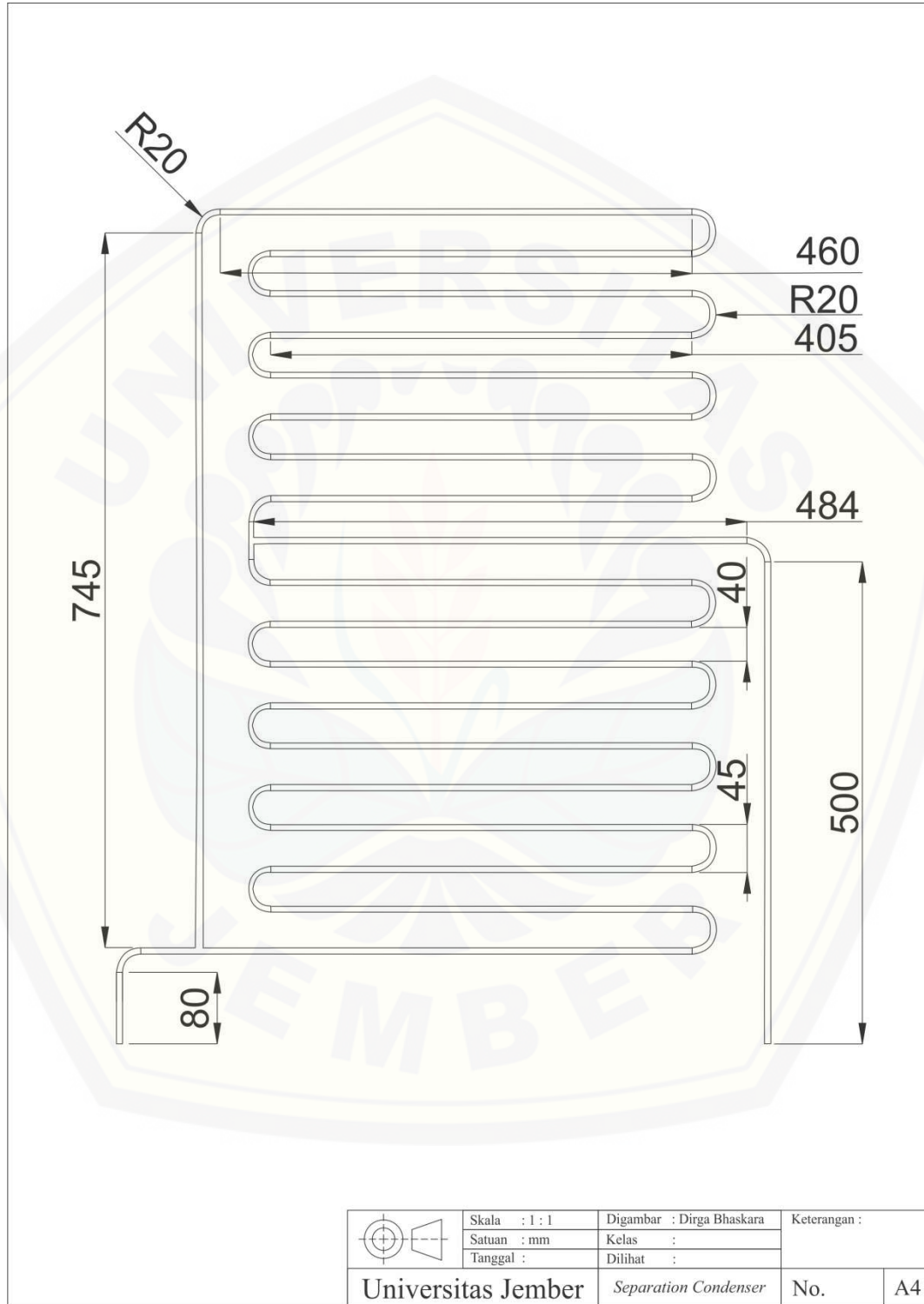


Gambar H.10 Proses Pengambilan Data Tekanan



Gambar H.11 Proses Pengambilan Data Temperatur

Lampiran I. Gambar *Separation Condenser*



Lampiran J. Spesifikasi Mesin Pendingin Kulkas

Gambar J.1 Mesin Pendingin Kulkas NR-A15KE

Spesifikasi Mesin Pendingin Kulkas :

Ukuran	: 110x55x55 (cm)
Jenis	: 1 pintu
Kapasitas	: 155 (Liter)
Frekuensi	: 50 (Hz)
Tipe kompresor	: kompresor hermatik
Daya kompresor	: 86 W
Nominal Electrical Input	: 68 W. 220 V