



**ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA *DOMESTIC*
REFRIGERATOR DENGAN *SEPARATION CONDENSER*
MENGUNAKAN *REFRIGERANT LPG* DAN *REFRIGERANT R-134a***

SKRIPSI

Oleh

Heru Edy Nurcahyo

141910101015

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA *DOMESTIC REFRIGERATOR* DENGAN *SEPARATION CONDENSER* MENGGUNAKAN *REFRIGERANT LPG* DAN *REFRIGERANT R-134a*

SKRIPSI

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

Oleh

Heru Edy Nurcahyo

141910101015

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT atas segala rizki dan karuniaNya yang telah dilimpahkan, serta kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Keluargaku, Ibu Ramini, Ayah Kasijan serta kakakku Repit Septiani yang tercinta dan tersayang. Terimakasih atas semua support, usaha, doa, motivasi semangat, pengorbanan dan biaya yang telah diberikan selama masa perkuliahan hingga saat ini.
3. Guru-guru dari sekolah TK sampai dengan SMK, Dosen- dosen yang telah mengajar semasa perkuliahan serta civitas akademik jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Terima kasih telah sabar membimbing dan memberikan ilmunya kepada saya terutama Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Hary Sutjahjono, S.T., selaku dosen penguji I, Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen penguji II, dan Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik.
4. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

MOTTO

“Wahai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”

(QS Al-Baqarah 153)^{*)}

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(QS Al-Mujadalah 11)^{**)}

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”

(QS Al-Insyirah 6-8)^{***)}

*) Departement Agama Republik Indonesia. 1998. Al Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT. Gorfindo.

***) Departement Agama Republik Indonesia. 2004. Al Qur'an dan Terjemahannya, Bandung: CV PENERBIT J-ART.

***) Departement Agama Republik Indonesia. 2004. Al Qur'an dan Terjemahannya, Bandung: CV PENERBIT J-ART.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Heru Edy Nurcahyo.

NIM : 141910101015

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* dengan *Separation Condenser* Menggunakan *Refrigerant LPG* dan *Refrigerant R-134a*” 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Juni 2018

Yang menyatakan,

Heru Edy Nurcahyo
NIM 141910101015

SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN UNJUK KERJA *DOMESTIC REFRIGERATOR* DENGAN *SEPARATION CONDENSER* MENGGUNAKAN *REFRIGERANT LPG* DAN *REFRIGERANT R-134a*

Oleh:

Heru Edy Nurcahyo

NIM 141910101015

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Agus Triono, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Perbandingan Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* Dengan *Separation Condenser* Menggunakan *Refrigerant LPG* dan *Refrigerant R-134a*”. Karya Heru Edy Nurcahyo telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Selasa, 5 Juni 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Dr. Agus Triono, S.T., M.T.
NIP 197008072002121001

Dosen Penguji Utama,

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 196812051997021002

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP 196806171995011001

Dosen Penguji Anggota,

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP 196008121998021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Analisis Perbandingan Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* dengan *Separation Condenser* menggunakan *Refrigerant LPG* dan *Refrigerant R-134a*; Heru Edy Nurcahyo, 141910101015; 2018: halaman 69; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan masyarakat tentang mesin pendingin mempengaruhi kehidupan modern, tidak hanya kualitasnya tetapi kenyamanan, ramah lingkungan dan efisiensi. Secara umum mesin pendingin dikelompokkan menjadi tiga kelompok industri, yaitu: Domestik, Komersial, Industrial. Kelompok domestik diarahkan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, seperti: *home refrigerator*, *freezer*, *air conditioner*, *type window* dan *type split*. Sedangkan kelompok komersial untuk peralatannya sering digunakan di supermarket, seperti: *reach-in freezer*, *service case*, *produce sale case*, *water cooler*, *beverage cooler* dan *truck refrigeration system*. Kelompok industrial peralatannya meliputi :*central air conditioner*, *packing plant*, *cold storage* dan pabrik es (Sapto W. dan Syamsuri H., 2008).

Penggunaan mesin pendingin di ruang lingkup rumah tangga seperti kulkas dan *air conditioner*, tentu menuntut akan efisiensi kerja yang bagus, murah, ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan yang akan berdampak pada penipisan lapisan ozon karena penggunaan *refrigerant* jenis CFC (*Cloro Flouro Carbon*), HCFC (*Hydro Cloro Fluoro Carbon*), maupun jenis yang lainnya.

Untuk memberikan efek yang baik bagi lingkungan mesin pendingin menggunakan *refrigerant* jenis hidrokarbon seperti : LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), sedangkan untuk meningkatkan performa mesin pendingin, memvariasikan salah satu komponen mesin pendingin, yaitu kondensor. Tujuan penelitian kali ini adalah untuk mengetahui perbandingan penggunaan kondensor tipe separasi dengan kondensor standart menggunakan *refrigerant LPG* dan *refrigerant R-134a* terhadap unjuk kerja mesin pendingin. Penelitian tersebut, menggunakan metode

eksperimental dengan komponen utama: kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator. Dengan tambahan alat ukur, seperti: *Flow meter*, *pressure gauge*, *thermoreader*, *thermocouple*, timbangan dan *manifold gauge*. Termokopel akan dipasang pada 5 titik yang berbeda diantaranya: keluaran kompresor, keluaran kondensor, masukan evaporator, masukan kompresor, ruang evaporator. Waktu pengambilan data 180 menit dengan interval waktu 15 menit.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa penggunaan *refrigerant LPG* pada kondensor standart lebih bagus daripada menggunakan *refrigerant R-134a*, terbukti dapat menaikkan COP (*Coefosien Of Performance*) sebesar 6,34%. Sedangkan penggunaan kondensor separasi dapat meningkatkan dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, pelepasan kalor dan rasio pelepasan kalor selama mesin pendingin beroperasi daripada menggunakan kondensor yang tipe standart.

SUMMARY

Comparative Performance Analysis of Domestic Refrigerator with Separation Condenser using Refrigerant LPG and Refrigerant R-134a; Heru Edy Nurcahyo, 141910101015; 2018: 69 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

The public's need for a cooling machine affects modern life, not only its quality but comfort, environmental friendliness and efficiency. Generally cooling machine are grouped into three industry groups: Domestic, Commercial, Industrial. Domestic groups are directed to meet the needs of households, such as: home refrigerator, freezer, air conditioner, window type and split type . While the commercial group for the equipment is often used in supermarkets, such as: reach-in freezer, service case, produce sale case, water cooler, beverage cooler and truck refrigeration system . Industrial group its equipment includes: central air conditioner, packing plant, cold storage and ice factory (Sapto W. and Syamsuri H., 2008).

The use of cooling machine in the household spaces such as refrigerators and air conditioners, necessarily requires a good, cheap, environmentally friendly work efficiency that does not pollute the environment that will impact the ozone depletion layer because using refrigerant types of CFC (Cloro Fluoro Carbon), HCFC (Hydro Cloro Fluoro Carbon) , as well as other types.

To provide a good effect for the cooling machine environment using hydrocarbon type refrigerant such as: LPG (Liquefied Petroleum Gass), while to improve the performance of cooling machine, varies one component of cooling machine, that is condenser. The purpose of this study was to comparative the using condenser separation with condenser standards using refrigerant LPG and refrigerant R-134a to performance of cooling machine. The study, using an experimental method with the main components: compressor, condenser, capillary pipe, evaporator. With additional measuring tools, such as: flow meter, pressure

gauge , thermoreader , thermocouple , scales and manifold gauge. The thermocouples will be installed at 5 different points including: compressor output, condenser output, evaporator input, compressor input, evaporator chamber. The retrieval time is 180 minutes with a time interval of 15 minutes.

The result of research shows that the use of refrigerant LPG in condenser standart is better than using refrigerant R-134a , proven to increase COP (Coefficient of Performance) by 6.34%. Whereas the use of condenser separation can increase the refrigeration effect, refrigeration capacity, heat release and heat release ratio during refrigeration operation rather than using condenser standart.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* Dengan *Separation Condenser* menggunakan *Refrigerant LPG* Dan *Refrigerant R-134a*”. 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 berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayahNya, skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. yang telah member kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. yang telah member kesempatan dan kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
4. Dr. Agus Triono, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, dorongan, semangat dan saran dengan penuh kesabaran selama penyusunan skripsi kepada penulis;
5. Hary Sutjahjono, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji Utama dan Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. Selaku Dosen Penguji Anggota, terima kasih atas kritik dan saran yang membangun untuk penulisan skripsi ini;
6. Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan;

7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, motivasi dan kritik kepada penulis;
8. Ibu Ramini dan Ayah Kasijan yang telah memberikan doa, semangat, waktu, tenaga dan pikiran kepada penulis;
9. Kakakku Repit Septiani yang telah memberikan dorongan dan bantuan dalam penyelesaian penulisan skripsi;
10. Dulur-dulur Teknik Mesin Angkatan 2014 (M16) yang telah membantu menyelesaikan penulisan skripsi;
11. Tim *Condensor Separation* (Yahya, Saiful, Dirga), yang saling memotivasi dalam menyelesaikan penulisan skripsi;
12. Teman-teman Kontrakan Taman Kampus Blok C6-5 (Panji, Tama, Jupiter, Bagus, Geri, Rohman, Nugroho), yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil dalam penyelesaian penulisan skripsi;
13. Teman-teman kontrakan Sumber Alam Blok I/2 (Berto, Galih, Saiful, Ma'ruf, Rizky, Usamah);
14. Teman-teman KKN desa Jangkar;
15. Teman-teman FKMT (Forum Komunikasi Mahasiswa Tulungagung)
16. Teman Seperjuangan (Rizky, Izhar, Dheo, Ihsan, Dhimas, Wira, Diaz, Yogi dan semua yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu);
17. Tim Pondok Pural (Ilham, Andre, Dirham, Dapid);
18. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak, demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang telah membaca.

Jember, 5 Juni 2018

Penulis

DARTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBINGAN	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Domestic Refrigerator	6
2.2 Komponen Mesin Pendingin	7
2.2.1 Evaporator	7
2.2.2 Pipa Kapiler	10
2.2.3 Kondensor.....	10
2.2.4 Kompresor	12
2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingin	13

2.3.1	<i>Filter Dryer</i>	13
2.3.2	<i>Sight Glass</i>	14
2.3.3	<i>Acces Port / Service Valve</i>	14
2.3.4	<i>Solenoid Valve</i>	14
2.3.5	<i>Liquid Receiver</i>	14
2.4	Siklus Refrigerasi	14
2.4.1	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	16
2.4.2	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	19
2.5	<i>Separation Condenser</i>	20
2.6	Pemilihan Refrigerant	23
2.6.1	<i>CloroFluoroCarbon (CFC)</i>	23
2.6.2	<i>Refrigerant</i> Hidrokarbon	25
2.6.3	Syarat <i>Refrigerant</i>	26
2.7	<i>Liquified Petroleum Gas (LPG)</i>	27
2.7.1	Pengertian	27
2.7.2	Komposisi LPG	28
2.7.3	Sifat –sifat LPG	28
2.8	Penelitian Sebelumnya	31
2.9	Hipotesis	34
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Metode Penelitian	35
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	35
3.3.1	Alat	35
3.3.2	Bahan	35
3.4	Variabel Penelitian	36
3.4.1	Variabel Bebas	36
3.4.2	Variabel Terikat	36
3.5	Prosedur Penelitian	36

3.5.1	Persiapan Alat Pengujian	36
3.5.2	Pemeriksaan Alat	36
3.5.3	Pengambilan Data	37
3.6	Rangkaian Refrigerator with Standart Condenser	38
3.7	Rangkaian Refrigerator with Separation Condenser.....	39
3.8	Pengambilan Data	40
3.9	Pengolahan Data	41
3.10	Diagram Alir.....	42
 BAB 4. PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Pengujian	44
4.2	Pembahasan.....	48
4.2.1	Temperatur Pendingin evaporator ($^{\circ}\text{C}$).....	48
4.2.2	Perhitungan Enthalpi.....	49
4.2.3	Dampak Refrigerasi (kJ/kg).....	52
4.2.4	Kerja Kompresi (kJ/kg).....	53
4.2.5	Laju Aliran Massa (kg/s)	55
4.2.6	Kapasitas Refrigerasi (kW).....	56
4.2.7	Pelepasan Kalor (kJ/kg)	57
4.2.8	Rasio Pelepasan Kalor (RPK).....	59
4.2.9	Temperatur Kondensor ($^{\circ}\text{C}$).....	60
4.2.10	<i>Coefficient off Performance</i> (COP)	62
 BAB 5. PENUTUP		
5.1	KESIMPULAN	64
5.2	SARAN.....	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN.....		70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Komponen Mesin Pendingin	7
Gambar 2.2 Evaporator Bare-tube (a) <i>Plate Zigzag Coil</i> ,(b) <i>Oval Trombone Coil</i>	8
Gambar 2.3 Evaporator Plat	8
Gambar 2.4 Evaporator plat dengan pipa	9
Gambar 2.5 <i>Finned Evaporator</i>	9
Gambar 2.6 Pipa kapiler	10
Gambar 2.7 Kondensor Berpendingin Udara.....	11
Gambar 2.8 Kondensor Berpendingin Air	12
Gambar 2.9 Kompresor Torak Multi Silinder.....	13
Gambar 2.10 Siklus Refrigerasi	15
Gambar 2.11 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal.....	16
Gambar 2.12 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	19
Gambar 2.13 Kondensor <i>double-row liquid-vapor separation</i> (D-LSMC)	20
Gambar 2.14 Kondensor <i>double-row parallel-flow separation</i> (D-PFMC)	21
Gambar 2.15 (a) kondensor standar, (b) kondensor tipe <i>separation</i>	22
Gambar 2.16 (a) <i>separation without subcooler</i> , (b) <i>separation with subcooler</i>	23
Gambar 2.17 Bahaya <i>Refrigerant</i>	24
Gambar 3.1 Rangkaian <i>Refrigerator</i> menggunakan kondensor tipe standart	38
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Refrigerator</i> menggunakan kondensor tipe <i>separation</i>	39
Gambar 4.1 Grafik Temperatur Pendingin evaporator	48
Gambar 4.2 Grafik Dampak Refrigerasi	52
Gambar 4.3 Grafik Kerja Kompresi.....	54
Gambar 4.4 Grafik Laju Aliran Massa.....	56
Gambar 4.5 Grafik Kapasitas Refrigerasi	57
Gambar 4.6 Grafik Pelepasan Kalor	58

Gambar 4.7 Grafik Rasio Pelepasan Kalor	59
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Kondensor Separasi.....	60
Gambar 4.9 Grafik Temperatur Kondensor Standart.....	61
Gambar 4.10 Grafik <i>Coefficient off Performance</i> (COP)	62



DARTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai ODP dan GWP <i>Refrigerant</i>	25
Tabel 2.2 Karakteristik Propana dan Butana.....	28
Tabel 3.1 Pengambilan Data <i>Refrigerant R-134a</i>	40
Tabel 3.2 Pengambilan Data <i>Refrigerant LPG</i>	40
Tabel 3.3 Jadwal Rencana Kegiatan	43
Tabel 4.1 Hasil rata-rata pengujian kondesor standart menggunakan <i>Refrigerant LPG</i>	45
Tabel 4.2 Hasil rata-rata pengujian kondesor standart menggunakan <i>Refrigerant R-134a</i>	45
Tabel 4.3 Hasil rata-rata pengujian kondesor separasi menggunakan <i>Refrigerant LPG</i>	46
Tabel 4.4 Hasil rata-rata pengujian kondesor separasi menggunakan <i>Refrigerant R-134a</i>	47
Tabel 4.5 Enthalpi pada kondensor biasa dengan <i>Refrigerant LPG</i>	49
Tabel 4.6 Enthalpi pada kondensor biasa dengan <i>Refrigerant R-134a</i>	50
Tabel 4.7 Enthalpi pada kondensor separasi dengan <i>Refrigerant LPG</i>	50
Tabel 4.8 Enthalpi pada kondensor separasi dengan <i>Refrigerant R-134a</i>	51
Tabel 4.9 Rata-rata Debit Aliran Pada Sistem	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data Penelitian	
3.1 Data Temperatur Mesin Pendingin	70
4.1 Data Enthalpi Mesin Pendingin	78
4.2 Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	84
4.3 Kerja Kompresi (kJ/kg)	85
4.4 Laju Aliran Massa (kg/s)	85
4.5 Daya Kompresor (kW)	86
4.6 Kapasitas Refrigerasi (kW)	86
4.7 Pelepasan Kalor (kJ/kg)	87
4.8 Rasio Pelepasan Kalor (RPK).....	88
4.9 <i>Coefficient off Performance</i> (COP).....	88
Lampiran B. Contoh Perhitungan	
4.10 Contoh Mencari Enthalpi	89
4.11 Kerja Kompresi	91
4.12 Dampak Refrigerasi	91
4.13 Pelepasan Kalor	91
4.14 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)	91
4.15 Laju Aliran Massa	92
4.16 Daya Kompresor	92
4.17 Kapasitas Refrigerasi	92
4.18 COP	92
Lampiran C. Gambar <i>Separation Condenser</i>	93
Lampiran D. Alat Ukur Debit <i>Refrigerant</i>	94
Lampiran E. Data Logger	95

Lampiran F. Spesifikasi LPG.....	96
Lampiran G. Gambar Penelitian.....	97



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat tentang mesin pendingin mempengaruhi kehidupan modern, tidak hanya kualitasnya tetapi juga kenyamanan, ramah lingkungan dan efisiensi. Kebutuhan tersebut tidak hanya pada kehidupan rumah tangga tetapi kantor, industri, kendaraan dll. Mesin pendingin banyak digunakan untuk mendinginkan makanan, ruangan, proses pengawetan makanan dan kebutuhan lainnya.

Secara umum sistem refrigrasi dibagi menjadi tiga kelompok industri, yaitu :

- a. Domestik
- b. Komersial
- c. Industrial

Kelompok domestik diarahkan untuk memenuhi keperluan rumah tangga. Peralatan domestik yang banyak beredar di pasaran antara lain *home refrigerator*, *freezer* dan *air conditioner*, *type window* dan *type split*. Kelompok komersial, peralatannya mencakup peralatan komersial yang lazim digunakan di supermarket, misalnya *reach-in freezer*, *service case*, dan *produce sale case*, *water cooler*, *beverage cooler* dan *truck refrigeration system*. Kelompok industri, peralatannya meliputi *central air conditioner*, *packing plant*, *cold storage* dan pabrik es. (Sapto W. dan Syamsuri H., 2008).

Penggunaan *Domestic Refrigerator* di ruang lingkup rumah tangga maupun industri dalam skala menengah tentunya menuntut akan efisiensi kinerja dari mesin pendingin tersebut dan ramah lingkungan, tidak mencemari lingkungan yang berdampak pada penipisan lapisan ozon karena penggunaan *Refrigerant* dengan jenis CFC (*Cloro Fluoro Carbon*), HCFC (*Hydro Cloro Fluoro Carbon*), maupun jenis yang lainnya.

Refrigerant memiliki fungsi yang sangat penting pada mesin pendingin yaitu sebagai fluida pendingin atau sebagai media perpindahan panas pada sistem mesin pendingin, masih banyak masyarakat yang belum peduli akan bahaya

refrigerant dengan jenis CFC dan HCFC. *Refrigerant* sendiri memiliki kontribusi langsung pada kerusakan lingkungan diantaranya penipisan lapisan ozon dan pemanasan global melalui kebocoran dari buangan *refrigerant* sintetis (CFC dan HCFC) ke lingkungan (McMullan, 2002; Nasruddin, 2003). Contoh yang banyak ditemukan pada penggunaan *refrigerant* di *domestic refrigerator* yaitu R-12 atau CFC, R-22 atau HCFC, R-134a atau HFC, dimana R-12 memiliki nilai GWP (*Global Warming Potential*) 7900 dalam rentang 20 tahun dan nilai ODP (*Ozone Depleting Potential*) 1 atau 1 kalinya besar degradasi lapisan ozon, R-22 memiliki nilai GWP 4300 dalam rentang waktu 20 tahun dan nilai ODP 0,05, sedangkan R-134a nilai GWP 1300 dalam rentang waktu 100 tahun dan nilai ODP 0 (*Scientific Assessment of Ozone Depleting* (1994). UNEP, 1995). Dengan ditemukannya penyebab kerusakan lapisan ozon yang salah satunya adalah penggunaan *refrigerant R-12*, maka dari efek buruk penggunaan *refrigerant R-12*, muncul inisiatif untuk mengganti *refrigerant* yang ada pada mesin pendingin tersebut dengan *refrigerant* yang lebih ramah lingkungan seperti *refrigerant R-134a*, walaupun nilai pemanasan global cukup tinggi, namun dari sifat *thermophysical* (stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan tidak merusak komponen mesin pendingin) antara R-12 dan R-134a sangat mirip, tetapi R-134a dalam jangka waktu lama akan memiliki efek pada pemanasan global, dengan berkembangnya teknologi pemakaian R-134a mulai ditinggalkan dengan muncul inisiatif memakai *refrigerant* yang ramah lingkungan yang tidak memiliki efek pada lingkungan.

refrigerant jenis hidrokarbon sama seperti gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yang berada dalam pasaran tetapi masih murni belum ditambah unsur lain dan tidak berbau. Banyak peneliti menggunakan *refrigerant LPG (Liquefied Petroleum Gas)* pada *domestic refrigerator* sebagai penelitian. Contoh : pada penelitian unjuk kerja sistem kompresi uap yang telah dilakukan oleh M. El-Morsi (2015) menyajikan hasil yang diukur oleh perangkat lunak MATLAB dan perangkat lunak REFPROP, menunjukkan bahwa R-600 memiliki COP (*Coefisien Of Performance*) dan *Exergy* yang tinggi, sementara LPG memiliki nilai terendah bila dibandingkan dengan R-134a, COP untuk R-134a lebih tinggi daripada LPG sebesar 10%. Namun LPG memiliki keuntungan yang tidak mahal,

tersedia dalam jumlah besar dan nol potensi penipisan ozon dan rendah potensi pemanasan global. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh M. Fatouh & M. El Kafafy (2005), dengan komposisi LPG 60% *butane* dan 40% *propane* dimana menggunakan pipa kapiler dengan panjang 5 meter dan pengisian massa *refrigerant LPG* 60 gram koefisien kinerja dari domestik refrigerator (COP) meningkat sekitar 7.6% dibanding dengan R-134a.

Banyak cara yang dilakukan untuk meningkatkan nilai COP pada mesin pendingin, salah satunya adalah variasi dari tipe kondensor. Kondensor yang akan diteliti yaitu dengan tipe *Separation*. *Separation Condenser* adalah pemisahan aliran dua fasa (*vapor* dan *liquid*) pada kondensor yang akan meningkatkan kinerja perpindahan panas ke lingkungan, sehingga diharapkan dapat memperbaiki *Coefosien Of Performance* mesin pendingin dan menghemat energi. Perkembangan teknologi pada saat ini, banyak para ilmuwan melakukan penelitian salah satunya yaitu Tianming Zhong, Xianglong Luo, dkk. (2015) dalam penelitiannya tentang *Experimental investigation on the thermodynamic performance of double-row liquid-vapor separation microchannel condenser*, eksperimen yang dilakukan untuk mengetahui beban kalor, koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan antara *double-row liquid-vapor separation microchannel condenser* (D-LSMC) dengan *double-row parallel-flow microchannel condenser* (D-PFMC), hasilnya menunjukkan bahwa beban panas yang masuk kondensor $585 \text{ kg/m}^2\text{s} - 874 \text{ kg/m}^2\text{s}$, koefisien perpindahan panas 3,3% - 14,4% lebih tinggi dari kondensor tipe D-PFMC, dan penurunan tekanan kondensor tipe D-LSMC 43,4% - 52,1%. Tahun terakhir Lie dan Hrnjak (2017), melakukan penelitian tentang perbandingan performa dari kondensor tipe *separation* dengan kondensor tipe standar, menyatakan bahwa pada saat kapasitas pendinginannya disesuaikan dengan menyesuaikan kecepatan kompresor, COP meningkat sebesar 1,3% - 6,6% dibanding dengan menggunakan kondensor tipe standar. Di tahun yang sama Lie dan Hrnjak (2017) melelakukan penelitian, yaitu pengoptimalan mesin pendingin dengan menggunakan kondensor tipe *separation* dengan menambahkan *subcooling*. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa konsep pemisah aliran dua fasa dalam kondensor meningkatkan kinerja transfer panas

dengan memanfaatkan koefisien transfer panas uap aliran. Studi numerik yang dilakukan menyatakan bahwa pada laju aliran yang sama suhu keluar kondensor lebih rendah yaitu Suhu keluaran kondensor tipe separation sebesar $38,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran masa $38,4\text{ gram/detik}$. Suhu keluaran kondensor tipe standar sebesar $39,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran massa yang sama. Sedangkan penurunan tekanan sebesar 2% dan tingkat aliran kondensat 6,1% lebih banyak pada kondensor tipe *Separation*.

Penelitian yang akan dilakukan yaitu menggunakan *refrigerant LPG* sebagai pengganti *refrigerant R-134a* pada mesin pendingin dengan variasi tipe kondensor, yaitu : tipe *separation*, diharapkan dapat mengetahui unjuk kerja dari mesin pendingin dan mengetahui performa dari LPG sebagai *refrigerant* yang memiliki *non-ozon depleting potential* (non- ODP) dan *non-global warming potential* (non-GWP).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh *Separation Condenser* terhadap prestasi kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, pelepasan kalor, COP) dengan menggunakan *refrigerant LPG* ebagai pengganti *refrigerant R-134a*.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan penggunaan *refrigerant LPG* dan *refrigerant R-134a* dengan *Separation Condenser* terhadap kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, pelepasan kalor, COP).

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain, sebagai berikut:

1. Memperoleh informasi mengenai pengaruh *Separation Condenser* terhadap prestasi kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, pelepasan

kalor, COP, kapasitas refrigerasi) dengan R-134a dan LPG sebagai *refrigerant*.

2. Untuk mengurangi bahaya penggunaan *refrigerant* yang memiliki *non-ozon depleting potential* (non-ODP) dan *non-global warming potential* (non-GWP).
3. Sebagai bahan acuan / bahan informasi untuk peneliti lain dalam pengembangan unjuk kerja mesin pendingin.

1.4 Batasan Masalah

1. Sistem terisolasi sempurna.
2. Suhu pipa pada setiap titik yang diamati di asumsikan suhu *refrigerant*.
3. Perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi pada sistem diabaikan.
4. Perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan.
5. Tiga jam setelah penyalaan mesin pendingin diasumsikan sebagai *steady state*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

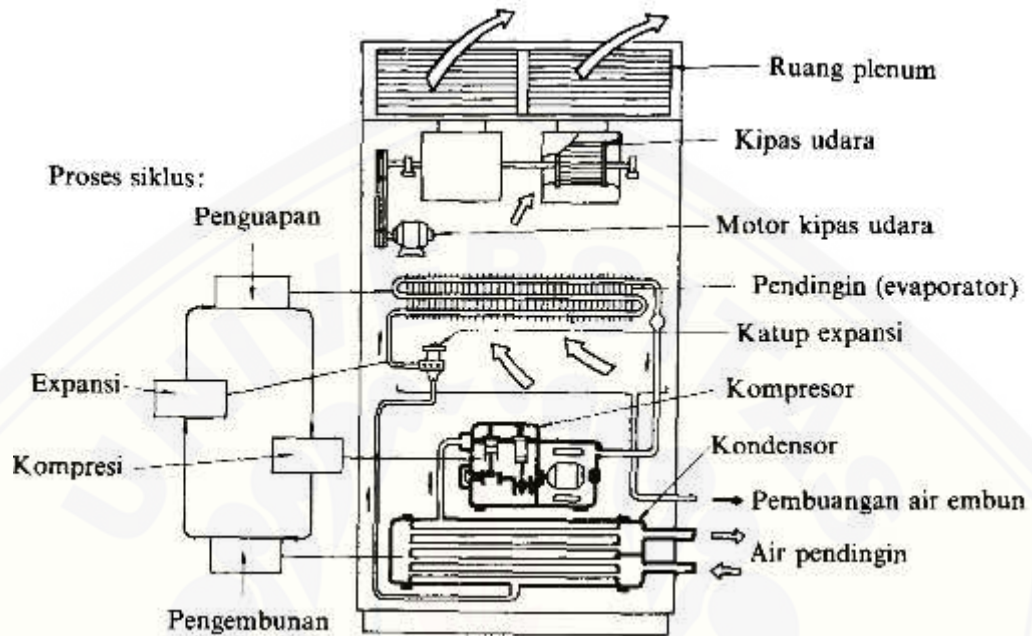
2.1 *Domestic Refrigerator*

Domestic Refrigerator atau kulkas merupakan mesin pendingin yang fungsinya untuk mendinginkan zat agar temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Kulkas sering digunakan pada rumah tangga untuk mendinginkan makanan, minuman dan sayur – sayuran. Secara umum komponen mesin pendingin antara lain : kompresor, evaporator, katup ekspansi, pipa kapiler, kondensor, serta *refrigerant* sebagai cairan fluida kerja yang bersirkulasi pada komponen-komponen tersebut. (Anwar, 2010).

Proses refrigerasi pada kulkas yaitu penyerapan kalor dari lingkungan (bertemperatur tinggi) dan dipindahkan ke ruangan kulkas yang memiliki temperatur lebih rendah. Refrigerasi dicapai dengan penyerapan secara terus menerus dengan menguapkan *refrigerant* secara kontinyu. Karena proses tersebut dilakukan secara kontinyu maka temperatur ruangan kulkas akan semakin berkurang, kemudian temperatur ruangan akan dijaga sesuai dengan kebutuhan.

Refrigerant pada mesin pendingin akan dipompa oleh kompresor sehingga tekanan *refrigerant* naik. Peningkatan *refrigerant* diiringi dengan naiknya temperatur sehingga berubah fasa *Liquid– Gass. Refrigerant* yang berubah fasa menuju ke kondensor setelah dipompa oleh kompresor, pada kondensor terjadi proses pengkondensasian sehingga panas *refrigerant* akan dibuang kelingkungan. *Refrigerant* keluaran kondensor akan berubah fasa menjadi cair dengan tekanan tinggi, melalui pipa kapiler *refrigerant* akan melewati filter yang berfungsi untuk menyaring kotoran yang kemungkinan terbawa oleh aliran *refrigerant*, kemudian *refrigerant* di ekspansikan (*expansion valve*) ke evaporator supaya tekanan *refrigerant* turun dan berubah menjadi partikel-partikel kecil. Dalam evaporator *refrigerant* terjadi proses perpindahan kalor anatara ruangan yang akan didinginkan (kulkas) dengan *refrigerant* yang ada dalam evaporator. Perpindahan panas tersebut akan menyebabkan temperatur *refrigerant* meningkat sehingga berubah fasa menjadi uap, *refrigerant* akan mengambil kalor dari lingkungan pada

saat terjadi perubahan fasa dari cair ke uap. Sebaliknya, saat berubah fasa dari uap ke cair, *refrigerant* akan membuang kalor ke lingkungan disekelilingnya. (Stoecker and Jones, 1996).



Gambar 2.1 Komponen Mesin Pendingin (sumber :Wiranto dan Heizo, 1991)

Komponen utama dari sistem pendingin (kulkas) adalah sebagai berikut :

- Evaporator
- Pipa Kapiler
- Kondensor
- Kompresor

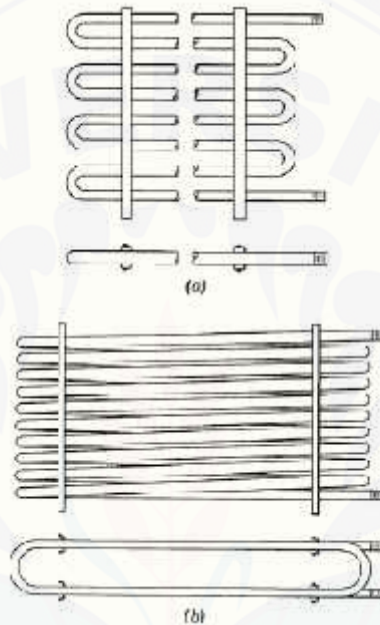
2.2 Komponen Mesin Pendingin

2.2.1 Evaporator

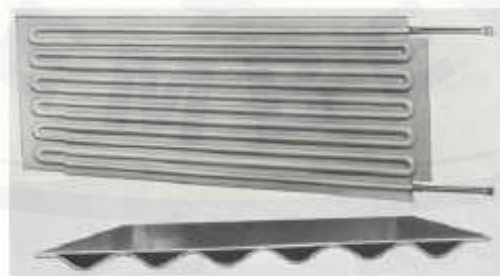
Evaporator adalah komponen utama dari mesin pendingin fungsinya untuk menyerap kalor dari udara, benda atau yang lainnya yang ada diruangan yang akan didinginkan. Evaporator memiliki fungsi kebalikan dari kondensor dimana semua evaporator berfungsi untuk menyerap kalor sedangkan kondensor

melepaskan kalor kelingungan. Pada umumnya evaporator terbuat dari bahan logam anti karat yaitu tembaga dan aluminuim.(Pratipta Y.A., 2016).

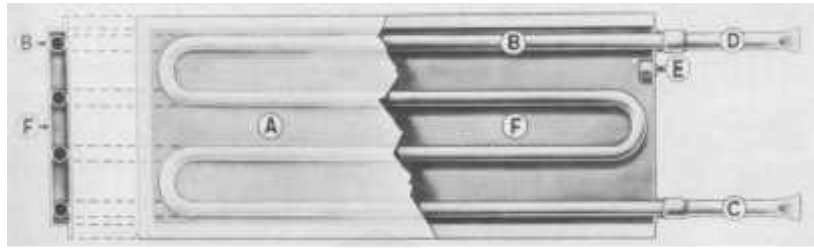
Evaporator dapat berupa koil telanjang tanpa sirip (*bare pipe coil*), koil bersirip (*finned coil*), pelat (*plate evaporator*), *shell and coil*, atau *shell and tube evaporator*. Jenis evaporator yang digunakan pada suatu sistem refrigerasi tergantung pada jenis aplikasinya. (Stocker and Jones, 1996).



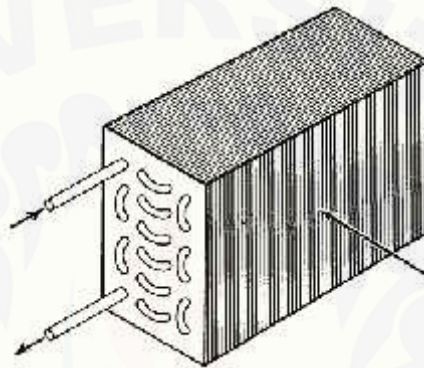
Gambar 2.2 Evaporator Bare-tube (a) *Plate Zigzag Coil*, (b) *Oval Trombone Coil*
(sumber :Widodo dan Hasan, 2008)



Gambar 2.3 Evaporator Plat (sumber :Widodo dan Hasan, 2008)



Gambar 2.4 Evaporator plat dengan pipa (sumber :Widodo dan Hasan, 2008)



Gambar 2.5 Finned Evaporator (sumber :Widodo dan Hasan, 2008)

Kapasitas evaporator dinyatakan dalam satuan watt, agar dapat memindahkan kalor sesuai dengan keinginan, maka permukaan perpindahan kalor evaporator harus mempunyai kapasitas perpindahan panas yang cukup baik, agar semua *refrigerant* yang akan diuapkan di dalam evaporator dapat berlangsung dengan optimal dan menghasilkan pendinginan yang maksimum juga. (Widodo dan Hasan, 2008). Secara matematika, jumlah panas yang akan dipindahkan dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q = A \times U \times TD \dots\dots\dots (2.1)$$

- Dimana :
- Q = Jumlah panas yang dipindahkan (W)
 - A = Permukaan luar evaporator (m²)
 - U = Faktor konduktansi panas (W/m²K)
 - TD = Beda suhu *refrigerant* dan udara luar

2.2.2 Pipa Kapiler

Pipa kapiler merupakan komponen yang sangat penting pada mesin pendingin yang berfungsi untuk meneruskan cairan *refrigerant*, pada ujung pipa kapiler terdapat katup ekspansi yang berguna untuk mengekspansikan refrigeran dari kondensor ke evaporator. Pipa kapiler mempunyai ukuran panjang 1,5 hingga 2 m, dengan diameter dalam 0,5 mm hingga 2 mm. (Sumanto, 2004). Semakin besar diameter pipa kapiler maka semakin rendah tingkat pengkabutannya dan semakin jauh daya pancar *refrigerant* yang bisa berakibat bahan pendingin kembali ke kompresor masih dalam bentuk cairan, yang seharusnya sudah dalam bentuk gas, hal ini dapat membahayakan kompresor. (Stoecker & Jones, 1996).

Pendinginan udara dalam skala kecil digunakan pipa kapiler sebagai pengganti katup ekspansi. Diameter dalam dan panjang dari pipa kapiler tersebut ditentukan berdasarkan besarnya perbedaan tekanan yang diperlukan, antara yang bertekanan tinggi dengan bertekanan rendah dan jumlah *refrigerant* yang bekerja. Cairan *refrigerant* mengalir ke dalam evaporator, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara lingkungan, sehingga menguap secara kontinyu. (Poernomo, 2015).



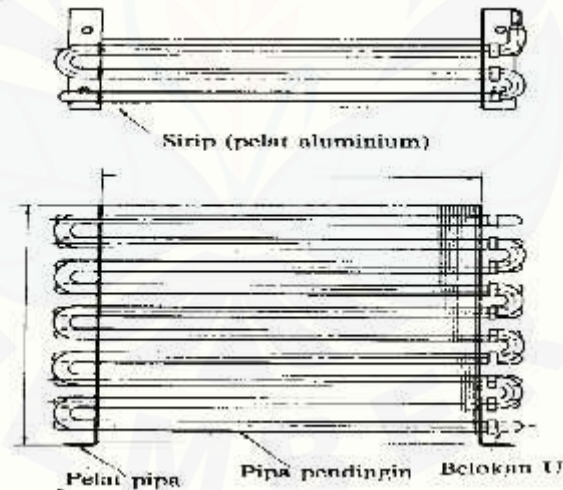
Gambar 2.6 Pipa kapiler (sumber :Stoecker and Jones, 1996)

2.2.3 Kondensor

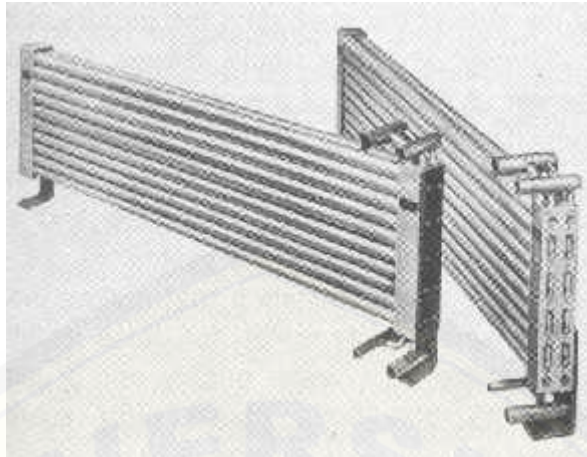
Kondensor merupakan komponen utama mesin pendingin yang berfungsi untuk mengkondensasikan *refrigerant* bertekanan tinggi dari kompresor, sehingga *refrigerant* berubah fasa dari uap ke cair yang disertai pembuangan kalor ke lingkungan. Secara umum kondensor ada dua jenis yaitu kondensor berpendingin

udara (*air cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke udara luar dan pada kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke air. (Darwis, & Robert, 2005).

Kondensor berpendingin udara memiliki dua tipe antara lain :*Natural Draught Condenser*, dimana pelaksanaan perpindahan panasnya dilakukan dengan aliran udara secara alami, yang kedua yaitu *Force Draught Condenser*, dimana pelaksanaan perpindahan panasnya dilakukan dengan udara yang dipaksa oleh kipas atau blower. Sedangkan kondensor berpendingin air, dibagi menjadi dua menurut aliran airnya yaitu *ware water system*, dimana aliran airnya diambil dari sumber kemudian dialirkan melewati kondensor secara terus menerus kemudian dibuang sehingga tidak ada sirkulasi air didalamnya, kemudian yang kedua yaitu *recirculating water system*, dimana aliran airnya bersirkulasi dalam kondensor untuk menurunkan tekanannya atau menjaga temperature *refrigerant* dalam kondensor sesuai dengan kebutuhan. (Nanda Choirul, 2016).



Gambar 2.7 Kondensor Berpendingin Udara (sumber : Wiranto dan Heizo, 1991)



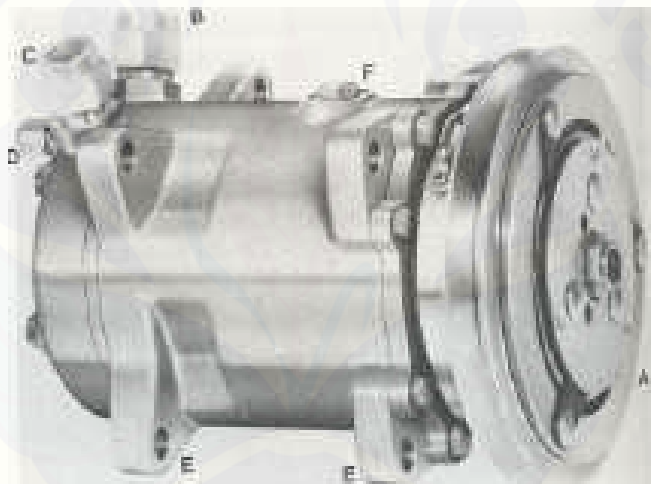
Gambar 2.8 Kondensor Berpendingin Air (sumber :Widodo dan Hasan, 2015)

Kondensor berpendingin air jarang digunakan pada *Domestic Refrigerator* dibandingkan dengan kondensor berpendingin udara karena sistemnya terlalu rumit dan sering digunakan pada sistem pendingin skala besar seperti kelompok industri, kondensor berpendingin air hampir sama seperti *Heat Exchanger* yang banyak kita jumpai pada industri pembangkit listrik maupun yang lainnya.

2.2.4 Kompresor

Kompresor sering dikenal sebagai jantung pada sistem refrigerasi dimana kompresor berfungsi untuk menghisap, menaikkan tekanan uap refrigeran dari evaporator yang akan diteruskan ke kondensor, dengan begitu otomatis temperatur refrigeran juga akan naik. Menurut Darwis T. dan Robert S. (2005) dalam jurnalnya yang berjudul Pemahaman Tentang Sistem Refrigerasi menyatakan bahwa bagian pemipaan yang menghubungkan antara evaporator dengan kompresor disebut dengan saluran hisap (*Suction line*). Penambahan tekanan uap *refrigerant* dengan kompresor bertujuan agar *refrigerant* dapat mengembun pada temperatur yang relatif tinggi. *Refrigerant* yang keluar dari kompresor masih berfasa uap dengan tekanan yang tinggi, perbandingan antara absolut tekanan buang (*discharge pressure*) dan tekanan hisap (*suction pressure*) disebut dengan ratio kompresi (*compression ratio*).

Penentuan beberapa suhu yang harus dicapai oleh evaporator, antara lain ditentukan oleh beberapa rendah suhu penguapan di evaporator. Hal ini bergantung dari bahan pendingin (*refrigerant*) dan jenis dari kompresor yang dipakai. Kompresor yang dipakai secara umum ada dua macam yaitu kompresor torak (*Reciprocating*) dan kompresor rotari. (Poernomo, 2015). Kompresor pada sistem refrigerasi yang sering digunakan adalah kompresor torak. Kompresor torak terdiri dari sebuah piston yang bergerak kedepan dan kebelakang didalam suatu silinder yang mempunyai katup hisap dan katup buang sehingga berlangsung proses pemompaan dan kompresi. Kompresor yang memiliki jumlah silinder lebih dari satu disebut kompresor multi silinder dan silinder-silindernya dapat disusun V, W, radial, ataupun lurus. (Stoecker and Jones,1996).



Gambar 2.9 Kompresor Torak Multi Silinder (sumber : Widodo dan Hasan, 2008)

2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

Selain komponen utama yang telah disebutkan diatas, ada juga komponen pendukung mesin pendingin agar mengoptimalkan unjuk kerja dari mesin pendingin itu sendiri, komponen pendukung mesin pendingin tersebut sebagai berikut :

2.3.1 *Filter Dryer*

Komponen ini berfungsi untuk menyaring kotoran yang terbawa oleh aliran *refrigerant* dari kompresor maupun kondensor dan menghilangkan uap air

yang mungkin masih tertinggal pada sistem refrigerasi. *Filter Dryer* dipasang pada *liquid line*, yaitu saluran yang menyambungkan antara keluaran kondensor dengan katup ekspansi.

2.3.2 *Sight Glass*

Komponen ini digunakan untuk mengamati secara visual kondisi refrigeran yang mengalir, *Sight Glass* terbuat dari kaca transparan sehingga dapat diamati aliran refrigeran tersebut, apabila pada *Sight Glass* terdapat gelembung-gelembung ataupun kotoran maka proses pengkondensasian pada kondensor tidak sempurna. Selain itu, warna yang tampak pada alat ini dapat dilihat apakah refrigeran pada sistem refrigerasi masih mengandung uap air atau tidak.

2.3.3 *Acces Port / Service Valve*

Alat ini digunakan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian refrigeran. Alat ini juga dapat digunakan untuk keperluan *pumpdown*. (Darwis, & Robert, 2005).

2.3.4 *Solenoid Valve*

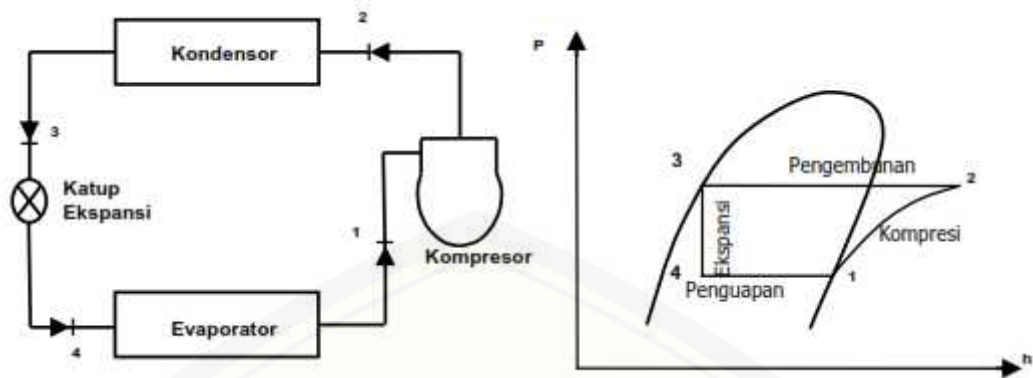
Katup solenoid pada sistem refrigerasi digunakan untuk menyekat aliran *refrigerant* pada sistem agar tidak sedang bekerja, pada aplikasi juga dapat sebagai alat bantu untuk penghilangan bunga es pada evaporator dengan metode *hot gas defrosts*.

2.3.5 *Liquid Receiver*

Komponen ini digunakan untuk menampung *refrigerant* cair yang berasal dari kondensor. cairan *refrigerant* ditampung dibagian bawah dari alat ini, sedangkan uap refrigeran ditampung dibagian atas, komponen ini dipasang pada pipa kapiler sebelum *filter dryer* dan *sight glass*. (Darwis, & Robert, 2005).

2.4 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi merupakan siklus kerja pada mesin pendingin yang mentransfer panas (kalor) dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem (Nasution, 2002).



Gambar 2.10 Siklus Refrigerasi(sumber :Stoecker dan Jones,1996)

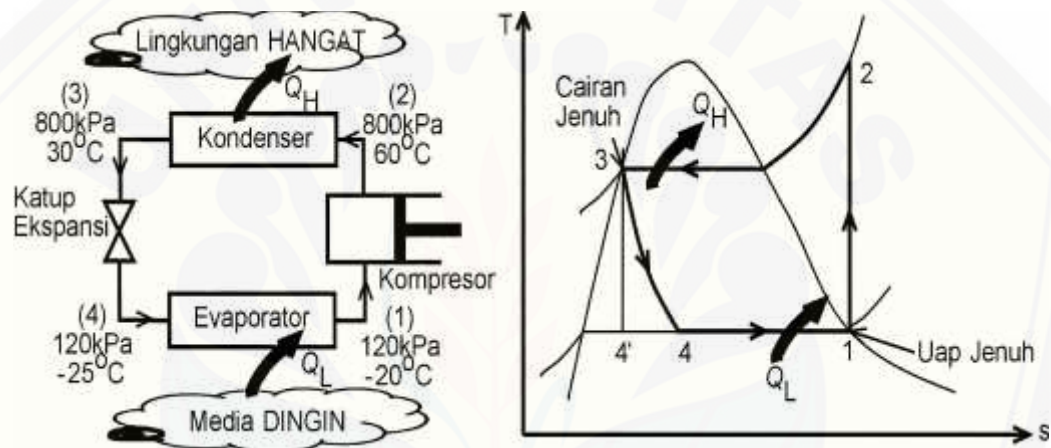
Gambar 2.10 menjelaskan bahwa 1-2 adalah proses kompresi adiabatik oleh kompresor dari uap jenuh ke suatu tekanan pada tekanan kondensor. Dimana tekanannya dinaikkan, suhu juga akan naik, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke *refrigerant*. Langkah 2-3, proses pengembunan di dalam kondensor dan pengeluaran panas *refrigerant* pada tekanan konstan. Langkah 3-4, proses ekspansi pada entalpi konstan ke suatu tekanan evaporator. Langkah 4-1, proses penguapan *refrigerant* pada tekanan konstan sehingga menjadi uap jenuh. Cairan *refrigerant* dalam evaporator menyerap panas dari sekitarnya, selama proses ini cairan *refrigerant* merubah bentuknya dari cair menjadi gas. (Najamudin, 2014). Siklus refrigerasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- Siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*) dimana *refrigerant* mengalami proses penguapan dan kondensasi, dan dikompresi dalam fasa uap
- Siklus gas (*gas refrigeration cycle*), dimana *refrigerant* tetap dalam kondisi gas.
- Siklus bertingkat (*cascade refrigeration cycle*), dimana merupakan gabungan lebih dari satu siklus refrigerasi.
- Siklus absorpsi (*absorption refrigeration cycle*), dimana *refrigeran* dilarutkan dalam sebuah cairan sebelum dikompresi.

- e. Siklus termoelektrik (*thermoelectric refrigeration cycle*), dimana proses refrigerasi dihasilkan dari mengalirkan arus listrik melalui 2 buah material yang berbeda.

2.4.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal merupakan kebalikan siklus carnotm dimana *refrigerant* harus menguap seluruhnya sebelum dikompresi pada kompresor, sehingga turbin digantikan perannya oleh katub ekspansi atau pipa kapiler.



Gambar 2.11 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal (sumber : Rahmat T. R., 2000)

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal dapat digambarkan dalam diagram T-s, seperti gambar 2.11. Proses-proses yang terjadi sebagai berikut :

- 1-2 : kompresi isentropis dalam kompresor
- 2-3 : pembuangan kalor secara isobaris dalam kondensor
- 3-4 : *Throttling* dalam katup ekspansi atau pipa kapiler
- 4-1 : Penyerapan kalor secara isobaris dalam evaporator

Pada gambar 2.11 angka 1 menunjukkan bahwa disini *refrigerant* dalam kondisi uap jenuh masuk ke kompresor dan keluar sebagai uap panas lanjut. *Refrigerant* kemudian masuk ke kondensor untuk melepas kalor sehingga terjadi pengkondensasian sampai kondisi cair jenuh. Keluar dari kondensor cairan

refrigerant masuk ke katup ekspansi untuk mengalami proses pengkabutan sehingga mengalami proses penurunan tekanan dan berubah menjadi campuran jenuh. Proses terakhir ini juga bisa diganti dengan sebuah turbin isentropis untuk menaikkan kapasitas pendinginan dan menurunkan kerja input (dengan kompensasi kompleksnya sistem). *Refrigerant* masuk ke evaporator untuk menyerap kalor sehingga terjadi proses evaporasi dan siap untuk langkah kompresi.

Seluruh proses siklus diatas bersifat *reversible* secara internal, kecuali untuk proses ekspansi yang *ireversibel* (karena katup/trotel tidak mungkin isentropik sehingga perlu diidealisasi atau berperan sebagai turbin untuk memudahkan analisis). Efisiensi siklus refrigerasi dinyatakan dalam koefisien unjuk kerja (COP), dimana tergantung dari efek refrigerasi ($Load/Q_L$) dan kerja netto ($W_{net,in}$). secara teoritis COP maksimum ini tergantung dari temperatur dua sisi (T_{cool} & T_{high}), dimana COP akan naik bila beda temperatur keduanya semakin kecil, dengan kata lain T_{cool} naik atau T_{high} turun. Persamaan energi untuk komponen-komponen refrigerator dapat ditulis :

$$Q - w = h_e - h_i \dots \dots \dots (2.2)$$

Perbandingan antara besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator dengan kerja kompresor yang harus diberikan disebut sebagai koefisien kinerja (*Coefficient of Performance*). Dengan asumsi perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan maka COP dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$COP = \frac{q_e}{w_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$COP = \frac{\text{output tujuan}}{\text{kerja yang dibutuhkan}} = \frac{\text{efek pendinginan}}{\text{input kerja}} = \frac{Q_l}{W'_{net\ in} + W_{fan}} \dots \dots (2.4)$$

Pada sistem refrigerasi, besarnya kalor yang diambil oleh *refrigerant* pada evaporator dari lingkungannya akan sebanding dengan selisih entalpi antara keluaran dan masukan evaporator. Kejadian ini dikenal sebagai efek refrigerasi.

$$q_e = h_1 - h_4 \dots\dots\dots(2.5)$$

keterangan :

- q_e = Efek refrigerasi (kJ/kg)
- h_1 = Enthalpi *refrigerant* keluaran evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)
- h_2 = Enthalpi *refrigerant* masuk kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)

Stoecker dan Jones (1996), menyatakan pada proses kompresi, enthalpi *refrigerant* akan mengalami kenaikan akibat energi yang ditambahkan oleh kompresor kepada refrigeran. Besarnya kenaikan energy *refrigerant* akan sebanding dengan kerja kompresor, yang dinyatakan dengan rumus, sebagai berikut :

$$W = h_2 - h_1 \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

- W = kerja kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)
- h_1 = Entalpi *refrigerant* keluaran kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)
- h_2 = Entalpi *refrigerant* masuk kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)

Kapasitas refrigerasi q adalah laju aliran massa dikalikan pengurangan *refrigerant* yang meninggalkan dan memasuki evaporator. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

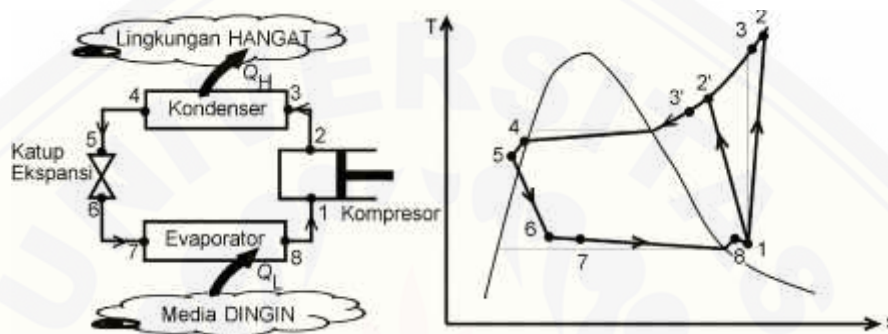
$$q = (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- q = kapasitas refrigerasi (kW)
- = laju aliran massa (kg/det) atau (gr/det)
- h_1 = Entalpi *refrigerant* keluaran evaporator (kJ/kg)
- h_4 = Entalpi *refrigerant* masuk evaporator (kJ/kg)

2.4.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

Pada kenyataannya *refrigerator* atau *head pump* akan bekerja dengan suatu proses yang menyimpang dari siklus idealnya akibat *ireversibilitas* dalam tiap komponennya. Hal ini disebabkan oleh gesekan fluida dan perpindahan kalor dari atau ke lingkungan sekitar. Siklus refrigerasi kompresi uap aktual dapat digambarkan secara skematis seperti gambar dibawah ini. (Rahmat T. R., 2000)



Gambar 2.12 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual (sumber :Rahmat T. R., 2000)

Hal-hal yang terjadi dalam siklus ini adalah :

1. *Refrigerant* sudah dalam kondisi uap panas lanjut sebelum masuk ke kompresor.
2. Akibat pipa yang cukup panjang penghubung antara kompresor-evaporator akan mengakibatkan rugi tekanan. Rugi tekanan yang disertai peningkatan volume spesifikasi dari *refrigerant* membutuhkan tenaga input yang lebih besar
3. Di dalam kondensor akan terjadi rugi tekanan,
4. *Refrigerant* dalam kondisi cairan terkompresi ketika masuk dalam katup ekspansi.
5. Dalam proses kompresi ada rugi gesekan dan perpindahan kalor yang akan meningkatkan entropi (1-2) atau menurunkan entropi (1-2') dari *refrigerant* tergantung kepada arah perpindahan kalornya. Proses 1-2 lebih disukai karena volume spesifiknya turun sehingga tenaga input bisa lebih kecil. Hal ini bisa dilakukan apabila pendinginan dalam langkah kompresi.

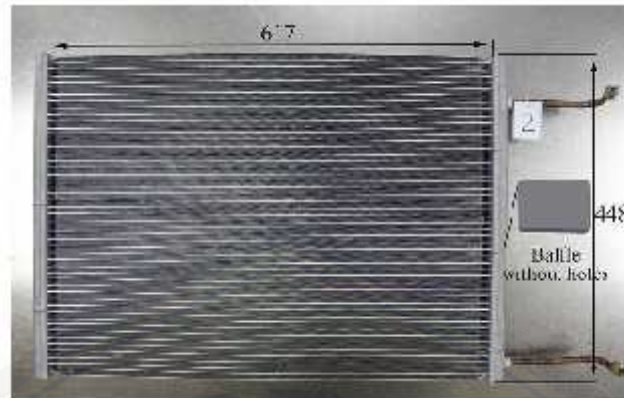
2.5 Separation Condenser

Separasi adalah pemisahan komponen – komponen dari suatu cairan sehingga menjadi fraksi yang individual. Pada prinsipnya separasi ini dipengaruhi oleh densitas maupun gaya gravitasi sehingga fraksi-fraksi tersebut akan terpisah. Sedangkan separasi pada kondensor adalah pemisahan fasa yang ada didalamnya guna untuk meringankan kinerja dari kondensor tersebut. Dengan berkembangnya teknologi banyak para ilmuwan melakukan penelitian salah satunya yaitu Tianming Zhong, Xianglong Luo, dkk. (2015) dalam penelitiannya tentang *Experimental investigation on the thermodynamic performance of double-row liquid-vapor separation microchannel condenser*, eksperimen dilakukan untuk mengetahui beban kalor, koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan antara *double-row liquid-vapor separation microchannel condenser* (D-LSMC) dengan *double-row parallel-flow microchannel condenser* (D-PFMC), hasilnya menunjukkan bahwa beban panas yang masuk $585 \text{ kg/m}^2\text{s} - 874 \text{ kg/m}^2\text{s}$, koefisien perpindahan panas 3,3% - 14,4% lebih tinggi daripada kondensor tipe D-PFMC, dan penurunan tekanan kondensor tipe D-LSMC 43,4% - 52,1% dari D-PFMC.



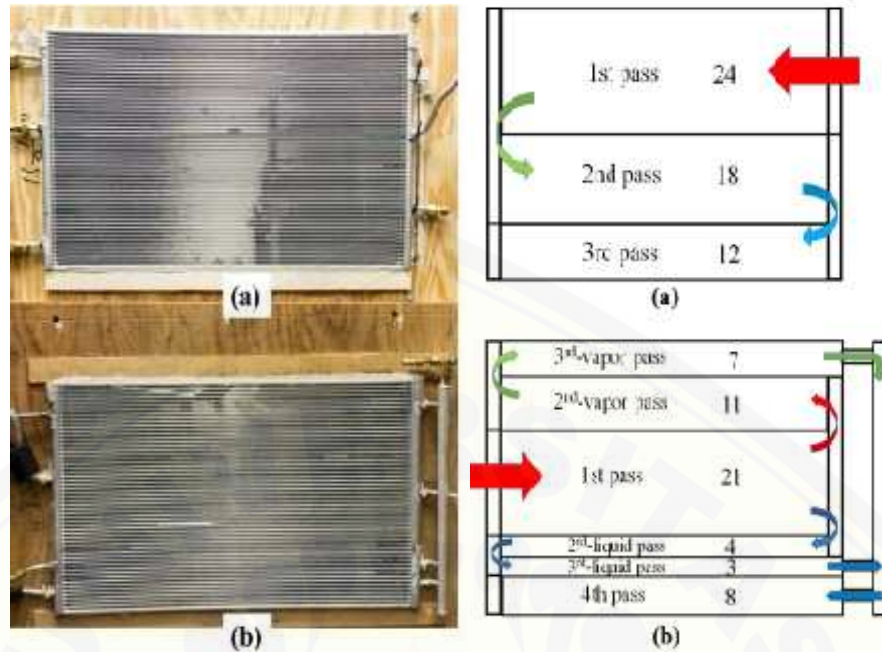
Gambar 2.13 Kondensor dengan *double-row liquid-vapor separation*(D-LSMC)

(sumber : Tianming Z., Xianglong L., dkk., 2015)



Gambar 2.14 Kondensor dengan *double-row parallel-flow separation* (D-PFMC)
(sumber : Tianming Z., Xianglong L., dkk., 2015)

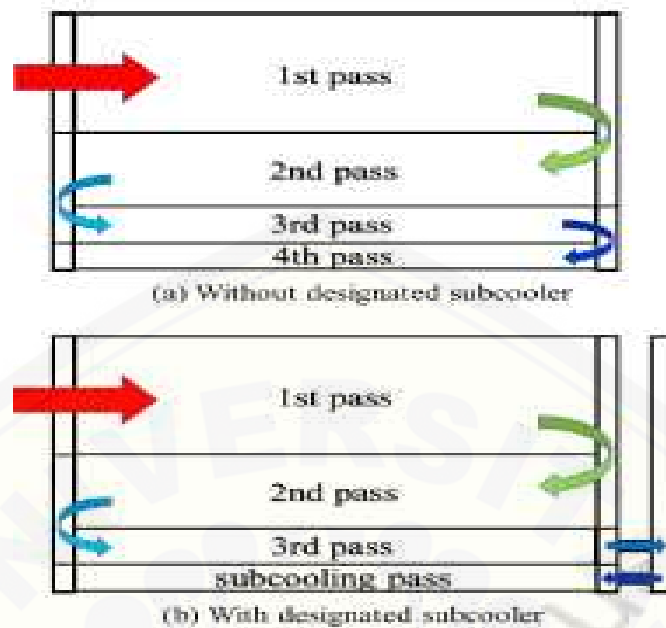
Menurut Li and Hrnjak (2017), tujuan dari *separation condenser* adalah untuk memanfaatkan kinerja perpindahan panas yang lebih tinggi dari aliran uap sehingga meningkatkan kinerja perpindahan panas ke seluruh kondensor. Model dari kondensor tipe *separation* akan mempengaruhi dari kinerja kondensor, maka dilakukan penelitian oleh Li and Hrnjak (2017) tentang perbaikan kinerja kondensor dengan *separation* secara eksperimental dan pemodelan. Hasil yang didapat pada penelitian ini adalah laju aliran kondensat tipe *separation* sebesar 1,6% – 7,4 % lebih banyak dibandingkan dengan kondensor tipe *baseline* (standar). Dan COP yang didapat pada kondensor tipe *separation* sebesar 6,6 % dibanding dengan tipe standar, penelitian ini menggunakan *refrigerant R-134a*.



Gambar 2.15 (a) kondensor standar, (b) kondensor tipe *separation*

(sumber : Li and Hrnjak , 2017)

Pada tahun yang sama Li and Hrnjak (2017), melakukan penelitian lagi tentang *separation condenser* guna untuk pengoptimalan unjuk kerja mesin pendingin yang menggunakan kondensor tipe *separation* dengan perbandingan pemodelan *separation with subcooling* dengan tipe standar. Studi numerik yang dilakukan menyatakan bahwa pada laju aliran yang sama suhu keluar kondensor lebih rendah yaitu Suhu keluaran kondensor tipe *separation* sebesar $38,6^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran masa $38,4$ gram/detik. Dan suhu keluaran kondensor tipe standar sebesar $39,7^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran massa yang sama. Sedangkan penurunan tekanan sebesar 2% dan tingkat aliran kondensat 6,1% lebih banyak pada kondensor tipe *Separation*.



Gambar 2.16 (a) *separation condenser without subcooler*, (b) *separation condenser with subcooler* (sumber : Li and Hrnjak, 2017)

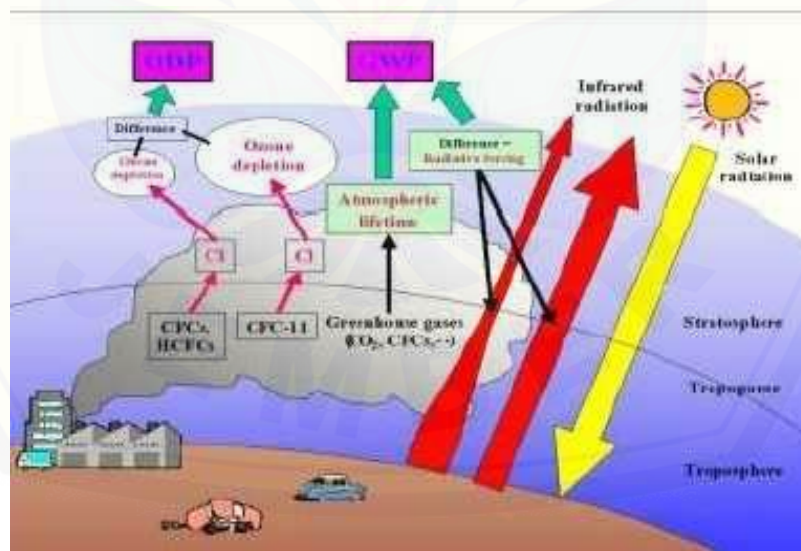
2.6 Pemilihan Refrigerant

Pada umumnya pemilihan *refrigerant* sangat penting dalam sistem refrigerasi, dimana banyak pilihan jenis *refrigerant* yang ada dipasaran, sehingga pemilihan *refrigerant* harus tepat agar kerja dari refrigerator menjadi optimal. Untuk penggunaan *refrigerant* pada refrigerator harus mempertimbangkan dengan jenis kompresor yang akan dipakai dan karakteristik termodinamikanya yang antara lain meliputi temperatur penguapan dan tekanan penguapan serta temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan (Wiranto dan Heizo, 1991). Contoh *refrigerant* antara lain : *CloroFluoroCarbon* (CFC), *Hydro Cloro Fluoro Carbon* (HCFC), *Hydro Fluoro Carbon* (HFC), Amoniak, Hidrokarbon (*propane, butane, etana, etilena*, dll), karbondioksida, udara, dan air.

2.6.1 *CloroFluoroCarbon* (CFC)

Refrigerant jenis ini banyak kita jumpai dipasaran, yang merupakan senyawa organik, senyawa yang mengandung pada CFC yaitu atom karbon dengan klorin dan florin yang mengikat, hal ini akan merusak ozon dan

membahayakan kehidupan permukaan bumi jika dibiarkan dalam jangka panjang. CFC merupakan zat-zat yang tidak mudah terbakar dan tidak terlalu beracun. Satu buah molekul CFC memiliki masa hidup 50 hingga 100 tahun dalam atmosfer sebelum dihapuskan. Sifat CFC yang berupa ODS maka pemakaiannya di Negara-negara maju sudah dibatasi. Jenis-jenis Freon antara lain R-11 (AC dengan kapasitas besar), R-12 (AC dan freezer dalam rumah tangga). R-22 (*heat pump* dan AC bangunan komersial dan industri besar), R-502 (*Chiller* supermarket) dll. Jenis Freon yang bukan ODS adalah R-134a. (Tri Agung R, 2000). Pada tahun 1970, zat-zat kimia seperti CFC dan HCFC sudah menyebabkan penipisan lapisan ozon. Zat kimia perusak lapisan ozon ini sangat stabil, sehingga bisa mencapai stratosfer secara utuh. Ketika berada di stratosfer, zat kimia ini diubah oleh radiasi ultraviolet dari sinar matahari dan mengeluarkan atom-atom klorin perusak ozon. Setelah lapisan ozon menipis, jumlah bahaya ultraviolet yang mencapai bumi bertambah antara lain menyebabkan perubahan ekosistem, kanker kulit, dan katarak. (Pratipta Y.A., 2016)



Gambar 2.17 Bahaya Refrigerant (sumber :Business Solutions Partner, 1996)

2.6.2 Refrigerant Hidrokarbon

Refrigerant ini banyak diteliti karena ramah lingkungan, tidak beracun, lebih murah, tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon dengan nilai ODP (*ozone depletion potential*) sebesar 0. Selain itu *refrigerant* hidrokarbon tidak menyebabkan pemanasan global dengan nilai GWP (*global warming potential*) kurang dari 3 (Jwo,2006).

Refrigerant hidrokarbon yang saat ini menunjukkan performa terbaik adalah R-436a (campuran propan dan isobutana dengan rasio massa 56/44). R-436a sebanyak 55 gram setara dengan R-134a (*tetra fluoro ethane*) sebanyak 105 gram, sehingga terjadi efisiensi penyimpanan muatan *refrigerant* sebesar 48% (Rasti et al, 2013).

Tabel 2.1 Nilai ODP dan GWP Refrigerant

Type	Product R-Number	ODP		GWP	
CFC	12	1	High	10900	High
	502	0,33	High	4657	High
HCFC	22	0,055	Medium	1810	Medium
	123	0,060	Medium	77	Low
	401A	0,033	Medium	1182	Medium
	401B	0,036	Medium	1288	Medium
	402A	0,019	Medium	2788	High
	402B	0,030	Medium	2416	Medium
	408A	0,024	Medium	5152	High
	409A	0,046	Medium	1909	Medium
HFC	23	0	Zero	14800	High
	32	0	Zero	675	Medium
	134a	0	Zero	1430	Medium
	404A	0	Zero	3922	High
	407A	0	Zero	2107	Medium
	407C	0	Zero	1771	Medium
	407F	0	Zero	2088	Medium
	417A	0	Zero	2346	Medium
	422A	0	Zero	3143	High
	422D	0	Zero	2729	High
	423A	0	Zero	2280	Medium
	424A	0	Zero	2440	Medium
	427A	0	Zero	2138	Medium
	428A	0	Zero	3607	High
	434A	0	Zero	5245	High
	437A	0	Zero	1805	Medium
	438A	0	Zero	2265	Medium
442A	0	Zero	1888	Medium	
507A	0	Zero	3985	High	
508B	0	Zero	13396	High	
M089	0	Zero	3805	High	

(sumber : UNEP, 2006.IPCC, 2007)

Keuntungan menggunakan *refrigerant* hidrokarbon adalah :

- a. Familiar dengan kehidupan manusia
- b. Tidak merusak komponen mesin refrigerasi
- c. Mudah didapat
- d. Tidak perlu penggantian komponen mesin refrigerasi
- e. Rama lingkungan, tidak merusak lapisan ozon dan tidak menimbulkan efek rumah kaca
- f. Memiliki sifat fisika dan termodinamika yang lebih baik
- g. Kompatibel terhadap semua mesin pendingin yang biasa menggunakan *refrigerant* sintetis.

2.6.3 Syarat *Refrigerant*

Refrigerant harus memiliki syarat-syarat agar sistem refrigerasi dapat bekerja secara optimal dan juga aman untuk digunakan, syarat tersebut antara lain:

- a. Tekanan penguapan harus tinggi
- b. Tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi
- c. Kalor laten penguapannya harus tinggi
- d. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil
- e. Koefisien prestasinya harus tinggi
- f. Konduktivitas termal tinggi
- g. Konstanta elektrika dari refrigeran yang kecil, tahan listrik yang besar.
Serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik.
- h. *Refrigerant* tidak boleh beracun
- i. *Refrigerant* tidak menyebabkan korosi
- j. Ramah lingkungan
- k. Mudah diperoleh
- l. Bau tidak menyengat
- m. Tidak mudah meledak

2.7 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

2.7.1 Pengertian

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan bahan bakar yang berupa gas yang dicairkan, dimana LPG merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses destilasi bertekanan tinggi. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu gas alam maupun gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*). Komponen utama penyusun LPG terdiri dari Hidrokarbon ringan berupa *propane* (C_3H_8) dan *butane* (C_4H_{10}), serta jumlah kecil dari Etana (C_2H_6) dan Pentana (C_5H_{12}), (Yorda, 2016). Banyak gas LPG dikemas dengan ukuran tabung baja tertentu, definisi tabung baja LPG menurut SNI 19-14152-2006 adalah tabung bertekanan yang dibuat dari pelat baja karbon canai panas, digunakan untuk menyimpan gas LPG dengan kapasitas pengisian antara 3 kg (6,5 liter) sampai dengan 50 kg (108 liter) dan memiliki tekanan rancang bangun $18,6 \text{ kg/cm}^2$.

LPG banyak digunakan untuk bahan bakar rumah tangga maupun industri, dimana LPG harganya yang terjangkau dan praktis, apalagi untuk LPG 3 kg ada subsidi dari pemerintah sehingga penggunaan dalam skala kecil semakin meningkat. Tetapi disisi lain LPG harus memenuhi beberapa persyaratan khusus dengan tujuan agar aman dalam pemakaian tidak terjadi kecelakaan kerja (dalam industri) maupun meledak (rumah tangga) yang banyak ditemui kasus tersebut. Menurut Suma'mur (1995), kecelakaan adalah kejadian yang tidak terduga dan tidak diharapkan. Tidak terduga maksudnya yaitu dibelakang peristiwa itu tidak ada unsure kesengajaan, lebih-lebih dalam bentuk perencanaan.

Banyak terjadi kasus kebocoran LPG, maka LPG sebelum dipasarkan harus ditambahkan zat pembau (*odor*) sehingga apabila terjadi kebocoran akan segera dapat diketahui. Zat pembau yang ditambahkan pada LPG harus melarut sempurna, tidak boleh mengendap. Untuk itu digunakan etil merkaptan (C_2H_5SH) atau butil merkaptan (C_4H_9SH). Sedangkan dibidang industry produk elpiji digunakan sebagai pengganti *Freon, aerosol, refrigerant/cooling agent*, kosmetik dan dapat pula digunakan sebagai bahan baku produk khusus (Pratipta Y.A.,2016).

2.7.2 Komposisi LPG

Berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009, komposisi produk LPG minimal mengandung campuran propane (C_3) dan butane (C_4) sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran pentane (C_5) dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi propane (C_3) dan butane (C_4) dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan (145 psi). Darwis & Robert(2005) menyebutkan pada sisi keselamatan, komposisi optimal dijaga pada level 120 psi atau 8 bar atau 8 kali tekanan udara luar, selain itu komposisi tersebut juga mempertimbangkan keamanan dan kemampuan aksesoris sesuai standar SNI.

Tabel 2.2 Karakteristik Propana dan Butana

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	2925
Temperatur Didih ($^{\circ}C$)	-42	-0,5
Berat Jenis terhadap udara	1,55	2,09
Massa Molekul	44,1	58,13
Temperatur Kritis ($^{\circ}C$)	96,8	152
Tekanan Kritis	4254	3794
Titik Beku ($^{\circ}C$)	-187,7	-138,5

(sumber :Ralph J. Fessenden, 1997)

2.7.3 Sifat –sifat LPG

a. Wujud

Gas LPG yang berada pada tabung umumnya bersifat cair namun sebagian berwujud uap. Tapi apabila dikeluarkan maka akan berubah bentuk menjadi gas.

Wujud awal dari LPG adalah gas, namun dipasarkan dijual dalam bentuk cair. Perubahan wujud tersebut terjadi karena adanya temperature dan tekanan, maka volume gas juga akan berubah. Volume yang berwujud cair akan menjadi lebih kecil apabila dibandingkan dengan volume gas ketika masih berwujud gas. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250 : 1 (Supono, 2014).

Dalam jurnal yang ditulis oleh Supono (2014), menyatakan bahwa jumlah gas diukur berdasarkan volumenya (V) dengan satuan m^3 . tetapi apabila gas tersebut berwujud cair maka jumlah gas diukur berdasarkan massanya (m) dengan satuan kg, sebagai contoh dipasaran membeli LPG ukuran 3 kg.

b. Massa jenis (*density*)

Kepadatan massa atau massa jenis adalah massa persatuan volume. Simbol yang sering digunakan adalah (ρ). Massa jenis gas yaitu banyaknya massa (kg) dari gas yang mempunyai volume sebesar $1,0 m^3$ pada kondisi tertentu (diukur dari suhu $0^\circ C$, dan tekanan 1013 bar/ $1,013 kg/cm^2$). Pengetahuan tentang masa jenis sangat penting guna untuk memahami perilaku gas bila gas tersebut terlepas di udara bebas, apakah gas tersebut naik ke atas atau turun ke bawah.

c. *Specific Gravity*

Specific gravity adalah perbandingan antara massa jenis fluida (*fluid density*) dengan massa jenis fluida tertentu (*specified reference density*). Yang digunakan sebagai fluida pembanding bisa berbeda-beda. Misalnya untuk cairan, maka sebagai fluida pembandingnya adalah air pada suhu $4^\circ c$. sedangkan untuk gas sebagai fluida pembandingnya adalah udara (biasanya pada suhu $20^\circ c$). *specific gravity* merupakan sebuah perbandingan, sehingga tidak memiliki satuan.

Meskipun pengertiannya tidak sama (tetapi pada dasarnya sama), ada yang menerjemahkan *Specific gravity* dengan massa jenis relatif. Massa jenis relatif udara adalah 1. Angka ini didapat dari massa jenis udara dibandingkan dengan massa jenis udara itu sendiri yaitu $1,293 kg/m^3$. Jadi $1 = 1,293 kg/m^3$. Dengan cara lain bisa dihitung massa relatif propana yaitu $2,004 kg/m^3 : 1,293 kg/m^3 = 1,55$ dan massa jenis relatif dari butana adalah 2,09. Apabila massa jenis relatif

dari suatu gas lebih kecil daripada 1, maka gas tersebut akan naik ke udara, namun apabila kurang dari 1 maka akan turun ke tanah. (Supono, 2014).

Nilai massa jenis relatif gas *propane* dan *butane* lebih besar dari udara, maka apabila menyimpan LPG harus member ventilasi yang diletakkan rata dengan lantai (bila memungkinkan) atau dinaikkan sedikit, hal ini dilakukan apabila terjadi kebocoran pada LPG, gas tersebut bisa cepat keluar dan bercampur dengan udara bebas. Disamping itu, dengan alasan yang sama seperti diatas, maka LPG perlu disimpan diruang bawah tanah.

d. *Ignition Temperature*

Menurut Supono (2014), menyatakan temperatur nyala dari bahan bakar gas LPG 450°C - 650°C , dengan temperatur seperti itu gas yang diletakkan diudara bebas akan menjadi panas dan akan terjadi pembakaran. Temperatur nyala dari *propane* 510°C , sedangkan *butane* 460°C . dari data ini bisa tahu bahwa gas LPG yang terlepas atau bocor keudara bebas tidak akan terbakar dengan sendirinya, karena temperatur udara bebas sekitar 27°C . untuk menimbulkan nyala maka diperlukan alat penyala atau pematik api. Apabila temperatur udara bebas ini minimal sama dengan temperatu nyala, maka gas tersebut berada dalam kondisi *autoignition temperature* yaitu temperatur terendah dimana bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya tanpa diberi sumber nyala.

e. Batas Nyala (*Flammable Range*)

Batas nyala atau batas meledak adalah perbandingan campuran antara gas dengan udara, dimana pada batas tersebut terjadi nyala api atau ledakan. Batas nyala untuk propana sekitar 2,4 % - 9,6% dan butana antara 1,9% - 8,6%. Ini artinya bahwa misal terjadi campuran 2,4 % propana dengan 97,6 % udara, maka campuran tersebut akan menyala, tetapi jumlah gas *propane* ini merupakan jumlah minimal, apabila kurang dari 2,4 % maka tidak akan menyala, demikian juga terjadi pada gas *butane*.

Pengetahuan tentang batas nyala dari gas, dapat dicegah danantisipasi bahaya dari LPG tersebut. Dengan mengetahui bahwa gas akan terbakar apabila campuran dengan udara dengan perbandingan tertentu, maka apabila terjadi kebocoran gas,

salah satu tindakan adalah membuka pintu atau jendela agar gas tersebut lepas ke udara luar. Dengan demikian gas tersebut tidak akan terbakar.

2.8 Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian yang dilakukan untuk pengoptimalan unjuk kerja mesin pendingin, baik dari segi jenis *refrigerant*, variasi komponen mesin pendingin dan masih banyak lagi. Dimana outpunya antara lain : ramah lingkungan, efisiensi, COP, murah dll. Untuk menambah hal tersebut sudah dilakukan beberapa penelitian.

Mohamed El-Morsi (2015), melakukan penelitian tentang analisa energi dan exergi dari LPG sebagai pengganti *refrigerant R-134a* pada mesin pendingin. Pada penelitian ini didapatkan bahwa LPG bagus digunakan sebagai *refrigerant* karena ramah lingkungan, walaupun pada penelitian ini COP LPG lebih rendah dari R-134a sekitar 10% dan selisih exergi sekitar 5%. LPG memiliki keunggulan tidak mahal, tersedia dalam jumlah yang besar dan memiliki dampak yang sangat rendah terhadap alam karena GWP dan ODP rendah.

M. Fotouh dan M. El Kafafy (2006), melakukan penelitian tentang penggunaan LPG sebagai *refrigerant* pada mesin pendingin (kulkas). Yang menyatakan bahwa dengan panjang pipa kapiler 5 m dan pengisian massa *refrigerant LPG* 60 gram, menghasilkan koefisien dari kinerja kulkas meningkat sekitar 7,6% dibandingkan dengan penggunaan *refrigerant R-134a, freezer* dan suhu kabin yang menggunakan *refrigerant LPG* lebih rendah 1⁰C dari penggunaan *refrigerant R-134a*. konsumsi energi dan rasio pada waktu penggunaan LPG lebih rendah dari R-134a masing-masing adalah 10,8 % dan 14,3%.

Jatinder Gill dan Jagdev Singh (2017), melakukan penelitian yang tujuannya untuk mengetahui COP dari mesin pendingin menggunakan *refrigerant R-134a* dengan campuran R-134/LPG. Campuran R-134a/LPG dengan perbandingan massa 28:72 menghasilkan koefisien kerja mesin pendingin sekitar 15,1-17,82 % dari seluruh rentang suhu evaporator serta kondensor. Panjang pipa kapiler yang digunakan adalah 5,1 meter dan massa *refrigerant* 118 gram. Untuk kapasitas sistem pendingin dengan penggunaan campuran R-134a/LPG lebih

rendah dari *refrigerant R-134a* sekitar 7,04 -11,41 % atas seluruh rentang suhu evaporator serta koondensor, karena panas laten lebih tinggi.

Laksono (2014), melakukan penelitian dengan memvariasikan diameter pipa kapiler untuk mengetahui prestasi kerja mesin dengan penggunaan LPG sebagai *refrigerant*. Dari variasi diameter 0,026, 0,028, 0,031 *inch* didapat dampak refrigerasi tertinggi pada diameter pipa kapiler standart yaitu 0,028 *inch* dengan nilai 444,3 kJ/kg. pencapaian COP terbesar didapat pada diameter 0,026 *inch* dengan nilai 16,4. Dengan demikian penggunaan pipa kapiler yang lebih kecil terbukti dapat menaikkan COP sehingga koefisien kerja mesin dapat tercapai optimal atau semakin baik.

Ayu Amelia Arumsari (2017), meneliti tentang variasi panjang pipa kondensor paralel terhadap unjuk kerja mesin pendingin dengan *refrigerant LPG*. Hasilnya menyatakan bahwa performa mesin pendingin dengan *refrigerant LPG* yang menggunakan panjang rangkuman pipa kondensor paralel 10U lebih baik dibandingkan dengan menggunakan pipa 6U dan 12U. karena nilai COP meningkat 35,05% dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Mario, Y. (2007) dengan nilai sebesar 7,78. Selain itu, kerja kompresi paling baik dimiliki oleh kondensor paralel 10U yang meningkat 25,84% daripada 6U. sedangkan dampak refrigerasi terbesar ada pada kondensor paralel 12U yang lebih tinggi 9,59% dari kondensor paralel 6U.

Moch, Rizal A. Y, (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi beban pendinginan terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan *refrigerant R-12* dan LPG. Hasil dari penelitian tersebut saat menggunakan *refrigerant R-12* menghasilkan COP sebesar 4,75 ketika beban pendinginan 40 watt dan saat menggunakan *refrigerant LPG*, COP sebesar 5,00 dengan beban pendinginan 40 watt, dari sini terlihat bahwa penggunaan *refrigerant LPG* lebih baik karena memiliki kinerja mesin yang baik dibanding dengan R-12 dilihat dari COP. Dengan waktu 30 menit menghasilkan temperature LPG lebih rendah dari R-12, temperatur LPG tanpa beban pendingin adalah 10⁰C, beban 20 *watt* sebesar 11⁰C, beban 40 *watt* sebesar 12⁰C, beban 60 *watt* sebesar 15⁰C dan beban 80 *watt* sebesar 17⁰C dan temperatur yang dihasilkan *refrigerant R-12* adalah 12⁰C tanpa

beban, beban 20 watt sebesar 13°C , beban 40 watt sebesar 15°C , beban 60 watt sebesar 16°C dan beban 80 watt sebesar 18°C .

Alfon Erick P, (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi massa LPG sebagai *refrigerant* terhadap prestasi kerja dari lemari es. Dengan menyatakan hasil bahwa penggunaan LPG sebagai *refrigerant* terbukti bahwa dapat digunakan sebagai *refrigerant* yang aman dan dapat digunakan sebagai *refrigerant* pada mesin pendingin kompresi uap. *Refrigerant* menggunakan LPG lebih mampu meninginkan evaporator lebih cepat daripada menggunakan R-12. Dampak refrigerasi menggunakan *refrigerant* LPG dengan variasi massa 80 gram mendapatkan nilai sebesar 259,3 Joule daipada menggunakan variasi massa 50 gram dan 90 gram yang dampak refrigerasinya sebesar 249,81 Joule dan 245,4 Joule. Kerja kompresi yang menggunakan LPG dengan variasi massa 90 gram adalah yang tertinggi dengan nilai 44,88 Joule daripada variasi massa 50 gram dan 80 gram yang kerja kompresinya 41,95 Joule dan 41,12 Joule. Sedangkan prestasi kerja mesin yang menggunakan variasi massa 80 gram lebih tinggi daripada menggunakan massa 50 gram yaitu sebesar 6,30.

Jun Li and Pega Hrnjak (2017), melakukan penelitian tentang kinerja mesin pendingin menggunakan kondensor tipe *Separation* dengan menggunakan *refrigerant*R-134a. hasil dari penelitian tersebut adalah separasi pada kondensor bisa lebih efektif, pada awalnya dari kondensor pemisah fasa (*separation*) diuji guna untuk penukar panas. Peningkatan maksimum sebesar 7,4 % dari laju aliran massa *refrigerant* yang dapat dicapai dari kondensor tipe *separation* dibandingkan dengan kondensor standar. Kapasitas pemanas meningkat sebesar 5,1 %, sebagai criteria pembanding lainnya, *Separation condenser* menurunkan suhu keluar *refrigeran* lebih baik daripada menggunakan kondensor standar. Peningkatan COP sebesar 1,3 % – 6,6 % daripada menggunakan kondensor standar.

Pada tahun yang sama Li and Hrnjak (2017), melakukan penelitian lagi tentang *separation condenser* guna untuk pengoptimalan unjuk kerja mesin pendingin yang menggunakan kondensor tipe *separation* dengan perbandingan pemodelan *separation with subcooling* dengan tipe standar. Studi numerik yang dilakukan menyatakan bahwa pada laju aliran yang sama suhu keluar kondensor

lebih rendah yaitu Suhu keluaran kondensor tipe separation sebesar $38,6^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran masa $38,4$ gram/detik. Dan suhu keluaran kondensor tipe standar sebesar $39,7^{\circ}\text{C}$ dengan laju aliran massa yang sama. Sedangkan penurunan tekanan sebesar 2% dan tingkat aliran kondensat $6,1\%$ lebih banyak pada kondensor tipe *Separation*.

2.9 Hipotesis

Penggunaan *separation condenser* pada sistem pendingin menyebabkan fasa yang masuk pada kondensor terbagi menjadi 2 yaitu fasa *liquid* dan *vapor*. Hal ini akan menyebabkan fasa *vapor* naik keatas dan fasa *liquid* turun kebawah karena pengaruh massa dan gravitasi sehingga meningkatkan kinerja perpindahan panas lingkungan yang tinggi dari aliran fluida di kondensor, maka kinerja kondensor lebih mudah dan meningkatkan COP mesin pendingin dengan beban pendinginan yang tidak terlalu tinggi.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan adalah metode eksperimental dengan variasi tipe kondensor, kondensor yang akan diteliti yaitu kondensor tipe *separation*. Dan melakukan perbandingan *refrigerant* yaitu menggunakan *refrigerant LPG* dengan *refrigerant R-134a*. Berdasarkan perbandingan *refrigerant* tersebut dapat dihitung kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien prestasi mesin pendingin pada jenis *refrigerant*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian pada penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 – Maret 2018. Proses tersebut meliputi proses persiapan alat uji dan pengambilan data. Penelitian ini dilaksanakan di kampus Patrang Jl. Patrang, Jember Regency.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

- a. Mesin Pendingin (Kulkas tipe NR-A15KE)
- b. *Pressure gauge*
- c. *Manifold gauge*
- d. Timbangan Digital
- e. *Thermocouple* (tipe K)
- f. Kondensor tipe *separation*
- g. Las Asitelin
- h. Data Logger
- i. *Flow meter*
- j. *Metil*

3.3.2 Bahan

- a. LPG 3kg
- b. *Refrigerant R-134a*

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum penelitian dilaksanakan. Variabel bebas pada penelitian ini adalah kondensor tipe *separation*, yaitu dengan menggunakan *refrigerant LPG* dan *R-134a* dalam selang waktu per 15 menit. Hal ini dilakukan setelah 3 jam setelah mesin pendingin dioperasikan, dimana kondisi sistem ini diasumsikan *steady state*.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak bisa ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya bergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini merupakan tekanan dan temperatur pada titik yang akan dicari, yaitu : T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10 (lampiran A). Selain itu variabel bebas juga akan mempengaruhi dari nilai dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigeran, dan koefisien prestasi mesin pendingin.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Alat Pengujian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan merangkai ulang instalasi perpipaan, pemasangan kondensor tipe *separation* pada mesin pendingin sesuai dengan kebutuhan penelitian dan memasang alat untuk mengukur tekanan, temperatur, dll. sesuai yang akan dicari. Penelitian ini menggunakan mesin pendingin (kulkas satu pintu).

3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

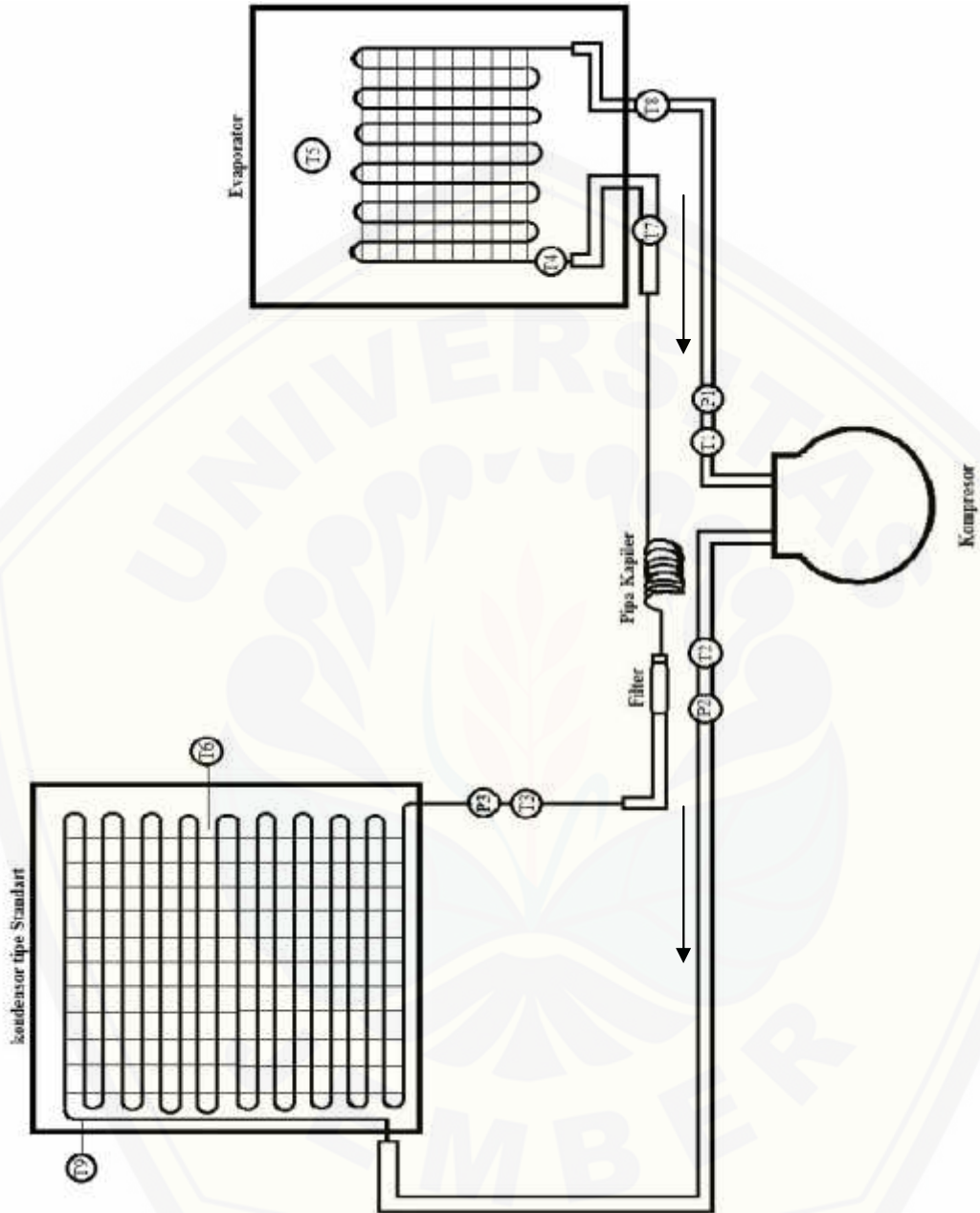
Setelah semua komponen mesin pendingin sudah di instal, tahap selanjutnya yaitu memeriksa kelengkapan alat uji dan memeriksa kembali komponen mesin pendingin. Kemudian dilakukan pemvakuman untuk memastikan tidak ada udara yang masuk pada sistem selanjutnya dilakukan pengisian *refrigerant*. Penelitian pertama yaitu menggunakan *refrigerant R-134a* dan dilanjutkan dengan *refrigerant LPG*.

3.5.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat dilakukan pengujian. Tahap-tahap yang dilakukan antara lain :

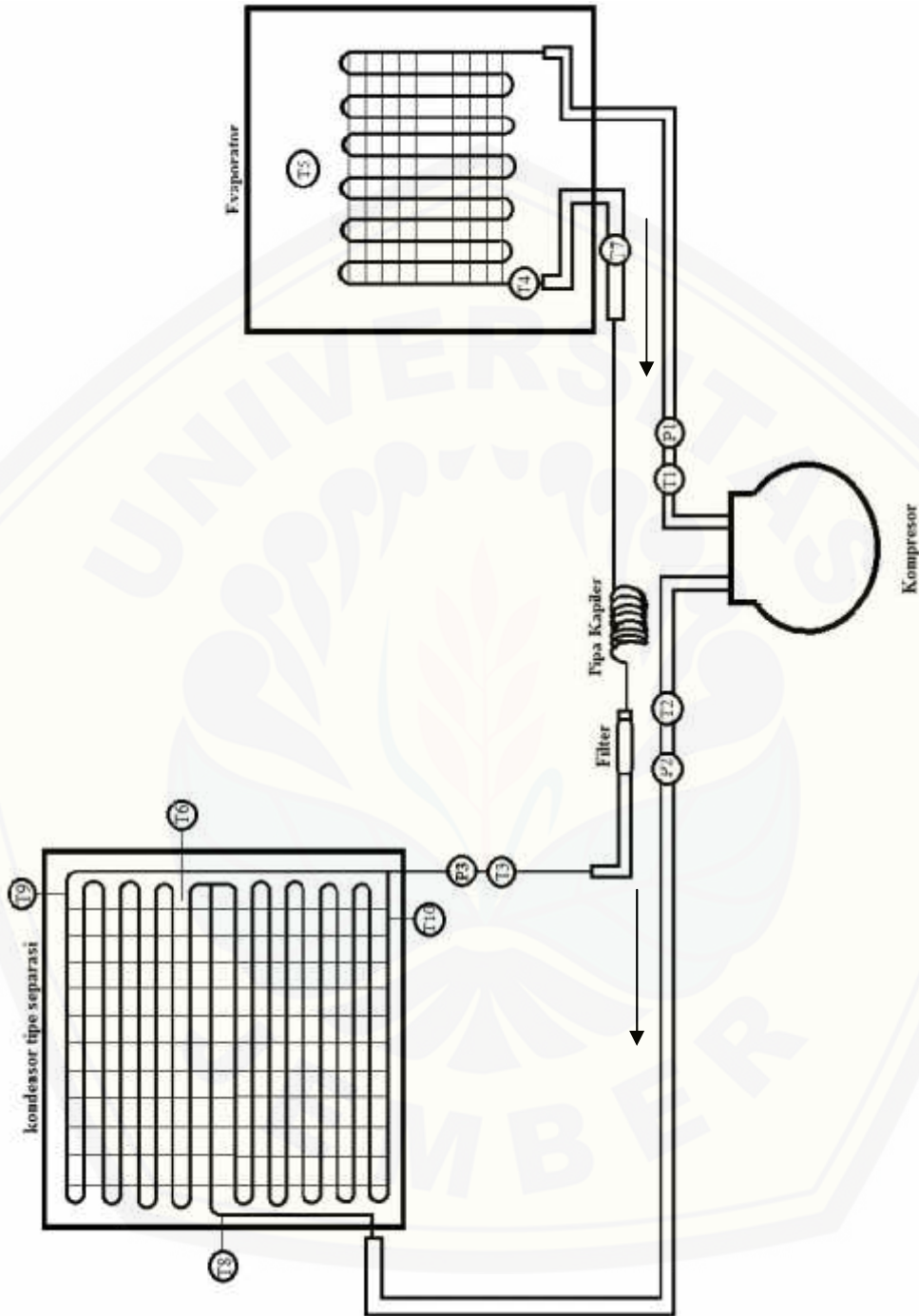
- a. Merangkai komponen mesin pendingin dengan benar yaitu kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi dan komponen pendukung penelitian.
- b. Pemasangan alat ukur (*thermocouple*), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah ditentukan.
- c. Mengisi sistem dengan udara untuk melihat kebocoran pada mesin pendingin. Melakukan pemvakuman sebelum diisi *refrigerant* pada sistem.
- d. Melakukan pengujian menggunakan *refrigerant R-134a* dengan variasi kondensor tipe *separation* menggunakan beban yang sama
- e. Mencatat tekanan dan *temperature* yang telah ditunjukkan pada titik per 15 menit.
- f. Melakukan pengujian dengan *refrigerant LPG* dengan urutan seperti pengujian menggunakan *refrigerant R-134a*.
- g. Pengumpulan data.
- h. Pengolahan, perhitungan, dan analisis data.
- i. Penyusunan laporan

3.6 Rangkaian Refrigerator with Standart Condenser



Gambar 3.1 Rangkaian Refrigerator menggunakan kondensor tipe Standart

3.7 Rangkaian Refrigerator with Separation Condenser



Gambar 3.2 Rangkaian Refrigerator menggunakan kondensor tipe separation

3.9 Pengolahan Data

Setelah pengambilan data selesai maka didapat nilai tekanan dan temperatur, dari data tersebut maka diperoleh :

- a. Nilai enthalpi (h) dari tabel *thermodynamic properties* dan *software coolpack*
- b. Dari nilai enthalpi dapat diperoleh :

1. Dampak Refrigerasi

$$q_e = h_1 - h_4$$

2. Kerja Kompresi

$$w = h_2 - h_1$$

3. Kapasitas Refrigerasi

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

4. Pelepasan Kalor

$$\text{Pelepasan Kalor} = h_2 - h_3$$

5. Koefisien Prestasi Mesin Pendingin

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

Keterangan :

h_1 = Enthalpi Masukan Kompresor \dot{m} = Laju Aliran Massa

h_2 = Enthalpi Keluaran Kompresor q_e = Dampak Refrigerasi

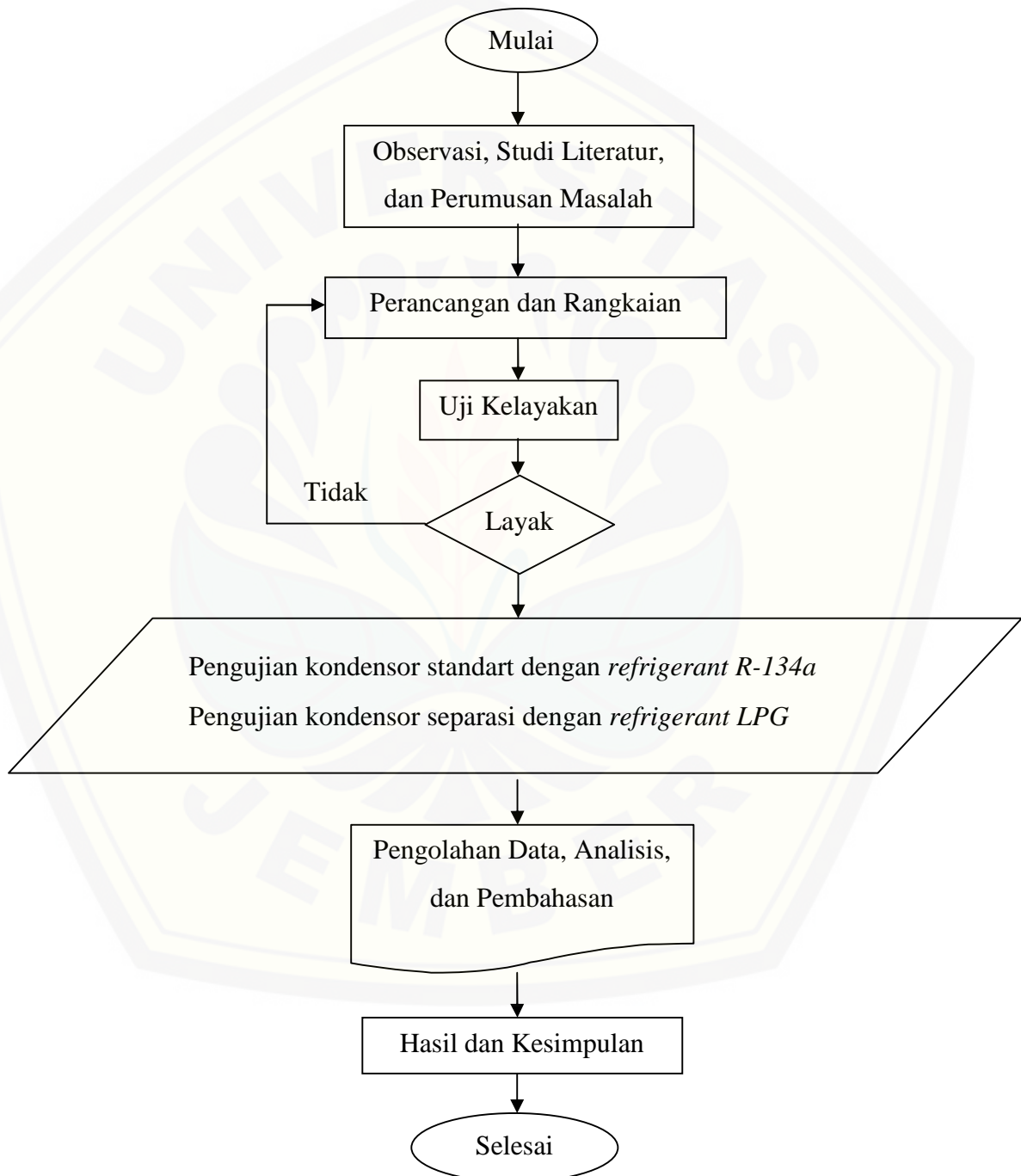
h_3 = Enthalpi Keluaran Kondensor w = Kerja Kompresi

h_4 = Enthalpi Masukan Evaporator Q = Kapasitas Refrigerasi

COP = *Coefficient off performance*

3.10 Diagram Alir

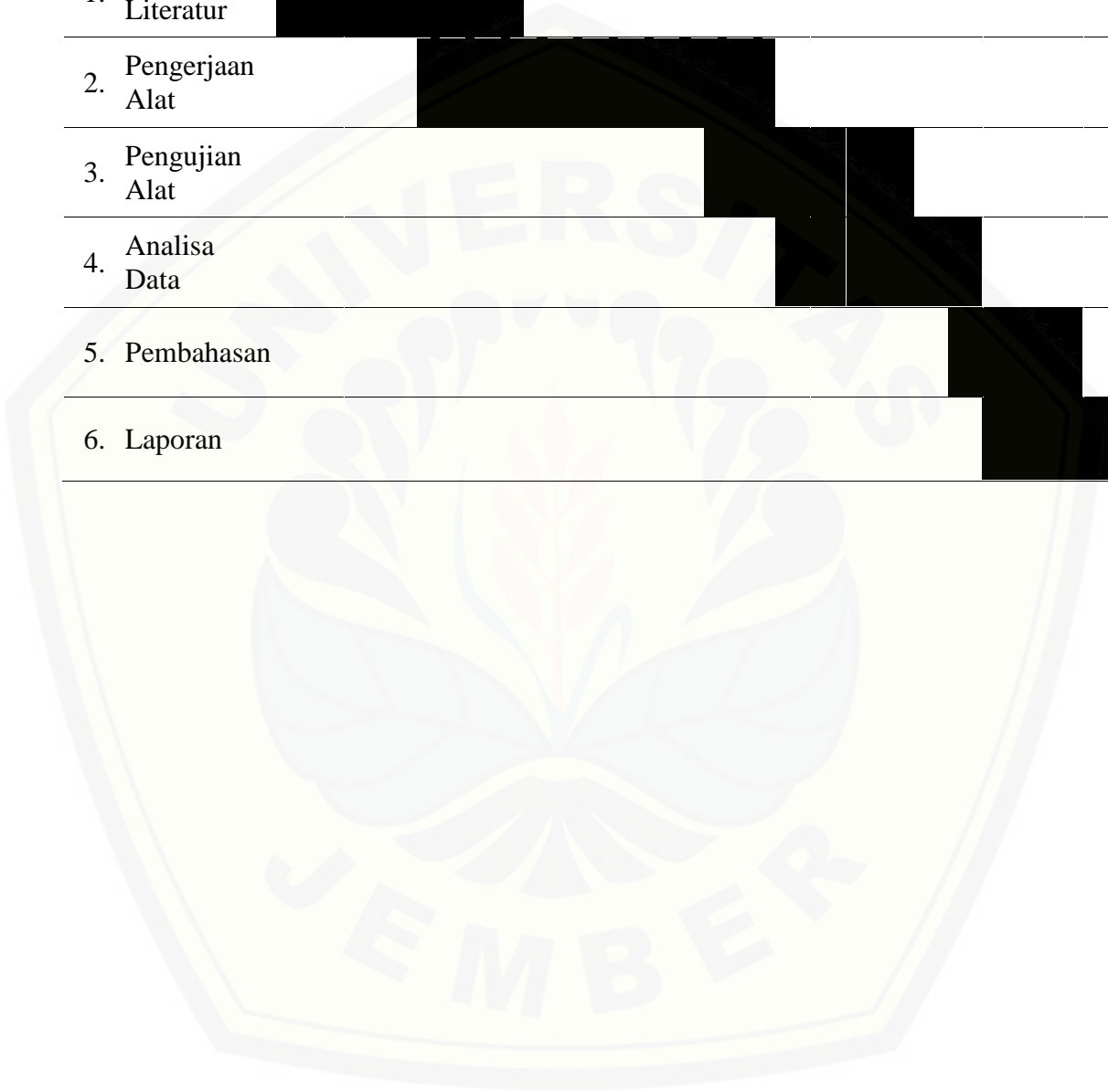
Alur dan proses dari penelitian ini dapat dilihat dari *Flow chart* dibawah ini :



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

Tabel 3.3 Jadwal Rencana Kegiatan

No. Kegiatan	Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. Studi Literatur	■																							
2. Pengerjaan Alat					■				■				■											
3. Pengujian Alat													■				■							
4. Analisa Data													■				■				■			
5. Pembahasan																					■			
6. Laporan																					■			



BAB. 5 PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas, maka dapat ditarik kesimpulan, sebagai berikut :

- a. Pencapaian kerja kompresi (w) tertinggi yaitu 62,31 kJ/kg, pada penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant LPG*. Sedangkan kerja kompresi (w) terendah yaitu 31,28kJ/kg, pada penggunaan kondensor tipe standart dengan *refrigerant R-134a*. dari data tersebut penggunaan tipe kondensor dan jenis *refrigerant* sangat berpengaruh.
- b. Pencapaian dampak refrigerasi (q_e) tertinggi yaitu 283,14kJ/kg, pada penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant LPG*. Sedangkan dampak *refrigerasi* (q_e) terendah yaitu 136,41kJ/kg, pada penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant R-134a*. dari data tersebut penggunaan tipe kondensor sangat berpengaruh, dapat menaikkan dampak refrigerasi sebesar $\pm 51,82\%$
- c. Pencapaian kapasitas refrigerasi (Q) tertinggi yaitu 102,12 kW, pada penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant LPG*. Sedangkan kapasitas refrigerasi terendah yaitu 81,57kW, pada penggunaan kondensor tipe standart dengan *refrigerant LPG*. Data tersebut dapat menaikkan kapasitas refrigerasi sebesar $\pm 20,13\%$. Dan data pelepasan kalornaiik $\pm 49,49\%$, dari nilai tertinggi 341,76 kJ/kg pada kondensor tipe separasi dengan *refrigerant LPG*, dan nilai terendah 172,62 kJ/kg pada kondensor tipe standart dengan *refrigerant R-134a*.
- d. *Coefficient off Performance* (COP) tertinggi yaitu 4,89, pada penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant LPG*. Sedangkan *Coefficient off Performance* (COP) terendah yaitu 3,91 pada penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant R-134a*. dari data tersebut menaikkan sebesar $\pm 20,02\%$ yang dipengaruhi oleh penggunaan tipe kondensor dan jenis *refrigerant*.

- e. Penggunaan *refrigerant LPG* pada kondensor standart dapat meningkatkan efisiensi kinerja mesin pendingin sebesar $\pm 6,34 \%$, daripada menggunakan *refrigerant R-134a*. Sehingga *refrigerant LPG* dapat menggantikan *refrigerant R-134a*. Hal tersebut sesuai dengan tujuan penelitian yang dapat mengurangi pengaruh buruk terhadap lingkungan.
- f. Nilai rata-rata COP penggunaan kondensor tipe separasi dengan *refrigerant LPG* memiliki selisih 1,27% lebih rendah dibanding dengan nilai rata-rata COP menggunakan kondensor tipe standart dengan *refrigerant LPG*.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan adalah :

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pada suhu lingkungan yang konstan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Hasil penelitian ini merupakan data pendukung yang diharapkan mampu menjadi acuan oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk meningkatkan besarnya koefisien prestasi kerja mesin pendingin.
3. Penelitian selanjutnya sebaiknya memperhatikan geometri separasi padakondensor untuk mendapatkan hasil yang optimal.
4. Saat pengujian, Rangkaian komponen mesin pendingin harus tertutup rapat agar tidak ada udara lingkungan yang masuk kedalam sistem dan selalu memperhatikan kebocoran-kebocoran pada setiap titik sambungan las.
5. Penelitian selanjutnya sebaiknya memvariasikan massa refrigerant untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dari mesin pendingin tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, K. 2010. Efek temperatur pipa kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin. *Skripsi*. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Amshori, N. C. 2016. Analisis Variasi Diameter Pipa Kapiler Double Helical Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant LPG. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Arismunandar, Wiranto & Saito, Heizo. 1991. *Penyegaran Udara*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita
- Arumsari A. A. 2017. Pengaruh variasi panjang rangkuman pipa kondensor Paralel terhadap unjuk kerja mesin pendingin dengan Refrigerant LPG. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Darwis & Robert. 2005. *Pemahaman Tentang Sistem Refrigerasi*. Jurnal Teknik SIMETRIKA Vol. 4 No. 1 – April 2005: 312 – 316
- El-Morsi, M. 2015. Energy and Exergy Analysis of LPG (Liquified Petroleum Gas) as a Drop in Replacement for R134a in Domestic Refrigerator. Cairo: Mechanical Engineering American University.
- Fatouh, M., Kafafy, M.E. 2006. Applied Thermal Engineering: Experimental Evaluation of a Domestic Refrigerator Working With LPG. Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Engineering, Ibrahim Abd El-Razik, Mattaria, Masaken El-Helmia P.O., Cairo 11718, Egypt.

- Fessenden, Ralph, J dan Fessenden, Joan, S. 1997. *Dasar-dasar Kimia Organik*. Jakarta: Erlangga.
- Gill, Jatinder & Singh, Jagdev. 2017. Energy analysis of vapor compression refrigeration system using mixture of R134a and LPG as refrigerant. Department of Mechanical Engineering, Ph.D. Research scholar, IKGPTU, Kapurthala, Punjab, India.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Global Warming Potential*.
- Jwo, Ching-Song, et al. 2009. Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerant. Taiwan: National Taipei University of Technology.
- Kusuma, D.D.H. 2015. Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Suction terhadap Prestasi Mesin Pendingin dengan LPG sebagai Refrigerant. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Laksono, A. F. 2014. Analisis Pengaruh Variasi Diameter Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Pada Mesin Refrigerator Berbasis LPG Sebagai Refrigeran. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Li, Jun. & Hrnjak, P. 2017. Separation in condensers as a way to improve efficiency. Air Conditioning and Refrigeration Center, Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Urbana Champaign, 1206 West Green Street, Urbana, IL 61801, USA.

Li, Jun. & Hrnjak, P. 2017. Improvement of condenser performance by phase separation confirmed experimentally and by modeling. Air Conditioning and Refrigeration Center, Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Urbana Champaign, 1206 West Green Street, Urbana, IL 61801, USA.

Nasution, Henry. 2002. *Teknik Pendingin. Skripsi*. Padang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bung Hatta.

Perkasa, A. E. 2013. Analisis Pengaruh Variasi Massa LPG Sebagai Refrigeran Terhadap Prestasi Kerja Dari Mesin Pendingin Kompresi Uap. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Poernomo, Heroe. 2015. Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Pendingin (Air Conditioning) yang Menggunakan Freon R-22 berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin Kondensor. *Skripsi*. Surabaya: Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Pratipta, Y.A. 2016. Studi Pengaruh Variasi Lekukan Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigerant LPG. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Rohmat, T.R. 2000. Silabus Mata Kuliah Termodinamika Lanjut. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Rizal, Mochamad. 2013. Pengaruh Variasi Beban Pendingin Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran R12 Dan LPG. *Jurnal Rotor* : Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember.

Stoecker, W.F., & Jones, J.W. 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan oleh Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.

- Sumanto. 2004. *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*. Yogyakarta: Andi.
- Suma'mur, 1995. *Keselamatan Kerja Dan Pencegahan Kecelakaan*. CV. Haji Masagung. Jakarta.
- Supono, 2016, *Mengenal Lebih Dekat Lpg (Liquified Petroleum Gas) Sebagai Bahan Bakar Untuk Kompor Gas*. Pusat Pengembangan Dan Pemberdayaan Pendidik Dan Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif & Elektronika Malang.
- Syukur, M.H. 2009. *Penggunaan Liquified Petroleum Gases (Lpg): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat LPG*. Forum Teknologi. Vol. 01 No. 2.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 2006. *Scientific Assessment of Ozone Depletion*.
- Widodo, S. & Hasan, S. 2008. *Sistem Refrigerasi & Tata Udara*. Jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Widodo, Eko. 2014. Pengaruh Penambahan Fan Pembuang Udara pada Kondensor terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant LPG. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Zhong, Tianming & Chen, Y. Dkk. 2016. *Experimental investigation on the thermodynamic performance of double-row liquid-vapor separation microchannel condenser*. Guangdong Province Key Laboratory on Functional Soft Matter, Faculty of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DATA PENELITIAN

3.1 Data Temperatur Mesin Pendingin

Keterangan : Titik pada kondensor standart tersebut, antara lain ;

- T1 : Temperatur Masukan Kompresor
- T2 : Temperatur Keluaran Kompresor
- T3 : Temperatur Keluaran Kondensor
- T4 : Temperatur Masukan Evaporator
- T5 : Temperatur Ruang Evaporator
- T6 : Temperatur Sekitar Kondensor
- T7 : Temperatur Keluaran Filter
- T8 : Temperatur Keluaran Evaporator
- T9 : Temperatur Masukan Kondensor

Adapun titik-titik pada Kondensor tipe separasi, antara lain :

- T1 : Temperatur Masukan Kompresor
- T2 : Temperatur Keluaran Kompresor
- T3 : Temperatur Keluaran Kondensor
- T4 : Temperatur Masukan Evaporator
- T5 : Temperatur Ruang Evaporator
- T6 : Temperatur Sekitar Kondensor
- T7 : Temperatur Keluaran Filter
- T8 : Temperatur Masukan Kondensor
- T9 : Temperatur Kondensor Separasi (Atas)
- T10 : Temperatur Kondensor Separasi (Bawah)

Selain temperatur diatas, juga terdapat 3 macam tekanan sebagai data pendukung untuk mencari enthalpi pada siklus refrigerasi, yaitu :

- P1 : Tekanan Masukan Kompresor

P2 : Tekanan Keluaran Kompresor

P3 : Tekanan Keluaran Kondensor

Tabel 4.1 Data percobaan 1 Kondesor Standart Menggunakan *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)									Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	P1	P2	P3
0	31.8	64.4	36.7	-9.1	43.4	32.9	32.7	30.6	-5.8	0	180	175
15	31.9	63.8	36.5	-9.3	43.5	33.1	32.8	30.6	-5.7	0	180	175
30	31.4	66.2	35.5	-9.7	42.7	33.3	32.2	30	-5.6	0	175	170
45	31	63.2	35	-10.1	41.9	33	31.8	29.5	-5.9	0	175	170
60	30.8	65.1	34.7	-10.4	42.1	31.3	31.3	29.2	-6.1	0	170	165
75	30.6	63.1	33.6	-10.6	41.5	29.6	31	28.8	-6.2	0	170	165
90	30.5	62.1	33.3	-10.8	41.2	29	30.7	28.8	-6	0	170	165
105	30.6	63	33.7	-10.8	41.5	30.2	30.9	28.9	-6.1	0	170	165
120	31	58.6	35.2	-10.6	41.7	30.5	31.4	29.5	-6.2	0	170	165
135	30.5	63.6	34.4	-11	41.7	30.6	30.9	29.1	-6.6	0	170	165
150	30.7	59.5	35	-10.8	39.7	30.4	31.2	29.3	-6.4	0	170	165
165	30.6	61.6	34.5	-11	39.4	31.3	31.1	28.9	-6.4	0	170	165
180	30.2	61.8	33.9	-11.1	41.3	30.3	30.7	28.7	-7.2	0	170	165

Tabel 4.2 Data percobaan 2 Kondesor Standart Menggunakan *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)									Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	P1	P2	P3
0	30.2	62.6	35.1	-10	42	31.6	31.3	29.5	-5.7	0	170	165
15	30.3	62.1	35.3	-10.4	42	31.1	31.2	29.1	-5.6	0	165	165

30	30.5	62.7	35	-10.7	41.8	31.7	31.1	29.2	-5.8	0	165	160
45	30	62.5	33.1	-11.2	40.8	29.1	30.2	28.5	-6.2	0	160	160
60	30	63.5	33.6	-11.4	40.3	30.8	30.4	28.6	-6.4	0	160	160
75	30	63.4	33.4	-11.6	40.6	29.8	30.4	28.6	-6.6	0	160	160
90	30.5	61.8	34.4	-11.5	39.9	30.8	30.7	28.7	-6.8	0	160	160
105	30	62.6	33.8	-11.7	40.3	30.1	30.1	28.2	-6.9	0	160	160
120	30.2	63.3	33.6	-12	40.6	30.6	29.9	28	-7.2	0	160	160
135	30.1	61.1	33.9	-12	40.7	30.8	29.8	27.9	-7.1	0	160	160
150	30.1	63.1	33.5	-12	40.4	29.5	29.7	27.9	-6.7	0	160	160
165	30.5	60	34.3	-11.9	40.5	30.6	30	28.3	-6.7	0	160	160
180	30.2	62.5	33.2	-12.2	40.4	29.3	29.6	27.9	-7.3	0	160	160

Tabel 4.3 Data percobaan 3 Kondesor Standart Menggunakan *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)									Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P1	P2	P3
0	31.2	60.8	35.2	-7.9	41.8	31.2	32.9	30.8	-6	0	160	160
15	31.6	60.6	35.4	-8.1	41.5	31.9	33	30.9	-6.4	0	160	155
30	31.8	60.6	35.4	-8.3	41.4	31.4	33	31	-6.1	0	160	155
45	32.3	59.3	35.4	-8.6	41.9	31.6	32.9	30.8	-6.6	0	160	155
60	32.3	62.3	36.1	-8.1	42.5	32.8	33.2	31.1	-6.6	0	160	155
75	32.5	62.6	36	-8.2	42.7	32.2	33.4	31.2	-6.5	0	160	155
90	32.8	60.7	36.2	-8.2	42.8	32.4	33.6	31.4	-6.4	0	160	155
105	32.8	61.3	36.2	-8.4	42.3	32	33.5	31.3	-6.3	0	160	155
120	33.1	61.8	36.2	-8.4	42.3	32.8	33.5	31.3	-6.2	0	160	155
135	33.1	62.4	36.5	-8.1	42.3	33	33.8	31.6	-5.9	0	155	155

150	33.3	62.5	36.3	-8.1	42.5	33	33.9	31.5	-6	0	155	155
165	33.5	61.4	36.2	-8.1	41.8	32.8	33.8	31.6	-5.9	0	155	155
180	33.6	61.9	36.5	-8	42.9	33.6	33.9	31.7	-6.7	0	155	155

Tabel 4.4 Rata-rata Temperatur Kondesor Standart Menggunakan *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)									Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	P1	P2	P3
0	31.1	62.6	35.6	-9.0	-5.8	31.9	32.3	30.3	42.4	0	170.0	166.7
15	31.2	62.1	35.7	-9.2	-5.9	32.0	32.3	30.2	42.3	0	168.3	165.0
30	31.2	63.2	35.3	-9.5	-5.8	32.1	32.1	30.0	41.9	0	166.6	161.1
45	31.1	61.6	34.5	-9.9	-6.2	31.2	31.6	29.6	41.5	0	165.0	161.6
60	31.0	63.6	34.8	-9.9	-6.3	31.6	31.6	29.6	41.6	0	163.3	160.0
75	31.0	63.0	34.3	-10.1	-6.4	30.5	31.6	29.5	41.6	0	163.3	160.0
90	31.2	61.5	34.6	-10.2	-6.4	30.7	31.6	29.6	41.3	0	163.3	160.0
105	31.1	62.3	34.5	-10.3	-6.4	30.7	31.5	29.4	41.3	0	163.3	160.0
120	31.4	61.2	35.0	-10.3	-6.5	31.3	31.6	29.6	41.5	0	163.3	160.0
135	31.2	62.3	34.9	-10.4	-6.5	31.4	31.5	29.5	41.5	0	161.7	160.0
150	31.3	61.7	34.9	-10.3	-6.4	30.9	31.6	29.5	40.8	0	161.7	160.0
165	31.5	61.0	35.0	-10.3	-6.3	31.5	31.6	29.6	40.6	0	161.7	160.0
180	31.3	62.1	34.5	-10.4	-7.1	31.1	31.4	29.4	41.5	0	161.7	160.0

Tabel 4.5 Rata-rata Temperatur Kondesor Standart Menggunakan *Refrigerant R-134a*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)									Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	P1	P2	P3
0	26.3	66.3	36.0	-10	-1.7	33.9	31.8	18.4	41.8	0	145.0	145.0
15	26.1	65.5	36.0	-10.4	-2.8	31.9	31.9	17.0	40.7	0	145.0	145.0
30	25.6	67.5	35	-10.7	-3.7	32.9	31.9	16.3	41.2	0	145.0	145.0
45	26.1	63.8	35.5	-11.2	-3.8	31.1	32.1	17.0	39.8	0	145.0	145.0
60	25.9	64.2	35.2	-11.9	-4.1	31.3	31.4	17.0	39.6	0	140.0	140.0
75	26	62.4	33.8	-11.7	-4.7	32.6	30.5	17.3	38.2	0	140.0	140.0
90	26.1	63.8	33.4	-12.8	-5.7	32.5	30.4	17.7	38.3	0	140.0	140.0
105	26.4	62.4	33.4	-11.9	-6.1	31	30.1	18.1	37.8	0	140.0	140.0
120	26.6	62.8	33.7	-12.1	-6.1	32.5	30.5	18.5	39.8	0	137.5	137.5
135	26.6	62.7	33.9	-12.7	-6.5	33.4	30.1	18.9	38.8	0	137.5	137.5
150	26.7	63.4	34.4	-13.3	-6.7	33.5	30.6	18.9	38.7	0	137.5	137.5
165	26.4	64.4	34.8	-13.4	-6.9	32.8	30.8	19.1	39.8	0	135.0	135.0
180	26.9	63.2	34.4	-13.5	-7.1	32.5	31.1	18.3	40.2	0	135.0	135.0

Tabel 4.6 Rata-rata Temperatur Kondesor Separasi Menggunakan *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)										Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	T10	P1	P2	P3
0	28.8	61.3	34.1	-10.3	-6.8	33.6	33.1	46.5	36.1	33.1	0	145.0	145.0
15	29.6	61.1	33.5	-10.2	-6.9	32.0	33.6	43.1	35.1	33.2	0	145.0	145.0
30	29.1	62.9	33.8	-10.7	-6.9	31.9	33.1	45.2	35.8	32.9	0	145.0	145.0

45	29.1	62.9	33.9	-11.1	-7.2	31.7	32.6	44.2	35.0	32.7	0	143.3	143.3
60	29.3	61.8	33.9	-11.5	-8.5	31.5	32.3	43.2	34.7	32.6	0	143.3	143.3
75	28.1	60.7	32.1	-11.7	-8.5	33.7	32.5	46.8	35.6	32.4	0	142.5	142.5
90	28.2	64.0	32.6	-12.2	-8.2	33.0	32.3	46.3	35.5	32.4	0	142.5	142.5
105	28.3	63.8	33.2	-12.5	-8.6	32.3	32.1	46.4	35.9	32.5	0	140.0	140.0
120	29.5	60.7	32.3	-12.9	-9.1	31.1	31.8	41.8	33.7	32.3	0	140.0	140.0
135	28.7	60.6	32.6	-13.4	-9.4	31.4	31.1	43.4	33.7	32.0	0	140.0	140.0
150	28.0	58.2	32.8	-13.8	-9.9	31.8	31.1	44.2	34.2	31.9	0	140.0	140.0
165	28.1	57.5	32.2	-13.6	-10.2	31.0	30.9	43.3	33.8	31.9	0	140.0	140.0
180	27.9	56.3	32.4	-14.1	-10.7	31.4	30.6	42.3	33.2	31.7	0	140.0	140.0

Tabel 4.7 Data percobaan 1 Kondesor Separasi Menggunakan *Refrigerant R-134a*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)										Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	T10	P1	P2	P3
0	31.8	68	40	-13	-5.2	34.2	35.7	38.7	35.5	36.7	0	160	145
15	32.2	67.1	40.1	-14.4	-5.0	35.8	35.2	39.3	34.5	35.7	0	155	145
30	30.2	69.8	40.6	-14.4	-5.1	36.9	35.5	40.8	36	36.7	0	145	145
45	32.6	65.4	39.6	-14.4	-5.7	36.2	36.3	38.8	36.3	36.6	0	145	145
60	32.9	65.3	39.3	-14.9	-5.6	35.9	34.9	38.2	36.1	35.2	0	145	145
75	32.2	68	39.1	-15	-6.1	35.3	34.5	38.5	36.5	35	0	145	145
90	31.8	68	40.3	-14.6	-6.3	36	34.6	38.8	35.7	33.9	0	145	145
105	33.3	64.2	39.4	-15	-6.7	35.1	32.1	37.5	35.2	33.6	0	145	145
120	32.8	67.4	39.8	-14.7	-7.1	35.9	35	41.8	37.6	34.2	0	145	145
135	33	65.5	39.9	-15.4	-7.2	34.6	34.9	41.2	36.9	33.9	0	145	145
150	33	64.9	38.9	-16	-8.0	34	35.8	40.7	35.7	33	0	145	145

165	32.9	62.1	37.9	-15.5	-8.6	34.3	35.1	40	33.1	31.6	0	145	140
180	31.5	61.7	37.7	-15.5	-8.9	33.5	34.7	39.4	33.1	31.3	0	145	140

Tabel 4.8 Data percobaan 2 Kondesor Separasi Menggunakan *Refrigerant R-134a*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)										Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	T10	P1	P2	P3
0	31.4	62.1	37.5	-11	-4.2	33.5	32.6	35.3	30.9	36.8	0	135	130
15	31.2	65.7	35.8	-11.2	-4.4	33.6	32	33.6	29.8	36	0	135	130
30	30.8	65.2	37.2	-11.4	-4.8	35.4	33.2	37.7	30.2	36.7	0	135	130
45	30.5	65	37.6	-11.3	-5.1	33.3	34.2	36.7	30.3	36.8	0	135	130
60	31.5	65.1	37.2	-11.6	-5.1	33.7	33.7	37	29.6	35.8	0	135	130
75	30.8	65.9	37.2	-11.6	-5.5	33.3	33.8	37.6	30.4	35.9	0	135	130
90	31.7	64.1	37.5	-12.2	-5.8	33	34.2	37.2	29.3	36.3	0	125	125
105	32.5	64	37.4	-12.9	-6.1	32.2	32.9	37.2	29	35.9	0	125	125
120	32.7	64.5	37.1	-12.7	-6.8	32.6	32.9	38.4	29.9	36.2	0	125	125
135	32.9	64.5	37.9	-13.4	-6.9	33.6	32.6	38.4	30.3	36.2	0	125	125
150	32.8	63.3	36.9	-13.5	-7.6	33.9	31.5	36.5	30.4	36.2	0	120	120
165	32.5	62.6	36.8	-13.7	-7.9	32.7	31.2	36.3	29.7	35.9	0	120	135
180	32.4	61.4	36.4	-14.4	-8.2	32.1	31	36.4	29.6	35.8	0	120	135

Tabel 4.9 Data percobaan 3 Kondesor Separasi Menggunakan *Refrigerant R-134a*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)										Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	78	T9	T10	P1	P2	P3
0	36.7	65.1	40.6	-13.9	-7.7	30.9	37.5	30.2	33.4	44.0	0.0	160	155
15	36.6	66.2	40.0	-13.9	-7.3	31.4	37.0	31.2	33.9	43.3	0.0	155	155

30	36.5	67.3	40.6	-14.1	-7.6	34.8	37.5	41.2	34.7	43.5	0.0	155	155
45	37.5	65.5	40.9	-14.4	-6.9	33.4	37.6	39.6	35.1	43.5	0.0	150	155
60	37.5	61.1	40.6	-14.2	-6.9	33.2	37.5	38.0	34.7	42.8	0.0	150	150
75	37.8	66.4	39.9	-14.3	-7.3	33.4	37.4	41.1	35.0	43.2	0.0	150	150
90	37.8	67.8	39.9	-14.7	-7.6	33.3	38.2	41.2	35.3	43.1	0.0	150	150
105	38.5	64.6	39.1	-15.2	-7.9	33.2	37.9	40.8	34.7	42.9	0.0	150	150
120	37.8	67.0	40.4	-15.6	-8.5	33.9	37.9	43.8	35.8	43.7	0.0	150	150
135	37.5	66.3	39.9	-15.9	-8.6	34.5	37.7	43.9	35.5	43.8	0.0	150	150
150	37.9	66.4	38.0	-16.3	-9.4	34.2	37.9	43.2	34.4	42.3	0.0	145	145
165	37.2	62.1	37.3	-16.1	-9.7	32.2	37.5	41.3	33.8	42.6	0.0	145	140
180	37.9	61.6	37.2	-16.5	-10.0	31.9	36.9	40.8	33.5	42.3	0.0	145	140

Tabel 4.10 Rata-rata Temperatur Kondesor Separasi Menggunakan *Refrigerant R-134a*

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)										Tekanan (Psi)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	P1	P2	P3
0	33.3	65.1	39.6	-12.9	-5.7	32.9	35.5	34.2	33.4	39.0	0	151.3	143.3
15	33.3	66.2	38.0	-12.9	-5.5	33.4	34.5	33.2	32.9	37.3	0	146.3	142.5
30	32.5	67.3	39.6	-13.1	-5.6	35.8	35.5	40.2	33.7	39.0	0	143.7	142.5
45	33.5	65.5	39.9	-13.4	-5.9	34.4	36.0	38.6	34.1	39.0	0	144.1	142.5
60	34.0	61.1	38.6	-13.2	-5.9	34.2	35.5	37.0	33.7	37.8	0	144.1	140.0
75	33.4	66.4	38.9	-13.3	-6.3	34.4	35.4	39.1	34.0	38.2	0	145.0	140.0
90	33.8	67.8	39.9	-13.7	-6.6	34.3	36.0	39.2	34.3	39.1	0	140.0	140.0
105	34.8	64.6	38.1	-14.2	-6.9	34.2	35.2	36.8	33.7	37.5	0	140.0	140.0
120	34.4	67.0	39.4	-14.6	-7.5	34.9	35.7	41.2	34.4	39.1	0	140.0	140.0

135	34.5	66.3	39.5	-14.9	-7.6	34.5	35.7	41.4	34.5	38.8	0	140.0	140.0
150	34.6	65.4	38.0	-15.3	-8.4	34.2	34.6	40.2	33.4	37.3	0	137.5	137.5
165	34.2	62.1	37.3	-15.1	-8.7	33.2	34.5	39.3	32.8	36.6	0	137.5	137.5
180	33.9	61.6	37.2	-15.5	-9.0	32.6	33.9	38.8	32.5	36.3	0	137.5	137.5

4.1 Data Enthalpi Mesin Pendingin

Tabel 4.11 Nilai Enthalpi Propana Kondensor Standart *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	h1	h2	h3	h4
0	563.59	621.82	292.82	292.82
15	563.29	622.01	292.99	292.99
30	562.96	621.65	291.79	291.79
45	562.52	620.93	289.58	289.58
60	562.52	621.27	290.41	290.41
75	562.34	620.77	289.02	289.02
90	562.23	621.17	289.94	289.94
105	562.15	621.16	289.76	289.76
120	562.151	621.649	290.96	290.96
135	562.08	621.60	290.77	290.77
150	562.15	621.57	290.77	290.77
165	562.15	621.65	290.96	290.96
180	562.01	621.18	289.67	289.67

Tabel 4.12 Nilai Enthalpi Butana Kondensor Standart *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	h1	h2	h3	h4
0	569.09	627.12	285.34	285.34
15	568.71	627.21	285.49	285.49
30	568.29	626.75	284.44	284.44
45	567.72	625.87	282.48	282.48
60	567.72	626.21	283.21	283.21
75	567.49	625.66	281.99	281.99
90	567.43	626.00	282.72	282.72
105	567.25	625.98	282.64	282.64
120	567.20	626.47	283.70	283.70
135	567.15	626.36	283.46	283.46
150	567.25	626.39	283.54	283.54
165	567.25	626.47	283.70	283.70
180	567.10	625.94	282.55	282.55

Tabel 4.13 Nilai Enthalpi Rata-rata Kondensor Standart *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Enthalpi			
	h1	h2	h3	h4
0	566.34	624.47	289.08	289.08
15	566.01	624.61	289.24	289.24
30	565.62	624.20	288.11	288.11
45	565.12	623.40	286.03	286.03
60	565.12	623.74	286.81	286.81

75	564.91	623.22	285.50	285.50
90	564.83	623.58	286.33	286.33
105	564.70	623.57	286.20	286.20
120	564.68	624.06	287.33	287.33
135	564.61	623.98	287.11	287.11
150	564.70	623.98	287.15	287.15
165	564.70	624.06	287.33	287.33
180	564.55	623.56	286.11	286.11

Tabel 4.14 Nilai Enthalpi Kondensor Standart Refrigerant R-134a

Waktu (menit)	Enthalpi			
	h1	h2	h3	h4
0	391.32	422.61	250.22	250.22
15	391.08	422.70	250.22	250.22
30	390.90	422.18	248.75	248.75
45	390.60	422.57	249.48	249.48
60	390.18	422.57	249.04	249.04
75	390.30	421.70	246.99	246.99
90	389.64	421.72	246.40	246.40
105	390.18	421.51	246.40	246.40
120	390.06	421.74	246.84	246.84
135	389.70	421.99	247.14	247.14
150	389.34	422.43	247.87	247.87
165	389.28	422.69	248.45	248.45

180	389.22	422.48	247.87	247.87
-----	--------	--------	--------	--------

Tabel 4.15 Nilai Enthalpi Propana Kondensor Separasi *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Enthalpi			
	h1	h2	h3	h4
0	562.15	620.62	288.47	288.47
15	562.26	619.89	286.81	286.81
30	561.71	620.46	287.64	287.64
45	561.27	620.77	287.92	287.92
60	560.82	620.95	287.92	287.92
75	560.600	618.97	282.97	282.97
90	560.04	619.79	284.34	284.34
105	559.77	620.63	285.99	285.99
120	559.27	619.78	283.51	283.51
135	558.71	620.37	284.34	284.34
150	558.26	620.80	284.89	284.89
165	558.49	620.01	283.24	283.24
180	557.93	620.49	283.79	283.79

Tabel 4.16 Nilai Enthalpi Butana Kondensor Separasi *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Enthalpi			
	h1	h2	h3	h4
0	567.25	625.455	281.50	281.50
15	567.39	624.75	280.03	280.03

30	566.68	625.14	280.76	280.76
45	566.11	625.29	281.01	281.01
60	565.54	625.33	281.01	281.01
75	565.26	623.29	276.62	276.62
90	564.55	623.92	277.84	277.84
105	564.13	624.64	279.30	279.30
120	563.56	623.65	277.10	277.10
135	562.85	624.06	277.84	277.84
150	562.29	624.34	278.32	278.32
165	562.57	623.62	276.86	276.86
180	561.86	623.92	277.35	277.35

Tabel 4.17 Nilai Enthalpi Rata-rata Kondensor Separasi *Refrigerant LPG*

Waktu (menit)	Enthalpi			
	h1	h2	h3	h4
0	564.70	623.03	284.98	284.98
15	564.83	622.32	283.42	283.42
30	564.19	622.80	284.20	284.20
45	563.69	623.03	284.46	284.46
60	563.18	623.14	284.46	284.46
75	562.93	621.13	279.79	279.79
90	562.30	621.85	281.09	281.09
105	561.95	622.63	282.64	282.64
120	561.41	621.72	280.31	280.31

135	560.78	622.21	281.09	281.09
150	560.27	622.57	281.61	281.61
165	560.53	621.81	280.05	280.05
180	559.90	622.20	280.57	280.57

Tabel 4.18 Nilai Enthalpi Kondensor Separasi *Refrigerant R-134a*

Waktu (menit)	Enthalpi			
	h1	h2	h3	h4
0	436.09	483.07	254.64	254.64
15	435.59	481.48	253.16	253.16
30	435.36	482.93	254.35	254.35
45	435.48	483.54	254.23	254.23
60	434.96	481.6	253.28	253.28
75	434.96	481.85	254.53	254.53
90	434.96	483.10	253.28	253.28
105	434.84	481.10	253.28	253.28
120	435.09	482.73	253.28	253.28
135	435.09	483.23	253.28	253.28
150	434.46	481.85	252.28	252.28
165	434.59	481.23	252.16	252.16
180	434.59	481.73	252.03	252.03

Tabel 4.19 Nilai Rata-rata Debit Aliran Pada Sistem

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
	Q (Liter/menit)	Q (Liter/menit)	Q (Liter/menit)	Q (Liter/menit)
0	7.5	9.25	10.00	9.75
15	7.33	9.25	10.00	9.75
30	7.33	9.00	10.00	9.75
45	7.33	9.00	10.00	9.75
60	7.33	9.00	9.77	9.50
75	7.17	9.00	9.77	9.50
90	7.17	9.00	9.77	9.50
105	7.33	9.00	9.77	9.50
120	7.33	9.00	9.50	9.50
135	7.17	9.00	9.50	9.50
150	7.17	9.00	9.33	9.50
165	7.00	8.75	9.33	9.50
180	7.00	8.75	9.33	9.50

4.2 Dampak Refrigerasi (kJ/kg)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
	0	277.26	279.72	141.10
15	276.76	281.40	140.86	136.41
30	277.51	279.99	142.16	133.90
45	279.09	279.23	141.12	133.27
60	278.31	278.72	141.14	135.33
75	279.41	283.14	143.32	134.83
90	278.50	281.21	143.24	133.09
105	278.50	279.30	143.78	135.47
120	277.35	281.11	143.22	133.30
135	277.50	279.69	142.57	132.97
150	277.55	278.67	141.48	134.96
165	277.37	280.48	140.83	136.12

180	278.45	279.33	141.36	136.02
Rata-rata	277.97	280.15	142.01	134.59

4.3 Kerja Kompresi (kJ/kg)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
0	58.13	58.34	31.29	35.76
15	58.61	57.49	31.61	34.85
30	58.58	58.61	31.28	35.93
45	58.28	59.34	31.96	36.35
60	58.62	59.96	32.39	35.44
75	58.30	58.20	31.40	35.70
90	58.75	59.55	32.08	36.61
105	58.87	60.68	31.33	36.01
120	59.38	60.30	31.67	37.09
135	59.37	61.43	32.29	37.41
150	59.28	62.30	33.09	36.89
165	59.36	61.29	33.41	36.31
180	59.01	62.31	33.26	36.60
Rata-rata	58.81	59.98	32.08	36.23

4.4 Laju Aliran Massa (kg/s)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
0	0.29	0.36	0.71	0.69
15	0.29	0.36	0.71	0.69
30	0.29	0.35	0.71	0.69
45	0.29	0.35	0.71	0.69
60	0.29	0.35	0.69	0.67
75	0.28	0.35	0.69	0.67
90	0.28	0.35	0.69	0.67

105	0.29	0.35	0.69	0.67
120	0.29	0.35	0.67	0.67
135	0.28	0.35	0.67	0.67
150	0.28	0.35	0.66	0.67
165	0.27	0.34	0.66	0.67
180	0.27	0.34	0.66	0.67
Rata-rata	0.28	0.35	0.69	0.68

4.5 Daya Kompresor (kW)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
0	17.10	21.17	22.16	24.70
15	16.86	20.87	22.40	24.07
30	16.85	20.69	22.16	24.81
45	16.77	20.95	22.65	25.11
60	16.86	21.17	22.41	23.85
75	16.39	20.55	21.73	24.02
90	16.52	21.02	22.20	24.63
105	16.93	21.42	21.68	24.22
120	17.08	21.29	21.31	24.95
135	16.69	21.69	21.72	25.17
150	16.67	21.99	21.87	24.82
165	16.30	21.03	22.08	24.43
180	16.21	21.38	21.98	24.62
Rata-rata	16.71	21.17	22.03	24.57

4.6 Kapasitas Refrigerasi (kW)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
0	133.77	166.69	134.70	125.32
15	130.09	167.46	128.04	125.99

30	130.08	161.83	136.87	125.01
45	130.80	159.16	135.89	125.18
60	130.08	161.65	131.24	122.23
75	119.06	163.39	134.09	121.39
90	118.83	159.44	134.86	122.23
105	121.64	158.68	134.93	122.15
120	121.36	162.65	129.47	122.32
135	118.49	162.11	129.10	122.32
150	118.54	162.08	125.96	122.57
165	121.49	157.89	124.11	122.74
180	121.39	157.54	124.91	122.82
Rata-rata	124.28	161.58	131.09	123.25

4.7 Pelepasan Kalor (kJkg)

Waktu (menit)	Kondensator standart (LPG)	Kondensator Separasi (LPG)	Kondensator standart (R-134a)	Kondensator Separasi (R-134a)
0	335.39	338.05	172.39	169.78
15	335.37	338.90	172.48	171.25
30	336.09	338.60	173.43	169.83
45	337.37	338.57	173.09	169.63
60	336.93	338.68	173.53	170.78
75	337.71	341.34	174.71	170.53
90	337.26	340.77	175.32	169.70
105	337.37	339.99	175.11	171.48
120	336.73	341.41	174.89	170.39
135	336.87	341.13	174.86	170.37
150	336.83	340.97	174.57	171.85
165	336.73	341.76	174.24	172.43
180	337.45	341.63	174.61	172.62
Rata-rata	336.78	340.14	174.09	170.82

4.8 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
0	1.21	1.21	1.22	1.27
15	1.21	1.20	1.22	1.26
30	1.21	1.21	1.22	1.27
45	1.21	1.21	1.23	1.27
60	1.21	1.22	1.23	1.26
75	1.21	1.21	1.22	1.26
90	1.21	1.21	1.22	1.28
105	1.21	1.22	1.22	1.27
120	1.21	1.21	1.22	1.28
135	1.21	1.22	1.23	1.28
150	1.21	1.22	1.23	1.27
165	1.21	1.22	1.24	1.27
180	1.21	1.22	1.24	1.27
Rata-rata	1.21	1.21	1.23	1.27

4.9 Coefficient off Performance (COP)

Waktu (menit)	Kondensor standart (LPG)	Kondensor Separasi (LPG)	Kondensor standart (R-134a)	Kondensor Separasi (R-134a)
0	4.77	4.79	4.51	3.75
15	4.72	4.89	4.46	3.91
30	4.74	4.78	4.55	3.73
45	4.79	4.71	4.41	3.67
60	4.75	4.65	4.36	3.82
75	4.79	4.87	4.56	3.78
90	4.74	4.72	4.47	3.64
105	4.73	4.60	4.59	3.76
120	4.67	4.66	4.52	3.59
135	4.67	4.55	4.42	3.55
150	4.68	4.47	4.28	3.66

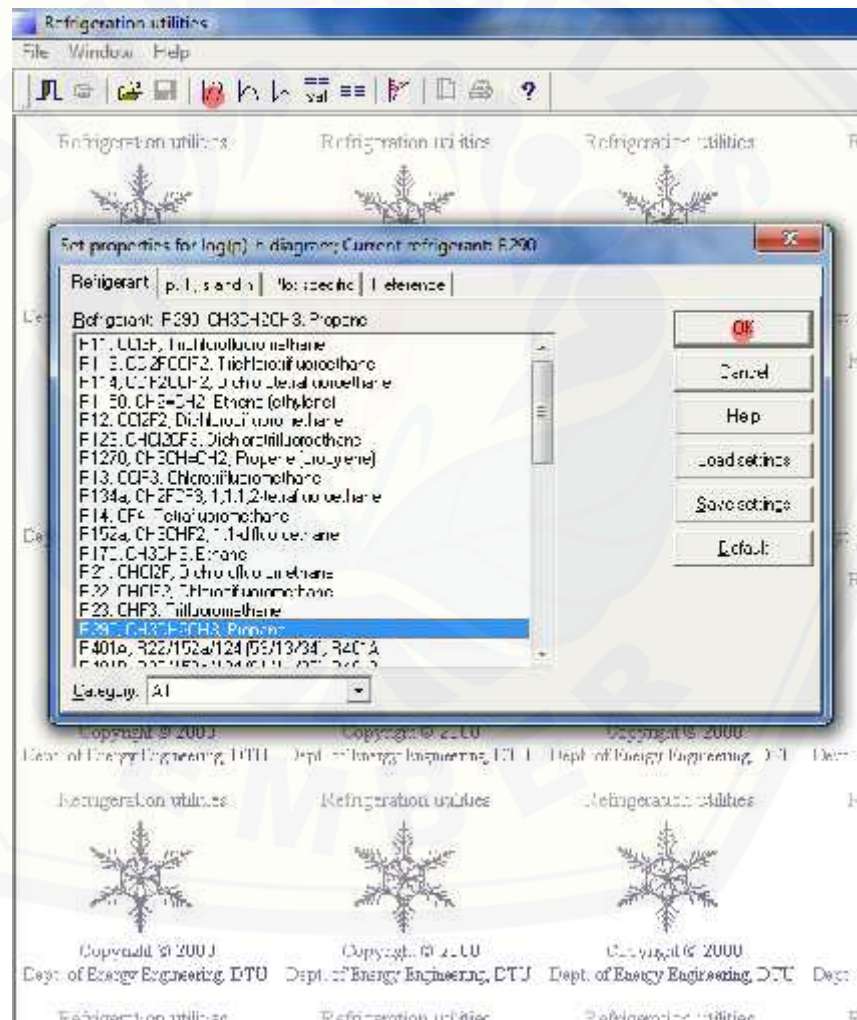
165	4.67	4.58	4.22	3.75
180	4.72	4.48	4.25	3.72
Rata-rata	4.73	4.67	4.43	3.72

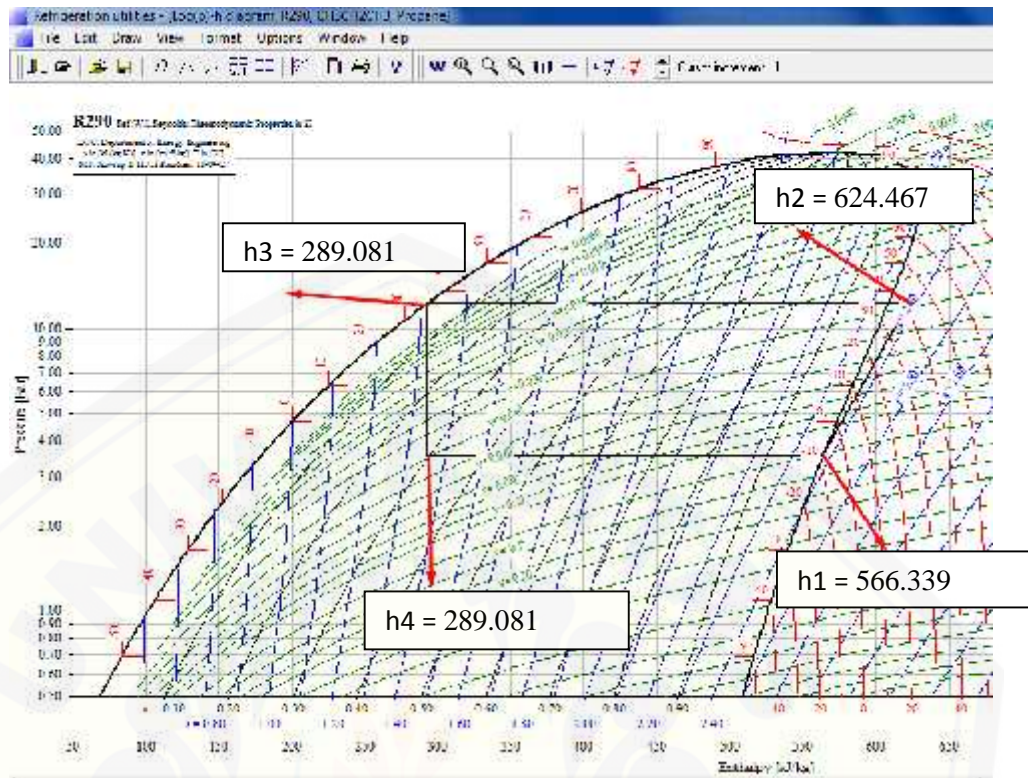
LAMPIRAN B. CONTOH PERHITUNGAN

4.10 Contoh Mencari Enthalpi

a. Menghitung Enthalpi refrigerant LPG

1. Membuka aplikasi *coolpack*, memilih menu seperti pada gambar berikut :





3. Mencatat nilai enthalpi tersebut, kemudian mengolah data. Untuk mencari nilai enthalpi butana sama seperti urutan diatas, tetapi memilih menu R600 butana.

4.11 Kerja Kompresi

$$\begin{aligned}
 w &= h_2 - h_1 \\
 &= 624,47 - 566,34 \\
 &= 58,13 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

4.12 Dampak Refrigerasi

$$\begin{aligned}
 q_e &= h_1 - h_4 \\
 &= 566,34 - 289,08 \\
 &= 277,26 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

4.13 Pelepasan Kalor

$$\begin{aligned}
 \text{Pelepasan Kalor} &= h_2 - h_3 \\
 &= 624,47 - 289,08 \\
 &= 335,39 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

4.14 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

$$\begin{aligned} \text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{624,47 - 289,08}{566,34 - 289,08} \\ &= 1,21 \end{aligned}$$

4.15 Laju Aliran Massa

$$\begin{aligned} &= \text{Massa jenis refrigerant x debit aliran} \\ &= 2,35 \text{ kg/m}^3 \times 7,5 \text{ liter/menit} \\ &= 2,35 \text{ kg/m}^3 \times 0,13 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,29 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

4.16 Daya Kompresor

$$\begin{aligned} W &= (h_2 - h_1) \times \\ &= (634,47 - 566,34) \times 0,29 \text{ kg/s} \\ &= 17,10 \text{ kW} \end{aligned}$$

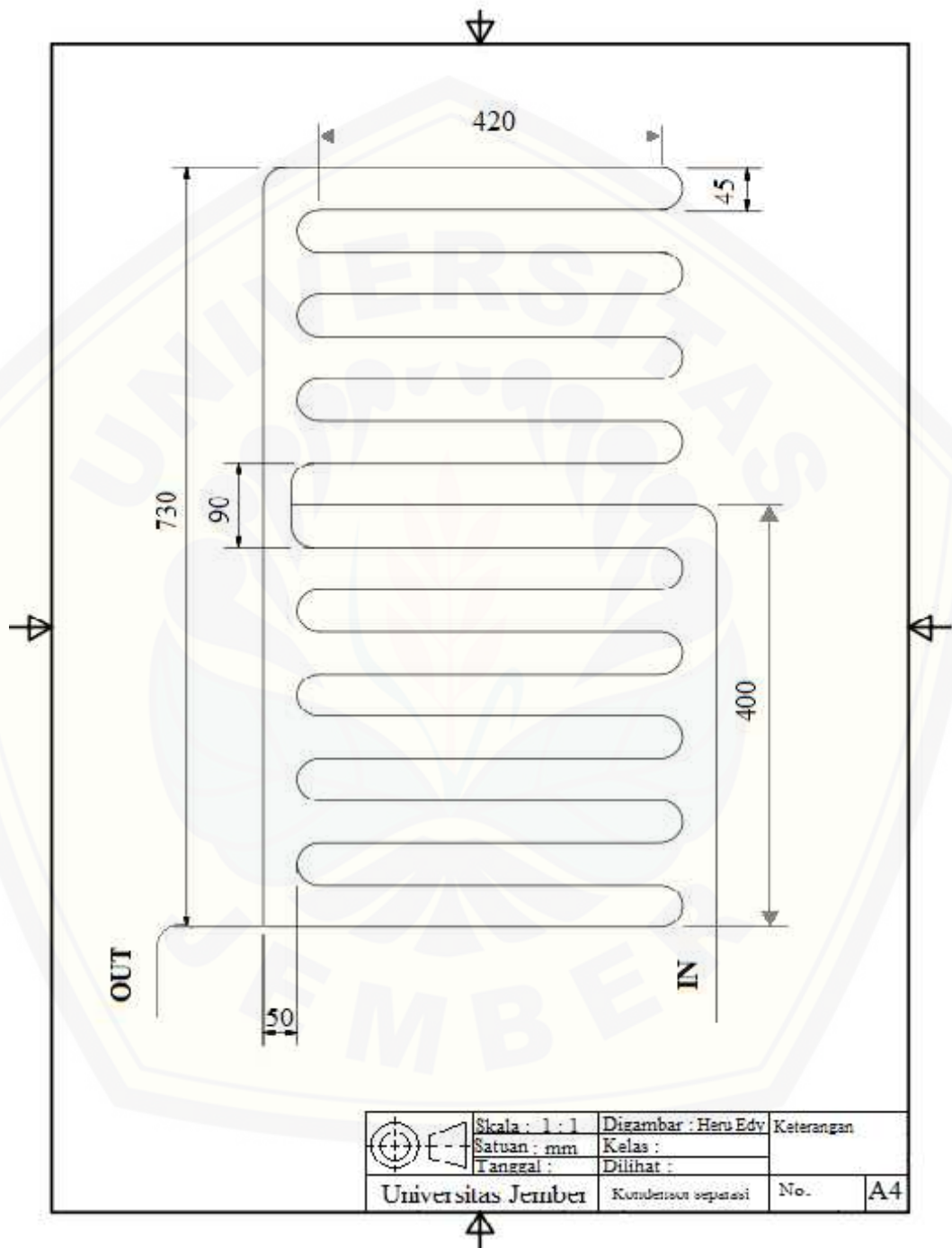
4.17 Kapasitas Refrigerasi

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m} \times (h_1 - h_4) \\ &= 0,29 \text{ kg/s} \times (566,34 - 289,08) \\ &= 81,57 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

4.18 COP

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{566,34 - 289,08}{624,47 - 566,34} \\ &= 4,77 \end{aligned}$$

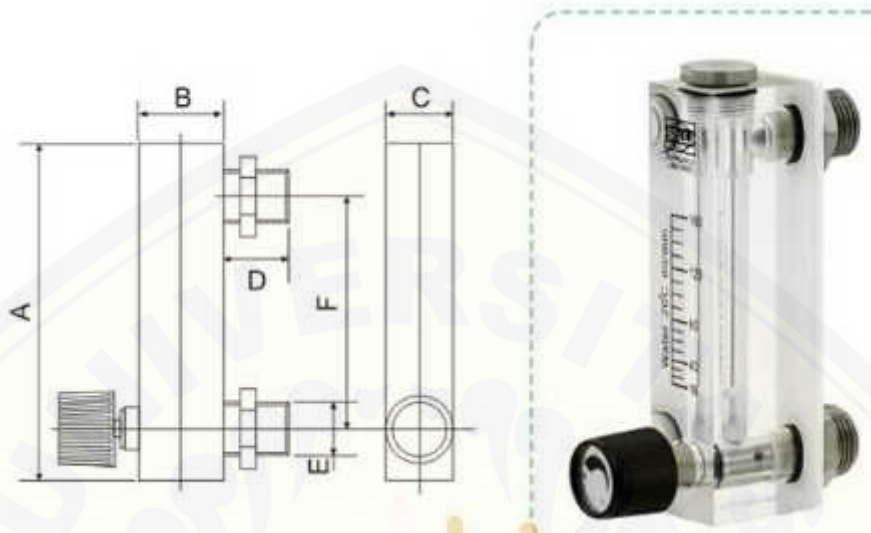
Lampiran C. Gambar *Separation Condenser*



Gambar 3.1 Rangkaian *Separation Condenser*

Lampiran D. Alat Ukur Debit Refrigerant

LZM – 6 Flow Meter



Gambar 3.2 Flow meter tipe LZM – 6

Tabel 4.20 Ukuran flow meter

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

Spesifikasi :

- Working Pressure* : 0,6 MPa
- OperatingTemperature* : 0 – 60 C
- BodyMaterial* : Acrylic
- FittingMaterial* : ABS OR SS 304
- FloatMaterial* : SS 304
- O – Ring Material* : Silicon

Lampiran E. Data Logger

Midi LOGGER GL200A



Gambar 3.3 Midi LOGGER GL200A

Tabel 4.21 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 50V, 1-5V Temperature Humidity used an optional humidity sensor
Recording interval	10 ms to 1h (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 memory enable to save data directly
PC I/F	USB
Display	Waveform display/ Digital display switching, Review display
Power supply	AC adapter, DC drive, battery pack (Battery life: 6 hours with optional B-517, depending on our criteria specified)
Dimensions, weight	194" x 122" x 41mm, 480g
Accessories	AC power adapter, cable 1set, CD-ROM 1pc PC software PDF user manual, quick start guide

Lampiran F. Spesifikasi LPG

Liquified 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.

Gambar 3.4 Spesifikasi LPG

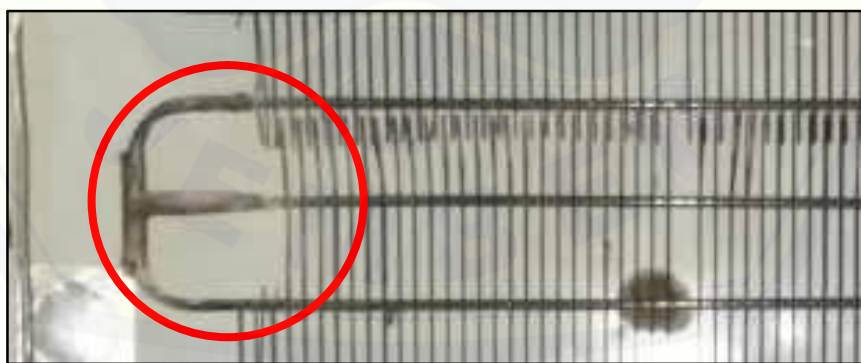
LAMPIRAN G. GAMBAR PENELITIAN



Gambar 3.5 Kondensor Standart



Gambar 3.6 Kondensor Separasi



Gambar 3.7 Separasi pada Kondensor



Gambar 3.8 Refrigerant R-134a



Gambar 3.9 Pengisian Refrigerant LPG



Gambar 3.10 Data Loger



Gambar 3.11 Pengambilan Data Temperatur



Gambar 3.12 Alat Ukur Debit Aliran Fluida (*Flow meter*)



Gambar 3.13 Tang Amper