



**ANALISIS VARIASI JUMLAH FAN PADA KONDENSOR BERTINGKAT
TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN
MENGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

SKRIPSI

Oleh

Yorda Cipta Sambudi

121910101127

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2016



**ANALISIS VARIASI JUMLAH FAN PADA KONDENSOR BERTINGKAT
TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN
MENGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

SKRIPSI

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

Oleh

Yorda Cipta Sambudi

121910101127

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2016

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, Ibunda Sunarlik, Ayahanda Rejo Wiyono, saudara kembar Yongki Arif Pratipta, atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, bantuan, motivasi dan bimbingan.
3. Semua keluarga dari ibu dan semua keluarga dari ayah.
4. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T, M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T., selaku dosen penguji I, Bapak Hary Sutjahjono, S.T., M.T., selaku dosen penguji II, dan Bapak Ir. F.X Kristianta, M.eng selaku dosen pembimbing akademik.
5. Almamter tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan; Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”

*(Terjemahan Surat Al- Insyiraah (94) ayat 5 dan 6)**

Allah akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat

*(Terjemah Al-mujaadilah ayat 11)***

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

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

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yorda Cipta Sambudi

NIM : 121910101127

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “*Analisis Variasi Jumlah Fan pada Kondensor Bertingkat terhadap Prestai Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 20 Juni 2016

Yang menyatakan,

Yorda Cipta Sambudi

NIM 121910101127

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI JUMLAH FAN PADA KONDENSOR BERTINGKAT
TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN
MENGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

Oleh:

**Yorda Cipta Sambudi
NIM 121910101127**

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Analisis Variasi Jumlah Fan pada Kondensor Bertingkat terhadap Prestai Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

hari, tanggal : Selasa, 24 Mei 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

Ir. Digdo listyadi S., M.Sc.
NIP 19680617 199501 1 001

Anggota I,

M. Fahrur Rozy H., S.T, M.T.
NIP 19800307 201212 1 003

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T, M.T.
NIP 19690209 199802 1 001

Anggota II,

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

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 19661215 199503 2 001

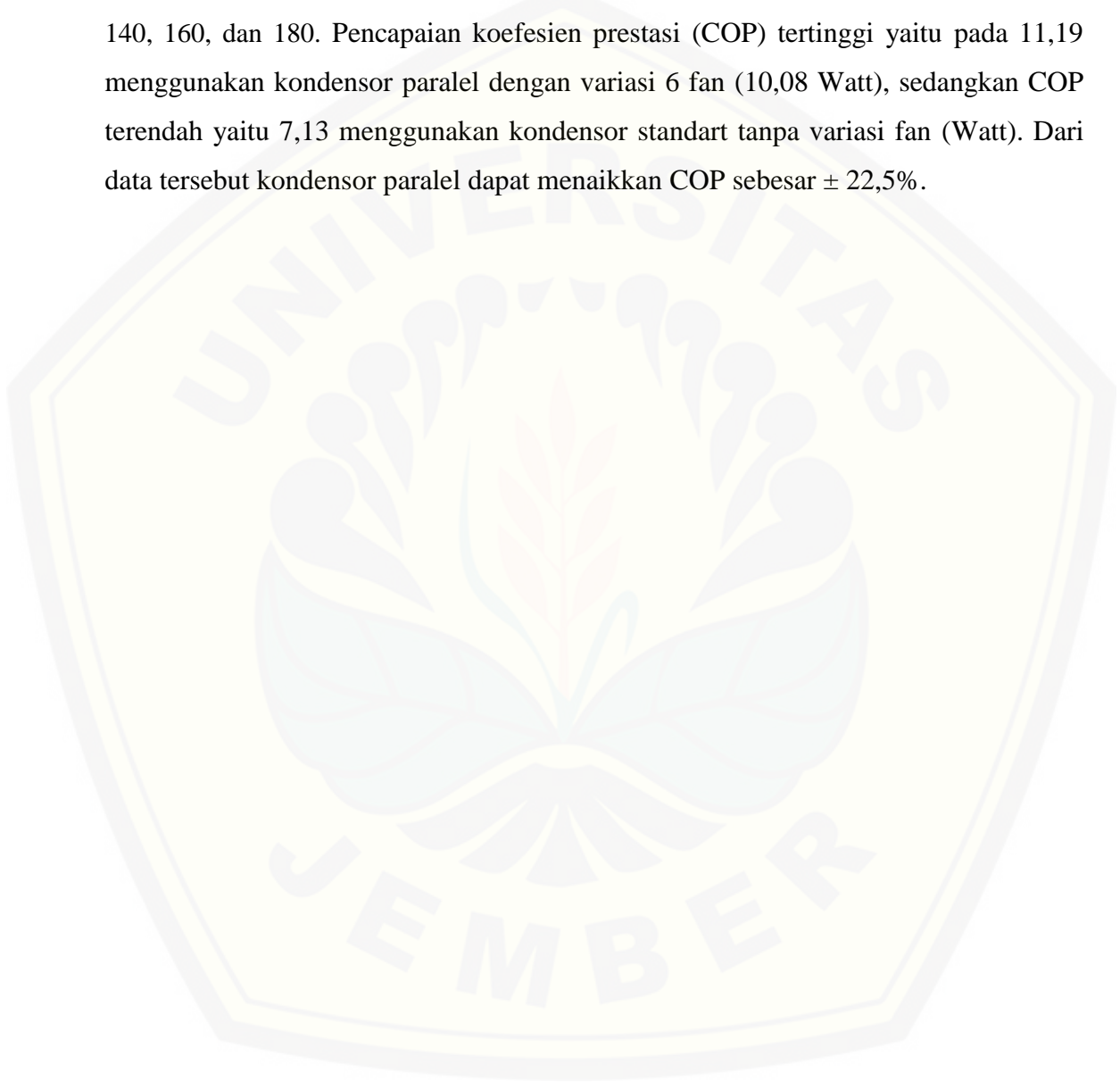
RINGKASAN

Analisis Variasi Jumlah Fan pada Kondensor Bertingkat terhadap Prestai Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG; Yorda Cipta Sambudi, 121910101127; 2016: 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan sistem refrigerasi terutama untuk mesin pendingin sangat pesat. Perkembangan yang pesat ini tidak lepas dari kebutuhan masyarakat akan mesin pendingin semakin meningkat. Sedangkan semakin meningkatnya kebutuhan mesin pendingin maka konsumsi energi akan semakin meningkat. Selain itu, fluida yang digunakan sebagai refrigeran dalam mesin pendingin adalah CFC (*Cloroflourocarbon*) yang memiliki potensi untuk merusak ozon dan potensi penyebab pemanasan global yang besar jika berada di atmosfer. Perbaikan mesin pendingin dibutuhkan untuk menambah efisiensi supaya kebutuhan energi yang dikonsumsi dapat diturunkan seperti meningkatkan pelepasan kalor pada kondensor dengan penambahan *fan* pembuang udara. Selain itu untuk menurunkan tingkat perusakan ozon maupun pemanasan global dibutuhkan refrigeran pengganti yang lebih ramah lingkungan sebagai contohnya adalah LPG. Tujuan penelitian untuk mengetahui perbandingan Kerja kompresi dan prestasi kerja dari refrigeran LPG pada kondensor standart dengan kondensor paralel, serta mengetahui pengaruh penambahan *fan* pembuang udara pada kondensor terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan rangkaian mesin pendingin sederhana. Rangkaian alat uji berupa refrigerator yang terdiri atas kompresor, evaporator, pipa kapiler, kondensor, filter dryer, dan komponen pendukung lainnya menggunakan refrigeran LPG. selain itu pada kondensor ditambahkan *fan* pembuang udara dengan daya yang berbeda-beda yaitu 0 Watt, 3,36 Watt, 6,72 Watt, dan 10,8 Watt. Dengan penambahan alat ukur tekanan pada dua titik yaitu pada discharge dan suction line pada kompresor digunakan untuk mengetahui

tekanan dan penambahan alat ukur temperatur pada lima titik yaitu pada discharge line, suction line, output kondensor, input evaporator, dan evaporator. Penelitian dilakukan dalam waktu 180 menit dengan pengambilan data pada menit ke 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, dan 180. Pencapaian koefisien prestasi (COP) tertinggi yaitu pada 11,19 menggunakan kondensor paralel dengan variasi 6 fan (10,08 Watt), sedangkan COP terendah yaitu 7,13 menggunakan kondensor standart tanpa variasi fan (Watt). Dari data tersebut kondensor paralel dapat menaikkan COP sebesar $\pm 22,5\%$.



SUMMARY

Analysis Variation of Influence Exhaust fan on Parallel Condenser toward The Performance of Cooling Machine using LPG Refrigerant; Yorda Cipta Sambudi, 121910101127; 2016; 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Refrigeration system (cooling) is a system that works to reduce the temperature of an object or a room with absorption or taking heat. While the increasing need for engine coolant then energy consumption will increase. Other that, the fluid used as a refrigerant in cooling machines is CFC (Cloroflourocarbon) which have the potential for ozone depletion and global warming potential causes great if it was in the atmosphere. Repair cooling machine is needed to raise the efficiency of energy consumed so that needs can be lowered as increasing the heat release in the condenser with the addition of the air exhaust fans . In addition to lowering the rate of ozone destruction and global warming refrigerants needed a more environmentally friendly replacement for instance is LPG. The aim of research to determine the ratio of compression Employment and performance of LPG refrigerant in the standard condenser to the parallel condenser, as well as determine the effect of the air exhaust fans on the condenser on the performance of the engine coolant using LPG refrigerants. This study conducted by the experimental method with simple cooling machine circuit.. The series of test equipment such as refrigerator comprising a compressor, evaporator, capillary tube, condenser, filter dryer, and other supporting components using LPG refrigerants. in addition to the added condenser air exhaust fans with a different power is 0 Watt , 3.36 Watt , 6.72 Watt , and 10.8 Watt . With the addition of a pressure gauge on two points , namely the discharge and suction

line to the compressor used to know pressure and temperature measuring devices in five points, namely on the discharge line, suction line, condenser output, input evaporator and evaporator. The study was conducted in 180 minutes with data collection at minute 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, and 180 . The highest of Coefficient of Performance is 11,9 used parallel condenser with addition 6 fan, while the lowest of Coefficient of Performance is 7,13 used standart condenser without fan addition. According to these data, parallel condenser can raise Coefficient Of Performance (COP) up to 22,5 %.

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*Analisis Variasi Jumlah Fan pada Kondensor Bertingkat terhadap Prestai Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Entin Hidayah M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Hary Sutjahjono S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
4. Bapak Ir. FX. Kristianta M.eng. selaku dosen pembimbing akademik
5. Bapak Ir. Digdo Listyadi S M.Sc., selaku Dosen Pembimbing utama, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
6. Bapak Dr. Gaguk Jatisukanto S.T, M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
7. Bapak M. Fahrur Rozy H. S.T., M.T.,selaku Dosen Penguji I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.

8. Ayah, Ibu, Adik, dan juga keluarga besarku yang telah memberikan dukungan moril, materil, do'a dan semangat demi terselesainya kuliahku khususnya dan selama menuntut ilmu di bangku sekolah pada umumnya.
9. Dosen, staf, dan teknisi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
10. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2012 khususnya dan semua teman-teman Fakultas Teknik Universitas Jember pada umumnya.
11. Linda Pratiwi, salah satu orang yang istimewa dan selalu mendoakan perjuangan-perjuangan yang saya lakukan.
12. Teman-teman seperjuangan (Alif, Nanda, Fauzan, Rizal, Muhsin, Bayu, Agung, Dika dan semua Saudara-Saudara Teknik Mesin 2012 (Mechanical Engineering) atas semua kebersamaan selama ini dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.
13. Alumni SMKN tegalsari yang ada dijember yang selalu mendukung perjuangan segala hal yang saya lakukan.
14. UKM Go-Kart Fakultas Teknik Universitas Jember, Club Bengkel Mahasiswa Mesin, dan Club Aero Modeling Teknik Mesin.

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

Jember, 24 Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBINGAN	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	5
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	5
1.4.1 Tujuan	5
1.4.2 Manfaat	5
1.5 Hipotesis	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Refrigerasi Sederhana	7
2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin	8

2.2.1 Kompresor	8
2.2.2 Kondensor	9
2.2.3 Alat ekspansi (Pipa Kapiler)	10
2.2.4 Evaporator	11
2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingn	12
2.3.1 Liquid receiver	12
2.3.2 Access port	13
2.3.3 Sight glass	13
2.3.4 Filter / dryer	14
2.3.5 Kran solenoid (Solenoid Valve)	14
2.3.6 <i>Fan</i> pendingn kondensor	15
2.4 Siklus Refrigerasi	16
2.5 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	17
2.6 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	20
2.7 Pemilihan Refrigeran	21
2.7.1 Jenis refrigeran	21
2.7.2 Chloro fluoro carbon (CFC)	24
2.7.3 Refrigeran hidrokarbon	25
2.7.4 Syarat refrigeran	26
2.8 Liquid Petroleum Gas (LPG)	27
2.8.1 Pengertian LPG	27
2.8.2 Komposisi LPG	28
2.8.3 Sifat – sifat LPG	28
2.9 Kondisi Steady State	32
2.10 Penelitian Sebelumnya	33
BAB 3. METODE 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	36
3.4	Variabel	36
3.4.1	Variabel bebas	36
3.4.2	Variabel terikat	36
3.5	Prosedur Penelitian	37
3.5.1	Persiapan alat pengujian	37
3.5.2	Pemeriksaan alat pengujian	37
3.5.3	Tahapan pengambilan data	37
3.6	Rangkaian Refrigerator	38
3.7	Pengambilan Data	39
3.8	Pengolahan Data	39
3.9	Diagram Alir	40
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Hasil Penelitian	41
4.1.1	Hasil pengujian kondensor standart	41
4.1.2	Hasil pengujian kondensor paralel	42
4.2	Perbandingan Suhu Evaporator-Waktu	44
4.2.1	Kondensor standart	44
4.2.2	Kondensor paralel	45
4.3	Nilai Entalpi	45
4.3.1	Kondensor standart	45
4.3.2	Kondensor paralel	47
4.3.3	Hasil perhitungan	48
4.4	Pembahasan	50
4.4.1	Kerja kompresi kondensor standart	50
4.4.2	Kapasitas refrigerasi kondensor standart	50

4.4.3 Dampak refrigerasi kondensor standart	51
4.4.4 Daya kompresi kondensor standart	52
4.4.5 Koefesien prestasi kondensor standart	52
4.4.6 Kerja kompresi (W) kondensor paralel	53
4.4.7 Kapasitas refrigerasi (Q) kondensor paralel	54
4.4.8 Dampak refrigerasi (qe) kondensor paralel	54
4.4.9 Daya kompresi (DK) kondensor paralel	55
4.4.10 Koefesien prestasi kondensor paralel	56
4.5 Perhitungan Prestasi Kerja Mesin Pendingin	57
4.5.1 Kerja kompresi	57
4.5.2 Kapasitas refrigerasi	57
4.5.3 Dampak refrigerasi	58
4.5.4 Daya kompresi	59
4.5.5 Koefesien prestasi	59
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Mesin Pendingin	7
Gambar 2.2 Kompresor	8
Gambar 2.3 Kondensor	9
Gambar 2.4 Kndensor <i>Tube and Tube</i>	10
Gambar 2.5 Pipa Kapiler	11
Gambar 2.6 Evaporator	12
Gambar 2.7 <i>Liquid Receiver</i>	12
Gambar 2.8 <i>Acces Port</i>	13
Gambar 2.9 <i>Sight Glass</i>	13
Gambar 2.10 <i>Filter / Dryer</i>	14
Gambar 2.11 <i>Solenoid Valve</i>	15
Gambar 2.12 <i>Fan</i> Pendingin	15
Gambar 2.13 Siklus Refrigerasi	16
Gambar 2.14 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	17
Gambar 2.15 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	20
Gambar 2.16 Bahaya Refrigeran	24
Gambar 3.1 Rangkaian Refrigerator	38
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	40
Gambar 4.1 (Evaporator-Waktu) Kondensor Standart	44
Gambar 4.2 (Evaporator-Waktu) Kondensor Paralel	45
Gambar 4.3 Grafik kerja komprsi kondensor standart	50
Gambar 4.4 Grafik dampak refrigerasi kondensor standart	50
Gambar 4.5 Grafik kapasitas refrigerasi kondensor standart	51
Gambar 4.6 Grafik daya kompresi kondensor standart	52

Gambar 4.7 Grafik koefisien prestasi kondensor standart	52
Gambar 4.8 Grafik kerja komprsi kondensor paralel	53
Gambar 4.9 Grafik dampak refrigerasi kondensor paralel	54
Gambar 4.10 Grafik kapasitas refrigerasi kondensor paralel	54
Gambar 4.11 Grafik daya kompresi kondensor paralel	55
Gambar 4.12 Grafik koefisien prestasi kondensor paralel	56
Gambar 4.13 Perhitungan keseluruhan kerja kompresi	57
Gambar 4.14 Perhitungan keseluruhan kapasitas refrigerasi	57
Gambar 4.15 Perhitungan keseluruhan dampak refrigerasi	58
Gambar 4.16 Perhitungan keseluruhan daya kompresi	59
Gambar 4.17 Perhitungan keseluruhan koefisien prestasi	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Refrigeran	23
Tabel 2.2 Nilai ODP dan GWP Refrigeran	25
Tabel 3.1 Pengambilan Data	39
Tabel 4.1 Hasil pengujian kondensor standart (0 fan)	41
Tabel 4.2 Hasil pengujian kondensor standart (2 fan)	41
Tabel 4.3 Hasil pengujian kondensor standart (4 fan)	42
Tabel 4.4 Hasil pengujian kondensor standart (6 fan)	42
Tabel 4.5 Hasil pengujian kondensor paralel (0 fan)	42
Tabel 4.6 Hasil pengujian kondensor paralel (2 fan)	43
Tabel 4.7 Hasil pengujian kondensor paralel (4 fan)	43
Tabel 4.8 Hasil pengujian kondensor paralel (6 fan)	43
Tabel 4.9 Entalpi kondensor standart (0 fan)	46
Tabel 4.10 Entalpi kondensor standart (2 fan)	46
Tabel 4.11 Entalpi kondensor standart (4 fan)	46
Tabel 4.12 Entalpi kondensor standart (6 fan)	47
Tabel 4.13 Entalpi kondensor paralel (0 fan)	47
Tabel 4.14 Entalpi kondensor paralel (2 fan)	47
Tabel 4.15 Entalpi kondensor paralel (4 fan)	48
Tabel 4.16 Entalpi kondensor paralel (6 fan)	48

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin pendingin awalnya hanya dipergunakan sebagai alat pembuatan es, tetapi kini telah berkembang dengan pesat seiring berjalannya waktu juga menjadi alat untuk mengawetkan berbagai bahan makanan maupun makanan jadi. Penggunaan yang umum dari mesin pendingin adalah untuk mengawetkan makanan di bidang industri maupun rumah tangga. Pada suhu biasa (suhu kamar) makanan cepat menjadi busuk karena pada temperatur biasa bakteri akan berkembang cepat. Sedangkan pada suhu 4,4 °C (suhu yang biasa untuk pendinginan makanan), bakteri berkembang sangat lambat sehingga makanan akan lebih tahan lama. Jadi disini makanan dapat diawetkan dengan cara mendinginkannya. Peningkatan temperatur di bumi (*Global Warming*) membuat kenyamanan yang di inginkan manusia tidak terpenuhi, terutama pada daerah tropis. Dari berbagai macam jenis penggunaan di atas maka sistem pendinginan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Semakin berkembangnya teknologi seharusnya faktor keamanan, kenyamanan, dan keselamatan manusia menjadi suatu prioritas, serta tidak melupakan aspek dari lingkungan yang menjadi sasaran utamanya.

Pentingnya fungsi dari mesin refrigerasi menyebabkan berbagai masalah timbul dalam pengoptimalan kinerja mesin tersebut yaitu setelah pemakaian beberapa tahun akan terjadi penurunan laju perpindahan kalor pada kondensor yang berkaitan erat dengan perubahan suhu kondensasi sehingga akan mempengaruhi koefisien prestasi (Rahman, 2015). Teknologi mesin pendingin saat ini sangat mempengaruhi kehidupan dunia modern, tidak hanya terbatas

untuk peningkatan kualitas dan kenyamanan hidup, namun juga sudah menyentuh hal-hal esensial penunjang kehidupan manusia (Arora dalam Rahman, 2015).

Refrigeran adalah fluida untuk melakukan proses pendinginan pada mesin pendingin. Penemuan mesin pendingin terdahulu masih menggunakan suatu refrigeran yang masih berbasis *chloroflourocarbon* (CFC). Sejak adanya penemuan bahwa lapisan ozon di bumi telah menipis. Teknologi mesin pendingin memiliki kontribusi langsung pada kerusakan lingkungan diantaranya penipisan lapisan ozon dan pemanasan global melalui kebocoran dan buangan refrigeran sintetis (CFC dan HFC) ke lingkungan (McMullan, dalam Nasruddin, 2003). Terlepasnya refrigeran ke lingkungan 60 % dari *service sector* (UNEP, 1999).

Sifat merusak ozon yang dimiliki oleh CFC, pertama dikemukakan oleh Molina dan Rowland (1974) yang kemudian didukung oleh pengukuran lapangan oleh Farman et al., (1985). Diperkirakan terjadi perusakan lapisan ozon sekitar 3% per-dekade. Lapisan ozon yang terdapat di daerah stratosphere berfungsi untuk menghalangi masuknya sinar ultraviolet-B ke permukaan bumi. Sinar ultraviolet-B ini ditengarai akan menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia dan gangguan pada tumbuhan di permukaan bumi (Laksono, 2014)

Serikat Nation Environment memutuskan bahwa refrigeran yang mengandung *chloroflourocarbon* (CFC) dan *hydrochlouroflourocarbon* (HCFC) diharapkan untuk tidak digunakan lagi. Refrigeran jenis tersebut adalah refrigeran yang mempunyai efek buruk terhadap lingkungan, dimana refrigeran jenis ini mempunyai ODP (*Ozon Depleting Potential*) yang tinggi. Dengan adanya efek buruk dari penggunaan refrigeran R-12, maka muncul inisiatif untuk mengganti refrigeran yang ada pada perangkat pendinginan udara tersebut dengan refrigeran yang lebih ramah lingkungan seperti refrigeran R-134a. Namun sifat thermophysical antara R-12 dan R-134a sangat mirip, dengan alasan ini maka produksi dan penggunaan R-134a akan berakhir dalam waktu dekat ini (Farayibi, 2014).

Sistem pendinginan pada umumnya dirancang dengan derajat exhibilitas operasional yang tinggi. Hal tersebut untuk memungkinkan suatu sistem pendingin mengatasi variasi-variasi yang terjadi pada kondisi operasi. Pergantian refrigeran dari R-12 dan R-134a ke refrigeran lainnya yang lebih ramah lingkungan sangat mempengaruhi performansi dari alat-alat sistem pendingin. Sistem pendingin udara dapat menunjukkan performansi maksimal pada saat sistem tersebut berjalan dengan refrigeran tertentu sebagai fluida kerja. Pada saat dilakukan penggantian refrigeran dalam suatu sistem pendinginan udara, maka kinerja sistem pendinginan udara tersebut tidak bisa memberikan performansi sebelum dilakukan penggantian. Akan tetapi ada kemungkinan sistem tersebut mampu bekerja mendekati maksimal. Menurut Syahrani (2006) Refrigeran yang baik dan banyak digunakan sampai dengan beberapa tahun yang lalu adalah refrigeran dari kelompok halokarbon, karena efek negatif refrigeran hidrokarbon terhadap lingkungan lebih kecil bila dibandingkan dengan refrigeran sintetik (Sitinjak et al, 2008). Oleh karena itu perlu di lakukan studi eksperimental pengaruh penggantian refrigeran pada sistem pendinginan udara untuk mengetahui performansi maksimal sistem tersebut. Pemilihan refrigeran LPG adalah salah satu alternatif untuk menggantikan refrigeran R-134a karena hidrokarbon selain rendah terhadap ODP (*Ozone Depleting Potentials*) juga rendah terhadap GWP (*Global Warming Potentials*), namun penggantian refrigeran pada sistem pendingin dengan instalasi yang sama dapat memberikan hasil performansi yang berbeda, hal ini disebabkan karena perbedaan massa jenis refrigeran sehingga laju aliran massa refrigeran juga berbeda (Laksono, 2014).

Refrigeran merupakan fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi, karena yang menggunakan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. Namun pada dasarnya mesin refrigerasi merupakan salah satu penyebab timbulnya masalah kontemporer terhadap adanya pemanasan global. (Ashrae dalam Laksono, 2014) mendefinisikan refrigeran sebagai fluida kerja di

dalam mesin refrigerasi pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor refrigeran menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi lain melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Hal ini yang menyebabkan terjadinya masalah pemanasan global, dibuangnya udara panas keluar yang mengandung gas CO_2 menyebabkan terjadinya lubang ozon karena suplai panas tersebut.

Penelitian kali ini akan mencoba memberikan solusi dengan suatu eksperimen pengembangan mesin refrigerasi menyangkut pengoptimalan fungsi kondensor dengan melakukan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Rahman (2015) dengan menganalisis variasi penggunaan kondensor *tube and tube* dan Widodo (2014) yang melakukan analisis tentang penambahan jumlah fan pada kondensor tunggal. Di harapkan penelitian lanjutan ini dapat membantu memperbaiki koefisien prestasi dan penghematan energi pada mesin refrigerasi.

Penelitian ini menggunakan LPG sebagai refrigeran dengan penambahan variasi jumlah van pendingin kondensor bertingkat pada sistem refrigerasi. Sehingga penelitian ini di harapkan dapat memperbaiki koefisien prestasi mesin pendingin sehingga bisa menghemat energi dan dapat mengetahui performa LPG sebagai refrigeran *non ozon depleting* (non-ODS) dan *non global warming potential* (non-GWP).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh pemasangan kondensor bertingkat dengan variasi jumlah *fan* terhadap dampak refrigerasi, kerja kompresi, dan kapasitas refrigerasi, pada mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.
2. Bagaimana pengaruh pemasangan kondensor bertingkat dengan variasi jumlah *fan* terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

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

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

1. Mengetahui perbandingan dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, daya kompresi, dan koefisien prestasi pada mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG dari pemasangan kondensor bertingkat dengan kondensor standart.
2. Mengetahui pengaruh variasi pemasangan kipas pendingin pada kondensor bertingkat pada mesin refrigerasi berfluida LPG terhadap prestasi kerja mesin pendingin.

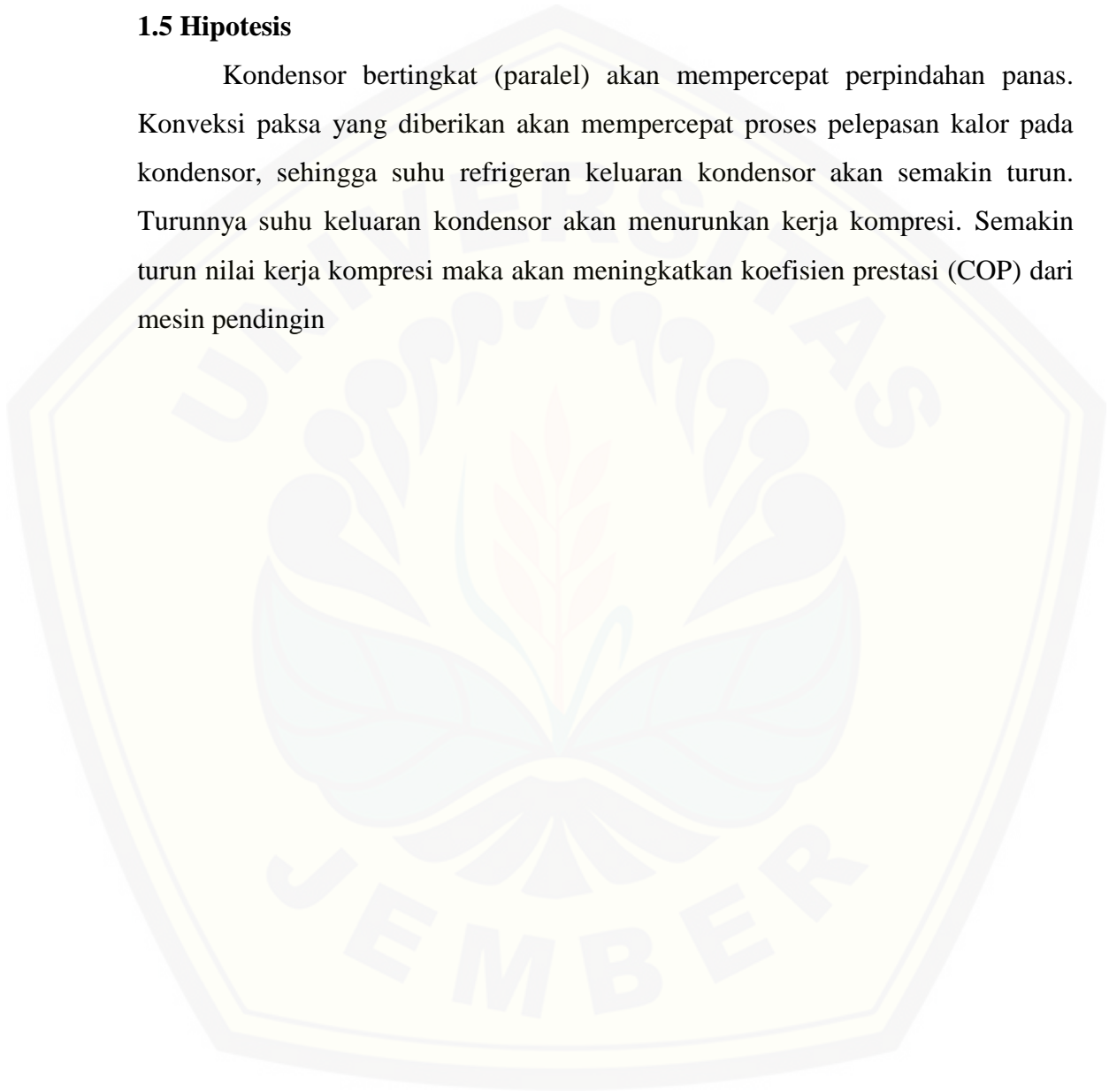
1.4.2 Manfaat

1. Memperoleh informasi bagaimana pengaruh variasi kondensor bertingkat dan kondensor standart pada mesin refrigerasi berfluida LPG terhadap prestasi kerja mesin pendingin.
2. Meningkatkan prestasi kerja dari mesin pendingin.

3. Mengetahui perubahan koefisien prestasi (COP) yang terjadi.

1.5 Hipotesis

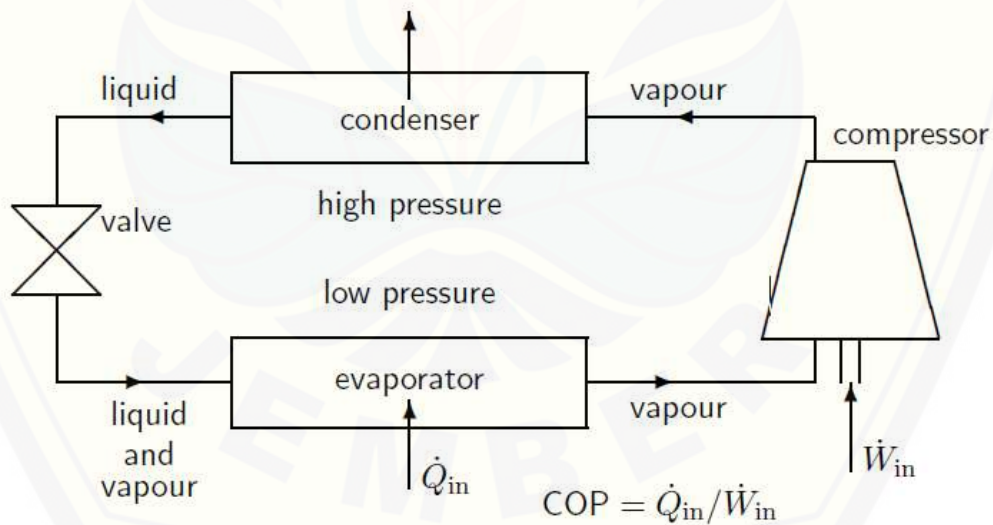
Kondensor bertingkat (paralel) akan mempercepat perpindahan panas. Konveksi paksa yang diberikan akan mempercepat proses pelepasan kalor pada kondensor, sehingga suhu refrigeran keluaran kondensor akan semakin turun. Turunnya suhu keluaran kondensor akan menurunkan kerja kompresi. Semakin turun nilai kerja kompresi maka akan meningkatkan koefisien prestasi (COP) dari mesin pendingin



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Refrigerasi Sederhana

Sistem refrigerasi kompresi uap (*vapour compression refrigeration*) adalah sistem refrigersi yang umum dan mudah dijumpai pada aplikasi sehari-hari, baik untuk keperluan rumah tangga, komersial, dan industri. Sistem ini menggunakan refrigerant (*refrigerant*), yakni suatu senyawa yang dapat berubah fase secara cepat dari uap ke cair dan sebaliknya. Pada saat terjadi perubahan fase dari cair ke uap, refrigeran akan mengambil kalor (panas) dari lingkungan. Sebaliknya, fase dari uap ke cair, refrigeran akan membuang kalor (panas) ke lingkungan sekelilingnya (Stoecker, 1996).



Gambar 2.1 Komponen Mesin Pendingin (Widodo, 2014)

Komponen utama dari suatu sistem refrigerasi kompresi uap adalah:

1. Evaporator
2. Kompresor
3. Kondensor
4. Alat ekspansi (*metering device*)

2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin

2.2.1 Kompresor

Kompresor dikenal sebagai jantung dari suatu sistem refrigerasi dan digunakan untuk menghisap dan menaikkan tekanan uap refrigeran yang berasal dari evaporator. Bagian pemipaan yang menghubungkan antara evaporator dengan kompresor dikenal dengan saluran hisap (*suction line*). Penambahan tekanan uap refrigeran dengan kompresor ini bertujuan agar refrigeran dapat mengembun pada temperatur yang relatif tinggi. Refrigeran yang keluar dari kompresor masih ber fase uap dan tekanan tinggi. Perbandingan antara absolut tekanan buang (*discharge pressure*) dan tekanan isap (*suction pressure*) disebut dengan rasio kompresi (*compression ratio*).



Gambar 2.2 Kompresor (Widodo, 2014)

Kompresor pada sistem refrigerasi dapat berupa kompresor torak (*reciprocating compressor*), *rotary*, *scrol*, *screw*, dan *centrifugal*. Kompresor yang paling umum dijumpai dan terdapat berbagai tingkat kapasitas adalah komprsor torak. Refrigeran yang masuk ke dalam kompresor harus benar-benar berfase uap. Cairan yang masuk ke kompresor dapat menyebabkan kerusakan pada piston, silinder, piston ring dan batang torak, sehingga beberapa jenis mesin refrigerasi dilengkapi dengan *liquid receiver* untuk memastikan refrigeran yang dihisap oleh kompresor benar-benar telah berfase uap (Stoecker, 1996).

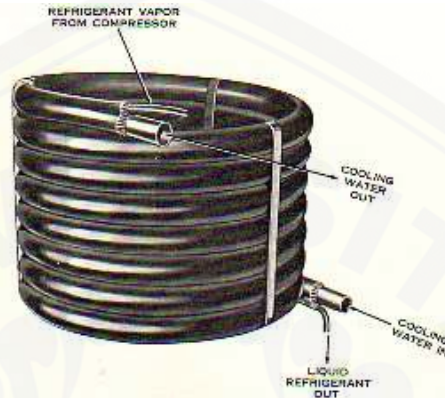
2.2.2 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengembunkan atau mengkondensasikan refrigeran bertekanan tinggi dari kompresor. Pemipaan yang menghubungkan antara kompresor dengan kondensor dikenal dengan saluran buang (*discharge line*). Hal tersebut menyebabkan perubahan pada kondensor dari fase uap ke cair ini yang selalu disertai dengan pembuangan kalor ke lingkungan. Pada kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke udara. Pada kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*). Pembuangan kalor dilakukan ke air.



Gambar 2.3 Kondensor (Widodo, 2014)

Kondensor pada kulkas berpendingin air sangat jarang digunakan dibanding dengan kondensor berpendingin udara. Kondensor berpendingin air sering disebut dengan *tube and tube condenser* yang hampir sama dengan Heat Exchanger.



Gambar 2.4 Tipe kondensor dengan pendingin air (*tube in tube*) (Hawin, 2015)

2.2.3 Alat Ekspansi (Pipa Kapiler)

Pipa kapiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem refrigerasi. Pipa kapiler hampir melayani semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10 kW. Pipa kapiler mempunyai ukuran panjang 1,5 hingga 2 m, dengan diameter dalam 0,5 mm hingga 2 mm (Sumanto, 2004). Pada pipa kapiler cairan refrigeran akan masuk dan mengalir sehingga tekanannya berkurang disebabkan oleh gesekan dan perlambatan aliran refrigeran. Sejumlah cairan berubah menjadi uap ketika refrigeran mengalir melalui pipa ini.

Keuntungan yang lebih banyak menyebabkan pipa kapiler diterima secara umum untuk sistem-sistem yang di rakit di pabrik. Bentuknya sederhana tanpa komponen yang bergerak dan harganya yang relatif lebih murah. Pipa-pipa tersebut juga memungkinkan tekanan di dalam sistem merata selama sistem tidak bekerja, sehingga motor penggerak kompresor mempunyai momen gaya awal yang kecil. Kerugian dari pipa kapiler bahwa pipa-pipa tersebut tidak dapat di atur terhadap kondisi beban yang berubah-ubah, mudah terganggu oleh adanya penyumbatan oleh

benda asing dan memerlukan jumlah pengisian refrigeran berada dekat batas maksimal (Stoecker, 1996). Pipa kapiler dirancang untuk sebagian kondisi operasi dan setiap perubahan beban kalor atau suhu kondensor dari keadaan yang dirancang, akan menyebabkan penurunan efisiensi kerjanya (Stoecker, 1996).



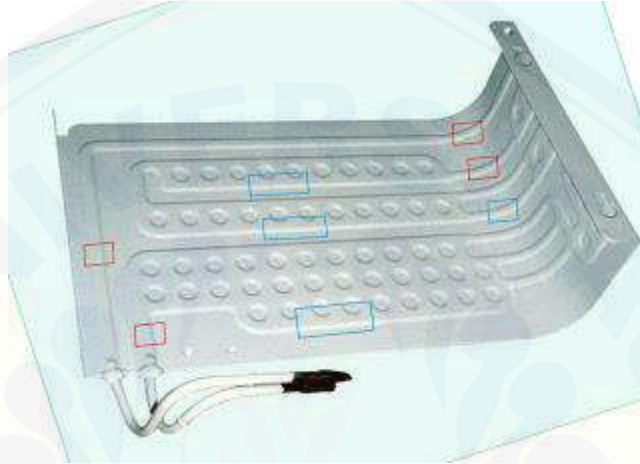
Gambar 2.5 Pipa Kapiler (Widodo, 2014)

Fungsi pipa kapiler juga untuk membuat cairan freon dingin yang berasal dari kondensor terpancar dalam bentuk kabut sehingga suhu penguapan dari evaporator menjadi sangat rendah. Semakin besar diameter pipa kapilernya semakin tingkat pengkabutannya dan semakin jauh daya pancar cairan pendinginnya yang bisa berakibat bahan pendingin kembali ke kompresor masih dalam bentuk cair, seharusnya sudah dalam bentuk gas, hal ini dapat membahayakan kompresor. (Stoecker, 1996).

2.2.4 Evaporator

Evaporator adalah komponen yang digunakan untuk mengambil kalor dari suatu ruangan atau suatu benda yang bersentuhan dengannya. Pada evaporator terjadi pendidihan (*boiling*) atau penguapan (*evaporation*), atau perubahan fasa refrigeran dari cair menjadi uap (Stoecker, 1996). Refrigeran pada umumnya memiliki titik didih yang rendah, seperti: refrigeran 22 (R22) memiliki titik didih pada suhu -40°C , sehingga refrigeran mampu menyerap kalor pada temperatur yang sangat rendah.

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

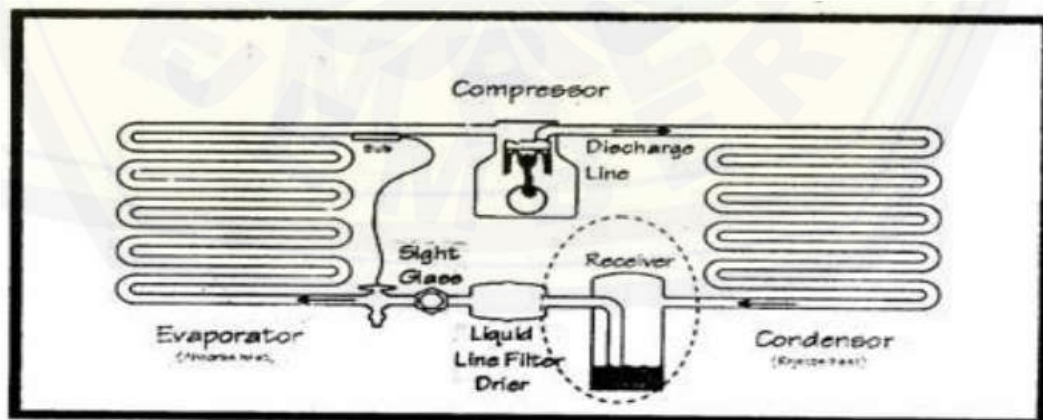


Gambar 2.6 Evaporator (Widodo, 2014)

2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

2.3.1 Liquid Receiver

Alat ini digunakan untuk menampung refrigeran cair yang berasal dari kondnsor. *Liquid receiver* dipasang pada *liquid line* sebelum *filter dryer* dan *sight glass*



Gambar 2.7 *Liquid Receiver* (Kusuma, 2014)

2.3.2 Acces Port

Alat ini digunakan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian refrigeran. Alat ini juga dapat digunakan untuk keperluan *pumpdown*.



Gambar 2.8 Acces Port (Rahman, 2015)

2.3.3 Sight Glass

Alat ini digunakan untuk mengamati secara visual kondisi refrigeran pada *liquid line*. Apabila pada *sight glass* terlihat ada gelembung, berarti kondensasi pada kondensor tidak berlangsung secara sempurna. Selain itu dari warna yang tampak pada alat ini dapat dilihat apakah refrigeran pada sistem refrigerasi masih mengandung uap air atau tidak. (Stoecker, 1996).



Gambar 2.9 Sight Glass (Kusuma, 2014)

2.3.4 *Filter / Dryer*

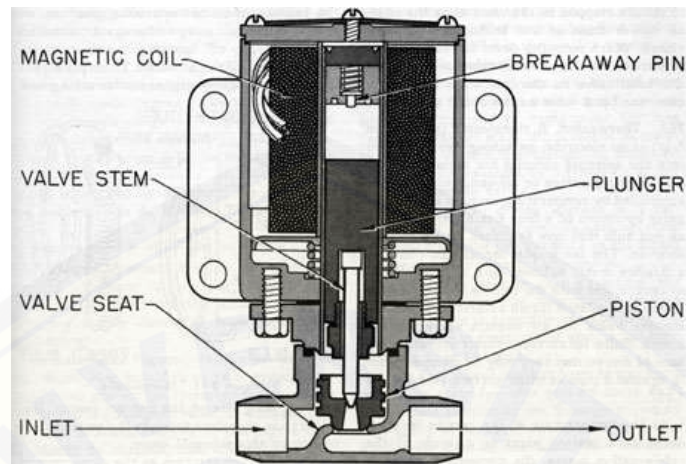
Komponen ini berfungsi untuk menyaring kotoran dan menghilangkan uap air yang kemungkinan masih tertinggal pada sistem refrigerasi. *Filter dryer* dipasang pada *liquid line*, yakni saluran yang menghubungkan antara keluaran kondensor dengan alat ekspansi (Stoecker, 1996).



Gambar 2.10 *Filter/Dryer* (Kusuma, 2014)

2.3.5 Kran Solenoid (*Solenoid Valve*)

Kran solenoid adalah kran yang digerakkan dengan ada dan tidaknya aliran listrik, kran ini pada umumnya dipasang pada saluran cairan bahan pendingin bertekanan tinggi atau sebelum katup ekspansi (Hartanto, dalam Rabullah, 2014).



Gambar 2.11 *Solenoid Valve* (Kusuma, 2014)

2.3.6 *Fan* Pedingin Kondensor

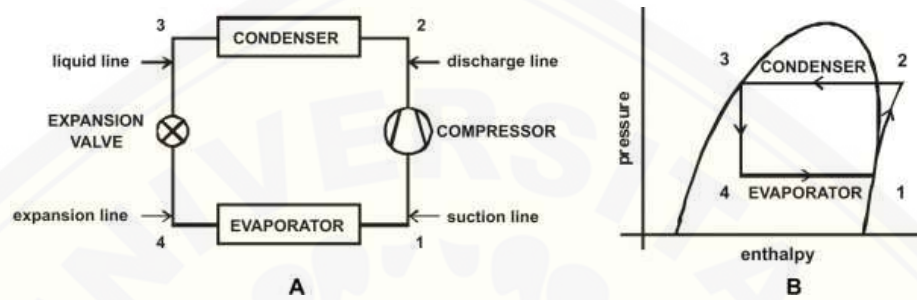
Berfungsi sebagai pendingin kondensor melalui konveksi paska yang di berikan. Aliran fluida akan mempercepat pendinginan pada kondensor, sehingga proses kondensasi fluida di dalam kondensor terjadi lebih cepat.



Gambar 2.12 *Fan* Pedingin Kondensor (Widodo, 2014)

2.4 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi adalah siklus kerja yang mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem. Ilustrasi tentang siklus refrigerasi dapat dilihat pada gambar di bawah:



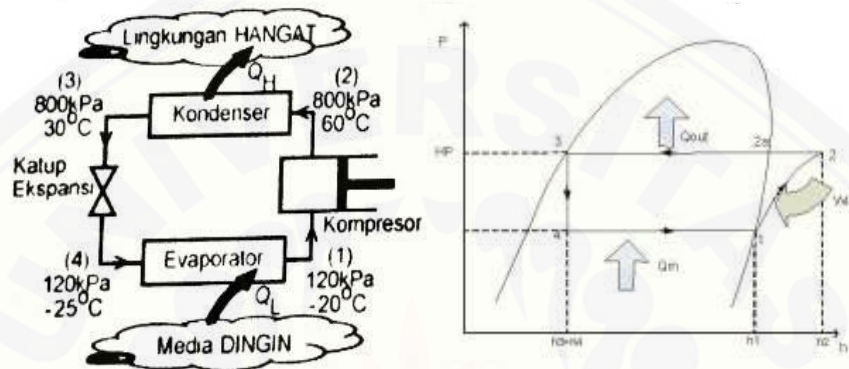
Gambar 2.13 Siklus Refrigerasi (Widodo, 2014)

Siklus refrigerasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*) dimana refrigeran mengalami proses penguapan dan kondensasi, dan dikompresi dalam fasa uap.
2. Siklus gas (*refrigeration cycle*), dimana refrigeran tetap dalam kondisi gas.
3. Siklus bertingkat (*cascade refrigeration cycle*), dimana merupakan gabungan lebih dari satu siklus refrigerasi.
4. Siklus absorpsi (*absorption refrigeration cycle*), dimana refrigeran dilarutkan dalam sebuah cairan sebelum dikompresi.
5. Siklus termoelektrik (*thermoelectric refrigeration cycle*), dimana proses refrigerasi dihasilkan dari mengalirkan arus listrik melalui 2 buah material yang berbeda.

2.5 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal.

Siklus refrigerasi kompresi-uap ideal merupakan kebalikan siklus Carnot, di mana refrigeran harus menguap seluruhnya sebelum dikompresi pada kompresor, sehingga turbin digantikan peranannya oleh katup ekspansi atau pipa kapiler



Gambar 2.14 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal (Kusuma, 2014)

Seperti terlihat pada skema dan diagram P-h di atas, ada empat proses yang terjadi, yaitu proses 1-2 kompresi isentropik pada kompresor, proses 2-3 pelepasan kalor pada tekanan konstan di kondensor, proses 3-4' ekspansi isentropik pada katup ekspansi, dan proses 4'-1 penyerapan kalor pada tekanan konstan di evaporator.

Dari gambar di atas, alur refrigeran dimulai pada kondisi 1 saat masuk kompresor sebagai uap jenuh kemudian dikompresi secara isentropik sampai tekanan kondensor. Temperatur refrigeran naik selama proses kompresi ini di atas temperatur lingkungan. Refrigeran kemudian masuk ke kondensor sebagai uap superheat pada tingkat keadaan 2 dan keluar sebagai cairan jenuh pada tingkat keadaan 3 sehingga terjadi pelepasan kalor ke lingkungan. Refrigeran pada tingkat keadaan 3 ini diekspansi sampai tekanan evaporator melalui katup ekspansi atau pun pipa kapiler. Temperatur refrigeran menjadi turun di bawah temperatur ruangan yang dikondisikan selama proses ini. Refrigeran masuk ke evaporator pada tingkat keadaan 4

(diidealisasi sebagai ekspansi isentropik pada tingkat keadaan 4') sebagai campuran saturasi dua-fasa (cair-uap) dengan kualitas rendah, kemudian refrigeran menguap seluruhnya dengan menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan tersebut. Refrigeran keluar dari evaporator sebagai uap jenuh dan masuk kembali ke kompresor pada tingkat keadaan 1.

Seluruh proses siklus di atas bersifat reversibel secara internal, kecuali untuk proses ekspansi yang irreversibel (karena trotoel tidak mungkin isentropik sehingga perlu diidealisasi atau berperan sebagai turbin untuk memudahkan analisis). Efisiensi siklus refrigerasi ini dinyatakan dalam koefisien unjuk kerja (COP), di mana 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} dan 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 dituliskan sebagai berikut:

$$Q - w = h_e - h_i \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan asumsi perubahan energi kinetik dan potensial bisa diabaikan. Dari notasi-notasi pada gambar di atas maka COP dapat dituliskan sebagai berikut:

$$COP = \frac{q_L}{w_{net.in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

Perbandingan antara besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator dengan kerja kompresor yang harus diberikan disebut sebagai koefisien kinerja (*Coefficient of Performance*). Besarnya COP (*Coefficient of Performance*) dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{COP} = \frac{\text{output tujuan}}{\text{kerja yang dibutuhkan}} = \frac{\text{efek pendinginan}}{\text{input kerja}} = \frac{Q_L}{(W_{\text{net in}} + W_{\text{fan}})} \dots\dots\dots (2.3)$$

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

$$q_e = h_1 - h_4 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

q_e = Efek refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

Pada proses kompresi, entalpi refrigeran akan mengalami kenaikan akibat energi yang ditambahkan oleh kompresor kepada refrigeran. Besarnya kenaikan energi refrigeran akan sebanding dengan kerja kompresor (Stoecker, 1996), yang dinyatakan dengan:

$$W = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

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

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran kompresor (kJ/kg) atau (Btu/lb)

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

Kapasitas refrigerasi q adalah laju aliran massa m dikalikan pengurangan refrigeran yang meninggalkan dan memasuki evaporator. Besarnya kapasitas refrigerasi dinyatakan dengan:

$$q = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

q = Kapasitas refrigerasi (kW)

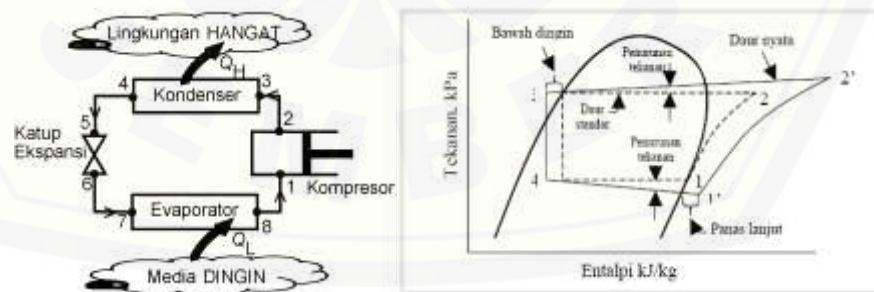
\dot{m} = Laju aliran massa (kg/det) atau (gr/det)

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

2.6 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

Pada kenyataannya *refrigerator* atau *heat pump* akan bekerja dengan suatu proses yang menyimpang dari siklus idealnya akibat ireversibilitas dalam tiap komponennya. Ireversibilitas ini pada umumnya disebabkan oleh gesekan fluida dan perpindahan kalor dari atau ke lingkungan sekitar. Siklus refrigerasi kompresi uap aktual dapat digambarkan secara skematis seperti gambar di bawah.



Gambar 2.15 Siklus Refrigerasi Kompresi Aktual (Kusuma, 2014)

Hal-hal yang terjadi dalam siklus aktual:

1. Refrigeran sudah dalam kondisi uap panas lanjut sebelum masuk ke kompresor.

2. Akibat cukup panjangnya pipa penghubung kompresor-evaporator akan mengakibatkan rugi tekanan. Rugi tekanan yang disertai peningkatan volume spesifik dari refrigeran membutuhkan power input yang lebih besar.
3. Dalam proses kompresi ada rugi gesekan dan perpindahan kalor yang akan meningkatkan entropi (1-2) atau menurunkan entropi (1-2') dari refrigeran tergantung kepada arah perpindahan kalornya.
Proses (1-2') lebih disukai karena volume spesifiknya turun sehingga power input bisa lebih kecil. Hal ini bisa dilakukan apabila dilakukan pendinginan dalam langkah kompresi.
4. Di dalam kondenser akan terjadi juga rugi tekanan.
5. Refrigeran dalam kondisi cairan terkompresi ketika masuk dalam katup ekspansi.

2.7 Pemilihan Refrigeran

Dalam sistem refrigerasi, penggunaan refrigeran sangat penting guna mendukung suatu mesin refrigerasi. Oleh karena itu pemilihan refrigeran menjadi hal yang sangat penting.

2.7.1 Jenis Refrigeran

Refrigeran atau yang sering kita sebut Freon adalah cairan yang menyerap panas pada suhu rendah dan menolak panas pada suhu yang lebih tinggi. Prinsip-prinsip refrigerant memungkinkan untuk digunakan pada outdoor unit dan indoor unit langsung menjalankannya dengan baik, karena hubungan tekanan suhu. Hubungan tekanan suhu ini memungkinkan untuk dapat mentransfer panas.

Dalam industri HVAC refrigeran diberi nama dagang dikenal sebagai " nama R". Contoh nama-nama ini adalah R22, R134a, dan R502. Nama-nama ini membantu untuk menggambarkan berbagai jenis refrigerant. Refrigerant memiliki berbagai susunan kimia dengan sifat-sifat yang berbeda. Beberapa refrigeran hanya mampu

bekerja dalam tekanan yang tinggi sementara yang lain menggunakan tekanan rendah untuk berfungsi dengan baik.

Ada tiga susunan utama refrigeran yang digunakan pada saat ini yaitu :

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

Sedangkan refrigeran alami adalah pengembangan refrigeran yang ramah lingkungan. Sebagai pengganti CFC, tentunya hidrokarbon memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimiliki CFC seperti ramah lingkungan yang ditunjukkan dengan nilai Ozon Depleting Potential (ODP) nol, Global Warming Potential (GWP) yang dapat diabaikan, memiliki properti termofisika dan perpindahan kalor yang baik, rendahnya fasa uap dan mudah larut dengan pelumas mineral.

Hidrokarbon sebagai refrigeran ramah lingkungan, tidak akan merusak komponen dalam sistem refrigerasi seperti logam dan desikan, elastomer yang biasa digunakan kecuali elastomer berbahan dasar karet alam dimana CFC, HCFC dan HFC juga dapat merusaknya. Dan dapat digunakan dengan pelumas R-12, R-22 dan R-134a. Hidrokarbon yang merupakan refrigeran alternatif jangka panjang pengganti CFC / HCFC memiliki keunggulan utama yaitu ramah lingkungan dan karakteristik

termodinamika yang baik sehingga dapat meningkatkan kinerja dan meningkatkan efisiensi energi.

Ozon (O_3) terbentuk dari pemecahan molekul oksigen (O_2) oleh sinar ultra violet matahari dan bergabung dengan oksigen dan atom atom oksigen lainnya membentuk ozon (O_3) Posisi pada atmosfer bumi di lapisan stratosfer kurang lebih sekitar 15–20 Km diatas permukaan bumi. Lapisan ozon sangat membantu mencegah radiasi sinar ultra violet yang mengakibatkan penyakit, antara lain kanker kulit, kanker mata dan lain-lain. Dewasa ini kerusakan ozon menjadi isue internasional, diseluruh belahan bumi kerusakan ozon dibahas oleh setiap negara, proses kerusakan ozon bermula dari bahan kimia CFC (Chlorofluorocarbon) yang dapat melepaskan atom Chlorine dan Haloncarbon yang dapat melepaskan atom Bromine, dimana kedua atom tersebut akan mengikat atom oksigen dari molekul ozon sehingga lapisan ozon menjadi rusak. Penggunaan Freon pada alat AC, lemari es, dan alat pendingin lain merupakan salah satu bentuk yang turut andil dalam pengrusakan ozon, karena alat ini menggunakan CFCs dalam proses kerjanya.

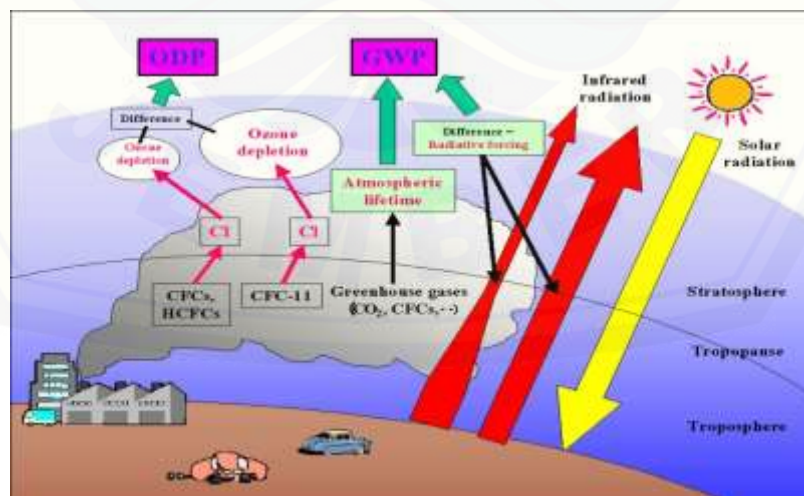
Tabel 2.1 Karakteristik Refrigeran

Sifat-Sifat	Propana	Butana
Rumus kimia	C_3H_8	C_4H_{10}
Temperatur pijar ($^{\circ}C$)	470-510	490
Temperatur bakar-udara ($^{\circ}C$)	1025	1900
Temperatur bakar- CO_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

(Kusuma, 2015)

2.7.2 Chloro Fluoro Carbon (CFC)

Chloro Fluoro Carbon merupakan salah satu senyawa organik yang banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari. Artikel ini bertujuan untuk mengetahui proses perjalanan Chloro fluoro carbons hingga dapat merusak ozon dan membahayakan kehidupan di permukaan bumi. CFC adalah kloro fluoro karbon, yaitu senyawa-senyawa yang mengandung atom karbon dengan klorin dan fluorin terikat padanya. Dua CFC yang umum adalah CFC-11 (Trichloro mono fluoro methane atau freon 11) dan CFC-12 (Dichloro difluoro methane). 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. Pada sekitar tahun 1970, zat-zat kimia seperti chloro fluoro carbon (CFC) dan hydro chloro fluoro carbon (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.



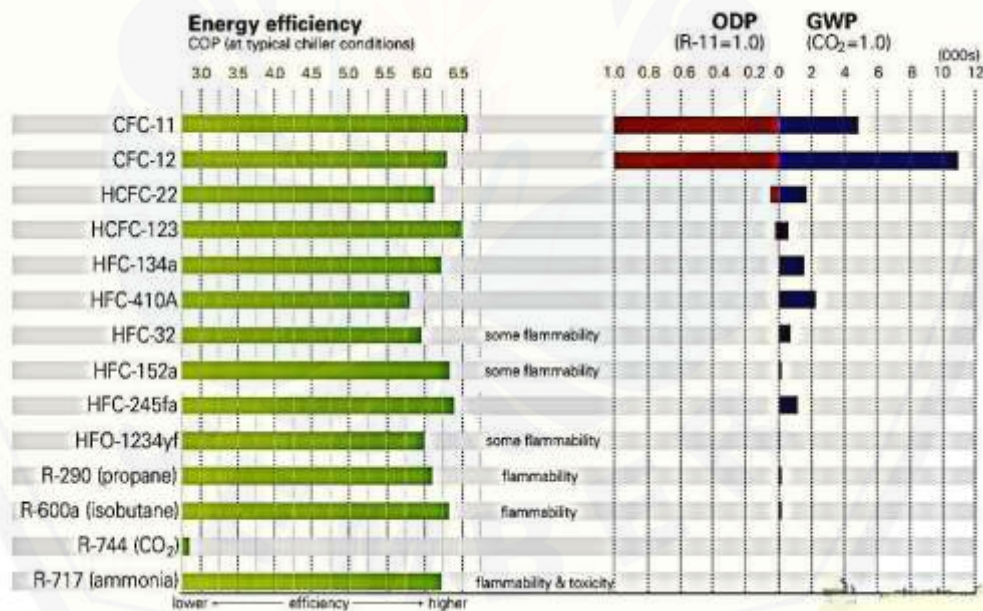
Gambar 2.16 Bahaya Refrigeran (Widodo, 2014)

2.7.3 Refrigeran Hidrokarbon

Refrigeran hidrokarbon adalah refrigeran yang saat ini banyak diteliti karena ramah lingkungan, tidak beracun, lebih murah, tidak menyebabkan penipisan ozon dengan nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) sebesar 0. Selain itu refrigeran hidrokarbon tidak menyebabkan pemanasan global dengan nilai GWP (*Global Warming Potential*) kurang dari 3 (Jwo, 2006).

Refrigeran hidrokarbon yang saat ini menunjukkan performa terbaik adalah R436A (campuran propana dan isobutana dengan rasio massa 56/44). R436A sebanyak 55 g setara dengan R134a (*Tetra Fluoro Ethane*) sebanyak 105 g sehingga terjadi efisiensi penyimpanan muatan refrigerant sebesar 48% (Rasti et al, 2013).

Tabel 2.2 Nilai ODP dan GWP Refrigeran



(Widodo, 2014)

Keuntungan refrigeran hidrokarbon adalah:

- Memiliki Sifat Fisika dan Termodinamika yang lebih baik.
- Sangat ramah lingkungan, tidak merusak lapisan Ozon dan tidak menimbulkan efek rumah kaca.
- Familiar dengan kehidupan manusia.
- Kompatibel terhadap semua mesin pendingin yang biasa menggunakan refrigeran sintetis.
- Tidak merusak komponen mesin refrigerasi
- Tidak perlu penggantian komponen mesin refrigerasi.
- Mudah didapat.

2.7.4 Syarat Refrigeran

Sebuah refrigeran dituntut mampu bekerja secara optimal. Namun disamping itu ada beberapa syarat yang harus dimiliki refrigeran agar aman digunakan. Syarat tersebut antara lain:

- Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi.
- Koefisien prestasinya harus tinggi.
- Konduktivitas termal yang tinggi.
- Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas.
- Tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik.
- Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai.
- Refrigeran tidak boleh beracun
- Refrigeran tidak boleh mudah terbakar
- Refrigeran harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran.
- Harganya tidak mahal
- Mudah diperoleh.
- Tidak berbau merangsang.
- Ramah lingkungan.
- Tidak mudah meledak.

2.8 Liquefied Petroleum Gas (LPG)

2.8.1 Pengertian LPG

LPG merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan (*Liquified Petroleum Gasses*) merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu dari Gas alam maupun Gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*). Komponen utama LPG terdiri dari Hidrokarbon ringan berupa Propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}), serta sejumlah kecil Etana (C_2H_6) dan Pentana (C_5H_{12}).

LPG digunakan sebagai bahan bakar untuk rumah tangga dan industri. LPG terutama digunakan oleh masyarakat tingkat menengah keatas yang kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ketahun karena termasuk bahan bakar yang ramah lingkungan. Sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, LPG harus memenuhi beberapa persyaratan khusus dengan tujuan agar aman dipakai dalam arti tidak membahayakan bagi si pemakai dan tidak merusak peralatan yang digunakan serta efisien dalam pemakaiannya. Oleh sebab itu untuk menjaga faktor keselamatan, LPG dimasukan ke dalam tabung yang tahan terhadap tekanan yang terbuat dari besi baja dan dilengkapi dengan suatu pengatur tekanan.

Disamping itu untuk mendeteksi terjadinya kebocoran LPG, maka LPG sebelum dipasarkan terlebih dahulu ditambahkan zat pembau (*odor*) sehingga apabila terjadi kebocoran segera dapat diketahui. Pembau yang ditambahkan harus melarut sempurna dalam LPG, tidak boleh mengendap. Untuk maksud itu digunakan etil merkaptan (C_2H_5SH) atau butil merkaptan (C_4H_9SH). Sedangkan dibidang industri produk elpiji digunakan sebagai pengganti *freon*, *aerosol*, *refrigerant / cooling agent*, kosmetik dan dapat pula digunakan sebagai bahan baku produk khusus.

2.8.2 Komposisi LPG

Berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan Direktorat Jenderal 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 Propana (C_3) dan Butana (C_4) dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan (145 psi). Dari sisi keselamatan, komposisi tersebut merupakan komposisi yang optimal, karena komposisi campuran tersebut dijaga pada level tekanan 120 psi atau 8 bar atau 8 kali tekanan udara luar. Selain itu komposisi tersebut juga telah mempertimbangkan keamanan dan kemampuan aksesoris sesuai standar SNI (Tambunan dalam Hawin, 2001).

2.8.3 Sifat – Sifat LPG

a. Wujud

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

Kemampuan gas bisa berubah wujud menjadi cair merupakan kelebihan dari bahan-bahan gas yaitu volumenya bisa menjadi mengecil. Kelebihan ini diaplikasikan terutama untuk menyimpan dan mengirim gas dalam tangki, dimana dengan cara tersebut secara ekonomi sangat menguntungkan.

b. Massa Jenis (*Density*)

Kepadatan massa atau kepadatan material atau massa jenis adalah massa per satuan volume. Simbol yang paling sering digunakan untuk kerapatan ρ (disebut rho). Massa jenis gas yaitu banyaknya massa (kg) dari gas yang mempunyai volume sebesar $1,0 \text{ m}^3$ pada kondisi tertentu (diukur pada suhu $0 \text{ }^\circ\text{C}$, dan tekanan $1013 \text{ mbar} / 1,013 \text{ kg/cm}^2$). Massa jenis gas propan adalah $2,004 \text{ kg/m}^3$, gas butan adalah $2,703 \text{ kg/m}^3$, dan udara sebesar $1,293 \text{ kg/m}^3$. Dari sini kita bisa diketahui bahwa dengan volume yang sama yaitu $1,0 \text{ m}^3$, massa propan, butan dan udara berbeda-beda. Massa butan lebih besar bila dibandingkan dengan massa propan, massa propan lebih besar daripada massa udara, dan massa kedua gas tersebut (butan dan propan) lebih besar daripada massa udara. Pengetahuan tentang massa jenis ini penting untuk memahami perilaku gas bila gas tersebut terlepas di udara bebas, apakah gas tersebut naik ke atas atau turun ke bawah (dan akan berada di atas permukaan tanah).

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 (*reference density*) adalah air pada suhu $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk gas, sebagai fluida pembandingnya adalah udara (biasanya pada suhu $200 \text{ }^\circ\text{C}$). *Specific gravity* merupakan sebuah perbandingan, sehingga *specific gravity* tidak mempunyai satuan.

Meskipun pengertiannya tidak sama persis (tetapi pada dasarnya adalah sama), ada yang menterjemahkan *specific gravity* dengan massa jenis relatif (*relative density*). Selanjutnya dalam tulisan ini untuk menyebut istilah *specific gravity* kita gunakan istilah massa jenis relatif. Massa jenis relatif gas

adalah perbandingan antara massa jenis gas dengan massa jenis udara (udara luar atau udara bebas). Massa jenis relatif udara adalah 1. Angka ini didapat dari massa jenis udara dibandingkan dengan massa jenis udara itu sendiri, yaitu $1,293 \text{ kg/m}^3 : 1,293 \text{ kg/m}^3$ sama dengan 1. Dengan cara yang sama kita bisa menghitung massa jenis relatif dari propan yaitu $2,004 \text{ kg/m}^3 : 1,293 \text{ kg/m}^3$ sama dengan 1,55 dan massa jenis relatif dari butan adalah sebesar 2,09. Apabila massa jenis relatif dari suatu gas lebih kecil daripada 1, maka gas tersebut akan naik ke udara. Namun apabila massa jenis relatifnya lebih kecil dari 1, maka gas tersebut akan turun ke tanah (mencari/mengalir ke tempat yang lebih rendah).

Dengan mengetahui bahwa massa jenis relatif gas propan dan butan lebih besar dari udara, maka apabila kita menyimpan LPG harus memberi ventilasi yang diletakkan rata dengan tanah/lantai (bila memungkinkan) atau dinaikkan sedikit. Hal ini dimaksudkan apabila ada kebocoran LPG, gas tersebut bisa cepat keluar dan bercampur dengan udara bebas. Di samping itu, dengan alasan yang sama seperti dia atas, kita jangan menyimpan tabung LPG di ruangan bawah tanah.

d. Temperatur Nyala (*Ignition Temperature*)

Temperatur nyala dari bahan bakar gas pada umumnya antara $4500 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai dengan $6500 \text{ }^\circ\text{C}$. Dengan temperatur seperti itu, gas yang diletakkan di udara bebas akan menjadi panas dan akan terjadi pembakaran. Temperatur nyala untuk propan adalah $5100 \text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan butan adalah $4600 \text{ }^\circ\text{C}$. Dari data ini kita bisa tahu bahwa apabila ada LPG yang terlepas atau bocor dari tabung gas ke udara bebas, gas tersebut tidak akan terbakar dengan sendirinya. Karena temperatur udara bebas biasanya sekitar $270 \text{ }^\circ\text{C}$. Untuk menimbulkan nyala pada peralatan yang menggunakan bahan bakar gas, misalnya kompor gas, kita menggunakan alat penyalu atau api penyalu.

Apabila temperatur udara bebas ini minimal sama dengan temperatur nyala, maka gas tersebut berada dalam kondisi *autoignition temperature* yaitu temperatur terendah dimana bahan akan terbakar dengan sendirinya tanpa diberi sumber nyala.

e. Batas Nyala (*Flammable Range*)

Batas nyala (*Flammable Range*) atau disebut juga batas meledak (*Explosive Range*) adalah perbandingan campuran (dalam bentuk prosentase) antara gas dengan udara, dimana pada batas tersebut dapat terjadi nyala api atau ledakan. Untuk bisa terjadi nyala api atau ledakan, besarnya perbandingan antara uap gas dan udara tidak memiliki nilai (angka) yang tunggal, tetapi merupakan nilai-nilai yang mempunyai batas bawah dan batas atas. Jadi apabila terjadi campuran antara gas dan udara dalam rentang nilai bawah dan nilai atas, maka akan terjadi nyala api atau ledakan.

Nilai batas nyala bawah disebut juga *Lower Explosive Limit* (LEL) yaitu batas minimal konsentrasi uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api, gas tersebut akan terbakar. Sedangkan nilai batas atas atau *Upper Explosive Limit* (UEL) yaitu batas konsentrasi maksimal uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api, gas tersebut akan terbakar. Batas nyala (*Flammable Range*) untuk propan adalah antara 2,4% sampai dengan 9,6% dan butan antara 1,9% sampai dengan 8,6%. Ini artinya bahwa misalnya terjadi campuran 2,4% propan dengan 97,6% udara, maka campuran tersebut akan dapat menyala, tetapi jumlah gas propan ini merupakan jumlah yang minimal. Apabila jumlah propan kurang dari 2,4%, maka tidak akan terjadi nyala. Demikian sebaliknya, apabila jumlah propan lebih dari 9,6% juga tidak akan terjadi nyala.

Sebagai contoh terjadi campuran 15% propan dan 85% udara, maka tidak akan terjadi nyala. Jadi kesimpulannya bahwa meskipun ada sumber api

tetapi karena perbandingan campuran antara propan dengan udara di bawah atau di atas batas nyala (*Flammable Range*), maka tidak akan terjadi pembakaran. Dengan mengetahui batas nyala (*flammable range*) dari gas, kita bisa mencegah dan mengantisipasi bahaya dari LPG (elpiji) tersebut. Dengan mengetahui bahwa gas akan terbakar apabila mempunyai campuran dengan udara dengan perbandingan tertentu, maka apabila ada gas yang bocor, salah satu tindakan sederhana yang bisa dilakukan adalah dengan membuka pintu atau jendela atau berusaha mengipas-ngipas gas tersebut agar keluar ruangan. Hal ini dimaksudkan gas tersebut komposisi campurannya kurang dari 1,9% (untuk gas propan). Dengan demikian gas tersebut tidak bisa terbakar, meskipun ada sumber api.

2.9 Kondisi Steady State

Kondisi Steady State adalah kondisi sewaktu sifat-sifat suatu sistem tak berubah dengan berjalannya waktu atau dengan kata lain, konstan. Ini berakibat untuk setiap properti p dari sistem, turunan parsial terhadap waktu adalah nol.

Pada kebanyakan sistem, keadaan tunak baru akan dicapai beberapa waktu setelah sistem dimulai atau diinisiasi. Kondisi awal ini sering disebut sebagai keadaan transien. Kesetimbangan dinamis adalah suatu kondisi khusus dari keadaan tunak yang terjadi sewaktu dua atau lebih proses terbalikkan (*reversible process*) terjadi pada laju yang sama. Tetapi, sistem dalam keadaan tunak tidak berarti harus berada dalam kesetimbangan dinamis, karena beberapa proses yang terlibat bukanlah proses yang terbalikkan. Misalnya, aliran fluida di dalam pipa atau aliran listrik dalam suatu jaringan merupakan suatu keadaan tunak karena adanya aliran fluida atau listrik yang konstan di dalamnya.

2.10 Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian yang dilakukan untuk memperbaiki kinerja mesin pendingin, entah itu di bidang efisiensi maupun keramahan lingkungan. Untuk menambah efisiensi mesin pendingin beberapa penelitian sudah dilakukan.

Elsayed (2011) melakukan penelitian dengan menambahkan variasi aliran massa udara pendingin pada kondensor. Variasi massa antara 0,28 m³/s sampai 0,43 m³/s untuk mencari performa mesin pendingin, tetapi penelitian ini dilakukan pada AC split. Elsayed menyimpulkan bahwa dengan menggunakan kecepatan van yang bervariasi didapatkan peningkatan COP 28% dibandingkan fan yang konstan.

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

Rabullah (2014) melakukan penelitian tentang Pengaruh variasi luasan sirip kondensor terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa luasan sirip yang mampu mendinginkan temperatur kondensor yang paling rendah adalah luasan sirip yang paling kecil, yaitu 0,011 m² dibandingkan dengan luasan sirip yang besar 0,038 m². Dimana luasan sirip 0,011 m² mampu menurunkan temperatur sebesar 5,8 °C dibandingkan luasan sirip 0,038 m² sebesar 3,1 °C. Hal ini terjadi karena luasan sirip 0,038 m² memiliki perpindahan kalor konduksi lebih besar dari pada perpindahan kalor konveksinya dibandingkan luasan sirip 0,011 m². Luasan sirip 0,011 m² menghasilkan prestasi kerja (COP) tertinggi dengan nilai rata-rata 3,95 dibandingkan variasi luasan sirip 0 m², 0,020 m², 0,038 m² yaitu prestasi kerjanya 3,62 3,86, 3,78. Hal ini dikarenakan

pada luasan sirip $0,011 \text{ m}^2$ memiliki kenaikan dampak refrigerasi (q_e) yang tertinggi sebesar 9% dibandingkan luasan sirip lainnya, sehingga kenaikan dampak refrigerasi tertinggi dapat meningkatkan nilai prestasi kerja mesin pendingin.

Widodo (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan fan pembuang udara pada kondensor terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG. Dari percobaan tersebut di dapat bahwa refrigeran LPG dapat meningkatkan prestasi kerja 36,2% lebih tinggi di banding refrigeran R22. Penambahan *fan* pembuang udara dapat memperbesar kerja mesin pendingin dengan meningkatkan dampak refrigerasi dan menurunkan kerja kompresi. Penambahan fan dengan daya 14,4 Watt memiliki prestasi kerja yang paling baik karena dapat meningkatkan prestasi kerja atau COP sebesar 24,5% dan dapat menghasilkan keuntungan daya sebesar 183,509 Watt di bandingkan dengan tanpa penambahan *fan*. Firdaus dan Putra (2014) melakukan penelitian tentang variasi kecepatan putaran *fan* kondensor 0,7 m/s, 1,7 m/s, 2 m/s, 2,4 m/s, dan 2,8 m/s. Penelitian tersebut mendapatkan hasil Pada saat variasi kecepatan fan tertinggi 2,8 m/s, COP sistem sebesar 1,28, kapasitas refrigerasi sebesar 0,55 kW, HRR sistem sebesar 1,78, temperatur evaporator LS sebesar $-36,950\text{C}$, dan temperatur kabin terendah sebesar $-37,30\text{C}$.

Rahman (2015) melakukan penelitian dengan merubah tipe kondensor dengan memvariasikan debit air sebesar 2,5 ltr/menit, 5 ltr/menit, 7,5 ltr/menit yang di alirkan sebagai pendingin kondensor. Pada kondensor tube and tube COP tertinggi yang dihasilkan adalah 17,72 dengan aliran air 7,5ltr/menit. Jika di prosentasikan yaitu dengan nilai 80% kenaikan COP dibanding kondensor berpendingin udara.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan penambahan *fan* pendingin kondensor bertingkat dengan variasi banyaknya *fan* yang digunakan dalam sistem yang sama. Selanjutnya menentukan kondisi refrigeran setiap titik pada siklus. Berdasarkan kondisi refrigeran tersebut dapat dihitung kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, dan koefesian prstasi mesin pada sistem untuk setiap variasi jumlah fan yang digunakan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian pada penelitian ini dilaksanakan pada bulan 1 Maret 2016 – 30 April 2016. Proses tersebut meliputi proses persiapan alat uji dan pengambilan data. Penelitian ini dilaksanakan di Bengkel Pendingin Pak Hariyanto Jl. Kaliurang RT 03 RW02 Jember.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

- a. Lemari es satu pintu, satu evaporator
- b. *Thermoreader*
- c. Thermokopel
- d. *Pressure gauge* (alat pengukur tekanan)
- e. *manifold* sebagai alat pengisi *refrigerant*
- g. *Exhaust Fan* sebagai pembuang panas (0,14 A)

3.3.2 Bahan

- a. LPG sebagai fluida kerja atau refrigeran

3.4 Variabel

Variabel pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian di tarik kesimpulan.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas di tentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi fan, yaitu tanpa fan, menggunakan 2 fan (3,36 Watt), 4 fan (6,72 Watt), dan 6 fan (10,08 Watt). dengan selang waktu 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, dan 180 menit pada kondensor standart dan kondensor paralel. Dimana saat sudah lebih dari 180 menit kondisi sistem di asumsikan *steady state*.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya bergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini merupakan tekanan dan temperatur pada titik-titik yang di cari, yaitu T1, T2, T3, T4, T5. Selain itu juga mengetahui nilai dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapas refrigerasi, dan koefesien prestasi.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Alat Penguian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan merangkai ulang instalasi perpipaan pada mesin pendingin sesuai dengan kebutuhan, dalam hal ini pengujian menggunakan lemari es satu pintu, kemudian memasan *pressure gauge* pada sisi sebelum dan sesudah kompresor untuk mengetahui tekanan pada titik tersebut.

3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji dan komponen mesin pendingin kemudian melakukan tes. Kemudian melakukan pemvakuman untuk memastikan tidak ada sisa udara dalam sistem. Kemudian pengisian refrigeran.

3.5.3 Tahapan Pengambilan Data

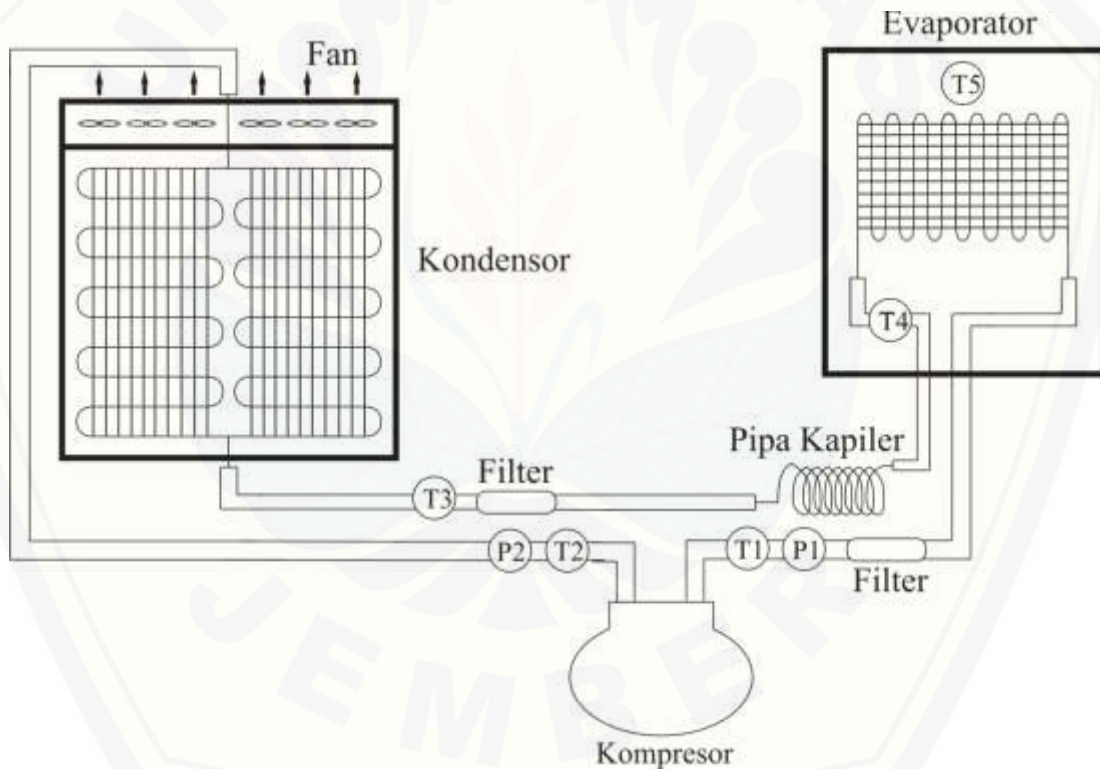
Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat melakukan pengujian. Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar yaitu kondensor, kompresor, evaporator, pipa kapiler dan komponen-komponen yang lain.
- b. Pemasangan alat ukur suhu (termokopel digital), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah di tentukan menggunakan *terminal port* pada 7 titik yang di amati.
- c. Mengisi sistem dengan udara untuk melihat kebocoran yang terjadi di dalam sistem, kemudian di lakukan pemvakuman untuk membuang udara yang terdapat dalam sistem.
- d. Mengisi LPG ke dalam sistem sebagai *refrigerant*.
- e. Melakukan pengujian dengan menggunakan refrigeran LPG pada variasi bentuk kondensor dan *fan* pendingin kondensor. Kondensor tersebut akan di

uji tanpa *fan*, menggunakan 2 *fan* (3,36 Watt), 4 *fan* (6,72 Watt), dan 6 *fan* (10,08 Watt).

- f. Mencatat tekanan dan temperatur yang ditunjukkan pada semua titik yang ditentukan.
- g. Pengumpulan data.
- h. Pengolahan, perhitungan, dan analisis data.
- i. Penyusunan laporan.

3.6 Rangkaian Refrigerator



Gambar 3.1 Rangkaian Refrigerator

3.7 Pengambilan Data

Tabel 3.1 Pengambilan Data

		Jenis Kondensator							
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	
n	20								
	40								
	60								
	80								
	100								
	120								
	140								
	160								
	180								

3.8 Pengolahan Data

Setelah pengambilan data selesai maka di dapat nilai temperatur dan tekanan selanjutnya dari data tersebut diperoleh:

1. Nilai entalpi (h) dari tabel *thermodynamic properties* dan *software coolpack*
2. Dari nilai entalpi dapat di peroleh:

- a. Dampak Refrigerasi

$$q_e = h_1 - h_4$$

- b. Kerja Kompresi

$$w = h_2 - h_1$$

- c. Kapasitas Refrigerasi

$$Q = q_e \cdot \dot{m}$$

- d. Daya Kompresi

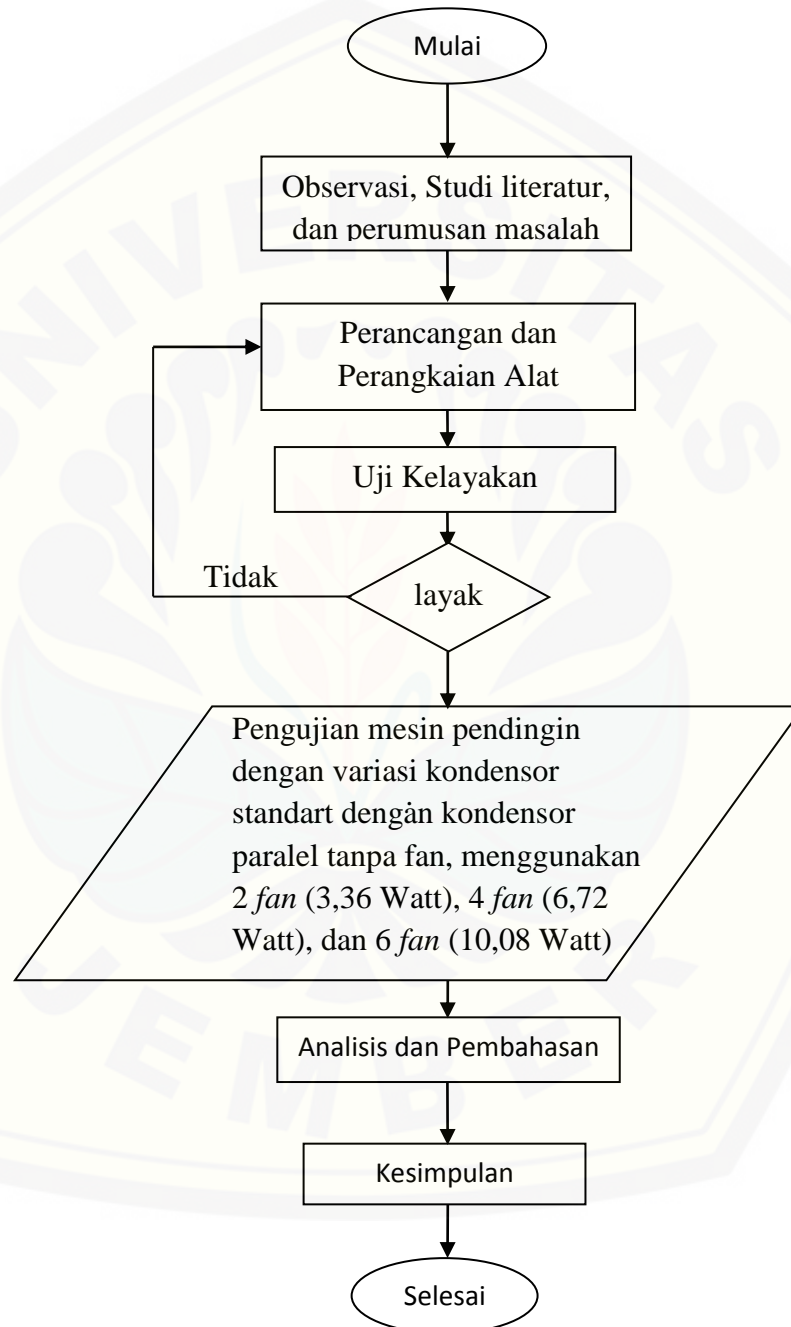
$$W = \dot{m} \cdot w$$

- e. Koefisien Prestasi

$$\text{COP} = \frac{Q}{W + W_{fan}}$$

3.9 Diagram Alir

Adapun proses dan alur penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa:
 - a) Pencapaian kerja kompresi (w) terbesar yaitu 61,6 kJ/kg menggunakan kondensor standart tanpa menggunakan *fan*, sedangkan kerja kompresi terendah yaitu 33,9 kJ/kg menggunakan kondensor paralel dengan variasi 6 *fan*. Dari data tersebut kondensor paralel dapat menurunkan kerja kompresi sebesar $\pm 21,41\%$.
 - b) Pencapaian kapasitas refrigerasi (Q) terbesar yaitu 4,641 kW menggunakan kondensor paralel dengan variasi 2 *fan*, sedangkan kapasitas refrigerasi terendah yaitu 4,396 kW menggunakan kondensor standart tanpa menggunakan *fan*. Dari data tersebut kondensor paralel dapat menaikkan kapasitas refrigerasi sebesar $\pm 3,83\%$.
 - c) Pencapaian dampak refrigerasi (q_e) terbesar yaitu 464,1 kJ/kg menggunakan kondensor paralel dengan variasi 2 *fan*, sedangkan dampak refrigerasi terendah yaitu 439,6 kJ/kg menggunakan kondensor standart tanpa menggunakan *fan*. Dari data tersebut kondensor paralel dapat menaikkan dampak refrigerasi sebesar $\pm 3,98\%$.
 - d) Pencapaian daya kompresi (W) tertinggi yaitu 0,61 kW menggunakan kondensor standart tanpa menggunakan *fan*, sedangkan daya kompresi terendah yaitu 0,39 kW menggunakan kondensor paralel dengan

variasi 6 *fan*. Dari data tersebut kondensor paralel dapat menurunkan daya kompresi sebesar $\pm 20\%$.

e) Pencapaian koefisien prestasi (COP) tertinggi yaitu pada 11,19 menggunakan kondensor paralel dengan variasi 6 *fan*, sedangkan COP terendah yaitu 7,13 menggunakan kondensor standart tanpa variasi *fan*. Dari data tersebut kondensor paralel dapat menaikkan COP sebesar $\pm 22,5\%$.

2. Hasil yang optimum dari penggunaan variasi jumlah fan adalah pada penggunaan 6 *fan* dengan daya 10,08 Watt pada masing-masing kondensor (standart dan paralel). Semakin besar udara yang di alirkan pada kondensor akan menyebabkan temperatur refrigeran keluaran kondensor menjadi turun, semakin turun temperatur maka akan menurunkan kerja kompresinya. Turunnya kerja kompresi akan menaikkan koefisien prestasinya (COP). Namun jika di bandingkan, penggunaan kondensor paralel memiliki hasil atau prestasi yang lebih baik dari pada kondensor standart dikarenakan kondensor paralel memiliki kemampuan membuang panas yang lebih besar dari pada kondensor standart.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- a) Hasil penelitian ini merupakan data pendukung yang dapat di gunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk meningkatkan besarnya koefisien prestasi kerja mesin pendingin kompresi uap.

- b) Penelitian selanjutnya diharapkan menambahkan variasi lama waktu pengujian untuk mendapat hasil yang lebih baik serta mengetahui kondisi steady state dari mesin pendingin tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Elsayed. 2011. *Effect of Condenser Air Flow on the Performance of Split Air Conditioner*. University of Dammam. Saudi Arabia.
- Farayibi, P.K. and Erinle, T.J., 2015. *Effect of Throttling Variation on the Performance of Vapour Compression Refrigeration Sistem*. Department of Mechanical Engineering. Federal University of Technology. Nigeria.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G., dan Shanklin, J.D. *Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal Cl_x/NO_x Interaction*. University Cambridge.
- Firdaus, R dan Putra, A.B.K. 2014. *Studi Variasi Laju Pelepasan Kalor Kondensor High Stage Sistem Refrigerasi Cascade R22 Dan R404a Dengan Heat Exchanger Tipe Concentric Tube*. Teknik Mesin. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jwo, C.S. 2009. *Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants*, vol. 42, hal 697–701.
- Kusuma, D.D.H. 2015. *Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Suction terhadap Prestasi Mesin Pendingin dengan LPG sebagai Refrigeran*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.
- Laksono, A.F. 2014. *Analisis Pengaruh Variasi Diameter Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Mesin Refrigerator Berbasis Refrigeran LPG*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.
- Molina, M.J., dan Rowland, F.S. (1974). *Stratospheric Sink for ChloroFluoro Methanes: Chlorine Atomcatalysed Destruction of Ozone*. Departement of Chemistry, University of California.
- Poernomo, Heroe. 2015. *Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Pendingin (Air Conditioning) yang Menggunakan Freon R-22 berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin Kondensor*. Jurusan Teknik Permesinan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rabullah, Hasby. 2014. *Pengaruh Variasi Luasan Sirip Kondensor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.

- Rahman, R.H. 2015. *Analisis Penggunaan Kondensor Tube and Tube terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.
- Rasti, M., Aghamiri, S., and Hatamipour, M. S. 2013. *Energy efficiency enhancement of a domestic refrigerator using R436A and R600a as alternative refrigerants to R134a*. *International Journal of Thermal Sciences*, 86-94.
- Sitinjak Y.D.P.K., Sappu, F.P, dan Luntungan, H. 2008. *Laju Pendinginan pada Mesin Pendingin menggunakan R-12 dan MC-12*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Sam Ratulangi.
- Stoecker, W.F., dan Jones J.W. (1996). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.
- Sumanto. 2004. *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*. Yogyakarta: Andi.
- Syahrani, Awal. 2006. *Analisa Kerja Kompresor terhadap Penggunaan Refrigeran R12 dan Hidrokarbon Jenis PIB (Propane Iso Butane)*.
- UNEP. 1999. *Study on the Potential for Hydrocarbon Replacements in Existing Domestic and Small Commercial Refrigeration Appliances*.
- Widodo, Eko. 2014. *Pengaruh Penambahan Fan Pembuang Udara pada Kondensor terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.
- Ye, Liang. 2008. *Design and Analysis of Multiple Parallel-Pass Condensers*. Chongqing University.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. CONTOH PERHITUNGAN

Menentukan laju aliran massa

$$P \text{ manifold} = 0,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$D \text{ selang keluar} = 0,80 \text{ cm}$$

$$A \text{ selang keluar} = 0,50 \text{ cm}^2$$

$$t \text{ waktu pengisian} = 110 \text{ s}$$

$$F = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{0,68 \text{ kg/cm}^2}{0,50 \text{ cm}^2}$$

$$= 1,34 \text{ kg}$$

$$m = \frac{F}{t}$$

$$= \frac{1,34 \text{ kg}}{110 \text{ s}}$$

$$= 0,01 \text{ kg/s}$$

1. KERJA KOMPRESI

$$w = h_2 - h_1$$

$$= 689,61 \text{ kJ/kg} - 643,02$$

$$= 46,6 \text{ kJ/kg}$$

2. DAMPAK REFRIGERASI

$$q_e = h_1 - h_4$$

$$= 643,02 - 214,005$$

$$= 429 \text{ kJ/kg}$$

3. KAPASITAS REFRIGERASI

$$Q = q_e \cdot \dot{m}$$

$$= 429 \cdot 0,01 = 4,29 \text{ kW}$$

4. DAYA KOMPRESI

$$W = w \cdot \dot{m}$$

$$= 46,6 \cdot 0,01$$

$$= 0,46 \text{ kW}$$

5. KOEFESIAN PRESTASI

$$\text{COP} = \frac{q}{W_k + W_{fan}}$$

$$= \frac{4290}{466+0}$$

$$= 9,2$$

Untuk perhitungan data yang lain cara dan proses sama seperti contoh

LAMPIRAN 2. FOTO PENELITIAN



Kondensor Standart



Kondensor Paralel



Data Logger



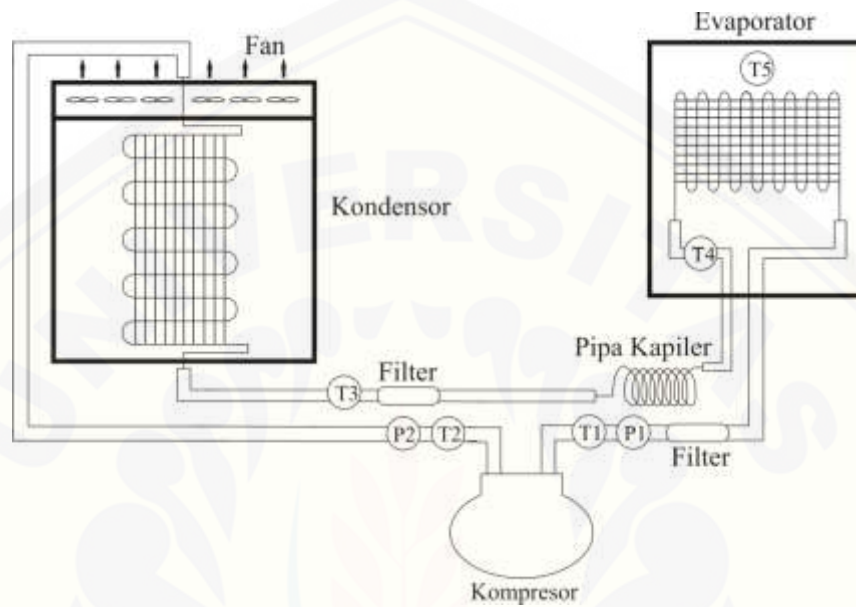
Pemasanan Filter dan Pipa Kapiler



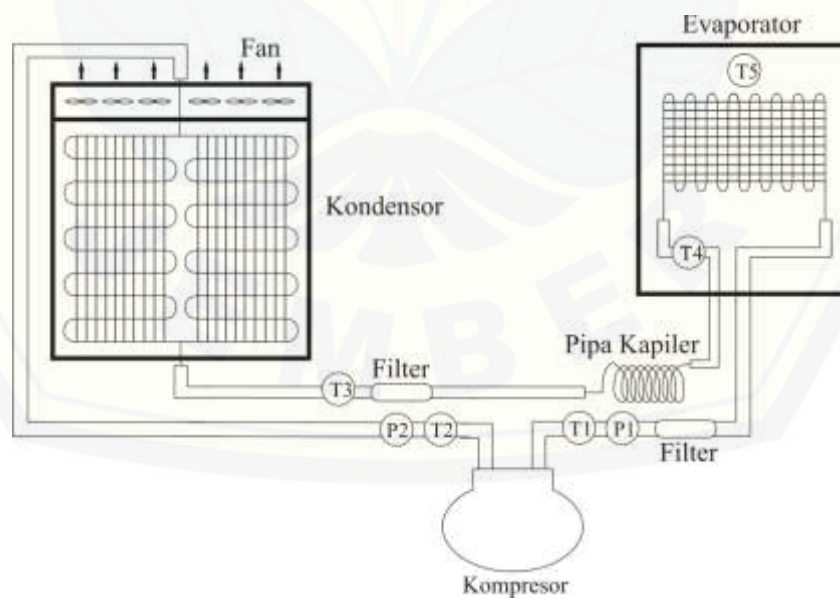
Adaptor

LAMPIRAN 3. RANGKAIAN ALAT UJI

Rangkaian alat uji menggunakan kondensor standart



Rangkaian alat uji menggunakan kondensor paralel



LAMPIRAN 4. NILAI ENTALPI KONDENSOR STANDART DAN PARALEL

Nilai entalpi kondensor standart

		Kondensor Standart																		
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
0	20	23,8	72,4	27,9	6	11,8	0,5	10	629,25	623,09	626,17	694,81	676,96	685,9	271,55	266,4	269	179,92	180,46	180,2
	40	23,2	72,8	28	-0,2	8,8	0,5	10	629,92	623,77	626,85	695,63	677,85	686,7	271,82	267,3	269,6	181,11	181,64	181,4
	60	23,8	73,5	28,5	-3,9	6,9	0,5	10	630,93	624,8	627,87	696,99	679,34	688,2	273,17	268,5	270,9	182,31	182,82	182,6
	80	24	74	29	-5,4	3,9	0,5	10	631,27	625,15	628,21	698,08	680,53	689,3	274,52	269,1	271,8	183,27	183,76	183,5
	100	24,3	74,5	29,7	-6,6	-1,7	0,5	10	631,78	625,66	628,72	699,16	681,72	690,4	276,42	270,8	273,6	183,99	184,46	184,2
	120	24,8	75,3	31,3	-6,9	-2,1	0,35	9,8	632,62	626,52	629,57	700,8	683,5	692,2	280,78	274,7	277,7	186,88	187,29	187,1
	140	25,1	75,5	31,8	-7,3	-3,2	0,3	9	633,13	627,04	630,09	700,8	683,5	692,2	280,78	274,7	277,7	190,51	190,82	190,7
	160	25,6	76,4	32,17	-7,8	-3,6	0,3	9,5	633,97	627,9	630,94	703,25	686,16	694,7	282,97	276,6	279,8	199,51	199,53	199,5
	180	26,2	76,8	32,9	-8,3	-5,5	0,3	9	634,99	628,94	631,97	704,07	687,05	695,6	285,16	278,6	281,9	214,82	214,16	214,5

		Kondensor Standart																		
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
2	20	22,77	70,2	26,5	4,9	11	0,5	10	628,08	621,89	624,99	690,19	671,89	681	267,78	263	265,4	174,66	175,29	175
	40	22,6	70,6	27	-4,2	7,5	0,5	10	628,92	622,74	625,83	691,01	672,78	681,9	269,12	264,3	266,7	172,76	173,41	173,1
	60	23,1	72,2	27,9	-6,8	5,4	0,5	10	629,76	623,6	626,68	694,27	676,36	685,3	271,55	266,4	269	173	173,65	173,3
	80	23,7	72,4	28,5	-10,2	3,1	0,5	10	630,76	624,63	627,7	695,08	677,26	686,2	273,17	267,9	270,5	176,09	176,7	176,4
	100	23,8	72,8	29,3	-10,5	-1,3	0,5	10	630,93	624,8	627,87	695,63	677,85	686,7	274,52	269,1	271,8	174,66	175,29	175
	120	24,3	73,5	29,8	-9,9	-1,7	0,5	10	631,78	625,66	628,72	696,99	679,34	688,2	276,69	271	273,9	175,38	176	175,7
	140	24,75	74,2	31	-11,2	-2,4	0,5	9,8	632,62	626,52	629,57	698,62	681,12	689,9	279,96	273,9	277	183,51	183,99	183,8
	160	25,3	75,3	31,7	-11,3	-3,8	0,35	9	633,46	627,38	630,42	700,8	683,5	692,2	281,87	275,6	278,8	189,78	190,11	189,9
	180	26	75,9	32,1	-10,5	-3,9	0,3	8	634,65	628,59	631,62	702,16	684,98	693,6	282,97	276,6	279,8	212,08	211,56	211,8

		Kondensor Standart																		
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
	20	20	69,6	26,33	3,9	10,1	0,5	10	624,57	618,3	621,44	688,84	670,39	679,6	266,44	261,8	264,1	173,95	174,59	174,3
	40	21,9	69,8	26,3	-4,4	8,1	0,5	10	627,74	621,55	624,65	689,38	670,99	680,2	267,24	262,6	264,9	172,28	172,94	172,6
	60	22,1	70,1	27	-7,6	5,9	0,5	10	628,08	621,89	624,99	689,92	671,59	680,8	269,12	264,3	266,7	175,85	176,47	176,2
	80	22,8	71,5	28	-8,4	2,4	0,5	10	629,25	623,09	626,17	692,91	674,87	683,9	271,82	266,7	269,2	175,62	176,23	175,9
4	100	23	72,2	29,1	-9,2	-1	0,5	10	629,59	623,43	626,51	694,27	676,36	685,3	274,79	269,3	272,1	177,76	178,35	178,1
	120	23,9	73,3	29,8	-10,1	-2,1	0,5	10	631,1	624,97	628,04	696,71	679,04	687,9	276,69	271	273,9	179,68	180,23	180
	140	24	74,1	30,3	-10	-2,9	0,4	9,8	631,27	625,15	628,21	698,35	680,82	689,6	278,05	272,2	275,1	181,59	182,11	181,9
	160	24,6	74,9	31	-11,5	-4,1	0,3	9,8	632,28	626,18	629,23	699,98	682,61	691,3	279,96	273,9	277	189,3	189,64	189,5
	180	25	75,8	31,6	-10,8	-4,5	0,35	9	632,96	626,87	629,92	701,89	684,68	693,3	281,6	275,4	278,5	209,6	209,2	209,4

		Kondensor Standart																		
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
	20	19,1	68,9	25,1	3,2	9,7	0,5	10	623,07	616,77	619,92	687,48	668,89	678,2	264,03	259,7	261,8	171,57	172,23	171,9
	40	19,5	69,3	25,8	-4,5	7,9	0,5	10	623,73	617,45	620,59	688,29	669,79	679	265,9	261,4	263,6	173	173,65	173,3
	60	20,2	69,6	26,3	-7,1	5,1	0,5	10	624,9	618,64	621,77	688,84	670,39	679,6	267,24	262,6	264,9	173,95	174,59	174,3
	80	21,5	70,6	27,3	-8,8	1,8	0,5	10	627,07	620,86	623,97	691,01	672,78	681,9	269,93	265	267,5	174,66	175,29	175
6	100	22,1	71,5	28,33	-9,7	-3,9	0,5	10	628,08	621,89	624,99	697,8	680,23	689	271,82	266,7	269,2	176,57	177,17	176,9
	120	22,5	73,2	28,6	-10,5	-4,9	0,5	10	628,75	622,57	625,66	696,44	678,74	687,6	273,44	268,1	270,8	178,72	179,29	179
	140	23	73,8	29,3	-10,8	-5,9	0,5	9,8	629,59	623,43	626,51	697,8	680,23	689	275,33	269,8	272,6	182,79	183,29	183
	160	23,6	74,1	30,3	-11,2	-6,8	0,3	8	630,6	624,46	627,53	698,35	680,82	689,6	278,05	272,2	275,1	189,06	189,4	189,2
	180	24	74,5	31,1	-11,8	-7,3	0,3	8	631,27	625,15	628,21	699,16	681,72	690,4	279,96	273,9	277	207,87	207,55	207,7

Nilai entalpi kondensor paralel

		Kondensor Paralel																		
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
0	20	32,4	74,6	40	5,8	10,3	0,3	10,3	645,88	640,15	643,015	698,64	680,57	689,61	304,96	296,01	300,485	214,33	213,68	214,005
	40	33	74,9	40	-0,3	8,2	0,3	10	646,91	641,2	644,055	700,07	682,7	691,39	304,96	296,01	300,485	199,27	199,29	199,28
	60	33,4	76,1	40	-3,9	5,9	0,3	9,6	647,6	641,9	644,75	703,3	686,74	695,02	304,96	296,01	300,485	190,51	190,82	190,665
	80	33,7	77,3	43,1	-5,4	3,9	0,2	9,3	648,42	642,84	645,63	706,77	691,15	698,96	313,8	307,7	310,75	186,88	187,29	187,085
	100	30,6	82,6	40,7	-6,9	-1,7	0,2	9,6	643,1	637,43	640,265	716,94	701,38	709,16	306,95	297,74	302,345	183,27	183,76	183,515
	120	34,1	82	41,2	-6,9	-2,1	0,2	9,6	649,11	643,54	646,325	715,68	700,03	707,86	308,37	298,98	303,675	183,27	183,76	183,515
	140	32,9	81,5	41,9	-7,5	-3,2	0,2	9,6	647,34	641,86	644,6	714,67	698,96	706,82	310,36	300,7	305,53	181,83	182,35	182,09
	160	31,7	84,8	40	-7,8	-4,6	0,2	9	645,28	639,77	642,525	723,37	709,24	716,31	304,96	296,01	300,485	181,11	181,64	181,375
180	33,9	75,9	38,3	-9,3	-6,7	0,3	8,6	648,76	643,19	645,975	705,42	690,68	698,05	300,17	291,81	295,99	178,11	178,11	178,11	

		Kondensor Paralel																		
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
2	20	31,8	69,2	38	3,2	9,7	0,3	9,7	645,15	639,52	642,335	688,85	671,02	679,94	299,33	291,07	295,2	207,87	207,55	207,71
	40	32	74,1	38,9	-4,5	7,9	0,3	9,7	645,49	639,87	642,68	699,06	682,15	690,61	301,86	293,29	297,575	189,06	189,4	189,23
	60	33,4	76,4	39,1	-7,1	5,1	0,3	9,7	647,9	642,31	645,105	703,84	687,33	695,59	302,42	293,78	298,1	182,79	183,29	183,04
	80	32,5	77,8	39,3	-8,8	1,8	0,3	9,7	646,35	640,74	643,545	706,84	690,56	698,7	302,99	294,28	298,635	178,72	179,29	179,005
	100	33,8	80,9	40,4	-9,7	-3,9	0,3	9,7	648,59	643,01	645,8	713,49	697,7	705,6	306,1	297	301,55	176,57	177,17	176,87
	120	34,1	82,3	41,7	-10,5	-4,9	0,3	9,7	649,11	643,54	646,325	716,4	700,8	708,6	306,1	300,22	303,16	174,66	175,29	174,975
	140	34,8	82,8	41,7	-10,8	-5,9	0,3	9,7	650,31	644,77	647,54	717,32	701,79	709,56	309,79	300,22	305,005	173,95	174,59	174,27
	160	34,5	84,2	41,7	-11,2	-6,8	0,3	9,7	649,8	644,24	647,02	720,34	705	712,67	309,79	300,22	305,005	173	173,65	173,325
180	34,8	84,5	42,1	-11,7	-7,3	0,3	9,7	650,31	644,77	647,54	721,06	705,76	713,41	310,93	301,21	306,07	171,81	172,47	172,14	

n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
4	20	33,7	67,2	33,4	4,9	9,7	0,2	8,6	648,71	643,25	645,98	687,59	671,56	679,58	286,54	279,79	283,165	212,08	211,56	211,82
	40	33,3	70,5	35,7	-4,2	7,6	0,2	8,6	648,03	642,56	645,295	694,25	678,74	686,5	292,9	285,42	289,16	189,78	190,11	189,945
	60	33,6	74,9	37,4	-6,8	4,4	3	8,6	648,24	642,66	645,45	703,36	688,48	695,92	297,65	289,59	293,62	183,51	183,99	183,75
	80	33,9	75,9	38,3	-10,2	1,1	0,3	8,6	648,76	643,19	645,975	705,42	690,68	698,05	300,17	291,81	295,99	175,38	176	175,69
	100	34,4	76,7	39,8	-10,5	-2,1	0,2	8,6	649,92	644,48	647,2	707,2	692,57	699,89	304,4	295,51	299,955	174,66	175,29	174,975
	120	32,5	72,4	39,5	-10,9	-2,8	0,2	8,6	646,65	641,16	643,905	699,3	684,8	692,05	303,55	294,77	299,16	173,71	174,35	174,03
	140	31,4	69	37,9	-11,2	-4,6	0,2	8	644,77	639,25	642,01	693,19	678,78	685,99	299,05	290,82	294,935	173	173,65	173,325
	160	31,4	68,3	37,8	-12,3	-5,9	0,2	8	644,77	639,25	642,01	691,6	677,09	684,35	298,77	290,58	294,675	170,39	171,06	170,725
180	29,9	66,6	36,5	-13,5	-7,6	0,2	8	642,21	636,65	639,43	688,25	673,52	680,89	295,13	287,38	291,255	167,54	168,24	167,89	

Kondensor Paralel																				
n fan	menit	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)		h1		h2		h3		h4					
		T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2	Propana	Butana	h1	Propana	Butana	h2	Propana	Butana	h3	Propana	Butana	h4
6	20	29,1	59,2	34,2	3,9	8,7	0,3	8,6	640,54	634,83	637,685	671,34	653,85	662,6	288,75	281,74	285,245	209,6	209,2	209,4
	40	29,1	64,3	34,1	-4,4	6,7	0,3	9	640,54	634,83	637,685	680,77	663,58	672,18	288,47	281,5	284,985	189,3	189,64	189,47
	60	29,1	65,8	34,7	-7,6	5,9	0,3	9	640,54	634,83	637,685	683,82	666,91	675,37	290,13	282,97	286,55	181,59	182,11	181,85
	80	29,3	65	35,5	-10,7	2,4	0,3	9	640,88	635,18	638,03	682,22	665,17	673,7	292,35	284,93	288,64	174,19	174,82	174,505
	100	29,8	70,2	35	-11,2	-2,9	0,3	9	641,73	636,05	638,89	692,91	676,77	684,84	290,96	283,7	287,33	173	173,65	173,325
	120	30,1	70,6	36,5	-12,1	-4,1	0,3	9	642,24	636,57	639,405	693,8	677,73	685,77	295,13	287,38	291,255	170,86	171,53	171,195
	140	30,2	71,4	35,7	-13,8	-6,8	0,3	9	642,41	636,74	639,575	695,41	679,47	687,44	292,9	285,42	289,16	166,83	167,53	167,18
	160	30,4	67,7	35,8	-13,5	-7,7	0,3	9	642,76	637,09	639,925	687,83	671,27	679,55	293,18	285,66	289,42	167,54	168,24	167,89
180	30,3	68,4	35,7	-15,8	-9,8	0,3	9	642,59	636,91	639,75	689,25	672,81	681,03	292,9	285,42	289,16	162,11	162,83	162,47	

LAMPIRAN 5. KOMPOSISI LPG



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

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 :

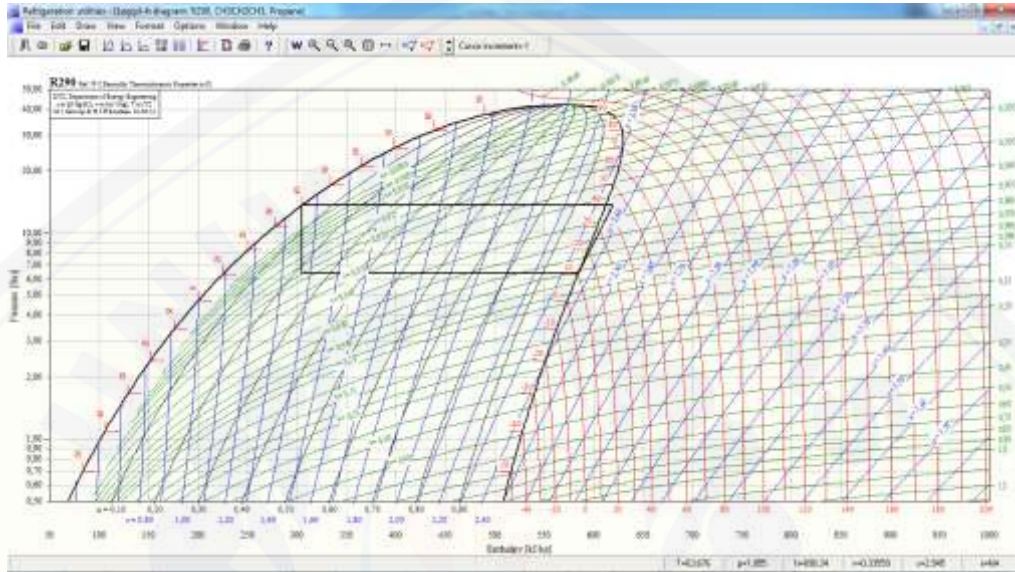
1. LPG Mix
2. LPG Propane
3. LPG Butane

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.

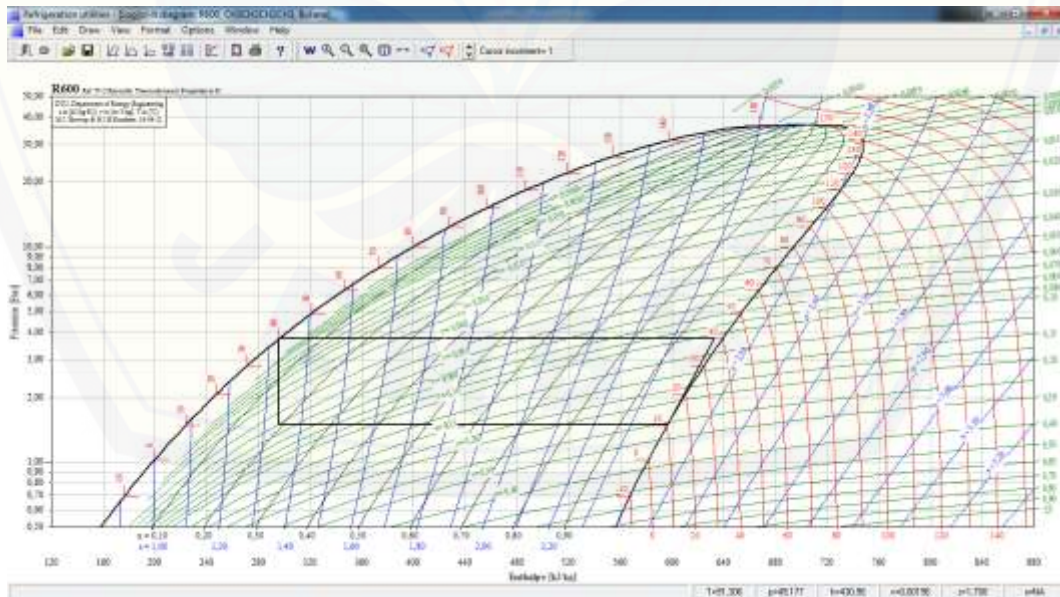
LPG Propane and LPG Butane are LPG which is containing Propane 95 % and Butane 97,5 % of volume each and added by odorant (Mercaptant), generally used for industry.

LAMPIRAN 7. DIAGRAM P-h REFRIGERAN SOFTWARE COOLPACK

Propan



Butan





Digital Repository Universitas Jember
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kalimantan No. 37 Kampus Tegal Boto Kotak Pos 159 Jember 68121
Telepon (0331) 484977*Faximile (0331) 339029
Laman : www.teknik.unej.ac.id

Nomor : 001/FT/E.5/IV/2016

15 Mei 2016

Lampiran : -

Perihal : **Penelitian Skripsi**

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama : Hariyanto

Alamat : Jl. Kaliurang Gang Celuring RT 03 RW 02 Jember

Jabatan : Pemilik Bengkel Pendingin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa,

Nama : Yorda Cipta Sambudi

NIM : 121910101127

Prog. Studi/Jurusan : S1 / Teknik Mesin Universitas Jember

Melakukan penelitian dan pengujian MESIN PENDINGIN (1 April 2016 – 1 Mei 2016),
yang meliputi:

1. Penggantian Kondensor
2. Pemvakuman
3. Pengisian Refrigeran
4. Penelitian Variasi Jumlah *fan* pada pada Kondesor Standart dan Paralel

Mengetahui,
Pemilik Bengkel

Hariyanto