



**PENGARUH VARIASI BEBAN PENDINGIN TERHADAP
UNJUK KERJA *DOMESTIC REFRIGERATOR* DENGAN
*SEPARATION CONDENSER***

SKRIPSI

Oleh

Arif Hidayathulloh

141910101074

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, nikmat serta karunianya. Dengan segenap kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Bpk. Totok Sugiarto (Alm), Ibu Sri Astutik dan Tyas Kurniawati yang telah memberikan semangat, pendanaan dan hidup yang jauh lebih baik dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Seluruh Keluarga, adik-adik, paman-paman, bibi-bibi.
3. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan ,MSc. selaku dosen pembimbing utama yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
4. Ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah ST.,MT selaku dosen pembimbing anggota yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
5. Seluruh Guru-guru sejak TK, SD, SMP, SMA, serta seluruh civitas akademik Universitas Jember, khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.
6. Teman-temanku yang membantu penelitian saya yaitu Dirga Baskara dan Boma Rari Diwangkara yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, serta teman-temanku Teknik Mesin angkatan 2014 yang tidak kenal lelah memberikan dukungan dan doa serta kasih sayang.

MOTO

“ Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan ”

(Q.S Al-Insyiroh 94 : 5)

“ Semua akan indah pada waktunya “

(Arif Hidayathulloh)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Hidayathulloh

NIM : 141910101074

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Beban Pendingin terhadap Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* dengan *Separation Condenser*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 2020
yang menyatakan,

Arif Hidayathulloh
NIM 141910101074

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI BEBAN PENDINGIN TERHADAP
UNJUK KERJA *DOMESTIC REFRIGERATOR* DENGAN
*SEPARATION CONDENSER***

Oleh

Arif Hidayathulloh

141910101074

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi Setyawan ,MSc.
Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Rika Dwi Hidayatul Q. ST.,MT

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Beban Pendingin terhadap Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* dengan *Separation Condenser*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Digdo Listyadi Setyawan ,MSc.
NIP. 196806171995011001

Ir. Rika Dwi Hidayatul Q. ST.,MT
NIP. 760014642

Tim Penguji

Penguji I

Penguji II

Dr. R. Koekoeh K.W. S.T.,M.Eng
NIP. 196707081994121001

Muh. Nurkoyim Kustanto S.T.,M.T
NIP. 196911221997021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Beban Pendingin terhadap Unjuk Kerja *Domestic Refrigerator* dengan *Separation Condenser*; Arif Hidayathulloh, 141910101074, Halaman 74; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Teknologi tumbuh berdampingan dengan kehidupan manusia. Teknologi merupakan suatu sarana sebagai penunjang kehidupan manusia di seluruh dunia dalam bidang apapun. Perkembangan zaman yang semakin modern membuat manusia harus selalu mengikuti jejak-jejak teknologi inovasi baru. Teknologi mesin pendingin adalah salah satunya. Mesin pendingin dibagi menjadi tiga kelompok industri, yaitu: domestik, komersial, 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.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan penggunaan kondensor standart dan kondensor separasi terhadap unjuk kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, COP) dengan variasi beban pendingin. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan penggunaan *separation condenser* dan penggunaan kondensor standart. Data yang diperoleh pada penelitian ini meliputi suhu dan tekanan. Pengambilan data dilakukan pada kondisi mesin pendingin dalam keadaan *steady state* selama 120 menit dan pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali data agar hasilnya akurat.

Penggunaan kondensor separasi dapat memberikan pengaruh pada nilai COP (*Coefficient of Performance*). COP tertinggi mesin pendingin penelitian ini diperoleh pada pengujian kondensor separasi dengan beban pendinginan 40 watt yaitu sebesar 6,43. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan kondensor standart yang memiliki nilai COP sebesar 5,14.



SUMMARY

Effect of Cooling Load Variation on Domestic Refrigerator Performance with Separation Condenser; Arif Hidayathulloh, 141910101074, 74 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Technology grows side by side with human life. Technology is a means to support human life throughout the world in any field. The development of increasingly modern times makes humans must always follow in the footsteps of new innovation technologies. Cooling engine technology is one of them. The refrigeration machines are divided into three industrial groups, namely: domestic, commercial, industrial. Domestic groups are directed to meet household needs. Many domestic appliances on the market include home refrigerators, freezers and air conditioners (window type and split type). Commercial groups, the equipment covers commercial equipment commonly used in supermarkets, such as reach-in freezers, service cases, and produce sale cases, water coolers, beverage coolers and truck refrigeration systems. Industrial group, the equipment includes central air conditioner, packing plant, cold storage and ice factory.

The purpose of this study is to determine the comparison of the use of standard condenser and separator condenser against cooling engine performance (impact of refrigeration, compression work, COP) with variations in cooling load. This study uses an experimental method by comparing the use of a separation condenser and the use of a standard condenser. Data obtained in this study include temperature and pressure. Data collection was performed on the condition of the cooling engine in a steady state for 120 minutes and testing was repeated 3 times for the results to be accurate.

The use of a separator condenser can have an effect on the COP (Coefficient of Performance) value. The highest COP of the engine coolant of this study was obtained in the condenser separation test with a cooling load of 40 watts which was

6.43. This value is higher than the standard condenser which has a COP value of 5.14.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Refrigerator.....	6
2.2 Komponen Mesin Pendingin.....	7
2.2.1 Kompresor.....	7
2.2.1 Kondensor.....	9
2.2.3 Evaporator.....	11

2.2.4 Katup Ekspansi.....	13
2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingin.....	15
2.3.1 Filter Dryer.....	15
2.3.2 Sight Glass.....	16
2.3.3 Selenoid Valve.....	16
2.3.4 Acces Port/Service Valve.....	16
2.3.5 Liquid Receiver	16
2.4 Siklus Refrigerasi.....	17
2.4.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal.....	18
2.4.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual.....	21
2.5 Separation Condenser.....	22
2.6 Beban Pendingin.....	25
2.7.1 Pengaruh Variasi Beban Pendingin.....	26
2.7.2 Peningkatan beban refrigerasi.....	26
2.7.3 Penurunan beban pendingin.....	27
2.7 LPG.....	29
2.7.1 Komposisi LPG.....	30
2.7.2 Sifat-sifat LPG.....	31
2.8 Hipotesis.....	34

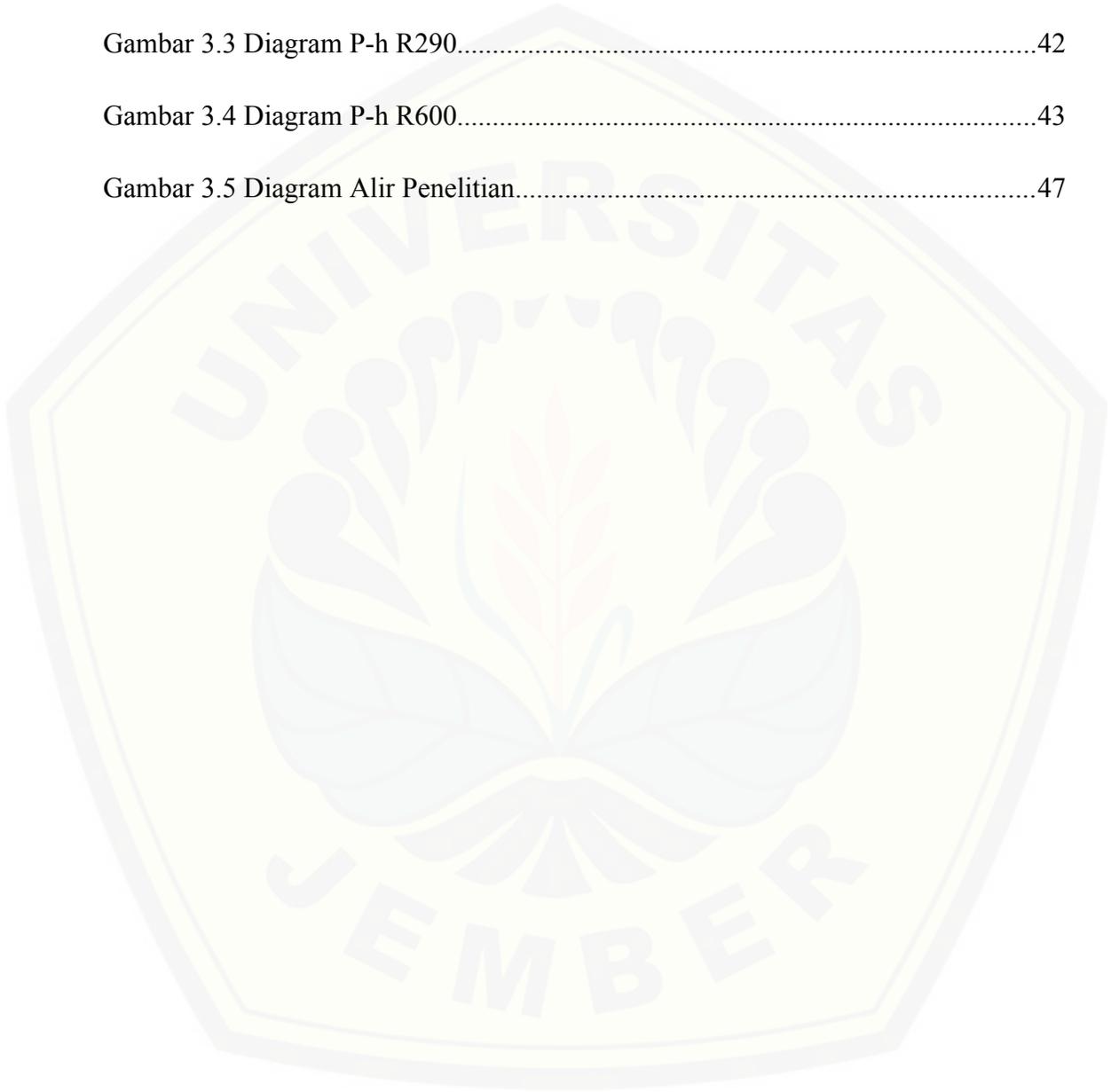
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Metodologi Penelitian.....	35
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	35
3.3.1 Alat.....	35
3.3.2 Bahan.....	36
3.4 Variabel Penelitian.....	36
3.4.1 Variabel Bebas.....	36
3.4.2 Variabel Terikat.....	36
3.5 Prosedur Penelitian.....	36
3.5.1 Studi Literatur dan Perumusan Masalah.....	36
3.5.1 Persiapan Alat Pengujian.....	37
3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian.....	37
3.5.3 Tahap Pengambilan Data.....	37
3.6 Rangkaian Refrigerator.....	38
3.7 Pengambilan Data.....	41
3.8 Pengolahan Data.....	41
3.9 Diagram Alir.....	46
BAB 4. PEMBAHASAN	

4.1 Hasil Pengujian.....	48
4.2 Pembahasan.....	52
4.2.1 Temperatur Ruang Evaporator.....	52
4.2.2 Perhitungan Entalpi.....	53
4.2.3 Dampak Refrigerasi.....	57
4.2.4 Kerja Kompresi.....	59
4.2.5 Pelepasan Kalor.....	61
4.2.6 Rasio Pelepasan Kalor.....	62
4.2.7 Temperatur Kondensor.....	64
4.2.8 Temperatur Kondensor Separasi.....	65
4.2.9 Coefficient of Performance.....	67
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Mesin Penidngin.....	7
Gambar 2.2 Kompresor Torak.....	9
Gambar 2.3 Kondensor Berpendingin Udara.....	10
Gambar 2.4 Kondensor Berpendingin Air.....	10
Gambar 2.5 (a) <i>Plate Zigzag Coil</i> , (b) <i>Oval Trombone Coil</i>	12
Gambar 2.6 Evaporator plat.....	12
Gambar 2.7 Evaporator plat dengan pipa.....	13
Gambar 2.8 Finned Evaporator.....	13
Gambar 2.9 Katup ekspansi otomatis termostatik penyama tekanan eksternal.....	15
Gambar 2.10 Siklus Refrigerasi Uap.....	17
Gambar 2.11 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal.....	18
Gambar 2.12 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual.....	22
Gambar 2.13 Kondensor dobuble-row liquid-vapor separation (D-LSMC).....	24
Gambar 2.14 Kondensor dobuble-row parallel-flow separation (D-PFMC).....	24
Gambar 2.15 (a) kondensor standar, (b) kondensor tipe <i>separation</i>	25
Gambar 2.16 (a) <i>separation without subcooler</i> , (b) <i>separation with subcooler</i>	26
Gambar 2.17 Efek variasi beban pada pipa kapiler sistem refrigerasi.....	27

Gambar 3.1 Rangkaian <i>Refrigerator</i> menggunakan kondensor tipe standart.....	39
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Refrigerator</i> menggunakan kondensor tipe separasi.....	40
Gambar 3.3 Diagram P-h R290.....	42
Gambar 3.4 Diagram P-h R600.....	43
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian.....	47



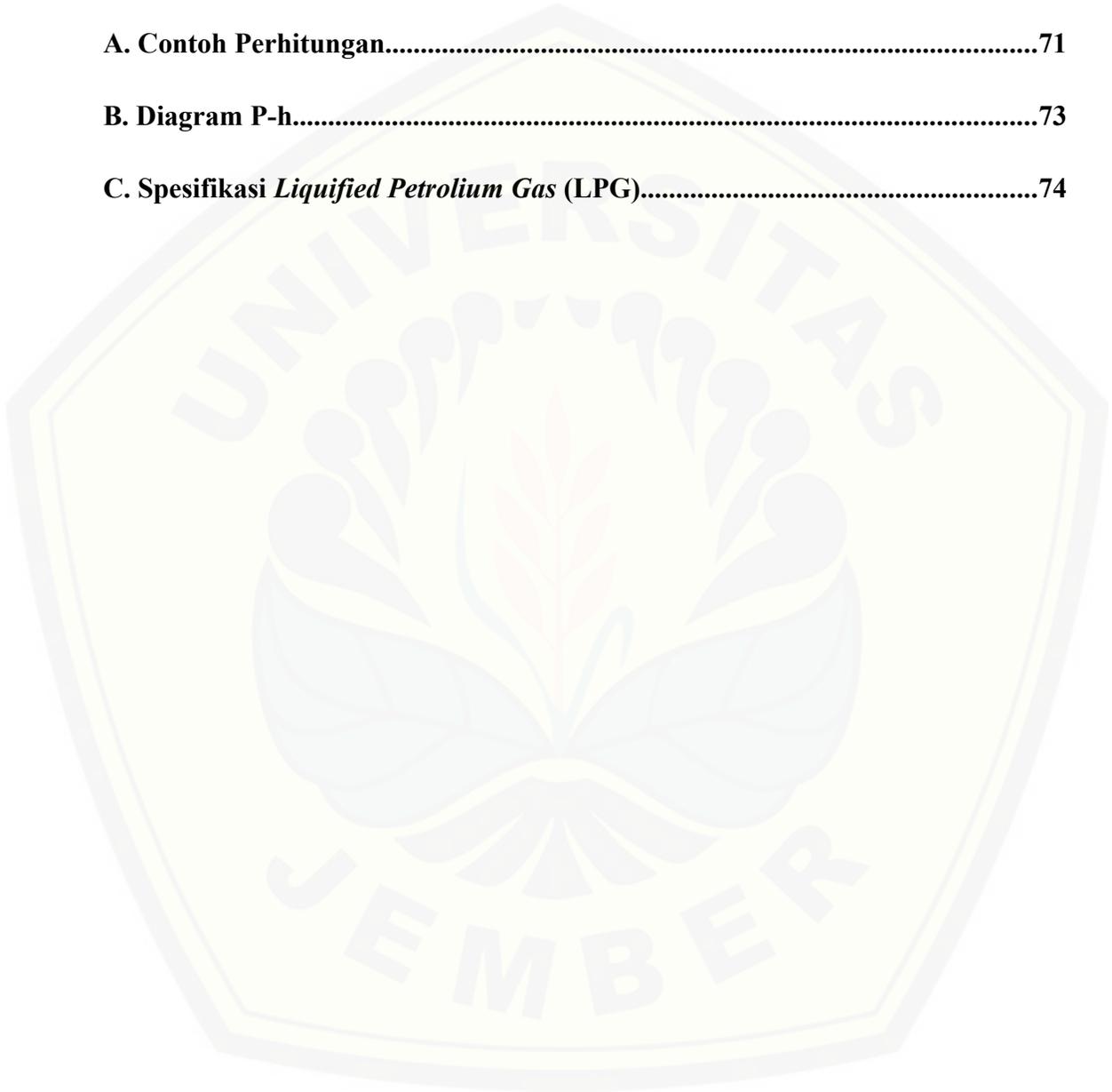
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Propana dan Butana.....	31
Tabel 3.1 Pengambilan Data Kondensor Standart.....	41
Tabel 3.2 Pengambilan Data Kondensor Separasi.....	41
Tabel 3.3 <i>Thermodynamic Properties</i> R290.....	44
Tabel 3.4 <i>Thermodynamic Properties</i> R600.....	45
Tabel 4.1 Hasil pengujian kondensor standart dengan beban pendingin 0 watt.....	49
Tabel 4.2 Hasil pengujian kondensor standart beban pendingin 40 watt.....	49
Tabel 4.3 Hasil pengujian kondensor standart beban pendingin 80 watt.....	50
Tabel 4.4 Hasil pengujian kondensor standart beban pendingin 120 watt.....	50
Tabel 4.5 Hasil pengujian kondensor separasi beban pendingin 0 watt.....	51
Tabel 4.6 Hasil pengujian kondensor separasi beban pendingin 40 watt.....	51
Tabel 4.7 Hasil pengujian kondensor separasi beban pendingin 80 watt.....	51
Tabel 4.8 Hasil pengujian kondensor standart beban pendingin 120 watt.....	52
Tabel 4.9 Nilai entalpi pada kondensor standart beban pendingin 0 watt.....	54
Tabel 4.10 Nilai entalpi pada kondensor standart beban pendingin 40 watt.....	54
Tabel 4.11 Nilai entalpi pada kondensor standart beban pendingin 80 watt.....	54
Tabel 4.12 Nilai entalpi pada kondensor standart beban pendingin 120 watt.....	55

Tabel 4.13 Nilai entalpi kondensor separasi beban pendingin 0 watt.....	55
Tabel 4.14 Nilai entalpi kondensor separasi beban pendingin 40 watt.....	56
Tabel 4.15 Nilai entalpi kondensor separasi beban pendingin 80 watt.....	56
Tabel 4.16 Nilai entalpi kondensor separasi beban pendingin 120 watt.....	57
Tabel 4.17 Dampak refrigerasi.....	57
Tabel 4.18 Kerja kompresi.....	59
Tabel 4.19 Pelepasan kalor.....	61
Tabel 4.20 Rasio Pelepasan Kalor.....	62
Tabel 4.21 Temperatur Kondensor.....	64
Tabel 4.22 <i>Coefficient of Performance</i>	65

DAFTAR LAMPIRAN

A. Contoh Perhitungan.....	71
B. Diagram P-h.....	73
C. Spesifikasi <i>Liquified Petroleum Gas</i> (LPG).....	74



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi tumbuh berdampingan dengan kehidupan manusia. Teknologi merupakan suatu sarana sebagai penunjang kehidupan manusia di seluruh dunia dalam bidang apapun. Pernyataan Ellul (dalam Miarso, 2007) yang mengungkapkan bahwa “Teknologi adalah pemimpin secara keseluruhan dan memiliki metode rasional–karakteristik khas efisiensi dalam setiap bidang kegiatan manusia”. Perkembangan zaman yang semakin modern membuat manusia harus selalu mengikuti jejak-jejak teknologi inovasi baru. Teknologi mesin pendingin adalah salah satunya.

Mesin pendingin dibagi menjadi tiga kelompok industri, yaitu: domestik, komersial, 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 (Widodo & Hasan, 2008).

Teknologi *home refrigerator* (kulkas) pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan Jerman yang bernama Carl Paul Gottfried tahun 1876 Hanafi (2006). Darwis & Robert (2005) memberikan pemahaman tentang sistem refrigerasi. Refrigerasi merupakan proses pengambilan kalor atau panas dari suatu benda atau ruang untuk menurunkan temperaturnya. Sistem refrigerasi memiliki komponen–komponen utama yaitu refrigeran, evaporator, kompresor, kondensor, dan alat ekspansi.

Kondensor merupakan alat pengubah fase dari gas menjadi cair. Kondensor memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kapasitasnya antara lain: luas permukaan yang meliputi diameter pipa kondensor, panjang

kondensor, dan karakteristik pipa kondensor, aliran udara pendinginnya, perbedaan temperatur antar refrigeran dengan udara luar, serta karakteristik refrigerannya (Tampubolon & Samosir, 2005). Kondensor pada mesin pendingin kulkas diletakkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, agar proses pelepasan kalor dapat dibuang secara langsung ke udara luar. Dan suatu sistem pendingin seimbang apabila uap pendingin yang dihisap oleh kompresor sama dengan jumlah uap yang berkondensasi pada kondensor (Karyanto & Paringga, 2003). Maka dari itu, kondensor membutuhkan sesekali pengecekan, untuk menjaga sistem kerjanya tetap stabil.

Penelitian tentang kondensor telah dilakukan oleh Basha, Ranganna, & Yadaf (2015) yang mencari panjang optimal dari kondensor untuk kinerja Vapor Refrigerasi Kompresi dengan variabel panjang (9.45m, 9.75m, 10.06m) yang akan dibandingkan dengan panjang 9.14, hasil yang diperoleh yaitu panjang 9.75m kondensor memberikan kinerja optimal dengan nilai COP, penolakan panas, efek pendinginan yang lebih tinggi dan konsumsi daya yang rendah. Babu (2013a, 2013b) membahas tentang variasi panjang kondensor 6.1m, 5.1m, dan 7.01m, hasilnya yaitu nilai COP yang paling tinggi ketika panjang kondensor 7.01m.

Konsep pemisahan fasa (*separation*) yang digunakan dalam kondensor sebagai cara untuk meningkatkan efisiensi. *Separation Condenser* adalah jenis kondensor dengan menggunakan pemisah fasa. Berbeda dengan kondensor biasa, kondensor separasi mempunyai sisi inlet berada di tengah kondensor. Kondensor separasi dapat memisahkan fasa yaitu fasa uap dan fasa cair. Fasa uap diharapkan bergerak ke atas dikarenakan adanya daya apung dan perbedaan densitas antara fasa uap dan fasa cair. Fasa cair akan bergerak ke bawah berdasarkan gravitasi dan viskositas yang lebih tinggi dari pada fasa uap. Pemisahan antara fasa uap dan fasa cair ini didasarkan murni karena perbedaan properti dari keduanya, sehingga tidak ada biaya tambahan untuk pembuatan alat pemisah selanjutnya (Li dan Hrnjak, 2017).

Penelitian yang membahas tentang *separation condenser* yaitu: “*Improvement of condenser performance by phase separation confirmed experimentally and by modeling*”. Jurnal tersebut menyajikan hasil penelitian

eksperimental untuk menentukan efek pemisahan uap-cair dalam header dari kondensor microchannel untuk sistem MAC. R134a digunakan sebagai fluida kerja. Hasil menunjukkan bahwa pada suhu inlet dan outlet yang sama kondensor separasi menghasilkan 1,6% hingga 7,4% laju aliran kondensat lebih besar dari kondensor standart. Kondensor separasi juga menurunkan suhu keluar refrigeran dibandingkan dengan kondensor standart pada laju aliran kondensat yang sama. Sistem dengan kondensor separasi menghasilkan COP hingga 6,6% lebih tinggi dari sistem dengan kondensor standart.

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 ke lingkungan. Pada umumnya evaporator terbuat dari bahan logam anti karat yaitu tembaga dan aluminium (Pratipta, 2016).

Penelitian yang membahas tentang evaporator yaitu : “Studi Eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF”. Pada penelitian ini dilakukan pengujian performa mesin DAR (*Diffusion Absorption Refrigeration*) yang diberi beban pendinginan pada kabin evaporatornya. Beban pendinginan pada penelitian ini berupa electric heater yang disambungkan dengan Voltage Regulator untuk mengatur panas output electric heater tersebut. Ada tiga variasi beban pendinginan yang akan diujikan yaitu beban pendinginan dengan suhu heater 25⁰C, suhu heater 32,5⁰C dan terakhir suhu heater 37⁰C. Hasil yang diperoleh dari pengujian performa sistem DAR dengan tiga variasi beban pendinginan yaitu semakin tinggi beban pendinginan maka semakin baik performa sistem DAR. Kapasitas pendinginan optimal ialah 136 W, COP tertinggi 0,87, laju alir massa refrigeran terbesar ialah 0,75 gram/s, dan circulation ratio terendah yaitu 2,17 (Cahyadi & Darsopuspito, 2014).

Refrigerant adalah fluida kerja didalam mesin pendingin kulkas. Refrigerant bekerja dengan menyerap panas dari suatu lokasi dan melepaskannya ke lokasi lain dengan melalui mekanisme evaporasi serta kondensasi. Jenis refrigerant yang banyak difungsikan adalah jenis refrigerant chlorofluorocarbon

(CFC) seperti R-12, hydrochlorofluorcarbon (HCFC) seperti R-22, tetapi jenis refrigerant tersebut berpotensi merusak lapisan ozon dan pemanasan global, sehingga refrigerant yang sekarang digunakan yaitu jenis refrigerant R-134a yang lebih ramah lingkungan. Menurut Saksono (2012) refrigerant hidrokarbon memiliki keunggulan yaitu tidak merusak lingkungan, yang dibuktikan dengan nilai ODP (Ozone Depleting Potentials) nol dan nilai GWP (Global Warming Potentials) yang dapat diabaikan. Contoh dari refrigerant hidrokarbon yaitu metana, etana dan propana (Stoecker dkk, 1996). Pemilihan LPG sebagai refrigerant merupakan alternatif yang bagus, dikarenakan jika dibandingkan dengan refrigerant R-134a LPG memiliki dampak yang sangat rendah terhadap ODP dan GWP menurut El-Morsi (2015), selain itu LPG mudah didapatkan dan mempunyai harga yang lebih murah (Widodo, 2014).

Beban pendinginan adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap waktu. Beban pendinginan terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas. Jumlah panas setiap saat yang masuk kedalam ruang melalui kaca secara radiasi maupun melalui dinding akibat perbedaan temperature, pengaruh penyimpanan energi pada struktur bangunan, serta peralatan-peralatan listrik seperti lampu dan peralatan elektronik lainnya (Anwar, 2010).

Pentingnya fungsi dari mesin pendingin menyebabkan berbagai masalah timbul dalam pengoptimalan kinerjanya, salah satunya yaitu cairan pada dinding bagian dalam kondensor merugikan proses perpindahan panas. Untuk meningkatkan perpindahan panas bisa dengan menghilangkan fasa cair yang tidak diinginkan ini menggunakan pemisahan fasa di kondensor, seperti yang telah ditunjukkan oleh Li dan Hrnjak (2017). Penelitian yang akan dilakukan adalah tentang perbandingan performa dari kondensor tipe *separation* dengan kondensor tipe standar dengan menggunakan variasi beban.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat pada penelitian ini yaitu bagaimana perbandingan penggunaan kondensor standart dan kondensor separasi

terhadap unjuk kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, COP) dengan variasi beban pendingin.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan penggunaan kondensor standart dan kondensor separasi terhadap unjuk kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, COP) dengan variasi beban pendingin.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Memperoleh informasi mengenai perbandingan penggunaan kondensor standart dan kondensor separasi terhadap unjuk kerja mesin pendingin (dampak refrigrasi, kerja kompresi, COP, kapasitas refrigerasi, daya kompresor) dengan variasi beban pendingin.
2. Sebagai bahan acuan/bahan informasi untuk peneliti lain dalam pengembangan unjuk kerja mesin pendingin.

1.5 Batasan Masalah

1. Sistem terisolasi sempurna.
2. Suhu pipa pada setiap titik yang diamati di asumsikan suhu refrigeran.
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*.
6. Komposisi *refrigerant* LPG diasumsikan Propana dan Butana dengan perbandingan 50:50.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

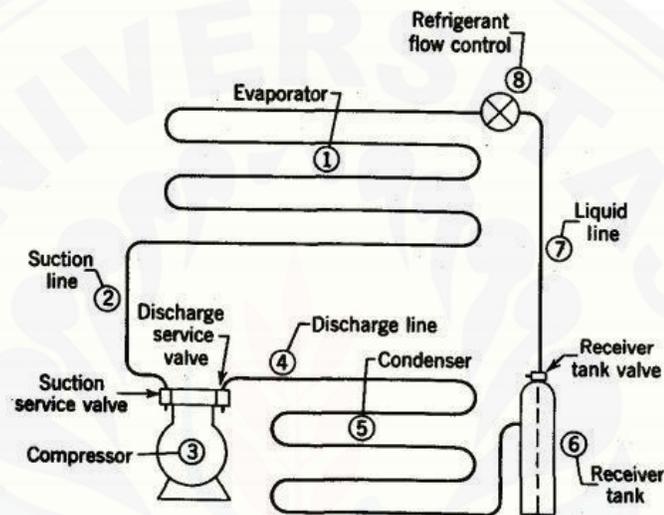
2.1 Refrigerator

Refrigerator atau kulkas merupakan rangkaian mesin yang berfungsi untuk menghasilkan temperatur lebih rendah dari suhu temperatur lingkungan. Kulkas biasanya digunakan untuk mendinginkan makanan, minuman, dan sayur-sayuran agar tidak cepat basi. Komponen utama dari kulkas antara lain : kompresor, evaporator, katup ekspansi, pipa kapiler, kondensor, serta *refrigerant* sebagai cairan fluida kerja yang bersirkulasi dalam komponen-komponen tersebut (Anwar, 2010).

Proses refrigerasi pada kulkas yaitu penyerapan panas dari daerah yang mempunyai temperatur tinggi lalu dipindahkan ke daerah yang temperaturnya rendah. Refrigerasi dapat dicapai dengan melakukan penyerapan kalor secara terus menerus dengan menguapkan *refrigerant* secara kontinyu. Penyerapan kalor secara kontinyu akan menyebabkan temperature ruangan akan semakin berkurang, kemudian temperatur ruangan akan dijaga sesuai kebutuhan (Amshori, 2016).

Refrigerant pada mesin pendingin dipompa oleh kompresor agar tekanan *refrigerant* naik. Peningkatan tekanan *refrigerant* diiringi dengan temperatur sehingga *refrigerant* berubah fasa menjadi *Liquid-Gas*. *Refrigerant* yang telah berubah fasa akan menuju ke kondensor setelah dipompa oleh kompresor. Di dalam kondensor terjadi pengkondensasian sehingga kalor pada *refrigerant* akan dibuang ke lingkungan. Setelah melewati proses di dalam kondensor, *refrigerant* berubah fasa menjadi cair bertekanan tinggi. *Refrigerant* keluaran kondensor akan melewati filter yang berfungsi menyaring kotoran yang mungkin terbawa oleh aliran *refrigerant* melalui pipa kapiler. Kemudian *refrigerant* di ekspansikan ke evaporator supaya tekanan *refrigerant* turun dan berubah menjadi partikel-partikel kecil. Dalam evaporator terjadi proses perpindahan kalor antara ruangan yang akan didinginkan

dengan *refrigerant*. Perpindahan kalor tersebut akan menyebabkan temperature *refrigerant* meningkat sehingga berubah fasa menjadi uap. Pada saat *refrigerant* mengalami perubahan fasa dari cair ke uap *refrigerant* akan menyerap kalor dari lingkungan. Sebaliknya, saat berubah fasa dari uap ke cair, *refrigerant* akan melepas kalor ke lingkungan. (Stoecker and Jones, 1996).



Gambar 2.1 Komponen Mesin Pendingin (sumber : Dossat & Roy, 1996)

2.2 Komponen Mesin Pendingin

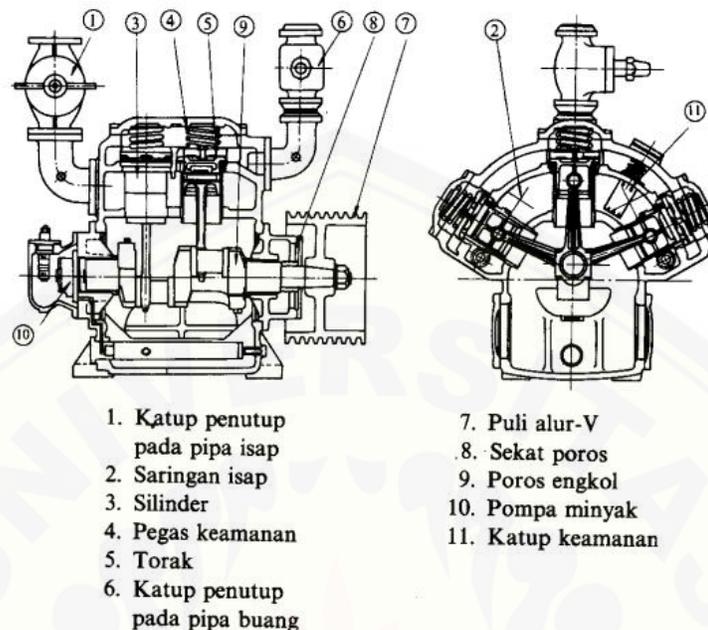
2.2.1 Kompresor

Kompresor adalah bagian terpenting dari sistem refrigerasi. Seperti tubuh manusia kompresor dapat diibaratkan sebagai jantung yang memompa darah keseluruhan tubuh. Sedangkan kompresor menekan *refrigerant* ke semua bagian dari sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor berfungsi untuk menghisap, menaikkan tekanan uap *refrigerant* dari evaporator yang akan diteruskan ke kondensor, dengan begitu otomatis temperatur refrigeran juga akan naik. Tekanan gas di dalam

evaporator harus lebih tinggi dari tekanan gas di dalam saluran hisap (*suction*), agar gas dingin dari evaporator dapat mengalir melalui saluran hisap ke kompresor. Kompresor pada sistem refrigerasi berfungsi untuk:

- a. Menurunkan tekanan di dalam evaporator, sehingga refrigeran cair di dalam evaporator dapat mendidih/menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruang di dekat evaporator.
- b. Menghisap refrigeran gas dari evaporator dengan suhu rendah dan tekanan rendah lalu memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kemudian mengalirkannya ke kondensor, sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada media pendingin kondensor lalu mengembun.

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).



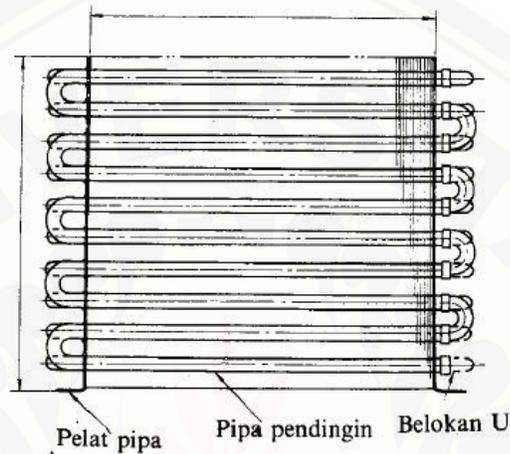
Gambar 2.2 Kompresor Torak (sumber : Arismunandar & Saito, 1991)

2.2.2 Kondensor

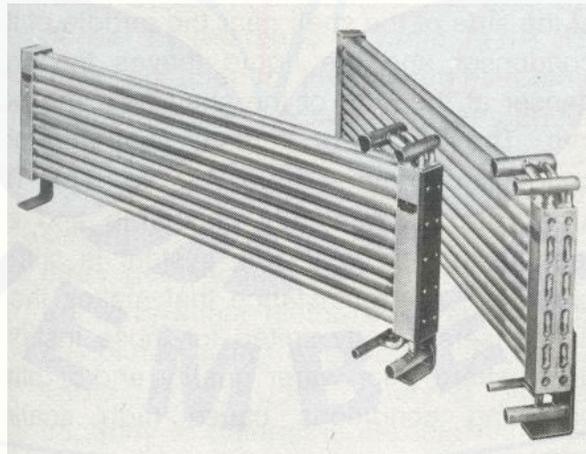
Kondensor berfungsi untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari gas menjadi cair. Kondensor adalah alat untuk membuat kondensasi refrigeran gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Refrigeran di dalam kondensor dapat melepas kalor yang telah di serap di dalam evaporator dan panas yang ditambahkan oleh kompresor. Kondensor berada di antara kompresor dan alat ekspansi atau pada sisi tekanan tinggi dari sistem. Kondensor ditempatkan di luar ruangan yang sedang didinginkan agar dapat membuang panasnya ke luar atau ke media pendinginnya (Darwis & Robert, 2005).

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

yaitu *natural draught condenser* (alami) dan *force draught condenser* (paksa). Sedangkan kondensor berpendingin air dibagi menjadi dua menurut aliran airnya yaitu *ware water system* (tidak ada proses sirkulasi) dan *recirculating water system* (disirkulasikan). (Amshori, 2016).



Gambar 2.3 Kondensor Berpendingin Udara (sumber: Widodo & Hasan, 2008)



Gambar 2.4 Kondensor Berpendingin Air (sumber : Widodo & Hasan, 2008)

Kondensor berpendingin air jarang digunakan pada *domestic refrigerator* karena sistemnya terlalu rumit dibandingkan dengan kondensor berpendingin udara.

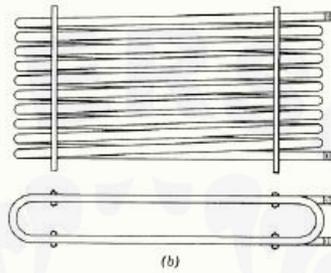
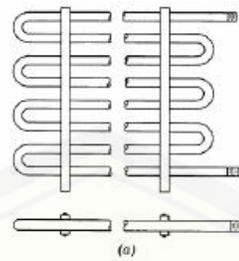
Kondensor berpendingin air sering digunakan pada sistem pendingin dengan skala besar seperti kelompok industri. Kondensor berpendingin air hampir sama seperti *heat exchanger* yang banyak kita jumpai pada industry pembangkit listrik maupun yang lainnya.

2.2.3 Evaporator

Evaporator adalah media penukar kalor melalui permukaan untuk menyerap kalor melalui *refrigerant* di dalam pipa evaporator yang ada di ruangan mesin pendingin (Widodo & Hasan, 2008). Pada evaporator *refrigerant* akan menyerap panas dan mengalami perubahan suhu serta mulai mengalami perubahan fasa menjadi gas. *Refrigerant* harus memiliki titik didih rendah agar dapat menyerap kalor pada temperatur sangat rendah, contohnya adalah *refrigerant* R22 yang memiliki titik didih -40°C .

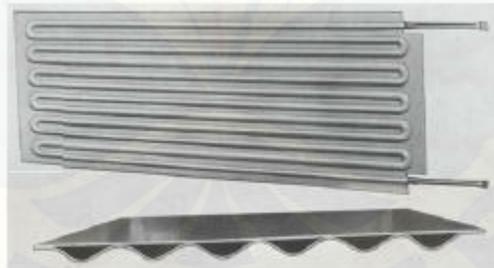
Evaporator dapat dibagi sesuai tujuan kebutuhannya serta mempunyai model evaporator yang berbeda pula. Model evaporator ditentukan oleh media yang akan didinginkan, media tersebut berupa gas, cair maupun zat padat. Pembagian evaporator sesuai keadaan *refrigerant* yang bekerja di dalamnya, yaitu sistem pompa cair, jenis ekspansi kering, jenis basah dan jenis setengah basah (Arismunandar & Saito, 1991).

Evaporator juga 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).

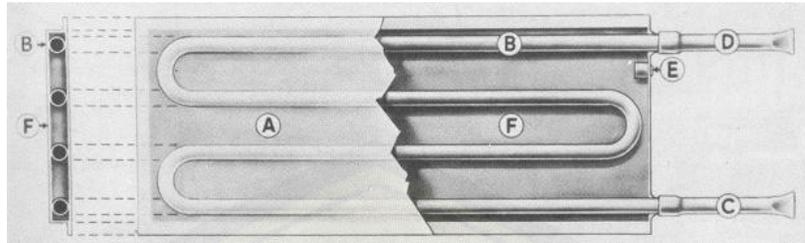


Gambar 2.5 (a) *Plate Zigzag Coil*, (b) *Oval Trombone Coil*

(sumber : Widodo & Hasan, 2008)

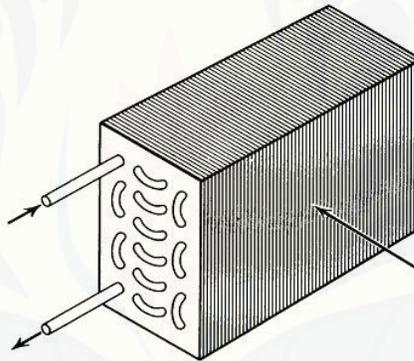


Gambar 2.6 *Evaporator plat* (sumber : Widodo & Hasan, 2008)



Gambar 2.7 Evaporator plat dengan pipa

(sumber : Widodo & Hasan, 2008)



Gambar 2.8 *Finned Evaporator* (sumber : Widodo & Hasan, 2008)

Evaporator harus mempunyai kapasitas perpindahan panas yang baik agar refrigerant yang akan diuapkan di dalam evaporator dapat berlangsung dengan optimal dan menghasilkan pendinginan yang maksimum (Widodo & Hasan 2008). Kapasitas evaporator dinyatakan dalam satuan watt. 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 = Luas permukaan luar evaporator (m²)

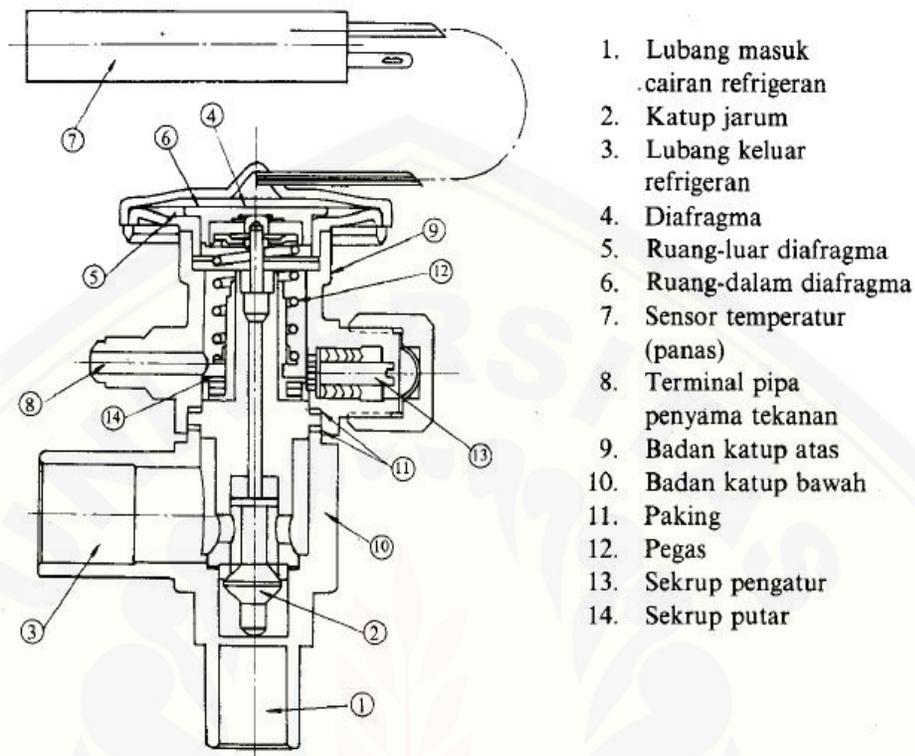
U = Faktor konduktivitas panas (W/m^2K)

TD = Beda suhu refrigerant dan suhu luar

2.2.4 Katup Ekspansi

Katup ekspansi berfungsi untuk mengekspansikan *refrigerant* dari tekanan tinggi yang dihasilkan oleh kompresor hingga *refrigerant* berubah tekanan dan bersuhu rendah secara adiabatik. Katup ekspansi akan mengatur *refrigerant* yang akan masuk ke evaporator sesuai dengan beban pendingin yang dicapai evaporator. Apabila beban pendinginan bertambah besar atau katup terbuka bertambah kecil maka cairan *refrigerant* akan menguap sempurna sehingga pada kondisi superpanas ketika mencapai sisi keluar evaporator. Kalor yang diserap akan semakin besar sehingga temperatur uap *refrigerant* menjadi lebih tinggi dari temperatur penguapannya. Derajat superpanas yang terlampau besar akan menyebabkan temperatur gas *refrigerant* keluar kompresor semakin tinggi dan akan menyebabkan kompresor cepat rusak (Arismunandar & Saito, 1991). Katup ekspansi yang sering digunakan antara lain :

- a. Katup ekspansi manual
- b. Katup ekspansi otomatis temostatik
- c. Pipa kapiler
- d. Katup ekspansi tekanan konstan



Gambar 2.9 Katup ekspansi otomatis termostatik penyama tekanan eksternal
(Arismunandar & Saito, 1991)

2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

Selain komponen utama yang telah dijelaskan diatas, terdapat pula komponen-komponen yang mendukung mesin pendingin agar performa mesin pendingin menjadi optimal. Komponen pendukung mesin pendingin antara lain :

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 tersisa pada sistem refrigerasi. *Filter Dryer* dipasang pada *liquid line*

yang merupakan saluran yang menyambungkan antara keluaran kondensor dengan katup ekspansi (Darwis & Robert, 2005).

2.3.2 *Sight Glass*

Komponen ini berfungsi untuk mengamati secara visual kondisi refrigerant yang mengalir. *Sight glass* terbuat dari kaca transparan sehingga dapat mengamati aliran refrigerant tersebut. Jika proses pengkondensasian pada sistem tidak sempurna maka akan terlihat gelembung-gelembung atau kotoran pada *sight glass*. Selain itu warna yang tampak pada alat ini dapat dilihat apakah refrigerant pada sistem refrigerasi masih mengandung uap air atau tidak (Darwis & Robert, 2005).

2.3.3 *Solenoid Valve*

Komponen ini berfungsi untuk menyekat aliran refrigeran pada saat sistem tidak sedang bekerja. Pada berbagai aplikasi, katup solenoid juga dapat digunakan untuk alat bantu penghilangan bunga es pada evaporator dengan metode *hot gas defrosts*. (Darwis & Robert, 2005).

2.3.4 *Acces Port / Service Valve*

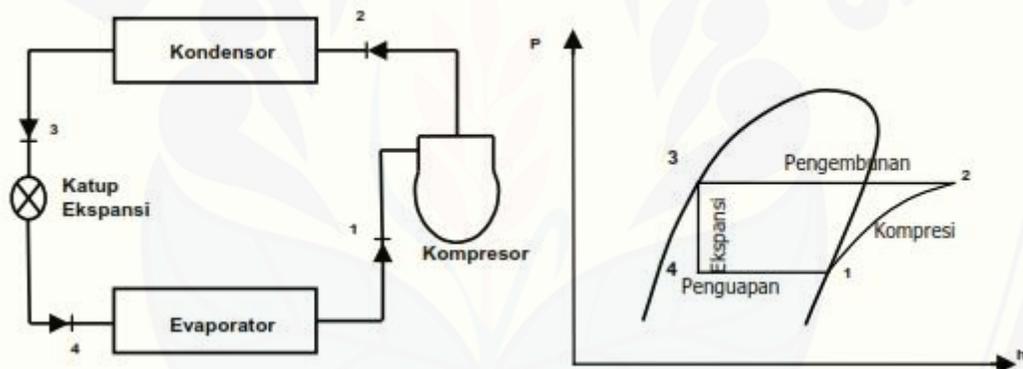
Alat ini digunakan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian refrigerant. Alat ini juga dapat digunakan untuk keperluan *pumpdown* (Darwis & Robert, 2005)

2.3.5 *Liquid Receiver*

Komponen ini digunakan untuk menampung *refrigerant* cair yang berasal dari kondensor. Cairan *refrigerant* ditampung bagian bawah dari komponen ini, sedangkan uap *refrigerant* ditampung bagian 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). Siklus refrigerasi diklasifikasikan menjadi empat macam yaitu siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*), siklus gas (*gas refrigeration cycle*), siklus bertingkat (*cascade refrigeration cycle*), siklus absorpsi (*absorption refrigeration cycle*), dan siklus termoelektrik (*thermoelectric refrigeration cycle*).



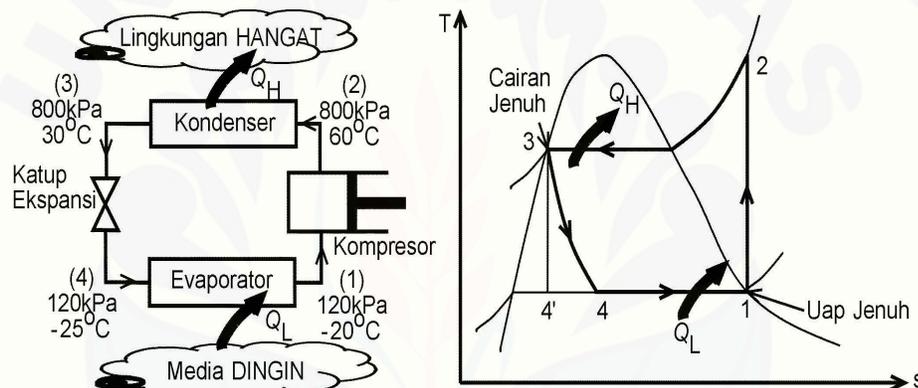
Gambar 2.10 Siklus Refrigerasi Uap (sumber : Stoecker & Jones, 1996)

Pada gambar 2.10 menjelaskan bahwa proses kompresi adiabatik oleh kompresor dari uap jenuh ke suatu tekanan pada kompresor terjadi pada proses 1-2. Pada proses 1-2 tekanannya dinaikkan dan suhu juga akan naik, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke *refrigerant*. Proses 2-3 merupakan proses pengembunan di dalam kondensator dan pelepasan kalor dari *refrigerant* pada tekanan konstan. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi dengan nilai entalpi konstan ke suatu tekanan di evaporator. Proses 4-1 merupakan proses penguapan *refrigerant* pada tekanan konstan sehingga menjadi uap jenuh. Selama proses ini cairan

refrigerant berubah wujud dari cair menjadi gas dan menyerap kalor di dalam ruang evaporator (Najamudin, 2014).

2.4.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal merupakan kebalikan siklus carnot, dimana refrigerant harus menguap seluruhnya sebelum dikompresi pada kompresor. Peran turbin dalam siklus carnot digantikan oleh katup ekspansi atau pipa kapiler.



Gambar 2.11 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

(sumber : Pramacakrayuda, 2010)

Pada gambar 2.11 sebelah kiri menunjukkan siklus refrigerasi kompresi uap ideal secara skematis. Pada proses ini refrigeran dalam kondisi uap jenuh masuk ke kompresor dan keluar sebagai uap panas lanjut. Refrigeran kemudian masuk ke dalam kondensor untuk melepas kalor sehingga terjadi proses kondensasi sampai ke kondisi cairan jenuh. Refrigerant keluaran kondensor masuk ke katup ekspansi dan mengalami penurunan tekanan dan berubah menjadi campuran jenuh. Proses ini disebut proses pencekikan atau *throttling*. Selanjutnya refrigerant masuk ke evaporator

untuk menyerap kalor sehingga terjadi proses evaporasi dan siap untuk dilakukan proses kompresi berikutnya (Pramacakrayuda, 2010).

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal juga dapat digambarkan dalam diagram T-s seperti pada gambar 2.11 sebelah kanan. Proses-proses yang terjadi adalah :

- 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 suatu sistem refrigerasi, besarnya kalor yang diambil oleh refrigerant pada evaporator dari lingkungannya akan sebanding dengan selisih antara keluaran dan masukan evaporator. Hal ini dikenal dengan istilah efek refrigerasi. Secara matematika, efek refrigerasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

Q = Efek refrigerasi (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran keluaran evaporator (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran masukan evaporator (kJ/kg)

Pada Proses kompresi, entalpi refrigerant akan mengalami kenaikan akibat energy yang ditambahkan oleh kompresor kepada *refrigerant*. Besarnya kenaikan energi *refrigerant* akan sebanding dengan kerja kompresor yang dinyatakan dengan :

$$W = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

W = Kerja kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluaran kompresor (kJ/kg)

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

Kapasitas refrigerasi q adalah laju aliran massa m dikalikan selisih entalpi *refrigerant* yang meninggalkan dan memasuki evaporator. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = m (h_1 - h_4) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

q = Kapasitas refrigerasi (kW)

m = laju aliran massa (kg/det) atau (gr/det)

h_1 = Entalpi *refrigerant* keluaran evaporator (kJ/kg)

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

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 :

$$COP = \frac{q_e}{w_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$COP = \frac{\text{output tujuan}}{\text{kerja yang dibutuhkan}} = \frac{\text{efek pendinginan}}{\text{input kerja}} = \frac{Q_l}{W_{net in} + W_{fan}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan rumus diatas maka besar COP selalu lebih dari satu. Pembuangan kalor (*heat rejection*) pada kondensor sebanding dengan panjang garis proses pada kondensor, yaitu garis mendatar di bagian atas pada plot siklus diagram tekanan entalpi. Pembuangan kalor pada kondensor dinyatakan dengan :

$$q_e = h_2 - h_3 \dots\dots\dots (2.7)$$

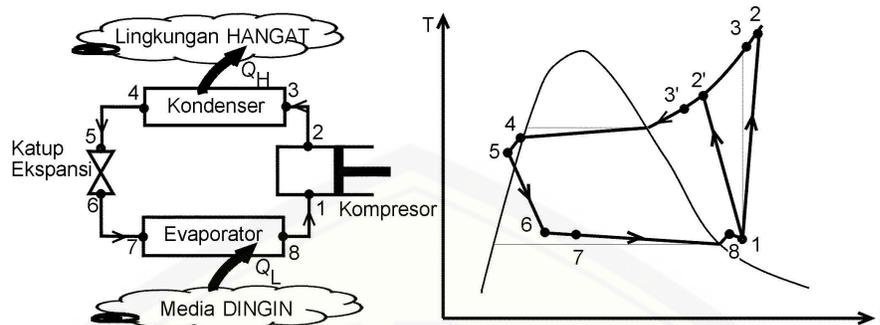
atau

$$q_e = W + Q \dots\dots\dots (2.8)$$

Atau dengan kata lain pembuangan panas kondensor = kerja kompresor + efek refrigerasi (Wibowo, Subri 2006:4).

2.4.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

Dalam siklus refrigerasi kompresi uap aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigerant setelah melewati evaporator dan sebelum masuk kondensor. Hal tersebut dikarenakan akibat jenis peralatan ekspansi atau juga bisa akibat adanya penyerapan panas di *line suction* yang letaknya diantara evaporator dan kompresor. Begitu pula dengan refrigerant cairan yang mengalami pendinginan lanjut. Perbedaan antar daur teoritis dan aktual terletak pada penurunan tekanan dalam kondensor dan evaporator. Secara teoritis tidak terjadi penurunan tekanan, tetapi pada kenyataannya *refrigerator* atau *head pump* akan bekerja dengan suatu proses yang menyimpang dari siklus idealnya karena gesekan fluida dan perpindahan kalor dari atau ke lingkungan sekitar. Siklus refrigerasi kompresi uap dapat digambarkan secara skematis seperti pada gambar dibawah ini (Pramacakrayuda, 2010).



Gambar 2.12 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

(sumber : Pramacakrayuda, 2010)

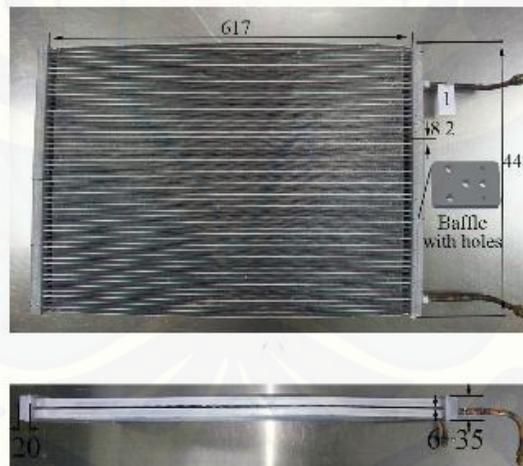
Hal-hal yang terjadi dalam siklus aktual adalah sebagai berikut :

1. *Refrigerant* sudah dalam kondisi uap panas lanjut sebelum masuk ke kompresor
2. Pipa penghubung antara kompresor dengan evaporator mengakibatkan rugi tekanan. Rugi tekanan 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 ke 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 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

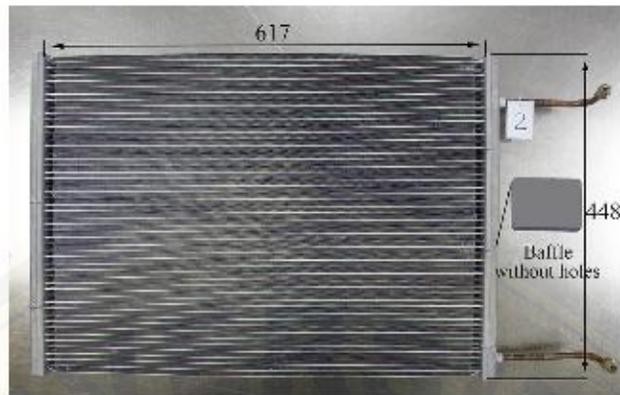
Separasi adalah pemisahan komponen-komponen dari suatu cairan sehingga menjadi fraksi yang individual. Pada prinsipnya separasi ini dipengaruhi oleh densitas maupun gaya gravitasi sehingga fraksi-fraksi tersebut akan terpisah. Sedangkan

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)

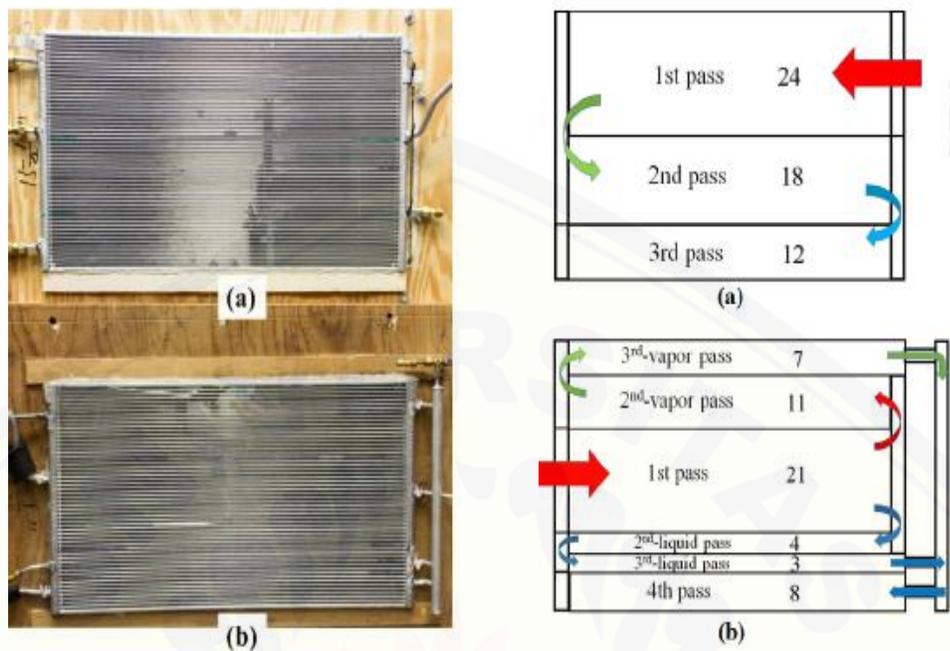
(sumber : Tianming Z., Xianglong L., dkk., 2015)



Gambar 2.14 Kondensor dengan *double-row parallel-flow separation* (D-PFMC)

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

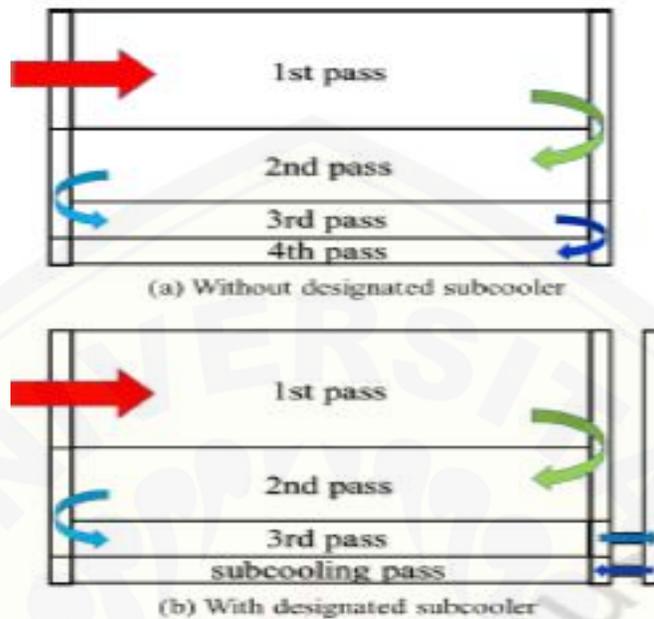
Menurut Li and Hrnjak (2017), tujuan dari *separation condenser* adalah untuk memanfaatkan kinerja perpindahan panas yang lebih tinggi dari aliran uap sehingga meningkatkan kinerja perpindahan panas ke seluruh kondensor. Model dari kondensor tipe *separation* akan mempengaruhi dari kinerja kondensor, 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 Beban Pendingin

Beban pendingin merupakan jumlah panas dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap waktu. Beban pendinginan terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas. Dalam keadaan stedi, beban refrigerasi dapat bervariasi karena beberapa pertimbangan, seperti variasi temperatur sekeliling dll. Hal tersebut adalah mungkin untuk beban menjadi meningkat atau berkurang. Variasi beban ini mempengaruhi pengoperasian kompresor dan pipa kapiler serta mempengaruhi titik kesetimbangannya (Anwar, 2010).

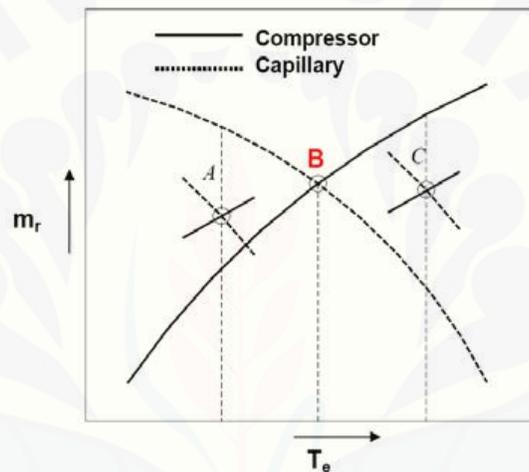
2.6.1 Pengaruh Variasi Beban Pendingin

Situasi yang digambarkan di atas terjadi dalam keadaan stedi. Bagaimanapun, dalam praktek beban refrigerasi dapat bervariasi karena beberapa pertimbangan, seperti variasi temperatur sekeliling dll. Hal tersebut adalah mungkin untuk beban

menjadi meningkat atau berkurang. Variasi beban ini mempengaruhi pengoperasian kompresor dan pipa kapiler dan mempengaruhi titik kesetimbangannya.

2.6.2 Peningkatan beban refrigerasi

Jika beban refrigerasi meningkat, ada kecenderungan temperatur evaporator akan meningkat pula karena laju penguapan yang tinggi. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.18 untuk temperatur kondensor 40°C.



Gambar 2.17 Efek variasi beban pada pipa kapiler sistem refrigerasi, A: pada beban rendah, B: Titik Desain, C: pada beban tinggi

Titik kesetimbangan untuk beban desain ditunjukkan oleh titik B. Bila evaporator menerima beban kalor yang berat, atau bila suhu fluida yang akan didinginkan cukup tinggi, tekanan dan suhu hisap akan naik ke titik C. Pada tekanan hisap C, kompresor tersebut dapat menarik refrigeran lebih banyak dari evaporator, dari pada yang dapat disuplai oleh pipa kapiler, sehingga evaporator segera menjadi kekurangan refrigeran yang disebut dengan “kelaparan” (starving). Bagaimanapun, pengosongan evaporator tidak bisa berlanjut terus. Sistem akan perlu beberapa tindakan korektif ketika perubahan yang juga terjadi di dalam kondensor. Ketika pipa

kapiler memberi feed refrigeran lebih sedikit kepada evaporator, refrigeran terkumpul di dalam kondensor (Anwar, 2010).

Akumulasi refrigeran di dalam kondensor mengurangi daerah efektif dari kondensor untuk perpindahan panas. Laju perpindahan kalor kondensor dengan persamaan yaitu, $Q_c = U_c \cdot A_c (T_c - T_\infty)$. Jika koefisien perpindahan kalor U_c dan T_∞ konstan, kemudian untuk laju perpindahan kalor yang sama suatu penurunan dalam daerah A_c akan mengarah kepada temperatur dan tekanan kondensor yang lebih tinggi T_c . Peningkatan temperatur pada kondensor menyebabkan penurunan laju aliran massa kompresor dan peningkatan laju aliran massa pada pipa kapiler. Karenanya, sistem itu akan menemukan suatu titik kesetimbangan yang baru pada temperatur kondensor yang lebih tinggi (Anwar, 2010).

Kemungkinan lain untuk mengembalikan laju aliran seimbang adalah turunya koefisien perpindahan kalor pada evaporator yang kekurangan refrigeran tersebut. Perbedaan suhu yang lebih besar harus dibuat antara fluida yang akan didinginkan dan refrigeran di dalam evaporator, dengan cara menurunkan tekanan hisap kembali ke titik A, dan pengembalian keseimbangan aliran.

2.6.3 Penurunan beban pendingin

Jika beban refrigerasi berkurang, ada kecenderungan temperatur evaporator untuk berkurang, katakanlah kondisi A seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18. Pada kondisi ini, pipa kapiler memberi feed refrigeran lebih banyak kepada evaporator dibandingkan yang diisap kompresor. Hal ini mengarah pada akumulasi cairan refrigeran di dalam evaporator yang menyebabkan evaporator kebanyakan refrigeran (flooding). Ini dapat mengarah kepada konsekuensi berbahaya jika cairan refrigeran meluap sampai ke kompresor menyebabkan hantaman (slugging) pada kompresor. Hal ini harus dihindarkan bagaimanapun, karenanya pipa kapiler

mendasarkan sistem refrigerasi menggunakan beban kritis sebagai suatu ukuran keselamatan (Anwar, 2010).

Beban kritis adalah suatu jumlah tertentu dari refrigeran yang masuk ke dalam sistem refrigerasi sehingga di dalam peristiwa yang mungkin terjadi semuanya mengumpul di dalam evaporator, dan hanya akan mengisi evaporator sampai ke ujung dan tidak pernah meluap dari evaporator ke kompresor. Flooding evaporator juga merupakan gejala sementara, itu tidak bisa berlanjut dengan tak terbatas. Sistem tersebut harus diambil beberapa tindakan korektif. Di mana pipa kapiler memberi feed lebih banyak refrigeran dari kondensor, cairan tertahan pada bagian keluar kondensor dan beberapa uap masuk ke pipa kapiler.

Uap memiliki densitas yang sangat kecil dibandingkan dengan cairan; sehingga laju aliran massa raelalui pipa kapiler berkurang secara drastis. Situasi ini ditunjukkan di dalam Gambar 2.18. Hal ini bukanlah yang diharapkan karena efek reffigerasi akan berkurang dan COP juga berkurang pula. Karenanya, diusahakan pada sistem reffigerasi agar keadaan subcool terjadi pada refrigeran sebelum masuk pada pipa kapiler. Penukar kalor uap ke cairan subcooling biasanya digunakan, di mana temperatur rendah uap refrigeran membawahdinginkan cairan yang meninggalkan kondensor (Anwar, 2010).

2.7 *Liquified Petroleum Gas (LPG)*

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 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$) atau butil merkaptan ($\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$). Sedangkan dibidang industry produk elpiji digunakan sebagai pengganti *Freon, aerosol, refrigerant/cooling agent*, kosmetik dan dapat pula digunakan sebagai bahan baku produk khusus (Pratipta, 2016).

2.7.1 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 2.1 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
Temperature kritis ($^{\circ}C$)	96,8	152
Tekanan kritis	4254	3794
Titik beku ($^{\circ}C$)	-187,7	-138,5

(sumber : Ralph J. Fessenden, 1997)

2.7.2 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 dipasaran 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 (rho). 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 propane yaitu $2,004 kg/m^3 : 1,293 kg/m^3 = 1,55$ dan massa jenis relatif dari butane adalah 2,09. Apabila massa jenis relatif dari suatu gas lebih kecil daripada 1, maka gas tersebut akan naik

ke udara, namun apabila kurang dari 1 maka akan turun ke tanah. (Supono, 2014).

Dengan mengetahui 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 450⁰C-650⁰C, dengan temperatur seperti itu gas yang diletakkan diudara bebas akan menjadi panas dan akan terjadi pembakaran. Temperatur nyala dari *propane* 510⁰C, sedangkan *butane* 460⁰C. dari data ini bisa tahu bahwa gas LPG yang terlepas atau bocor ke udara bebas tidak akan terbakar dengan sendirinya, karena temperatur udara bebas sekitar 27⁰C. untuk menimbulkan nyala maka dipelukan 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*.

Dengan mengetahui 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 Hipotesis

Penggunaan *separation condenser* pada sistem pendingin menyebabkan fasa yang masuk pada kondensor terbagi menjadi 2 yaitu fasa *liquid* dan *vapor*. Konveksi paksa yang dihasilkan dari kerapatan jenis fluida yang meningkat karena adanya pemisahan fasa *vapor* dengan *liquid* akan memaksimalkan proses pelepasan kalor pada kondensor, sehingga suhu refrigeran keluaran kondensor akan semakin turun. Dengan ini maka kondensor separasi bisa melepaskan beban panas lebih tinggi dibandingkan kondensor standart sehingga kondensor separasi memiliki nilai COP lebih tinggi dibandingkan kondensor standart.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan adalah metode eksperimental dengan variasi beban pendingin pada mesin pendingin kondensor standart dan kondensor separasi dengan menggunakan *refrigerant* LPG. Variasi beban pendingin dilakukan dengan pemasangan lampu di dalam ruang pendingin lemari es dengan daya yang berbeda. Berdasarkan data tersebut dapat dihitung kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien prestasi mesin pendingin untuk setiap variasi beban pendingin.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian pada penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2019 – Februari 2019. Proses tersebut meliputi proses persiapan alat uji dan pengambilan data. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

- a. Mesin Pendingin (Kulkas tipe NR-A15KE)
- b. *Pressure gauge*
- c. *Manifold gauge*
- d. *Thermoreader*
- e. *Thermocouple* (tipe K)
- f. Kondensor tipe separasi
- g. 3 buah lampu berdaya masing-masing 40 watt
- h. Las Asitelin

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada saat penelitian adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*) 3 kg yang akan digunakan sebagai *refrigerant*.

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 variasi beban pendingin yaitu 0 watt, 120 watt, 240 watt dan 360 watt dan jenis kondensor yaitu standart dan separasi.

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 : P1, P2, P3, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10. Selain itu variabel bebas juga akan mempengaruhi dari nilai dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien prestasi mesin pendingin.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Studi Literatur dan Perumusan Masalah

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut berisikan penelitian sebelumnya tentang mesin pendingin, kondensor separasi, dan beban pendingin. Referensi ini dicari dari buku dan jurnal laporan penelitian. Tujuan dari studi literatur ini adalah untuk memperkuat permasalahan dan sebagai dasar teori dalam melakukan penelitian dan juga menjadi dasar perancangan desain kondensor separasi.

3.5.2 Persiapan Alat Pengujian

Alat yang akan digunakan adalah yang sudah dicantumkan dalam subab sebelumnya. Persiapan alat pengujian dilakukan dengan merangkai komponen mesin pendingin dengan benar yaitu kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, instalasi perpipaan, pemasangan lampu pada mesin pendingin sesuai dengan kebutuhan penelitian dan memasang alat untuk mengukur tekanan dan temperatur sesuai dengan yang akan dicari.

3.5.3 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 dan dilakukan pengisian refrigeran. Penelitian pertama yaitu menggunakan kondensor standart dan dilanjutkan dengan kondensor separasi.

3.5.4 Tahap Pengambilan Data

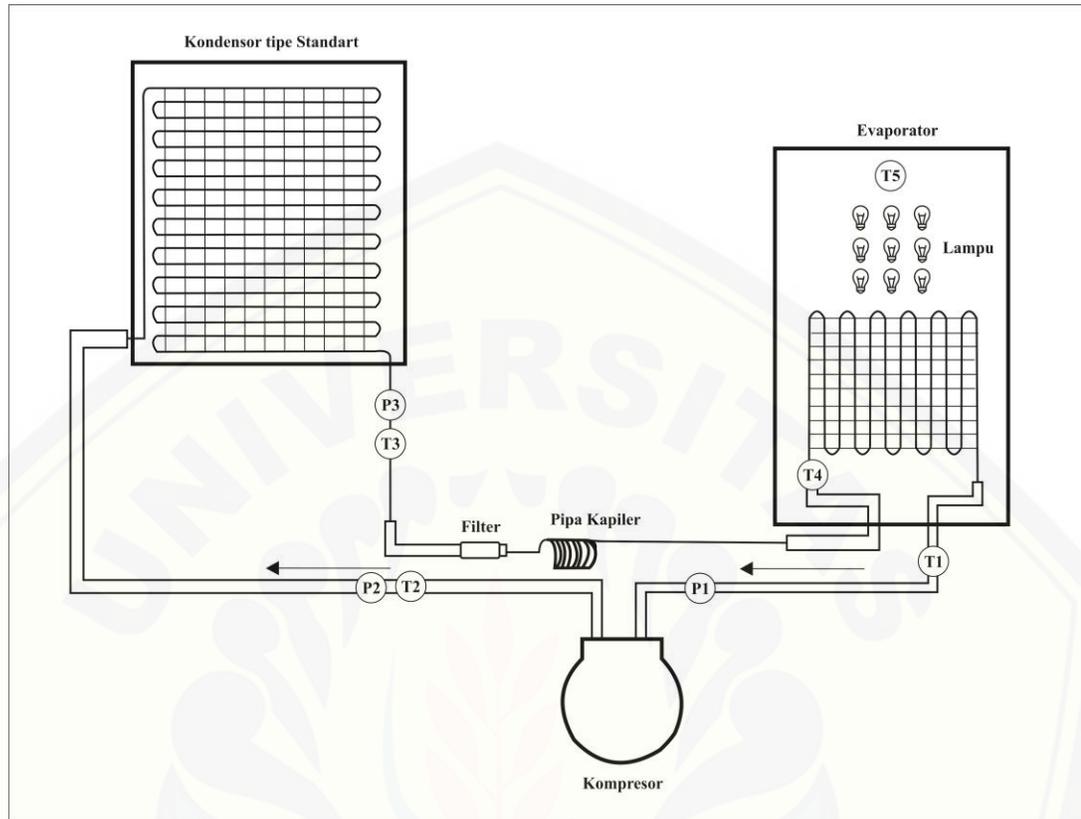
Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat dilakukan pengujian. Tahap-tahap yang dilakukan antara lain :

1. Pemasangan alat ukur (*thermocouple*), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah ditentukan.
2. Mengisi sistem dengan udara untuk melihat kebocoran pada mesin pendingin. Melakukan pemvakuman sebelum diisi *refrigerant* pada sistem.
3. Melakukan pengisian refrigeran dan dalam keadaan alat uji menyala, refrigeran yang digunakan yaitu LPG.
4. Setelah semua sudah dipastikan siap, selanjutnya menjalankan alat uji dengan kondensor biasa sampai keadaan steady yaitu 3 jam.

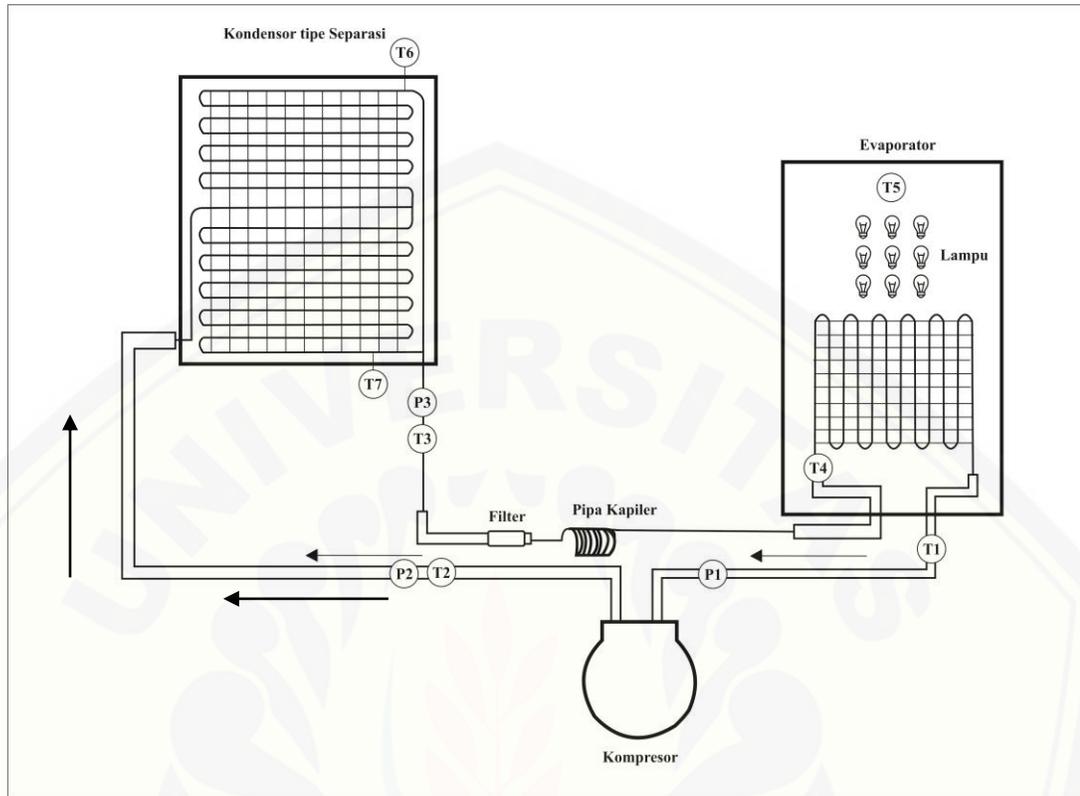
5. Melakukan percobaan dengan memasang lampu pada kondensor standar sebagai beban pendingin dengan memvariasikan beban lampu yaitu 0 watt, 40 watt, 80 watt, 120 watt.
6. Mencatat tekanan dan temperatur yang ditunjukkan oleh alat ukur pada semua titik yang telah ditentukan dalam selang waktu 10 menit selama 2 jam.
7. Lakukan langkah 1-7 dengan masing-masing variasi beban.
8. Lakukan langkah 1-8 dengan kondensor separasi.
9. Pengumpulan data.

3.6 Rangkaian Refrigerator

Skema rangkaian alat uji disajikan pada gambar 3.1 dan gambar 3.3. Pemasangan alat ukur juga ditentukan sesuai gambar 3.1 dan 3.3.



Gambar 3.1 Rangkaian *Refrigerator* menggunakan kondensor tipe standart

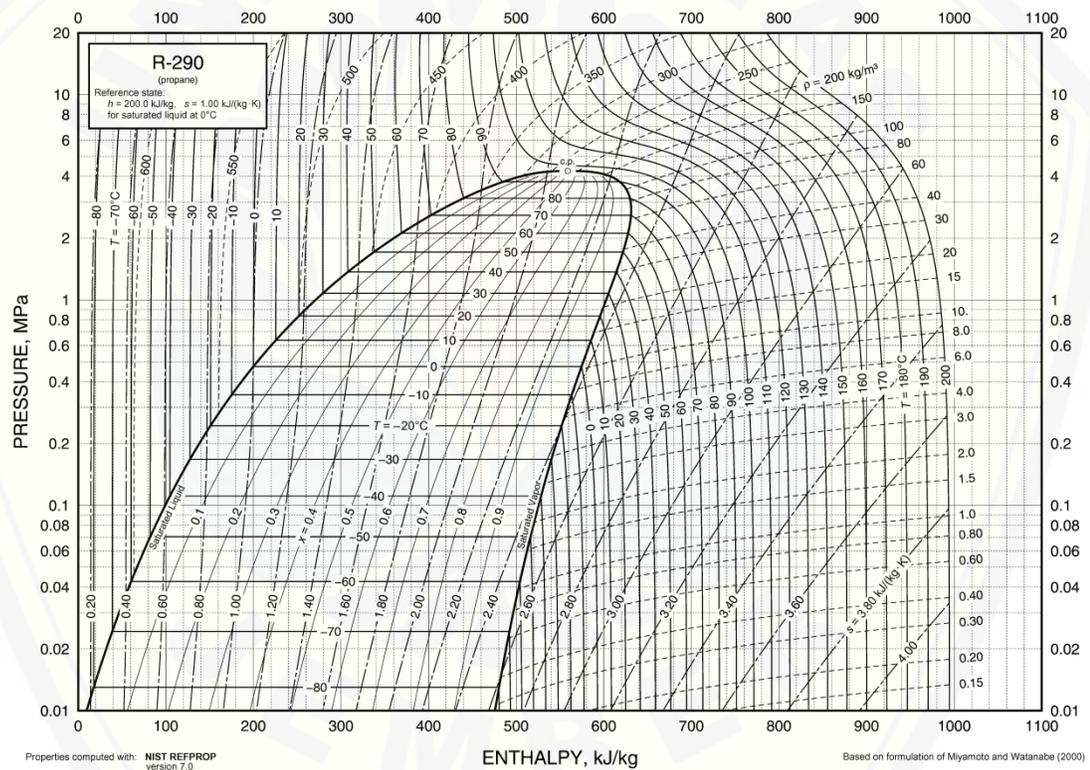


Gambar 3.2 Rangkaian *Refrigerator* menggunakan kondensor tipe separasi

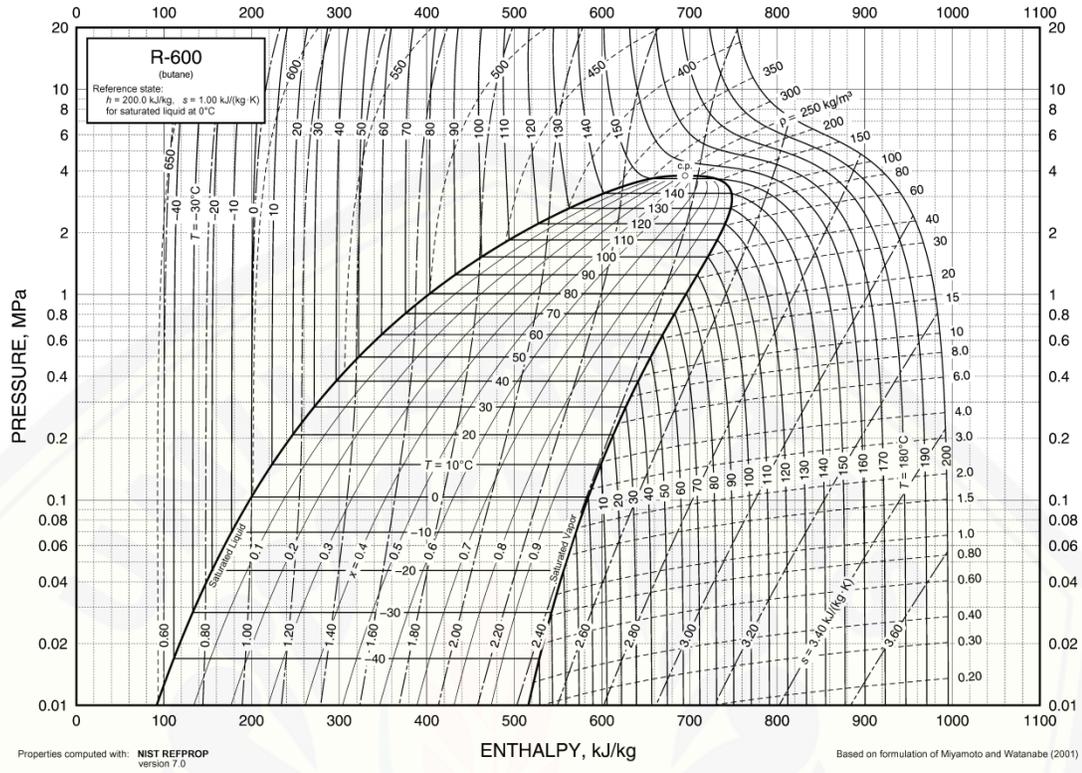
3.8 Pengolahan Data

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

1. Nilai entalpi (h) diperoleh dari tabel *thermodynamic properties* R290 dan R600, diagram p-h R290 (Propana) dan R600 (Butana), dan bantuan *software coolpack*. Diagram p-h R290 dan R600 dapat dilihat pada gambar 3.3 dan 3.4, sedangkan tabel *thermodynamic properties* dapat dilihat pada tabel 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.3 Diagram p-h R290



Gambar 3.4 Diagram p-h R600

Tabel 3.3 Thermodynamic Properties R290

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c_p</i> , kJ/(kg·K)		Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	<i>c_p</i>	<i>c_v</i>	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-150	0.00001	694.6	4316.4	-123.78402.06	-0.6903 3.5796	1.962	1.020	1.227	1880	168.8	1343.0	3.55	192.9	3.68	31.84	-150	
-140	0.00003	684.5	864.49	-104.09412.43	-0.5366 3.3426	1.977	1.054	1.218	1813	174.9	985.4	3.80	187.7	4.28	30.29	-140	
-130	0.00012	674.4	223.53	-84.23423.12	-0.3929 3.1514	1.994	1.087	1.210	1745	180.7	761.7	4.05	182.2	4.90	28.76	-130	
-120	0.00041	664.3	70.785	-64.21434.11	-0.2576 2.9962	2.012	1.119	1.203	1679	186.3	611.6	4.31	176.4	5.55	27.24	-120	
-110	0.00116	654.0	26.386	-43.99445.38	-0.1298 2.8697	2.032	1.151	1.197	1612	191.7	505.0	4.56	170.4	6.23	25.73	-110	
-100	0.00290	643.7	11.231	-23.56456.88	-0.0083 2.7664	2.054	1.184	1.192	1545	196.8	425.7	4.82	164.4	6.94	24.23	-100	
-90	0.00645	633.3	5.3300	-2.90468.58	0.1077 2.6820	2.078	1.220	1.188	1478	201.5	364.5	5.08	158.2	7.67	22.74	-90	
-80	0.01305	622.8	2.7676	18.03480.44	0.2189 2.6130	2.106	1.258	1.184	1411	205.9	315.9	5.34	152.1	8.43	21.27	-80	
-70	0.02440	612.0	1.5487	39.25492.41	0.3259 2.5566	2.137	1.300	1.182	1345	209.9	276.4	5.60	145.9	9.22	19.81	-70	
-60	0.04269	601.1	0.92250	60.81504.44	0.4294 2.5107	2.172	1.346	1.181	1278	213.5	243.6	5.85	139.8	10.04	18.37	-60	
-50	0.07057	589.9	0.57905	82.75516.48	0.5298 2.4734	2.212	1.397	1.182	1213	216.5	216.0	6.11	133.8	10.88	16.94	-50	
-42.11 ^b	0.10133	580.9	0.41388	100.36525.95	0.6070 2.4491	2.246	1.440	1.183	1161	218.4	197.2	6.31	129.2	11.57	15.83	-42.11	
-40	0.11112	578.4	0.37985	105.12528.48	0.6275 2.4433	2.256	1.453	1.184	1147	218.9	192.6	6.36	128.0	11.76	15.54	-40	
-38	0.12105	576.1	0.35076	109.65530.87	0.6468 2.4380	2.265	1.464	1.185	1134	219.3	188.3	6.41	126.8	11.94	15.26	-38	
-36	0.13166	573.8	0.32437	114.20533.26	0.6660 2.4330	2.275	1.476	1.185	1121	219.6	184.1	6.47	125.6	12.12	14.98	-36	
-34	0.14297	571.4	0.30037	118.77535.64	0.6851 2.4282	2.285	1.488	1.186	1108	220.0	180.1	6.52	124.5	12.30	14.70	-34	
-32	0.15502	569.0	0.27853	123.36538.01	0.7041 2.4236	2.295	1.501	1.187	1095	220.3	176.1	6.57	123.3	12.48	14.42	-32	
-30	0.16783	566.6	0.25861	127.97540.38	0.7231 2.4192	2.305	1.513	1.188	1082	220.6	172.3	6.62	122.2	12.67	14.15	-30	
-28	0.18144	564.2	0.24041	132.61542.75	0.7419 2.4150	2.316	1.526	1.189	1069	220.9	168.6	6.67	121.1	12.86	13.87	-28	
-26	0.19589	561.8	0.22376	137.26545.11	0.7607 2.4109	2.327	1.539	1.191	1056	221.1	165.0	6.73	120.0	13.05	13.60	-26	
-24	0.21119	559.4	0.20851	141.94547.46	0.7795 2.4071	2.338	1.553	1.192	1043	221.3	161.5	6.78	118.8	13.24	13.33	-24	
-22	0.22739	556.9	0.19452	146.64549.80	0.7982 2.4034	2.349	1.566	1.193	1030	221.5	158.1	6.83	117.7	13.43	13.06	-22	
-20	0.24452	554.5	0.18167	151.36552.13	0.8168 2.3999	2.361	1.580	1.195	1016	221.6	154.7	6.89	116.6	13.63	12.79	-20	
-18	0.26261	552.0	0.16984	156.11554.46	0.8353 2.3965	2.373	1.595	1.197	1003	221.8	151.5	6.94	115.5	13.83	12.52	-18	
-16	0.28170	549.5	0.15894	160.88556.77	0.8538 2.3933	2.385	1.609	1.198	990	221.8	148.3	6.99	114.4	14.03	12.25	-16	
-14	0.30181	546.9	0.14889	165.68559.08	0.8722 2.3903	2.397	1.624	1.200	977	221.9	145.2	7.05	113.4	14.23	11.98	-14	
-12	0.32300	544.4	0.13961	170.50561.37	0.8906 2.3874	2.410	1.639	1.202	964	221.9	142.2	7.10	112.3	14.44	11.71	-12	
-10	0.34528	541.8	0.13103	175.35563.65	0.9090 2.3846	2.423	1.655	1.205	951	221.9	139.3	7.16	111.2	14.65	11.45	-10	
-8	0.36870	539.2	0.12308	180.22565.92	0.9273 2.3819	2.436	1.671	1.207	938	221.8	136.4	7.22	110.1	14.86	11.18	-8	
-6	0.39329	536.6	0.11571	185.12568.18	0.9455 2.3794	2.450	1.687	1.209	925	221.8	133.6	7.27	109.1	15.08	10.92	-6	
-4	0.41909	533.9	0.10887	190.05570.42	0.9637 2.3769	2.464	1.704	1.212	912	221.6	130.9	7.33	108.0	15.29	10.65	-4	
-2	0.44613	531.3	0.10252	195.01572.65	0.9819 2.3746	2.478	1.721	1.215	899	221.5	128.2	7.39	107.0	15.52	10.39	-2	
0	0.47446	528.6	0.09661	200.00574.87	1.0000 2.3724	2.493	1.739	1.218	885	221.3	125.6	7.45	106.0	15.74	10.13	0	
2	0.50410	525.9	0.09111	205.02577.06	1.0181 2.3703	2.508	1.757	1.221	872	221.1	123.0	7.51	104.9	15.97	9.87	2	
4	0.53510	523.1	0.08598	210.06579.24	1.0362 2.3682	2.524	1.776	1.225	859	220.8	120.5	7.57	103.9	16.20	9.62	4	
6	0.56749	520.4	0.08120	215.14581.41	1.0542 2.3663	2.540	1.795	1.229	846	220.5	118.1	7.63	102.9	16.44	9.36	6	
8	0.60131	517.6	0.07673	220.25583.55	1.0722 2.3644	2.556	1.815	1.232	833	220.2	115.7	7.69	101.9	16.68	9.10	8	
10	0.63660	514.7	0.07255	225.40585.67	1.0902 2.3626	2.573	1.835	1.237	819	219.8	113.3	7.75	100.9	16.93	8.85	10	
12	0.67340	511.9	0.06865	230.57587.77	1.1082 2.3608	2.591	1.856	1.241	806	219.3	111.0	7.82	99.9	17.18	8.60	12	
14	0.71175	509.0	0.06498	235.79589.85	1.1261 2.3592	2.609	1.878	1.246	793	218.9	108.8	7.88	99.0	17.44	8.34	14	
16	0.75168	506.0	0.06155	241.03591.91	1.1440 2.3575	2.627	1.901	1.251	780	218.4	106.6	7.95	98.0	17.70	8.09	16	
18	0.79324	503.1	0.05833	246.32593.94	1.1620 2.3560	2.646	1.925	1.256	766	217.8	104.4	8.02	97.0	17.97	7.85	18	
20	0.83646	500.1	0.05530	251.64595.95	1.1799 2.3544	2.666	1.949	1.262	753	217.2	102.3	8.09	96.1	18.24	7.60	20	
22	0.88139	497.0	0.05246	256.99597.93	1.1978 2.3529	2.687	1.975	1.268	739	216.6	100.2	8.16	95.1	18.53	7.35	22	
24	0.92807	493.9	0.04978	262.39599.88	1.2157 2.3514	2.708	2.001	1.275	726	215.9	98.1	8.23	94.2	18.81	7.11	24	
26	0.97653	490.8	0.04726	267.83601.80	1.2336 2.3500	2.730	2.029	1.282	713	215.2	96.1	8.31	93.3	19.11	6.87	26	
28	1.0268	487.6	0.04488	273.31603.68	1.2515 2.3486	2.753	2.058	1.290	699	214.4	94.1	8.38	92.3	19.41	6.62	28	
30	1.0790	484.4	0.04264	278.83605.54	1.2695 2.3471	2.777	2.088	1.298	685	213.5	92.2	8.46	91.4	19.72	6.38	30	
32	1.1331	481.1	0.04053	284.40607.35	1.2874 2.3457	2.802	2.119	1.307	672	212.6	90.3	8.54	90.5	20.05	6.15	32	
34	1.1891	477.8	0.03853	290.01609.13	1.3053 2.3443	2.827	2.152	1.316	658	211.7	88.4	8.63	89.6	20.38	5.91	34	
36	1.2472	474.4	0.03664	295.68610.87	1.3233 2.3429	2.855	2.187	1.326	645	210.7	86.5	8.71	88.7	20.72	5.68	36	
38	1.3072	471.0	0.03485	301.39612.57	1.3413 2.3414	2.883	2.224	1.337	631	209.7	84.7	8.80	87.8	21.07	5.44	38	
40	1.3694	467.5	0.03315	307.15614.21	1.3594 2.3399	2.913	2.263	1.349	617	208.6	82.8	8.89	86.9	21.43	5.21	40	
42	1.4337	463.9	0.03154	312.96615.81	1.3774 2.3384	2.944	2.304	1.362	603	207.4	81.0	8.99	86.0	21.81	4.98	42	
44	1.5002	460.3	0.03002	318.83617.36	1.3955 2.3368	2.977	2.348	1.375	589	206.2	79.3	9.08	85.2	22.20	4.76	44	
46	1.5690	456.5	0.02857	324.76618.86	1.4137 2.3352	3.012	2.395	1.391	575	204.9	77.5	9.19	84.3	22.60	4.53	46	
48	1.6400	452.7	0.02720	330.75620.29	1.4319 2.3335	3.050	2.445	1.407	561	203.6	75.8	9.29	83.5	23.03	4.31	48	
50	1.7133	448.9	0.02589	336.80621.66	1.4502 2.3317	3.089	2.499	1.425	547	202.2	74.1	9.40	82.6	23.47	4.09	50	
55	1.9072	438.8	0.02288	352.23624.77	1.4962 2.3268	3.201	2.652	1.478	511	198.3	69.8	9.70	80.5	24.65	3.55	55	
60	2.1168	428.0	0.02020	368.14627.36	1.5429 2.3210	3.337	2.841	1.548	474	194.1	65.7	10.03	78.4	26.00	3.02	60	
65	2.3430	416.3	0.01781	384.60629.29	1.5903 2.3139	3.509	3.086	1.641	437	189.3	61.5	10.42	76.3	27.56	2.52	65	
70	2.5868	403.6	0.01565	401.75630.37	1.6389 2.3052	3.735	3.421	1.773	398	184.0	57.4	10.86	74.3	29.41	2.03	70	
75	2.8493	389.5	0.01367	419.76630.33	1.6891 2.2939	4.053	3.914	1.970	358	178.2	53.2	11.40	72.2	31.71	1.56	75	
80	3.1319	373.3	0.01185	438.93628.73	1.7417 2.2791	4.545	4.707	2.288	315	171.6	48.8	12.07	70.2	34.75	1.12	80	
85	3.4361	354.0	0.01012	459.81624.75	1.7980 2.2586	5.433	6.182	2.883	269	164							

Tabel 3.4 Thermodynamic Properties R600

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³	Volume, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)		c _p /c _v	Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100	0.00016	699.3	150.44	-13.65450.85	0.0318	2.7144	2.013	1.231	1.132	1592	167.4	792.2	4.30	161.6	6.83	28.03	-100	
-95	0.00028	694.6	91.606	-3.57457.02	0.0892	2.6746	2.021	1.247	1.130	1563	169.6	719.0	4.43	159.4	7.12	27.33	-95	
-90	0.00045	689.9	57.588	6.56463.27	0.1453	2.6389	2.029	1.263	1.128	1534	171.8	655.9	4.55	157.2	7.43	26.64	-90	
-85	0.00072	685.2	37.271	16.73469.58	0.2000	2.6069	2.038	1.279	1.127	1505	174.0	601.2	4.68	154.9	7.73	25.94	-85	
-80	0.00111	680.5	24.773	26.94475.97	0.2536	2.5784	2.048	1.295	1.125	1477	176.1	553.2	4.81	152.6	8.05	25.26	-80	
-75	0.00168	675.8	16.873	37.21482.41	0.3061	2.5529	2.058	1.312	1.124	1449	178.1	510.9	4.93	150.2	8.38	24.57	-75	
-70	0.00247	671.0	11.752	47.53488.92	0.3575	2.5303	2.069	1.330	1.122	1420	180.1	473.4	5.06	147.9	8.71	23.89	-70	
-65	0.00355	666.2	8.3565	57.90495.50	0.4080	2.5103	2.081	1.347	1.121	1392	182.1	439.9	5.18	145.5	9.05	23.22	-65	
-60	0.00501	661.4	6.0558	68.34502.13	0.4575	2.4926	2.094	1.366	1.120	1364	184.0	409.8	5.31	143.1	9.40	22.54	-60	
-55	0.00695	656.6	4.4659	78.85508.82	0.5062	2.4772	2.108	1.385	1.119	1336	185.8	382.8	5.43	140.8	9.75	21.88	-55	
-50	0.00947	651.7	3.3470	89.42515.56	0.5541	2.4638	2.122	1.404	1.118	1309	187.5	358.3	5.55	138.4	10.11	21.21	-50	
-45	0.01270	646.8	2.5462	100.07522.35	0.6013	2.4522	2.137	1.425	1.118	1281	189.2	336.1	5.68	136.0	10.48	20.55	-45	
-40	0.01679	641.9	1.9638	110.80529.19	0.6478	2.4423	2.153	1.446	1.117	1253	190.8	315.8	5.80	133.6	10.86	19.90	-40	
-35	0.02190	636.9	1.5341	121.62536.08	0.6937	2.4340	2.170	1.468	1.117	1226	192.3	297.3	5.92	131.3	11.25	19.25	-35	
-30	0.02821	631.9	1.2127	132.52543.01	0.7389	2.4271	2.188	1.490	1.116	1198	193.8	280.3	6.04	128.9	11.64	18.60	-30	
-25	0.03591	626.8	0.96911	143.51549.98	0.7836	2.4216	2.206	1.514	1.116	1171	195.1	264.7	6.16	126.6	12.05	17.96	-25	
-20	0.04521	621.7	0.78237	154.60556.98	0.8278	2.4173	2.226	1.538	1.116	1144	196.3	250.3	6.28	124.3	12.46	17.32	-20	
-15	0.05635	616.6	0.63759	165.79564.02	0.8715	2.4141	2.246	1.563	1.117	1116	197.5	237.0	6.41	122.0	12.88	16.69	-15	
-10	0.06955	611.4	0.52415	177.08571.08	0.9147	2.4120	2.267	1.589	1.117	1089	198.5	224.7	6.53	119.8	13.30	16.06	-10	
-5	0.08509	606.1	0.43441	188.48578.17	0.9576	2.4108	2.289	1.616	1.118	1062	199.4	213.2	6.65	117.5	13.74	15.44	-5	
-0.49 ^a	0.10132	601.3	0.36910	198.87584.58	0.9959	2.4105	2.310	1.641	1.119	1038	200.1	203.5	6.76	115.5	14.14	14.88	-0.49	
0	0.10323	600.7	0.36275	200.00585.27	1.0000	2.4105	2.312	1.644	1.119	1035	200.2	202.5	6.77	115.3	14.19	14.82	0	
2	0.11127	598.6	0.33818	204.64588.12	1.0169	2.4106	2.321	1.655	1.120	1024	200.5	198.4	6.82	114.4	14.37	14.58	2	
4	0.11980	596.4	0.31562	209.30590.97	1.0337	2.4108	2.331	1.667	1.120	1014	200.7	194.4	6.87	113.6	14.55	14.33	4	
6	0.12882	594.2	0.29488	213.98593.82	1.0505	2.4112	2.341	1.678	1.121	1003	201.0	190.6	6.91	112.7	14.74	14.09	6	
8	0.13837	592.0	0.27578	218.68596.67	1.0672	2.4116	2.350	1.690	1.122	992	201.2	186.8	6.96	111.8	14.93	13.85	8	
10	0.14845	589.8	0.25817	223.40599.53	1.0838	2.4122	2.360	1.702	1.122	981	201.4	183.2	7.01	111.0	15.11	13.60	10	
12	0.15909	587.6	0.24192	228.13602.38	1.1005	2.4129	2.371	1.715	1.123	971	201.6	179.6	7.06	110.1	15.31	13.36	12	
14	0.17031	585.4	0.22691	232.89605.24	1.1170	2.4137	2.381	1.727	1.124	960	201.7	176.1	7.11	109.3	15.50	13.12	14	
16	0.18213	583.1	0.21302	237.68608.09	1.1335	2.4146	2.391	1.740	1.125	949	201.9	172.7	7.16	108.4	15.69	12.88	16	
18	0.19457	580.9	0.20016	242.48610.95	1.1500	2.4156	2.402	1.752	1.126	938	202.0	169.4	7.21	107.6	15.89	12.65	18	
20	0.20765	578.6	0.18823	247.30613.80	1.1665	2.4167	2.413	1.765	1.127	928	202.0	166.2	7.26	106.7	16.09	12.41	20	
22	0.22139	576.3	0.17717	252.15616.66	1.1829	2.4179	2.424	1.778	1.128	917	202.1	163.0	7.31	105.9	16.29	12.17	22	
24	0.23582	574.0	0.16688	257.02619.51	1.1992	2.4191	2.435	1.792	1.129	906	202.1	159.9	7.36	105.1	16.49	11.94	24	
26	0.25095	571.7	0.15732	261.91622.36	1.2155	2.4205	2.446	1.805	1.130	895	202.2	156.9	7.41	104.3	16.70	11.70	26	
28	0.26680	569.3	0.14842	266.82625.21	1.2318	2.4219	2.458	1.819	1.131	885	202.1	153.9	7.47	103.5	16.90	11.47	28	
30	0.28341	567.0	0.14012	271.76628.06	1.2481	2.4234	2.470	1.833	1.133	874	202.1	151.1	7.52	102.7	17.11	11.24	30	
32	0.30079	564.6	0.13238	276.72630.91	1.2643	2.4250	2.481	1.847	1.134	863	202.0	148.2	7.57	101.9	17.33	11.00	32	
34	0.31897	562.2	0.12516	281.71633.75	1.2805	2.4266	2.494	1.862	1.136	853	201.9	145.5	7.62	101.1	17.54	10.77	34	
36	0.33796	559.8	0.11841	286.72636.59	1.2966	2.4283	2.506	1.876	1.137	842	201.8	142.8	7.68	100.3	17.76	10.54	36	
38	0.35779	557.4	0.11209	291.76639.42	1.3127	2.4301	2.518	1.891	1.139	831	201.7	140.2	7.73	99.5	17.98	10.32	38	
40	0.37849	554.9	0.10618	296.82642.25	1.3288	2.4319	2.531	1.906	1.141	820	201.5	137.6	7.79	98.7	18.21	10.09	40	
42	0.40007	552.4	0.10065	301.90645.08	1.3449	2.4338	2.544	1.922	1.143	810	201.3	135.0	7.84	97.9	18.43	9.86	42	
44	0.42256	550.0	0.09545	307.02647.90	1.3609	2.4358	2.557	1.937	1.145	799	201.1	132.5	7.90	97.2	18.66	9.64	44	
46	0.44599	547.4	0.09058	312.15650.71	1.3769	2.4378	2.571	1.953	1.147	788	200.8	130.1	7.95	96.4	18.90	9.41	46	
48	0.47038	544.9	0.08600	317.32653.52	1.3929	2.4398	2.585	1.970	1.149	777	200.5	127.7	8.01	95.7	19.14	9.19	48	
50	0.49575	542.3	0.08170	322.51656.32	1.4089	2.4419	2.598	1.986	1.151	767	200.2	125.4	8.07	94.9	19.38	8.97	50	
55	0.56365	535.8	0.07201	335.62663.28	1.4488	2.4473	2.635	2.029	1.158	740	199.2	119.7	8.22	93.1	20.00	8.42	55	
60	0.63824	529.1	0.06366	348.91670.19	1.4885	2.4529	2.673	2.075	1.165	713	198.1	114.3	8.38	91.3	20.64	7.87	60	
65	0.71991	522.3	0.05642	362.39677.02	1.5282	2.4587	2.713	2.123	1.173	685	196.7	109.1	8.54	89.5	21.32	7.34	65	
70	0.80908	515.2	0.05012	376.06683.77	1.5679	2.4646	2.756	2.174	1.183	658	195.1	104.1	8.71	87.8	22.03	6.81	70	
75	0.90616	507.9	0.04462	389.95690.41	1.6075	2.4705	2.802	2.229	1.194	631	193.3	99.3	8.89	86.1	22.77	6.29	75	
80	1.01116	500.4	0.03978	404.06696.94	1.6471	2.4765	2.851	2.288	1.207	603	191.2	94.7	9.08	84.5	23.56	5.78	80	
85	1.1258	492.6	0.03552	418.40703.32	1.6868	2.4824	2.905	2.353	1.223	575	188.8	90.2	9.29	82.9	24.39	5.28	85	
90	1.2493	484.5	0.03175	433.00709.53	1.7266	2.4881	2.964	2.425	1.241	546	186.1	85.8	9.51	81.3	25.28	4.79	90	
95	1.3825	476.0	0.02840	447.87715.53	1.7665	2.4936	3.029	2.506	1.263	518	183.1	81.6	9.75	79.7	26.23	4.31	95	
100	1.5259	467.1	0.02541	463.03721.29	1.8066	2.4987	3.102	2.599	1.290	488	179.8	77.4	10.01	78.2	27.26	3.84	100	
105	1.6801	457.8	0.02273	478.51726.75	1.8469	2.5034	3.186	2.708	1.324	458	176.1	73.3	10.29	76.8	28.37	3.38	105	
110	1.8456	447.9	0.02032	494.36731.87	1.8876	2.5075	3.285	2.841	1.366	428	172.0	69.3	10.61	75.3	29.60	2.93	110	
115	2.0230	437.3	0.01813	510.61736.55	1.9287	2.5108	3.403	3.004	1.420	396	167.5	65.4	10.96	73.9	30.96	2.50	115	
120	2.2131	425.9	0.01615	527.34740.69	1.9704	2.5131	3.552	3.213	1.492	364	162.5	61.4	11.37	72.5	32.50	2.08	120	
125	2.4166	413.4	0.01432	544.65744.15	2.0129	2.5140	3.748	3.493	1.592	331	157.0	57.4	11.83	71.1	34.29	1.68	125	
130	2.6344	399.6	0.01264	562.68746.70	2.0566	2.5130	4.023	3.891	1.739	296	150.8	53.4	12.39	69.8	36.44	1.30	130	
135	2.8675	383.7	0.0															

2. Setelah mendapatkan nilai-nilai entalpi, maka dapat diperoleh :

a. Dampak Refrigerasi

$$q_e = h_1 - h_4$$

b. Kerja Kompresi

$$w = h_2 - h_1$$

c. Pelepasan Kalor

$$Q = (h_2 - h_3)$$

d. Rasio Pelepasan Kalor

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

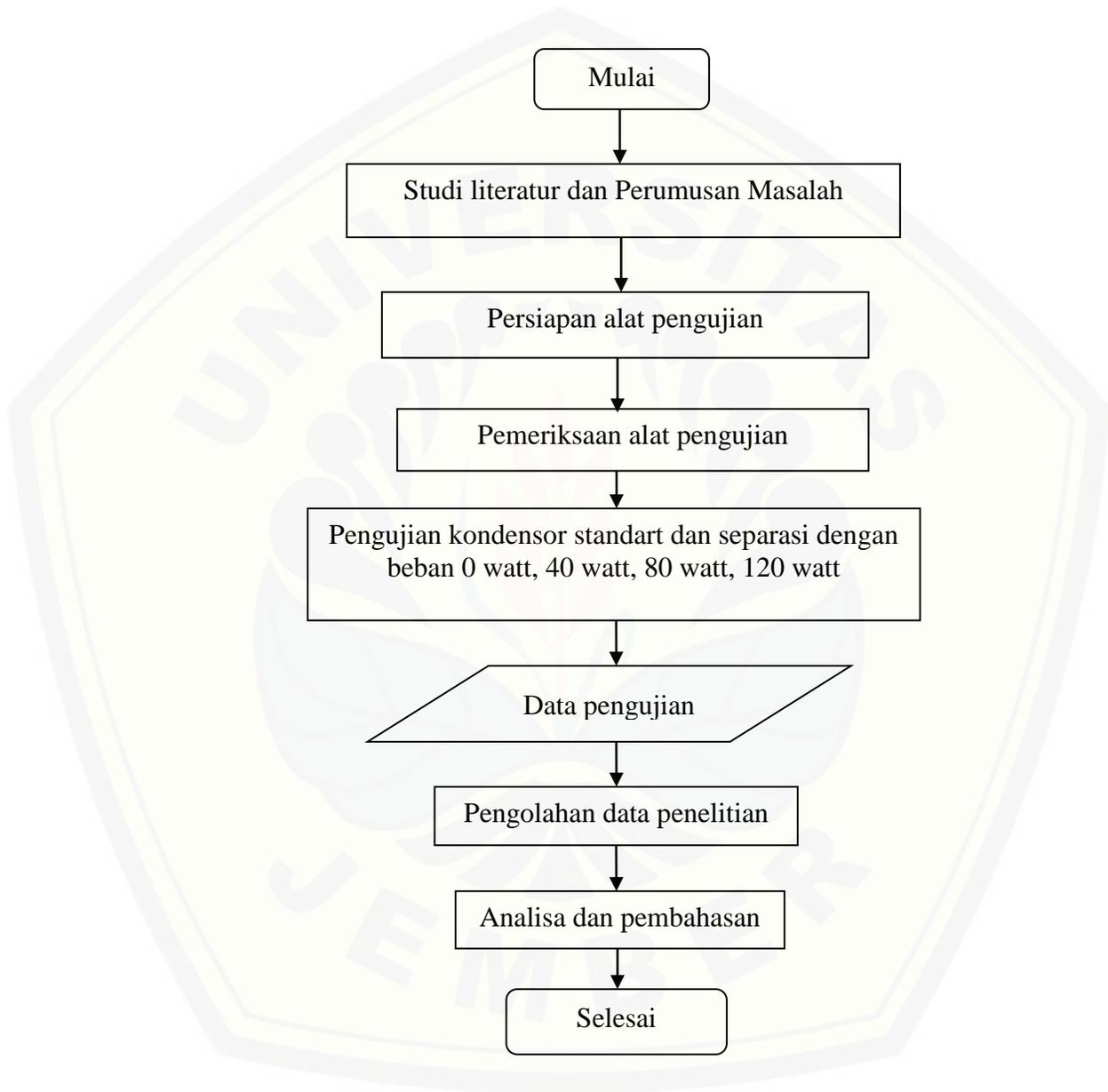
e. Koefisien Prestasi Mesin Pendingin

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

3.9 Diagram Alir

Alur dan proses dari penelitian ini dimulai dari studi literatur dan perumusan masalah. Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan referensi dan dasar teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi didapat dari buku atau jurnal penelitian sebelumnya. Setelah melakukan studi literatur dan perumusan masalah dilakukan persiapan alat penelitian. Persiapan alat dilakukan dengan merangkai komponen mesin pendingin dengan benar yaitu kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, instalasi perpipaan, pemasangan lampu pada mesin pendingin sesuai dengan kebutuhan penelitian. Setelah alat penelitian sudah siap kemudian dilakukan pengecekan alat uji apakah alat uji sudah siap untuk proses pengambilan data. Jika alat sudah siap untuk proses pengambilan data maka data dapat diambil dengan menghidupkan mesin kulkas selama 3 jam agar mencapai kondisi steady. Setelah mesin kulkas mencapai kondisi steady langkah selanjutnya adalah mencatat data tekanan dan temperatur yang ditunjukkan alat pengukur. Data yang telah dicatat kemudian diolah untuk mendapatkan nilai koefisien performa

dari mesin kulkas dan dianalisis untuk menarik kesimpulan. Alur penelitian dapat dilihat dari *Flow chart* pada gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Dampak refrigerasi yang dihasilkan pengujian penggunaan kondensor separasi dengan beban pendinginan 40 watt menghasilkan nilai rata-rata dampak refrigerasi tertinggi sebesar 299.35 kJ/kg. Pada pengujian kondensor standart dengan beban pendinginan 40 watt menghasilkan nilai rata-rata dampak refrigerasi tertinggi sebesar 287.43 kJ/kg. Bila dibandingkan nilai rata-rata tertinggi dengan beban pendinginan yang sama maka kondensor separasi menghasilkan dampak refrigerasi terbaik. Semakin besar nilai dampak refrigerasi menandakan jumlah kalor yang diserap oleh evaporator semakin besar.
2. Kerja kompresi pada pengujian kondensor separasi dengan beban pendinginan 40 watt menghasilkan rata-rata kerja kompresi paling rendah sebesar 39.14 kJ/kg. Pada pengujian kondensor standart dengan beban pendingin 40 watt menghasilkan rata-rata kerja kompresi paling rendah sebesar 52.99 kJ/kg. Nilai kerja kompresi kondensor separasi dengan beban pendingin 40 watt menghasilkan nilai rata-rata paling rendah dibandingkan kondensor standart. Nilai kerja kompresi yang rendah menandakan bahwa kompresor bekerja dengan beban ringan sehingga dapat meningkatkan nilai COP mesin pendingin.
3. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas pada pembahasan mengenai pengaruh beban pendingin terhadap prestasi mesin pendingin menggunakan kondensor standart dan kondensor separasi, ditunjukkan bahwa nilai COP tertinggi adalah 7.65 ketika beban pendinginan 40 watt pada kondensor separasi. Sedangkan nilai COP tertinggi pada

kondensor standart dengan beban yang sama yaitu 40 watt adalah 5.29. Dari sini terlihat bahwa penggunaan kondensor separasi lebih baik karena memiliki kinerja mesin yang cukup baik dibandingkan kondensor standart.

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya perlu dilakukan pengujian yang lebih lanjut mengenai desain kondensor separasi dengan tambahan jenis *refrigerant* dan model kondensor separasi.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pada suhu lingkungan yang konstan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan akurat.

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

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, K. 2010. *Efek Beban Pendingin terhadap performa Sistem Mesin Pendingin*. Fakultas Teknik. Universitas Tadulako. Palu.
- Amshori, N. C. 2016. *Analisis Variasi Diameter Pipa Kapiler Double Helical Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG*. 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*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Basha, T. M., Ranganna H., dan Maruthi Prasad Yadav, G. 2015. *Optimum Length of a Condenser for Domestic Vapor Compression Refrigeration System*. International Journal of Science, Engineering and Technology Research. 4(2): 277 - 281.
- Cahyadi, A. N. dan Darsopuspito, S. 2014. *Studi Eksperimen Variasi Beban Pendinginan pada Evaporator Mesin Pendingin Difusi Absorpsi Musicool22-DMF*. Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Darwis & Robert. 2005. *Pemahaman Tentang Sistem Refrigerasi*. Jurnal Teknik SIMETRIKA Vol. 4 No. 1 – April 2005: 312 – 316
- El-Morsi, M. 2015. *Energy: Energy and Exergy Analysis of LPG (Liquified Petroleum Gas) as a Drop in Replacement for R134a in Domestic Refrigerator*. Mechanical Engineering, American University in Cairo.
- Karyanto, E. dan Paringga, Drs. Emon. 2003. *Teknik Mesin Pendingin*. Jakarta: CV. Restu Agung.

- Kusuma, D.D.H. 2015. *Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Suction terhadap Prestasi Mesin Pendingin dengan LPG sebagai Refrigerant*. 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*. 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.
- Miarso, Y. 2007. *Menyemai Benih Teknologi Pendidikan*. Jakarta: Kencana
- Nasution, Henry. 2002. *Teknik Pendingin*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Bung Hatta, Padang
- Perkasa, A. E. 2013. *Analisis Pengaruh Variasi Massa Lpg Sebagai Refrigeran Terhadap Prestasi Kerja Dari Mesin Pendingin Kompresi Uap*. 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*. 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*. 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.
- Saksono, Puji. 2012. *Pengaruh Aplikasi Refrigeran Hidrokarbon Terhadap Peformansi Mobile Air Conditioning*. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan.
- 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.
- 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.
- Widodo, S. & Hasan, S. 2008. *Sistem Refrigerasi & Tata Udara* . Jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Widodo, S. & Hasan, S. 2008. *Sistem Refrigerasi & Tata Udara* . Jilid 2. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- 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.
- 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 A. Contoh Perhitungan

Hasil nilai entalpi yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung nilai prestasi mesin. LPG mengandung dua campuran antara *propane* dan *butane* dengan komposisi 50% banding 50%. Masing-masing entalpi akan dirata-rata untuk dimasukkan ke dalam rumus prestasi mesin pendingin. Berikut adalah contoh perhitungan menghitung prestasi mesin pendingin:

1) Dampak Refrigerasi

$$\begin{aligned}q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 563,941 - 287,068 \\ &= 276,873 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

2) Kerja Kompresi

$$\begin{aligned}W &= h_2 - h_1 \\ &= 624,105 - 563,941 \\ &= 60,16 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

3) Pelepasan Kalor

$$\begin{aligned}\text{Pelepasan kalor} &= h_2 - h_3 \\ &= 624,105 - 287,068 \\ &= 337,037 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

4) Rasio Pelepasan Kalor

$$\begin{aligned}\text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{624,105 - 287,068}{563,941 - 287,068} \\ &= 1,22\end{aligned}$$

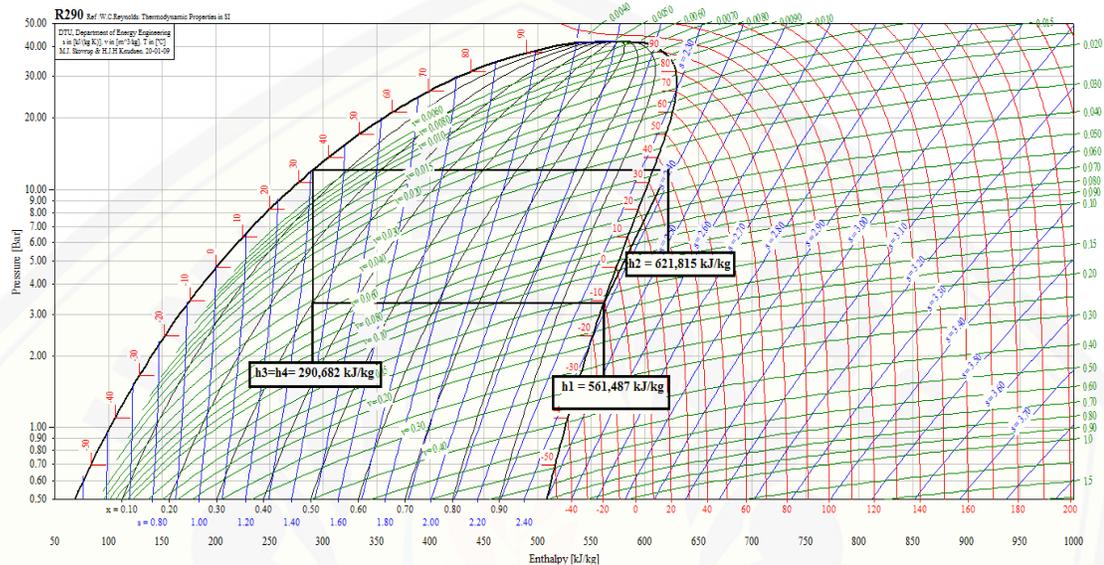
5) COP

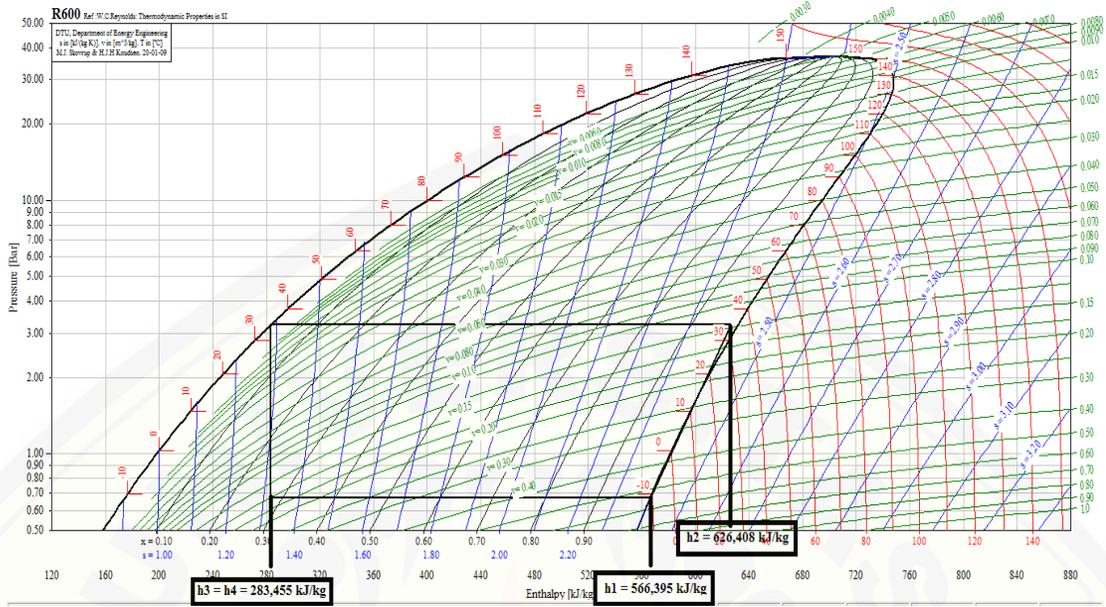
$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$= \frac{563,941 - 287,068}{624,941 - 563,941}$$

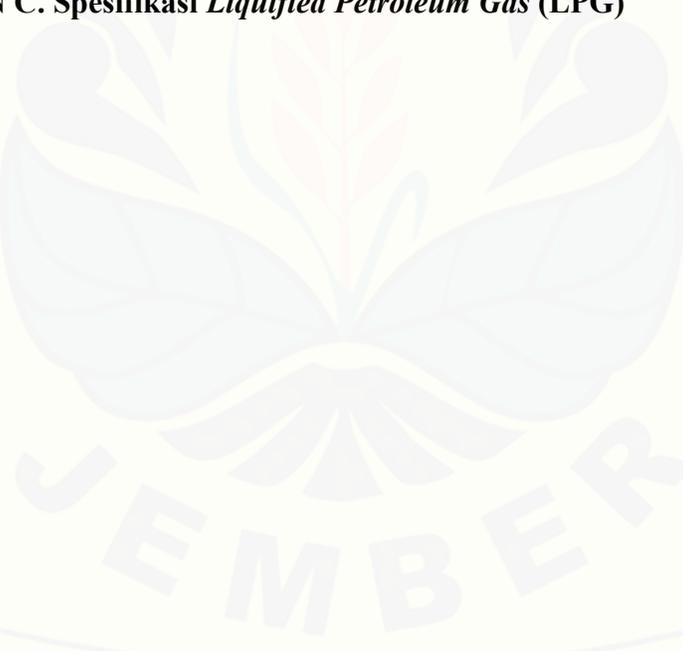
$$= 4,60$$



LAMPIRAN B. Diagram P-h**B.1 Diagram P-h Propana (R290)****B.2 Diagram P-h Butana (R600)**



LAMPIRAN C. Spesifikasi *Liquidified Petroleum Gas* (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.