



**ANALISIS PENAMBAHAN *WATER COOLED* PADA *SEPARATION*
CONDENSER UNTUK MENINGKATKAN COP KULKAS
MENGUNAKAN LPG SEBAGAI *REFRIGERANT***

SKRIPSI

Oleh

Saiful Khabib

141910101016

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

2018



**ANALISIS PENAMBAHAN *WATER COOLED* PADA *SEPARATION*
CONDENSER UNTUK MENINGKATKAN COP KULKAS
MENGUNAKAN LPG SEBAGAI *REFRIGERANT***

SKRIPSI

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

Oleh

Saiful Khabib

141910101016

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT, atas segala limpahan karunia dan rahmat-Nya yang teramat besar;
2. Nabi Muhammad SAW, yang menjadi panutan dalam menjalani hidup sebagai bekal kehidupan akhirat;
3. Keluargaku, Ayahanda Samuji dan Ibunda Sratin, serta kakak kakakku yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tcurahkan dengan sepenuh hati;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Dr. Agus Triono, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Muh. Nurkoyim K., S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan arahan menuju kearah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbing dan mnedidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai ke jenjang perguruan tinggi;
6. Teman-temanku kelompok penelitian *Condenser Research* yaitu Dirga Baskara, Heru Edy Nurcahyo dan Amirul Yahya 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

Doa ibu adalah segala hal bagi anak anaknya. Ibu adalah Tuhan kecil dengan ketulusan cintanya. Dia tidak pernah mengharapkan balasan apa-apa dari anak-anaknya. Baginya tugasnya hanyalah memberi dan memberi. Mengandung, melahirkan, menyusui, merawat, membesarkan hingga menghantarkan anaknya menjadi manusia yang berguna adalah kewajiban dari cinta yang Tuhan titipkan padanya *)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.” (QS. Al-Insyirah,6-8)**)

Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia. ***)

*) Kejora, Kirana 2011. *Air Mata Terakhir Bunda*. Jakarta: Hi-Fest Publishing.

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

****) Nelson Mandela

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Saiful Khabib

NIM : 141910101016

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ANALISIS PENAMBAHAN *WATER COOLED* PADA *SEPARATION CONDENSER* UNTUK MENINGKATKAN COP KULKAS MENGGUNAKAN LPG SEBAGAI *REFRIGERANT*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 28 Mei 2018

Yang menyatakan,

Saiful Khabib

NIM 141910101016

SKRIPSI

**ANALISIS PENAMBAHAN *WATER COOLED* PADA *SEPARATION*
CONDENSER UNTUK MENINGKATKAN COP KULKAS
MENGUNAKAN LPG SEBAGAI *REFRIGERANT***

Oleh

Saiful Khabib

NIM 141910101016

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ahmad Adi Rosyadi, S.T.,M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Penambahan *Water Cooled* pada *Separation Condenser* untuk Meningkatkan *COP* Kulkas Menggunakan LPG sebagai *Refrigerant*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

hari, tanggal : Senin, 28 Mei 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

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

NIP. 198501172012121001

Dosen Penguji I,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

NIP. 196701231997021001

Dosen Pembimbing Anggota,

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

NIP. 197008072002121001

Dosen Penguji II,

Muh. Nurkoyim K., S.T.,M.T.

NIP. 196911221997021001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Analisis Penambahan *Water Cooled* pada *Separation Condenser* untuk Meningkatkan COP Kulkas Menggunakan LPG sebagai *Refrigerant*; Saiful Khabib, 141910101016; 2018; 129 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kondensor adalah bagian terpenting dari mesin pendingin kulkas, kondensor menerima panas-lanjut dari kompresor dan melepaskan kalor kelingkuangan sehingga merubah refrigerant dari fase gas menjadi cair. Kondensor menurut media pendinginnya dibagi menjadi dua yaitu kondensor dengan media pendingin udara dan kondensor dengan media pendingin air.

Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui performa mesin pendingin kulkas dengan menggunakan kondensor biasa dan kondensor separasi, dengan menggunakan variasi laju aliran air pendingin pada kondensor. Variasi laju aliran air pendingin yang digunakan yaitu 4.07 ml/s, 24.54 ml/s dan 53.3 ml/s. Dengan menggunakan variasi tersebut akan didapatkan perbandingan suhu dan tekanan pada setiap variasi, sehingga akan didapatkan nilai COP optimum pada setiap variasi laju aliran air pendingin.

Penelitian ini di lakukan di Laboratorium Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Januari sampai bulan April. Penelitian ini menggunakan dua buah kondensor yaitu kondensor biasa dan kondensor separasi, serta menggunakan air sebagai media pendingin kondensor.

Hasil penelitian didapatkan bahwa semakin besar laju aliran air pendingin pada kondensor maka semakin besar COP dari mesin pendingin tersebut. Hal ini dapat dilihat pada kondensor separasi COP tertinggi terdapat pada laju aliran air pendingin 53.3 ml/s yaitu 7.21. Sedangkan nilai COP terendah pada kondensor separasi terdapat pada laju aliran air pendingin 24.54 yaitu 6.29. Pada kondensor biasa nilai COP (*Coefficient of Performance*) terbaik ada pada laju aliran air pendingin 53.3 ml/s dengan nilai sebesar 7.42. Sedangkan nilai COP paling

rendah ada pada laju aliran air pendingin 4.07 pada kondensor biasa dengan nilai 6.81. Jadi laju aliran air pendingin yang tertinggi yaitu 53.3 ml/s memiliki COP yang lebih tinggi dari pada laju aliran air pendingin lainnya.

Nilai COP kondensor separasi lebih rendah jika dibandingkan kondensor biasa. Nilai COP tertinggi kondensor separasi adalah 7.21 pada laju aliran air pendingin yang sama yaitu 53.3 ml/s, nilai ini lebih rendah 2.8 % jika dibandingkan dengan COP tertinggi pada kondensor biasa yaitu 7.42. Hal itu dikarenakan pada kondensor separasi kurang optimal dalam melepaskan kalor, sehingga membuat kerja kompresi yang besar dan dampak refrigerasi yang rendah.

SUMMARY

Analysis of Adding Water Cooled in the Separation Condenser to Improve COP of Refrigerator Using LPG as A Refrigerant; Saiful Khabib, 141910101016: 129 Pages; Mechanical Engineering Departement of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Condenser is the most important part of the refrigerator cooling machine that receives heat from the compressor and releases it to the environment to change the refrigerant from the gas to liquid. According to its cooling medium, condenser is divided into two, namely condenser with air cooling medium and condenser with water cooling medium.

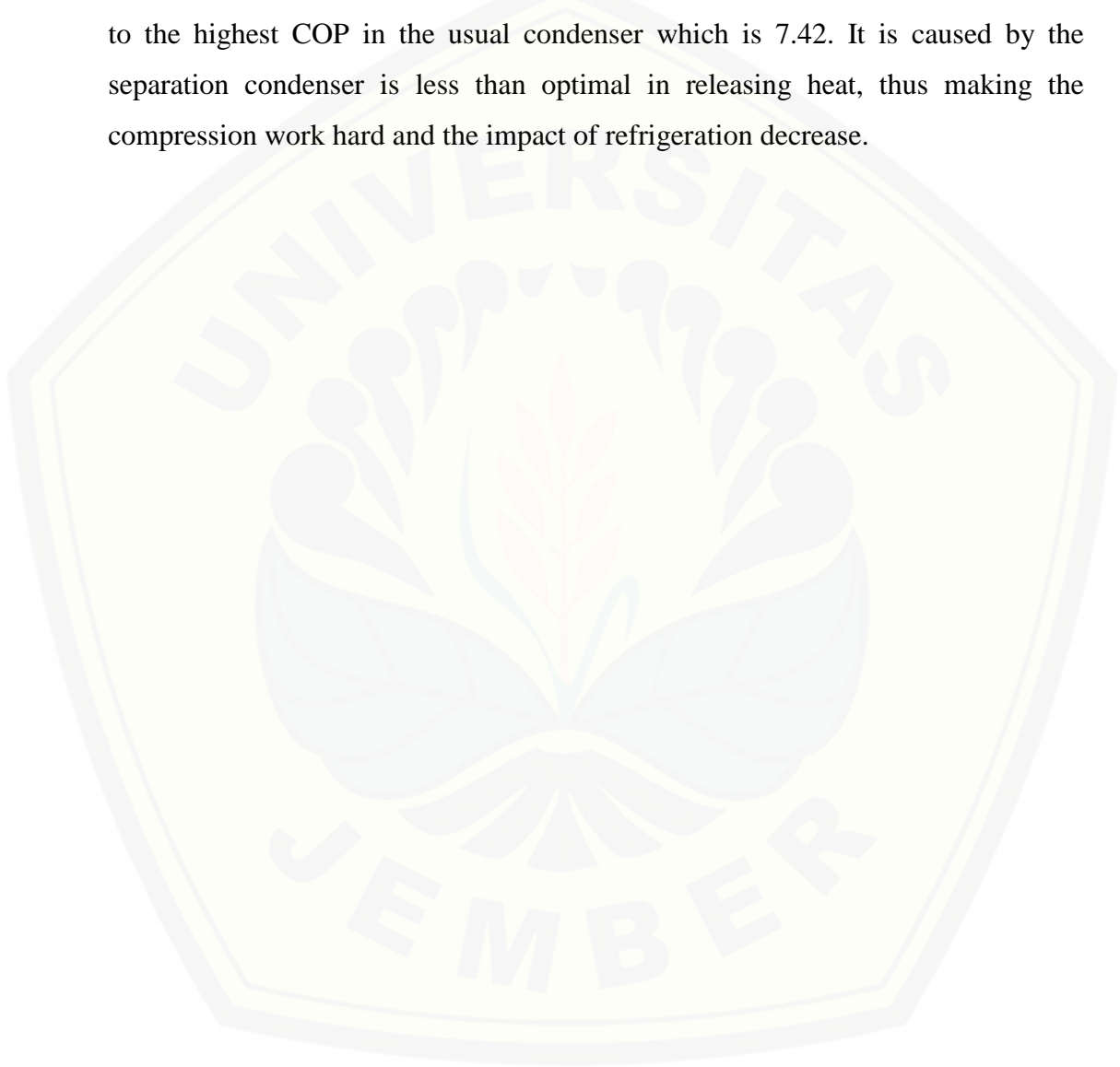
This research is focused on determining the performance of refrigerator cooling machine by using ordinary condenser and separation condenser, along with the variation of cooling water flow rate on the condenser. Variations of coolant flow rate used were 4.07 ml/s, 24.54 ml/s and 53.3 ml/s. By using these variations, it will get the temperature and pressure ratio in each variation, so the optimum COP value of the cooling water flow rate for each variations will be obtained.

This research was conducted at the Energy Conversion Laboratory of Engineering Faculty, University of Jember in January to April. This research used two condensers which were ordinary condenser and separation condenser, and also used water as the cooling media of that condenser.

The results showed that the greater the flow rate of cooling water in the condenser, the greater the COP of the cooling machine. It can be seen in the separation condenser where the highest COP present at 53.3 ml/s cooling water flow rate which is 7.21. While the lowest COP value on the separation condenser is in the cooling water flow rate 24.54 that is 6.29. In an ordinary condenser the best COP (Coefficient of Peformance) value is at 53.3 ml/s cooling water flow rate with a value of 7.42. While the lowest COP value is at a cooling water flow

rate of 4.07 on a regular condenser with a value of 6.81. Thus, the highest cooling water flow rate of 53.3 ml/s has a higher COP than other cooling water flow rates.

The COP value of the separation condenser is lower than the ordinary condenser. The highest COP value of the separation condenser is 7.21 at the same cooling water flow rate of 53.3 ml/s, this value is lower by 2.8% when compared to the highest COP in the usual condenser which is 7.42. It is caused by the separation condenser is less than optimal in releasing heat, thus making the compression work hard and the impact of refrigeration decrease.



PRAKATA

Alhamdulillah Robbil ‘Alamiin , puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Analisis Penambahan *Water Cooled* pada *Separation Condenseer* untuk Meningkatkan COP Kulkas Menggunakan LPG sebagai *Refrigerant*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Kedua orang tua tercinta, Ibunda Suratin dan Ayahanda Samuji, yang tidak pernah berhenti memberikan kasih sayang, doa, motivasi, dukungan, dan semangat;
2. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan bapak Dr. Agus Triono, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
3. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Muh. Nurkoyim K., S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji Anggota, yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
4. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing akademik, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam perjalanan studi selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Kakak-kakakku tersayang yang dengan tulus memberikan doa dan dukungan dalam setiap langkah adiknya;

6. Teman-temanku kelompok penelitian Condenser Research yaitu Dirga Baskara, Heru Edy Nurcahyo dan Amirul Yahya 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;
7. Terimakasih saya ucapkan kepada Firdiana Retno Herdiani yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, doa dan dukungan selama ini;
8. Kontrakan Sumber Alam I2, teman-teman KKN 72, terimakasih atas dukungan dan kebersamaannya;
9. Seluruh teman-teman Teknik Mesin 2014, atas kerjasama, semangat, dan kebersamaannya selama ini, tetap semangat untuk teknik mesin lebih baik (SOLIDARITY FOREVER);
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTO	iii
PERNYATAAN.....	iv
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Refrigerasi Sederhana.....	5
2.1.1 Evaporator	7
2.1.2 Kompresor	7
2.1.3 Kondensor	8
2.1.4 Alat ekspansi (matering device)	14
2.2 Komponen Pendukung Mesin Pendingin	15

2.3	Siklus Refrigerasi.....	17
2.4	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	19
2.5	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	22
2.6	<i>Refrigerant</i>	24
2.7	LPG (<i>Liquid Petroleum Gas</i>).....	29
	2.7.1 Pengertian LPG	29
	2.7.2 Sifat – Sifat LPG.....	29
2.8	Penelitian Sebelumnya	30
	2.8.1 Uji Peformasi Sistem Refrigerasi Dengan Variasi Debit Air Pada <i>Water-Cooled Condenser</i>	31
	2.8.2 Pengaruh Penggunaan Water Cooled Condenser Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG	31
	2.8.3 Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin.....	32
	2.8.4 Performance Evaluation of Conventional Domestic Refrigerator Retrofitted With Water Cooled Condenser	33
	2.8.5 Energy Analysis of Vapour Compression Refrigean System Using Mixture of R134a and LPG as Refrigerant.....	34
2.9	Hipotesis.....	35
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....		36
3.1	Metodologi Penelitian.....	36
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	36
	3.1.1 Alat dan Instrumen Penelitian	36
	3.1.2 Bahan Penelitian	37
	3.1.3 Spesifikasi Refrigerator	37
	3.1.4 Spesifikasi Pompa.....	38
3.4	Variabel Penelitian	39
	3.4.1 Variabel Bebas.....	39
	3.4.2 Variabel Terikat.....	39
3.5	Prosedur Penelitian	40

3.5.1 Persiapan Alat Pengujian.....	40
3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian.....	40
3.5.3 Tahapan Pengambilan Data.....	40
3.6 Gambar Kondensor dan Rangkaian Mesin Pendingin.....	42
3.7 Pengambilan Data.....	46
3.8 Pengolahan Data.....	47
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	50
3.10 Jadwal Rencana Penelitian.....	52
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Data Hasil Pengujian.....	53
4.2 Pembahasan.....	58
4.2.1 Temperatur Pendinginan Evaporator (°C).....	58
4.2.2 Perhitungan Entalpy.....	60
4.2.3 Dampak Refrigerasi (kJ/kg).....	65
4.2.4 Kerja Kompresi (kJ/kg).....	67
4.2.5 Laju Aliran Massa (kJ/kg).....	69
4.2.6 Kapasitas Refrigerasi (kW).....	71
4.2.7 Pelepasan Kalor (kJ/kg).....	73
4.2.8 Rasio Pelepasan Kalor (RPK).....	75
4.2.9 Temperatur Kondensor (°C).....	77
4.2.10 <i>Coefficient of Performance</i> (COP).....	79
4.2.11 Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Air Pendingin.....	82
BAB 5. PENUTUP.....	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR GAMBAR

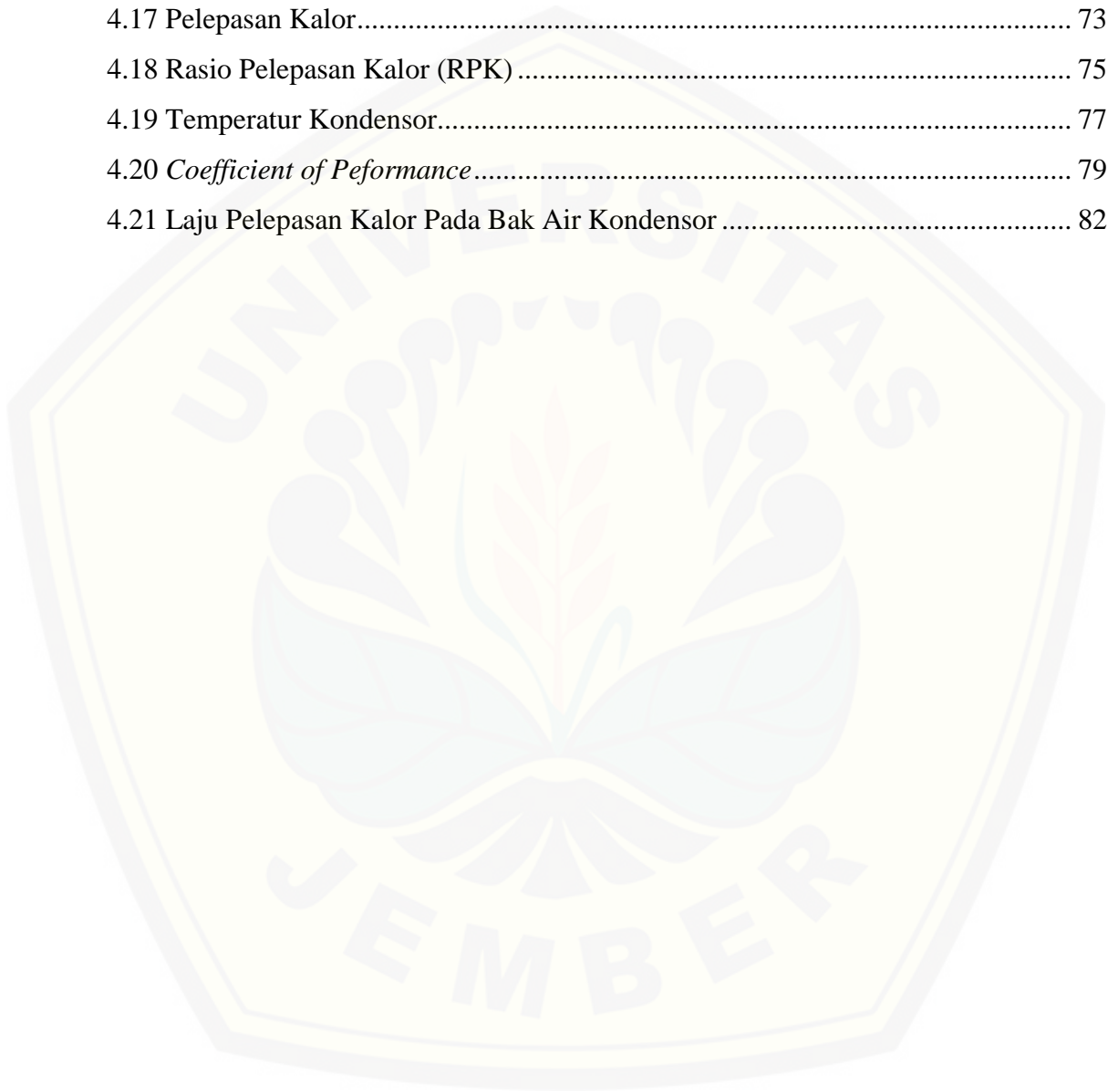
	Halaman
2.1 Skema Siklus Kompresi Uap	6
2.2 Evaporator	7
2.3 Kompresor Hermetik	8
2.4 Kondensor	9
2.5 (a) Skema dua fasa <i>separation microchanel condenser</i> , (b) perbesaran <i>separation condenser</i>	10
2.6 Perbandingan dua kondensor: (a) kondensor tipe baseline, (b) <i>separation condenser</i>	11
2.7 Temperatur keluar <i>refrigerant</i> (T_{cro}) untuk dua kondensor pada Temperatur masuk kondensor (T_{cri}) yang sama	12
2.8 Laju aliran massa pada kondensor tipe Baseline dan <i>Separation Condenser</i>	12
2.9 Pipa kapiler	14
2.10 <i>Solenoid Valve</i>	15
2.11 <i>Filter Dryer</i>	16
2.12 <i>Sight Glass</i>	16
2.13 <i>Liquid Receiver</i>	17
2.14 Gambar ilusi <i>refrigerator</i> dan <i>headpump</i>	18
2.15 Daur kompresi uap tekanan standar dalam diagram tekanan-entalpi	19
2.16 Diagram Aliran	20
2.17 Siklus refrigerasi kompresi aktual	23
2.18 Nilai ODP dan GWP <i>refrigerant</i>	28
2.19 Grafik antara variasi debit air kondensor dan efisiensi	32
2.20 Grafik antara COP dan waktu.....	32
2.21 Grafik debit aliran air, beban pendingin dan COP	33
2.22 Grafik hubungan antara COP dan temperature pada evaporator dengan <i>refrigerant 134a/LPG</i> dan <i>134a</i>	35
3.1 Pompa Aquarium	38

3.2	Desain Kondensor Biasa	43
3.3	Desain Kondensor Separasi.....	44
3.4	Skema rangkaian mesin pendingin dengan kondensor standar.....	45
3.5	Skema rangkaian mesin pendingin dengan <i>separation condenser</i>	45
3.6	Diagram alir penelitian.....	51
4.1	Grafik Temperatur Pendinginan Evaporator.....	59
4.2	Grafik Dampak Refrigerasi	66
4.3	Grafik Kerja Kompresi.....	68
4.4	Grafik Laju Aliran Massa	70
4.5	Grafik Kapasitas Refrigerasi	72
4.6	Grafik Pelepasan Kalor	74
4.7	Grafik Rasio Pelepasan Kalor	76
4.8	Grafik Temperatur Kondensor	78
4.9	Grafik <i>Coefficient of Perfomance</i>	80
4.10	Grafik Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Pendingin	83
4.11	Grafik Kapasitas refrigerasi terhadap COP relative.....	84
4.12	Grafik Kapasitas refrigerasi terhadap COP kondensor biasa.....	85
4.13	Grafik Kapasitas refrgerasi terhadap COP kondensor separasi	85

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Penomoran <i>Refrgerant</i> Halokarbon	25
2.2 Senyawa Hidrokarbon.....	25
2.3 Senyawa Anorganik	26
2.4 Sifat Fisika Komponen Utama LPG	31
3.1 Spesifikasi <i>Refrigerator</i>	38
3.2 Spesifikasi Pompa.....	39
3.3 Contoh data yang akan di ambil (kondensor biasa dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (4.07 ml/s, 24.54 ml/s, 53.3 ml/s)	46
3.4 Contoh data yang akan di ambil (separation condenser dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (ml/detik).....	47
3.5 Hasil entalpi dari data (kondensor biasa dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (4.07 ml/s, 24.54 ml/s, 53.3 ml/s).....	48
3.6 Hasil entalpi dari data (separation condenser dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (4.07ml/s, 24.54 ml/s, 53.3 ml/s).....	48
3.7 Jadwal Rencana Penelitian.....	52
4.1 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa Debit 4,07 ml/s	54
4.2 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa Debit 24,54 ml/s.....	55
4.3 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa Debit 53,3 ml/s.....	55
4.4 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Separasi Debit 4,07 ml/s.....	56
4.5 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Separasi Debit 24,54 ml/s.....	57
4.6 Hasil Rata-rata Pengujian Kondensor Separasi Debit 53,3 ml/s.....	58
4.7 Entalpy Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa Debit 4,07 ml/s	60
4.8 Entalpy Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa Debit 24,54 ml/s	61
4.9 Entalpy Rata-rata Pengujian Kondensor Biasa Debit 53,3 ml/s	62
4.10 Entalpy Rata-rata Pengujian Kondensor Separasi Debit 4,07 ml/s.....	62
4.11 Entalpy Rata-rata Pengujian Kondensor Separasi Debit 24,54 ml/s.....	63
4.12 Entalpy Rata-rata Pengujian Kondensor Separasi Debit 53,3 ml/s.....	64

4.13 Dampak Refrigerasi	65
4.14 Kerja Kompresi	67
4.15 Debit Aliran <i>Refrigerant</i>	69
4.16 Kapasitas Refrigerasi	71
4.17 Pelepasan Kalor.....	73
4.18 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)	75
4.19 Temperatur Kondensor.....	77
4.20 <i>Coefficient of Performance</i>	79
4.21 Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Air Kondensor	82



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A. DATA PENELITIAN	92
A.1 Data Temperatur dan Tekanan	92
A.2 Data Entalpi Rata-Rata.....	97
A.3 Debit Aliran <i>Refrigerant</i>	101
A.4 Dampak Refrigerasi	102
A.5 Kerja Kompresi	103
A.6 Debit Aliran <i>Refrigerant</i> (Konversi).....	103
A.7 Laju Aliran Massa	104
A.8 Kapasitas Refrigerasi	105
A.9 Pelepasan Kalor.....	106
A.10 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)	106
A.11 Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Air Kondensor	107
A.12 Temperatur Kondensor.....	108
A.13 <i>Coefficient of Performance</i>	109
LAMPIRAN B. CONTOH PERHITUNGAN	110
B.1 Kerja Kompresi	110
B.2 Dampak Refrigerasi.....	110
B.3 Pelepasan Kalor	110
B.4 Rasio Pelepasan Kalor.....	110
B.5 Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Kondensor.....	111
B.6 Laju Aliran Massa	111
B.7 Kapasitas Refrigerasi.....	112
B.8 COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	112
LAMPIRAN C. DIAGRAM P – H atau DIAGRAM MOLLIER	113
4.21 Diagram P-h Gas Propana.....	113
4.22 Diagram P-h Gas Butana.....	114
LAMPIRAN D. Sifat – sifat air (zat-cair jenuh)	115
LAMPIRAN E. Tabel Thermophysical Properties of Refrigerant	116

LAMPIRAN F. Data Logger	121
F.1 Gambar Midi LOGGER GL200A	121
F.1 Tabel Spesifikasi Midi LOGGER GL200A.....	121
LAMPIRAN G. Alat Ukur Debit Refrigerant	122
G1. Gambar Flow Meter Type LZM – 6	122
G1. Tabel Dimensi Flow Meter	122
LAMPIRAN H. Spesifikasi LPG	123
LAMPIRAN I. GAMBAR PENELITIAN	124
I.1 Kondensor Biasa dengan Media Pendingin Air.....	124
I.2 Kondensor Separasi dengan Media Pendingin Air	125
I.3 Refrigerant LPG.....	126
I.4 Metil.....	126
I.5 Pompa Aquarium	127
I.6 Tang Meter.....	127
I.7 Preses Pemvakuman Mesin Pendingin Kulkas.....	128
I.8 Proses Pengisian Refrigerant	128
I.9 Proses Menghitung Tekanan	129

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin pendingin merupakan peralatan yang banyak digunakan baik dalam gedung perkantoran maupun perumahan dimana memang membutuhkan alat tersebut untuk mendinginkan ruangan. Penggunaan mesin pendingin antara lain berupa *freezer*, *refrigerator* dan pendingin ruangan. Fungsi dari mesin pendingin awalnya hanya digunakan untuk membuat es, namun seiring berjalannya waktu mesin pendingin juga digunakan untuk mendinginkan bahan makanan sehingga makanan tidak mudah membusuk dan bertahan lama (Karyanto dan Paringga, 2003). Kulkas merupakan jenis mesin pendingin yang banyak digunakan dimasyarakat.

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, *hydrochlorofluorocarbon* (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).

Kondensor adalah bagian terpenting dari mesin pendingin kulkas, kondensor menerima panas-lanjut dari kompresor dan melepaskan kalor

kelingkungan sehingga merubah *refrigerant* dari fase gas menjadi cair (Nursuhud dan Pudjanars, 2013). Model kondensor yang digunakan saat ini dirasa kurang optimal sehingga Li dan Hrnjak (2017) melakukan penelitian dengan mengubah model kondensor biasa menjadi *separation condenser*. *Separation condenser* bekerja dengan memisahkan dua fasa yaitu fasa uap dan fasa cair. Menurut Li dan Hrnjak (2017) suhu keluaran dari *separation condenser* lebih dingin dibandingkan dengan suhu keluaran dari kondensor biasa.

Kondensor menurut media pendinginnya dibagi menjadi dua yaitu kondensor dengan media pendingin udara dan kondensor dengan media pendingin air (Nursuhud dan Pudjanars, 2013). Kondensor dengan media pendingin air dianggap dapat mendinginkan *refrigerant* lebih cepat dan membuat *refrigerant* keluaran dari kondensor lebih dingin dibandingkan dengan kondensor dengan media pendingin udara, hal ini di buktikan pada penelitian sebelumnya yaitu dengan menambahkan *watercooled* pada kondensor pendingin udara, sehingga kerja kondensor lebih efisien, *refrigerant* yang keluar dari kondensor juga lebih dingin (Perdana, 2014). Penelitian berikutnya dilakukan oleh Kemas (2014) dengan membandingkan kedua kondensor tersebut dengan menggunakan variasi laju aliran air pendingin dan beban pendinginan. Hasil penelitiannya menunjukkan COP yang tertinggi yaitu 15,43 terjadi pada kondensor pendingin air dengan beban 450W pada debit 0.09 l/s, sedangkan dengan pendingin udara COP yaitu 6,44 pada beban 450W. Kesimpulan yang didapatkan adalah kondensor dengan pendingin air memiliki COP lebih tinggi daripada kondensor dengan pendingin udara. Koefisien prestasi (COP) merupakan bentuk dari penilaian mesin pendingin.

Penelitian yang dilakukan oleh Li dan Hrnjak (2017) dengan menggunakan *separation condenser* dengan aplikasi mesin pendingin AC (*Air Conditioning*) menghasilkan keluaran *refrigerant* yang lebih dingin dari pada menggunakan kondensor biasa, hal tersebut dikarenakan dengan menggunakan *separation condenser* fasa dari *refrigerant* akan terpisah dikarenakan gaya gravitasi dan properti dari *refrigerant* tersebut. Penelitian tersebut menggunakan media pendinginan udara pada kondensor dan menggunakan *refrigerant* R-134a.

kesimpulan penelitian tersebut *separation condenser* memiliki kinerja lebih optimal jika dibandingkan kondensor biasa.

Berdasarkan kondisi diatas, akan dilakukan penelitian untuk meningkatkan prestasi mesin (COP) pada mesin pendingin dengan menggunakan *separation condenser* dengan penambahan media pendingin air yang diharapkan akan meningkatkan prestasi mesin pendingin. Desain *separation condenser* yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dengan *separation condenser* yang digunakan oleh Li dan Hrnjak (2017). *Refrigerant* yang diteliti kali ini adalah LPG dengan campuran 50% propana serta 50% butana yang diharapkan akan mengurangi dampak dari ODP dan GWP.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh laju aliran air pada *water cooled* terhadap kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi dan COP kulkas dengan menggunakan LPG sebagai *refrigerant* ?
2. Bagaimana pengaruh tipe kondensor terhadap kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi dan COP kulkas dengan pendingin *water cooled* dan menggunakan LPG sebagai *refrigerant* ?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mendapatkan informasi bagaimana pengaruh laju aliran air pada *water cooled* terhadap kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi dan COP kulkas dengan menggunakan LPG sebagai *refrigerant*.
2. Untuk mendapatkan informasi bagaimana pengaruh tipe kondensor terhadap kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi dan COP kulkas dengan pendingin *water cooled* dan menggunakan LPG sebagai *refrigerant*.

1.3.2 Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memperoleh informasi bagaimana pengaruh laju aliran air pada *water cooled* terhadap kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi dan COP kulkas dengan menggunakan LPG sebagai *refrigerant*.
2. Memperoleh informasi bagaimana pengaruh tipe kondensor terhadap kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi dan COP kulkas dengan pendingin *water cooled* dan menggunakan LPG sebagai *refrigerant*.
3. Sebagai informasi untuk penelitian selanjutnya.

1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang sulit dikendalikan dalam penelitian ini sehingga mempengaruhi pengambilan data dan analisa. Maka dari itu perlu diberikan batasan masalah dan asumsi agar mudah dalam menganalisa permasalahan, antara lain berikut ini :

1. Tidak menghitung perubahan energi kinetik dan energi potensial *refrigerant* pada sistem.
2. Suhu pipa bagian luar pada titik yang diukur diasumsikan sama dengan suhu *refrigerant* pada titik tersebut.
3. Tidak menghitung perpindahan panas secara konduksi, radiasi dan konveksi pada sistem.
4. *Refrigerant* dalam sistem adalah campuran 50% propana dan 50% butana.
5. Massa *refrigerant* yang digunakan adalah 50 gram

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Refrigerasi Sederhana

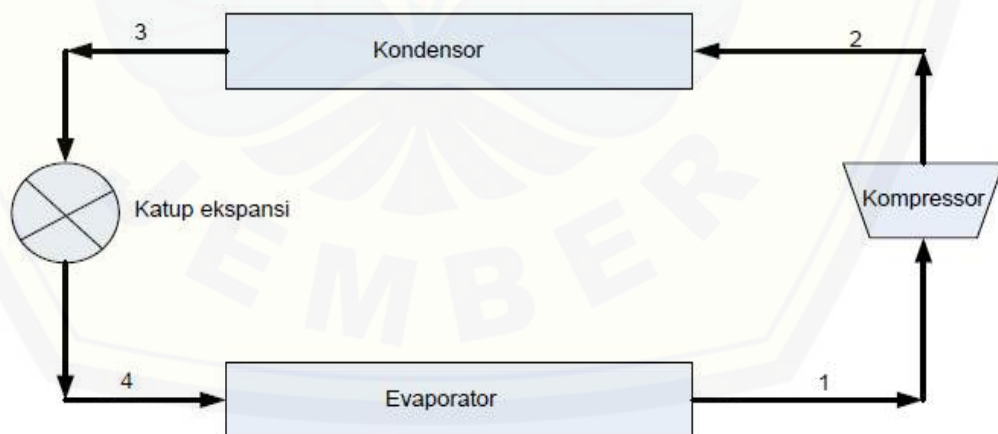
Sistem refrigerasi merupakan sistem yang mengatur temperatur ruangan menjadi lebih rendah dari temperatur semula atau menjadikan temperatur dibawah temperatur siklus (Nursuhud dan Pudjanars, 2013). Refrigerasi adalah proses pengambilan kalor pada suatu benda atau pada ruangan untuk menurunkan temperaturnya. Kalor yang berada di sekitar *refrigerant* akan diserap oleh *refrigerant*, sehingga menyebabkan *refrigerant* akan menguap dan membuat temperatur di sekitar *refrigerant* akan menjadi lebih rendah dari temperatur sebelumnya. Penggunaan dalam bidang tata udara yaitu *air conditioning*, panas diambil dari udara. Saat menyerap kalor dari udara, alat harus bersinggungan langsung pada material dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur *refrigerant* (Samosir dan Tampubolo, 2005).

Penggunaan mesin pendingin dalam kehidupan sehari-hari berupa kulkas rumah tangga, *freezer*, alat untuk mendinginkan sayur dan buah pada toko-toko besar, pembeku daging, ikan dan sebagainya. Pada mesin ini, kalor akan diambil oleh *evaporator* dan kemudian dikeluarkan melalui kondensor. *Refrigerant* dalam bentuk uap yang bertekanan dan bertemperatur rendah akan di hisap oleh kompresor melalui saluran hisap. *Refrigerant* akan dimampatkan oleh kompresor, sehingga ketika dikeluarkan, *refrigerant* akan bertekanan dan bertemperatur jauh lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur lingkungan. Kemudian *refrigerant* dalam bentuk uap berjalan menuju kondensor melalui saluran masuk kondensor. Uap yang ada pada kondensor akan melepaskan kalor, sehingga dapat mengubah fasa uap menjadi cair (terkondensasi).

Refrigerant dalam bentuk cair yang bertekanan tinggi akan mengalir menuju katup ekspansi. *Refrigerant* yang keluar dari katup ekspansi akan memiliki tekanan dan temperatur yang rendah dikarenakan model dari katup ekspansi yang dibuat untuk mengabutkan *refrigerant*. Kemudian *refrigerant* dalam bentuk cair dan sudah membentuk partikel kecil masuk kedalam evaporator. Pada saat itulah

refrigerant akan menguap dengan menyerap kalor di lingkungan sekitar, hingga cairan *refrigerant* berubah menjadi uap. Akibatnya evaporator akan menjadi dingin dan di gunakan untuk mendinginkan ruangan dan makanan. Kemudian *refrigerant* dalam bentuk uap akan diserap lagi oleh kompresor untuk melakukan siklus selanjutnya hingga berulang kali. Sistem refrigerasi yang umum dan mudah dijumpai adalah sistem kompresi uap (*vapor compression refrigerator*), yang memiliki *refrigerant*. *Refrigerant* adalah senyawa yang dapat berubah fasa dari uap ke cair dan sebaliknya dalam waktu singkat. Saat perubahan fase air ke uap, *refrigerant* akan mengambil kalor yang berasal lingkungan, dan jika *refrigerant* mengalami perubahan fase dari uap ke cair maka *refrigerant* akan melepaskan kalor ke lingkungan (Samosir dan Tampubolo, 2005). Dalam sistem kompresi uap, komponen utama yang digunakan adalah

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



Gambar 2.1 Skema Siklus Kompresi Uap
(Basri, 2011)

2.1.1 Evaporator

Evaporator merupakan suatu komponen yang difungsikan dalam memindahkan panas dari zat yang didinginkan ke *refrigerant* yang menguap (Nursuhud dan Pudjanars, 2013). Pada evaporator terjadi proses pendinginan dan proses penguapan, atau perubahan dari fase *refrigerant* cair menjadi *refrigerant* dengan fase uap. Secara umum, *refrigerant* memiliki titik didih rendah, seperti *refrigerant* R22 yang memiliki titik didih yaitu -40°C , sehingga *refrigerant* akan dapat mengambil kalor bahkan pada temperatur yang teramat rendah. Evaporator ada dalam jenis koil polos tanpa sirip (*bare pipe coil*), koil bersirip (*finned coil*), pelat (*plate evaporator*), *shell and coil*, atau *shell and tube evaporator*. Penggunaan evaporator pada suatu tergantung pada penggunaannya (Samosir dan Tampubolo, 2005).

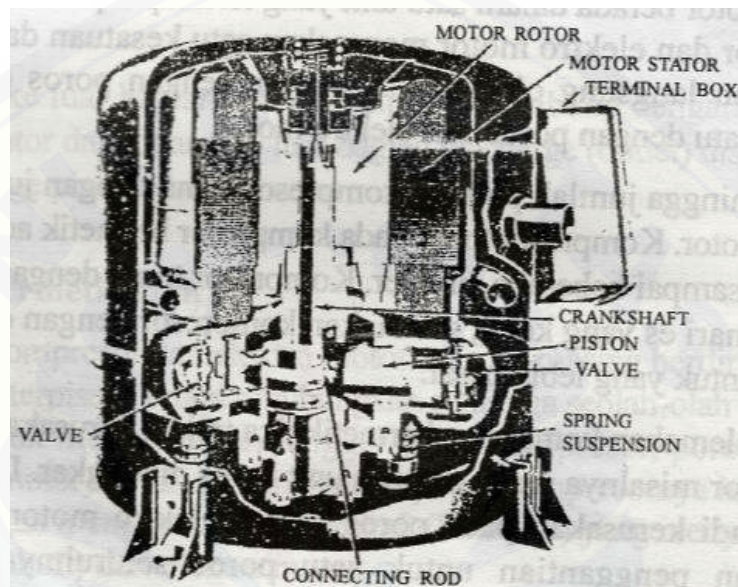


Gambar 2.2 Evaporator (Karyanto dan Paringga, 2003)

2.1.2 Kompresor

Kompresor adalah inti dari sistem kompresi uap. Kompresor digunakan untuk mensirkulasikan *refrigerant*, menaikkan tekanan agar *refrigerant* dapat terkondensasi dalam suhu lingkungan, menjaga tekanan konstan pada evaporator (Karyanto dan Paringga 2003). *Refrigerant* yang keluar dalam kompresor akan bertekanan tinggi dan masih berfase uap. Empat jenis kompresor yang digunakan dalam sistem refrigerasi yaitu torak (*reciprocating compressor*), *rotary*, *screw* dan *centrifugal*. Kompresor yang sering dijumpai adalah kompresor jenis torak Stoecker dkk, (1996).

Refrigerant yang akan masuk ke dalam kompresor harus berfase uap. Karena bila ada cairan yang masuk, hal ini dapat merusak piston, silinder, piston ring, dan batang torak komponen tersebut. Oleh sebab itu, ada beberapa mesin refrigerasi menggunakan *liquid receiver* untuk memastikan jika *refrigerant* yang masuk adalah berfase uap.



Gambar 2.3 Kompresor hermetik (Karyanto dan Paringga, 2003)

2.1.3 Kondensor

Kondensor berfungsi menerima *refrigerant* lanjutan dari kompresor, melepaskan kalor dan mencairkan *refrigerant*. Kondensor merupakan bagian penting dalam sistem refrigerasi yang berfungsi melepas kalor. Fluida pendingin yang di gunakan sangat mempengaruhi tingkat pelepasan kalor, sehingga dapat menentukan jenis kondensor yang digunakan, apakah kondensor dengan pendingin air atau kondensor dengan pendingin udara (Nursuhud dan Pudjanarsa, 2013). Pada kondensor terjadi perubahan fasa uap ke cair yang disertai pembuangan kalor ke lingkungan. Kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*) bekerja dengan melepas kalor ke udara. Sedangkan pada kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*), kalor dilepas ke air (Samosir dan Tampubolo, 2005).



Gambar 2.4 kondensor (Widodo, 2014)

Menurut cara pendinginannya kondensor dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Kondensor dengan media pendingin udara (*air cooled*)
2. Kondensor dengan media pendingin air (*water cooled*)
3. Dengan media pendingin campuran udara dan air (evaporative kondensor)

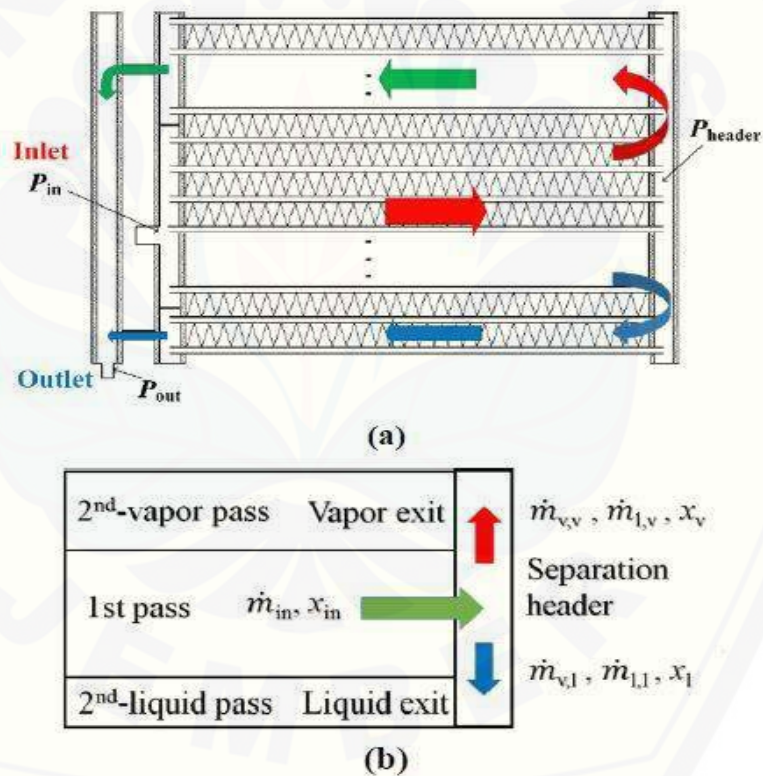
Kondensor dalam penelitian ini menggunakan media pendingin air. Ciri-ciri kondensor dengan media pendingin air (*water cooled*) antara lain :

- a) Membutuhkan pipa atau wadah pendingin air, pompa air dan penampung air.
- b) Mampu meraih suhu super dingin karena tidak dipengaruhi suhu luar.
- c) Bentuk sederhana (horizontal) dan pemasangan mudah (Siti Fatimah, 2008).

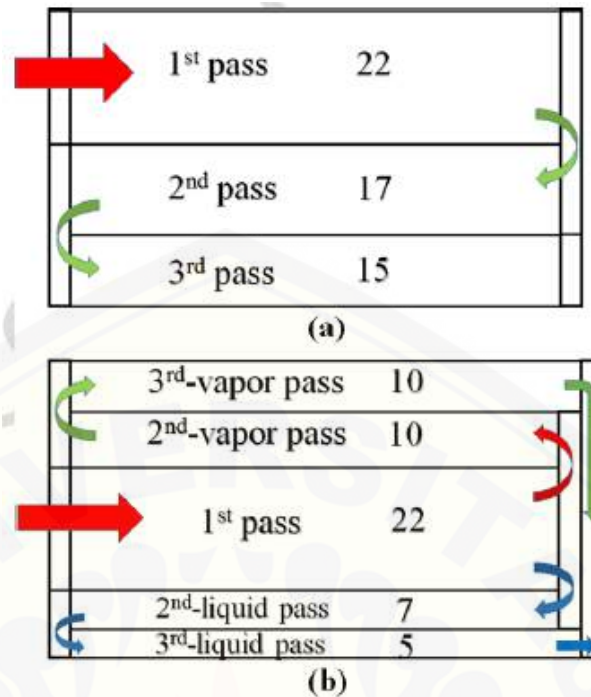
a. *Separation Condenser*

Separation Condenser adalah jenis kondensor dengan menggunakan pemisah fasa. Berbeda dengan kondensor biasa, kondensor pemisah fasa mempunyai sisi *inlet* berada di tengah kondensor. Kondensor pemisah fasa 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. Menurut Li dan Hrnjak (2017) pemisahan antara fasa uap dan fasa cair ini didasarkan murni karena perbedaan property dari keduanya, sehingga tidak ada biaya tambahan untuk pembuatan alat pemisah selanjutnya.

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

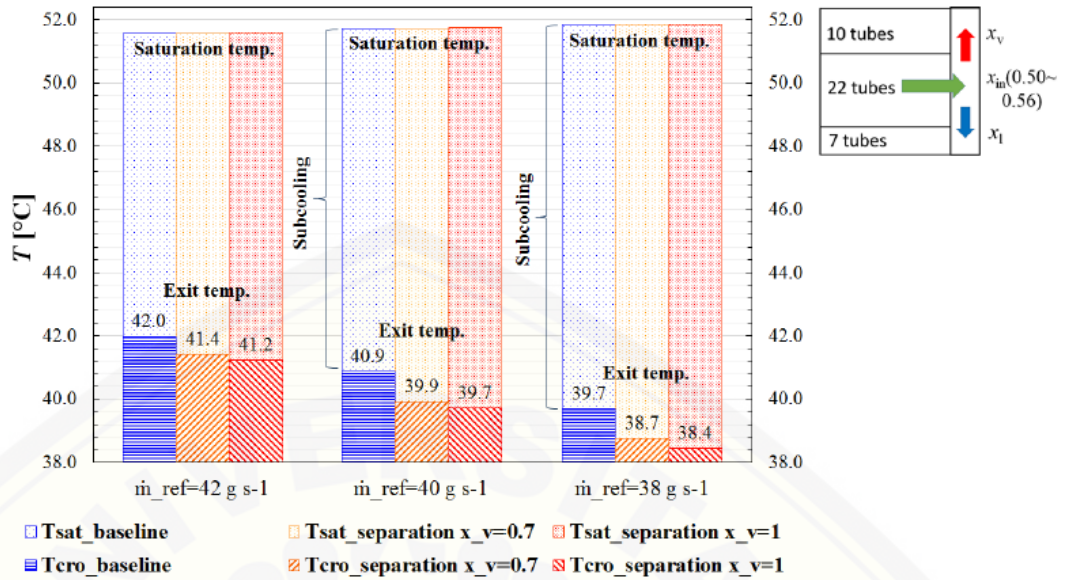


Gambar 2.5 (a) Skema dua fasa *separation microchannel condenser*, (b) perbesaran *separation condenser*

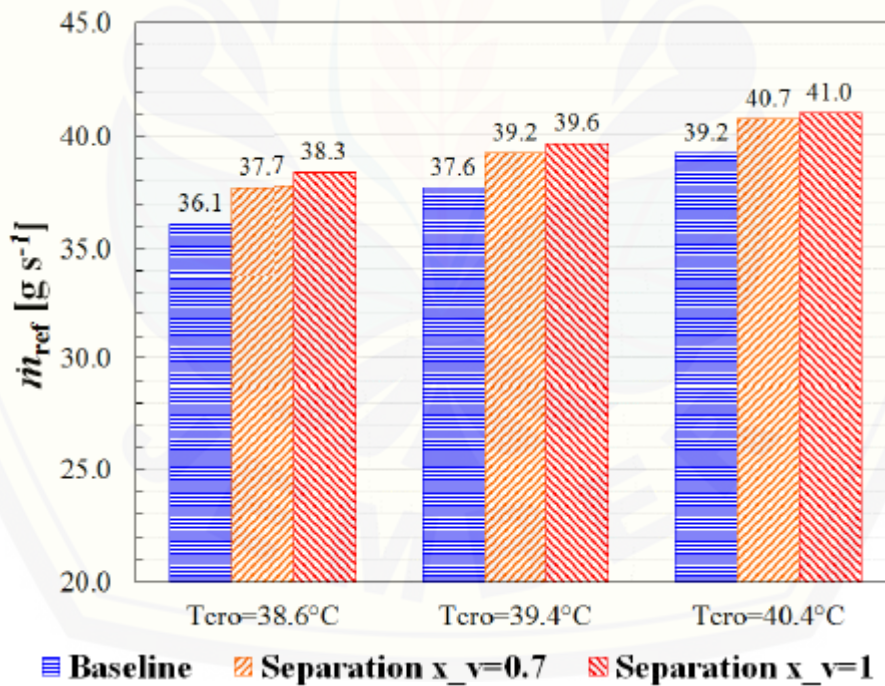


Gambar 2.6 perbandingan dua kondensor: (a) kondensor tipe baseline, (b) *separation condenser*

Kondensor dengan tipe baseline ditunjukkan pada gambar 2.6 (a) refrigeran dari kompresor masuk melalui sisi *inlet* pada kondensor bagian atas, kemudian bersirkulasi langsung menuju saluran keluar pada sisi bawah kondensor. Pada kondensor tipe ini perpindahan panas terjadi kurang optimal dikarenakan fasa uap dan cair menjadi satu dan waktu untuk berada di dalam kondensor terlalu singkat. Gambar 2.6 (b) adalah *separation condenser*, saluran masuk *refrigerant* berada di tengah kondensor, setelah *refrigerant* masuk ke dalam kondensor, fasa uap dan fasa cair akan berpisah pada *header* kondensor. Fasa uap akan bergerak ke atas dan fasa cair akan bergerak ke bawah di karenakan perbedaan densitas dari masing-masing fasa, dengan demikian diharapkan suhu keluaran dari *separation condenser* lebih dingin daripada kondensor tipe baseline. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.7 Temperatur keluar *refrigerant* (T_{cro}) untuk dua kondensator pada Temperatur masuk kondensator (T_{cri}) yang sama.



Gambar 2.8 Laju aliran massa pada kondensator tipe Baseline dan *Separation Condenser*

Gambar 2.7 dan 2.8 kondensor baseline ditunjukkan dengan warna biru, kondensor pemisah fasa di tunjukan dengan warna merah dan oranye. Gambar 2.7 menunjukkan bahwa keluaran temperatur pada kondensor pemisah fasa lebih rendah jika dibandingkan dengan kondensor baseline. Sedangkan pada gambar 2.8 menunjukkan bahwa laju aliran massa pada kondensor pemisah fasa lebih besar jika dibandingkan dengan kondensor baseline. Dapat disimpulkan bahwa kondensor pemisah fasa dapat membuat efisiensi pada kondensor lebih baik.

Li dan Hrnjak (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pemisah uap-cairan pada *header* kondensor microcanel untuk sistem MAC (*mobile air conditioning*) dengan *refrigerant* R134a di tahun yang sama. Kondensor yang digunakan adalah kondensor dengan pemisah fasa dan kondensor tipe baseline. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tingkat penukar panas dan uji tingkat sistem. Hasil dari uji tingkat penukar kalor menunjukkan bahwa pada suhu inlet dan outlet yang sama kondensor pemisahan fasa menghasilkan 1,6% sampai 7,4% lebih banyak laju alir kondensat dari pada tipe baseline. Kondensor dengan pemisah fasa juga lebih baik dalam menurunkan suhu pada kondensor. Hasil lain yaitu pada uji tingkat sistem, pada kondensor pemisah fasa memiliki COP 6.6% lebih tinggi daripada kondensor biasa.

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

2.1.4 Alat ekspansi (matering device)

Peralatan dasar sistem kompresi uap selanjutnya yaitu peralatan ekspansi. Peralatan ekspansi digunakan sebagai penurun tekanan cairan *refrigerant* dan pengatur aliran *refrigerant* ke evaporator. Hal itu disebabkan oleh adanya penyempitan aliran pada alat ekspansi. Jenis peralatan ekspansi yang umum adalah pipa kapiler (*capillary tube*), katup ekspansi termostatik (*thermostatic expansion valve*), *low-side float valve*, dan katup ekspansi tekanan konstan (*constant pressure expansion valve*) (Nursuhud dan Pudjanarsa, 2013).

Pipa kapiler adalah salah satu dari peralatan ekspansi yang dipakai hampir disetiap sistem refrigerasi menggunakan daya teramat kecil, dan secara luas digunakan dengan sistem yang lebih dari 5 daya kuda. Pipa kapiler merupakan pipa yang panjangnya 2 sampai 20 ft dengan diameter dalam dari 0.025 sampai 0.090 in. cairan yang masuk pada pipa kapiler akan mengalami penurunan tekanan dikarenakan gesekan dan percepatan, pada saat itu juga sebagian cairan dengan cepat akan menguap (Nursuhud dan Pudjanarsa, 2013).

Fungsi pipa kapiler juga dapat membuat cairan *refrigerant* dingin yang berasal dari kondensor keluar dalam bentuk kabut sehingga suhu penguapan pada evaporator akan sangat rendah. Semakin besar diameter pipa kapiler maka semakin rendah tingkat pengkabutannya sehingga *refrigerant* masih banyak yang bentuk cair jika kembali ke kompresor, seharusnya *refrigerant* sudah dalam bentuk gas jika kembali ke kompresor, *refrigerant* cair yang masuk ke dalam kompresor akan membahayakan kompresor Stocker, (1996).



Gambar 2.9 Pipa kapiler (Karyanto dan Paringga, 2003)

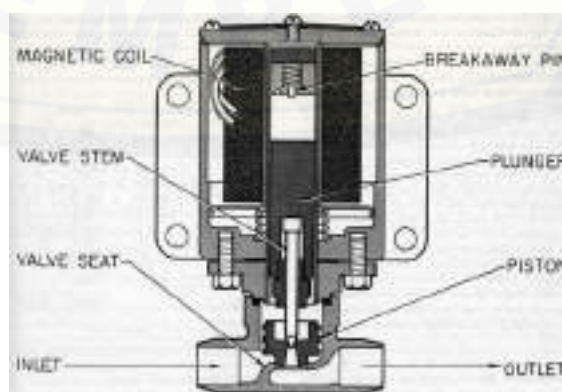
2.2 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

Selain komponen utama yang terdapat pada mesin pendingin diatas, mesin pendingin mempunyai komponen pendukung lain guna mengoptimalkan kinerja dari mesin pendingin tersebut. Komponen pendukung tersebut adalah :

1. *Solenoid Valve*

Sistem refrigerasi *solenoid valve* dengan kata lain katup solenoid berfungsi untuk menyekat aliran *refrigerant* saat sistem tidak dalam kondisi kerja. Katup solenoid juga berfungsi sebagai alat bantu dalam menghilangkan bunga es pada evaporator menggunakan metode *hot gas deforts* (Tampubolon dan Samosir, 2005). Cara kerja katup solenoid yaitu apabila pluyer (inti besi) dialiri arus listrik, pluyer berubah menjadi medan magnet yang menyebabkan pluyer tertarik ke atas dan menyebabkan katup akan terbuka, sedangkan jika pluyer tidak di aliri arus listrik medan magnet akan hilang dan menyebabkan pluyer akan turun ke bawah karena beratnya, sehingga katup akan menutup aliran *refrigerant*. Beberapa tipe dari komponen ini adalah :

- a. Solenoid dua jalan, jenis ini memiliki dua sambungan pipa, terdiri dari satu sambungan masuk dan satu sambungan keluar.
- b. Solenoid tiga jalan, jenis ini memiliki tiga sambungan pipa terdiri dari satu sambungan masuk dan dua sambungan keluar.
- c. Solenoid empat jalan atau dikenal dengan *reversing valve* banyak digunakan untuk *head pump*. Solenoid memiliki satu sambungan masuk dan tiga sambungan keluar.



Gambar 2.10 *Solenoid Valve* (Kusuma, 2014)

2. *Filter Dryer*

Filter dryer digunakan untuk menyaring kotoran pada *refrigerant* dan untuk membuang uap air yang mungkin belum terbuang pada sistem refrigerasi. *Filter dryer* dipasang pada *liquid line*, yang merupakan saluran penghubung antara tempat keluar kondensor dengan alat ekspansi (Stocker dkk, 1996).



Gambar 2.11 *Filter Dryer* (Kusuma, 2014)

3. *Sight Glass*

Sight glass berfungsi dalam pengamatan visual kondisi *refrigerant* pada *liquid line*. Apabila dijumpai gelembung pada *sight glass*, ditarik kesimpulan bila kondensasi pada kondensor tidak terjadi dengan baik. Warna yang terlihat pada alat ini dapat menunjukkan ada tidaknya uap air dalam *refrigerant* pada sistem refrigerasi.



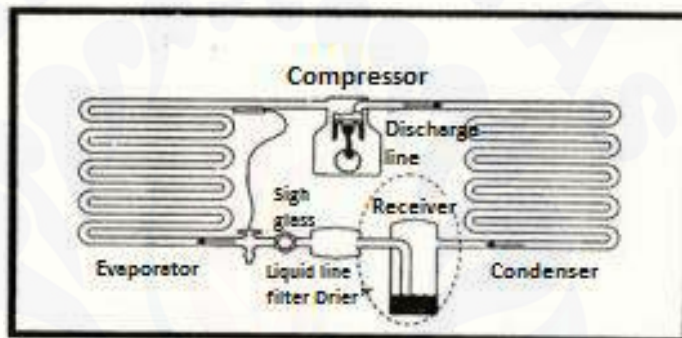
Gambar 2.12 *Sight Glass* (Kusuma, 2014)

4. Access Port / Service Valve

Komponen ini berfungsi untuk keperluan pemvakuman dan proses pengisian *refrigerant*. Dalam keperluan *pump down*, komponen ini juga dapat difungsikan.

5. Liquid Receiver

Komponen ini berfungsi untuk menampung *refrigerant* cair yang berasal dari kondensor. *Liquid receiver* dipasang pada liquid line sebelum *filter dryer* dan *sight glass*.



Gambar 2.13 *Liquid Receiver* (Sumber: Tampubolon dan Samosir, 2005)

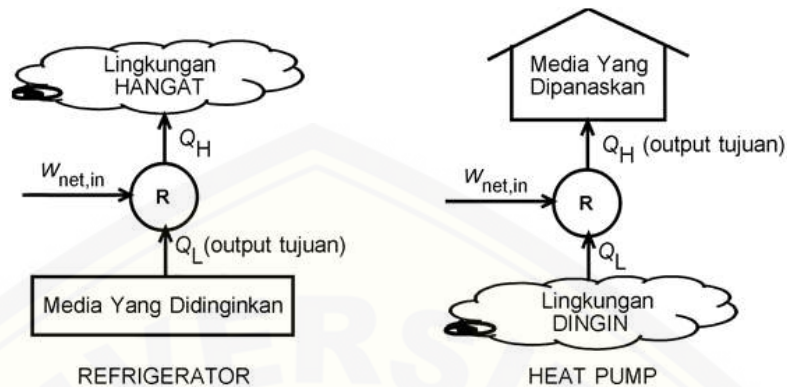
6. Accumulator

Alat ini digunakan sebagai alat bantu pada sistem refrigerasi yang digunakan sebagai penampung dan pemisah antara cairan *refrigerant* dan gas *refrigerant* yang masuk ke dalam kompresor, sehingga yang masuk kedalam kompresor semuanya berupa fase gas. Alat ini biasanya dipasang setelah evaporator dan sebelumnya kompresor.

2.3 Siklus Refrigerasi

Siklus ini berperan menstransfer kalor (panas) dari media dengan temperatur rendah ke media yang bertemperatur tinggi menggunakan kerja dari luar sistem. Prinsip kerja siklus ini kebalik (*heat engine*). Berdasarkan tujuan, alat dari siklus ini terdiri dari *refrigerator* yang berfungsi untuk mendinginkan median

dan *head pump* yang berfungsi untuk memanaskan media. Dibawah ini merupakan ilustrasi tentang *refrigerator* dan *head pump*.



Gambar 2.14 Gambar ilustrasi *refrigerator* dan *headpump*

(Tri Agung Rohmat, 2000)

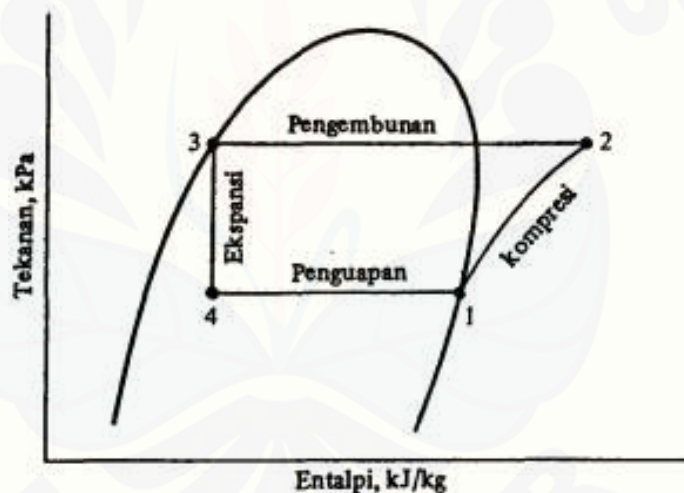
Siklus refrigerasi dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

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

Kinerja dari suatu *refrigerator* dan *head pump* dinilai dari besarnya koefisien kinerja (*coefficient of performance*) atau bisa disebut COP.

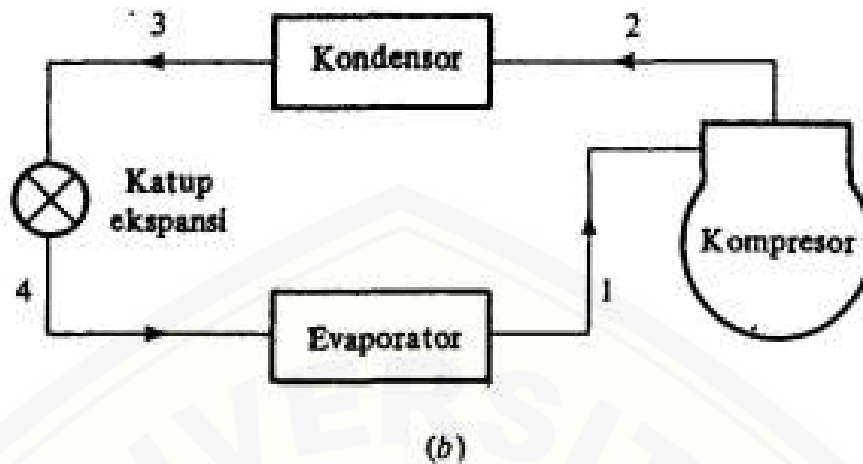
2.4 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Siklus ini adalah kebalikan dari siklus Carnot yang mengondisikan *refrigerant* menguap semuanya sebelum masuk kedalam kompresor dan dikompresikan. Disini *refrigerant* berada dalam kondisi uap jenuh yang masuk ke dalam kompresor, dan kemudian dikeluarkan dari kompresor dalam keadaan uap panas lanjut. *Refrigerant* kemudian masuk ke kondensor untuk melepas kalor yang selanjutnya terjadi proses kondensasi hingga kondisi cairan jenuh. Keluar dari kondensor, *refrigerant* masuk ke dalam katup ekspansi yang akan mengalami proses pengecilan (*throttling*) dan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan sehingga berubah menjadi campuran cair dan uap jenuh. Selanjutnya *refrigerant* masuk ke dalam evaporator untuk menangkap kalor yang menyebabkan terjadinya proses evaporasi sehingga mampu dilakukan kompresi lanjutan.



Gambar 2.15 Daur kompresi uap tekanan standar dalam diagram tekanan-entalpi (Stoecker dkk, 1996)

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



Gambar 2.16 Diagram Aliran (Stoecker, 1996)

Berikut ini merupakan penjelasan dari diagram p-h diatas :

a. Proses kompresi (1-2)

Pada proses ini berlasung *isentropic* adiabatik. Ketika *refrigerant* memasuki kompresor, *refrigerant* ada dalam kondisi uap jenuh bertekanan rendah. Setelah dikompresikan oleh kompresor berubah menjadi uap bertekanan tinggi (Adam 2012). Kerja kompresi merupakan perubahan entalpi pada proses 1-2 (Stoecker dkk, 1996). Kerja dari kompresor dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut :

$$W = (h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

Keterangan :

W = besarnya kerja kompresi yang dilakukan (kJ/kg)

h_1 = entalpi *refrigerant* saat masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = entalpi *refrigerant* saat keluar kompresor (kJ/kg), Stoecker dkk (1996).

b. Proses kondensasi (2-3)

Refrigerant dengan temperatur tinggi keluar dari kompresor menuju ke kondensator, yang selanjutnya didalam komponen ini terjadi pertukaran kalor antara *refrigerant* dengan udara, yang selanjutnya panas yang ada pada *refrigerant* pindah ke lingkungan atau pelepasan kalor oleh *refrigerant* yang akhirnya

mengembun menjadi fase cair (Adam, 2012). Nilai pelepasan kalor digunakan dalam perancangan kondensor serta digunakan dalam penghitungan besarnya aliran cairan pendingin kondensor (Stoecker dkk, 1996). Besar kalor per satuan massa *refrigerant* pada kondensor dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_c = (h_3 - h_2) \quad (2.2)$$

Keterangan :

Q_c = besarnya panas yang dilepas di kondensor (kJ/kg)

h_2 = entalpi *refrigerant* saat masuk kondensor (kJ/kg)

h_3 = entalpi *refrigerant* saat keluar kondensor (kJ/kg)

c. Proses Ekspansi (3-4)

Dalam proses ini tidak terjadi adanya penambahan dari entalpi, namun justru terjadi penurunan tekanan maupun temperatur. Pada proses ini *refrigerant* keluar kondensor dan menuju ke alat ekspansi atau pipa kapiler. *Refrigerant* dalam bentuk cair akan mengalami penurunan tekanan dan temperatur dikarenakan pipa kapiler berfungsi dalam pengaturan laju aliran *refrigerant* dan penurunan tekanan pada *refrigerant* (Adam, 2012). Proses tersebut berlangsung secara isoentalpi. Dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$h_3 = h_4 \quad (2.3)$$

Keterangan :

h_3 = entalpi *refrigerant* saat keluar kondensor (kJ/kg)

h_4 = entalpi *refrigerant* yang masuk pada evaporator (kJ/kg)

d. Proses Evaporasi (4-1)

Refrigerant cair bertekanan rendah di dalam evaporator, akan menyerap kalor (panas) dilingkungan, sehingga *refrigerant* di dalam evaporator akan berubah fasa menjadi fasa gas bertekanan rendah. Pada proses evaporasi terjadi proses secara isobar dan isothermal (Adam, 2012). Dampak refrigerasi adalah kalor yang dipindahkan pada proses 1-4 ini. Besarnya harga pada proses ini dinilai penting, dikarenakan hal ini merupakan tujuan utama dari penggunaan sistem

(Stoecker dkk, 1996). Besarnya kalor yang dapat diambil oleh evaporator dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_e = (h_1 - h_4) \quad (2.4)$$

Keterangan :

Q_e = besarnya kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg)

h_1 = harga entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = harga entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

e. Kinerja Mesin Pendingin

COP (*Coefficient of Performance*) diperoleh dari perbandingan efek refrigerasi dengan kerja kompresi. Koefisien prestasi adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi. Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi. Sistem refrigerasi dikatakan efisien jika memiliki nilai daya per-kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi memiliki koefisien prestasi pada sistem yang tinggi (Stoecker dkk, 1996). Nilai dari COP dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{COP aktual} = \frac{Q_e}{W} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (2.5)$$

Keterangan :

Q_e = dampak refrigerasi, (kJ/kg)

W = kerja kompresi, (kJ/kg).

h_1 = harga entalpi keluar evaporator (kJ/kg)

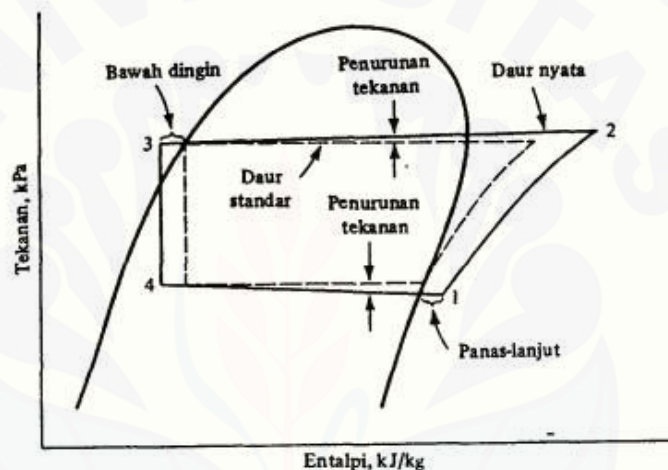
h_2 = harga entalpi keluar kompresor (kJ/kg)

h_4 = harga entalpi masuk evaporator (kJ/kg)

2.5 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

Pada siklus refrigerasi kompresi uap aktual uap *refrigerant* mengalami pemanasan lanjut melewati evaporator sebelum akhirnya memasuki kondensor.

Hal tersebut dapat terjadi karena peralatan ekspansi atau juga bisa pada penyerapan panas di *line suction* yang terletak diantara evaporator dan kompresor. Begitu juga dengan *refrigerant* cair yang mengalami pendinginan lanjut. Perbedaan antara daur teoritis dan aktual terletak pada penurunan tekanan kondensor dan evaporator. Secara teoritis tidak terjadi penurunan tekanan, namun pada kenyataannya terdapat penurunan tekanan *refrigerant* akibat gesekan dengan dinding pipa ketika *refrigerant* menuju ke evaporator. Sehingga kerja kompresor akan lebih keras (Hadianto, 2014).



Gambar 2.17 Siklus refrigerasi kompresi aktual (Sumber: Stoecker dkk. 1996)

Berikut adalah hal hal yang terjadi dalam siklus refrigerasi kompresi uap aktual :

- Refrigerant* sudah dalam kondisi uap panas lanjut sebelum masuk ke kompresor.
- Akibatnya cukup panjangnya pipa penghubung kompresor-evaporator akan mengakibatkan rugi tekanan. Rugi tekanan yang disertai peningkatan volume spesifik dari *refrigerant* membutuhkan power input yang lebih besar.
- Dalam proses kompresi ada rugi gesekan dan perpindahan kalor yang akan meningkatkan entropi (1-2) atau menurunkan entropi (1-2') dari *refrigerant* tergantung kepada arah perpindahan kalornya. Proses (1-2') lebih disukai karena volume spesifiknya turun sehingga power input bisa lebih kecil. Hal ini bisa dilakukan pendinginan dalam langkah kompresi.

- d. Di dalam kondenser akan terjadi juga rugi tekanan.
- e. *Refrigerant* dalam kondisi cairan terkompresi ketika masuk dalam katup ekspansi.

2.6 Refrigerant

Refrigerant diketahui sebagai fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Hal ini dikarenakan *refrigerant* yang digunakan memiliki efek pendinginan dan pemanasan pada mesin pendingin (Pudjanarsa dan Nursuhud, 2013). *Refrigerant* digunakan sebagai media pendingin yang cara kerjanya dengan menyerap kalor dari bahan lain seperti udara atau ruangan, sehingga *refrigerant* fasenya dapat berubah dari gas menjadi cair dan sebaliknya (Yunianto, 2005). Berikut ini merupakan persyaratan dalam pemilihan *refrigerant* yang harus diperhatikan antara lain :

1. Tekanan penguapan yang dimiliki harus tinggi.
 2. Kalor laten penguapan harus tinggi.
 3. Memiliki struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan dan diuapkan.
 4. Tidak bersifat korosif terhadap logam yang banyak digunakan terhadap sistem refrigerasi.
 5. *Refrigerant* tidak boleh beracun, berbau, dan tidak berwarna.
 6. *Refrigerant* tidak mudah terbakar dan meledak, bila bercampur dengan udara, minyak pelumas dan sebagainya.
 7. Mempunyai nilai konduktivitas thermal yang tinggi.
 8. Bila terjadi kecoran mudah dicari.
 9. Memiliki titik didih dan tekanan kondensasi yang rendah. Karena tekanan kondensasi yang tinggi membutuhkan kerja kompresor yang besar.
 10. Harganya tidak terlalu mahal dan mudah untuk didapatkan (Daryanto, 1983)
- Berdasarkan ASRE (*American Society of Refrigerating Engineers*), *refrigerant* dapat diklompokan sebagai berikut :

a. Senyawa Halokarbon

Refrigerant yang termasuk kelompok halokarbon adalah *refrigerant* yang mempunyai satu atau lebih atom dari salah satu halogen (klorin, flourin, dan bromin). Tabel dibawah ini menunjukkan jenis-jenis *refrigerant* senyawa halokarbon.

Tabel 2.1 Penomoran *Refrigerant* Halokarbon

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
R-11	Trikloromonofluorometana	CCl_3F
R-12	Diklorodifluorometana	CCl_2F_2
R-13	Monoklorotrifluorometana	CClF_3
R-22	Monoklorodifluorometana	CHClF_2
R-40	Meniklorida	CCH_3Cl
R-113	Triklorotrifluoroetana	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
R-114	Diklorotetrafluoroetan	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

(Sumber: Stoecker dkk, 1996)

Sistem penomoran didalam kelompok halokarbon mengikuti pola berikut: angka pertama dari kanan menunjukkan jumlah flourin dalam ikatan, angka kedua dari kanan menunjukkan jumlah atom hidrogen ditambah angka satu, dan angka ketiga dari kanan menunjukkan jumlah atom karbon dikurangi satu (Stoecker dkk. 1996).

b. Senyawa Hidrokarbon

Terdapat beberapa senyawa hidrokarbon yang baik jika digunakan sebagai *refrigerant* pada sistem refrigerasi, khususnya dipakai pada industri perminyakan dan petrokimia. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan jenis senyawa hidrokarbon.

Tabel 2.2 Senyawa Hidrokarbon

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
50	Metana	CH ₃
170	Etana	C ₂ H ₆
290	Propana	C ₃ H ₈

(Sumber. Stocker dkk, 1996)

c. Senyawa Anorganik

Penggunaan senyawa anorganik pada awal perkembangan *refrigerant*, dalam perkembangannya sekarang, *refrigerant* dengan senyawa anorganik sedikit yang menggunakannya. Dibawah ini adalah tabel yang menunjukkan jenis senyawa organik.

Tabel 2.3 Senyawa Anorganik

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
717	Ammonia	NH ₃
718	Air	H ₂ O
729	Udara	-
744	Karbon dioksida	CO ₂
764	Sulfur dioksida	SO ₂

(Sumber. Stocker dkk, 1996)

d. Azeotrop

Suatu campuran azeotrop dua substansi tidak dapat dipisahkan menjadi komponen-komponen yang menyusunnya dengan cara destilasi. Azeotrop dapat menguap maupun mengembun sebagai suatu substansi tunggal yang memiliki sifat berbeda dari unsur pembentuknya. Jenis azeotrop yang banyak diketahui

yaitu *refrigerant* 502, yang adalah campuran dari 48.8% *refrigerant* 22 dan 51.2% *refrigerant* 115 (Stoecker dkk. 1996).

2.6.1 Freon dan Jenis-Jenis Freon

Freon merupakan *refrigerant* yang banyak dimanfaatkan sebagai fluida dalam penyerapan beban pendingin ruangan yang akan didinginkan. Ada beberapa jenis freon yang umum digunakan sebagai berikut :

a. CFC (*Chlorodifluorocarbon*)

CFC adalah senyawa yang mengandung klorin, fluor, dan karbon dan tidak mengandung hidrogen. *Refrigerant* ini membawa sejumlah kaporit yang tinggi sehingga dikenal sebagai *refrigerant* yang berbahaya yang dapat menyebabkan kerusakan ozon dan pemanasan global. Contoh dari *refrigerant* CFC ini antara lain R11, R12, R13, R500, R502, dan lain sebagainya.

b. HCFC (*Hydrochloroflourocarbon*)

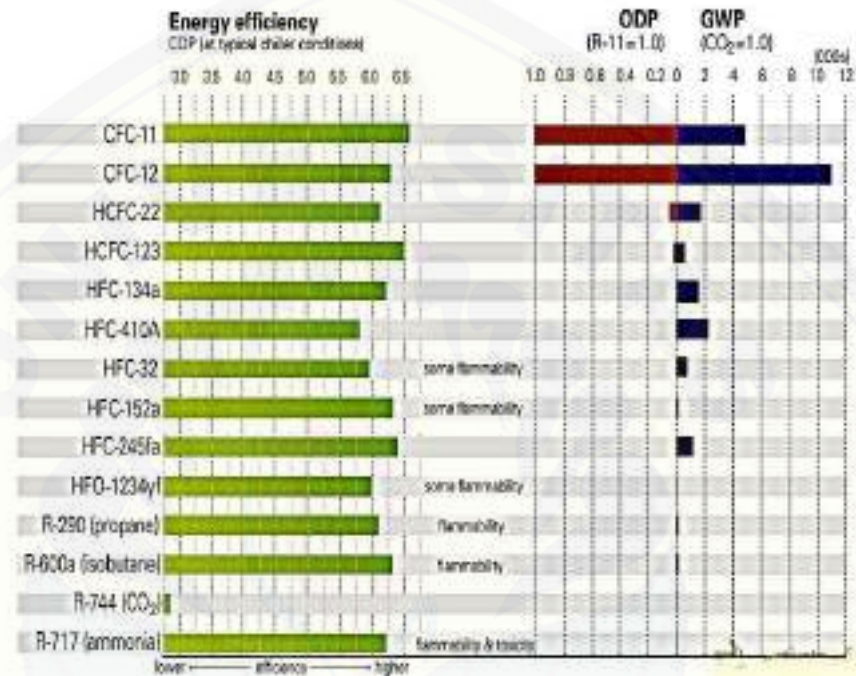
HCFC merupakan senyawa haloalkana dimana tidak semua hidrogen yang dikandungnya tergantikan oleh klorin atau fluor. *Refrigerant* ini terdiri dari hidrogen, klorin, fluorin dan karbon. *Refrigerant* HCFC mengandung jumlah klorin yang minimal, sehingga tidak merusak lingkungan karena berbeda dengan jenis *refrigerant* lain. HCFH digunakan sebagai pengganti CFC karena memiliki sifat merusak lapisan ozon yang rendah. Contoh dari *refrigerant* ini adalah R22, R123, R401A, R403A, R408A dan lain sebgainya.

c. HFC (*Hydrocfluorocarbon*)

Refrigerant ini tidak memiliki klorin yang dikenal sebagai senyawa perusak. HFC memiliki unsur hidrogen, fluor dan karbon. *Refrigerant* ini tidak menyebabkan kerusakan lapisan ozon dan mempunyai nilai ODP dan GWP yang rendah. Contoh dari *refrigerant* ini adlah R123A, R404A, R407C, R507, dan lain sebagainya.

d. HC (*hydrocarbon*)

Hidrokarbon merupakan senyawa organik yang terdiri dari hidrogen dan karbon. Meskipun *refrigerant* ini tidak mempunyai efek buruk pada lingkungan namun sayangnya memiliki efek tidak baik terhadap penggunanya. Hal ini dikarenakan *refrigerant* ini memiliki sifat mudah terbakar. Contoh dari *refrigerant* ini adalah propana, ethane, iso butana, dan lain sebagainya.



Gambar 2.18 Nilai ODP dan GWP *refrigerant* (sumber : Trane, 2012)

Keuntungan menggunakan *refrigerant* hidrokarbon :

1. *Refrigerator* ini memiliki sifat fisika dan termodinamika yang lebih baik dibandingkan *refrigerator* lain.
2. Tidak merusak lingkungan termasuk lapisan ozon serta tidak menyebabkan terjadinya efek rumah kaca.
3. Banyak digunakan dalam kehidupan manusia
4. Kompatibel terhadap semua mesin pendingin yang biasa memakai *refrigerant* sintesis.
5. Komponen mesin refrigerasi tidak dirusak.

6. Secara teknis layak menjadi pilihan yang aman, dan efisien untuk aplikasi pendingin dan pemanasan.

e. Natural

Merupakan *refrigerant* yang langsung digunakan dari alam. Contoh dari *refrigerant* ini adalah udara, amonia dan karbon dioksida (Rasta 2010).

2.7 LPG (*Liquid Petroleum Gas*)

2.7.1 Pengertian LPG

LPG berasal dari pengolahan minyak bumi. Menurut keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No.25K/36/DDJM/1990 spesifikasi LPG digolongkan menjadi tiga jenis yaitu LPG campuran (*mixed* LPG), LPG propana (*Priphene* LPG), dan LPG Butana (*Buthene* LPG). LPG yang banyak digunakan sebagai bahan bakar dan beredar dimasyarakat adalah LPG campuran, yang merupakan campuran dari Propana (C₃H₈) dan Butana (C₄H₁₀), LPG merupakan produk yang diedarkan oleh Pertamina Direktorat Pembekalan dan Pemasaran Dalam Negeri (Dit. PPDN) dan dipasarkan dengan merek dagang LPG. LPG memiliki komponen utama yaitu Propana (C₃H₈) dan Butana (C₄H₁₀). Selain itu, di dalam LPG terkandung senyawa hidrokarbon ringan dalam jumlah kecil, yaitu Etana (C₂H₆) dan Pentana (C₅H₁₂). Pada tabel 2.4 dijelaskan Spesifikasi LPG menurut SK Dirjen Migas No. 26525.K/10/DJM.T/2009.

2.7.2 Sifat – Sifat LPG

Sifat utama dari LPG adalah sebagai berikut :

- a. Cairan dan gas dari LPG merupakan zat yang sangat mudah terbakar.
- b. Gas LPG ini tidak memiliki racun, tidak memiliki warna dan memiliki bau yang menyengat.

- c. Gas dikirim dalam bentuk cairan yang bertekanan di dalam tangki atau silinder.
- d. Cairan bisa menguap dan menyebar dengan cepat.
- e. Gas ini jauh lebih berat dari pada udara sehingga akan banyak menempati daerah yang rendah.

Komponen – komponen utama dalam LPG mempunyai sifat fisik seperti terlihat pada tabel 2.4. Selain dari komposisi utama terdapat juga jumlah kecil senyawa sulfur, air dan terkadang sisa minyak dan tar. Hal yang menentukan dari komposisi LPG adalah bergantung kepada penggunaannya yang sesuai dengan spesifikasi LPG dari konsumen sehingga tiap presentasi komposisi dapat berubah-ubah dan kandungan kontaminan yang ada juga akan bervariasi (Haithami Achmad 2008).

Tabel 2.4 Sifat Fisika Komponen Utama LPG

	Titik Didih (101,3 kPa), °C	Tekanan Uap	Densitas Cairan (tekanan jenuh) (15,6 oC), kg/m³	Nilai Kalor kotor (25oC), kJ/kg
Propane	- 42,1	1.310	506,0	50.014
Propena	- 47,7	1.561	520,4	48.954
n-butana	- 0,5	356	583,0	49.155
Isobutana	- 11,8	498	561,5	49.051
I-butena	- 6,3	435	599,6	48.092
<i>Cis</i> -2- butena	3,7	314	625,4	47.941
<i>Trans</i> -2- butena	0,9	343	608,2	47.878
Isobutena	- 6,9	435	600,5	47.786

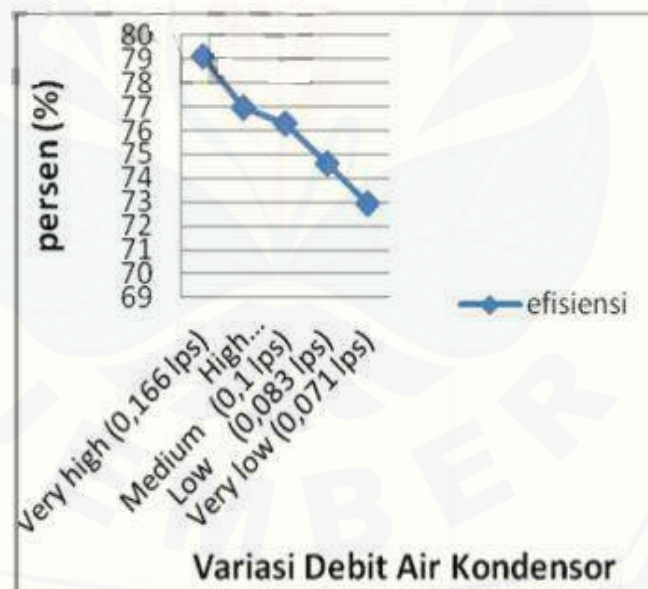
Sumber (Mochamad Haithami Achmad, 2008)

2.8 Penelitian Sebelumnya

Berikut ini merupakan rangkuman beberapa riset yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang berkaitan dengan mesin pendingin kulkas :

2.8.1 Uji Peformasi Sistem Refrigerasi Dengan Variasi Debit Air Pada *Water-Cooled Condenser*

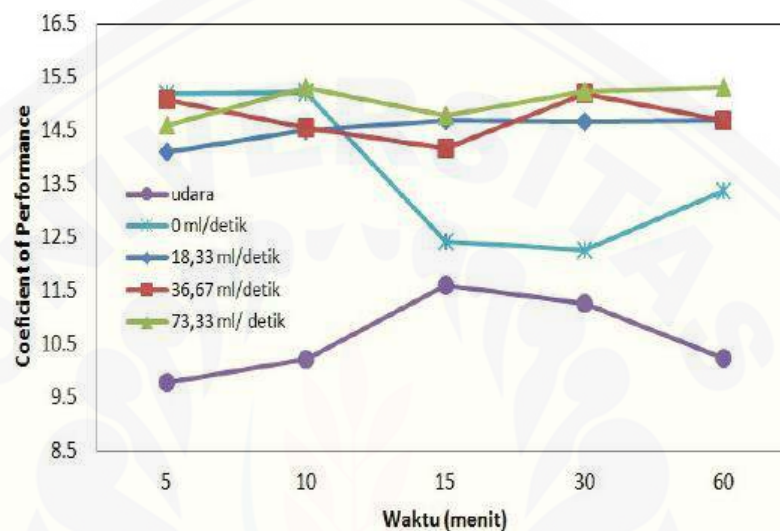
Sutandi (2011) melakukan penelitian untuk mengetahui performa sistem refrigerasi dengan menggunakan *water cooled condenser*. Pada penelitian ini digunakan lima variasi debit air pendingin yaitu 100%, 90%, 80%, 70% dan 60%. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Penurunan debit setiap 10% akan menghasilkan penurunan rata-rata efek refrigerasi sebesar 25% dan penurunan COP sebesar 5,1%. Penurunan efek refrigerasi terbesar pada debit 80% ke 70%. Hasil penelitian ini pada *water cooled condenser* tidak disarankan debit air turun hingga 70%, dikarenakan dapat menurunkan kinerja sistem refrigerasi yang cukup besar.



Gambar 2.19 Grafik antara variasi debit air kondensor dan efisiensi

2.8.2 Pengaruh Penggunaan Water Cooled Condenser Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG

Pradana (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan *watercooled* kondensator dan menggunakan *refrigerant* yaitu LPG, dengan menggunakan variasi laju aliran air 0 ml/detik, 18,33 ml/detik, 36,67 ml/detik dan 73,33 ml/detik dan waktu pengambilan data yaitu 5, 10, 15, 30, 60 menit. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

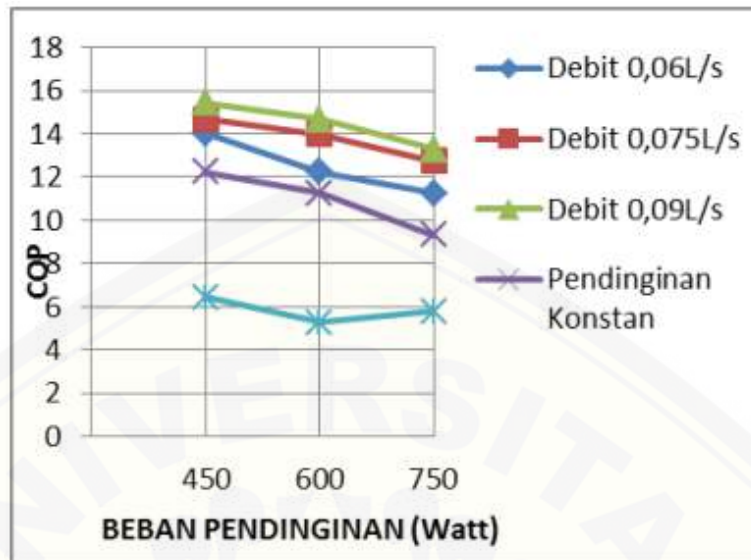


Gambar 2.20 Grafik antara COP dan waktu

Hasil yang didapatkan yaitu COP (*Coeffisien of performance*) tertinggi pada laju aliran air 73,33 ml/detik yaitu rata-rata sebesar 1.195. dapat disimpulkan bahwa penggunaan pendingin kondensator dengan media air terbukti dapat meningkatkan *refrigerant* lebih cepat daripada kondensator dengan media pendingin udara, kemudian dengan laju aliran air 73,33 ml/detik akan menghasilkan nilai COP yang besar dikarenakan efek refrigerasi dan kerja kompresi yang kecil.

2.8.3 Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensator Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin

Kemas (2014) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh media pendingin air pada kondensator terhadap kemampuan kerja mesin pendingin. Penelitian ini menggunakan variasi debit aliran air dan beban pendinginan yaitu 0,06 l/s, 0.075 l/s dan 0.09 l/s, dengan variasi beban pendinginan yaitu 450W, 600W, 750W. hasil dari penelitian ini seperti ditunjuka pada gambar dibawah ini



Gambar 2.21 Grafik debit aliran air, beban pendingin dan COP

Hasil dari penelitian menunjukkan COP yang tertinggi yaitu 15,43 terjadi pada kondensor peningin air dengan beban 450W pada debit 0.09 l/s, sedangkan dengan pendingin udara COP yaitu 6,44 pada beban 450W. Kesimpulan yang didapatkan adalah kondensor dengan pendingin air memiliki COP lebih tinggi daripada kondensor dengan pendingin udara.

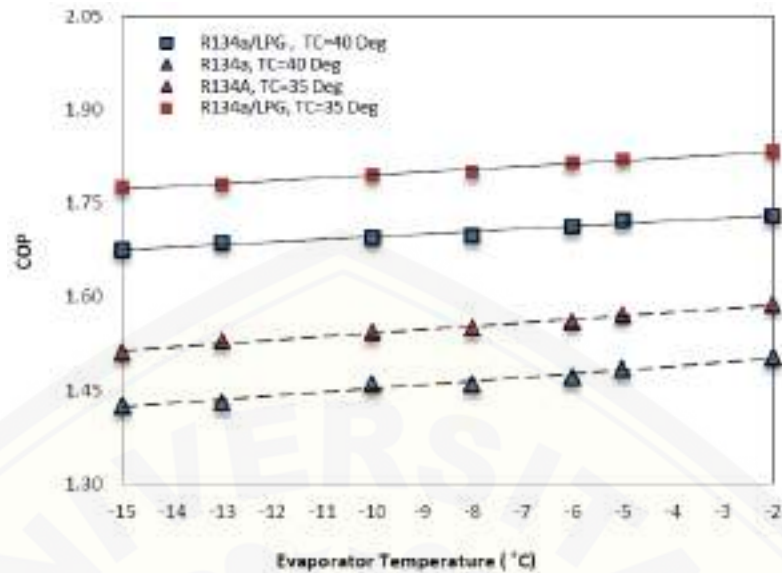
2.8.4 Performance Evaluation of Conventional Domestic Refrigerator Retrofitted With Water Cooled Condenser

Er. Rahul Patel, Er. Ramji Tripathi dan Sukhdev Gangwar (2015) melakukan penelitian dengan membandingkan kondensor dengan media pendingin udara dan kondensor dengan media pendingin air. Hasil penelitian menunjukkan kerja kompresor meningkat dari 220-250 psi ketika menggunakan kondensor dengan media pendingin udara. Sedangkan dengan menggunakan kondensor dengan media pendingin air kerja kompresor didapatkan sebesar 110-120 pasi. Daya kompresor meningkat sebsar 0.390 kWh selama 150 menit menggunakan kondensor dengan media pendingin udara, sedangkan pada waktu 145 menit daya kompresor sebesar 0,230 kWh menggunakan kondensor dengan media pendingin air. Secara teoritis COP 90% lebih baik ketika menggunakan

kondensor dengan media pendingin air. Setelah waktu 22 jam temperatur pada kondensor dengan media pendingin air meningkat dari 360°C sampai 310°C. dapat disimpulkan bahwa penggunaan kondensor dengan media pendingin air lebih baik dibandingkan dengan kondensor dengan media pendingin udara.

2.8.5 Energy Analysis of Vapour Compression Refrigean System Using Mixture of R134a and LPG as Refrigerant

Jantinder Gill dan Jagdev Singh (2017) melakukan penelitian dengan membandingkan penggunaan *refrigerant* LPG dan campuran LPG dan R-134a dengan variasi massa *refrigerant* dan panjang pipa kapiler. Hasil penelitian menunjukkan ketika menggunakan *refrigerant* campuran LPG dan R134a harus memperpanjang pipa kapiler dan pengurangan isi *refrigerant*, masing-masing 64,21% dan 49,45% untuk mencapai koefisien kinerja yang maksimum. Konsumsi daya kompresor dengan *refrigerant* campuran R-134a dan LPG (118g dengan panjang tabung kapiler 5.1m) ditemukan lebih rendah dari R134a (240g dengan panjang tabung kapiler 3.1m) yaitu sekitar 3,83-8.08% dari seluruh rentang suhu evaporator serta kondensor. Koefisien dari kinerja sistem dengan menggunakan campuran *refrigerant* R134a dan LPG (118g, 5.1m dengan panjang tabung kapiler) ditemukan lebih tinggi daripada R134a (240g, 3.1m dengan panjang tabung kapiler) pada sistem yaitu sekitar 15.1-17.82% dari seluruh rentang suhu evaporator serta kondensor, dikarenakan kapasitas pendinginan yang lebih tinggi dan kompresi kurang bekerja. Kapasitas sistem pendingin menggunakan campuran antara R134a dan LPG (118g, 5.1m dengan panjang tabung kapiler) lebih tinggi dari R134a (240g, 3.1m dengan panjang tabung kapiler) yaitu sekitar 7.04-11.41% atas seluruh rentang suhu evaporator serta kondensor, ini dikarenakan panas laten lebih tinggi. Setelah 1000 jam operasi, sekitar 40 ml pelumas hilang. Suhu inlet dan outlet dengan *refrigerant* campuran antara R134a dan LPG tidak mempengaruhi kinerja evaporator. Gambar di bawah ini menunjukkan hubungan antara COP dan temperatur pada evaporator.



Gambar 2.22 Grafik hubungan anatar COP dan temperatur pada evaporator dengan *refrigerant* R134a/LPG dan R134a.

2.9 Hipotesis

- Laju aliran air pendingin pada kondensor berbanding lurus dengan pelepasan kalor pada kondensor. Semakin besar laju aliran air pendingin maka semakin besar pelepasan kalor yang terjadi pada kondensor, sehingga dampak refrigerasi ($h_1 - h_4$) akan naik maka akan membuat COP akan lebih baik.
- Penggunaan *separation condenser* akan membuat kerja kondensor menjadi optimal, dikarenakan fasa *refrigerant* akan terpisah yang diakibatkan gaya gravitasi dan properti dari refrigerant. Hal itu akan menyebabkan dampak refrigerasi ($h_1 - h_4$) akan naik dan kerja kompresi ($h_2 - h_1$) akan turun sehingga COP akan lebih baik.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan menambahkan media pendingin air pada kondensor biasa dan kondensor separasi dengan menggunakan *refrigerant* LPG (*Liquid Petroleum Gas*). Variasi yang digunakan yaitu dengan variasi laju aliran air pendingin pada kondensor dan mengganti kondensor biasa menjadi kondensor separasi. Air pendingin pada kondensor di letakan pada sebuah wadah berbentuk balok yang terbuat dari kaca, kemudian kondensor biasa dan kondensor separasi diletakan didalam wadah tersebut. Berdasarkan data yang didapatkan dalam penelitian maka dapat menghitung kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dampak refrigerasi, COP (*Coefficient of Performance*) dan daya kompresor pada setiap variasi laju aliran air pendingin dan model kondensor yang telah ditentukan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan rencana kerja yang telah disusun untuk kelancaran penelitian. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Februari sampai bulan April 2017.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Alat dan Instrumen Penelitian

- a. Lemari es satu pintu, menggunakan satu evaporator.

- b. Kondensor standar 10U dan kondensor separasi dengan media pendingin menggunakan air.
- c. Pompa air aquarium.
- d. Instalasi pipa dan *Valve*.
- e. Termokopel tipe K, sebagai alat pengukur suhu.
- f. *Pressure gauge*, sebagai alat pengukur tekanan.
- g. *Flow meter* pengukur debit *refrigeran*.
- h. Clam meter untuk mengukur arus.
- i. *Manifold* sebagai alat pengisi *refrigerant*.
- j. Bak penampung air sebagai tendon.
- k. Bak penampung air terbuat dari kaca sebagai tempat pendinginan kondensor.
- l. Gelas ukur.
- m. Metil dan kuas dan sabun untuk mengetahui kebocoran pada sistem.
- n. Manometer.
- o. *Stopwatch*.

3.1.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah air dan fluida kerja atau *refrigerant* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu LPG. LPG memiliki karakteristik seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4 yang menunjukkan spesifikasi LPG.

3.1.3 Spesifikasi Refrigerator

Refrigerator untuk penelitian ini merupakan refrigerator yang sudah tersedia di laboratorium konversi energi di kampus Patrang. Spesifikasi refrigerator dapat dilihat dari tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Refrigerator*

Spesifikasi Komponen	
Daya Kompresor	86 W
Tipe Kompresor	Hermatic
Volume Refrigerator	Net. 155 Liter Gross : 163 Liter
Nominal Electrical Input	68 W. 220 V

3.1.4 Spesifikasi Pompa

Spesifikasi pompa dapat dilihat pada tabel dibawah ini



Gambar 3.1 Pompa Aquarium

Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa

Jenis	Aquarium Internal Filter
Nominal Eletrical Input	AC 220 V – 240 V, 50 – 60 Hz
Qmax	1600 L/jam
Daya	25 W
Hmax	1,5 m

3.4 Variabel Penelitian

Variabel pada dasarnya merupakan semua yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari, sehingga memperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan (Perdana, 2014).

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan oleh peneliti sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu :

- Laju aliran air pendingin kondensor sebesar 4.07 ml/s, 24.54 ml/s dan 53.3 ml/s.
- Merubah desain kondensor biasa 10U menjadi *separation condenser*.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang tidak bisa ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya variabel tersebut tergantung pada variable bebasnya. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu :

- Temperatur
- Tekanan
- Entalpi
- Arus
- Debit *Refrigerant*

f. Densitas *Refrigerant*.

3.5 Prosedur Penelitian

Dalam pelaksanaan pengujian dilakukan dengan prosedur yang tepat, oleh karena itu peneliti harus merencanakan prosedur pengujian sebelum melakukan pengujian.

3.5.1 Persiapan Alat Pengujian

Alat yang akan digunakan adalah yang sudah dicantumkan dalam subab sebelumnya, untuk persiapan alat pengujian yaitu dengan merangkai ulang instalasi perpipaan pada refrigerator sesuai dengan kebutuhan pengujian. Pengujian menggunakan kulkas satu pintu, pada instalasi kulkas akan dipasang *pressure gauge* untuk mengetahui tekanan pada sisi sebelum kompresor, setelah kompresor dan setelah kondensor.

3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui kelengkapan alat pengujian dan juga komponen mesin pendingin sebelum melakukan pengujian. Setelah melakukan pemeriksaan akan dilakukan pemvakuman pada saluran *refrigerant* untuk memastikan tidak ada sisa dalam sistem refrigerasi. Setelah dilakukan pemvakuman dan dapat dipastikan tidak ada udara yang tersisa pada sistem refrigerasi, maka dilakukan proses pengisian *refrigerant* menggunakan LPG.

3.5.3 Tahapan Pengambilan Data

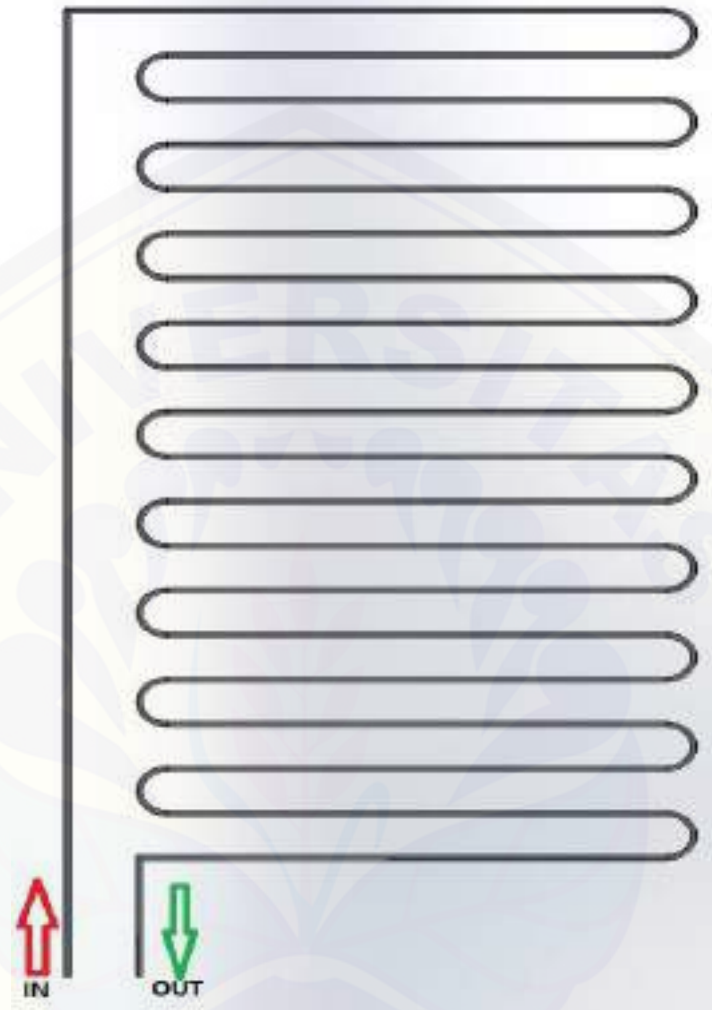
Tahap pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel yang akan di ukur dalam pengujian. Proses pengujian akan dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a. Pertama yaitu dengan merangkai semua komponen mesin pendingin dengan benar yaitu meliputi kompresor, kondensor dengan media pendingin air, pipa kapiler, evaporator dan komponen pendukung mesin pendingin yang lain.
- b. Kemudian memasang instalasi saluran air pada bak dan tandon air.
- c. Setelah itu pemasangan alat ukur suhu (termokopel), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah ditentukan untuk diukur.
- d. Melakukan pemvakuman untuk menghilangkan sisa-sisa udara yang ada pada siklus refrigerasi.
- e. Kemudian melakukan pengisian *refrigerant* dengan tekanan secukupnya untuk mengecek kebocoran pada sistem.
- f. Melakukan pengisian *refrigerant* dan metil dalam keadaan alat uji menyala, *refrigerant* yang digunakan yaitu LPG.
- g. Setelah semua sudah dipastikan siap, selanjutnya menjalankan alat uji sampai keadaan *steady* yaitu 3 jam.
- h. Melakukan percobaan dengan memvariasikan laju aliran air pendingin pada kondensor standar sebesar 4.07 ml/s, 25.54 ml/s, 53.3 ml/s dengan cara memutar valve pada titik kecepatan aliran air yang sudah ditentukan untuk membatasi kecepatan aliran air, dan mencatat suhu serta tekanan pada titik yang sudah ditentukan.
- i. Mencatat tekanan, temperatur dan debit yang ditunjukkan oleh alat ukur pada semua titik yang telah ditentukan.
- j. Setelah selesai menggunakan kondensor biasa dengan media pendingin air, kemudian memasang kondensor separasi dengan media pendingin air.
- k. Kemudian memasang instalasi saluran air pada bak dan tendon air.
- l. Setelah itu pemasangan alat ukur suhu (termokopel), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah ditentukan untuk diukur.
- m. Setelah semua dipastikan siap, selanjutnya menjalankan alat pengujian sampai sistem keadaan *steady*.

- n. Melakukan percobaan dengan memvariasikan laju aliran air pendingin pada kondensor separasi sebesar 4.07 ml/s, 24.54 ml/s, 53.3 ml/s dengan cara memutar valve pada titik kecepatan aliran air yang sudah ditentukan untuk membatasi kecepatan aliran air, dan mencatat suhu serta tekanan pada titik yang sudah ditentukan.
- o. Mencatat tekanan dan temperatur yang ditunjukkan oleh alat pengukur tekanan dan suhu pada semua titik yang telah ditentukan.
- p. Perhitungan data dan sebagian menggunakan *software coolpack*.

3.6 Gambar Kondensor dan Rangkaian Mesin Pendingin

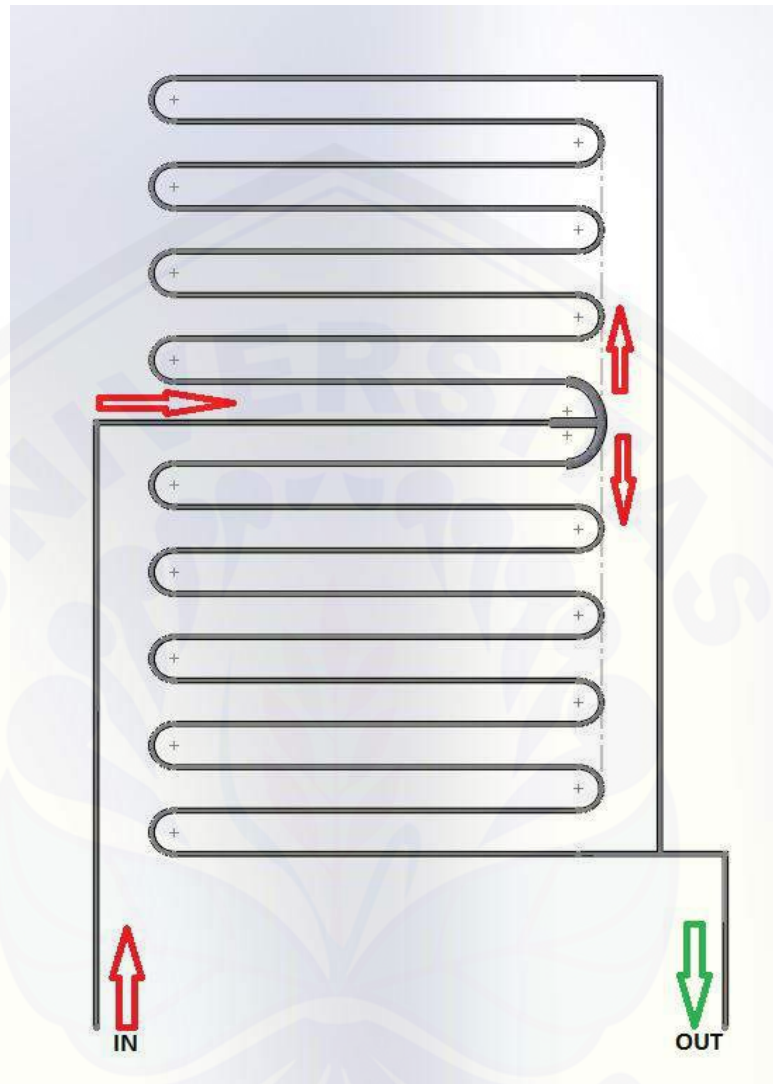
Gambar kondensor dan rangkaian skema alat pengujian mesin pendingin dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.2 Desain Kondensor Biasa

Spesifikasi kondensor :

- Tipe : Kondensor 10 U
- Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)
- Diameter dalam : 4.0025 mm
- Panjang pipa : 1050 cm



Gambar 3.3 Desain Kondensor Separasi

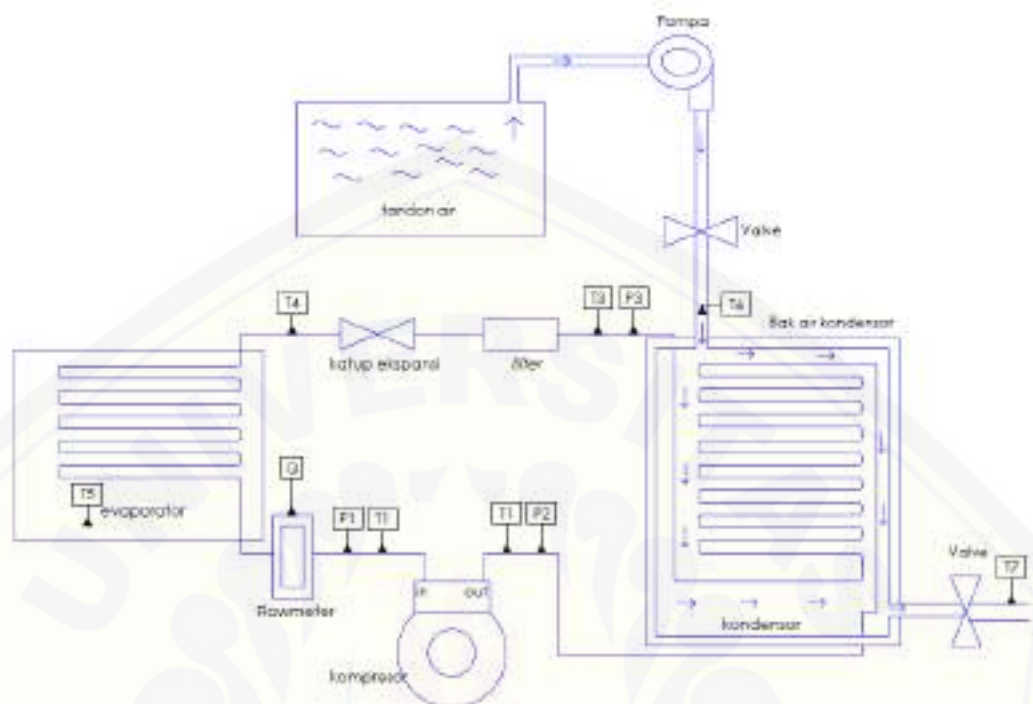
Spesifikasi kondensor :

Tipe : Kondensor Separasi

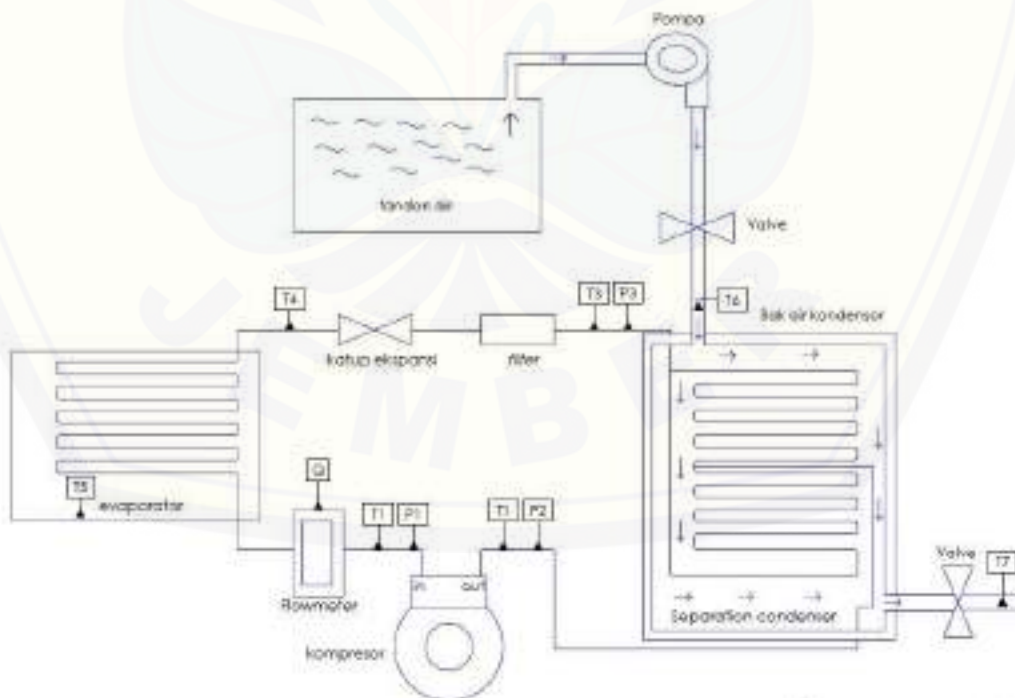
Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)

Diameter dalam : 4.0025 mm

Panjang Pipa : 1050 cm



Gambar 3.4 Skema rangkaian mesin pendingin dengan kondensor biasa



Gambar 3.5 Skema rangkaian mesin pendingin dengan kondensor separasi

Tabel 3.4 Contoh data yang akan di ambil (kondensor separasi dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (4.07 ml/s, 324.54 ml/s, 53.3 ml/s)

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0										
10										
20										
30										
40										
50										
60										
70										
80										
90										
100										
110										
120										

3.8 Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengambilan data, maka diperoleh data temperature dan tekanan pada sistem. Langkah selanjutnya adalah pengolahan dengan cara berikut ini :

- Mencari nilai entalpi pada sistem dai suhu yang telah didapatkan dengan menggunakan tabel *thermodynamic properties* dan *coolpack software*.

Tabel 3.5 Hasil entalpi dari data (kondensor biasa dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (ml/detik)

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
110				
120				

Tabel 3.6 Hasil entalpi dari data (kondensor separasi dengan pendingin air) dengan laju aliran air pendingin (ml/detik)

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0				

10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

b) Setelah nilai entalpi didapatkan, maka dapat diperoleh :

1. Kerja kompresi (kJ/kg)

$$W = (h_2 - h_1)$$

2. Dampak refrigerasi (kJ/kg)

$$Q_e = (h_1 - h_4)$$

3. Pelepasan kalor (kJ/kg)

$$Q_c = (h_3 - h_2)$$

4. Kapasitas Refrigerasi (kW)

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

5. Laju pelepasan kalor pada bak kondensor (kJ/s)

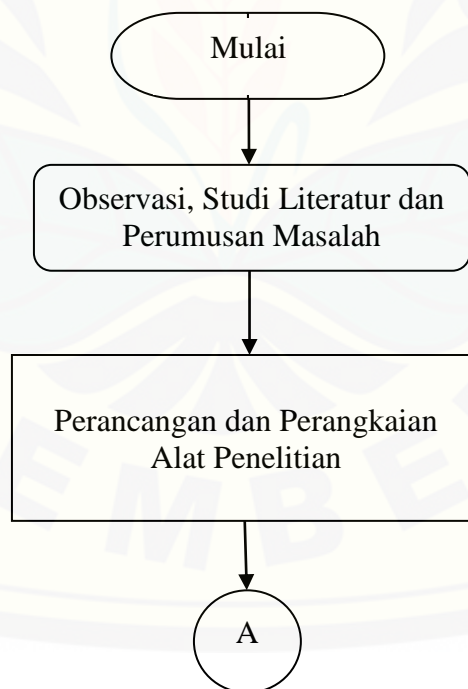
$$Q = \dot{m} C \Delta t$$

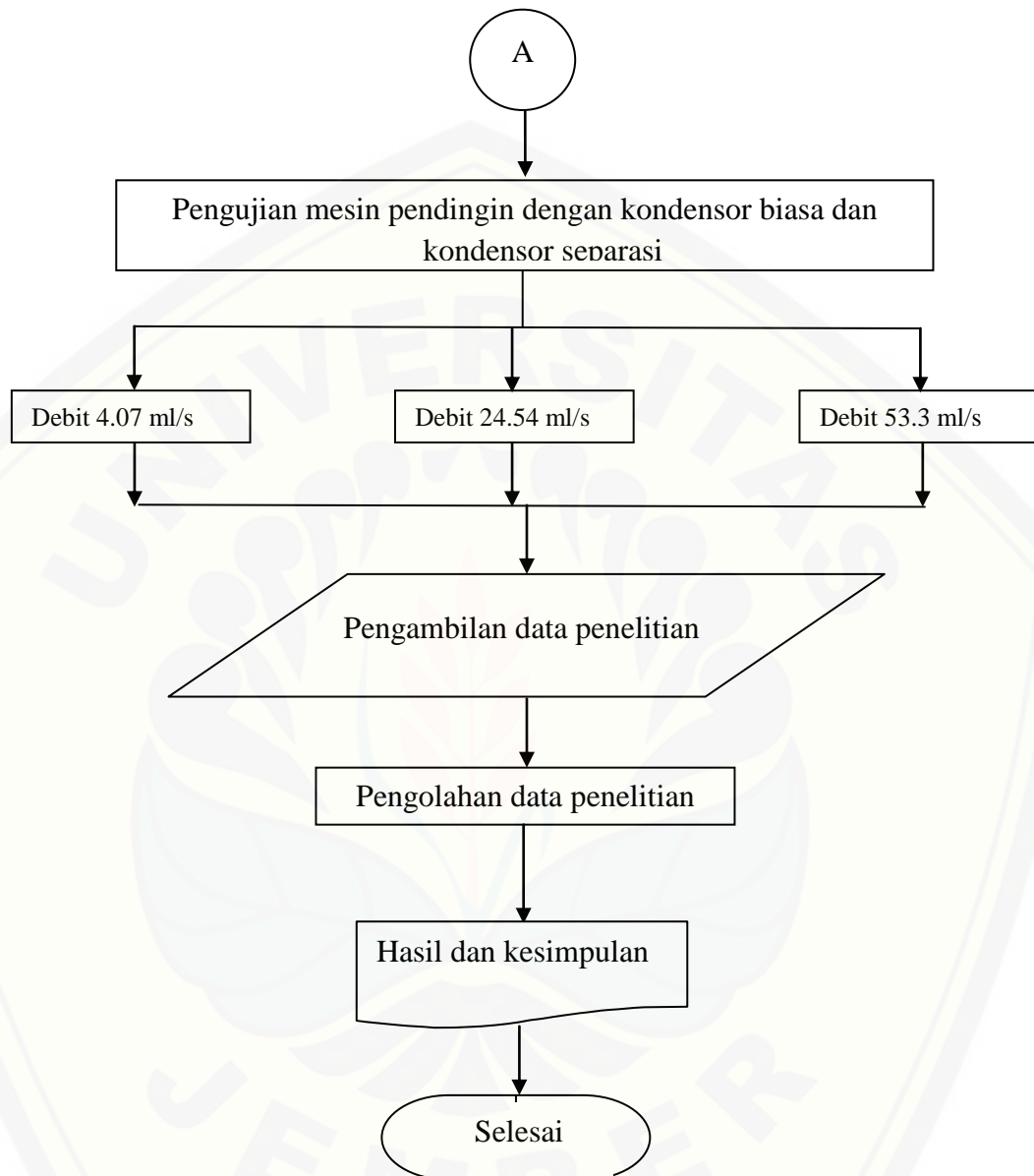
6. COP (*Coeffisient of Performance*)

$$\text{COP} = \frac{(h1 - h4)}{(h2 - h1)}$$

3.9 Diagram Alir Penelitian

Dibawah ini ditunjukkan diagram alir proses penelitian





Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang variasi laju aliran air pendingin pada kondensor dan variasi model kondensor maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan variasi laju aliran air pendingin memberikan pengaruh pada COP (*Coefficient of Performance*) mesin pendingin kulkas. Pada kondensor separasi COP tertinggi terdapat pada laju aliran air pendingin 53.3 ml/s yaitu 7.21. Sedangkan nilai COP terendah pada kondensor separasi terdapat pada laju aliran air pendingin 24.54 yaitu 6.29. Pada kondensor biasa nilai COP (*Coefficient of Performance*) terbaik ada pada laju aliran air pendingin 53.3 ml/s dengan nilai sebesar 7.42. Sedangkan nilai COP paling rendah ada pada laju aliran air pendingin 4.07 pada kondensor biasa dengan nilai 6.81. Hal ini dikarenakan pada laju aliran air pendingin yang tinggi memiliki dampak refrigerasi yang besar dan kerja kompresi yang rendah. Kesimpulannya semakin besar laju aliran air pendingin maka semakin besar nilai COP pada mesin pendingin. Semakin besar laju aliran air pendingin maka semakin besar kalor yang dilepaskan oleh kondensor sehingga temperatur kondensor menjadi rendah. Temperatur kondensor rendah membuat nilai COP naik, sehingga performa mesin pendingin menjadi baik.
2. Penggunaan variasi kondensor dengan menggunakan kondensor separasi membuat COP dari mesin pendingin lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan kondensor biasa. Nilai COP tertinggi kondensor separasi adalah 7.21 pada laju aliran air pendingin yang sama yaitu 53.3 ml/s, nilai ini lebih rendah 2.8 % jika dibandingkan dengan COP tertinggi pada kondensor biasa yaitu 7.42. Hal ini dikarenakan pelepasan kalor pada kondensor separasi tidak optimal sehingga memiliki dampak refrigerasi yang rendah dan kerja kompresi yang tinggi jika dibandingkan dengan kondensor biasa. Kesimpulannya kondensor dengan tipe separasi memiliki nilai COP mesin

pendingin lebih rendah jika dibandingkan dengan kondensor biasa. Hal ini dikarenakan peletakan kondensor separasi yang horizontal menyebabkan fasa tidak dapat terpisah, kemudian *refrigerant* dalam kondensor separasi terlalu cepat bersirkulasi sehingga kontak dengan media pendingin sedikit yang menyebabkan pelepasan kalor kurang optimal.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang variasi laju aliran air pendingin pada kondensor dan variasi model kondensor maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengujian kondensor separasi dengan mengubah posisi kondensor secara vertikal, sehingga dapat diketahui fasa dari *refrigerant* dapat terpisah secara sempurna atau tidak.
2. Desain kondensor separasi sebaiknya menggunakan *header* sehingga terdapat ruang untuk *refrigerant* agar dapat terpisah dengan baik.
3. Dalam penggunaan *water cooled* sebaiknya digunakan tempat yang tertutup, sehingga laju perpindahan kalor tidak terpengaruh oleh temperatur dari luar dan kelembapan dari luar.
4. Dalam memodifikasi sebaiknya menghindari penyambungan pipa terlalu banyak karena dapat menyebabkan filler masuk ke dalam pipa. Hal tersebut dapat menyebabkan kerja kompresi menjadi naik.
5. Penelitian ini masih terbatas dalam 3 variasi laju aliran air pendingin, sehingga belum mengetahui nilai COP maksimal pada laju aliran yang lebih besar. Diharapkan melakukan penelitian lebih lanjut tentang variasi laju aliran air pendingin yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

Adam, Caesar. 2012. Uji Performansi Refrigerasi Kompresi Udara pada Seed Storage. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung.

ASHARE. 2005. *Handbook Fundamentals, American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, GA.*

Daryanto, 1983. Ikhtisar Praktis Teknik Pendingin. TARSITO. Bandung.

El-Mosri, Mohamed. 8 April 2015. "Energy and exergy analysis of LPG (liquefied petroleum gas) as a drop in replacement for R134a in domestic refrigerators". *Energy*. Vol. 86. No. 344 – 353.

Fatimah, Siti. 2008. "Analisis Pengaruh Elevasi Aliran Pendingin Kondensor Terhadap Laju Perpindahan Kalor dan Efisiensi Kerja Mesin". Skripsi. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang.

Hadianto, Y. 2014. Redesign of Simple Refrigeration Simulator. *Tugas Akhir*. Semarang: Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Holman, J.P. 1984. Perpindahan Kalor (HEAT TRANSFER). Jakarta : Erlangga

Li, Jun dan Hrnjak, Pega. 2017. "Separation in condenser as a way to improve efficiency". *International journal of refrigeration*. No.17.

Li, Jun dan Hrnjak, Pega. 2017. Improvement of condenser performance by phase separation confirmed experimentally and by modeling. *International journal of refrigeration*. No.17.

- Karyanto, E. dan Paringga, Drs. Emon. 2003. Teknik Mesin Pendingin. Jakarta: CV. Restu Agung.
- K.D, Inayah Fatwa. 2009. “Pemanfaatan Gas Suar Bakar Untuk Produksi LPG”. Skripsi. Program Studi Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Kusuma, D.D.H. 2015. Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Line Suction terhadap Prestasi Mesin Pendingin dengan LPG sebagai Refrigeran. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Patel, Er. Rahul, dkk. 2016. “Performance Evaluation of Conventional Domestic Refrigerator Retrofitted With Water Cooled Condenser”. International Journal of Recent Scientific Research. Vol. 6. No. 4495 – 4504.
- Perkasa, Alfons E. 2013. Analisis Pengaruh Variasi Massa LPG sebagai Refrigeran terhadap Prestasi Kerja dari Mesin Pendingin Kompresi UAP. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati. 2013. Mesin Konversi Energi. Penerbit Andi.
- Perdana, Galla R. 2014. “ Pengaruh penggunaan *watercooled condenser* terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigerant LPG”. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Ridhuan, Kemas. 2014. Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro.
- Rasta, I Made. 2010. Evaluasi Pengelolaan Refrigeran CFC dan HFC dengan Mesin 3R dan Uji Unjuk Kerja Mesin Pendingin. Skripsi. Bali: Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Udayana Denpasar.

- Saksono, Puji. 2012 Pengaruh Aplikasi Refrigeran Hidrokarbon Terhadap Peformansi *Mobile Air Conditioning*. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan.
- Sekhar, S. Joseph dan Raveendran, P. Saji. 8 November 2016. "Peformance studies on a domestic refrigerators retrofitted with building-integrated water-cooled condenser". *Energy and Buildings*. Vol. 134. No. 1-10.
- Supono. 2014. Mengenal Lebih Dekat LPG (*Liquified Petroleum Gas*) Sebagai Bahan Bakar Untuk Kompor Gas. Widyaiswara Madya pada Program Studi Plambing dan Sanitasi Departemen Bangunan PPPPTK Bidang Otomotif dan Elektronika Malang.
- Singh, Jagdev dan Gill, Jatinder. 2017. " Energy Analysis of Vapor Compression Refrigeration System Using Mixture of R134a and LPG as Refrigerant". *International Journal of Refrigeration*.
- Stoecker dkk, 1996. *Refrigeration and Air Conditioning*. Second Edition. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Tampubolon, D., & Samosir, R. (2005). Pemahaman tentang Sistem Refrigerasi. *Jurnal Teknik SIMETRIKA*. 4(1): 312 – 316.
- Widodo, E 2014. Pengaruh Penambahan Fan Pembuangan Udara Pada Kondensor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG. Universitas Jember.
- Yunianto, B. (2005). Pengaruh Perubahan Temperatur Evaporator terhadap Prestasi Air Cooled Chiller dengan Refrigeran R134a pada Temperatur Kondensor tetap. *Jurnal Rotasi*, 7(3), 25-30.
- Zhu, Kai dkk. 2016. Experimental study on the thermal performance improvement of a new designed condenser with liquid separator. *Energy Procedia*. Vol. 104. Hal (269 – 274).

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DATA PENELITIAN

A.1 Data Temperatur dan Tekanan

Temperatur dan Tekanan Kondensor Biasa Laju Aliran 4.07 ml/s

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0	-8.9	55.9	28.7	-8.9	-4.0	27.2	28.2	2.1	8.97	8.74
10	-9.1	56.0	28.8	-9.1	-4.5	27.3	28.3	2.1	8.97	8.74
20	-9.2	56.2	28.9	-9.2	-4.8	27.6	28.5	2.1	8.97	8.74
30	-9.5	56.3	28.9	-9.5	-5.0	27.7	28.6	2.1	8.97	8.74
40	-9.5	56.3	28.9	-9.5	-5.2	27.5	28.1	2.1	8.97	8.74
50	-9.8	56.3	28.8	-9.8	-5.2	27.5	28.0	2.1	8.97	8.74
60	-9.9	56.4	28.9	-9.9	-5.5	27.7	28.0	2.1	8.97	8.74
70	-10.0	56.1	28.8	-10.0	-5.6	27.7	28.1	2.1	8.97	8.74
80	-10.2	56.1	28.9	-10.2	-5.8	27.8	28.4	2.1	8.97	8.74
90	-10.4	56.2	28.8	-10.4	-6.2	27.4	27.8	2.0	8.97	8.74
100	-10.5	56.2	28.8	-10.5	-6.6	27.7	28.0	2.0	8.97	8.74
110	-10.8	56.1	28.8	-10.8	-6.8	27.3	27.6	2.0	8.97	8.74
120	-10.8	56.2	28.7	-10.8	-6.8	27.6	27.9	2.0	8.97	8.74

Temperatur dan Tekanan Kondensor Biasa Laju Aliran 24.54 ml/s

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0	-9.3	55.3	28.0	-9.3	-6.1	27.1	27.9	2.1	8.86	8.56
10	-9.6	55.4	27.8	-9.6	-6.4	27.3	27.9	2.1	8.74	8.56
20	-9.8	55.7	27.7	-9.8	-6.6	27.5	28.1	2.1	8.74	8.56
30	-9.9	55.6	27.8	-9.9	-6.7	27.7	28.2	2.1	8.74	8.56
40	-10.1	55.6	27.8	-10.1	-6.9	27.8	28.3	2.1	8.74	8.56
50	-10.3	55.1	27.7	-10.3	-7.1	28.0	28.5	2.0	8.74	8.56
60	-10.5	55.3	27.6	-10.5	-7.3	28.1	28.5	2.0	8.74	8.56
70	-10.7	55.4	27.7	-10.7	-7.5	28.0	28.5	2.0	8.74	8.56
80	-10.9	55.4	27.6	-10.9	-7.7	28.1	28.7	2.0	8.63	8.56
90	-11.0	55.6	27.7	-11.0	-7.9	27.8	28.4	2.0	8.63	8.56
100	-11.3	55.5	27.6	-11.3	-8.2	28.0	28.4	2.0	8.63	8.56
110	-11.5	55.5	27.6	-11.5	-8.4	27.9	28.3	2.0	8.63	8.56
120	-11.6	55.5	27.5	-11.6	-8.5	28.1	28.4	2.0	8.63	8.56

Temperatur Kondensor Biasa Laju Aliran 53.3 ml/s

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0	-9.9	54.5	26.6	-9.9	-9.0	26.6	27.5	2.1	9.55	9.32
10	-9.9	54.8	26.7	-9.9	-9.3	26.9	27.8	2.1	9.55	9.32

20	-10.5	54.9	26.7	-10.5	-9.5	27.0	27.8	2.0	9.55	9.32
30	-10.7	55.0	26.8	-10.7	-9.6	27.2	27.7	2.0	9.55	9.20
40	-10.8	55.1	26.8	-10.8	-9.7	27.2	27.7	2.0	9.55	9.20
50	-11.0	55.1	26.8	-11.0	-9.9	27.2	27.7	2.0	9.55	9.20
60	-11.0	55.0	26.7	-11.0	-10.1	27.2	27.7	2.0	9.55	9.20
70	-11.2	54.8	26.7	-11.2	-10.3	27.2	27.7	2.0	9.55	9.20
80	-11.6	54.8	26.5	-11.6	-10.3	27.0	27.5	2.0	9.43	9.09
90	-11.6	54.9	26.5	-11.6	-10.6	27.3	27.7	2.0	9.32	8.97
100	-12.0	55.1	26.6	-12.0	-10.9	27.1	27.5	1.9	9.32	8.97
110	-12.1	55.0	26.5	-12.1	-10.7	27.0	27.4	1.9	9.20	8.97
120	-12.1	55.2	26.5	-12.1	-10.8	27.1	27.5	1.9	9.20	8.97

Temperatur dan Tekanan Kondensor Separasi Laju Aliran 4.07 ml/s

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0	-10.8	54.7	29.6	-10.8	-4.9	30.1	31.5	2.0	8.5	8.5
10	-10.9	54.7	29.5	-10.9	-6.1	30.2	31.6	2.0	8.5	8.5
20	-11.1	54.4	29.5	-11.1	-7.2	30.2	31.6	2.0	8.5	8.5
30	-11.2	54.3	29.5	-11.2	-8.0	30.5	31.8	2.0	8.5	8.5
40	-11.4	54.1	29.5	-11.4	-8.4	30.3	31.6	2.0	8.5	8.5
50	-11.6	54.2	29.4	-11.6	-9.2	30.2	31.5	2.0	8.5	8.5
60	-12.0	54.1	29.3	-12.0	-9.6	30.2	31.4	1.9	8.4	8.4

70	-12.1	54.2	29.4	-12.1	-10.2	29.9	31.1	1.9	8.3	8.3
80	-12.2	54.1	29.3	-12.2	-9.6	29.9	30.9	1.9	8.2	8.2
90	-12.4	54.2	29.3	-12.4	-9.5	30.0	31.1	1.9	8.2	8.2
100	-12.5	54.0	29.3	-12.5	-9.4	30.0	31.0	1.9	8.2	8.2
110	-12.5	54.0	29.1	-12.5	-9.6	30.1	31.1	1.9	8.2	8.2
120	-12.5	54.0	29.2	-12.5	-9.2	30.1	31.0	1.9	8.2	8.2

Temperatur dan Tekanan Kondensor Separasi Laju Aliran 24.54 ml/s

Waktu (menit)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0	-10.2	53.4	29.0	-10.2	-9.3	28.4	29.4	2.0	8.6	8.6
10	-10.5	53.7	29.0	-10.5	-10.1	28.8	29.6	2.0	8.6	8.6
20	-10.8	54.0	29.0	-10.8	-10.1	28.9	29.8	2.0	8.6	8.6
30	-11.3	53.7	29.1	-11.3	-10.9	29.3	30.3	2.0	8.6	8.5
40	-11.4	53.9	29.3	-11.4	-10.6	29.4	30.3	2.0	8.5	8.5
50	-11.7	54.0	29.0	-11.7	-11.3	29.2	30.0	1.9	8.5	8.5
60	-11.9	53.1	29.1	-11.9	-11.6	29.4	30.3	1.9	8.5	8.5
70	-12.3	53.4	28.9	-12.3	-11.4	29.0	30.0	1.9	8.5	8.5
80	-12.4	52.8	28.9	-12.4	-11.8	29.3	30.1	1.9	8.5	8.5
90	-12.8	53.3	28.8	-12.8	-11.7	29.2	30.0	1.9	8.5	8.5
100	-12.9	53.9	28.8	-12.9	-11.9	29.3	30.2	1.9	8.5	8.5
110	-13.1	53.8	28.8	-13.1	-11.9	29.2	30.1	1.9	8.4	8.4

120	-13.1	53.7	28.9	-13.1	-11.9	29.3	30.1	1.8	8.4	8.4
-----	-------	------	------	-------	-------	------	------	-----	-----	-----

Temperatur dan Tekanan Kondensor Separasi Laju Aliran 53.3 ml/s

Waktu (menit)	Temperatur (°C)							Tekanan (Bar)		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2	P3
0	-10.3	53.0	27.2	-10.3	-6.9	27.9	28.5	2.0	8.3	8.3
10	-10.6	53.1	27.1	-10.6	-8.1	28.3	28.8	2.0	8.3	8.3
20	-11.4	53.1	27.2	-11.4	-8.5	29.1	29.6	2.0	8.3	8.3
30	-11.6	53.0	27.0	-11.6	-9.1	29.0	29.5	2.0	8.3	8.3
40	-12.1	53.0	27.1	-12.1	-9.6	29.0	29.5	1.9	8.3	8.3
50	-12.3	53.1	27.0	-12.3	-9.7	29.0	29.5	1.9	8.3	8.3
60	-12.7	53.0	27.1	-12.7	-10.1	29.0	29.5	1.9	8.3	8.3
70	-13.0	52.9	27.0	-13.0	-10.2	28.8	29.4	1.9	8.3	8.3
80	-13.2	52.9	27.0	-13.2	-10.6	28.8	29.3	1.8	8.2	8.2
90	-13.6	52.9	26.9	-13.6	-10.8	28.9	29.4	1.8	8.3	8.3
100	-13.9	53.0	27.0	-13.9	-11.4	29.0	29.5	1.8	8.3	8.3
110	-14.2	52.9	26.9	-14.2	-12.1	28.9	29.4	1.8	8.3	8.3
120	-14.4	53.0	26.8	-14.4	-12.3	28.9	29.4	1.8	8.3	8.3

A.2 Data Entalpi Rata-Rata

Entalpi Rata-Rata Kondensor Biasa Laju Aliran 4.07 ml/s

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0	680.345	745.415	208.37	208.37
10	680.475	746.455	208.465	208.465
20	681.01	747.04	208.76	208.76
30	681.06	747.755	208.725	208.725
40	681.06	748.05	208.855	208.855
50	681.48	748.765	208.595	208.595
60	681.48	749.055	208.76	208.76
70	680.765	748.47	208.595	208.595
80	681.09	749.35	208.725	208.725
90	681.06	749.805	208.595	208.595
100	681.22	750.225	208.465	208.465
110	681.06	750.39	208.63	208.63
120	681.385	750.81	208.335	208.335

Entalpi Rata-Rata Kondensor Biasa Laju Aliran 24.54 ml/s

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0	679.175	744.115	206.71	206.71

10	679.63	744.86	206.32	207.32
20	680.18	745.74	207.395	206.895
30	679.86	746.03	206.19	207.19
40	680.05	746.29	206.32	207.32
50	679.075	745.575	206.06	207.06
60	679.335	746.03	205.67	206.67
70	679.63	747.43	206.06	207.06
80	680.37	747.495	205.8	205.8
90	680.05	748.21	206.06	206.06
100	680.085	748.665	205.93	205.93
110	679.92	749.09	205.93	205.93
120	680.085	749.25	205.67	205.67

Entalpi Rata-Rata Kondensor Biasa Laju Aliran 53.3 ml/s

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0	677.87	741.825	203.265	203.265
10	678.51	742.545	203.395	203.395
20	678.785	744.145	203.525	203.525
30	678.915	744.89	203.655	203.655
40	679.205	745.48	203.655	203.655
50	679.205	745.75	203.785	203.785
60	679.075	745.445	203.525	203.525
70	678.75	745.48	203.525	203.525

80	678.62	746.16	203.135	203.135
90	679.075	746.325	203	203
100	679.53	748.275	203.295	203.295
110	679.37	748.08	203.13	203.13
120	679.66	748.08	203	203

Entalpi Rata-Rata Kondensor Separasi Laju Aliran 4.07 ml/s

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0	678.33	748.96	210.42	210.42
10	678.33	749.77	210.29	210.29
20	677.905	749.12	210.29	210.29
30	677.74	749.09	210.29	210.29
40	677.15	749.25	210.29	210.29
50	677.74	749.51	209.735	209.735
60	677.775	750.26	210.55	210.55
70	677.905	750.815	209.9	209.9
80	677.61	750.68	210.385	210.385
90	677.905	751.135	209.895	209.895
100	677.48	751.135	209.735	209.735
110	677.61	751.005	209.505	209.505
120	677.48	751.43	209.765	209.77

Entalpi Rata-Rata Kondensor Separasi Laju Aliran 24.54 ml/s

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0	675.855	743.855	209.575	209.575
10	676.605	745.185	209.575	209.575
20	677.025	746.615	209.575	209.575
30	676.735	747.365	209.315	209.315
40	677.155	748.08	210.03	210.03
50	677.48	748.83	209.51	209.51
60	675.595	747.53	209.64	209.64
70	676.31	748.83	209.12	209.12
80	675.305	747.66	209.12	214.12
90	676.31	749.705	208.73	208.73
100	677.32	750.975	208.86	208.86
110	677.15	751.265	208.47	208.47
120	676.96	751.395	208.86	208.86

Entalpi Rata-Rata Kondensor Separasi Laju Aliran 53.3 ml/s

Waktu (menit)	Entalpi (kJ/kg)			
	h1	h2	h3	h4
0	675.27	740.53	204.825	204.825
10	675.435	741.085	204.435	204.435
20	675.595	743.43	204.325	204.825

30	675.565	744.345	204.435	204.435
40	675.595	745.285	205.215	205.215
50	675.99	745.175	204.435	204.935
60	675.595	746.195	204.695	204.695
70	675.595	746.65	204.305	204.305
80	675.45	747.235	204.95	204.95
90	675.595	747.78	204.175	204.175
100	675.76	748.665	204.305	204.305
110	675.76	749.415	204.175	204.175
120	675.76	749.835	203.915	203.915

A.3 Debit Aliran *Refrigerant*

Debit aliran *refrigerant*

Waktu (menit)	Debit (Lpm) Kondensor Standar			Debit (Lpm) Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
	0	8.02	7.85	7.18	9.10	9.10
10	8.02	7.68	7.18	9.10	9.02	9.02
20	8.02	7.68	7.18	9.10	9.02	9.02
30	8.02	7.68	7.18	9.02	9.02	9.02
40	8.02	7.68	7.18	9.02	9.02	9.02
50	8.02	7.68	7.18	9.02	9.02	9.02
60	8.02	7.52	7.02	9.02	9.02	9.02
70	8.02	7.52	7.02	8.93	9.02	9.02
80	8.02	7.52	6.85	8.85	9.02	9.02

90	8.02	7.52	6.85	8.85	9.02	8.85
100	8.02	7.35	6.85	8.77	9.02	8.85
110	8.02	7.35	6.85	8.77	9.02	8.85
120	8.02	7.35	6.85	8.77	9.02	8.85

A.4 Dampak Refrigerasi

Data Dampak Refrigerasi

Waktu (menit)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)			Dampak Refrigerasi (kJ/kg)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	471.98	472.47	474.61	467.91	466.28	470.45
10	472.01	472.31	475.12	468.04	467.03	471.00
20	472.25	473.29	475.26	467.62	467.45	470.77
30	472.34	472.67	475.26	467.45	467.42	471.13
40	472.21	472.73	475.55	466.86	467.13	470.38
50	472.89	472.02	475.42	468.01	467.97	471.06
60	472.72	472.67	475.55	467.23	465.96	470.90
70	472.17	472.57	475.23	468.01	467.19	471.29
80	472.37	474.57	475.49	467.23	461.19	470.50
90	472.47	473.99	476.08	468.01	467.58	471.42
100	472.76	474.16	476.24	467.75	468.46	471.46
110	472.43	473.99	476.24	468.11	468.68	471.59
120	473.05	474.42	476.66	467.71	468.10	471.85

A.5 Kerja Kompresi

Data Kerja Kompresi

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)			Kerja Kompresi (kJ/kg)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	65.07	64.94	63.96	70.63	68.00	65.26
10	65.98	65.23	64.04	71.44	68.58	65.65
20	66.03	65.56	65.36	71.22	69.59	67.84
30	66.70	66.17	65.98	71.35	70.63	68.78
40	66.99	66.24	66.28	72.10	70.93	69.69
50	67.29	66.50	66.55	71.77	71.35	69.18
60	67.57	66.69	66.37	72.49	71.93	70.60
70	67.71	67.80	66.73	72.91	72.52	71.06
80	68.26	67.13	67.54	73.07	72.36	71.79
90	68.75	68.16	67.25	73.23	73.40	72.18
100	69.01	68.58	68.75	73.66	73.66	72.91
110	69.33	69.17	68.71	73.40	74.12	73.66
120	69.43	69.17	68.42	73.95	74.43	74.08

A.6 Debit Aliran *Refrigerant* (Konversi)

Debit aliran *refrigerant* (konversi)

Waktu (menit)	Debit (m ³ /s)			Debit (m ³ /s)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	0.000134	0.000131	0.000120	0.000152	0.000152	0.000151
10	0.000134	0.000128	0.000120	0.000152	0.000151	0.000151

20	0.000134	0.000128	0.000120	0.000152	0.000151	0.000151
30	0.000134	0.000128	0.000120	0.000151	0.000151	0.000151
40	0.000134	0.000128	0.000120	0.000151	0.000151	0.000151
50	0.000134	0.000128	0.000120	0.000151	0.000151	0.000151
60	0.000134	0.000126	0.000117	0.000151	0.000151	0.000151
70	0.000134	0.000126	0.000117	0.000149	0.000151	0.000151
80	0.000134	0.000126	0.000114	0.000148	0.000151	0.000151
90	0.000134	0.000126	0.000114	0.000148	0.000151	0.000148
100	0.000134	0.000123	0.000114	0.000146	0.000151	0.000148
110	0.000134	0.000123	0.000114	0.000146	0.000151	0.000148
120	0.000134	0.000123	0.000114	0.000146	0.000151	0.000148

A.7 Laju Aliran Massa

Data Laju Aliran Massa

Waktu (menit)	Laju Aliran Massa (kg/s)			Laju Aliran Massa (kg/s)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	0.071	0.070	0.064	0.080	0.081	0.080
10	0.071	0.068	0.064	0.080	0.080	0.080
20	0.071	0.068	0.064	0.080	0.080	0.080
30	0.071	0.068	0.064	0.080	0.080	0.080
40	0.071	0.068	0.064	0.080	0.080	0.080
50	0.071	0.068	0.064	0.080	0.080	0.080
60	0.071	0.067	0.062	0.080	0.080	0.080
70	0.071	0.067	0.062	0.079	0.080	0.080
80	0.071	0.067	0.061	0.078	0.080	0.080
90	0.071	0.067	0.061	0.078	0.080	0.078

100	0.071	0.065	0.061	0.078	0.080	0.078
110	0.071	0.065	0.061	0.078	0.080	0.078
120	0.071	0.065	0.061	0.078	0.080	0.079

A.8 Kapasitas Refrigerasi

Data Kapasitas Refrigerasi

Waktu (menit)	Kapasitas Refrigerasi (kW)			Kapasitas Refrigerasi (kW)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	33.44	32.85	30.28	37.60	37.57	37.58
10	33.44	32.14	30.30	37.62	37.29	37.64
20	33.45	32.21	30.33	37.58	37.33	37.61
30	33.45	32.17	30.33	37.22	37.29	37.66
40	33.49	32.16	30.35	37.19	37.28	37.63
50	33.49	32.11	30.32	37.32	37.35	37.67
60	33.43	31.45	29.64	37.22	37.19	37.65
70	33.43	31.46	29.61	36.96	37.29	37.65
80	33.44	31.60	28.93	36.56	37.21	37.60
90	33.44	31.57	28.96	36.62	37.34	36.98
100	33.46	30.85	28.96	36.26	37.40	37.01
110	33.46	30.86	28.96	36.30	37.42	37.00
120	33.51	30.89	28.99	36.27	37.36	37.05

A.9 Pelepasan Kalor

Data Pelepasan Kalor

Waktu (menit)	Pelepasan Kalor (kJ/kg)			Pelepasan Kalor (kJ/kg)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	537.05	537.41	538.56	538.54	534.28	535.71
10	537.99	538.54	539.15	539.48	535.61	536.65
20	538.28	538.35	540.62	538.83	537.04	539.11
30	539.03	539.84	541.24	538.80	538.05	539.91
40	539.20	539.97	541.83	538.96	538.05	540.07
50	540.17	539.52	541.97	539.78	539.32	540.74
60	540.30	540.36	541.92	539.71	537.89	541.50
70	539.88	541.37	541.96	540.92	539.71	542.35
80	540.63	541.70	543.03	540.30	538.54	542.29
90	541.21	542.15	543.33	541.24	540.98	543.61
100	541.76	542.74	544.98	541.40	542.12	544.36
110	541.76	543.16	544.95	541.50	542.80	545.24
120	542.48	543.58	545.08	541.67	542.54	545.92

A.10 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

Data Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

Waktu (menit)	Pelepasan Kalor			Pelepasan Kalor		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	1.14	1.14	1.13	1.15	1.15	1.14
10	1.14	1.14	1.13	1.15	1.15	1.14

20	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
30	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
40	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
50	1.14	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
60	1.14	1.14	1.14	1.16	1.15	1.15
70	1.14	1.15	1.14	1.16	1.16	1.15
80	1.14	1.14	1.14	1.16	1.17	1.15
90	1.15	1.14	1.14	1.16	1.16	1.15
100	1.15	1.14	1.14	1.16	1.16	1.15
110	1.15	1.15	1.14	1.16	1.16	1.16
120	1.15	1.15	1.14	1.16	1.16	1.16

A.11 Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Air Kondensor

Data Laju Pelepasan Kalor Pada Air Bak

Waktu (menit)	Laju Pelepasan Kalor (kJ/s)			Laju Pelepasan Kalor (kJ/s)		
	Kondensor Standar			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	0.017	0.082	0.214	0.024	0.102	0.133
10	0.017	0.065	0.192	0.024	0.078	0.119
20	0.015	0.058	0.185	0.024	0.092	0.118
30	0.015	0.048	0.126	0.022	0.099	0.111
40	0.010	0.051	0.126	0.022	0.088	0.103
50	0.008	0.051	0.126	0.021	0.082	0.111
60	0.004	0.048	0.118	0.020	0.092	0.118
70	0.008	0.051	0.118	0.020	0.102	0.119
80	0.009	0.054	0.103	0.017	0.082	0.111
90	0.007	0.054	0.089	0.018	0.088	0.111
100	0.005	0.037	0.096	0.017	0.092	0.111

110	0.005	0.044	0.096	0.016	0.092	0.104
120	0.005	0.034	0.089	0.015	0.082	0.103

A.12 Temperatur Kondensor ($^{\circ}\text{C}$)

Data Temperatur Kondensor

Waktu (menit)	Temperatur Kondensor $^{\circ}\text{C}$			Temperatur Kondensor $^{\circ}\text{C}$		
	Kondensor Biasa			Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
0	28.67	27.97	26.60	29.60	29.03	27.23
10	28.80	27.80	26.70	29.53	28.97	27.07
20	28.87	27.70	26.73	29.53	29.03	27.17
30	28.90	27.77	26.80	29.53	29.07	27.03
40	28.93	27.80	26.80	29.53	29.27	27.07
50	28.83	27.70	26.83	29.37	29.03	27.03
60	28.87	27.57	26.73	29.33	29.10	27.13
70	28.83	27.70	26.67	29.37	28.93	27.00
80	28.90	27.60	26.53	29.27	28.90	27.03
90	28.83	27.73	26.50	29.30	28.83	26.93
100	28.80	27.63	26.57	29.27	28.80	26.97
110	28.77	27.63	26.53	29.13	28.77	26.93
120	28.73	27.53	26.47	29.23	28.90	26.80

A.13 Coefficient of Performance (COP)*Data Coefficient of performance*

Waktu (menit)	COP Kondensor Standar			COP Kondensor Separasi		
	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s	4.07 ml/s	24.54 ml/s	53.3 ml/s
	0	7.25	7.28	7.42	6.62	6.86
10	7.15	7.24	7.42	6.55	6.81	7.17
20	7.15	7.22	7.27	6.57	6.72	6.94
30	7.08	7.14	7.20	6.55	6.62	6.85
40	7.05	7.14	7.18	6.48	6.59	6.75
50	7.03	7.10	7.14	6.52	6.56	6.81
60	7.00	7.09	7.17	6.45	6.48	6.67
70	6.97	6.97	7.12	6.42	6.44	6.63
80	6.92	7.07	7.04	6.39	6.37	6.55
90	6.87	6.95	7.08	6.39	6.37	6.53
100	6.85	6.91	6.93	6.35	6.36	6.47
110	6.81	6.85	6.93	6.38	6.32	6.40
120	6.81	6.86	6.97	6.32	6.29	6.37

LAMPIRAN B. CONTOH PERHITUNGAN**B.1 Kerja Kompresi**

$$\begin{aligned}w &= h_2 - h_1 \\ &= 745.415 - 680.345 \\ &= 65.07 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

B.2 Dampak Refrigerasi

$$\begin{aligned}q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 680.07 - 208.37 \\ &= 471.98 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

B.3 Pelepasan Kalor

$$\begin{aligned}\text{Pelepasan Kalor} &= h_2 - h_3 \\ &= 745.415 - 208.37 \\ &= 537.045 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

B.4 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

$$\begin{aligned}\text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{745.415 - 208.37}{680.07 - 208.37} \\ &= 1.14\end{aligned}$$

B.5 Laju Pelepasan Kalor Pada Bak Kondensor

Diketahui $T_6 = 27.20 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_7 = 28.23 \text{ }^\circ\text{C}$

$Q = 0.00000407 \text{ m}^3/\text{s}$

$\Delta T = 28.23 - 27.20$

$= 1.03 \text{ }^\circ\text{C}$

T rata-rata $= 27.715 \text{ }^\circ\text{C}$

ρ (air) = 995.630 kg/m^3 dari tabel sifat-sifat air buku J.P Holman (1984 : 554)

C_p (air) = $4.18 \text{ kJ/kg. }^\circ\text{C}$ dari tabel sifat-sifat air buku J.P Holman hal(1984 : 554)

Menghitung laju aliran massa pada pending air

$\dot{m} = Q \times \rho$ (air)

$= 0.00000407 \text{ m}^3/\text{s} \times 995.630 \text{ kg/m}^3$

$= 0.0040522 \text{ kg/s}$

Kalor yang dilepaskan pada bak air pendingin

$q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$

$= 0.0040522 \text{ kg/s} \times 4.18 \text{ kJ/kg. }^\circ\text{C} \times 1.03 \text{ }^\circ\text{C}$

$= 0.0175 \text{ kJ/s}$

B.6 Laju Aliran Massa

Diketahui :

$T_1 = 27.33 \text{ }^\circ\text{C}$

$Q = 8.02 \text{ liter/menit}$ (dari alat ukur *Flow meter*)

ρ (Propana) = 488.67 kg/m^3 (dari tabel *Thermophysical Properties of Refrigerant ASHARE Handbook*, 2009)

$$\rho \text{ (Butana)} = 570.10 \text{ kg/m}^3 \text{ (dari tabel } \textit{Thermophysical Properties of Refrigerant ASHARE Handbook, 2009})$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ (rata-rata)} &= \rho \text{ (Propana)} + \rho \text{ (Butana)} / 2 \\ &= 488.67 \text{ kg/m}^3 + 570.10 \text{ kg/m}^3 / 2 \\ &= 529.38 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m} &= \text{Massa jenis refrigerant} \times \text{debit aliran} \\ &= 529.38 \text{ kg/m}^3 \times 8.02 \text{ liter/menit} \\ &= 529.38 \text{ kg/m}^3 \times 0.000134 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.07087 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

B.7 Kapasitas Refrigerasi

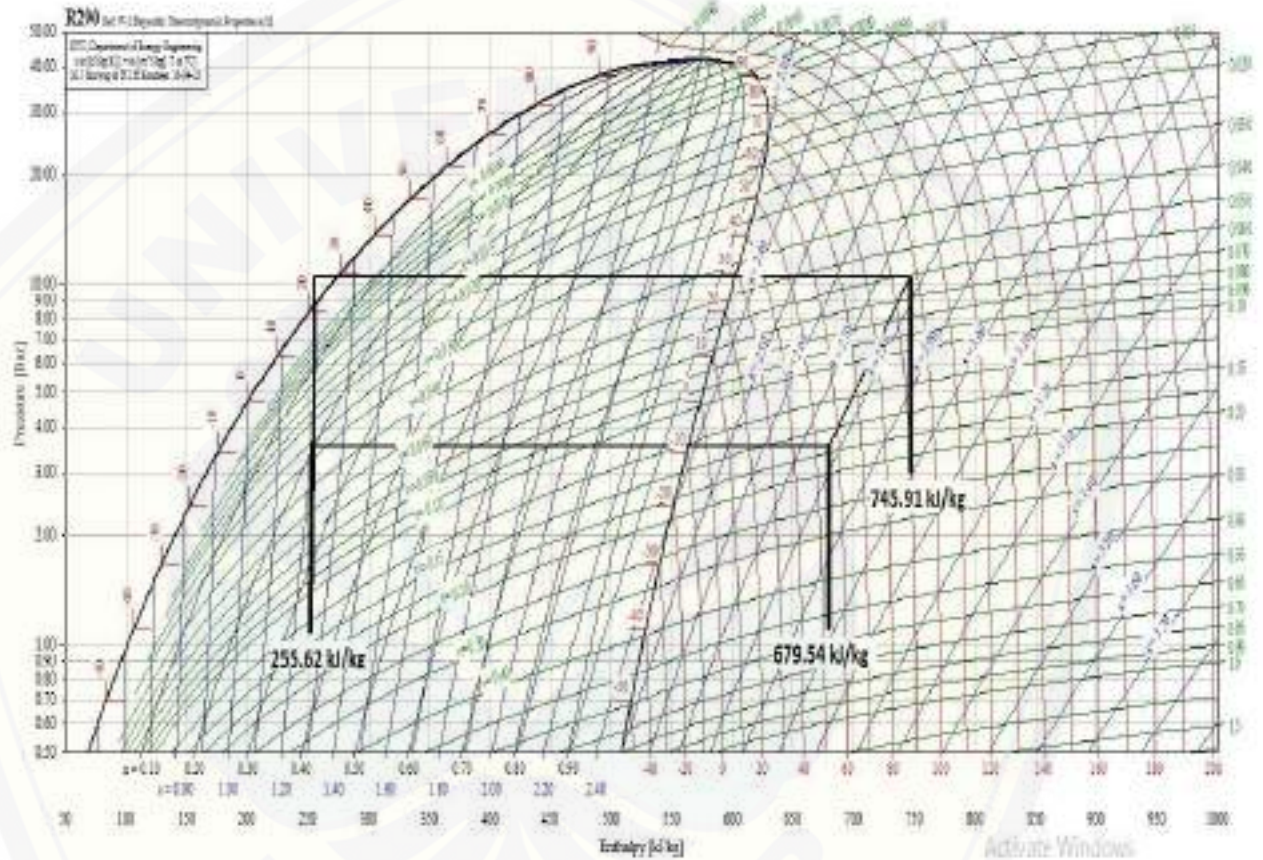
$$\begin{aligned}Q &= \dot{m} \times (h_1 - h_4) \\ &= 0.07087 \text{ kg/s} (680.07 - 208.37) \\ &= 33.44 \text{ kW}\end{aligned}$$

B.8 COP (*Coefficient of Performance*)

$$\begin{aligned}\text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{680.07 - 208.07}{745.415 - 680.07} \\ &= 7.25\end{aligned}$$

LAMPIRAN C. DIAGRAM P – h atau DIAGRAM MOLLIER

C.1 Diagram P – h Gas Propana



LAMPIRAN D. Sifat-sifat air (zat –cair jenuh)

Daftar A-9 Sifat-sifat air (zat-cair jenuh)†

°F	°C	c_p , kJ/kg·°C	ρ , kg/m ³	μ , kg/m·s	k , W/m·°C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}$, 1/m ² ·°C
32	0	4,225	999,8	$1,79 \times 10^{-3}$	0,566	13,25	$1,91 \times 10^6$
40	4,44	4,208	999,8	1,55	0,575	11,35	$6,34 \times 10^6$
50	10	4,195	999,2	1,31	0,585	9,40	$1,08 \times 10^{10}$
60	15,56	4,186	998,6	1,12	0,595	7,88	$1,46 \times 10^{10}$
70	21,11	4,179	997,4	$9,8 \times 10^{-4}$	0,604	6,78	$1,91 \times 10^{10}$
80	26,67	4,179	995,8	8,6	0,614	5,85	$2,48 \times 10^{10}$
90	32,22	4,174	994,9	7,65	0,623	5,12	$3,3 \times 10^{10}$
100	37,78	4,174	993,0	6,82	0,630	4,53	$4,19 \times 10^{10}$
110	43,33	4,174	990,6	6,16	0,637	4,04	$4,99 \times 10^{10}$
120	48,89	4,174	988,8	5,62	0,644	3,64	$5,66 \times 10^{10}$
130	54,44	4,179	985,7	5,13	0,649	3,30	$6,48 \times 10^{10}$
140	60	4,179	983,3	4,71	0,654	3,01	$7,62 \times 10^{10}$
150	65,55	4,183	980,3	4,3	0,659	2,73	$8,84 \times 10^{10}$
160	71,11	4,186	977,3	4,01	0,665	2,53	$9,85 \times 10^{10}$
170	76,67	4,191	973,7	3,72	0,668	2,33	$1,09 \times 10^{11}$
180	82,22	4,195	970,2	3,47	0,673	2,16	
190	87,78	4,199	966,7	3,27	0,675	2,03	
200	93,33	4,204	963,2	3,06	0,678	1,90	
220	104,4	4,216	955,1	2,67	0,684	1,66	
240	115,6	4,229	946,7	2,44	0,685	1,51	
260	126,7	4,250	937,2	2,19	0,685	1,36	
280	137,8	4,271	928,1	1,98	0,685	1,24	
300	148,9	4,296	918,0	1,86	0,684	1,17	
350	176,7	4,371	890,4	1,57	0,677	1,02	
400	204,4	4,467	859,4	1,36	0,665	1,00	
450	232,2	4,585	825,7	1,20	0,646	0,85	
500	260	4,731	785,2	1,07	0,616	0,83	
550	287,7	5,024	735,5	$9,51 \times 10^{-4}$			
600	315,6	5,703	678,7	8,68			

† Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," ed ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958

LAMPIRAN E. Tabel Thermophysical Properties of Refrigerants



Thermophysical Properties of Refrigerants

30.45

Refrigerant 290 (Propane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³		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	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-150	0.00001	694.6	4316.4	-123.78402.06	-0.6903	3.5796	1.962	1.020	1.227	1880	168.8	1343.0	3.55	192.9	3.68	31.84	-150
-140	0.00003	684.5	864.49	-104.09412.43	-0.5366	3.3426	1.977	1.054	1.218	1813	174.9	985.4	3.80	187.7	4.28	30.29	-140
-130	0.00012	674.4	223.53	-84.23423.12	-0.3929	3.1514	1.994	1.087	1.210	1745	180.7	761.7	4.05	182.2	4.90	28.76	-130
-120	0.00041	664.3	70.785	-64.21434.11	-0.2576	2.9962	2.012	1.119	1.203	1679	186.3	611.6	4.31	176.4	5.55	27.24	-120
-110	0.00116	654.0	26.386	-43.99445.38	-0.1298	2.8697	2.032	1.151	1.197	1612	191.7	505.0	4.56	170.4	6.23	25.73	-110
-100	0.00290	643.7	11.231	-23.56456.88	-0.0083	2.7664	2.054	1.184	1.192	1545	196.8	425.7	4.82	164.4	6.94	24.23	-100
-90	0.00645	633.3	5.3300	-2.90468.58	0.1077	2.6820	2.078	1.220	1.188	1478	201.5	364.5	5.08	158.2	7.67	22.74	-90
-80	0.01305	622.8	2.7676	18.03480.44	0.2189	2.6130	2.106	1.258	1.184	1411	205.9	315.9	5.34	152.1	8.43	21.27	-80
-70	0.02440	612.0	1.5487	39.25492.41	0.3259	2.5566	2.137	1.300	1.182	1345	209.9	276.4	5.60	145.9	9.22	19.81	-70
-60	0.04269	601.1	0.92250	60.81504.44	0.4294	2.5107	2.172	1.346	1.181	1278	213.5	243.6	5.85	139.8	10.04	18.37	-60
-50	0.07057	589.9	0.57905	82.75516.48	0.5298	2.4734	2.212	1.397	1.182	1213	216.5	216.0	6.11	133.8	10.88	16.94	-50
-42.11	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	164.1	44.1	12.96	68.3	39.13	0.72	85
90	3.7641	328.8	0.00840	483.71616.47	1.8616	2.2272	7.623	9.888	4.374	218	155.5	38.8	14.28	67.1	46.66	0.36	90
95	4.1195	286.5	0.00640	516.33595.81	1.9476	2.1635	23.59	36.07	14.62	158	144.1	31.4	17.00	73.6	69.48	0.06	95
96.74 ^c	4.2512	220.5	0.00454	555.24555.24	2.0516	2.0516	∞	∞	∞	0	0.0	—	—	∞	∞	0.00	96.74

^bNormal boiling point

^cCritical point



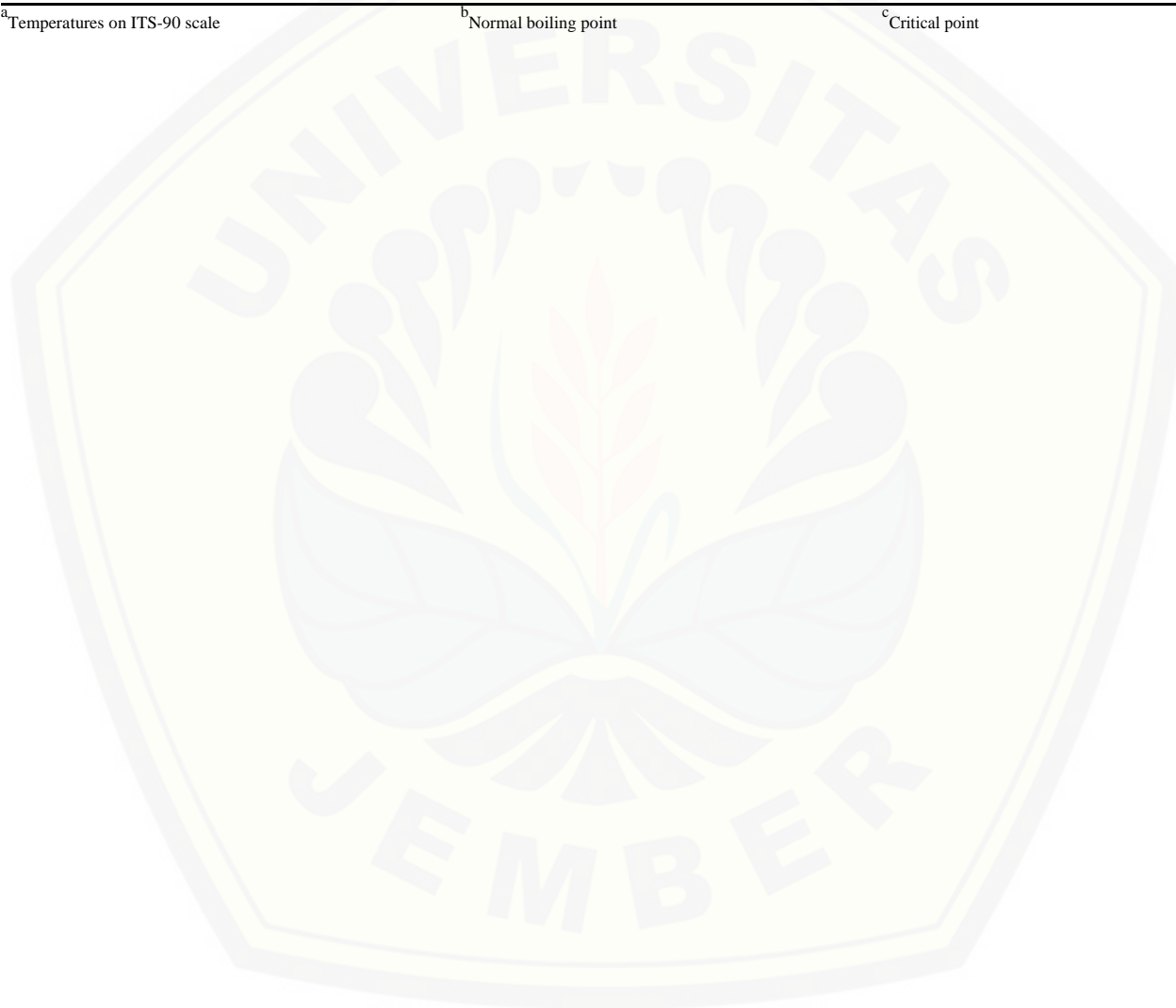
Thermophysical Properties of Refrigerants

30.47

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

Temp., °C	Pressure, MPa	Density, kg/m ³		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c_p</i> , kJ/(kg·K)		<i>c_p</i> / <i>c_v</i>	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	0.10132	601.3	0.36910	198.87584.58	0.9959	2.4105	2.310	1.641	1.119	1038	200.1	203.5	6.76	115.5	14.14	14.88	-0.49	
0	0.10323	600.7	0.36275	200.00585.27	1.0000	2.4105	2.312	1.644	1.119	1035	200.2	202.5	6.77	115.3	14.19	14.82	0	
2	0.11127	598.6	0.33818	204.64588.12	1.0169	2.4106	2.321	1.655	1.120	1024	200.5	198.4	6.82	114.4	14.37	14.58	2	
4	0.11980	596.4	0.31562	209.30590.97	1.0337	2.4108	2.331	1.667	1.120	1014	200.7	194.4	6.87	113.6	14.55	14.33	4	
6	0.12882	594.2	0.29488	213.98593.82	1.0505	2.4112	2.341	1.678	1.121	1003	201.0	190.6	6.91	112.7	14.74	14.09	6	
8	0.13837	592.0	0.27578	218.68596.67	1.0672	2.4116	2.350	1.690	1.122	992	201.2	186.8	6.96	111.8	14.93	13.85	8	
10	0.14845	589.8	0.25817	223.40599.53	1.0838	2.4122	2.360	1.702	1.122	981	201.4	183.2	7.01	111.0	15.11	13.60	10	
12	0.15909	587.6	0.24192	228.13602.38	1.1005	2.4129	2.371	1.715	1.123	971	201.6	179.6	7.06	110.1	15.31	13.36	12	
14	0.17031	585.4	0.22691	232.89605.24	1.1170	2.4137	2.381	1.727	1.124	960	201.7	176.1	7.11	109.3	15.50	13.12	14	
16	0.18213	583.1	0.21302	237.68608.09	1.1335	2.4146	2.391	1.740	1.125	949	201.9	172.7	7.16	108.4	15.69	12.88	16	
18	0.19457	580.9	0.20016	242.48610.95	1.1500	2.4156	2.402	1.752	1.126	938	202.0	169.4	7.21	107.6	15.89	12.65	18	
20	0.20765	578.6	0.18823	247.30613.80	1.1665	2.4167	2.413	1.765	1.127	928	202.0	166.2	7.26	106.7	16.09	12.41	20	
22	0.22139	576.3	0.17717	252.15616.66	1.1829	2.4179	2.424	1.778	1.128	917	202.1	163.0	7.31	105.9	16.29	12.17	22	
24	0.23582	574.0	0.16688	257.02619.51	1.1992	2.4191	2.435	1.792	1.129	906	202.1	159.9	7.36	105.1	16.49	11.94	24	
26	0.25095	571.7	0.15732	261.91622.36	1.2155	2.4205	2.446	1.805	1.130	895	202.2	156.9	7.41	104.3	16.70	11.70	26	
28	0.26680	569.3	0.14842	266.82625.21	1.2318	2.4219	2.458	1.819	1.131	885	202.1	153.9	7.47	103.5	16.90	11.47	28	
30	0.28341	567.0	0.14012	271.76628.06	1.2481	2.4234	2.470	1.833	1.133	874	202.1	151.1	7.52	102.7	17.11	11.24	30	
32	0.30079	564.6	0.13238	276.72630.91	1.2643	2.4250	2.481	1.847	1.134	863	202.0	148.2	7.57	101.9	17.33	11.00	32	
34	0.31897	562.2	0.12516	281.71633.75	1.2805	2.4266	2.494	1.862	1.136	853	201.9	145.5	7.62	101.1	17.54	10.77	34	
36	0.33796	559.8	0.11841	286.72636.59	1.2966	2.4283	2.506	1.876	1.137	842	201.8	142.8	7.68	100.3	17.76	10.54	36	
38	0.35779	557.4	0.11209	291.76639.42	1.3127	2.4301	2.518	1.891	1.139	831	201.7	140.2	7.73	99.5	17.98	10.32	38	
40	0.37849	554.9	0.10618	296.82642.25	1.3288	2.4319	2.531	1.906	1.141	820	201.5	137.6	7.79	98.7	18.21	10.09	40	
42	0.40007	552.4	0.10065	301.90645.08	1.3449	2.4338	2.544	1.922	1.143	810	201.3	135.0	7.84	97.9	18.43	9.86	42	
44	0.42256	550.0	0.09545	307.02647.90	1.3609	2.4358	2.557	1.937	1.145	799	201.1	132.5	7.90	97.2	18.66	9.64	44	
46	0.44599	547.4	0.09058	312.15650.71	1.3769	2.4378	2.571	1.953	1.147	788	200.8	130.1	7.95	96.4	18.90	9.41	46	
48	0.47038	544.9	0.08600	317.32653.52	1.3929	2.4398	2.585	1.970	1.149	777	200.5	127.7	8.01	95.7	19.14	9.19	48	
50	0.49575	542.3	0.08170	322.51656.32	1.4089	2.4419	2.598	1.986	1.151	767	200.2	125.4	8.07	94.9	19.38	8.97	50	
55	0.56365	535.8	0.07201	335.62663.28	1.4488	2.4473	2.635	2.029	1.158	740	199.2	119.7	8.22	93.1	20.00	8.42	55	
60	0.63824	529.1	0.06366	348.91670.19	1.4885	2.4529	2.673	2.075	1.165	713	198.1	114.3	8.38	91.3	20.64	7.87	60	
65	0.71991	522.3	0.05642	362.39677.02	1.5282	2.4587	2.713	2.123	1.173	685	196.7	109.1	8.54	89.5	21.32	7.34	65	
70	0.80908	515.2	0.05012	376.06683.77	1.5679	2.4646	2.756	2.174	1.183	658	195.1	104.1	8.71	87.8	22.03	6.81	70	
75	0.90616	507.9	0.04462	389.95690.41	1.6075	2.4705	2.802	2.229	1.194	631	193.3	99.3	8.89	86.1	22.77	6.29	75	
80	1.0116	500.4	0.03978	404.06696.94	1.6471	2.4765	2.851	2.288	1.207	603	191.2	94.7	9.08	84.5	23.56	5.78	80	
85	1.1258	492.6	0.03552	418.40703.32	1.6868	2.4824	2.905	2.353	1.223	575	188.8	90.2	9.29	82.9	24.39	5.28	85	
90	1.2493	484.5	0.03175	433.00709.53	1.7266	2.4881	2.964	2.425	1.241	546	186.1	85.8	9.51	81.3	25.28	4.79	90	
95	1.3825	476.0	0.02840	447.87715.53	1.7665	2.4936	3.029	2.506	1.263	518	183.1	81.6	9.75	79.7	26.23	4.31	95	

100	1.5259	467.1	0.02541	463.03721.29	1.8066	2.4987	3.102	2.599	1.290	488	179.8	77.4	10.01	78.2	27.26	3.84	100
105	1.6801	457.8	0.02273	478.51726.75	1.8469	2.5034	3.186	2.708	1.324	458	176.1	73.3	10.29	76.8	28.37	3.38	105
110	1.8456	447.9	0.02032	494.36731.87	1.8876	2.5075	3.285	2.841	1.366	428	172.0	69.3	10.61	75.3	29.60	2.93	110
115	2.0230	437.3	0.01813	510.61736.55	1.9287	2.5108	3.403	3.004	1.420	396	167.5	65.4	10.96	73.9	30.96	2.50	115
120	2.2131	425.9	0.01615	527.34740.69	1.9704	2.5131	3.552	3.213	1.492	364	162.5	61.4	11.37	72.5	32.50	2.08	120
125	2.4166	413.4	0.01432	544.65744.15	2.0129	2.5140	3.748	3.493	1.592	331	157.0	57.4	11.83	71.1	34.29	1.68	125
130	2.6344	399.6	0.01264	562.68746.70	2.0566	2.5130	4.023	3.891	1.739	296	150.8	53.4	12.39	69.8	36.44	1.30	130
135	2.8675	383.7	0.01105	581.69747.97	2.1020	2.5094	4.450	4.511	1.973	260	144.1	49.2	13.07	68.4	39.16	0.94	135
140	3.1172	364.7	0.00953	602.17747.29	2.1502	2.5015	5.227	5.631	2.405	222	136.5	44.7	13.97	67.3	42.94	0.60	140
145	3.3853	339.9	0.00801	625.32743.11	2.2041	2.4858	7.147	8.349	3.462	182	128.0	39.6	15.27	66.7	49.21	0.31	145
150	3.6746	297.7	0.00621	656.27729.01	2.2755	2.4474	19.80	25.55	10.14	136	117.8	32.5	17.87	73.0	67.32	0.06	150
151.98 ^c	3.7960	228.0	0.00439	693.91693.91	2.3631	2.3631	∞	∞	∞	0	0.0	—	—	∞	∞	0.00	151.98

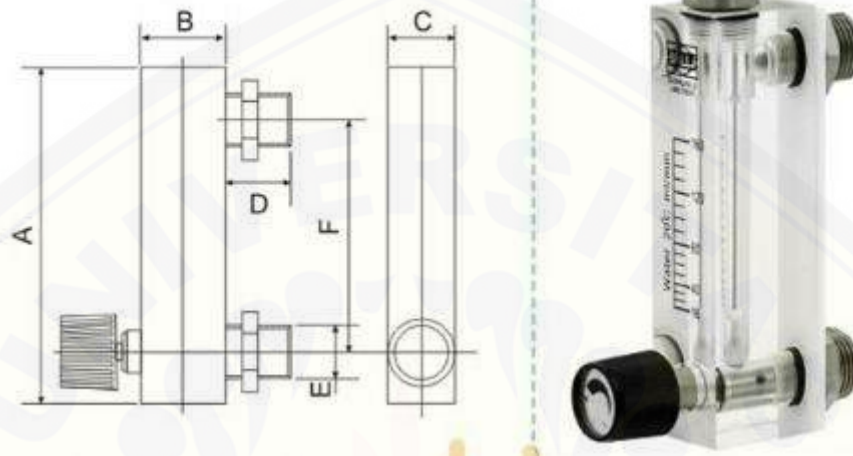
^aTemperatures on ITS-90 scale^bNormal boiling point^cCritical point

LAMPIRAN F. Data Loger

Gambar F.1 Midi LOGGER GL200A

Tabel F.1 Spesifikasi Midi LOGGER GL200A

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

LAMPIRAN G. Alat Ukur Debit *Refrigerant*

Gambar G.1 Flow Meter Type LZM – 6

Tabel G.1 Dimensi Flow Meter

Model	Measure		Size (mm)					
	Range L/min	Accuracy	A	B	C	D	E	F
LZM – 6	1 – 10	±4%	102	29	25	20	M18x1.5	77

Spesifikasi Flow Meter :

Working Pressure : ≤0.6 MPa

Operating Temperature : 0 – 60 °C

Body Material : Acrylic

Fitting Material : ABS OR SS 304

Float Material : SS 304

O – Ring Material : Silicon

LAMPIRAN H. Spesifikasi LPG



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

Liquified Petroleum Gas

Description

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

Application

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

Specification

According to its use, LPG is differentiated to :

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

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

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

LAMPIRAN I. DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar I.1 Kondensor Biasa dengan Media Pendingin Air



Gambar I.2 Kondensor Separasi dengan Media Pendingin Air



Gambar I.3 Refrigerant LPG



Gambar I.4. Metil



Gambar I.5 Pompa Aquarium



Gambar I.6 Tang Meter



Gambar I.7 Proses Pemvakuman Mesin Pendingin Kulkas



Gambar I.8 Proses Pengisian *Refrigerant*



Gambar I.9 Proses Menghitung Tekanan