



**UNJUK KERJA *SEPARATION CONDENSER REFRIGERATOR* DENGAN
PENAMBAHAN *SUBCOOLER* MENGGUNAKAN *REFRIGERANT*
*LIQUEFIED PETROLEUM GAS***

SKRIPSI

Oleh

Amirul Yahya

NIM 141910101007

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018



**UNJUK KERJA *SEPARATION CONDENSER REFRIGERATOR* DENGAN
PENAMBAHAN *SUBCOOLER* MENGGUNAKAN *REFRIGERANT*
*LIQUEFIED PETROLEUM GAS***

SKRIPSI

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

Oleh

Amirul Yahya

NIM 141910101007

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan yang maha esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada :

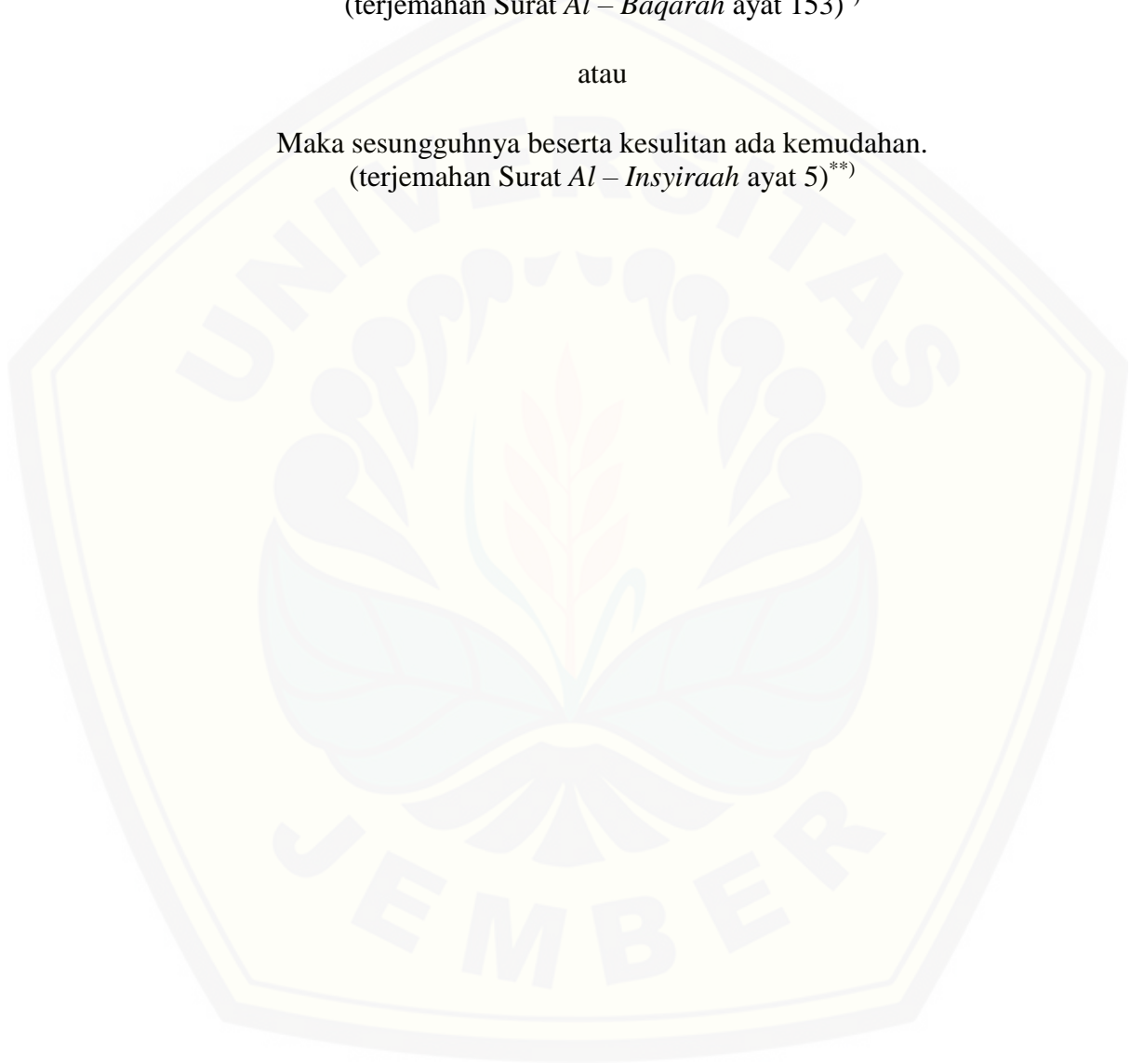
1. Keluargaku, Ayahanda Surahmad, Ibunda Annisa Usholihah, Nenek Sumini dan Adik Muhammad Amir Nazarudin, atas semua dukungan, cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, motivasi dan bimbingan;
2. Teman – teman penelitian *Condenser Research Team*, Saiful, Heru (Momon) dan Dirga, yang sudah memberikan semangat dan bimbingan;
3. Keluarga besar M16 Unej Teknik Mesin angkatan tahun 2014 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah;
4. Teman – teman Apart Squad, PASKIBRA UNEJ 2014, IMAKA, KBMMJB, HMM, MES UNEJ, BMM UNEJ, KKN 74, Aslab Konversi Energi, serta teman – teman Teknik Mesin Unej yang telah memberiku ilmu dan dukungan;
5. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan tak bisa saya sebutkan satu – satu.

MOTO

Wahai mereka yang beriman, mintalah pertolongan kepada Allah SWT dengan sabar dan sholat. Sesungguhnya Allah SWT bersama orang – orang sabar.
(terjemahan Surat *Al – Baqarah* ayat 153)^{*)}

atau

Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.
(terjemahan Surat *Al – Insyiraah* ayat 5)^{**)}



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

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

nama : Amirul Yahya

NIM : 141910101007

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Unjuk Kerja *Separation Condenser Refrigerator* Dengan Penambahan *Subcooler* Menggunakan *Refrigerant Liquefied Petroleum Gas*” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun 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,

Amirul Yahya
NIM 141910101007

SKRIPSI

**UNJUK KERJA *SEPARATION CONDENSER REFRIGERATOR* DENGAN
PENAMBAHAN *SUBCOOLER* MENGGUNAKAN *REFRIGERANT*
*LIQUEFIED PETROLEUM GAS***

Oleh

Amirul Yahya

NIM 141910101007

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Unjuk Kerja *Separation Condenser Refrigerator* Dengan Penambahan *Subcooler* Menggunakan *Refrigerant Liquefied Petroleum Gas*” karya Amirul Yahya telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Senin, 28 Mei 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP 196501202001121001

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 1999031002

Penguji I,

Penguji II,

Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T.
NIP 191611221997021001

Dr. Robertoes Koekoeh KW., S.T., M.Eng.
NIP 19670708 1994121001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Unjuk Kerja *Separation Condenser Refrigerator* Dengan Penambahan *Subcooler* Menggunakan *Refrigerant Liquefied Petroleum Gas*; Amirul Yahya, 141910101007; 2018; 92 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pemanasan Global dapat membuat iklim di Bumi menjadi tidak seimbang dan berimbas pada kenyamanan makhluk hidup terutama manusia. Peningkatan suhu menjadi salah satu faktor penyebab kualitas makanan menurun pada industri penyimpanan makanan. Peran teknologi pada zaman sekarang sangat penting demi menunjang kenyamanan manusia dan nilai ekonomi terutama kemajuan mesin pendingin. Penelitian sebelumnya mengenai mesin pendingin menunjukkan hasil prestasi kerja mesin pendingin yang lebih baik pada kondensor, salah satunya yaitu *separation condenser* dan *subcooler*. Selain itu dalam penggunaan *refrigerant*, LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) baik digunakan karena tidak mengandung CFC (*Chloro Flouro Carbon*) dan HFC (*Hydro Flouro Carbon*) yang dalam penggunaannya banyak menimbulkan dampak negatif yaitu dapat mengakibatkan penipisan lapisan ozon. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui unjuk kerja *separation condenser refrigerator* dengan penambahan *subcooler* dan *refrigerant* yang digunakan adalah LPG terhadap: (1) dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi dan koefisien prestasi mesin pendingin, serta (2) hasil pengaruh variasi debit *refrigerant*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan penggunaan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dan kondensor biasa. Panjang total masing - masing kondensor disamakan. Pada proses pengujian kedua kondensor dilakukan perlakuan yang sama dengan memvariasikan debit *refrigerant* sebesar $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Data yang diperoleh pada penelitian meliputi suhu, tekanan, arus listrik dan kecepatan udara pada boks kondensor. Pengambilan data dilakukan selama 180 menit pengujian dan dilakukan pengulangan minimal 3 kali pengambilan data.

Penelitian pada debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan nilai rata – rata COP *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* lebih tinggi

daripada kondensor biasa dengan nilai COP sebesar 4,08934 dengan peningkatan nilai COP sebesar 7,803%. Pengujian debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, menghasilkan nilai rata – rata COP kondensor biasa lebih tinggi daripada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler*. Nilai tersebut ditunjukkan dengan nilai COP sebesar 4,22930 dan kondensor biasa mampu meningkatkan nilai COP sebesar 6,131%. Pengujian debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, kondensor biasa menghasilkan nilai rata – rata COP yang lebih tinggi daripada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan nilai 4,09964 dan penambahan nilai COP pada pengujian variasi tersebut sebesar 0,252%.

Laju aliran *refrigerant* LPG yang divariasikan berpengaruh terhadap nilai kapasitas pendinginan yang dihasilkan. Laju aliran dipengaruhi oleh volume dari komponen mesin pendingin. Semakin besar volume komponen maka massa dan aliran *refrigerant* yang dibutuhkan juga semakin besar untuk mendinginkan ruangan mesin pendingin.

SUMMARY

Performance of Separation Condenser Refrigerator With Addition Subcooler using Refrigerant Liquefied Petroleum Gas; Amirul Yahya, 141910101007; 2018; 92 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

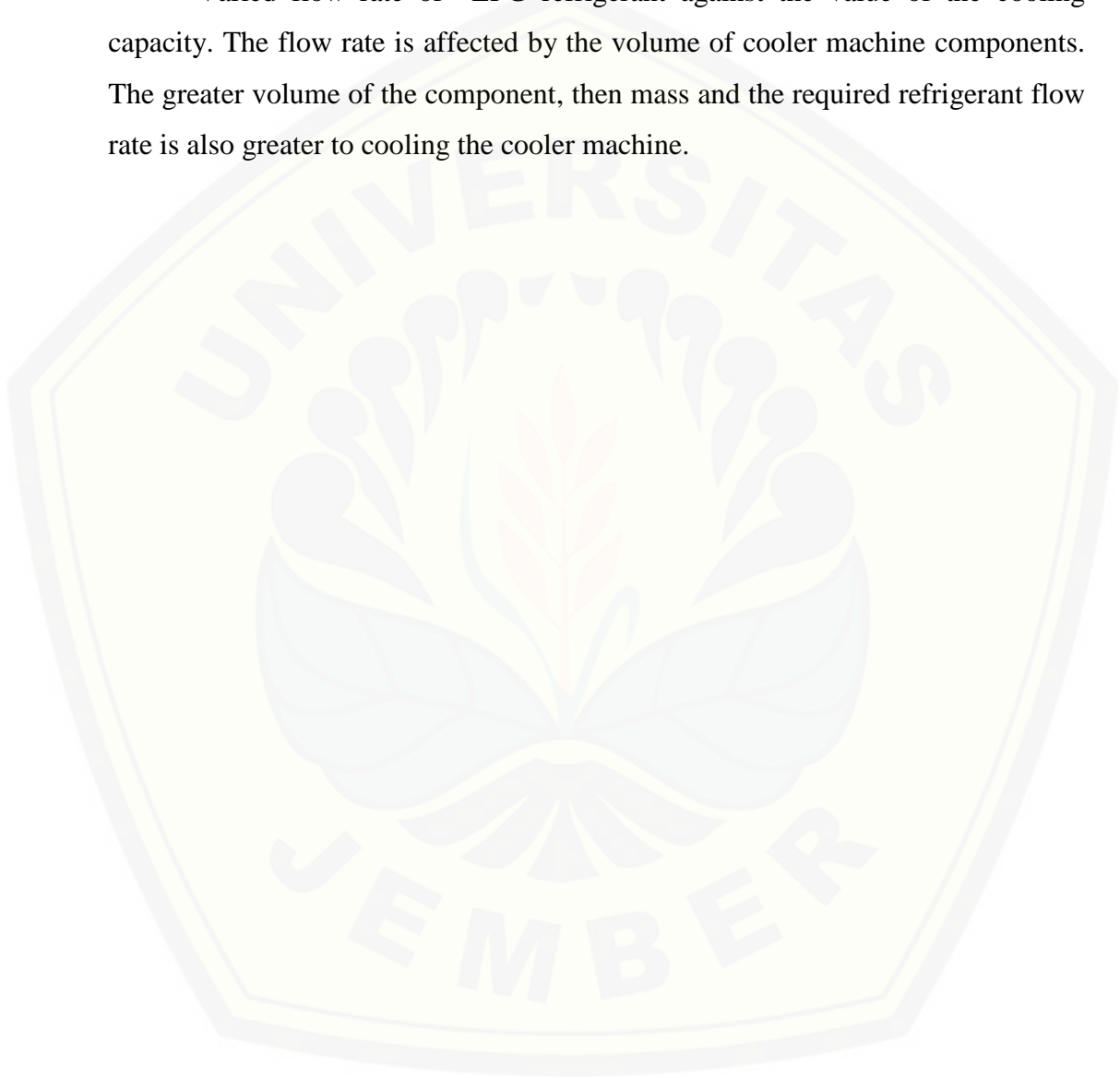
Global warming can make unbalance climate on Earth and it will influence in to comfortably of living things on Earth, especially humans. Increased temperatures are one of several factors causing decreased food quality in the food storage industry. Nowadays, technology is very important to support human comfort and economic value, especially on progress of cooler machine. Most research of cooler machine shows that performance result of cooler machine more better on condenser, one of them is separation condenser and subcooler. In addition, on using of refrigerant, LPG (Liquefied Petroleum Gas) more better to uses because it does not contain CFC (Chloro Flouro Carbon) and HFC (Hydro Flouro Carbon) which in its has many negative impact that can lead to depletion of the ozone layer. The purpose of this research is to find out the performance of separation condenser refrigerator with the addition of the subcooler and refrigerant that used by LPG : (1) refrigerating effect, compression work done, cooling capacity and coefficient of performance of cooler machine, and (2) result of variance flow rate of refrigerant.

This study used an experimental method by comparing separation condenser with addition of subcooler and baseline condenser. Total length of each condenser is equalized. In the process of testing both condensers performed has same treatment by varying flow rate of refrigerant as $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ dan $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Information of the experimental result include temperature, pressure, electric current and air velocity on box condenser. The experimental results are taken for 180 minutes of testing and repeated at least 3 times.

Research on refrigerant flow rate $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ resulted in COP separation condenser with subcooler addition higher than baseline condenser with COP 4,08934 and increasing COP up to 7,803%. In the refrigerant flow rate test $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, the baseline condenser COP is higher than the separation condenser with

subcooler. This value is shown by COP of 4,22930 and baseline condenser can increase COP by 6,131%. In the refrigerant flow rate test $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, baseline condenser produces a higher COP than separation condenser with subcooler and shown COP of 4,09964. COP baseline condenser increase up to 0,252%.

Varied flow rate of LPG refrigerant against the value of the cooling capacity. The flow rate is affected by the volume of cooler machine components. The greater volume of the component, then mass and the required refrigerant flow rate is also greater to cooling the cooler machine.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Unjuk Kerja *Separation Condenser Refrigerator* Dengan Penambahan *Subcooler* Menggunakan *Refrigerant Liquefied Petroleum Gas*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
3. Bapak/Ibu dan keluarga yang telah memberikan dorongan dan doanya demi terselesaikannya skripsi ini;
4. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN / SUMMARY	vii
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.3.1 Tujuan	4
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Mesin Refrigerasi	6
2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin	7
2.2.1 Evaporator	7
2.2.2 Kompresor	10
2.2.3 Kondensor	13
2.2.4 Katup Ekspansi	14
2.3 Siklus Refrigerasi	15

2.3.1	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	17
2.3.2	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual.....	19
2.3.3	Persamaan Energi Pada Siklus Refrigerasi	20
2.4	<i>Separation Condenser</i>	22
2.5	<i>Subcooler</i>	23
2.6	<i>Refrigerant</i>	27
2.6.1	Jenis <i>Refrigerant</i>	28
2.6.2	Karakteristik Termodinamika <i>Refrigerant</i>	30
2.6.3	Persyaratan <i>Refrigerant</i>	31
2.6.4	Dasar Pemilihan <i>Refrigerant</i>	32
2.7	<i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>	33
2.7.1	Pengertian LPG	33
2.7.2	Spesifikasi LPG Campuran	34
2.7.3	Sifat – Sifat LPG	36
2.7.4	<i>Refrigerant</i> LPG.....	37
2.8	Hipotesis	37
BAB 3.	METODE PENELITIAN	39
3.1	Metode Penelitian	39
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.3	Alat dan Bahan Penelitian	39
3.3.1	Alat.....	39
3.3.2	Bahan	40
3.4	Variabel Penelitian	41
3.4.1	Variabel Bebas	41
3.4.2	Variabel Terikat	43
3.5	Rangkain Alat Uji	44
3.6	Prosedur Penelitian	46
3.6.1	Persiapan Alat Pengujian	46
3.6.2	Pemeriksaan Alat Pengujian	46
3.6.3	Tahap Pengambilan Data	46
3.7	Pengolahan Data	48

3.8 Diagram Alir Penelitian	49
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Data Hasil Percobaan	50
4.1.1 Hasil Pengujian Pada Kondensor Biasa	50
4.1.2 Hasil Pengujian Pada <i>Separation Condenser</i> Dengan Penambahan <i>Subcooler</i>	51
4.2 Nilai Entalpi Data Hasil Pengujian	51
4.2.1 Hasil Nilai Entalpi Pengujian Pada Kondensor Biasa	52
4.2.2 Hasil Nilai Entalpi Pengujian Pada <i>Separation Condenser</i> Dengan Penambahan <i>Subcooler</i>	52
4.3 Hasil Prestasi Kinerja Mesin Pendingin	53
4.3.1 Hasil Prestasi Mesin Pendingin Pada Debit <i>Refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	53
4.3.2 Hasil Prestasi Mesin Pendingin Pada Debit <i>Refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	66
4.3.3 Hasil Prestasi Mesin Pendingin Pada Debit <i>Refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	77
4.4 Analisa Hasil Koefisien Prestasi Mesin (COP)	87
4.5 Perbandingan Hasil Koefisien Prestasi Mesin Dengan Penelitian Lain	88
BAB 5. PENUTUP	92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	95

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Komponen mesin pendingin 6
2.2	Desain evaporator <i>bare tube</i> 9
2.3	Desain evaporator <i>Plate surface</i> 10
2.4	Desain evaporator <i>Finned</i> 10
2.5	Kompresor torak 11
2.6	Aksi mekanik kompresor putar..... 12
2.7	Konstruksi kompresor sekrup 13
2.8	Kondensor..... 13
2.9	Katup ekspansi otomatis termostatik penyama tekanan eksternal 15
2.10	Diagram siklus sistem kompresi uap sederhana 16
2.11	Siklus refrigerasi kompresi uap 18
2.12	Siklus refrigerasi kompresi uap aktual 19
2.13	Perbedaan <i>baseline condenser</i> dengan <i>separation condenser</i> 23
2.14	Hasil penelitian kondensor <i>subcooling</i> untuk sistem dengan dan tanpa IHX pada refrigerant R1234yf..... 24
2.15	Hasil pengujian efek kondensor <i>subcooling</i> pada COP di temperatur masuk kondensor dan evaporator..... 25
2.16	Efek suhu <i>subcooling</i> pada performa siklus refrigerasi pada operasi dibawah beda rasio tekanan..... 26
2.17	Hasil pengujian suhu <i>subcooling</i> pada <i>refrigerant</i> R12, R134a dan R600a pada COP dibawah rasio tekanan 11 bar 26
2.18	<i>Subcooler condenser</i> 27
2.19	Peningkatan hasil penelitian COP <i>subcooler condenser</i> 27
3.1	Desain kondensor biasa 41
3.2	Desain <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> 42
3.3	Rangkaian alat uji kondensor biasa 44
3.4	Rangkaian alat uji <i>separation condenser</i> dengan <i>subcooler</i> 45

3.5	Diagram alir penelitian	49
4.1	Grafik suhu evaporator terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	55
4.2	Grafik laju pelepasan kalor terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	55
4.3	Grafik laju aliran massa terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	56
4.4	Grafik kapasitas refrigerasi terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	56
4.5	Grafik suhu evaporator terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	59
4.6	Grafik laju pelepasan kalor terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	59
4.7	Grafik laju aliran massa terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	60
4.8	Grafik kapasitas refrigerasi terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	60
4.9	Grafik nilai kerja kompresi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	61
4.10	Grafik nilai dampak refrigerasi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	62
4.11	Grafik nilai pelepasan kalor mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	63
4.12	Grafik nilai laju aliran massa mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	64
4.13	Grafik nilai kapasitas refrigerasi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	65

4.14	Grafik nilai COP mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	65
4.15	Grafik suhu evaporator terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	66
4.16	Grafik laju pelepasan kalor terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	67
4.17	Grafik laju aliran massa terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	67
4.18	Grafik kapasitas refrigerasi terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	68
4.19	Grafik suhu evaporator terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	69
4.20	Grafik laju pelepasan kalor terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	69
4.21	Grafik laju aliran massa terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	70
4.22	Grafik kapasitas refrigerasi terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	70
4.23	Grafik nilai kerja kompresi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	71
4.24	Grafik nilai dampak refrigerasi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	72
4.25	Grafik nilai pelepasan kalor mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	73
4.26	Grafik laju aliran massa mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	74

4.27	Grafik kapasitas refrigerasi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	75
4.28	Grafik nilai COP mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	76
4.29	Grafik suhu evaporator terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	77
4.30	Grafik laju pelepasan kalor terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	77
4.31	Grafik laju aliran massa terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	78
4.32	Grafik kapasitas refrigerasi terhadap nilai COP menggunakan kondensor biasa dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	78
4.33	Grafik suhu evaporator terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	79
4.34	Grafik laju pelepasan kalor terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	79
4.35	Grafik laju aliran massa terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	80
4.36	Grafik kapasitas refrigerasi terhadap nilai COP menggunakan <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	80
4.37	Grafik nilai kerja kompresi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	81
4.38	Grafik nilai dampak refrigerasi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	82
4.39	Grafik nilai pelepasan kalor mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	83

4.40	Grafik nilai laju aliran massa mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	84
4.41	Grafik nilai kapasitas refrigerasi mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	85
4.42	Grafik nilai COP mesin pendingin dengan variasi debit <i>refrigerant</i> $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	86
4.43	Grafik hubungan nilai COP terhadap waktu pada kondensor biasa	87
4.44	Grafik hubungan nilai COP terhadap waktu pada <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i>	87
4.45	Grafik hubungan nilai COP dengan beban pendinginan evaporator dari Jwo et al., (2009)	88
4.46	Grafik perbandingan <i>refrigerant</i> R-290/R-600a dengan R-134a pada temperatur <i>refrigerant</i> di dibawah -20°C dan beban pendinginan 150 W dari Jwo et al., (2009)	89
4.47	Grafik hasil suhu evaporator terhadap waktu pengujian	90

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 <i>Refrigerant</i> halokarbon	28
2.2 <i>Refrigerant</i> hidrokarbon	29
2.3 <i>Refrigerant</i> anorganik	29
2.4 Karakteristik termodinamika <i>refrigerant</i> Halokarbon	30
2.5 Karakteristik <i>refrigerant</i> R-134a dengan beberapa hidrokarbon	30
2.6 Karakteristik propana dan butana.....	34
2.7 Spesifikasi LPG Campuran	35
4.1 Hasil pengujian kondensor biasa dengan debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ 50	
4.2 Hasil pengujian <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> pada debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	51
4.3 Nilai entalpi pengujian kondensor biasa dengan debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	52
4.4 Nilai entalpi pengujian <i>separation condenser</i> dengan penambahan <i>subcooler</i> pada debit <i>refrigerant</i> $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Data Hasil Percobaan.....	99
B. Nilai Entalpi Data Hasil Percobaan	102
C. Tampilan Diagram P-h <i>Software CoolPack</i>	106
D. Contoh Perhitungan	109
E. Tabel <i>Termophysical Properties</i>	113
F. Nilai Prestasi Mesin.....	116
G. Gambar <i>Separation Condenser</i> Dengan Penambahan <i>Subcooler</i>	120
H. Alat Ukur Debit <i>Refrigerant</i>	121
I. Data Logger	122
J. Spesifikasi LPG	124
K. Dokumentasi Penelitian.....	125

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suhu Bumi yang tanpa kita sadari meningkat dalam beberapa kurun waktu terakhir disebabkan oleh Pemanasan Global. Pemanasan Global akan membuat keseimbangan iklim di Bumi menjadi tidak seimbang yang akan berimbas pada kenyamanan makhluk hidup di Bumi terutama manusia. Suhu yang meningkat juga merupakan salah satu faktor penyebab kualitas makanan menurun pada industri penyimpanan makanan. Peran teknologi pada zaman sekarang sangat penting demi menunjang kenyamanan manusia dan nilai ekonomi terutama kemajuan mesin pendingin.

Salah satu mesin pendingin yang banyak dijumpai adalah kulkas atau *refrigerator*. Mesin ini digunakan untuk menyimpan makanan agar makanan lebih tahan lama guna menunjang nilai ekonomi. Pengembangan teknologi sistem pendingin sangat penting karena akan meningkatkan kinerja mesin pendingin. Temperatur sistem pendingin yang digunakan menyimpan makanan biasanya sekitar 3°C karena pada suhu tersebut bakteri tidak akan mudah tumbuh dan berkembang serta menyebabkan makanan cepat membusuk (Madigan & Brock, 2009).

Pada umumnya, mesin pendingin memiliki komponen yang diantaranya adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi, evaporator dan fluida yang bekerja didalamnya yang disebut *refrigerant* (Stoecker & Jones, 1982). Kondensor merupakan salah satu komponen sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor. Kondensor akan menurunkan temperatur *refrigerant* yang mengalir didalamnya dan merubah fasa dari gas menjadi cair. Kondensor akan membuang panas *refrigerant* ke lingkungan sekitar kondensor tersebut (Stoecker & Jones, 1982). Perawatan kondensor secara teratur akan membuat kinerja kondensor menjadi baik salah satunya pengecekan kebocoran kondensor tersebut.

Desain kondensor yang baik akan meningkatkan pretasi kerja mesin pendingin tersebut. Banyak penelitian kondensor yang menunjukkan hasil prestasi

kerja mesin pendingin yang lebih baik, salah satunya yaitu *separation condenser*. Pada *separation condenser* menghasilkan laju aliran kondensat sebesar 1,6% sampai 7,4% lebih tinggi dari kondensor biasa. Pada aliran kondensat yang sama, *separation condenser* juga mampu menurunkan suhu keluaran lebih rendah dari pada suhu keluaran kondensor biasa. Hasil COP (*Coefficient of Performance*) *separation condenser* menunjukkan sampai 6,6% lebih tinggi dari pada sistem kondensor biasa (Li & Hrnjak, 2017).

Subcooler adalah tempat dimana *refrigerant* akan didinginkan lebih lanjut sehingga *refrigerant* akan turun suhunya dan *refrigerant* berfasa gas akan berubah menjadi cair. Proses tersebut dilakukan pada *refrigerant* sebelum masuk ke dalam katub ekspansi yaitu pada kondensor. Penambahan *Subcooler* mampu menghasilkan suhu keluar *separation condenser* lebih rendah dari suhu keluar kondensor biasa. Penurunan suhu kondensor biasa dari 9,6 K ke 12,2 K sedangkan *separation condenser* dari 10,2 K ke 13,4 K. Perbedaan suhu keluar dari kedua kondensor sebesar 1,3 K (Li & Hrnjak, 2017). Dari hasil di atas menunjukkan bahwa desain sebuah kondensor dapat meningkatkan kinerja kondensor menjadi lebih baik.

Refrigerant adalah fluida kerja pada mesin pendingin yang dapat berubah fasa karena pengaruh dari komponen mesin pendingin. Mesin pendingin umumnya menggunakan *refrigerant* CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) dan HFC (*Hydro Fluoro Carbon*). *Refrigerant* CFC dan HFC dalam penggunaannya banyak menimbulkan dampak negatif yaitu dapat mengakibatkan penipisan lapisan ozon. Kebocoran dan buangan *refrigerant* sintetis (CFC dan HFC) ke lingkungan pada mesin pendingin menjadi salah satu penyebab kerusakan lingkungan yaitu penipisan ozon seiring pemanasan global yang meningkat (McMullan, 2002).

Solusi yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah tersebut ialah mengganti *refrigerant* halokarbon dengan *refrigerant* hidrokarbon (Tandian et al., 1997). Gas hidrokarbon yang dapat digunakan sebagai *refrigerant* adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Kandungan propana dan butana didalam LPG menjadikan LPG sebagai bahan *refrigerant* yang sangat bagus menggantikan *refrigerant* halokarbon (Fatouh & Kafafy, 2006).

Penggunaan LPG sebagai *refrigerant* dapat meningkatkan prestasi kerja 36,2% lebih tinggi dari pada *refrigerant* R22 (Widodo et al., 2014). Penelitian lain menyebutkan nilai COP *refrigerant* LPG meningkat sebesar 5,00 pada beban pendinginan 40 watt dibanding menggunakan *refrigerant* halokarbon (Yudha et al., 2013). Penggunaa LPG dengan massa yang sesuai sebagai *refrigerant* juga akan meningkatkan nilai COP mesin pendingin. Variasi penggunaan massa LPG 550 gram menghasilkan nilai COP sebesar 14 dibandingkan dengan penggunaan massa 715 gram dan 880 gram (Kurniyawan et al., 2014).

Refrigerant LPG juga mempunyai kekurangan, yaitu sifatnya yang mudah terbakar (*flammable*), sehingga perlu dilakukan penambahan pengaman pada saat penggunaan LPG tersebut. Pengaruh penambahan CO₂ pada LPG menyebabkan rambat api menurun yang mampu menjadikan LPG sebagai *refrigerant* yang aman digunakan dan tidak mudah terbakar (Ilminnafik, 2012).

Berdasarkan kondisi di atas, akan dilakukan penelitian guna meningkatkan prestasi mesin pendingin tentang peningkatan efisiensi kinerja penggunaan kondensor jenis *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* yang diharapkan akan meningkatkan kinerja kondensor biasa yang nantinya akan meningkatkan COP dari mesin pendingin. Penelitian ini juga menggunakan LPG sebagai *refrigerant* diharapkan bisa menghemat energi dan mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh *refrigerant* sintetis.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai kondisi tersebut maka muncul beberapa rumusan masalah. Rumusan masalah tersebut diantaranya yaitu :

1. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap dampak refrigerasi menggunakan LPG sebagai *refrigerant* dengan variasi debit yang ditentukan ?
2. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap kerja kompresi menggunakan LPG sebagai *refrigerant* dengan variasi debit yang ditentukan ?

3. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap kapasitas refrigerasi menggunakan LPG sebagai *refrigerant* dengan variasi debit yang ditentukan ?
4. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap prestasi mesin pendingin menggunakan LPG sebagai *refrigerant* dengan variasi debit yang ditentukan ?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan

Tujuan yang muncul dari rumusan masalah tersebut yang mendasari penulis melakukan penelitian diantaranya yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap dampak refrigerasi menggunakan *refrigerant* LPG dengan variasi debit yang ditentukan.
2. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap kerja kompresi menggunakan *refrigerant* LPG dengan variasi debit yang ditentukan.
3. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap kapasitas refrigerasi menggunakan *refrigerant* LPG dengan variasi debit yang ditentukan.
4. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap prestasi mesin pendingin menggunakan *refrigerant* LPG dengan variasi debit yang ditentukan.

1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian tersebut adalah :

1. Memperoleh informasi pengaruh pemasangan *separation condenser* biasa dan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* terhadap dampak refrigerasi, kerja kompresi dan kapasitas refrigerasi pada mesin pendingin dengan LPG sebagai *refrigerant* dengan variasi debit yang ditentukan.
2. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan prestasi kerja mesin pendingin.

3. Sebagai bahan acuan atau informasi bagi peneliti lain dalam pengembangan teknologi mesin pendingin.

1.4 Batasan Masalah

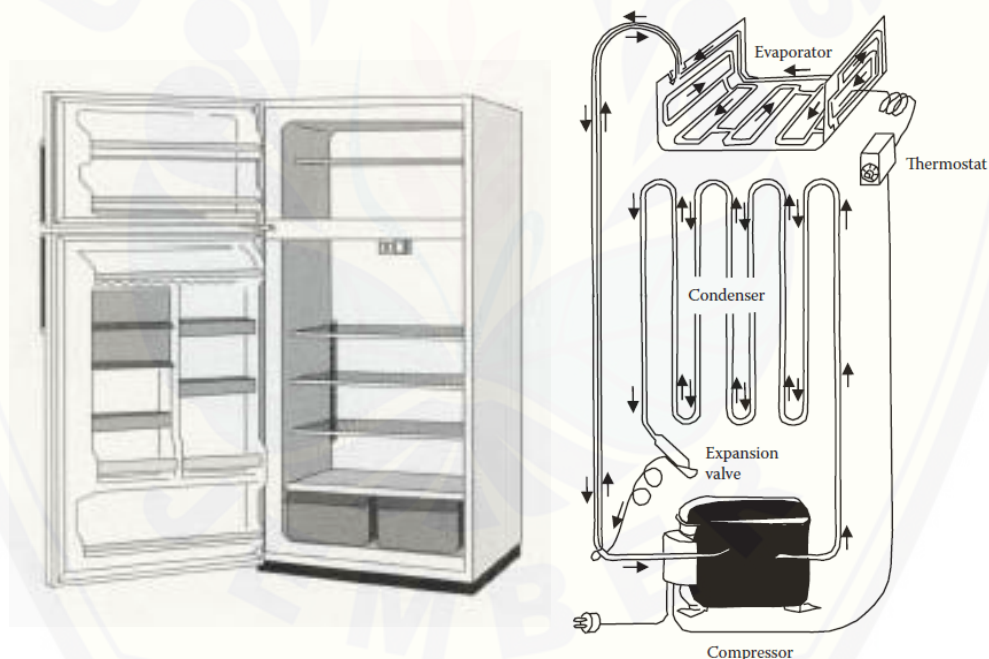
Ada beberapa batasan masalah yang digunakan untuk pengambilan data dan analisa sehingga mempermudah menganalisa permasalahan, diantaranya sebagai berikut :

1. Tidak menghitung perpindahan panas secara konduksi, radiasi dan konveksi pada sistem.
2. Suhu pipa bagian luar pada titik yang diamati diasumsikan sama dengan suhu *refrigerant* di titik tersebut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Refrigerasi

Mesin pendingin merupakan mesin yang paling banyak dijumpai dalam kehidupan sehari – hari. Mesin pendingin yang banyak dijumpai adalah mesin pendingin dengan siklus refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration*) dan refrigerasi absorpsi (Arismunandar & Saito, 1991). Lemari es atau *refrigerator* merupakan salah satu jenis mesin pendingin yang umum digunakan pada peralatan rumah tangga untuk menyimpan makanan. Mesin pendingin umumnya mempunyai beberapa komponen, diantaranya : katup ekspansi, kompresor, evaporator dan kondensor (Farid, 2010).



Gambar 2.1 Komponen mesin pendingin (Farid, 2010)

Pada mesin pendingin terdapat fluida yang bekerja di dalam komponen utama penyusun mesin pendingin, yaitu *refrigerant*. *Refrigerant* merupakan senyawa yang dapat berubah fasa dari cair ke gas dengan menyerap kalor dari lingkungannya. Pada saat fasa gas ke cair, *refrigerant* akan membuang kalor ke lingkungan sekitarnya (Anwar et al., 2010). Sistem refrigerasi akan menyerap dan

membuang kalor melalui udara disekitarnya. Pengambilan maupun pembuangan kalor dari udara harus dilakukan dengan menyentuhkan udara dengan suatu material yang memiliki temperatur dibawah suhu udara tersebut (Tampubolon & Samosir, 2005). Penyebab utama dalam perpindahan kalor adalah suhu bola – kering terjadi perbedaan suhu dan antara permukaan air dan udara terjadi perbedaan tekanan uap (Stoecker & Jones, 1982).

Pada bagian evaporator, *refrigerant* (umumnya R600a dan R134; yang masih digunakan R12 dan amonia) diuapkan untuk menyerap kalor di dalam mesin pendingin atau lemari pendingin karena perpindahan panas melalui dinding lemari pendingin dan infiltrasi melalui pintu maupun pada saat pintu terbuka. *Refrigerant* akan mendidih pada suhu -18°C sampai -20°C ketika tekanan 0,9 – 1 bar, sehingga suhu pada evaporator akan bekerja pada suhu tersebut bila evaporator bekerja dengan baik. *Refrigerant* akan berubah fasa menjadi gas dengan menyerap panas dari lingkungan evaporator tersebut. Pada tahap selanjutnya, motor listrik akan menggerakkan kompresor dan memampatkan *refrigerant* tersebut. Hal ini akan meningkatkan tekanan dan suhu yang kemudian akan dipindahkan ke kondensor. Kondensor akan menurunkan suhu dengan melepas kalor ke lingkungan tanpa menurunkan tekanan *refrigerant*. Dari kondensor, *refrigerant* akan melalui saringan untuk menyaring kotoran yang bercampur pada *refrigerant*. Selanjutnya, *refrigerant* akan melalui pipa kapiler, dimana tekanan dan suhu berkurang serta fasa *refrigerant* berubah menjadi cair. *Refrigerant* akan masuk kembali ke dalam evaporator untuk mendinginkan mesin pendingin tersebut. Seluruh proses beroperasi secara terus menerus dengan memindahkan panas dari bagian evaporator (di dalam mesin pendingin) ke bagian kondensor (bagian luar mesin pendingin) dengan mengalirkan *refrigerant* melalui kompresor sesuai sistem yang dijelaskan di atas (Farid, 2010).

2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin

2.2.1 Evaporator

Evaporator merupakan media pemindahan panas melalui permukaan untuk menyerap kalor melalui *refrigerant* di dalam pipa evaporator yang ada diruangan

mesin pendingin (Widodo & Hasan, 2008). Pada evaporator *refrigerant* akan menyerap panas dan mengalami perubahan suhu serta mulai mengalami perubahan fasa menjadi fasa gas.

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

a. Jenis ekspansi kering

Pada jenis ini, *refrigerant* dari katup ekspansi masuk ke dalam evaporator berupa gas sehingga pada saat keluar evaporator berubah menjadi uap kering. Evaporator akan berisi sebagian besar uap *refrigerant* sehingga perpindahan panas tidak terlalu besar. Evaporator ini tidak memerlukan *refrigerant* yang terlalu banyak dan sangat kecil minyak pelumas akan tertinggal di dalam pipa evaporator (Arismunandar & Saito, 1991).

b. Jenis basah

Evaporator jenis basah, sebagian besar *refrigerant* yang bekerja di dalamnya berwujud cair dan menguap seperti pada ketel uap. *Refrigerant* akan masuk kedalam akumulator yang memisahkan wujud cair dan uap. *Refrigerant* yang berwujud uap akan masuk ke dalam kompresor sedangkan yang berbentuk cair akan kembali masuk ke dalam pipa evaporator bersamaan dengan *refrigerant* cair yang berasal dari katup ekspansi atau kondensor (Arismunandar & Saito, 1991).

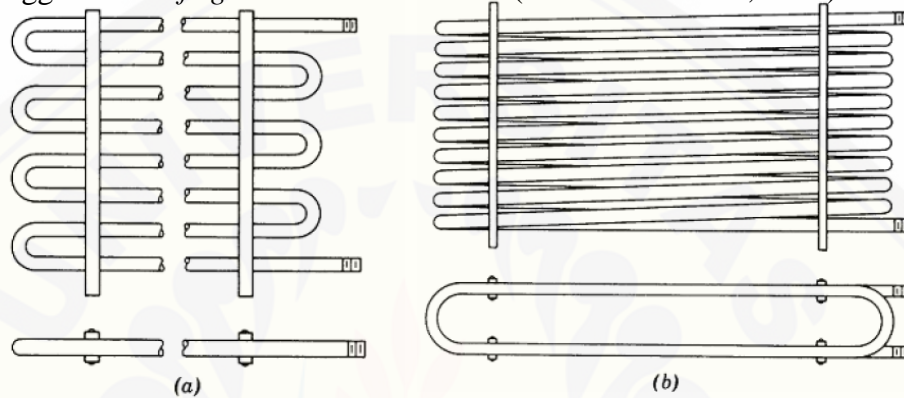
c. Jenis setengah basah

Jenis ini merupakan evaporator dalam kondisi diantara jenis basah dengan jenis ekspansi kering. Evaporator tersebut akan selalu terdapat *refrigerant* yang cair di dalam pipa penguapannya dan menyebabkan laju perpindahan panas jenis ini akan lebih rendah dari pada jenis basah kering namun akan lebih tinggi dari pada jenis ekspansi (Arismunandar & Saito, 1991).

Evaporator juga dibagi sesuai konstruksi yang akan digunakan dalam mesin pendingin, yaitu : *bare tube*, *plate surface* dan *finned* (Widodo & Hasan, 2008).

1) *Bare tube* evaporator

Jenis evaporator ini dapat terbuat dari pipa tembaga maupun pipa baja. Evaporator yang terbuat dari pipa baja biasanya digunakan untuk evaporator kapasitas besar dan *refrigerant* yang digunakan adalah amonia. Untuk evaporator yang terbuat dari pipa tembaga biasanya untuk evaporator dengan kapasitas rendah dan menggunakan *refrigerant* selain ammonia (Widodo & Hasan, 2008).

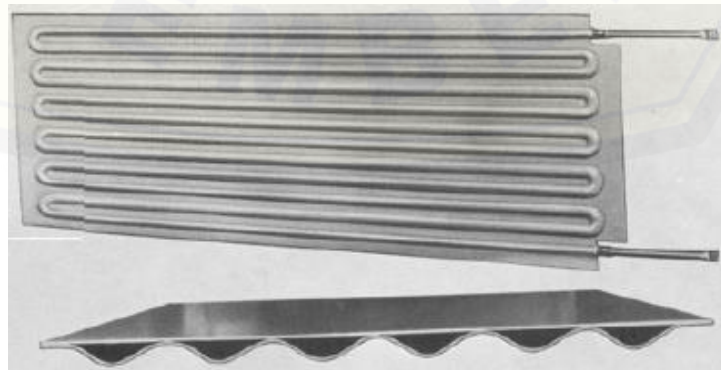


(a) *Flat zigzag coil*; (b) *Oval trombone coil*

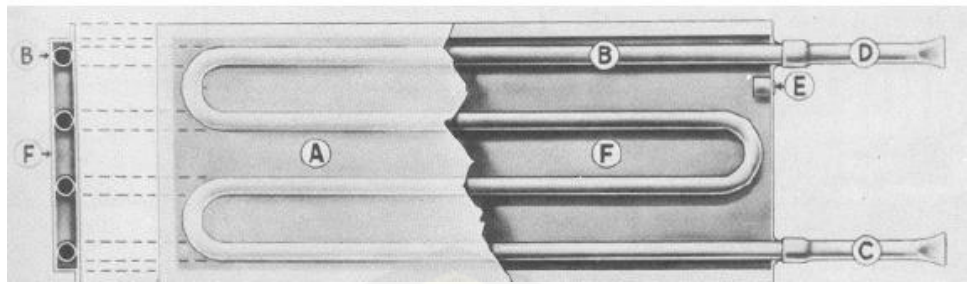
Gambar 2.2 Desain evaporator *bare tube* (Widodo & Hasan, 2008)

2) *Plate surface* evaporator

Evaporator ini terbuat dari permukaan plat dan dirancang dengan beberapa jenis. Evaporator tersebut diantaranya terbuat dari dua plat tipis yang dipres dan dilas sehingga membentuk alur untuk mengalirkan *refrigerant* dan ada juga menggunakan pipa yang dipasang di antara dua plat tipis kemudian dipres dan dilas (Widodo & Hasan, 2008).



(a)



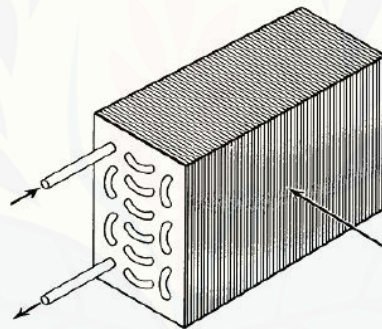
(b)

(a) Evaporator permukaan plat; (b) Evaporator permukaan plat dengan pipa

Gambar 2.3 Desain evaporator *Plate surface* (Widodo & Hasan, 2008)

3) *Finned* evaporator

Evaporator ini merupakan evaporator *bare tube* yang dilengkapi plat aluminium sebagai sirip – sirip yang dipasang sepanjang pipa agar permukaan perpindahan panas lebih luas (Widodo & Hasan, 2008).



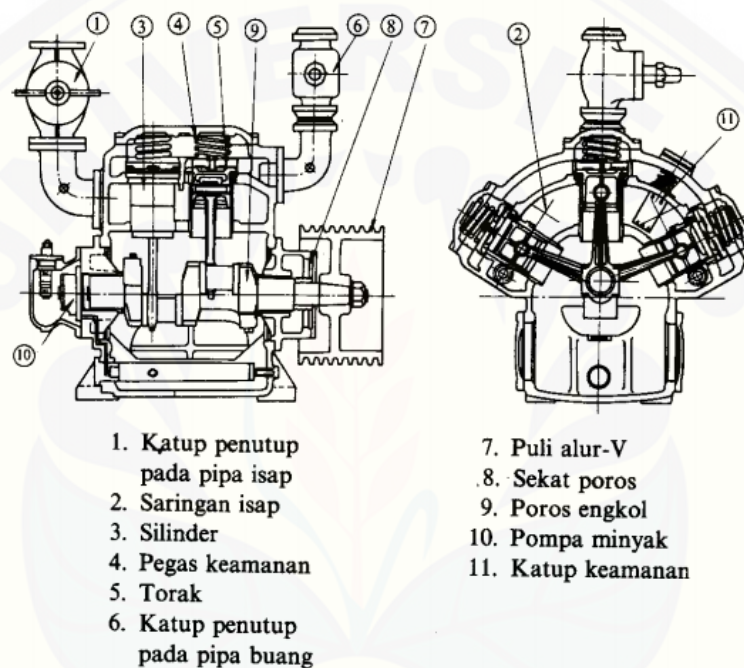
Gambar 2.4 Desain evaporator *Finned* (Widodo & Hasan, 2008)

2.2.2 Kompresor

Kompresor merupakan komponen mesin pendingin yang digunakan untuk memampatkan *refrigerant* sehingga tekanan dan suhu akan meningkat (Farid, 2010). Suhu yang meningkat seiring dengan meningkatkan tekanan pada *refrigerant* akan mempermudah perpindahan panas pada saat melalui kondensor. Suhu *refrigerant* harus diatas suhu lingkungan mesin pendingin tersebut. Jenis *refrigerant* yang digunakan dan suhu lingkungan akan menentukan hasil tingkat suhu yang harus dicapai (Widodo & Hasan, 2008).

a. Kompresor torak

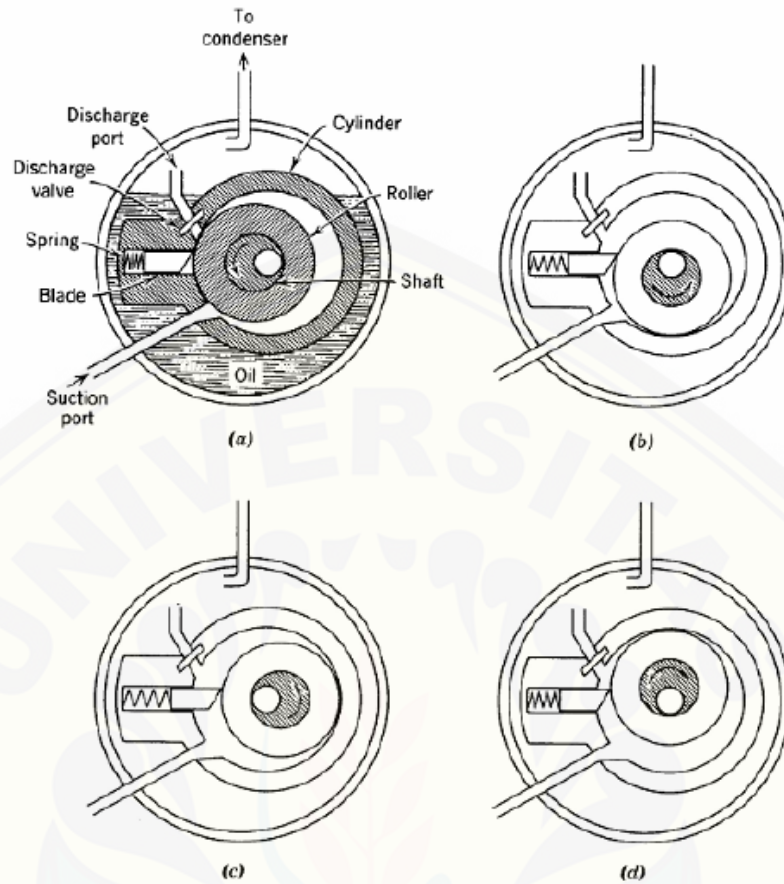
Kompresor jenis ini terdapat sebuah silinder dan di dalamnya terdapat piston atau torak. Piston akan bekerja dan menghasilkan efek penurunan volume gas yang berada di dalam silinder sehingga *refrigerant* termampatkan. Katup yang berada pada bagian atas piston dapat terbuka maupun tertutup secara otomatis karena pengaruh tekanan dari *refrigerant* tersebut. Jumlah silinder pada kompresor ini dapat berupa multi silinder ataupun tunggal (Widodo & Hasan, 2008).



Gambar 2.5 Kompresor torak (Arismunandar & Saito, 1991)

b. Kompresor putar

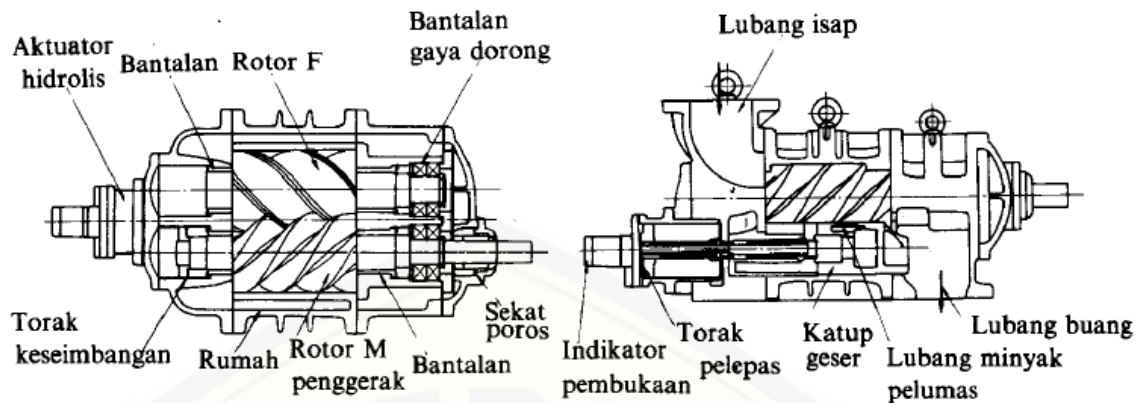
Kompresor putar dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu daun berputar dan jenis daun *stasioner* (diam). Kompresor jenis ini memiliki jumlah komponen yang lebih sedikit dan konstruksi yang lebih sederhana dibandingkan dengan kompresor torak. Pada kompresor dengan kapasitas besar, getaran yang ditimbulkan lebih sedikit serta pembuatannya yang mudah. Kompresor tersebut harus dibuat teliti pada bagian yang bergesekan serta terbuat dari material yang tahan aus sehingga diperoleh perbandingan kompresi dan efisiensi tinggi (Arismunandar & Saito, 1991).



Gambar 2.6 Aksi mekanik kompresor putar (Widodo & Hasan, 2008)

c. Kompresor sekrup

Kompresor tersebut merupakan kompresor dengan dua buah rotor yang berpasangan dengan mekanisme pelumasan terpadu. Kompresor tersebut lebih sedikit menimbulkan gesekan, relatif stabil terhadap pengaruh cairan (kotoran) yang terserap ke dalam *refrigerant* dan dalam satu tingkat perbandingan kompresinya tinggi. Pada kompresor sekrup memiliki mekanisme 3 langkah, yaitu: langkah keluar, langkah isap dan langkah kompresi. Untuk mengurangi gesekan pada aliran gas, gas dihisap, dikompresikan dan dikeluarkan dalam arah aksial (Arismunandar & Saito, 1991).

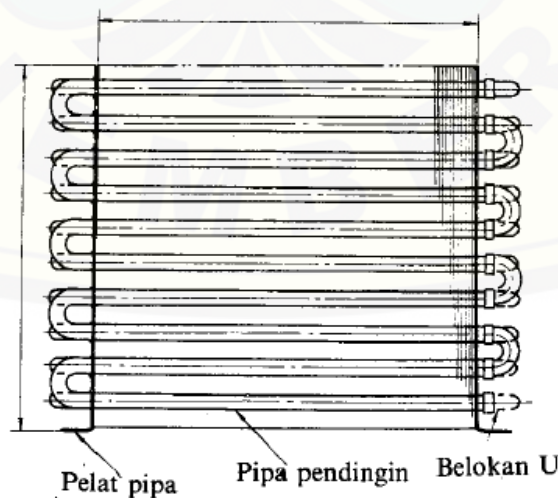


Gambar 2.7 Konstruksi kompresor sekrup (Arismunandar & Saito, 1991)

2.2.3 Kondensor

Kondensor merupakan komponen mesin pendingin yang fungsinya untuk melepas kalor pada *refrigerant* dari suhu tinggi dan berwujud gas bertekanan yang keluar dari *discharge* kompresor menjadi cair dengan suhu rendah dan bertekanan tinggi. Kondensor pada dasarnya mampu melepas kalor tersebut ke *cooling* medium yang digunakan atau lingkungan disekitar mesin pendingin tersebut (Widodo & Hasan, 2008). Beberapa *cooling* medium yang digunakan pada kondensor :

- Evaporative condenser (pendingin dengan kombinasi udara dan air)
- Water cooled condenser (kondensor berpendingin air)
- Air cooled condenser (kondensor berpendingin udara)



Gambar 2.8 Kondensor (Arismunandar & Saito, 1991)

Pada kondensor juga terdapat udara yang tak dapat mengembun. Jika udara atau gas yang berada di dalam kondensor tak dapat mengembun memasuki sistem refrigerasi maka gas atau udara tersebut akan mengumpul di dalam kondensor (Stoecker & Jones, 1982). Gas tersebut dapat menurunkan efisiensi sistem dengan dua sebab, yaitu:

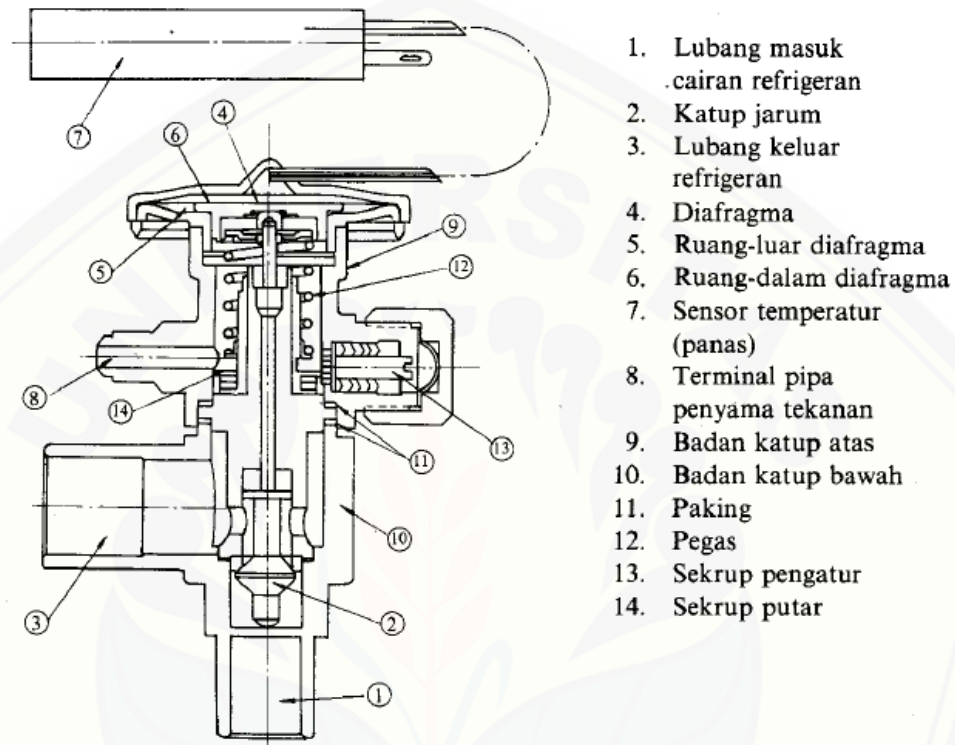
- 1) Tekanan total di dalam kondensor akan naik sehingga kompresor memerlukan daya yang lebih banyak untuk setiap unit kapasitas refrigerasi.
- 2) Gas – gas tersebut tidak akan berdifusi diseluruh kondensor tetapi akan menempel pada pipa – pipa kondensor sehingga permukaan pengembunana menyusut dan meningkatkan tekanan kondensor naik.

Gas – gas yang tak dapat mengembun dapat dikeluarkan dengan cara pemurnian (*purging*). Purging merupakan cara mengeluarkan campuran uap *refrigerant* dan gas dari kondensor, lalu *refrigerant* dipisahkan dan membuang gas yang tak dapat mengembun tersebut (Stoecker & Jones, 1982).

2.2.4 Katup Ekspansi

Komponen tersebut dipergunakan untuk mengekspansikan *refrigerant* dari tekanan tinggi yang dihasilkan oleh kompresor hingga *refrigerant* berubah bertekanan dan bersuhu rendah secara adiabatik. Katup ekspansi akan mengatur *refrigerant* yang akan masuk ke evaporator sesuai dengan beban pendingin yang dicapai evaporator sehingga evaporator mencapai efisiensi yang maksimal. Apabila beban pendinginan bertambah besar atau katup terbuka bertambah kecil maka cairan *refrigerant* akan menguap sempurna sehingga pada kondisi superpanas ketika mencapai sisi keluar evaporator. Kalor yang diserap akan semakin besar sehingga temperatur uap *refrigerant* makin lebih tinggi dari pada temperatur penguapannya. Derajat superpanas yang rendah tidak akan mengganggu tetapi, derajat superpanas yang terlampau besar akan menyebabkan temperatur gas *refrigerant* keluar dari kompresor akan semakin tinggi yang akan menyebabkan kompresor cepat rusak (Arismunandar & Saito, 1991). Dalam mesin pendingin terdapat beberapa katup ekspansi yang umum digunakan, yaitu :

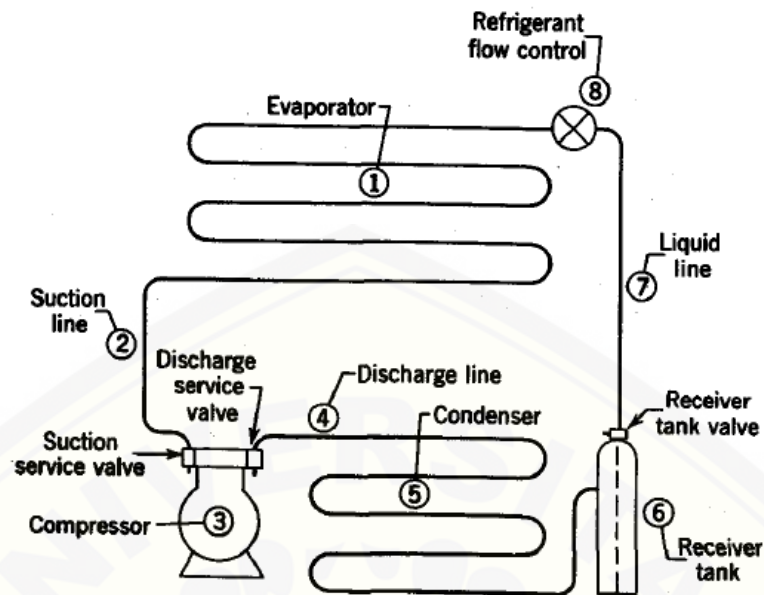
- a. Katup ekspansi manual
- b. Katup ekspansi otomatis termostatik
- c. Pipa kapiler
- d. Katup ekspansi tekanan konstan



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

2.3 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi merupakan siklus yang bekerja memindahkan kalor dari temperatur rendah ke temperatur yang lebih tinggi. Sistem refrigerasi akan menggunakan kerja dari luar sistem untuk memindahkan kalor tersebut (Rahman et al., 2015).



Gambar 2.10 Diagram siklus sistem kompresi uap sederhana (Dossat, 1961)

Siklus refrigerasi akan dibagi menjadi beberapa klasifikasi. Menurut (Kusuma et al., 2015) menyebutkan bahwa siklus refrigerasi dibagi sebagai berikut :

- a. Siklus refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*)
Siklus ini merupakan siklus yang dimana *refrigerant* mengalami proses penguapan, kompresi dalam fasa uap dan kondensasi.
- b. Siklus refrigerasi gas (*gas refrigeration cycle*)
Pada siklus ini, *refrigerant* pada kondisi wujud gas dan bekerja secara tetap.
- c. Siklus refrigerasi bertingkat (*cascade refrigeration cycle*)
Siklus ini berkerja dengan menggabungkan lebih dari satu siklus refrigerasi.
- d. Siklus refrigerasi termoelektrik (*thermoelectric refrigeration cycle*)
Pada siklus ini proses refrigerasi dihasilkan dari dua buah material yang dialiri arus listrik.
- e. Siklus refrigerasi absorpsi (*absorption refrigeration cycle*)
Siklus ini akan bekerja pada saat sebelum dikompresi, *refrigerant* akan dilarutkan dalam sebuah cairan.

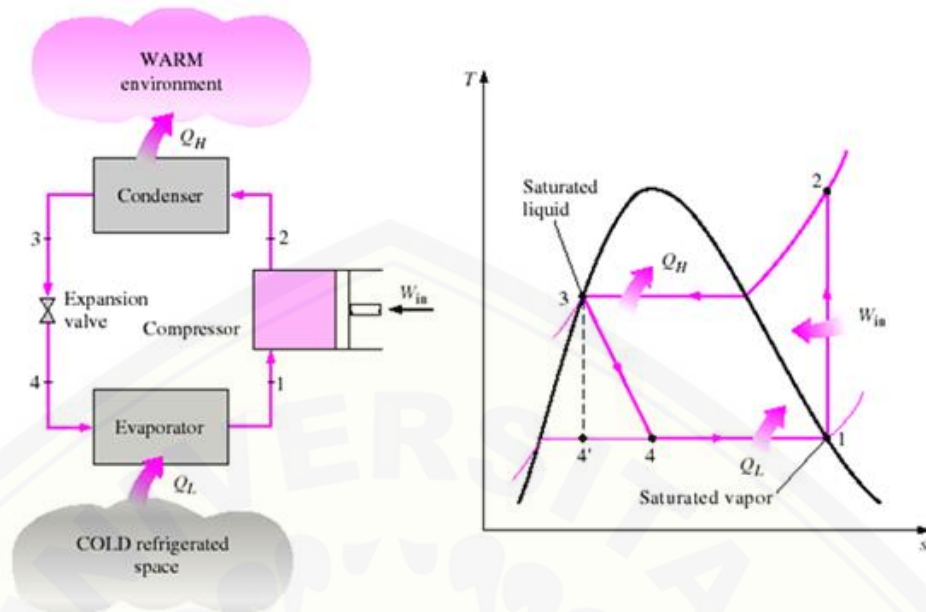
Siklus kompresi uap merupakan siklus yang sering digunakan pada mesin pendingin. Fluida kerja atau biasa disebut *refrigerant* pada siklus refrigerasi uap

akan diberikan tekanan untuk menaikkan suhu dan kemudian tekanan diturunkan untuk dapat menguap kembali (Amshori et al., 2016). Perubahan energi kinetik dan potensial pada saat analisa sistem refrigerasi akan diabaikan karena besar perubahan entalpi saat melalui komponen mesin pendingin lebih besar dari pada perubahan energi kinetik dan energi potensial (Handoyo & Lukito, 2002).

Mesin pendingin dengan menggunakan siklus kompresi uap merupakan mesin pendingin dengan kerjanya berasal dari kompresor (Pramana, 2014). Pada siklus refrigerasi uap, motor listrik akan menggerakkan kompresor dan memampatkan *refrigerant* tersebut. Hal ini akan meningkatkan tekanan dan suhu yang kemudian akan dipindahkan ke kondensor. Kondensor akan menurunkan suhu dengan melepas kalor ke lingkungan tanpa menurunkan tekanan *refrigerant*. Dari kondensor, *refrigerant* akan melalui pipa kapiler, dimana tekanan dan suhu berkurang serta fasa *refrigerant* berubah menjadi cair. *Refrigerant* akan masuk ke dalam evaporator untuk mendinginkan mesin pendingin tersebut dan kembali masuk ke dalam kompresor (Farid, 2010).

2.3.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Siklus carnot merupakan siklus kebalikan dari siklus refrigerasi kompresi uap ideal. Pada siklus refrigerasi kompresi uap ideal, *refrigerant* harus menguap sebelum masuk ke dalam kompresor dan dikompresikan. Pada siklus ini, turbin pada siklus carnot akan diganti oleh pipa kapiler atau katup ekspansi (Pratipta et al., 2016).



Gambar 2.11 Siklus refrigerasi kompresi uap (Cengel & Boles, 1994)

Pada gambar di atas dijelaskan pada diagram $T-s$ bahwa siklus uap ideal adalah sebagai berikut :

- a. Proses 1-2 (kompresi isentropis dalam kompresor)

Proses kompresi merupakan proses yang dilakukan pada kompresor dengan memberikan tekanan pada *refrigerant* secara reversibel dan isentropik. Kerja kompresor akan memberikan tekanan pada *refrigerant* yang akan menyebabkan naiknya suhu *refrigerant* lebih tinggi dari suhu lingkungan (Kusuma et al., 2015).

- b. Proses 2-3 (pembuangan kalor secara isobaris dalam kondensor)

Pada saat *refrigerant* melewati kondensor, *refrigerant* mengalami transfer panas dengan lingkungan sekitar dan berubah fasa menjadi uap cair jenuh dengan tekanan yang temperatur yang masih tinggi. Media pendingin pada kondensor dapat berupa udara atau air atau bisa campuran dari keduanya (Kusuma et al., 2015).

- c. Proses 3-4 (proses ekspansi pada katub ekspansi)

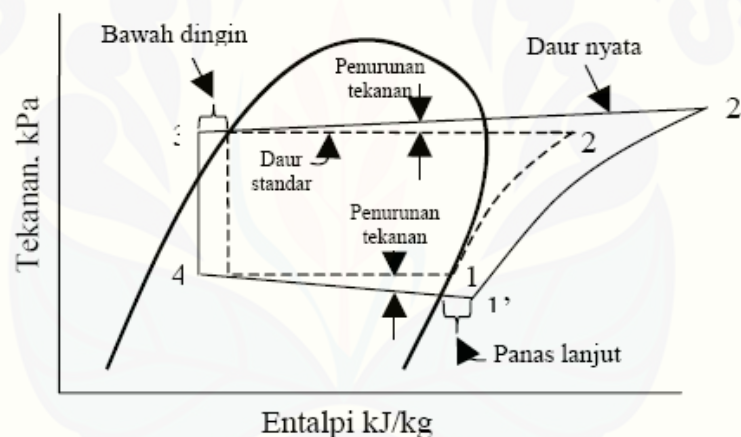
Pada katub ekspansi atau pipa kapiler, *refrigerant* akan mengalami penurunan tekanan dan temperatur secara adiabatik ke lingkungan (Kusuma et al., 2015)

d. Proses 4-1 (penyerapan kalor pada evaporator)

Setelah melewati katup ekspansi, *refrigerant* akan berubah menjadi cair jenuh dengan memiliki tekanan dan temperatur yang rendah. *Refrigerant* akan menyerap kalor dari lingkungan dan menyebabkan *refrigerant* berubah fasa menjadi uap jenuh dan kembali pada kompresor (Kusuma, et al., 2015).

2.3.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

Pada kenyataan sistem refrigerasi, sebuah mesin pendingin akan mengalami penyimpangan dari siklus idealnya akibat ireversibilitas pada tiap komponennya (Pratipta et al., 2016). Ireversibilitas pada mesin pendingin umumnya disebabkan karena gesekan fluida dengan komponen dan perpindahan kalor dengan lingkungannya (Kusuma et al., 2015).



Gambar 2.12 Siklus refrigerasi kompresi uap aktual (Pratipta, et al., 2016)

Menurut Amshori et al., (2016) bahwa terdapat perbedaan penting siklus kompresi uap standar dengan siklus kompresi uap aktual, yaitu :

- Adanya proses *subcooling* cairan yang meninggalkan evaporator sebelum memasuki kompresor.
- Terjadi penurunan tekanan disepanjang pipa kondensor dan evaporator.
- Akan terjadi kenaikan entropi saat proses kompresi dikompresor (kompresi tidak isentropik).
- Akan ada pendinginan lanjut uap pada saat keluar evaporator dan sebelum memasuki *suction* kompresor.
- Proses kompresi berlangsung secara non – adiabatik.

2.3.3 Persamaan Energi Pada Siklus Refrigerasi

Pada proses siklus refrigerasi yang ideal akan bersifat reversibel secara internal, kecuali untuk proses ekspansi yang irreversibel (karena trotoel tidak mungkin isentropik sehingga perlu diidealisasi atau berperan sebagai turbin untuk memudahkan analisa) (Sambudi et al., 2016). Efisiensi siklus refrigerasi ini dinyatakan dalam koefisien untuk kerja (COP), dimana tergantung dari efek refrigerasi ($Load/Ql$) dan kerja netto ($W_{net,in}$). Secara teoritis COP maksimum ini tergantung dari temperatur dua sisi (T_{cool} dan T_{high}), dimana COP akan naik bila beda temperatur keduanya semakin kecil (Pratipta, et al., 2016).

Efek refrigerasi merupakan banyaknya kalor yang dapat diserap oleh *refrigerant* yang ada di dalam evaporator dari lingkungannya dan akan sebanding dengan selisih antara entalpi masuk dan keluar evaporator (Pratipta et al., 2016).

$$q_e = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

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

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

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

Kerja kompresi adalah perubahan entalpi pada proses 1 – 2 pada gambar 2.11 . Pada proses kompresi, *refrigerant* akan mengalami kenaikan entalpi akibat bertambahnya energi oleh kompresor pada *refrigerant* (Sambudi et al., 2016). Besarnya kenaikan energi *refrigerant* akan sebanding dengan kerja kompresor (Stoecker & Jones, 1982). Hubungan tersebut diturunkan menjadi :

$$W = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

W = Kerja kompresi, (Btu/lb) atau (kJ/kg)

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

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

Kapasitas refrigerasi adalah laju aliran massa dikalikan pengurangan *refrigerant* yang keluar dan masuk evaporator (Rahman et al., 2015). Hubungan tersebut diturunkan menjadi :

$$q = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

q = Kapasitas refrigerasi, (kJ/s)

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

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

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

Dari perhitungan diatas dapat diketahui efisiensi mesin pendingin tersebut dengan menghitung COP (*Coeffisient Of Performance*). COP adalah perbandingan antara kerja kompresor yang harus diberikan dengan besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator (Kusuma et al., 2015).

$$\text{COP} = \frac{q_e}{W} \dots\dots\dots(2.5)$$

Atau

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(2.6)$$

Pembuangan kalor pada kondensor akan sama dengan panjang garis horizontal pada kerja kondensor, yakni pada garis mendatar plot siklus diagram tekanan entalpi bagian atas (Kusuma et al., 2015). Pembuangan kalor pada kondensor dapat dituliskan sebagai berikut :

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

karena :

$$h_2 - h_3 = (h_2 - h_1) + (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$q_c = W + q_e \dots\dots\dots(2.9)$$

Atau dapat disebutkan bahwa pembuangan kalor kondensor = efek refrigerasi + kerja kompresor (Kusuma, et al., 2015).

2.4 *Separation Condenser*

Separation Condenser merupakan kondensor dengan pemisah fasa cair dan gas. Penelitian yang dilakukan oleh Hua, bahwa peningkatan kerja *Liquid-vapor condenser* berdasarkan teori menggunakan metode eksperimental. Dari hasil eksperimental membuktikan hasil sangat baik yang ditunjukkan dari serangkaian alat ukur yang terpasang pada sistem *Liquid-vapor separation condenser* berdasarkan perhitungan secara teori. Desain yang sangat bagus dari *Liquid-vapor separation condenser* terbukti memiliki perpindahan panas tinggi dan *pressure drop* yang rendah dibandingkan dengan *Serpentine condenser* (Hua et al., 2013).

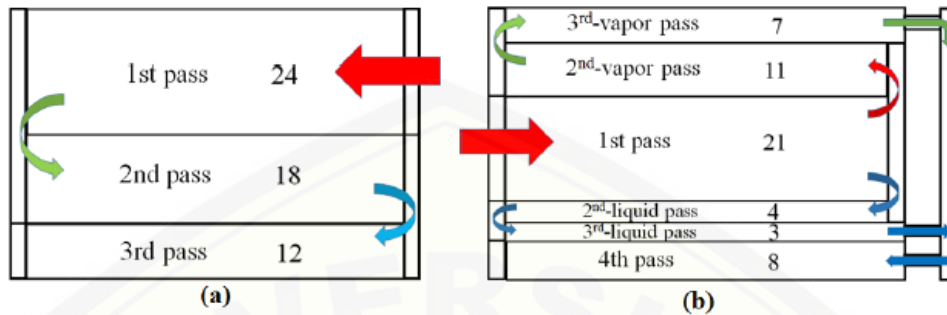
Penelitian lain yang dilakukan oleh Zhong et al., (2014) terjadi peningkatan kinerja sistem melalui koefisien perpindahan panas pada *Liquid-vapor Separation Condenser* (LSC). *Pressure drop* pada LSC mengalami penurunan sebesar 77,1%-81.4% dibandingkan *Serpentine Condenser* (SC) dan dibandingkan *Parallel-flow condenser* sebesar 57.5%-64.6%.

Separation Condenser juga diuji dengan menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan kinerja dari *Liquid-vapor separation micro-channer condenser* (LSMC) dengan *Parallel flow micro-channel condenser* (PFMC). Kapasitas pendinginan dari *Liquid-vapor separation micro-channel condenser* (LSMC) 5,18% lebih tinggi dari *Parallel flow micro-channel condenser* (PFMC). Prestasi kerja dari serangkaian sistem LSMC lebih baik dibandingkan dengan serangkaian sistem PFMC (Zheng et al., 2014).

Penelitian dengan program simulasi *Mixed-integer nonlinear programming* (MINLP) membuktikan bahwa *separation condenser* mampu meningkatkan kinerja dari *Organic Rankine Cycle* karena memiliki koefisien perpindahan panas yang tinggi, tekanan yang lebih rendah dan lebih ringkas yang mampu menghemat energi sekaligus mengurangi biaya produksi (Luo et al., 2015).

Menurut Li & Hrnjak (2017) bahwa pemisah fasa menguntungkan kondensor agar lebih efektif. Pada *separation condenser* menghasilkan laju aliran kondensat sebesar 1,6% sampai 7,4% lebih tinggi dari kondensor biasa. Pada aliran kondensat yang sama, *separation condenser* juga mampu menurunkan suhu keluaran lebih rendah dari pada suhu keluaran kondensor biasa. Hasil COP

(Coefficient of Performance) separation condenser menunjukkan sampai 6,6% lebih tinggi dari pada sistem kondensor biasa (Li & Hrnjak, 2017).

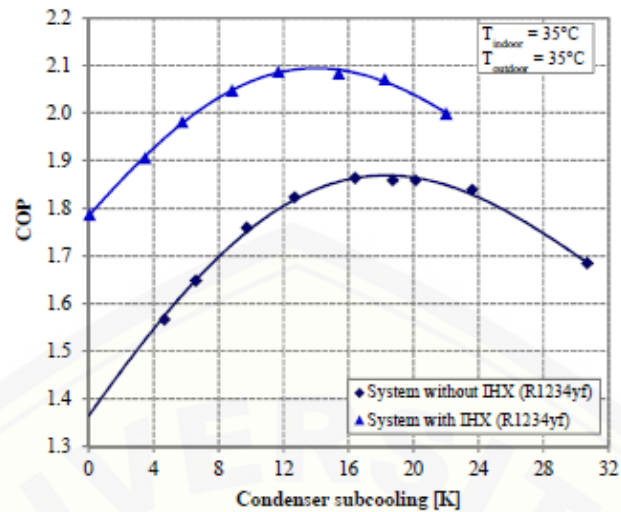


(a) Kondensor biasa / *Baseline condenser*; (b) *Separation condenser*

Gambar 2.13 Perbedaan *baseline condenser* dengan *separation condenser* (Li & Hrnjak, 2017)

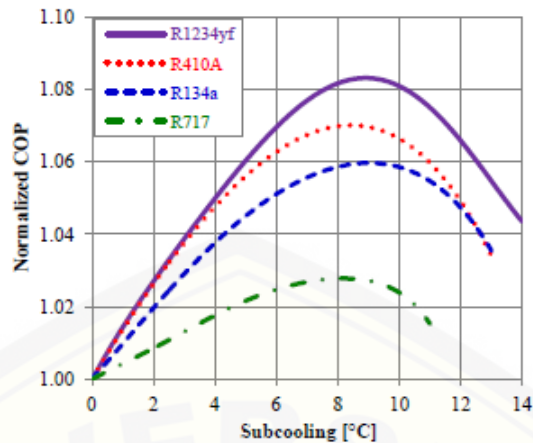
2.5 Subcooler

Subcooler adalah tempat dimana *refrigerant* akan didinginkan lebih lanjut sehingga *refrigerant* akan turun suhunya dan *refrigerant* berfasa gas akan berubah menjadi cair. Menurut Pottker & Hrnjak (2015) bahwa efek kondensor *subcooling* menggunakan *refrigerant* R134a dan R1234yf disistem AC (*air conditioning system*) dengan penambahan maupun tanpa *internal heat exchanger* tidak membuat perubahan mencolok sifat termodinamika namun menghasilkan nilai COP yang meningkat. Hasil percobaan membandingkan R1234yf dan R134a mengkonfirmasi penelitian yang diamati selama studi numerik. Penelitian tersebut menghasilkan penurunan suhu sebesar 12,1°C dikondensor. Pada kondisi operasi tertentu, sistem COP meningkat hingga 18% untuk R1234yf dan hanya 9% untuk R134a (Pottker & Hrnjak, 2015).



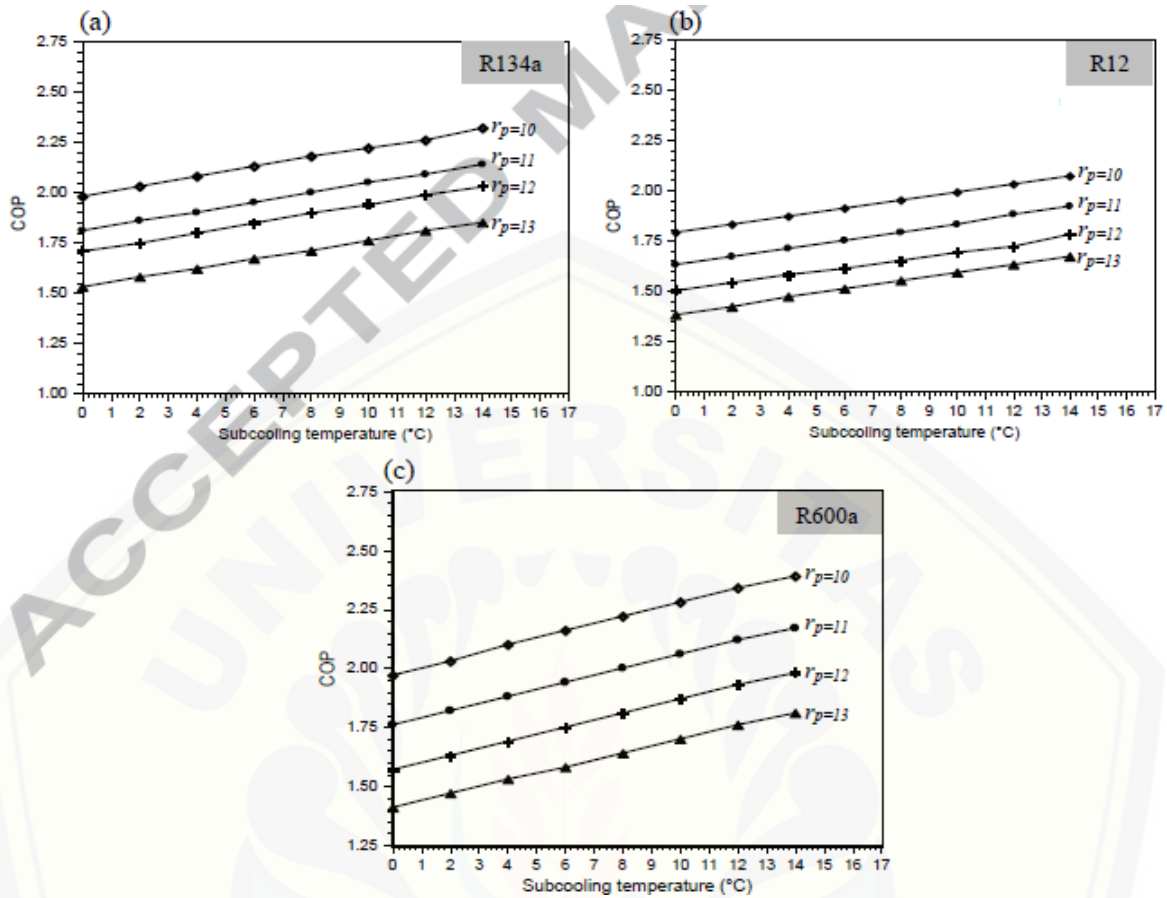
Gambar 2.14 Hasil penelitian kondensator *subcooling* untuk sistem dengan dan tanpa IHX pada *refrigerant* R1234yf (Pottker & Hrnjak, 2015)

Pada penelitian yang dilakukan Pottker & Hrnjak (2015) tentang efek *condenser subcooling* pada performa sistem kompresi uap dan menghasilkan kenaikan hasil COP pada performa mesin. Penelitian tersebut menggunakan *water-cooled tube-in-tube condenser* dengan tambahan maupun tanpa *subcooling* dengan menggunakan beberapa *refrigerant* yaitu R1234yf, R410A, R134a dan R717. pada penelitian ini, hasil COP tidak mempengaruhi sifat termodinamika. Hasil pada penelitian tersebut bahwa R1234yf menghasilkan kenaikan COP paling tinggi. Kenaikan COP R1234yf sebesar 8.4% dibandingkan dengan R410A (7.0%), R134a (5,9%) dan R717 (2,7%).



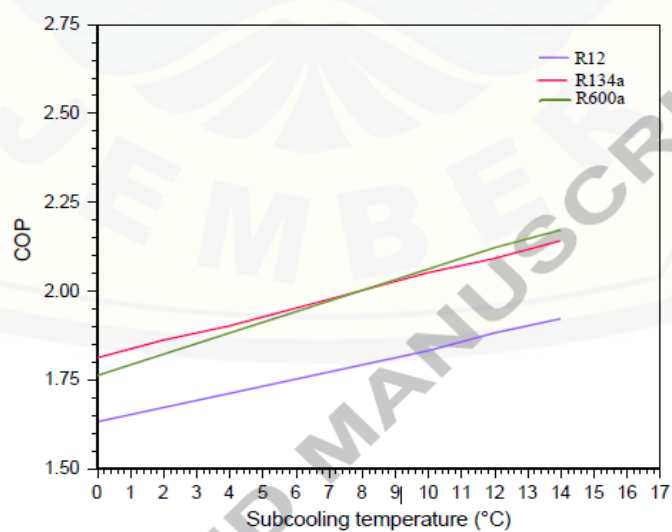
Gambar 2.15 Hasil pengujian efek kondensor subcooling pada COP di temperatur masuk kondensor dan evaporator 35°C dan 27°C (Pottker & Hrnjak, 2015)

Pada penelitian yang dilakukan Azzouzi et al., (2017) bahwa efek *wire – on – tube condenser subcooling* terhadap performa mesin kompresi uap akan menghasilkan peningkatan COP mesin tersebut. Pada penelitian tersebut memvariasikan suhu *subcooling* dan rasio tekanan pada semua *refrigerant* yang digunakan. *Refrigerant* pada penelitian tersebut menggunakan *refrigerant* R12, R134a dan R600a. Variasi suhu *subcooling* yang digunakan antara 0°C sampai 14°C, sedangkan variasi rasio tekanan dari 10 bar ke 13 bar. Hasil dari penelitian tersebut bahwa R600a menghasilkan COP 12,7% yang merupakan hasil tertinggi dari ketiga *refrigerant* lainnya yaitu 10% untuk R134a dan 8,9% untuk R12 pada rasio tekanan 11 bar (Azzouzi, et al., 2017).



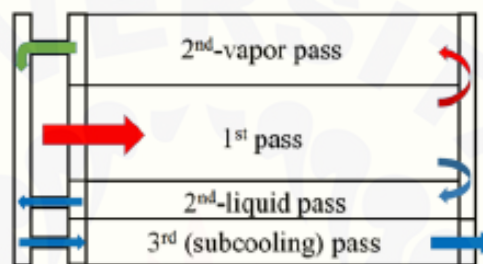
(a) R134a; (b) R12; (c) R600a

Gambar 2.16 Efek suhu subcooling pada performa siklus refrigerasi pada operasi dibawah beda rasio tekanan (Azzouzi dkk, 2016)

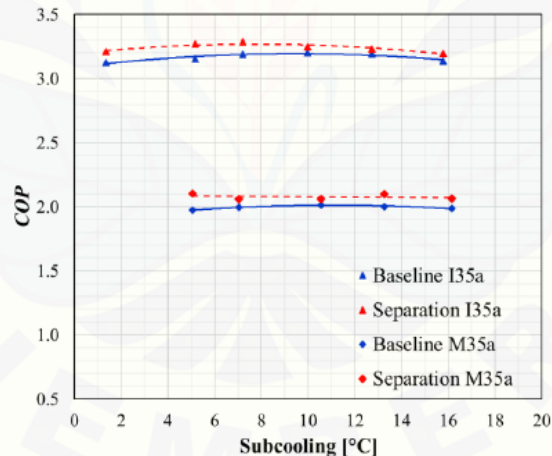


Gambar 2.17 Hasil pengujian suhu *subcooling* pada *refrigerant* R12, R134a dan R600a pada COP dibawah rasio tekanan 11 bar (Azzouzi, et al., 2017)

Penelitian penambahan *Subcooler* mampu menghasilkan suhu keluar *separation condenser* lebih rendah dari suhu keluar kondensor biasa. Penurunan suhu kondensor biasa dari 9,6 K ke 12,2 K sedangkan *separation condenser* dari 10,2 K ke 13,4 K. Perbedaan suhu keluar dari kedua kondensor sebesar 1,3 K. Performa mesin dapat diketahui dengan variasi kecepatan kompresor ditetapkan mulai 765 rpm dan 1625 untuk I35a dan M35a yang terus naik dan menghasilkan COP sebesar 1,3% sampai 6,65% dibandingkan kondensor biasa (Li & Hrnjak, 2017).



Gambar 2.18 *Subcooler condenser* (Li & Hrnjak, 2017)



Gambar 2.19 Peningkatan hasil penelitian COP *subcooler condenser* (Li & Hrnjak, 2017)

2.6 Refrigerant

Refrigerant merupakan fluida kerja sistem refrigerasi yang berfungsi menyerap, memindahkan kalor dari satu media ke media lainnya. *Refrigerant* umumnya terdapat dua jenis, yaitu :

a. *Refrigerant* primer

Refrigerant primer yaitu *refrigerant* yang biasa digunakan dalam siklus kompresi uap (Stoecker & Jones, 1982).

b. *Refrigerant* sekunder

Refrigerant sekunder yaitu fluida kerja pada sistem refrigerasi yang menyerap kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator. *Refrigerant* ini akan mengalami perubahan suhu pada saat menyerap kalor dan membebaskannya pada evaporator, namun tidak mengalami perubahan fasa (Stoecker & Jones, 1982).

2.6.1 Jenis *Refrigerant*

a. Senyawa halokarbon

Refrigerant dalam kelompok halokarbon merupakan *refrigerant* yang umum digunakan dalam sistem refrigerasi. *Refrigerant* tersebut memiliki satu atau lebih atom dari tiga ion halogen (klorin, flourin dan bromin) (Stoecker & Jones, 1982).

Tabel 2.1 *Refrigerant* halokarbon

Ketentuan penomoran	Nama kimia	Rumus kimia
11	Trikloromonofluorometana	CCl_3F
12	Diklorodifluorometana	CCl_2F_2
13	Monoklorotrifluorometana	CClF_3
22	Monoklorodifluorometana	CHClF_2
40	Metil klorida	CH_3Cl
113	Triklorotrifluoroetana	$\text{CCL}_2\text{FCClF}_2$
114	Diklorotetrafluoroetana	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

Sumber : Stoecker & Jones (1982)

b. Senyawa hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon menjadi perhitungan sebagai pengganti CFC, setelah peralihan dari CFC ke HFC banyak timbul permasalahan. Senyawa hidrokarbon umumnya dipakai pada sistem pendingin industri minyak bumi. Hidrokarbon mempunyai banyak kekurangan diantaranya mudah terbakar dan meledak maka dari itu perlu perlakuan khusus.

Tabel 2.2 *Refrigerant* hidrokarbon

Ketentuan penomoran	Nama kimia	Rumus kimia
50	Metana	CH ₄
170	Etana	C ₂ H ₆
290	Propana	C ₃ H ₈

Sumber : Stoecker & Jones (1982)

c. Senyawa anorganik

Dari senyawa *refrigerant* yang digunakan merupakan senyawa organik dan masih digunakan sampai saat ini (Stoecker & Jones, 1982).

Tabel 2.3 *Refrigerant* anorganik

Ketentuan penomoran	Nama kimia	Rumus kimia
717	Amonia	NH ₃
718	Air	H ₂ O
729	Udara	
744	Karbon dioksida	CO ₂
764	Sulfur dioksida	SO ₂

Sumber : Stoecker & Jones (1982)

Semua *refrigerant* sudah jarang digunakan selain amonia kecuali pada sistem terdahulu. Amonia mempunyai sifat termal yang baik dan biasa digunakan pada lapangan *ice skating*.

d. Senyawa azeotrop

Senyawa azeotrop merupakan suatu campuran yang tak dapat dipisahkan menjadi senyawa penyusunnya dengan cara distilasi. Senyawa ini menguap dan mengembun sebagai suatu substansi tunggal yang sifatnya berbeda dengan sifat unsur pembentuknya. Azeotrop yang paling dikenal adalah R502, merupakan campuran dari 51,2% R115 dan 48,8% R22. Azetrop lainnya adalah R500, merupakan campuran dari 26,2% R152a dan 73,8% R12 (Stoecker & Jones, 1982).

2.6.2 Karakteristik Termodinamika *Refrigerant*

Karakteristik refrigerasi menjadi indikator utama dalam pemilihan *refrigerant* karena akan menentukan efisiensi pendaaran dan perhitungan kerja kompresi. Pada umumnya, *refrigerant* yang baik akan menguap di atas tekanan atmosfer sedikit lebih tinggi dari tekanannya karena dapat mencegah kebocoran dan dapat menyebabkan udara luar masuk ke dalam sistem karena vakum yang ditimbulkan oleh kerja kompresor. *Refrigerant* memiliki titik didih yang rendah biasanya digunakan pada sistem pendingin suhu rendah (sistem refrigerasi). Sedangkan untuk *refrigerant* dengan titik didih yang tinggi digunakan untuk keperluan pendinginan temperatur tinggi (pendinginan udara) (Stoecker & Jones, 1982).

Tabel 2.4 Karakteristik termodinamika *refrigerant* Halokarbon

Refrigerant	Tekan- nan evaporat or, kPa	Tekanan konden- sor, kPa	Perbandin gan tekanan	Dampak refrigerasi, kJ/kg	Aliran hisap per kW refrigerasi, L/det	COP
11	20,4	125,5	6,15	155,4	4,90	5,03
12	182,7	744,6	4,08	116,3	0,782	4,70
22	295,8	1192,1	4,03	162,8	0,476	4,66
502	349,6	1308,6	3,74	106,2	0,484	4,37
717	236,5	1166,6	4,93	1103,4	0,462	4,76

Keterangan : Bekerja pada suatu daur kompresi uap dengan suhu evaporator -15°C dan suhu kondensor 30°C (Stoecker & Jones, 1982).

Tabel 2.5 Karakteristik *refrigerant* R-134a dengan beberapa hidrokarbon

Substance	Critical-point Properties			Boiling data at 1 atm		Freezing data		Liquid properties		
	T (K)	P (Mpa)	V (m ³ /kmol)	Normal boiling point (°C)	Latent heat of vaporization, h_{fg} (kJ/kg)	Freezing point (°C)	Latent heat of fusion, h_{if} (kJ/kg)	T (°C)	ρ (kg/m ³)	Specific heat, Cp (kJ/kg.K)
n-butane	425,2	3,8	0,2547	-0,5	385,2	-138,5	80,3	-0,5	601	2,31
isobutane	-	-	-	-11,7	367,1	-160	105,7	-11,7	593,8	2,28
Propane	370	4,26	0,1998	-42,1	427,8	-187,8	80	-42,1	581	2,25

Substance	Critical-point Properties			Boiling data at 1 atm		Freezing data		Liquid properties		
	T (K)	P (Mpa)	V (m ³ /kmol)	Normal boiling point (C)	Latent heat of vaporization, h_{fg} (kJ/kg)	Freezing point (C)	Latent heat of fusion, h_{if} (kJ/kg)	T (C)	ρ (kg/m ³)	Specific heat, Cp (kJ/kg.K)
R-134a								0	529	2,53
								50	449	3,13
								-50	1443	1,23

2.6.3 Persyaratan *Refrigerant*

Pemilihan *refrigerant* merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam sistem refrigerasi. *Refrigerant* yang dipilih harus sesuai dengan jenis kompresor yang digunakan dan karakteristik termodinamikanya seperti tekanan penguapan dan pengembunan, temperatur pengembunan dan penguapan (Arismunandar & Saito, 1991). Arismunandar & Saito (1991) menyebutkan persyaratan pemilihan *refrigerant* sebagai berikut :

- a. Memiliki tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi

Untuk menghindari penurunan prestasi pada mesin, maka tekanan pengembunannya harus rendah, sehingga akan menurunkan perbandingan kompresi pada kompresor. Tekanan kerja yang lebih rendah dapat membuat mesin bekerja lebih baik karena kecil potensi untuk terjadinya kerusakan, kebocoran, dan ledakan.

- b. Memiliki tekanan penguapannya harus tinggi

Refrigerant harus memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang tinggi, sehingga dapat dihindari turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi dan kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator.

- c. Memiliki kalor laten penguapan yang tinggi

Refrigerant dengan kalor laten penguapan yang cukup tinggi lebih bagus karena pada saat untuk kapasitas refrigerasi yang sama, kemungkinan kecil jumlah *refrigerant* akan bersikulasi.

d. Volume spesifik yang cukup kecil

Refrigerant dengan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) dan kalor laten penguapan yang besar akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Pada kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil. Sebaliknya, untuk unit pendingin air sentrifugal yang kecil, lebih dikehendaki *refrigerant* dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah gas yang bersirkulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor sentrifugal.

e. Mempunyai viskositas yang rendah baik dalam fasa gas maupun fasa cair
Kerugian tekanan dapat dikurangi dengan menurunnya tahanan aliran *refrigerant* dalam pipa.

f. Pada saat terjadi kebocoran harus mudah untuk dideteksi dan harganya yang murah serta mudah diperoleh.

g. Koefisien prestasi harus tinggi dan konduktivitas termal yang tinggi

h. *Refrigerant* tidak boleh beracun dan berbau menyengat, tidak mudah terbakar dan meledak.

i. *Refrigerant* hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai.

j. Tahanan listrik yang besar, konstanta dielektrika dari *refrigerant* yang kecil, dan tidak berpotensi korosi pada material isolator listrik.

2.6.4 Dasar Pemilihan *Refrigerant*

Pemilihan *refrigerant* dalam sistem refrigerasi sangatlah penting karena akan mempengaruhi efisiensi sistem refrigerasi. Stoecker & Jones (1982) mengemukakan beberapa penggunaan utama sejumlah *refrigerant*.

a. Udara

Refrigerant udara pada umumnya digunakan pada pesawat terbang. Sistem udara yang ringan menjadi kompensasi bagi COP nya yang rendah.

b. Amonia

Amonia banyak digunakan untuk mesin pendingin pada industri besar. Setiap tahun mulai muncul penggunaan amonia yang baru sebagai refrigerant seperti lapangan *ice skating*.

c. Karbon dioksida

Refrigerant ini kadang digunakan pada bahan makanan dengan setuhan secara langsung. Pada bagian suhu rendah dalam sistem kaskada, tekanan pengembunan biasanya dibatasi untuk penggunaan pada tekanan yang tinggi, pada bagian bersuhu tinggi menggunakan *refrigerant* lainnya.

d. *Refrigerant* 11

Refrigerant ini bersama *refrigerant* 113 populer digunakan pada sistem kompresor sentrifugal.

e. *Refrigerant* 12

Refrigerant ini biasa digunakan pada sistem kompresor torak pada sistem pengkondisian udara pada kendaraan dan sistem refrigerasi rumah tangga.

f. *Refrigerant* 22

Pada umumnya *refrigerant* ini digunakan untuk pengkondisian udara karena efisiensi kompresor yang lebih baik ketimbang penggunaan *refrigerant* R22.

g. *Refrigerant* 502

Refrigerant ini merupakan *refrigerant* terbaru dengan banyak keuntungan seperti R22. Dibanding R22, *refrigerant* ini mempunyai kelebihan suhu buang yang lebih rendah dibanding R22 dan sifatnya terhadap minyak.

2.7 *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

2.7.1 Pengertian LPG

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan gas minyak bumi yang dicairkan dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya yang diproduksi dari kilang minyak dan kilang gas dengan komponen utama gas propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) (Rahman et al., 2015). LPG juga terkandung etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}) dalam jumlah yang kecil (Kusuma et al., 2015).

LPG akan berwujud gas ketika dalam tekanan atmosfer. Volume LPG akan lebih kecil dalam bentuk cair ketimbang dalam bentuk gas pada berat yang sama. LPG akan diberi tekanan sampai berbentuk cair untuk memudahkan pendistribusian (Amshori et al., 2016). Untuk menjaga terjadinya ekspansi panas dari isi LPG, maka tabung diisi hanya sekitar 80 – 85%. Tekanan LPG dalam akan bervariasi tergantung komposisi dan temperturnya (Rahman et al., 2015).

Penggunaan LPG pada keperluan rumah tangga harus memenuhi persyaratan khusus demi menunjang keamanan pengguna dan lingkungan disekitarnya. LPG dilengkapi zat pembau (odor) yang digunakan sebagai pendeteksi kebocoran sehingga bahaya ledakan dan kebakaran dapat dihindari (Pratipta et al., 2016). Disamping LPG sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, LPG banyak digunakan sebagai *refrigerant* dalam dunia industri. LPG sebagai *refrigerant* dinilai aman digunakan karena tidak berpotensi menyebabkan efek pemanasan global karena tidak memiliki *Global Warming Potential (GWP)* (Amshori et al., 2016).

Tabel 2.6 Karakteristik propana dan butana

Sifat – sifat	Propana	Butana
Rumus kimia	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Temperatur pijar (°C)	470-510	490
Temperatur bakar – udara (°C)	1025	1900
Temperatur bakar – O ₂ (°C)	2500	2925
Temperatur didih (°C)	-42	-0,5
Berat jenis terhadap udara	1,55	2,09
Massa molekul	44,10	58,13
Temperatur kritis (°C)	96,8	152
Tekanan kritis	4254	3794
Titik beku (°C)	-187,7	-138,5

Sumber : Syahri 2006 dalam Amshori 2016

2.7.2 Spesifikasi LPG Campuran

Sebuah komposisi bahan akan menentukan nilai efisiensi dan keamanan penggunaan suatu barang. Berdasarkan keputusan Direktorat Jendral Minyak dan

Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009 (2009) menyatakan bahwa komposisi minimal LPG mengandung campuran propana (C₃) dan butana (C₄) sebesar 97% dan campuran maksimum sebesar 2% untuk pentana (C₅) dan hidrokarbon yang lebih berat. Menurut VP Corporate Communications Pertamina, Harun (2010) bahwa komposisi LPG pertamian mengandung propana 50% dan butana 50% yang dirasa sudah sesuai dengan aspek komposisi dan tekanan uapnya untuk kebutuhan rumah tangga. Tekanan LPG campuran sudah dirasa aman karena LPG ditekan dengan tekanan 120 psi atau 8,2 bar (8,2 kali tekanan atmosfer). Komposisi yang digunakan pada LPG juga sudah memenuhi standar SNI yang telah mempertimbangkan aspek keamanan dan kemampuan (Sambudi et al., 2016).

Spesifikasi komponen LPG campuran dimuat dalam keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009. Spesifikasi tersebut dimuat pada tabel 2.

Tabel 2.7 Spesifikasi LPG Campuran

No	Karakteristik	Satu-an	Batasan		Metode Uji	
			Minimum	Maksimum	ASTM	Lain
1	Berat jenis relatif pada 60/60°F	-	Dilaporkan		D-1657	-
2	Tekanan uap pada 100°F	Psig	-	145	D-1267	-
3	Weathering test pada 36°F	%vol	95	-	D-1837	-
4	Korosi bilah tembaga	1jam/10 0	-	ASTM No.1	D-1838	-
5	Kandungan sulfur total	Grains/ 100 cuft	-	15	D-2784	-
6	Kandungan air	-	Tidak ada air bebas		-	Visual
	Komposisi :				D-2163	-
	C ₂	%vol	-	0,8		
	C ₃ dan C ₄	%vol	97,0	-		
7	C ₅₊ (C ₅ dan kandungan hidrokarbon lain yang lebih berat)	%vol	-	2,0		
8	Etil atau merkaptan	Ml/ 1000 AG	50		-	-

Sumber : Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009

2.7.3 Sifat – Sifat LPG

a. Wujud

LPG yang berada di dalam tabung berwujud gas dan ada juga yang masih berwujud cair. Gas LPG bila dikeluarkan akan akan berubah fasa menjadi gas karena berkurangnya tekanan yang diterima LPG. LPG akan dimasukan ke dalam sebuah tabung dan diberi tekanan sehingga berwujud cair bertujuan agar mudah pendistribusiannya. Akibat adanya perubahan fasa karena tekanan dan temperatur berubah, sehingga volume LPG juga akan berbeda (Pratipta et al., 2016).

b. Massa jenis

Massa jenis gas diukur dari banyaknya volume sebesar 1 m^3 yang mempunyai massa (kg) pada keadaan tertentu (diukur pada temperatur 0°C dan tekanan 1013 mbar atau $1,013 \text{ kg/cm}^2$). Meskipun volume suatu benda atau material sama namun massanya akan berbeda – beda (Sambudi et al., 2016).

c. *Specific gravity*

Merupakan perbandingan antara massa jenis fluida tertentu (*specified reference density*) dengan massa jenis fluida (*fluid density*). Massa jenis relatif gas adalah perbandingan antara massa jenis udara dan massa jenis gas. Udara mempunyai massa relatif sebesar 1. Ketika massa jenis relatif dari gas lebih kecil dari 1, maka gas tersebut akan naik keatas. Apabila massa gas tersebut lebih besar dari 1, maka gas tersebut akan turun kebawah ke tempat yang lebih rendah (Sambudi et al., 2016).

d. Temperatur nyala (*Flammable Range*)

Temperatur nyala pada propana sebesar 5100°C sedangkan pada butana sebesar 4600°C . Dapat disimpulkan apabila LPG tersebut terjadi kebocoran atau terlepas ke udara maka tidak mudah terbakar, karena suhu udara bebas biasanya mencapai 270°C . Apabila temperatur udara bebas sama dengan temperatur nyala maka gas tersebut dinamakan *autoignition temperature* yaitu termperatur terendah dimana bahan akan mudah terbakar sendiri meskipun tanpa adanya pematik (Sambudi et al., 2016).

e. Batas nyala api

Batas nyala adalah perbandingan (dalam bentuk persentase) antara udara dan gas yang bercampur, dimana pada batas tersebut dapat terjadi nyala api atau ledakan. Nilai batas nyala bawah (*Lower Explosive Limit*) yaitu batas minimal konsentrasi uap bahan bakar di udara dimana bila terdapat sumber panas akan terbakar. Nilai batas atas (*Upper Explosive Limit*) yaitu batas konsentrasi maksimal uap bahan bakar di udara dimana bila terdapat sumber panas akan terbakar (Sambudi et al., 2016).

Batas nyala propana sebesar 2,4% - 9,6% dan butana antara 1,9% - 8,6%. Hal tersebut menyatakan bahwa bila terjadi campuran 2,4% propana dengan 97,6% udara maka campuran tersebut akan dapat menyala. Apabila komposisi propana kurang dari 2,4% maka campuran tersebut tidak akan menyala. Dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat pematik atau sumber api tetap tidak akan menyala apabila komposisinya tidak sesuai (Amshori et al., 2016).

2.7.4 Refrigerant LPG

Refrigerant yang ideal umumnya tidak beracun, tidak korosif, memiliki sifat fisik yang cocok dengan kebutuhan sistem serta memiliki kalor laten penguapan yang tinggi. Sistem refrigerasi, apabila menginginkan suhu yang diturunkan mencapai -40°F maka akan menggunakan cara *cascade*. Cara *cascade* melakukan refrigerasi secara bertahap dan menggunakan *refrigerant* lebih dari satu. Cara *cascade* pada umumnya menggunakan *refrigerant* propana dan etana. Pada kondisi kriogenik, *refrigerant* metana dan etilena yang digunakan. Alternatif dari *refrigerant* sistem *cascade* adalah menggunakan *refrigerant* campuran. Komponen *refrigerant* yang ringan akan menurunkan temperatur evaporasi sedangkan komponen yang berat memungkinkan kondensasi terjadi pada temperatur ambien. Komposisi dari *refrigerant* campuran pada umumnya disesuaikan untuk memenuhi kurva pendinginan dari fluida kerja yang digunakan (Yatun et al., 2013).

2.8 Hipotesis

Penambahan *subcooler* pada *separation condenser* akan meningkatkan kinerja kondensor dengan menghasilkan suhu keluaran yang rendah. Turunya suhu

keluaran kondensor akan menurunkan kerja kompresi. Semakin turun nilai kerja kompresi maka akan meningkatkan COP (*Coefficient of Performance*) dari mesin pendingin



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode eksperimental. Penelitian tersebut menguji *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* yang dibandingkan dengan kondensor biasa pada *refrigerator*. Pada pengujian tersebut digunakan fluida kerja LPG (*Liquified Petroleum Gas*) sebagai *refrigerant*. Temperatur akan diukur pada setiap titik yang telah ditentukan. Setelah temperatur didapat, akan dilakukan pengolahan data berupa entalpi untuk menghitung dampak refrigerasi, kerja kompresi, laju pelepasan kalor kondensor, laju aliran massa, kapasitas refrigerasi dan COP (*Coefficient of Performance*) pada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dan kondensor biasa.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tersebut akan dilaksanakan pada bulan Desember 2017. Pada bulan tersebut meliputi persiapan alat dan pengambilan data. Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi II Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

Pada penelitian tersebut terdapat beberapa alat yang perlu disiapkan, diantara :

- a. Lemari pendingin (*refrigerator*)
 - Ukuran : 110x55x55 (cm)
 - Jenis : 1 pintu
 - Kapasitas : 155 (liter)
 - Tegangan : 220 (volt)
 - Frekuensi : 50 (Hz)
 - Tipe kompresor : kompresor hermatik

- b. Flowmeter (rotameter gas)
- c. Termokopel tipe K, untuk mengukur suhu
- d. Konektor termokopel tipe K
- e. *Pressure gauge*, untuk mengukur tekanan
- f. *Manifold*, sebagai alat pengisi *refrigerant*
- g. Las dan *filler metal*
- h. Anemometer
- i. Pemotong pipa kondensor
- j. Tabung LPG sebagai wadah *refrigerant*
- k. *Regulator high pressure* LPG
- l. Selang *regulator*
- m. Timbangan
- n. *Clamp meter*, untuk mengukur tegangan dan kuat arus listrik
- o. *Stopwatch*
- p. Mesin vakum
- q. Selotip pipa
- r. *Dimmer*, sebagai alat pengatur arus listrik
- s. *Swaging* dan *Flaring tools*
- t. *Natrium Tetraborat*
- u. *Coolpack software*
- v. *Fan*, sebagai alat mengalirkan udara untuk membuang kalor kondensor
- w. Boks, sebagai wadah kondensor untuk pembuangan kalor
- x. Kondensor biasa
- y. *Separation condenser* dengan penambahan *subcooler*

3.3.2 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan pada saat penelitian adalah LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) dengan kandungan *propane* 50% dan *butane* 50% yang akan digunakan sebagai *refrigerant*.

3.4 Variabel Penelitian

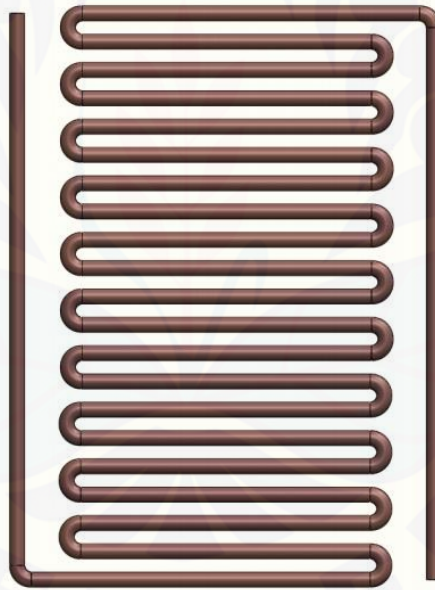
Variabel merupakan konstruk atau sifat yang akan dipelajari yang mempunyai nilai yang bervariasi.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi penelitian, seperti faktor – faktor yang diukur, dimanipulasi atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diteliti. Variabel bebas yang pertama dalam penelitian ini adalah dengan membandingkan dua kondensor dengan ukuran sebagai berikut :

A₁ = Kondensor biasa

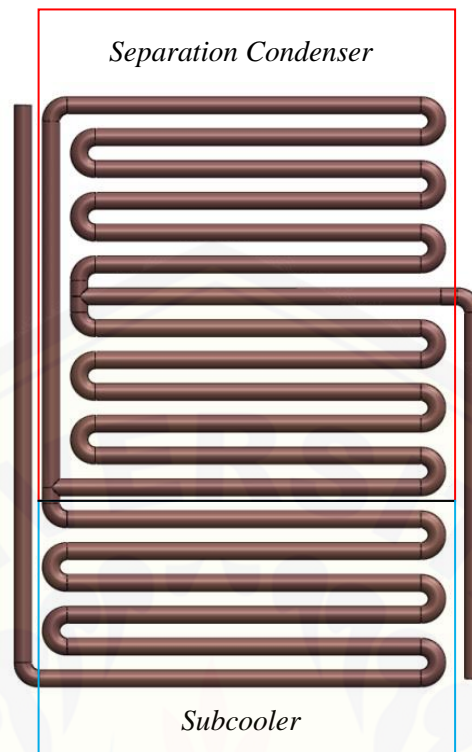
A₂ = *Separation condenser* dengan penambahan *subcooler*



Gambar 3.1 Desain kondensor biasa

Spesifikasi kondensor :

- Tipe : kondensor 10 U
- Diameter luar : 3/16 inch (4,76 mm)
- Diameter dalam : 4,0025 mm
- Panjang pipa : 1.026 cm



Gambar 3.2 Desain *separation condenser* dengan penambahan *subcooler*

Spesifikasi kondensor :

Tipe : kondensor modifikasi (*separation condenser* dengan penambahan *subcooler*)

Diameter luar : 3/16 inch (4,76 mm)

Diameter dalam : 4,0025 mm

Panjang pipa *subcooler* : 324 cm

Panjang pipa *separation condenser* : 545,28 cm

Panjang pipa total : 1026 cm

Variabel kedua adalah debit *refrigerant* sebagai fluida kerja pada sistem mesin pendingin. *Refrigerant* yang digunakan pada penelitian adalah *refrigerant* LPG dengan variasi debit *refrigerant* yang digunakan sebagai berikut :

$$B_1 = 114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B_2 = 131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B_3 = 148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Sehingga diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut :

Perlakuan	B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃
A ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃

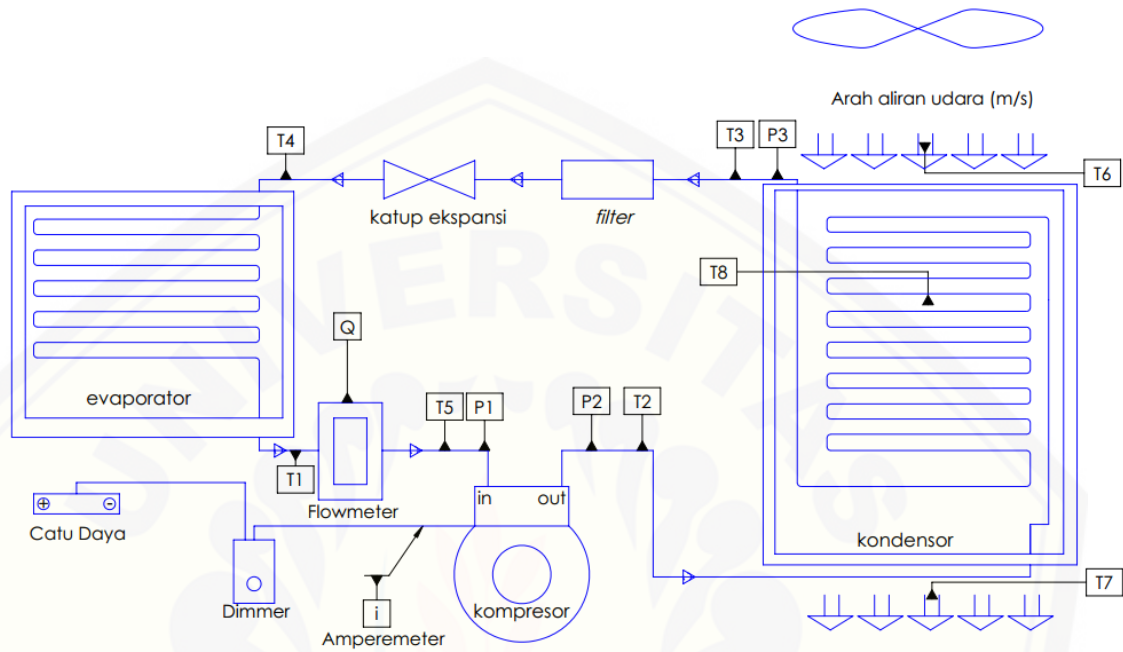
3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang diakibatkan karena adanya variabel bebas seperti hasil dalam penelitian tersebut. Variabel terikat pada penelitian ini meliputi temperatur dan tekanan pada titik yang ditentukan. Temperatur dan tekanan yang didapat diolah menjadi data entalpi dan digunakan untuk menghitung prestasi mesin pendingin, sebagai berikut :

- a. Dampak refrigerasi
- b. Kerja kompresi
- c. Laju aliran massa
- d. Kapasitas refrigerasi
- e. Pelepasan Kalor Kondensor
- f. COP (*Coeffisient Of Performance*)

3.5 Rangkain Alat Uji

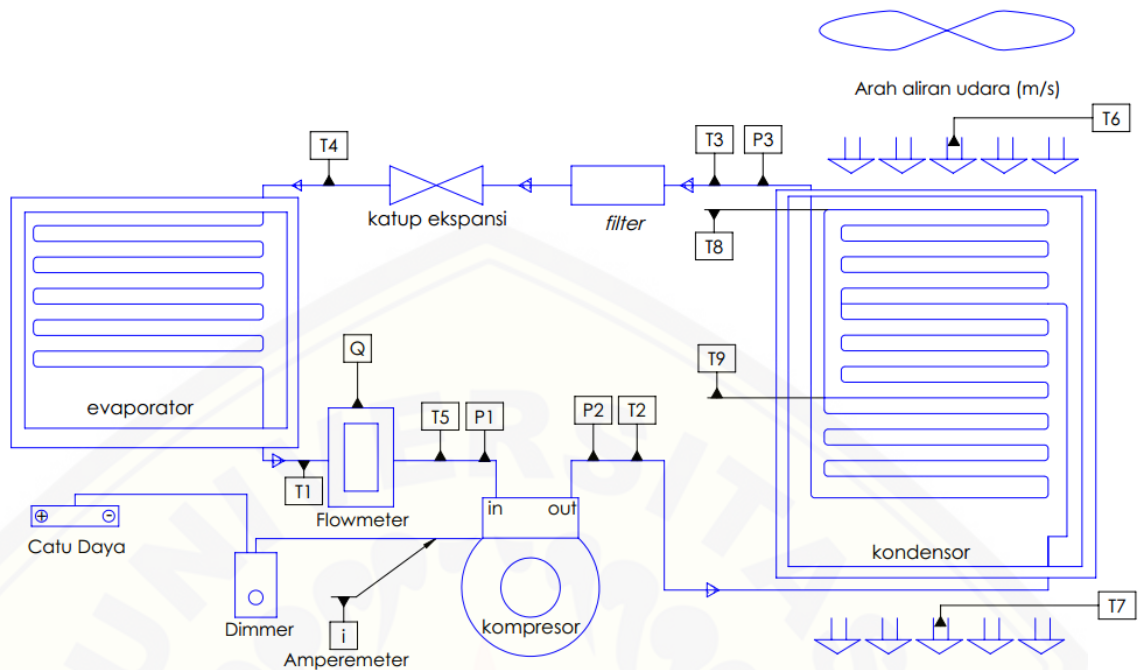
Skema rangkaian alat uji disajikan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.3. Pemasangan alat ukur juga ditentukan sesuai Gambar 3.1 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian alat uji kondensor biasa

Keterangan :

- T1 = Suhu keluar evaporator
- T2 = Suhu masuk kondensor
- T3 = Suhu keluar kondensor
- T4 = Suhu masuk evaporator
- T5 = Suhu masuk kompresor
- T6 = Suhu udara masuk boks kondensor
- T7 = Suhu udara keluar boks kondensor
- T8 = Suhu udara lingkungan kondensor dalam boks
- P1 = Tekanan masuk kompresor
- P2 = Tekanan keluar kompresor
- P3 = Tekanan keluar kondensor
- Q = Debit *refrigerant* yang mengalir
- i = Arus listrik



Gambar 3.4 Rangkaian alat uji *separation condenser* dengan *subcooler*

Keterangan :

- T1 = Suhu keluar evaporator
- T2 = Suhu masuk kondensor
- T3 = Suhu keluar kondensor atau *subcooler*
- T4 = Suhu masuk evaporator
- T5 = Suhu masuk kompresor
- T6 = Suhu udara masuk boks kondensor
- T7 = Suhu udara keluar boks kondensor
- T8 = Suhu keluar *separation condenser* atas
- T9 = Suhu keluar *separation condenser* bawah
- P1 = Tekanan masuk kompresor
- P2 = Tekanan keluar kompresor
- P3 = Tekanan keluar kondensor
- Q = Debit *refrigerant* yang mengalir
- i = Arus listrik

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Persiapan Alat Pengujian

Pada penelitian tersebut perlu dilakukan persiapan alat pengujian yang diantaranya adalah :

- a. Pemeriksaan alat pengujian atau *refrigerator*, meliputi : kondisi komponen – komponen refrigerator.
- b. Pemasangan kondensor
- c. Pemasangan termokopel dan *pressure gauge* untuk pengukuran suhu dan tekanan pada titik yang ditentukan.
- d. Pemasangan *flowmeter* atau *rotameter* gas

3.6.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa kesiapan alat sebelum melakukan penelitian termasuk uji coba alat pengujian. Pengujian alat uji digunakan untuk mengetahui apakah alat uji siap digunakan atau belum. Alat uji akan siap digunakan apabila alat uji dan komponen ujinya berjalan sesuai fungsinya.

3.6.3 Tahap Pengambilan Data

Pengambilan dilakukan dengan mengukur semua variabel pada saat melakukan penelitian. Tahap – tahap pengambilan data pada penelitian dijelaskan sebagai berikut :

- a. Merangkai semua komponen pada alat uji dengan benar, yaitu : kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, *dimmer*, *flowmeter*, *fan* dan boks pembuangan kalor kondensor serta komponen lainnya. Pada rangkaian awal, pengujian menggunakan kondensor biasa.
- b. Pemasangan alat ukur *amperemeter*, debit, temperatur ditujuh (7) titik dan pemasangan *pressure gauge* untuk mengukur tekanan ditiga (3) titik yang telah ditentukan untuk diamati.
- c. Pengisian *refrigerant* LPG sesuai prosedur, mengatur debit *refrigerant* dengan *dimmer* dan penambahan *refrigerant* bila diperlukan. Melihat *flowmeter* sesuai debit yang ditentukan.

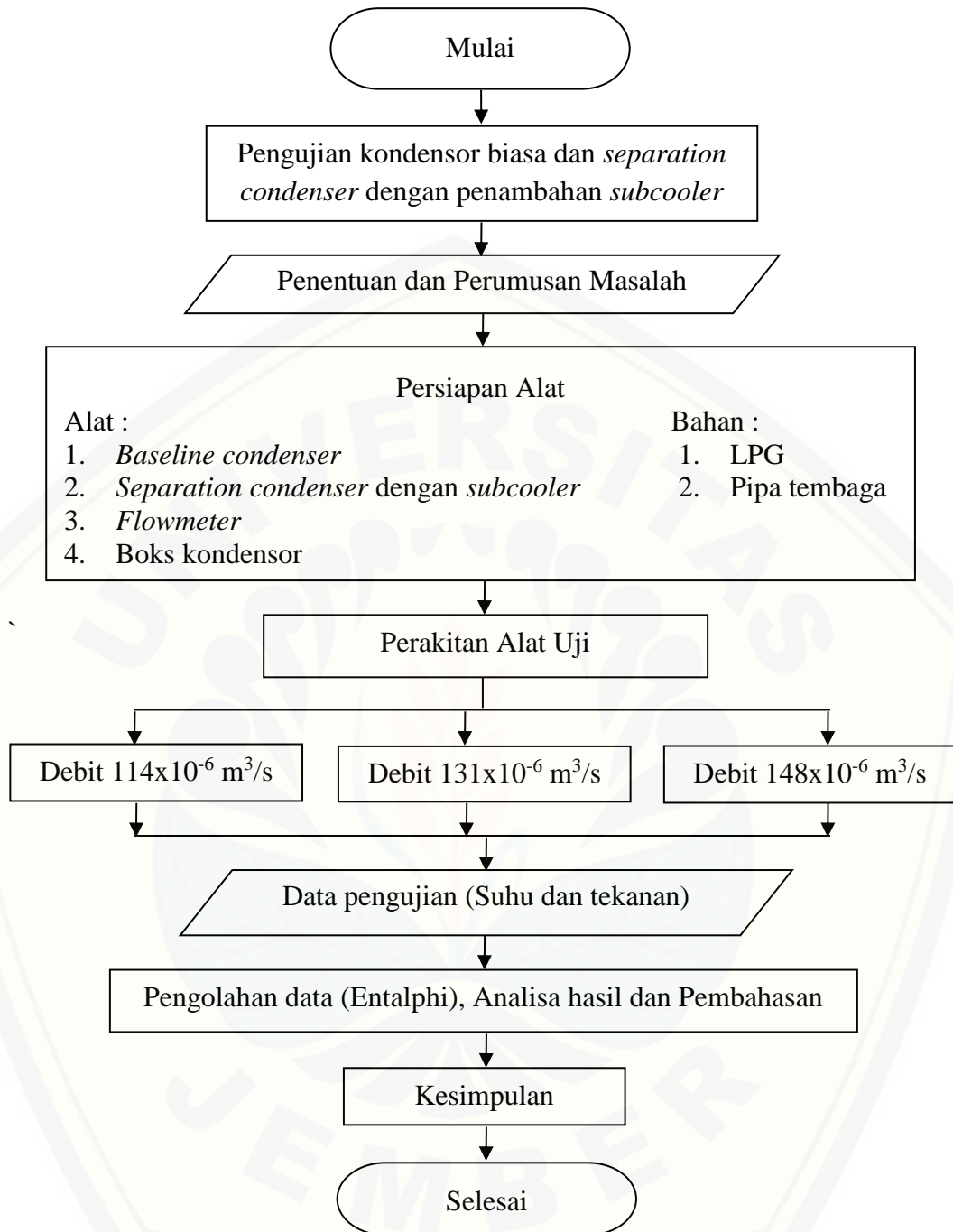
- d. Menghidupkan mesin pendingin dan *fan* pembuangan kalor kondensor lalu ditunggu hingga kondisi *stady state*. Pada penelitian ini, peneliti mengasumsikan kondisi *stady state* 2 jam setelah awal penyalaan mesin.
- e. Mencatat semua perubahan temperatur, kecepatan udara pembuangan kalor, *amperemeter* dan tekanan pada setiap titik dan sesuai waktu yang telah ditentukan.
- f. Penggantian kondensor biasa dengan *separation condensor* dengan penambahan *subcooler*.
- g. Pemasangan alat ukur debit dan temperatur disembilan (9) titik dan pemasangan *pressure gauge* untuk mengukur tekanan ditiga (3) titik yang telah ditentukan untuk diamati
- h. Pengulangan langkah c sampai e
- i. Pengumpulan data

3.7 Pengolahan Data

Setelah pengambilan data selesai maka data temperatur, debit, kecepatan udara pembuangan kalor dan tekanan selanjutnya diperoleh :

- a. Data suhu dan tekanan diperoleh nilai entalpi (h) dari tabel *thermodynamic properties* dan *coolpack software*
- b. Dari data percobaan dapat diperoleh :
 - g. Dampak refrigerasi
$$q_e = h_1 - h_4$$
 - h. Kerja kompresi
$$W = h_2 - h_1$$
 - i. Laju aliran massa
$$\dot{m} = Q \times \rho_{\text{refrigerant}}$$
 - j. Kapasitas refrigerasi
$$q = \dot{m} (h_1 - h_4)$$
 - k. Pelepasan Kalor Kondensor
Pelepasan kalor kondensor (q) = $\dot{m} \times C_p \times \Delta T$
 - l. COP (*Coeffisient Of Performance*)
$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Dampak refrigerasi yang dihasilkan dari pengujian penggunaan kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan nilai rata – rata dampak refrigerasi tertinggi sebesar 284,884 kJ/kg. Pada pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* menghasilkan nilai rata – rata dampak refrigerasi tertinggi pada debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ sebesar 280,743 kJ/kg. Bila dibandingkan nilai rata – rata tertinggi dari kedua kondensor, maka kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan nilai dampak refrigerasi terbaik. Semakin besar nilai dampak refrigerasi maka menandakan jumlah kalor yang diserap oleh evaporator setiap satuan *refrigerant* juga semakin besar.
2. Kerja kompresi pada pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan nilai rata – rata kerja kompresi paling rendah sebesar 67,024 kJ/kg. Pada pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* menghasilkan nilai rata – rata kerja kompresi paling rendah pada debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ sebesar 68,667 kJ/kg. Nilai kerja kompresi kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan nilai rata – rata yang paling rendah dibandingkan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* pada debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. Nilai kerja kompresi yang rendah menandakan bahwa kompresor bekerja dengan beban yang ringan sehingga dapat meningkatkan nilai COP mesin pendingin.
3. Kapasitas refrigerasi pada mesin pendingin akan dipengaruhi oleh laju aliran massa *refrigerant* yang digunakan. Kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan nilai rata – rata kapasitas refrigerasi tertinggi sebesar 21,060 kJ/s. Pada pengujian *separation condenser* dengan

penambahan *subcooler* menghasilkan nilai rata – rata kapasitas refrigerasi tertinggi pada debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ sebesar 21,219 kJ/s. Nilai kapasitas refrigerasi *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* menghasilkan nilai rata – rata tertinggi bila dibandingkan dengan nilai rata – rata tertinggi dari kondensor biasa. Nilai kapasitas refrigerasi yang tinggi menandakan bahwa mesin pendingin tersebut memiliki kapasitas mendinginkan ruangan yang tinggi setiap laju aliran *refrigerant* per waktu pada saat melewati evaporator.

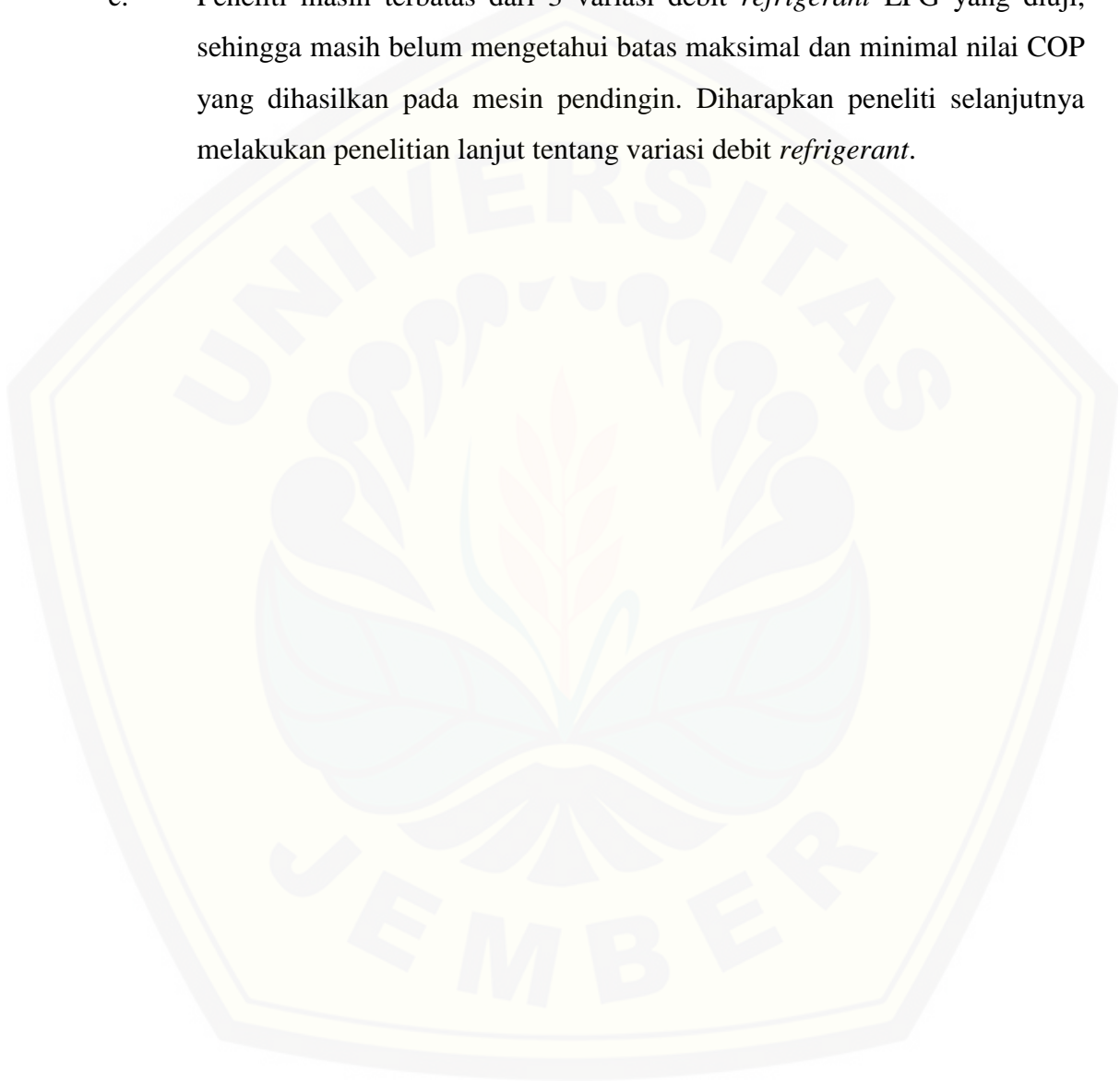
4. Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh nilai COP tertinggi pada pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* pada debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai rata – rata sebesar 4,08934. Pada pengujian kondensor biasa nilai COP tertinggi pada debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, menghasilkan nilai COP sebesar 4,22930. Besarnya nilai COP menjadi nilai ukur sebuah prestasi mesin pendingin, semakin tinggi nilai COP menandakan nilai prestasi mesin pendingin semakin baik.
5. Laju aliran *refrigerant* LPG akan berpengaruh terhadap nilai kapasitas pendinginan yang dihasilkan. Laju aliran dipengaruhi oleh volume dari komponen mesin pendingin. Semakin besar volume komponen maka massa dan aliran *refrigerant* yang dibutuhkan juga semakin besar untuk mendinginkan ruangan mesin pendingin.

5.2 Saran

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

- a. Perlu dilakukan pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* secara ulang untuk mengetahui hasil maksimal dengan bentuk lain seperti menambah panjang pipa *subcooler* agar suhu keluar kondensor semakin rendah maupun pengubah posisi separasi pada *separation condenser* agar *refrigerant* LPG dapat memisah fasa sesuai yang diinginkan.

- b. Pada saat proses modifikasi sebaiknya hindari penyambungan pipa terlalu banyak karena *filler* las dapat masuk ke dalam pipa kondensor sehingga menyebabkan *refrigerant* terhambat yang dapat meningkatkan nilai kerja kompresi.
- c. Peneliti masih terbatas dari 3 variasi debit *refrigerant* LPG yang diuji, sehingga masih belum mengetahui batas maksimal dan minimal nilai COP yang dihasilkan pada mesin pendingin. Diharapkan peneliti selanjutnya melakukan penelitian lanjut tentang variasi debit *refrigerant*.



DAFTAR PUSTAKA

- Amshori, N. C. 2016. Analisis variasi diameter pipa kapiler double helical terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Anwar, K., E. Arif, dan W. H. Piarah. 2010. Efek temperatur pipa kapiler terhadap kinerja mesin pendingin. *Jurnal Mekanikal*. 1(1): 30-39.
- Arismunandar, W. dan H. Saito. 1991. *Penyegaran Udara*. 4th ed. Jakarta: PT Pertja.
- Azzouzi, D., M. Kelkouli, dan F. Amaryoucef. 2017. Parametric study of the wire-on-tube condenser subcooling effect on the performance of vapor compression refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*. 122: 528-534.
- Cengel, Y. A. dan M. A. Boles. 1994. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. 2nd ed. New York: Mcgraw-Hill.
- Dossat, R. J. 1961. *Principles of Refrigeration*. New york: John wiley & sons Inc.
- Farid, M. M. 2010. *Heat Transfer and Air Flow In a Domestic Refrigerator*. Dalam *Mathematical Modelling of Food Processing*. Editor O. Laguerre. Boca Raton: CRC Press.
- Fatouh, M. dan M. E. Kafafy. 2006. Experimental evaluation of a domestic refrigerator. *Applied Thermal Engineering*. 26: 1593–1603.
- Handoyo, E. A. dan A. Lukito. 2002. Analisis pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada line suction terhadap performansi mesin pendingin. *Jurnal Teknik Mesin*. 4(2): 94-98.
- Hua, N., Y. Chen, E. Chen, L. Deng, W. Zheng, dan Z. Yang. 2013. Prediction and verification of the thermodynamic performance of vapore-liquid separation condenser. *Energy*. 58: 384-397.

- Iminnafik, N., 2012. Aplikasi refrigeran campuran LPG/CO₂ pada sistem refrigerasi. *Jurnal ROTOR*. 5(2): 26-33.
- Jwo, C. S., C. C. Ting, W. R. Wang. 2009. Efficiency analysis of home refrigerators by replacing hydrocarbon refrigerants. *Measurement*. 42: 697-701.
- Keputusan Direktur Jenderal Minyak Dan Gas Bumi Nomor 26525 K/10/DJM T/2009 Tahun 2009. *Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Gas Jenis Liquefied Petroleum Gas (LPG) yang Dipasarkan Di Dalam Negeri*. 31 Desember 2009. Jakarta.
- Kurniyawan, A. 2014. Analisis pengaruh variasi massa refrigeran hidrokarbon terhadap prestasi kerja mesin pendingin ruangan. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Kusuma, D. D. H. 2015. Pengaruh variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada line suction terhadap prestasi mesin pendingin dengan lpg sebagai refrigeran. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Li, J., dan P. Hrnjak. 2017. Improvement of condenser performance by phase separation confirmed experimentally and by modeling. *International Journal of Refrigeration*. 78: 60-69.
- Li, J., dan P. Hrnjak. 2017. Separation in condensers as a way to improve efficiency. *International Journal of Refrigeration*. 79: 1-9.
- Luo, X., J. Xu, Y. Chen, dan S. Mo. 2015. Mathematical optimization of the liquid separation condenser used in the organic Rankine cycle. *Energy Procedia*. 75: 3127-3132.
- Madigan, M. T. dan T. D. Brock. 2009. *Brock Biology of Microorganisms*. 12th ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings.
- McMullan, J. T. 2002. Refrigeration and the environment-issues and strategies for the future. *International Journal of Refrigeration*. 25: 89-99.
- Tandian, N. P., A. Suwono, C. A. Sylva, dan A. D. Pasek, A. D. 1997. *Application of Propane-Butane Mixture as Refrigerant in Milk Cooling Unit*. *Proceeding*

of International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion. Yogyakarta. 21-24 Juli 1997.

Pottker, G., dan P. Hrnjak. 2015. Effect of the condenser subcooling on the performance of vapor compression systems. *International Journal of Refrigeration*. 50: 156-164.

Pottker, G., dan P. Hrnjak. 2015. Experimental investigation of the effect of condenser subcooling in R134a and R1234yf air-conditioning systems with and without internal heat exchanger. *International Journal of Refrigeration*. 50: 104-113.

Pramana, A. 2014. Unjuk kerja ac mobil dengan refrigeran LPG-CO₂ pada berbagai mesin pendingin. *Skripsi*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Pratipta, Y. A. 2016. Studi pengaruh variasi lekukan pipa kapiler terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan refrigeran LPG. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Rahman, R. H. 2015. Analisa penggunaan kondensor tube and tube terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigerant LPG. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sambudi, Y. C. 2016. Analisa variasi jumlah fan pada kondensor bertingkat terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Stoecker, W. F. dan J. W. Jones. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*. 2nd ed. New York: McGraw-Hil Inc. Terjemahan oleh S. Hara. 1989. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.

Tampubolon, D., dan R. Samosir. 2005. Pemahaman tentang sistem refrigerasi. *Jurnal Teknik SIMETRIKA*. 4(1): 312-316.

Widodo, E. 2014. Pengaruh penambahan fan pembuang udara pada kondensor terhadap prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas jember.

Widodo, S. dan S. Hasan. 2008. *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara*. 1st ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Yatun, I. 2013. Studi pemanfaatan gas suar bakar untuk umpan kilang LPG di Tambun Bekasi. *Tesis*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Yudha, M. R. A. 2013. Pengaruh variasi beban pendingin terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan refrigeran R12 dan LPG. *Skripsi*, Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

Zheng, W., Y. Chen, N. Hua, T. Zhong, dan Y. Gong. 2014. Comparative performance of an automotive air conditioning system using micro-channel condensers with and without liquid-vapor separation. *Energy Procedia*. 61: 1646-1649.

Zhong, T., Y. Chen, N. Hua, W. Zheng, X. Luo, dan S. Mo. 2014. In-tube performance evaluation of an air-cooled condenser with liquid-vapor separator. *Applied Energy*. 136: 968-978.

Lampiran A. Data Hasil Percobaan

1. Hasil Pengujian Pada Kondensor Biasa

Tabel A.1 Hasil pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								Tekanan (Psi)			Daya (watt)	Kecepatan Angin (m/s)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	P1	P2	P3		
0	-18,7	51,5	32,8	-18,7	32,9	33,2	33,1	33,0	22,1	115,0	115,0	112,2	1,9
15	-19,0	50,6	32,7	-19,0	32,8	33,2	32,8	32,7	21,9	115,0	115,0	112,2	2,0
30	-19,4	49,1	32,8	-19,4	32,9	33,7	32,9	33,0	21,6	115,0	115,0	110,0	2,0
45	-19,4	49,0	32,2	-19,4	32,4	33,2	32,7	32,6	21,6	115,0	115,0	112,2	2,0
60	-19,8	49,0	31,9	-19,8	32,1	33,1	32,3	32,3	21,3	112,5	112,5	112,2	2,1
75	-20,0	48,9	31,8	-20,0	31,8	32,8	32,2	32,1	21,1	112,5	112,5	112,2	2,0
90	-20,8	48,7	31,5	-20,8	31,7	32,4	32,0	31,9	20,5	110,0	110,0	110,0	2,0
105	-21,0	48,7	31,4	-21,0	31,6	32,3	31,8	31,8	20,3	110,0	110,0	110,0	2,3
120	-21,5	48,5	31,2	-21,5	31,2	32,3	31,8	31,7	19,9	110,0	110,0	110,0	2,1
135	-21,6	48,7	31,0	-21,6	31,2	32,1	31,6	31,8	19,9	110,0	110,0	112,2	2,2
150	-21,8	48,8	31,0	-21,8	31,1	32,1	31,4	31,4	19,7	110,0	110,0	107,8	2,0
165	-21,9	48,3	30,8	-21,9	31,0	31,8	31,1	31,1	19,6	110,0	110,0	114,4	1,9
180	-22,0	48,0	30,5	-22,0	30,6	31,6	30,9	30,9	19,5	110,0	110,0	110,0	2,3

Tabel A.2 Hasil pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								Tekanan (Psi)			Daya (watt)	Kecepatan Angin (m/s)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	P1	P2	P3		
0	-19,1	47,3	27,6	-19,1	28,6	29,4	29,3	29,3	21,8	100,0	90,0	107,8	2,30
15	-19,5	47,6	27,7	-19,5	28,7	29,6	29,5	29,7	21,5	100,0	90,0	107,8	2,30
30	-19,9	47,1	27,9	-19,9	28,9	29,9	29,8	29,9	21,2	100,0	90,0	107,8	2,00
45	-20,0	46,9	28,2	-20,0	27,7	30,4	30,0	30,2	21,1	100,0	90,0	107,8	2,10
60	-20,1	46,9	28,2	-20,1	29,5	30,5	30,3	30,5	21,1	100,0	90,0	110,0	2,30
75	-20,4	46,9	27,7	-20,4	29,8	30,9	30,5	30,7	20,8	100,0	90,0	110,0	2,30
90	-20,4	46,9	27,7	-20,4	30,0	31,0	30,7	30,8	20,8	105,0	90,0	110,0	2,10
105	-20,3	47,2	27,9	-20,3	30,2	31,1	31,0	31,1	20,9	105,0	90,0	110,0	2,00
120	-20,5	47,1	27,9	-20,5	30,5	31,5	31,3	31,3	20,8	105,0	90,0	110,0	2,20
135	-20,8	47,8	28,2	-20,8	30,8	31,8	31,4	31,7	20,5	110,0	90,0	110,0	2,20
150	-21,0	46,8	27,9	-21,0	30,9	31,9	31,5	31,6	20,4	110,0	90,0	107,8	2,30
165	-22,0	47,0	27,0	-22,0	30,8	31,8	31,4	31,5	19,6	110,0	90,0	110,0	2,10
180	-22,5	46,8	25,9	-22,5	30,9	31,6	31,1	31,3	19,2	110,0	90,0	107,8	2,00

Tabel A.3 Hasil pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Temperatur (°C)								Tekanan (Psi)			Daya (watt)	Kecepatan Angin (m/s)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	P1	P2	P3		
0	-22,7	47,8	25,6	-22,7	26,4	27,7	27,9	27,7	19,0	120,0	100,0	112,2	2,20
15	-23,3	47,3	25,4	-23,3	26,5	27,7	27,8	27,6	18,6	120,0	100,0	112,2	2,00
30	-23,7	47,4	25,6	-23,7	26,7	27,9	28,0	28,0	18,3	120,0	100,0	112,2	2,00
45	-23,7	47,6	25,9	-23,7	26,9	28,3	28,5	28,5	18,3	120,0	100,0	112,2	2,00
60	-23,8	47,7	25,6	-23,8	27,4	28,5	28,7	28,5	18,2	120,0	100,0	112,2	1,80
75	-24,1	47,1	25,5	-24,1	27,0	28,3	28,3	28,3	18,0	120,0	100,0	114,4	1,90
90	-23,9	47,1	25,6	-23,9	27,2	28,2	28,4	28,3	18,2	120,0	100,0	114,4	1,90
105	-24,2	47,1	25,3	-24,2	26,8	27,7	27,9	27,8	17,9	120,0	100,0	114,4	1,90
120	-24,2	46,7	25,4	-24,2	26,9	28,2	28,1	28,3	17,9	120,0	100,0	114,4	1,80
135	-24,2	46,6	25,4	-24,2	26,7	28,2	28,2	28,4	17,9	120,0	100,0	110,0	1,70
150	-23,5	48,0	25,9	-23,5	27,7	28,6	28,8	28,7	18,4	120,0	100,0	110,0	2,00
165	-23,5	47,3	25,7	-23,5	27,5	28,2	28,5	28,4	18,4	120,0	100,0	110,0	2,20
180	-23,7	47,2	25,7	-23,7	27,4	28,2	28,3	28,3	18,3	120,0	100,0	110,0	2,00

2. Hasil Pengujian Pada Separation Condenser Dengan Penambahan Subcooler

Tabel A.4 Hasil pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Temperatur (°C)									Tekanan (Psi)			Daya (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P1	P2	P3		
0	-18,2	55,6	32,8	-18,2	29,9	30,6	30,8	30,9	34,5	21,0	120,0	120,0	111,10	1,90
15	-18,2	55,6	32,5	-18,2	30,0	30,5	30,9	30,9	34,4	21,0	117,5	117,5	112,20	1,95
30	-18,5	55,0	32,3	-18,5	30,1	30,4	30,9	30,9	34,1	20,8	117,5	117,5	111,10	1,90
45	-18,8	55,1	32,3	-18,8	30,1	30,3	30,9	30,9	34,0	20,7	117,5	115,0	111,10	1,80
60	-18,7	54,8	32,7	-18,7	30,1	30,9	31,2	31,3	34,3	20,8	117,5	115,0	111,10	1,90
75	-18,6	54,8	32,7	-18,6	30,2	31,0	31,3	31,4	34,3	20,8	117,5	117,5	112,20	1,60
90	-18,7	54,8	32,5	-18,7	30,2	30,8	31,1	31,1	34,2	20,8	117,5	117,5	111,10	2,00
105	-18,6	55,0	32,4	-18,6	30,2	30,7	31,0	31,2	34,2	20,8	117,5	117,5	110,00	1,70
120	-18,4	54,7	32,3	-18,4	30,2	30,6	30,8	30,9	33,9	21,1	117,5	115,0	110,00	1,65
135	-18,8	54,4	32,0	-18,8	30,1	30,4	30,7	30,8	33,6	21,2	117,5	115,0	112,20	1,95
150	-19,0	54,3	31,9	-19,0	30,1	30,2	30,6	30,7	33,5	21,2	115,0	115,0	110,00	1,90
165	-19,1	54,0	31,8	-19,1	30,0	30,2	30,4	30,5	33,4	21,5	112,5	112,5	111,10	1,85
180	-19,4	53,6	31,7	-19,4	30,1	30,3	30,6	30,7	33,2	22,0	107,5	107,5	111,10	1,80

Tabel A.5 Hasil pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Temperatur (°C)									Tekanan (Psi)			Daya (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P1	P2	P3		
0	-19,9	52,1	30,7	-19,9	29,7	28,8	29,1	29,1	31,8	21,2	107,5	107,5	111,10	1,70
15	-19,8	52,2	30,8	-19,8	29,6	29,3	29,4	29,5	32,1	21,3	107,5	107,5	113,30	1,45
30	-19,8	51,9	30,7	-19,8	29,6	29,1	29,4	29,6	32,0	21,3	107,5	107,5	111,10	1,50
45	-20,1	51,5	30,2	-20,1	29,4	28,7	28,9	29,1	31,4	21,0	106,0	103,5	107,80	1,45
60	-20,3	51,0	29,9	-20,3	29,0	28,7	28,9	29,0	31,3	20,9	105,0	102,5	108,90	1,60
75	-20,4	51,0	29,7	-20,4	28,8	28,4	28,7	28,7	31,0	20,8	105,0	100,0	107,80	1,45
90	-20,7	50,0	29,3	-20,7	28,8	28,1	28,3	28,6	30,6	20,6	101,0	100,0	112,20	1,70
105	-20,9	49,8	29,5	-20,9	28,9	28,4	28,6	28,8	30,7	20,4	102,5	100,0	110,00	1,75
120	-20,9	49,6	29,5	-20,9	29,1	28,5	28,6	28,7	30,7	20,4	102,5	101,0	108,90	1,70
135	-20,7	49,9	29,5	-20,7	29,1	28,6	28,6	28,8	30,8	20,6	102,5	102,5	106,70	1,70
150	-20,9	49,6	29,2	-20,9	29,2	28,4	28,4	28,6	30,5	20,4	102,5	100,0	105,60	1,45
165	-21,1	49,4	28,9	-21,1	28,7	28,0	28,2	28,3	30,2	20,3	100,0	100,0	110,00	1,55
180	-21,2	49,3	28,8	-21,2	28,5	28,0	28,1	28,2	30,1	20,2	100,0	100,0	108,90	1,55

Tabel A.6 Hasil pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Temperatur (°C)									Tekanan (Psi)			Daya (Watt)	Kecepatan Angin (m/s)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	P1	P2	P3		
0	-20,1	49,9	29,2	-20,1	29,6	28,5	28,7	28,6	29,9	22,5	107,5	107,0	114,40	1,70
15	-20,2	49,5	29,5	-20,2	29,6	28,6	28,8	38,7	30,1	22,5	107,5	107,0	114,40	1,60
30	-20,5	49,8	29,5	-20,5	29,5	28,7	28,9	28,9	30,0	22,2	105,0	104,5	112,20	1,60
45	-20,5	49,8	29,5	-20,5	29,6	28,7	29,1	29,0	30,4	22,0	102,5	102,0	114,40	1,50
60	-20,5	49,7	29,6	-20,5	29,7	28,6	28,9	28,9	30,4	22,1	102,5	102,0	111,10	1,55
75	-20,4	50,7	29,7	-20,4	30,0	28,7	28,9	28,9	30,4	22,2	102,5	102,0	111,10	1,80
90	-20,4	51,1	29,6	-20,4	30,0	28,7	29,0	28,9	30,5	22,1	105,0	101,5	113,30	1,65
105	-20,4	51,0	29,8	-20,4	30,0	28,9	29,2	29,1	30,5	22,2	104,5	102,8	110,00	1,70
120	-20,1	50,9	29,9	-20,1	30,2	29,0	29,3	29,2	30,6	22,4	104,5	103,5	108,90	1,50
135	-19,9	51,5	30,0	-19,9	30,1	29,1	29,3	29,3	30,7	22,0	104,5	102,0	111,10	1,55
150	-19,9	51,8	29,8	-19,9	29,8	29,0	29,3	29,2	30,6	21,9	103,0	102,5	112,20	1,75
165	-19,5	51,5	29,8	-19,5	29,8	29,0	29,3	29,2	30,6	21,8	102,5	102,5	112,20	1,80
180	-18,9	51,5	29,8	-18,9	29,8	29,1	29,3	29,3	30,6	21,5	102,5	102,5	110,00	1,55

Lampiran B. Nilai Entalpi Data Hasil Percobaan

Data yang didapat dari pengujian diolah menjadi nilai entalpi untuk menghitung nilai prestasi mesin pendingin. Nilai entalpi *propane* dan *butane* dicari menggunakan *table properties thermodynamic* dan *software CoolPack*. Berikut merupakan data nilai entalpi yang dihasilkan dari pengujian kedua kondensor dengan menggunakan variasi debit aliran *refrigerant*.

1. Hasil Nilai Entalpi Kondensor Biasa

Tabel B.1 Nilai entalpi pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
0	552,65	555,16	623,25	624,93	284,9	278,25	284,9	278,25
15	552,65	554,80	623,58	624,93	284,57	277,99	284,57	277,99
30	552,00	554,04	623,58	624,93	284,90	278,25	284,90	278,25
45	552,33	554,47	623,25	624,67	283,27	276,95	283,27	276,95
60	551,35	553,65	622,60	624,15	282,29	276,16	282,29	276,16
75	551,35	553,18	622,93	623,89	282,29	275,90	282,29	275,90
90	550,05	552,23	622,93	623,89	281,32	275,12	281,32	275,12
105	549,73	551,76	622,60	623,63	280,99	274,86	280,99	274,86
120	550,05	551,17	623,25	623,63	280,34	274,34	280,34	274,34
135	549,08	550,98	623,25	623,37	280,02	273,82	280,02	273,82
150	548,75	550,65	622,93	623,37	280,02	273,82	280,02	273,82
165	548,75	550,98	622,93	623,63	279,37	273,56	279,37	273,56
180	548,75	550,65	623,25	623,11	278,72	272,78	278,72	272,78

Tabel B.2 Nilai entalpi pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
0	552,33	557,40	617,07	621,72	270,58	265,58	270,58	265,58
15	552,33	553,83	618,05	618,91	270,91	265,98	270,91	265,98
30	551,35	553,34	618,05	619,31	271,56	266,39	271,56	266,39
45	551,03	553,63	618,37	620,12	272,21	267,19	272,21	267,19
60	550,70	553,07	618,37	619,72	272,21	267,19	272,21	267,19
75	550,70	552,77	618,37	619,31	270,91	265,98	270,91	265,98

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
90	550,38	551,97	618,05	618,51	270,91	265,98	270,91	265,98
105	550,70	553,10	618,37	619,72	271,56	266,39	271,56	266,39
120	550,38	552,78	618,70	619,72	271,56	266,39	271,56	266,39
135	550,38	552,33	619,02	620,12	272,21	267,19	272,21	267,19
150	549,73	551,55	618,37	619,31	271,56	266,39	271,56	266,39
165	548,75	550,19	618,05	618,51	269,28	264,38	269,28	264,38
180	548,10	552,76	617,07	617,31	266,03	261,57	266,03	261,57

Tabel B.3 Nilai entalpi pengujian kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
0	558,10	549,92	617,07	617,71	265,38	260,77	265,38	260,77
15	547,45	548,37	616,42	616,91	264,73	260,37	264,73	260,37
30	546,47	548,26	617,40	617,71	265,38	260,77	265,38	260,77
45	546,47	547,90	617,72	617,71	266,03	261,57	266,03	261,57
60	546,47	548,09	617,40	617,71	265,38	260,77	265,38	260,77
75	546,47	547,71	617,72	617,71	265,05	260,77	265,05	260,77
90	548,80	547,53	617,72	617,31	265,38	260,77	265,38	260,77
105	546,47	547,39	617,40	617,31	264,73	259,97	264,73	259,97
120	546,47	547,67	617,40	617,71	264,73	260,37	264,73	260,37
135	546,80	547,67	617,40	617,71	264,73	260,37	264,73	260,37
150	547,12	548,63	617,72	618,11	266,03	261,57	266,03	261,57
165	547,12	548,47	617,40	617,71	265,70	261,17	265,70	261,17
180	546,80	547,74	617,40	617,31	265,70	261,17	265,70	261,17

2. Nilai Entalpi *Separation Condenser* Dengan Penambahan *Subcooler*

Tabel B.4 Nilai entalpi pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
0	550,70	553,09	620,00	620,92	275,14	269,59	275,14	269,59
15	550,70	552,97	620,33	621,32	275,79	270,40	275,79	270,40
30	550,38	552,49	620,33	621,32	275,79	270,40	275,79	270,40

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
45	550,38	552,49	620,33	621,32	275,79	270,40	275,79	270,40
60	550,70	552,60	620,65	621,55	276,11	270,44	276,11	270,44
75	550,38	552,64	620,65	621,55	276,44	270,70	276,44	270,70
90	552,76	552,76	621,55	621,55	270,44	270,44	270,44	270,44
105	552,79	552,79	621,81	621,81	270,96	270,96	270,96	270,96
120	553,42	553,42	622,07	622,07	271,22	271,22	271,22	271,22
135	553,62	553,62	622,07	622,07	271,48	271,48	271,48	271,48
150	553,34	553,34	621,55	621,55	270,96	270,96	270,96	270,96
165	554,24	554,24	621,81	621,81	270,96	270,96	270,96	270,96
180	555,21	555,21	621,81	621,81	270,96	270,96	270,96	270,96

Tabel B.5 Nilai entalpi pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

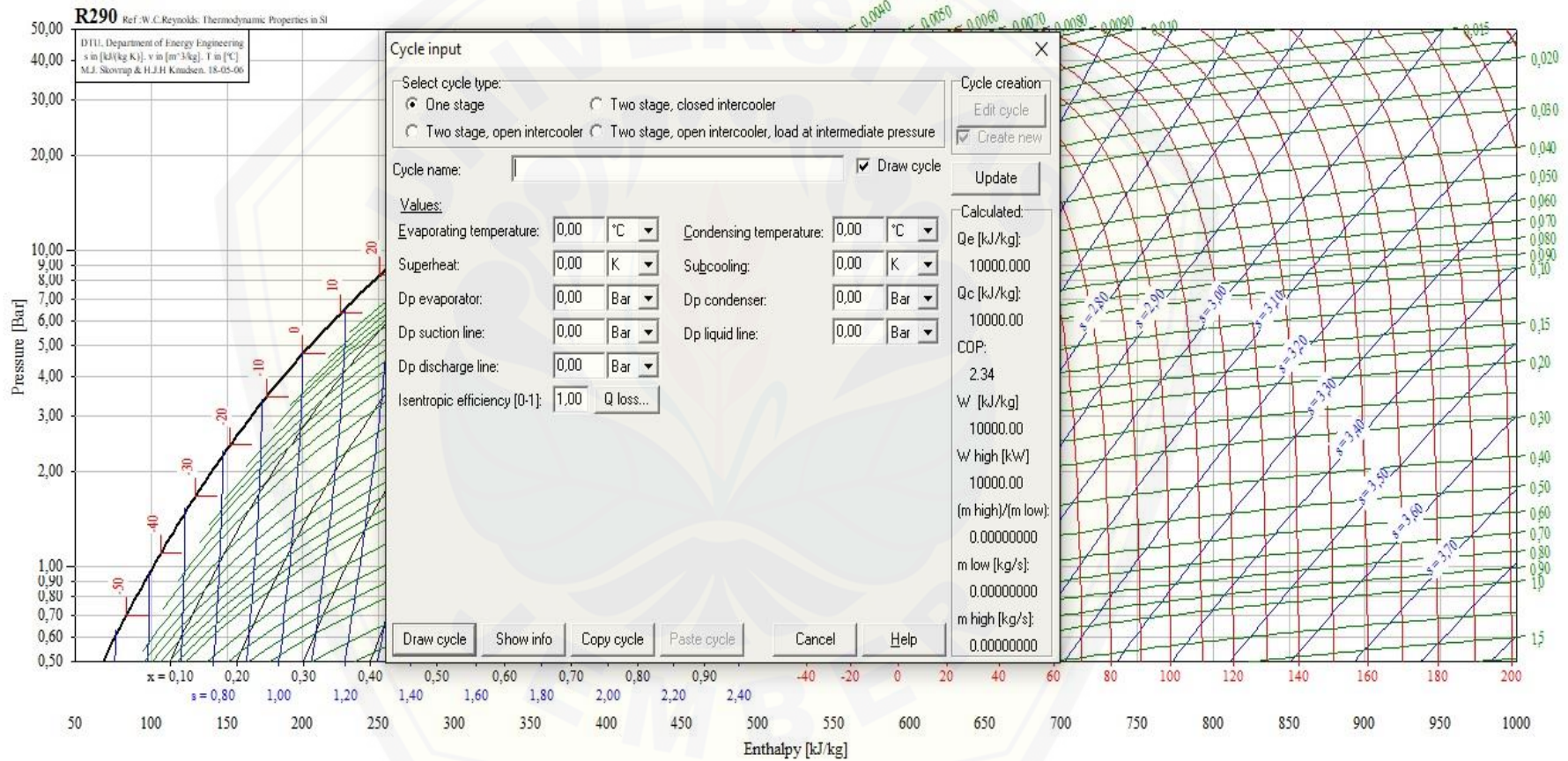
Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
0	551,35	553,58	621,95	622,85	279,04	273,30	279,04	273,30
15	551,35	553,63	621,30	622,85	279,37	273,56	279,37	273,56
30	551,03	553,49	621,30	622,59	279,04	273,30	279,04	273,30
45	550,70	553,32	621,63	622,33	277,74	272,00	277,74	272,00
60	550,70	553,09	620,65	622,07	277,09	271,22	277,09	271,22
75	550,38	552,90	620,65	621,81	276,44	270,70	276,44	270,70
90	550,05	552,37	620,33	621,29	275,46	269,92	275,46	269,92
105	550,05	552,33	620,65	621,81	275,79	270,18	275,79	270,18
120	550,05	552,33	620,65	621,81	275,79	270,18	275,79	270,18
135	550,38	552,39	620,33	621,55	275,79	270,18	275,79	270,18
150	550,05	552,16	620,33	621,29	275,14	269,66	275,14	269,66
165	549,40	551,67	619,67	620,77	274,16	268,88	274,16	268,88
180	549,73	551,88	764,13	621,03	273,84	268,62	273,84	268,62

Tabel B.6 Nilai entalpi pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

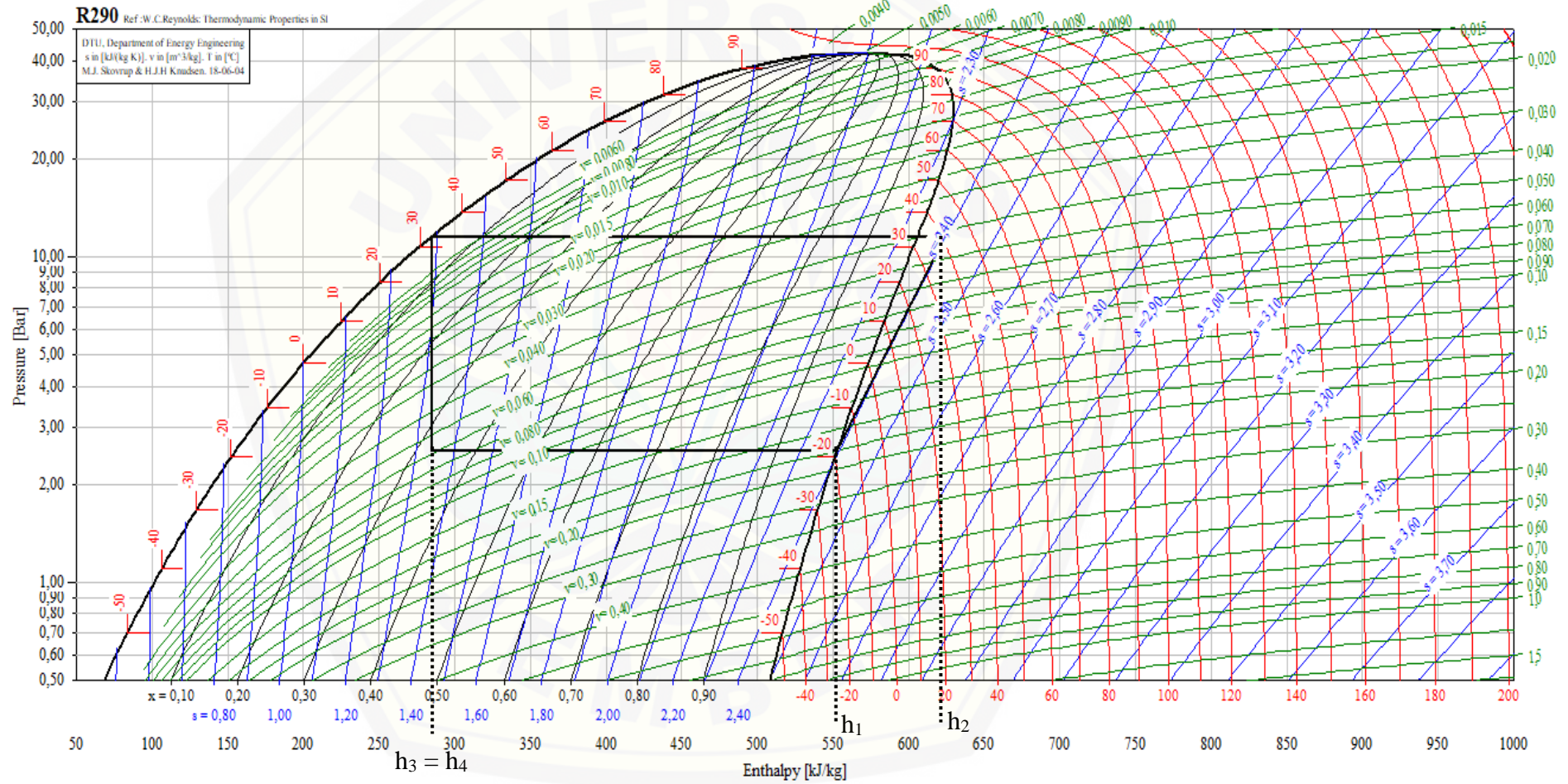
Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
0	552,98	556,10	623,58	624,93	284,90	278,02	284,90	278,02

Waktu (menit)	Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	h ₁		h ₂		h ₃		h ₄	
	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>	<i>Propane</i>	<i>Butane</i>
15	553,30	555,79	622,60	624,41	283,92	277,47	283,92	277,47
30	552,65	555,60	622,93	624,41	283,27	276,95	283,27	276,95
45	552,65	554,86	623,25	624,15	283,27	276,95	283,27	276,95
60	552,33	555,42	623,25	624,93	284,57	277,99	284,57	277,99
75	552,98	555,50	623,25	624,93	284,57	277,99	284,57	277,99
90	552,65	555,33	622,93	624,67	283,92	277,47	283,92	277,47
105	552,65	555,52	622,93	624,67	283,92	277,47	283,92	277,47
120	552,98	555,78	622,93	624,41	283,60	277,21	283,60	277,21
135	552,33	555,23	622,93	624,15	282,62	276,42	282,62	276,42
150	552,00	555,02	622,60	624,15	282,29	276,16	282,29	276,16
165	552,33	554,98	622,28	624,15	282,29	275,90	282,29	275,90
180	552,00	554,41	622,93	623,89	281,64	275,64	281,64	275,64

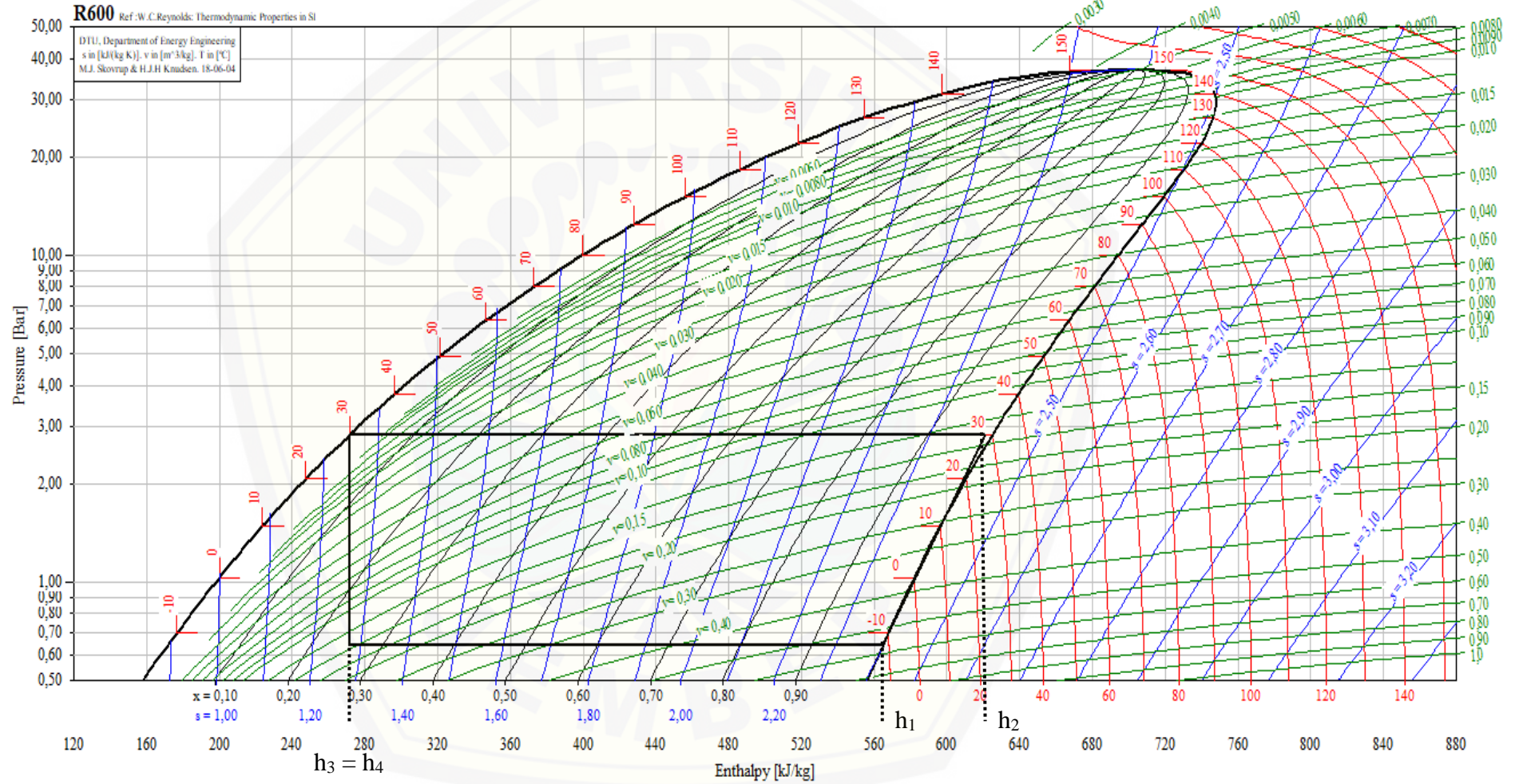
Lampiran C. Tampilan Diagram P-h Software CoolPack



C.1 Tampilan Diagram P-h Propane



C.2 Tampilan Diagram P-h Butane



Lampiran D. Contoh Perhitungan

Hasil nilai entalpi yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung nilai prestasi mesin. Terdapat dua nilai entalpi karena LPG mengandung dua campuran antara *propane* dan *butane*. Masing – masing dari entalpi akan dirata – rata untuk dimasukkan ke dalam rumus prestasi mesin pendingin. Berikut adalah contoh perhitungan menghitung prestasi mesin pendingin pada kondensor biasa dan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler*.

Prestasi mesin pendingin pada kondensor biasa dapat dicari dengan menggunakan perhitungan berikut ini :

- 1) Kerja kompresi

$$W = h_2 - h_1$$

Pada *propane*

$$W = 623,25 - 552,65 = 70,60 \text{ kJ/kg}$$

Pada *butane*

$$W = 624,93 - 555,16 = 69,77 \text{ kJ/kg}$$

Nilai rata – rata

$$W = 70,185 \text{ kJ/kg}$$

- 2) Dampak refrigerasi

$$q_e = h_1 - h_4$$

Pada *propane*

$$q_e = 552,65 - 284,90 = 267,75 \text{ kJ/kg}$$

Pada *butane*

$$q_e = 555,16 - 278,25 = 276,91 \text{ kJ/kg}$$

Nilai rata – rata

$$q_e = 272,33 \text{ kJ/kg}$$

- 3) Nilai laju pelepasan kalor

Debit udara yang mengalir

$$A_{\text{boks kondensor}} = 0,000909 \text{ m}^2 \quad v_{\text{udara}} = 1,90 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,000909 \times 1,90 = 0,001727 \text{ m}^3/\text{s}$$

Laju aliran massa udara yang melewati boks kondensor

$$T_8 = 33,00\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,155334\text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = Q \times \rho_{\text{udara}}$$

$$\dot{m} = 0,001727 \times 1,155334 = 0,001995\text{ kg/s}$$

Nilai laju pelepasan kalor

$$C_p = 1,006106\text{ kJ/kg.degC}$$

$$\Delta T = -0,10\text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$q = 0,001995 \times 1,006106 \times -0,10 = -0,0002007\text{ kW}$$

nilai ρ_{udara} dan C_p dicari dengan cara interpolasi pada tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer dibuku perpindahan kalor (Holman & Jasjfi, 1981).

4) Laju aliran massa *refrigerant*

$\rho_{\text{refrigerant}}$ pada *propane*

$$T_5 = 32,90\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho = 479,5967\text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,000114\text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$\dot{m} = 0,000114 \times 479,5967 = 0,070741\text{ kg/s}$$

$\rho_{\text{refrigerant}}$ pada *butane*

$$T_5 = 32,90\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho = 563,52\text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0,000114\text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$\dot{m} = 0,000114 \times 563,52 = 0,08312\text{ kg/s}$$

Nilai rata – rata laju aliran massa *refrigerant*

$$\dot{m} = 0,07693\text{ kg/s}$$

(nilai $\rho_{\text{refrigerant}}$ dicari dengan cara interpolasi pada tabel *termophysical properties* pada Lampiran E)

5) Kapasitas refrigerasi

$$q_e = 272,33\text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 0,07693\text{ kg/s}$$

$$q = \dot{m} \times q_e$$

$$q = 0,07693 \times 272,33 = 20,950\text{ kJ/s}$$

6) COP

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w}$$

$$\text{COP} = 272,33 : 70,185 = 3,8802$$

Prestasi mesin pendingin pada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dapat dicari dengan menggunakan perhitungan berikut ini :

- 1) Kerja kompresi

$$W = h_2 - h_1$$

Pada *propane*

$$W = 620,00 - 550,70 = 69,30 \text{ kJ/kg}$$

Pada *butane*

$$W = 620,92 - 553,09 = 67,83 \text{ kJ/kg}$$

Nilai rata – rata

$$W = 68,565 \text{ kJ/kg}$$

- 2) Dampak refrigerasi

$$q_e = h_1 - h_4$$

Pada *propane*

$$q_e = 550,70 - 275,14 = 275,56 \text{ kJ/kg}$$

Pada *butane*

$$q_e = 553,09 - 269,59 = 283,50 \text{ kJ/kg}$$

Nilai rata – rata

$$q_e = 279,53 \text{ kJ/kg}$$

- 3) Nilai laju pelepasan kalor

Debit udara yang mengalir

$$A_{\text{boks kondensor}} = 0,000909 \text{ m}^2 \quad v_{\text{udara}} = 1,70 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,000909 \times 1,70 = 0,0015 \text{ m}^3/\text{s}$$

Laju aliran massa udara yang melewati boks kondensor

$$T_{\text{udara}} = 28,55 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (rata – rata suhu udara masuk dan keluar boks)}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,1713 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = Q \times \rho_{\text{udara}}$$

$$\dot{m} = 0,0015 \times 1,1713 = 0,0018 \text{ kg/s}$$

Nilai laju pelepasan kalor

$$C_p = 1,0058 \text{ kJ/kg.degC} \quad \Delta T = 0,20 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$q = 0,0018 \times 1,0058 \times 0,20 = 0,000364002 \text{ kW}$$

nilai ρ_{udara} dan C_p dicari dengan cara interpolasi pada tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer dibuka perpindahan kalor (Holman & Jasjfi, 1981).

4) Laju aliran massa *refrigerant*

ρ *refrigerant* pada *propane*

$$T_5 = 29,6^\circ\text{C} \quad \rho = 485,081 \text{ kg/m}^3 \quad Q = 0,000114 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$\dot{m} = 0,000114 \times 485,081 = 0,05538 \text{ kg/s}$$

ρ *refrigerant* pada *butane*

$$T_5 = 32,90^\circ\text{C} \quad \rho = 567,478 \text{ kg/m}^3 \quad Q = 0,000114 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$\dot{m} = 0,000114 \times 567,478 = 0,06479 \text{ kg/s}$$

Nilai rata – rata laju aliran massa *refrigerant*

$$\dot{m} = 0,06008 \text{ kg/s}$$

(nilai ρ *refrigerant* dicari dengan cara interpolasi pada tabel *thermophysical properties* pada Lampiran E)

5) Kapasitas refrigerasi

$$q_e = 279,530 \text{ kJ/kg} \quad \dot{m} = 0,06008 \text{ kg/s}$$

$$q = \dot{m} \times q_e$$

$$q = 0,06008 \times 279,530 = 16,795 \text{ kJ/s}$$

6) COP

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w}$$

$$\text{COP} = 279,530 : 68,566 = 4,0768$$

Lampiran E. Tabel *Termophysical Properties*

E.1 Tabel *Termophysical Properties Propane*

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

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, Volume,		Enthalpy,		Entropy,		Specific Heat c_p ,			Velocity of Sound,		Viscosity,		Thermal Cond., Surface		Temp., °C	
		kg/m ³ Liquid	m ³ /kg Vapor	kJ/kg Liquid	kJ/kg Vapor	kJ/(kg·K) Liquid	kJ/(kg·K) Vapor	kJ/(kg·K) Liquid	kJ/(kg·K) Vapor	c_p/c_v Vapor	m/s Liquid	m/s Vapor	μPa·s Liquid	μPa·s Vapor	mW/(m·K) Liquid	mW/(m·K) Vapor		Tension, mN/m
-150	0.00001	694.6	4316.4	-123.78	402.06	-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	-104.09	412.43	-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	-84.23	423.12	-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	-64.21	434.11	-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	-43.99	445.38	-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	-23.56	456.88	-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	-2.90	468.58	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	18.03	480.44	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	39.25	492.41	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	60.81	504.44	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	82.75	516.48	0.5298	2.4734	2.212	1.397	1.182	1213	216.5	216.0	6.11	133.8	10.88	16.94	-50
-42.11 ^b	0.10133	580.9	0.41388	100.36	525.95	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	105.12	528.48	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	109.65	530.87	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	114.20	533.26	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	118.77	535.64	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	123.36	538.01	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	127.97	540.38	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	132.61	542.75	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	137.26	545.11	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	141.94	547.46	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	146.64	549.80	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	151.36	552.13	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	156.11	554.46	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	160.88	556.77	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	165.68	559.08	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	170.50	561.37	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	175.35	563.65	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	180.22	565.92	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	185.12	568.18	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	190.05	570.42	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	195.01	572.65	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	200.00	574.87	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	205.02	577.06	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	210.06	579.24	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	215.14	581.41	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	220.25	583.55	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	225.40	585.67	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	230.57	587.77	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	235.79	589.85	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	241.03	591.91	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	246.32	593.94	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	251.64	595.95	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	256.99	597.93	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	262.39	599.88	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	267.83	601.80	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	273.31	603.68	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	278.83	605.54	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	284.40	607.35	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	290.01	609.13	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	295.68	610.87	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	301.39	612.57	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	307.15	614.21	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	312.96	615.81	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	318.83	617.36	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	324.76	618.86	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	330.75	620.29	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	336.80	621.66	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	352.23	624.77	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	368.14	627.36	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	384.60	629.29	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	401.75	630.37	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	419.76	630.33	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	438.93	628.73	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	459.81	624.75	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	483.71	616.47	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	516.33	595.81	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	555.24	555.24	2.0516	2.0516	∞	∞	∞	0	0.0	—	—	∞	∞	0.00	96.74

^bNormal boiling point

^cCritical point

Licensed for single user. © 2009 ASHRAE, Inc.

E.2 Tabel *Thermophysical Properties Butane*

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

Temp., ^a °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³		Volume, m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c_p</i> , kJ/(kg·K)		Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor			
-100	0.00016	699.3	150.44	—	—	-13.65	450.85	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	—	—	-3.57	457.02	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	—	—	6.56	463.27	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	—	—	16.73	469.58	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	—	—	26.94	475.97	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	—	—	37.21	482.41	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	—	—	47.53	488.92	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	—	—	57.90	495.50	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	—	—	68.34	502.13	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	—	—	78.85	508.82	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	—	—	89.42	515.56	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	—	—	100.07	522.35	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	—	—	110.80	529.19	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	—	—	121.62	536.08	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	—	—	132.52	543.01	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	—	—	143.51	549.98	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	—	—	154.60	556.98	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	—	—	165.79	564.02	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	—	—	177.08	571.08	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	—	—	188.48	578.17	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 ^b	0.10132	601.3	0.36910	—	—	198.87	584.58	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	—	—	200.00	585.27	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	—	—	204.64	588.12	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	—	—	209.30	590.97	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	—	—	213.98	593.82	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	—	—	218.68	596.67	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	—	—	223.40	599.53	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	—	—	228.13	602.38	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	—	—	232.89	605.24	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	—	—	237.68	608.09	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	—	—	242.48	610.95	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	—	—	247.30	613.80	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	—	—	252.15	616.66	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	—	—	257.02	619.51	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	—	—	261.91	622.36	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	—	—	266.82	625.21	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	—	—	271.76	628.06	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	—	—	276.72	630.91	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	—	—	281.71	633.75	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	—	—	286.72	636.59	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	—	—	291.76	639.42	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	—	—	296.82	642.25	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	—	—	301.90	645.08	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	—	—	307.02	647.90	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	312.15	650.71	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	317.32	653.52	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	322.51	656.32	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	335.62	663.28	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	348.91	670.19	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	362.39	677.02	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	376.06	683.77	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	389.95	690.41	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	404.06	696.94	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	418.40	703.32	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	433.00	709.53	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	447.87	715.53	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	463.03	721.29	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	478.51	726.75	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	494.36	731.87	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	510.61	736.55	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	527.34	740.69	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	544.65	744.15	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	562.68	746.70	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	581.69	747.97	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	602.17	747.29	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	625.32	743.11	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	656.27	729.01	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	693.91	693.91	2.3631	2.3631	∞	∞	∞	0	0.0	—	—	∞	∞	0.00	151.98

^aTemperatures on ITS-90 scale

^bNormal boiling point

^cCritical point

Licensed for single user. © 2009 ASHRAE, Inc.

Lampiran F. Nilai Prestasi Mesin

1. Pada kondensor biasa

Tabel F.1 Nilai prestasi mesin pendingin pada kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
0	70,185	272,330	-0,000200699	0,07693	20,950	3,88017
15	70,530	272,445	-0,000845818	0,07695	20,965	3,86282
30	71,235	271,445	-0,001690094	0,07693	20,882	3,81056
45	70,560	273,290	-0,001057593	0,07703	21,053	3,87316
60	70,875	273,275	-0,001778375	0,07710	21,069	3,85573
75	71,145	273,170	-0,001271038	0,07716	21,078	3,83962
90	72,270	272,920	-0,000847873	0,07718	21,064	3,77639
105	72,370	272,820	-0,001219186	0,07720	21,062	3,76979
120	72,830	273,270	-0,001113507	0,07729	21,120	3,75216
135	73,280	273,110	-0,001166178	0,07729	21,107	3,72694
150	73,450	272,780	-0,001486024	0,07731	21,088	3,71382
165	73,415	273,400	-0,001413004	0,07733	21,141	3,72403
180	73,480	273,950	-0,001711512	0,07741	21,207	3,72823

Tabel F.2 Nilai prestasi mesin pendingin pada kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
0	64,531	286,784	-0,000245683	0,06903	19,796	4,44409
15	65,403	284,633	-0,000245388	0,06901	19,642	4,35201
30	66,335	283,371	-0,000213252	0,06897	19,545	4,27184
45	66,914	282,632	-0,000894850	0,06919	19,556	4,22383
60	67,160	282,186	-0,000489594	0,06886	19,432	4,20172
75	67,105	283,290	-0,000978598	0,06881	19,493	4,22155
90	67,105	282,730	-0,000669924	0,06877	19,444	4,21321
105	67,144	282,927	-0,000212482	0,06873	19,447	4,21376
120	67,631	282,604	-0,000467177	0,06868	19,409	4,17862
135	68,213	281,657	-0,000933225	0,06863	19,329	4,12908

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
150	68,198	281,667	-0,000975940	0,06861	19,324	4,13014
165	68,810	282,640	-0,000891345	0,06863	19,396	4,10754
180	66,760	286,631	-0,001061767	0,06861	19,665	4,29348

Tabel F.3 Nilai prestasi mesin pendingin pada kondensor biasa dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
0	63,381	290,935	0,021466436	0,06059	17,627	4,59028
15	68,757	285,359	0,010736427	0,06057	17,284	4,15028
30	70,190	284,290	0,010723591	0,06054	17,211	4,05029
45	70,531	283,384	0,021415091	0,06051	17,147	4,01786
60	70,274	284,207	0,021415091	0,06043	17,174	4,04429
75	70,624	284,182	0,000000000	0,06049	17,190	4,02389
90	69,352	285,088	0,021427928	0,06046	17,236	4,11074
105	70,426	284,579	0,021460018	0,06052	17,224	4,04082
120	70,487	284,519	-0,010713964	0,06051	17,215	4,03650
135	70,322	284,684	0,000000000	0,06054	17,234	4,04831
150	70,040	284,076	0,021402254	0,06038	17,152	4,05593
165	69,759	284,361	0,032132264	0,06041	17,179	4,07633
180	70,086	283,835	0,010713964	0,06043	17,151	4,04983

2. Pada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler*

Tabel F.4 Nilai prestasi mesin pendingin pada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
0	68,566	279,530	0,000364002	0,06008	16,795	4,07682
15	68,988	278,742	0,000256846	0,06008	16,748	4,04041
30	69,392	278,338	0,000427949	0,06010	16,728	4,01110
45	69,392	278,338	0,000721947	0,06008	16,724	4,01110

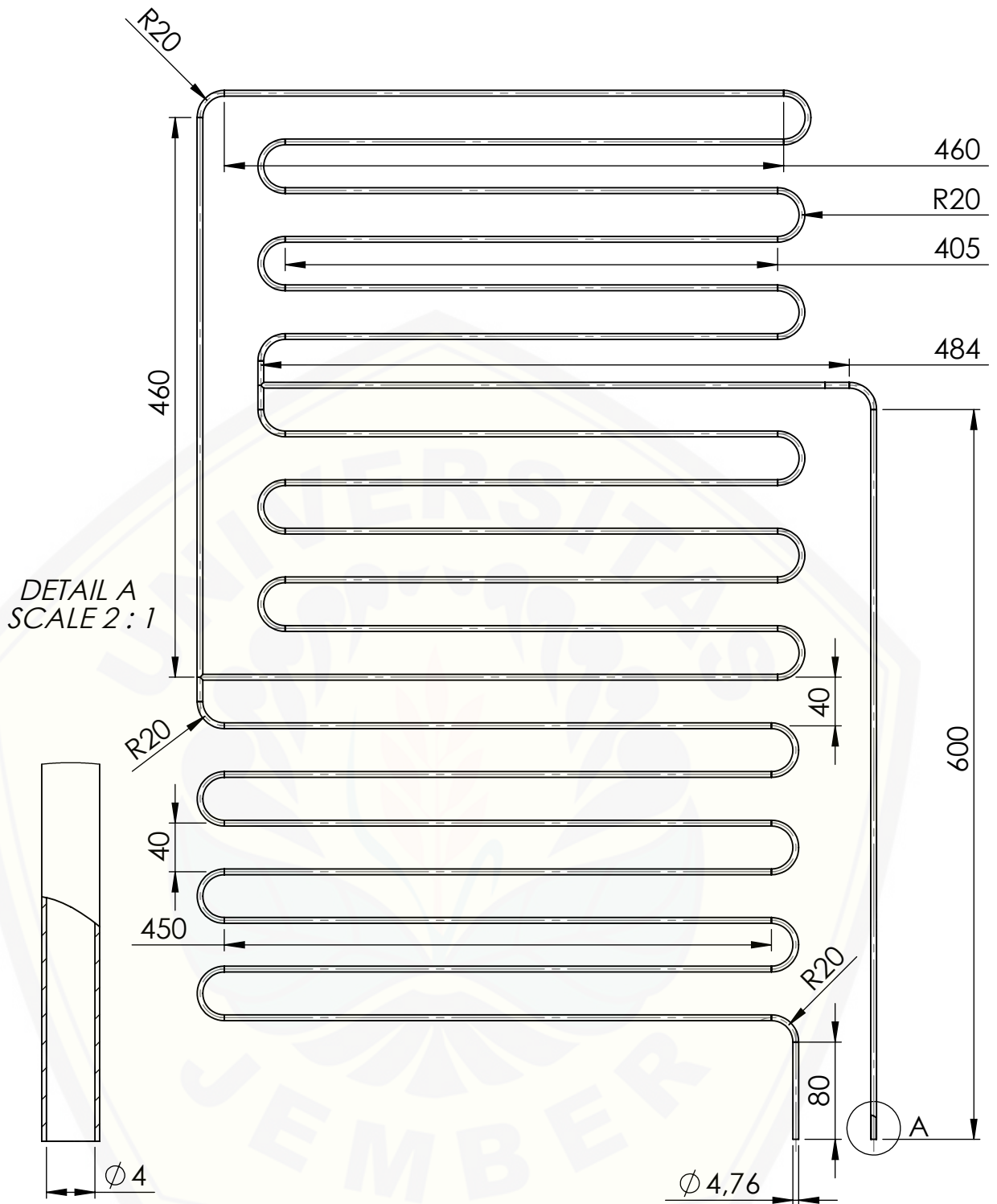
Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
60	69,451	278,374	0,000497528	0,06007	16,721	4,00821
75	69,589	277,942	0,000481442	0,06002	16,682	3,99407
90	68,789	282,321	0,000441256	0,06002	16,945	4,10416
105	69,024	281,826	0,000545266	0,06002	16,915	4,08301
120	68,655	282,195	0,000400781	0,05999	16,928	4,11033
135	68,448	282,142	0,000414078	0,06000	16,927	4,12199
150	68,213	282,377	0,000561135	0,06005	16,957	4,13964
165	67,567	283,283	0,000480937	0,06004	17,009	4,19262
180	66,601	284,249	0,000331287	0,06005	17,070	4,26794

Tabel F.5 Nilai prestasi mesin pendingin pada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
0	69,934	276,297	0,000545430	0,06884	19,021	3,95085
15	69,586	276,024	0,000232313	0,06886	19,007	3,96666
30	69,688	276,088	0,000400660	0,06886	19,011	3,96179
45	69,968	277,142	0,000387829	0,06889	19,091	3,96098
60	69,464	277,741	0,000427949	0,06896	19,153	3,99831
75	69,589	278,072	0,000465778	0,06899	19,186	3,99594
90	69,602	278,518	0,000364438	0,06900	19,219	4,00158
105	70,043	278,203	0,000281094	0,06898	19,190	3,97191
120	70,043	278,203	0,000091007	0,06895	19,182	3,97191
135	69,555	278,401	0,000090994	0,06894	19,193	4,00262
150	69,706	278,704	0,000077659	0,06893	19,212	3,99828
165	69,687	279,013	0,000332382	0,06902	19,258	4,00380
180	69,545	279,575	0,000166216	0,06906	19,307	4,02006

Tabel F.6 Nilai prestasi mesin pendingin pada *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* dengan debit *refrigerant* $148 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

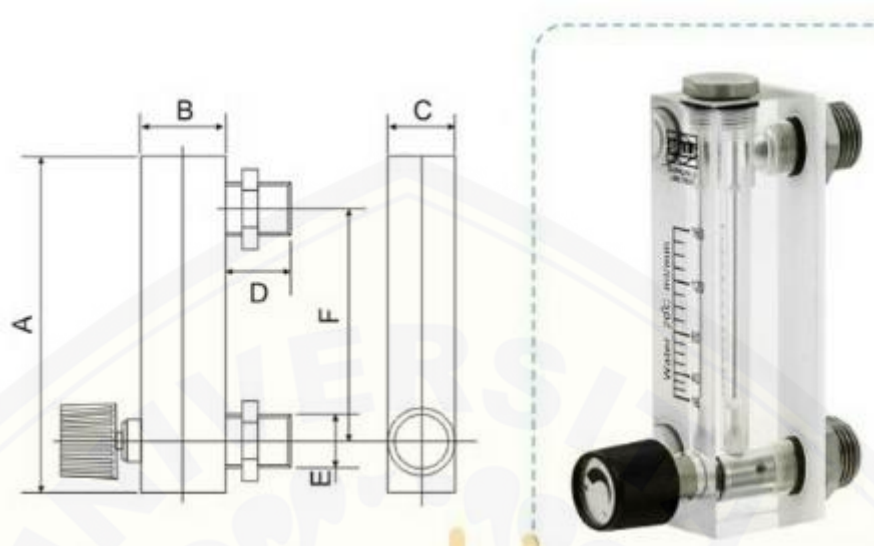
Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Pelepasan Kalor Kondensor (kW)	Laju Aliran Massa (kg/s)	Kapasitas Refrigerasi (kJ/s)	COP
0	69,714	273,081	0,000505292	0,07756	21,181	3,91713
15	68,961	273,850	0,000726025	0,07753	21,232	3,97111
30	69,546	274,014	0,001010661	0,07751	21,240	3,94004
45	69,947	273,644	0,001149135	0,07751	21,211	3,91218
60	70,217	272,593	0,000504759	0,07751	21,129	3,88215
75	69,852	272,958	0,000424932	0,07750	21,155	3,90766
90	69,811	273,295	0,000637831	0,07750	21,181	3,91481
105	69,713	273,392	0,000542238	0,07749	21,186	3,92168
120	69,290	273,975	0,000351019	0,07750	21,234	3,95403
135	69,762	274,258	0,000518824	0,07752	21,261	3,93134
150	69,865	274,286	0,000708050	0,07752	21,263	3,92596
165	69,562	274,558	0,000394042	0,07753	21,287	3,94695
180	70,207	274,563	0,000479059	0,07751	21,282	3,91076



1	1	Separation Condenser dengan penambahan Subcooler	Besi	-	-
NO.	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN
		Kekasaran Permukaan dalam μm	Toleransi Ukuran dalam μm	Toleransi bentuk dan posisi menurut :	
		Skala : 1 : 5	Digambar : Amirul Yahya	Keterangan : Lampiran G.	
		Satuan Ukuran : mm	Kelas : -		
		Tanggal : 08 Mei 2018	Dilihat : Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng.		
Teknik Mesin Universitas Jember			Separation Condenser dengan penambahan Subcooler		Hal. 120 A4

Lampiran H. Alat Ukur Debit *Refrigerant*

LZM – 6 Flow Meter



Gambar H.1 Flow meter tipe LZM – 6

Tabel H.1 Ukuran flow meter

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

Spesifikasi :

- 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 I. Data Logger

Midi LOGGER GL200A

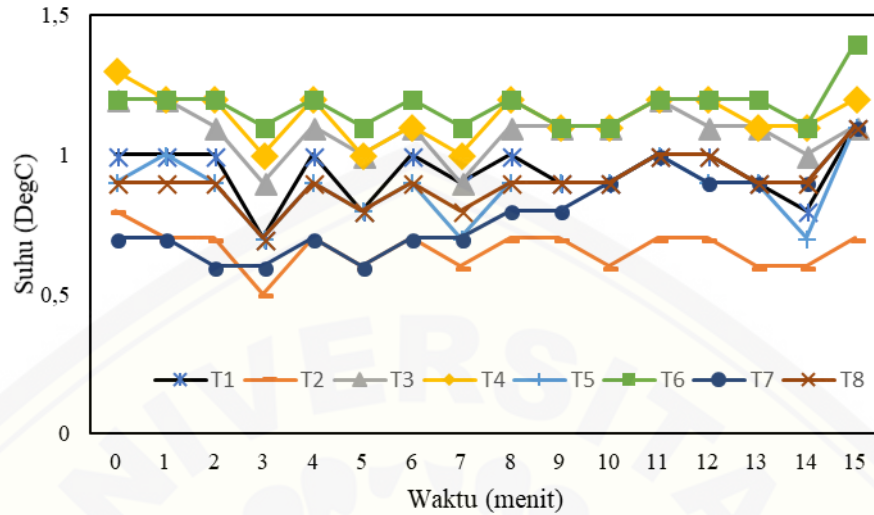


Gambar I.1 Midi LOGGER GL200A

Tabel I.1 Spesifikasi Midi LOGGER GL200A

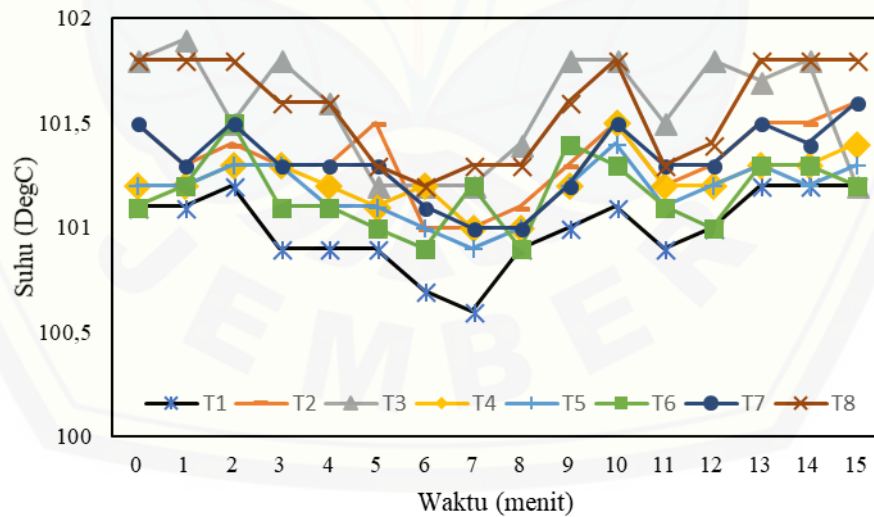
Item	Description
Number of Channels	Analog 10ch, Logic 1ch, Pulse 1ch, (RPM, Instant, Count), Alarm output 1ch
Input Method	Isolated input
Display unit	3,5" TFT color LCD
Input type	DC voltage 20 mV to 50V, 1-5V
	Temperature
	Humidity used an optional humidity sensor
Recording interval	10 ms to 1h (there is a limitation on no. of channels for 100ms or faster sampling, Volt range only)
Internal memory	3.5MB (Flash memory) Hold data after put off the power
External recording medium	USB memory enable to save data directly
PC I/F	USB
Display	Waveform display/ Digital display switching, Review display
Power supply	AC adapter, DC drive, battery pack (Battery life: 6 hours with optional B-517, depending on our criteria specified)
Dimensions, weight	194" x 122" x 41mm, 480g
Accessories	AC power adapter, cable 1set, CD-ROM 1pc PC software PDF user manual, quick start guide

I.1 Hasil Grafik Kalibrasi Data Logger dan Thermocouple Type K dengan Air Membeku (Es)



Gambar I.1 Grafik hasil kalibrasi data logger dan thermocouple type K dengan air membeku (es)

I.2 Hasil Grafik Kalibrasi Data Logger dan Thermocouple Type K dengan Air Mendidih



Gambar I.2 Grafik hasil kalibrasi data logger dan thermocouple type K dengan air mendidih

Lampiran J. Spesifikasi LPG



PERTAMINA

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

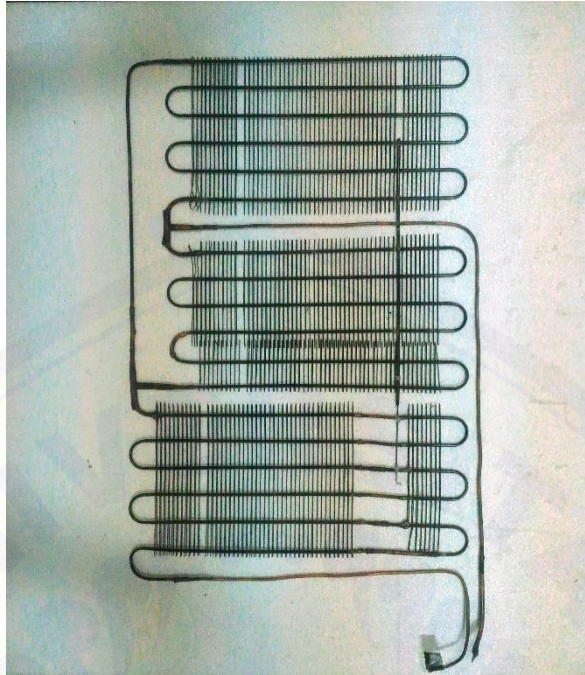
According to its use, LPG is differentiated to :

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 K. Dokumentasi Penelitian



Gambar K.1 *Separation condenser* dengan penambahan *subcooler*



Gambar K.2 *Pressure gauge*



Gambar K.3 Boks kondensor



Gambar K.4 Timbangan *Refrigerant* LPG



Gambar K.5 Kalibrasi data logger dan termokopel suhu panas



Gambar K.6 Kalibrasi data logger dan termokopel suhu dingin (es)



Gambar K.7 Kalibrasi flowmeter atau rotameter gas terhadap gas LPG



Gambar K.8 Kalibrasi flowmeter atau rotameter gas terhadap gas LPG



Gambar K.9 Pemasangan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler*



Gambar K.10 Perakitan alat uji pada kondensor biasa



Gambar K.11 Pengujian kondensor biasa



Gambar K.12 Pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler*



Gambar K.13 Proses *recording* data



Gambar K.14 Proses *recording* data