



**ANALISIS VARIASI JARAK *FIN* TERHADAP PERFORMA
MESIN PENDINGIN *DOUBLE* EVAPORATOR RANGKAIAN
SERI MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

SKRIPSI

Oleh

Aldhitya Putra Pramana

NIM 161910101070

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**ANALISIS VARIASI JARAK *FIN* TERHADAP PERFORMA
MESIN PENDINGIN *DOUBLE* EVAPORATOR RANGKAIAN
SERI MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

SKRIPSI

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

Oleh

Aldhitya Putra Pramana

NIM 161910101070

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

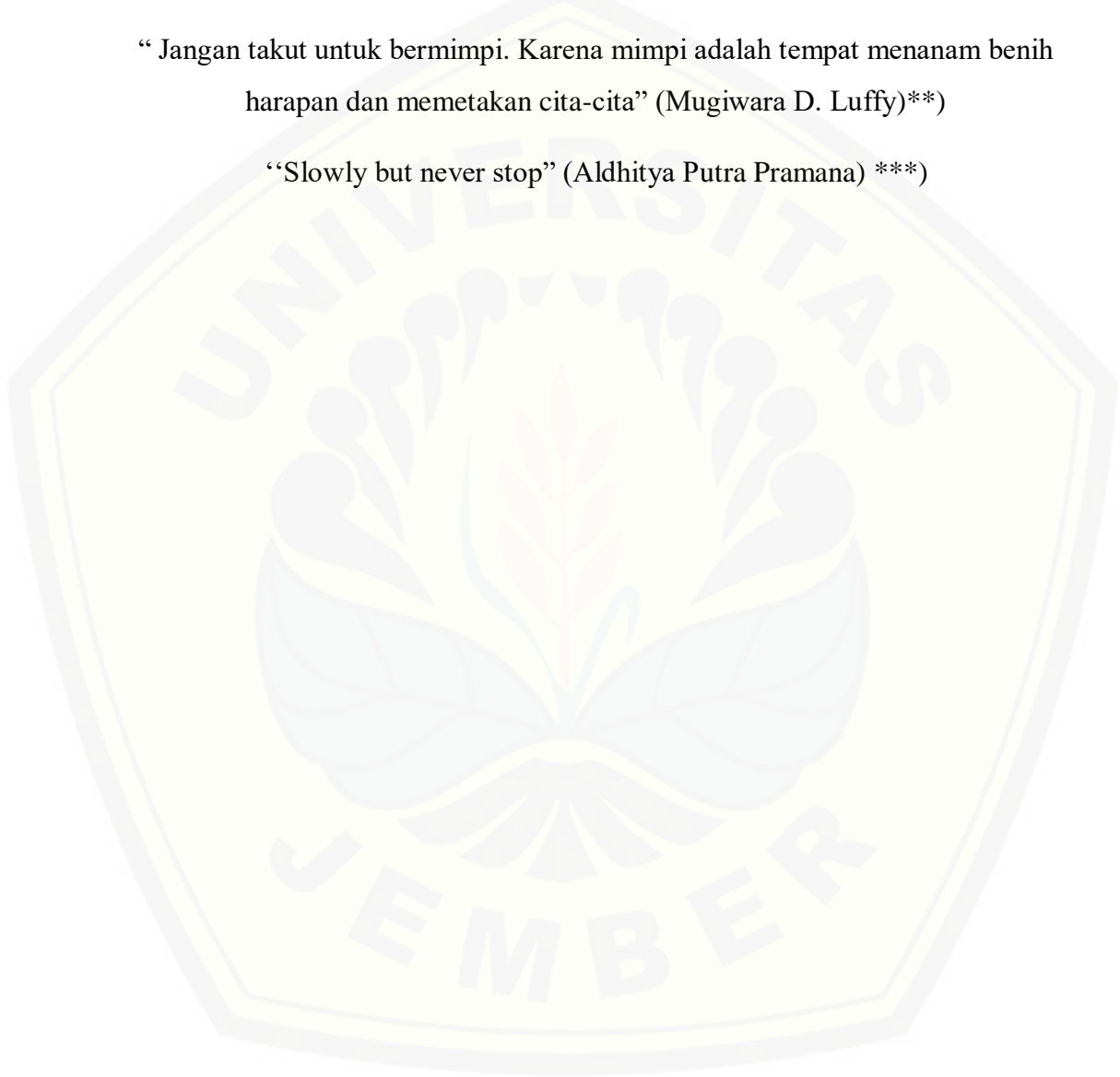
1. Allah SWT, atas limpahan karunia dan rahmat-Nya yang teramat besar;
2. Nabi Muhammad SAW, yang menjadi panutan dalam menjalani hidup sebagai bekal kehidupan akhirat;
3. Keluargaku, Ayahanda Ambar Pramana dan Ibunda Wiwik Trisnawati, serta Mas Rendhitya Putra Pradika yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tidak kenal lelah, dan doa yang tiada hentinya tuncurahkan dengan sepenuh hati;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M. Sc selaku dosen pembimbing utama, Ibu Rei Rahma Sakura, S. T., M. T. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Dedi Dwi Laksana, S. T., M. T. selaku dosen penguji I, Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran dan arahan menuju kearah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan SMA yang tidak kenal lelah memberikan ilmunya, membimbing dan mendidik menuju arah yang lebih baik sehingga sampai ke jenjang perguruan tinggi;
6. Teman-temanku kelompok penelitian Pokok Wani yaitu Chandra, dan Dimas Arda Pratama yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, serta teman-temanku Teknik Mesin angkatan 2016 yang tidak kenal lelah memberikan dukungan dan doa serta kasih sayang.

MOTTO

“Hidup ini seperti pensil yang pasti akan habis, tetapi meninggalkan tulisan-tulisan yang indah dalam kehidupan.” (Nami)*)

“Jangan takut untuk bermimpi. Karena mimpi adalah tempat menanam benih harapan dan memetakan cita-cita” (Mugiwara D. Luffy)**)

“Slowly but never stop” (Aldhitya Putra Pramana ***)



*) Nami karakter anime One Piece

***) Mugiwara D. Luffy karakter anime One Piece

****) Aldhitya Putra Pramana

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Aldhitya Putra Pramana

NIM : 161910101070

Dengan ini menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Analisis Variasi Jarak Fin Terhadap Performa Mesin Pendingin Double Evaporator Rangkaian Seri Menggunakan Refrigeran LPG*” adalah hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsaan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 11 Mei 2020

Yang menyatakan,

Aldhitya Putra Pramana

NIM 161910101070

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI JARAK *FIN* TERHADAP PERFORMA
MESIN PENDINGIN *DOUBLE* EVAPORATOR RANGKAIAN
SERI MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

Oleh

Dirga Bhaskara

NIM 131910101080

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Rahma Rei Sakura, S. T., M. T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Variasi Jarak *Fin* Terhadap Performa Mesin Pendingin *Double* Evaporator Rangkaian Seri Menggunakan Refrigeran LPG” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Senin, 11 Mei 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Digdo Listyadi., M.Sc

NIP.196806171995011001

Rahma Rei Sakura S.T., M.T.

NIP. 760017115

Penguji,

Penguji I,

Penguji II,

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.

NIP. 196912011996021001

Andi Sanata, S.T, M.T.

NIP. 197505022001121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP 196612151995032001

RINGKASAN

ANALISIS VARIASI JARAK *FIN* TERHADAP PERFORMA MESIN PENDINGIN *DOUBLE* EVAPORATOR RANGKAIAN SERI MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG; Aldhitya Putra Pramana, 161910101070; 108 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Mesin pendingin merupakan salah satu alat yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat di bidang industri maupun rumah tangga. Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Mesin pendingin banyak digunakan untuk mendinginkan makanan, mendinginkan ruangan, mengawetkan makanan dan lain sebagainya. Mesin pendingin ini memiliki beberapa komponen meliputi kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator dan komponen pendukung lainnya. Penggunaan *double* evaporator dapat meningkatkan COP dibandingkan dengan menggunakan *single* evaporator. Penggunaan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) menunjukkan hasil prestasi kerja mesin pendingin yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan refrigeran CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) dan HFC (*Hydro Fluoro Carbon*). Selain itu penggunaan *Liquefied Petroleum Gas* memiliki sifat yang ramah lingkungan yaitu tidak mengandung unsur yang merusak lapisan Ozon di Stratosfir atau ODS (*Ozone Depleting Substance*) dan tidak menyebabkan pemanasan global atau GWP (*Global Warming Potential*).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui prestasi kerja mesin pendingin dengan memvariasikan jarak antar *fin* kondensor dan diameter *fin* kondensor dengan *double* evaporator rangkaian seri menggunakan refrigeran LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Prestasi kerja mesin pendingin meliputi: dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi dan COP. Penelitian ini menggunakan metode *trial and error* dengan membandingkan perbedaan jarak antar *fin* dan perbedaan diameter *fin* serta penggunaan kondensor biasa. Panjang total masing-masing

kondensor disamakan. Data yang diperoleh pada penelitian ini meliputi suhu dan tekanan. Pengambilan data dilakukan pada kondisi mesin pendingin dalam keadaan steady state selama 180 menit dan pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali pengambilan data agar hasilnya akurat.

Memvariasikan jarak antar *fin* dan diameter *fin* ini dapat memberikan pengaruh pada COP (*Coefficient of Performance*). Terbukti bahwa COP tertinggi yaitu pada variasi jarak antar *fin* 5 mm berdiameter 2 mm dengan nilai 14,02 sedangkan nilai COP terendah yaitu pada variasi jarak antar *fin* 10 mm berdiameter 1 mm dengan nilai 8,39. Jadi semakin rapat jarak antar *fin*nya COPnya akan semakin tinggi.

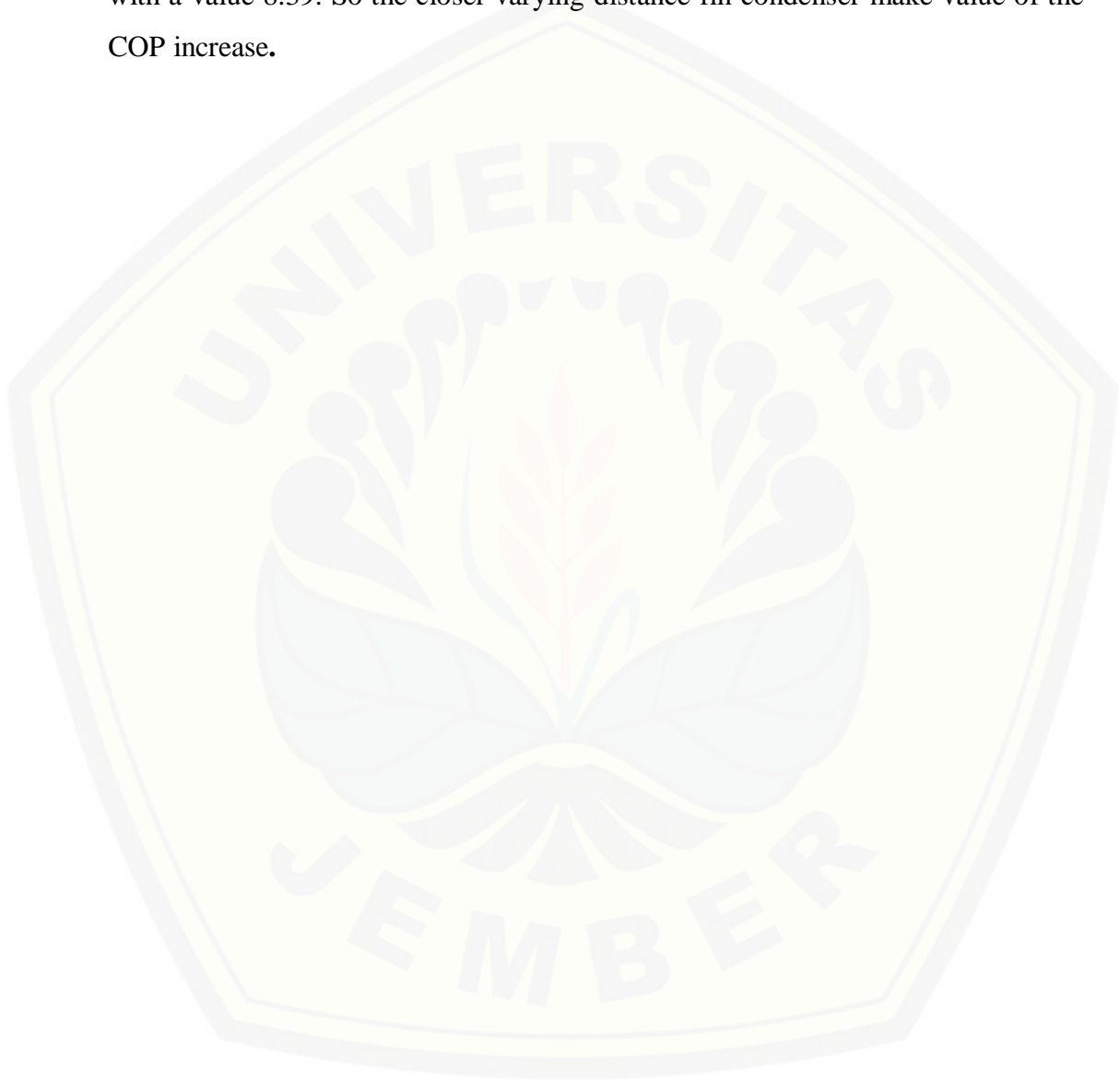
SUMMARY

Analysis Variations Of Fins Distance Againsts Performance Double Series Evaporator Cooling Machines Using LPG Refrigerants; Aldhitya Putra Pramana, 161910101070; 108 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

The cooling machine is one of the machines that is needed by the community in the industrial and household fields. The cooling machine is a machines that has the main function to refrigerate the substance so that the temperature is lower than the ambient temperature. Cooling machines are widely used to refrigerate food, preserve food and so forth. This cooling machine has several components including compressor, condenser, capillary, evaporator and other supporting components. The use of a double evaporator can increase COP compared to using a single evaporator. Refrigerant Liquified Petroleum Gas (LPG) shows the results of work performance of a cooler engine better than the use of CFC (Chloro Fluoro Carbon) and HFC (Hydro Fluoro Carbon) refrigerants. In addition, the use of Liquified Petroleum Gas has an environmentally friendly nature that does not contain elements that can damage the Ozone layer in the Stratosphere or ODS (Ozone Depleting Substance) and does not cause global warming or GWP (Global Warming Potential).

The purpose of this research was to determine the performance of the cooling machine by varying the distance condenser fin and the diameter of the condenser fin with a double evaporator series circuit using LPG (Liquified Petroleum Gas) refrigerant. The performance of the cooling machine includes: the impact of refrigeration, compression work, refrigeration capacity and COP. This research uses a trial and error method by comparing the varying condenser with an original condenser. The total length of each condenser is equalized. Data obtained in this research include temperature and pressure. Data retrieval is done on the condition of the engine cooling in a steady state for 180 minutes and testing is repeated for 3 times the data collection so that the results are accurate.

Varying the distance fins condenser and fin diameter condenser can affect the COP (Coefficient of Performance). The result of the highest COP is variation condenser fin spacing 5 mm with a diameter 2 mm with a value 14.02 while the lowest COP value is variation condenser fin spacing 10 mm with a diameter 1 mm with a value 8.39. So the closer varying distance fin condenser make value of the COP increase.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Jarak *Fin* Terhadap Performa Mesin Pendingin *Double* Evaporator Rangkaian Seri Menggunakan Refrigeran LPG”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayahNya, skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar.
2. Keluarga Ambar Pramono yang telah memberikan doa, semangat, waktu, tenaga dan pikiran kepada penulis;
3. Bapak Ir. Digdo Listyadi S, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Rei Rahma Sakura, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang sudah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, dorongan, semangat dan saran dengan penuh kesabaran selama penyusunan skripsi kepada penulis;
4. Bapak Dedi Dwi Laksono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Andi Sanata, S.T.,M.T. selaku Dosen Penguji Anggota, terima kasih atas kritik dan saran yang membangun untuk penulisan skripsi ini;
5. Bapak Robertus Sidartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan;
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, motivasi dan kritik kepada penulis:

7. Keluarga Ambar Pramono (Bapak Ambar Pramono, Ibu Wiwik Trisnawati dan Kakak Rendhitya Putra Pradika) yang telah memberikan doa, semangat, waktu, tenaga dan pikiran kepada penulis;
8. Sahabat saya Gigih Pambudi Winoto, Faris Wibowo Putro dan Dimas Arda Pratama yang selalu mendukung penulis dalam keadaan apapun;
9. Dulur-dulur Teknik Mesin Angkatan 2016 (M18) yang telah membantu menyelesaikan penulisan skripsi;
10. Tim Pendingin (Chandra dan Dimas), yang saling memotivasi dalam menyelesaikan penulisan skripsi;
11. Teman-teman Kontrakan Puri Lama (Dadung, Opang, Vito, dan Rozi);
12. Teman-teman KKN Bermi yang sudah mengajarkan saya tentang pekerjaan *office boy* dan menjadi anak soleh;
13. Delia Erli Pribadi dan Sheryn Revania selaku menjadi kakak, saksi perjuangan *move on* sekaligus penasihat untuk setiap langkah saya;
14. Anak Kos Sarang Marinir yang sudah mempercayakan saya sebagai RUSHER dan MIDLANER;
15. Teman-teman Push Rank Toxic yang sudah selalu menuruti aturan saya selaku COACH DRAFT maupun HARDCARRY (Dimas, Mbah, Gladion, Tomblok dan yang lainnya);
16. Keluarga ALVIDA x EXODIA yang sudah memberi banyak hambatan dan mengajarkan penulis untuk begadang tiada artinya;
17. Untuk publik botol-botol yang sudah mengajarkan penulis bekerja keras dan melatih kesabaran;
18. Diri saya sendiri yang sudah banyak berjuang, bersabar dan bertahan dalam menghadapi segala musibah yang ada. Dan sanggup mengikhlaskan sepenuh hati apa saja yang sudah pergi.

Jember, 11 Mei 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PERNYATAAN SKRIPSI	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mesin Pendingin	5
2.2 Komponen Mesin Pendingin	6
2.2.1 Kompresor	6
2.2.2 Kondensor	8
2.2.3 Evaporator	16
2.2.4 Pipa Kapiler	18

2.3 Siklus Refrigerasi	19
2.3.1 Siklus Kompresi Uap Aktual.....	21
2.4 Refrigeran.....	23
2.4.1 Refrigeran Primer	23
2.4.2 Refrigeran Sekunder	25
2.4.3 Sifat Refrigeran.....	26
2.5 LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)	27
2.6 Penelitian Sebelumnya	27
2.7 Hipotesa	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.3.1 Alat	29
3.3.2 Bahan.....	32
3.4 Variabel Penelitian	32
3.4.1 Variabel Bebas.....	32
3.4.2 Variabel Terikat	36
3.5 Prosedur Penelitian	36
3.5.1 Persiapan Alat Penelitian	36
3.5.2 Pemeriksaan Alat Penelitian.....	36
3.5.3 Pengambilan Data	36
3.5.4 Pengolahan Data	37
3.6 Rangkaian Mesin Pendingin	38
3.7 Pengolahan Data.....	39
3.7.1 Pengambilan Data Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 2 mm	39
3.7.2 Pengambilan Data Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 1 mm	40
3.7.3 Pengambilan Data Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 2 mm	41

3.7.4	Pengambilan Data Pada Variasi Jarak Fin 10 mm Berdiameter 1 mm	42
3.7.5	Pengambilan Data Pada Kondensor Standar	43
3.8	Diagram Alir.....	44
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1	Hasil Pengujian.....	46
4.2	Nilai Entalpi.....	49
4.3	Pembahasan.....	52
4.3.1	Dampak Refrigerasi	52
4.3.2	Kerja Kompresi.....	53
4.3.3	Kapasitas Refrigerasi	54
4.3.4	Pelepasan Kalor	55
4.3.5	Rasio Pelepasan Kalor.....	56
4.3.6	COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	57
BAB 5	PENUTUP	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Mesin Pendingin	6
Gambar 2.2 Kompresor Torak Multi Silinder	8
Gambar 2.3 Aksi Mekanik Kompresor Rotary.....	8
Gambar 2.4 <i>Water Cooled Condenser</i>	10
Gambar 2.5 Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap Kinerja Kompresor dan Kebutuhan Daya Pada Kompresor Ideal.....	12
Gambar 2.6 Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap Dampak Refrigerasi dan Kapasitas Refrigerasi	12
Gambar 2.7 Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap COP dan Volume Aliran.....	13
Gambar 2.8 Pengaruh Suhu Kondensasi Terhadap Dampak Refrigerasi dan Kapasitas Refrigerasi	14
Gambar 2.9 Pengaruh Suhu Kondensasi Terhadap Kerja Kompresor dan Kebutuhan Daya	15
Gambar 2.10 Pengaruh Suhu Kondensasi dan Suhu Evaporasi Terhadap Kapasitas Refrigerasi dan Kebutuhan Daya.....	16
Gambar 2.11 Evaporator <i>Bare-tube</i> (a) <i>Plate Zigzag Coil</i> , (b) <i>Oval Trombone Coil</i>	17
Gambar 2.12 Evaporator Plat	17
Gambar 2.13 Evaporator Plat dengan Pipa	18
Gambar 2.14 <i>Finned</i> Evaporator	18
Gambar 2.15 Pipa Kapiler.....	19
Gambar 2.16 Skematik Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap Standar	20
Gambar 2.17 P-h Diagram Siklus Kompresi Uap Standar.....	20
Gambar 2.18 Siklus Kompresi Uap Aktual.....	21
Gambar 3.1 Evaporator	30
Gambar 3.2 <i>Manifold Gauge</i>	30
Gambar 3.3 Kondensor	30
Gambar 3.4 <i>Data Logger</i>	31
Gambar 3.5 <i>Pressure Gauge</i>	31

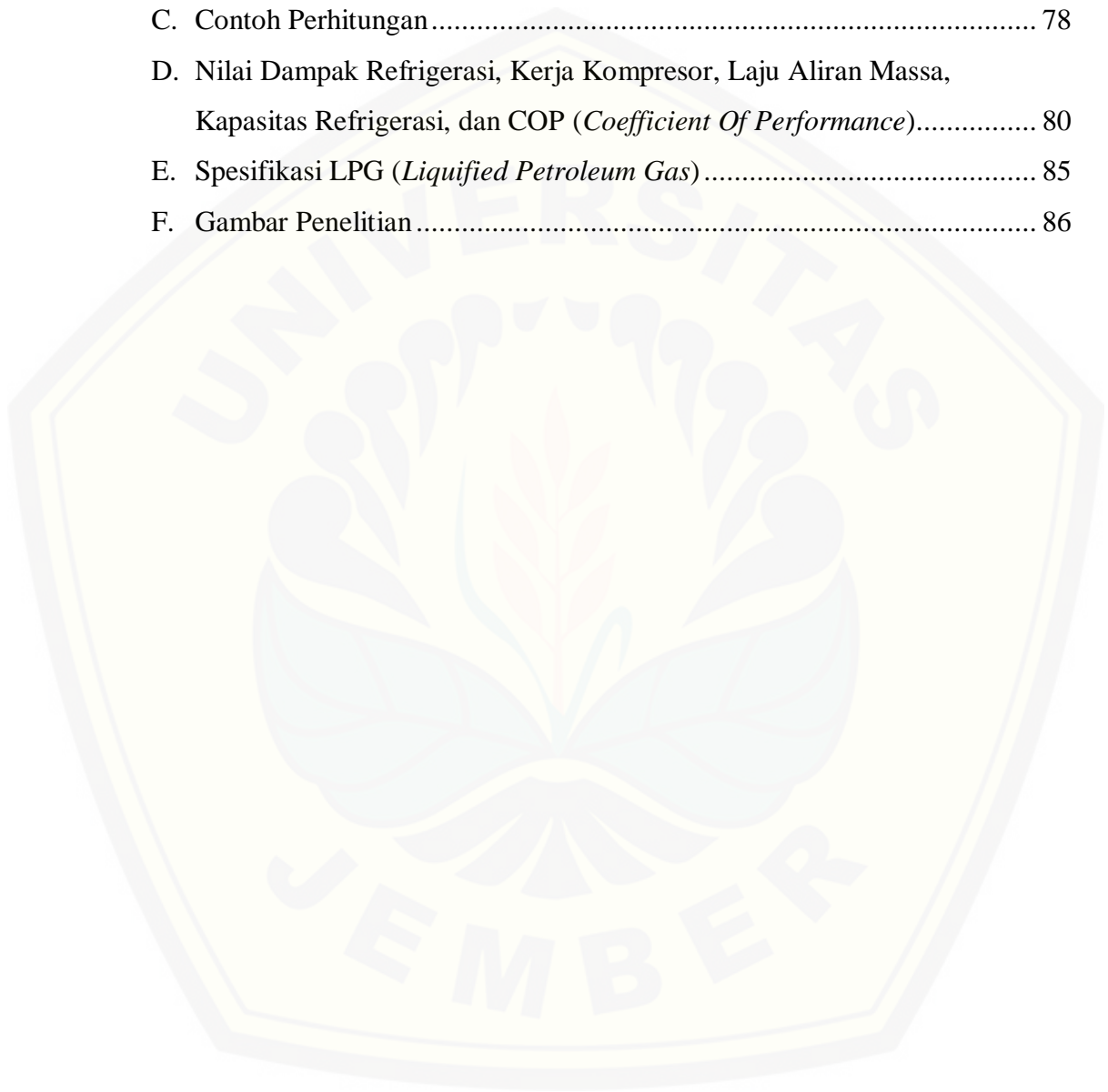
Gambar 3.6 Termokopel Tipe K dan Kompresor	31
Gambar 3.7 LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)	32
Gambar 3.8 Kondensor Dengan Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 1 mm	33
Gambar 3.9 Kondensor Dengan Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 2 mm	34
Gambar 3.10 Kondensor Dengan Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 1 mm ..	34
Gambar 3.11 Kondensor Dengan Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 2 mm ..	35
Gambar 3.12 Kondensor Standar.....	35
Gambar 3.13 Rangkaian Mesin Pendingin Dengan <i>Double</i> Evaporator Yang Dirangkai Secara Seri	38
Gambar 3.14 Diagram Alir.....	44
Gambar 4.1 Grafik Dampak Refrigerasi	53
Gambar 4.2 Grafik Kerja Kompresi	54
Gambar 4.3 Grafik Kapasitas Refrigerasi	55
Gambar 4.4 Grafik Pelepasan Kalor	56
Gambar 4.5 Grafik Rasio Pelepasan Kalor	57
Gambar 4.6 Grafik COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Refrigeran Sekunder	25
Tabel 3.1 Pengambilan Data Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 2.....	39
Tabel 3.2 Pengambilan Dara Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 1.....	40
Tabel 3.3 Pengambilan Data Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 2.....	41
Tabel 3.4 Pengambilan Data Pada Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 1	42
Tabel 3.5 Pengambilan Data Pada Kondensor Standar	43
Tabel 4.1 Suhu Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 2 mm	46
Tabel 4.2 Suhu Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 1 mm.....	47
Tabel 4.3 Suhu Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 2 mm	47
Tabel 4.4 Suhu Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 1 mm	48
Tabel 4.5 Temperatur Kondensor Standar	49
Tabel 4.6 Nilai Entalpi Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 2 mm ..	49
Tabel 4.7 Nilai Entalpi Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 5 mm Berdiameter 1 mm ..	50
Tabel 4.8 Nilai Entalpi Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 1 mm.	51
Tabel 4.9 Nilai Entalpi Kondensor Variasi Jarak <i>Fin</i> 10 mm Berdiameter 2 mm.	51
Tabel 4.10 Nilai Entalpi Kondensor Standar.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

A. Hasil Pengambilan Data	63
B. Nilai Entalpi Propana dan Butana	68
C. Contoh Perhitungan	78
D. Nilai Dampak Refrigerasi, Kerja Kompresor, Laju Aliran Massa, Kapasitas Refrigerasi, dan COP (<i>Coefficient Of Performance</i>).....	80
E. Spesifikasi LPG (<i>Liquified Petroleum Gas</i>)	85
F. Gambar Penelitian	86



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin pendingin merupakan salah satu alat yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat di bidang industri maupun rumah tangga. Mesin pendingin banyak digunakan untuk mendinginkan makanan, mendinginkan ruangan, mengawetkan makanan dan lain sebagainya. Contoh alat mesin pendingin ini adalah kulkas, *air conditioner* (AC), *freezer*, dan lain-lain. Mesin pendingin berkembang begitu pesat karena permintaan dari masyarakat dari tahun ke tahun semakin meningkat. Banyak masyarakat yang meminta mesin pendingin dengan kualitas yang baik, hemat energi dan harga yang murah. Oleh karena itu, mesin pendingin masih memerlukan banyak perbaikan dan pengembangan. Pengembangan mesin pendingin dibutuhkan untuk menambah efisiensi supaya kebutuhan konsumsi energi dapat diturunkan (Sambudi dkk., 2016).

Mesin pendingin ini memiliki beberapa komponen meliputi kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator dan komponen pendukung lainnya. Mesin pendingin ini masih menggunakan refrigeran CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) dan HFC (*Hydro Fluoro Carbon*) dimana kedua refrigeran ini tidak ramah lingkungan, karena CFC sendiri bisa mengakibatkan menipisnya lapisan ozon dan HFC termasuk gas rumah kaca. Penelitian ini akan menggunakan refrigeran LPG (*Liquified Petroleum Gas*) karena LPG dinilai lebih ramah lingkungan daripada HFC atau CFC. Kelebihan lain yang dimiliki LPG adalah sifat termofisika dan perpindahan kalor yang baik, rendahnya fasa uap dan mudah larut dengan pelumas mineral (Laksono dkk., 2014).

Kondensor adalah alat yang digunakan untuk mengubah fase dari fase uap menjadi fase cair. Kondensor pada mesin pendingin ini berfungsi untuk mengkondensasikan uap bertekanan tinggi dari kompresor. Panas dari refrigerant uap panas ini akan dihilangkan terlebih dahulu dengan memindahkannya ke dinding kondensor lalu dilanjutkan ke media pendinginnya. Media pendingin ini dapat berupa air atau udara juga bisa keduanya. Proses pelepasan kalor bisa berjalan lebih

cepat jika pipa pada kondensor didesain berliku dan dilengkapi dengan sirip. Pentingnya kondensor pada mesin pendingin ini membuat banyak orang mencoba memodifikasi kondensor untuk mencari kondensor yang bisa mendinginkan evaporator lebih cepat.

Evaporator merupakan komponen mesin pendingin yang berfungsi untuk menguapkan cairan refrigeran. Penguapan ini memanfaatkan panas dari lingkungan atau ruangan. Kebanyakan mesin pendingin terutama kulkas hanya menggunakan satu evaporator. Penelitian ini menggunakan dua evaporator yang dirangkai seri. Sistem dua evaporator mengurangi energi listrik yang digunakan setiap ruangan (Yoon *et al.*, 2010). Jadi pada dasarnya kondensor dan evaporator adalah alat penukar panas.

Sahu *et al.* (2013) meneliti penggunaan *wire on-tube* dengan variasi jarak *fin* yaitu 3 mm, 6 mm, 9 mm. Hasilnya adalah dengan memperkecil jarak *fin* dapat meningkatkan laju perpindahan panas dan efek pendinginan. *Discharge Pressure* pada variasi jarak *fin* 9 mm sama dengan variasi jarak *fin* 6 mm yaitu dengan persentasi reduksi sebesar 5,7%. *Discharge Pressure* tertinggi yaitu pada variasi jarak *fin* 3 mm dengan rata-rata 10,2%. *Discharge Pressure* berurutan dari variasi jarak *fin* 3 mm, 6 mm, dan 9 mm adalah 34,41 bar, 32,00 bar, dan 30,56 bar. Penelitian lain (Ningrum, 2016) menggunakan *double* evaporator menunjukkan nilai COP (*Coefficient of Performance*) tipe evaporator paralel lebih baik dibandingkan dengan tipe evaporator seri, tipe evaporator paralel satu ruang dapat meningkatkan COP sebesar 1,17% lebih besar daripada tipe evaporator seri satu ruang. Kemudian tipe evaporator paralel dua ruang juga meningkatkan COP sebesar 1,49% lebih besar dibandingkan tipe evaporator seri dua ruang. Imron Rosyadi *dkk.* (2015) meneliti penggunaan LPG sebagai pengganti refrigeran R22 hasilnya LPG bisa menggantikan refrigeran R22, biaya LPG lebih murah dibandingkan refrigeran R22, dan LPG dapat digunakan sebagai refrigeran pada mesin pendingin kompresi uap berdasarkan analisa data COP dan penghematan biaya. Jadi penggunaan refrigeran LPG ini selain menghemat daya juga menghemat biaya.

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh variasi jarak *fin* kondensor. Metode penelitian ini menggunakan metode *trial and error* dengan memvariasikan jarak *fin* kondensor yaitu 5 mm dan 10 mm pada diameter *fin* 1 mm dan 2 mm dengan *double* evaporator rangkaian seri yang menggunakan refrigeran LPG. Hasil yang diharapkan yaitu menemukan mesin pendingin mana yang berkualitas baik, hemat energi dan meningkatkan prestasi kerja dari mesin pendingin ini.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi jarak dan diameter *fin* pada kondensor dengan *double* evaporator yang dirangkai secara seri menggunakan refrigeran LPG terhadap dampak refrigerasi (q_r), kerja kompresi (w_c), kapasitas refrigerasi (Q) dan COP (*Coefficient of Performance*).

1.3 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang sulit dikontrol pada penelitian ini, sehingga ada batasan masalah agar mudah dalam menganalisis permasalahan, antara lain sebagai berikut :

- a. Sistem diasumsikan dalam bentuk terisolasi sempurna.
- b. Tidak ada perhitungan perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi pada sistem.
- c. Suhu pipa bagian luar titik yang diamati diasumsikan sama dengan suhu refrigeran dititik tersebut.
- d. Properti dari fluida pemanas dianggap konstan sepanjang aliran.
- e. Perubahan energi baik potensial maupun kinetik tidak dianggap.
- f. Tidak ada beban pendinginan.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan diameter *fin* dengan *double* evaporator terhadap dampak refrigerasi mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG.
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan diameter *fin* dengan *double* evaporator terhadap kerja kompresor mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG.
- c. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan diameter *fin* dengan *double* evaporator terhadap kapasitas refrigerasi mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG.
- d. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak dan diameter *fin* dengan *double* evaporator terhadap *Coefficient of Performance* (COP) mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG.

1.4.2 Manfaat

Berikut adalah manfaat dari penelitian ini, yaitu :

- a. Mendapatkan pengetahuan mengenai pengaruh dari variasi jarak dan diameter *fin* kondensor dengan *double* evaporator terhadap dampak refrigerasi (q_r), kerja kompresor (w_c), kapasitas refrigerasi (Q) dan COP (*Coefficient of Performance*).
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan prestasi kerja pada sebuah mesin pendingin terutama kulkas ini.
- c. Sebagai acuan untuk mengembangkan teknologi pada mesin pendingin.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Pendingin

Mesin-mesin pendingin saat ini telah banyak berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Pada umumnya mesin ini digunakan untuk pengawetan makanan, peyerapan kalor dari bahan-bahan kimia dan industri bahan kimia (Barita dkk., 2018). Mesin pendingin adalah mesin konversi energi yang dipakai untuk memindahkan kalor dari *reservoir* panas bertemperatur tinggi menuju *reservoir* panas bertemperatur lebih tinggi dengan menambahkan kerja dari luar. Secara jelasnya mesin pendingin merupakan peralatan yang digunakan dalam proses pendinginan suatu materi (fluida) sehingga mencapai temperatur dan kelembaban yang diinginkan, dengan jalan menyerap kalor dari materi (fluida) yang akan dikondisikan, atau dengan kata lain menyerap panas (kalor) dari suatu *reservoir* dingin dan diberikan ke *reservoir* panas.

Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Kegunaan lain dari mesin pendingin adalah penyejuk ruangan, mendinginkan minuman (*beverage cooling*), untuk membuat es batu, es mambo dan lain-lain. Mesin pendingin juga berguna untuk keperluan rumah tangga menyimpan susu, sayuran, buah-buahan, daging dan lain-lain dalam kulkas supaya lebih tahan lama. Dalam pengawetan dalam jumlah yang lebih besar misalnya kita temui pada tempat pemotongan ternak atau *butcher*, untuk penyimpanan udang, ikan laut, dan lain-lain (Barita dkk., 2018). Kebanyakan mesin pendingin bekerja berdasarkan siklus pendingin kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*). Pada siklus pendingin ini terdapat 4 komponen utama yaitu: evaporator, kompresor, kondensor dan alat ekspansi. Komponen terakhir yaitu alat ekspansi bertujuan untuk menurunkan tekanan cairan *refrigerant* setelah keluar dari kondensor, dan mengatur laju aliran *refrigerant* yang masuk ke evaporator. Pada sistem mesin pendingin skala kecil, alat ekspansi yang umumnya digunakan adalah pipa kapiler, yang merupakan pipa berbentuk koil yang berdiameter sangat kecil,

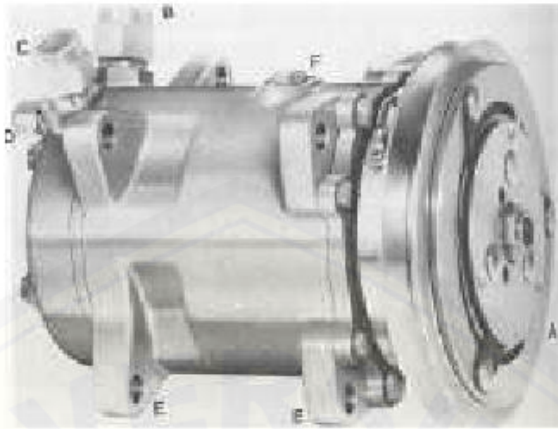
Jadi kompresor bisa disimpulkan sebagai jantung dari sistem refrigerasi dan digunakan untuk menghisap dan menaikkan tekanan uap refrigerasi yang berasal dari evaporator. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrigeran dan suhu lingkungannya (Syamsuri Hasan dkk., 2008).

a. Kompresor Torak

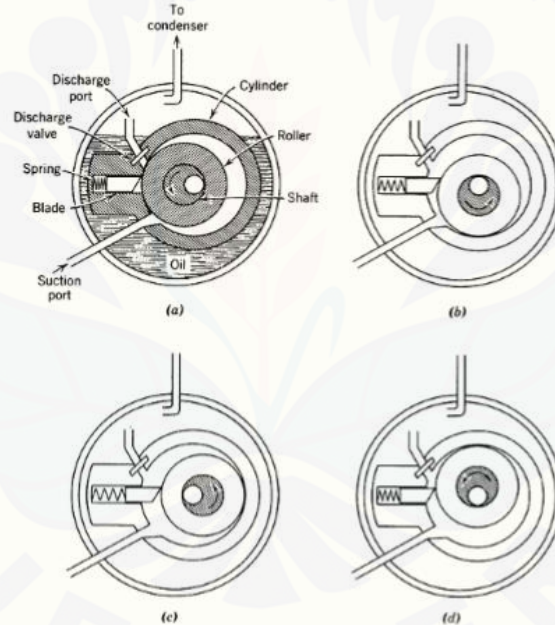
Kompresor torak yaitu kompresor yang kerjanya dipengaruhi oleh gerakan torak yang bergerak menghasilkan satu kali langkah hisap dan satu kali langkah tekan yang berlainan waktu. Kompresor torak lebih banyak digunakan pada unit mesin pendingin berkapasitas besar maupun kecil seperti lemari es, *cold storage*, *coll room*. Kompresor pada sistem refrigerasi yang sering digunakan adalah kompresor torak. Kompresor torak terdiri dari sebuah piston yang bergerak kedepan dan kebelakang didalam suatu silinder yang mempunyai katup hisap dan katup buang sehingga berlangsung proses pemompaan dan kompresi. Kompresor yang memiliki jumlah silinder lebih dari satu disebut kompresor multi silinder dan silinder-silindernya dapat disusun V, W, radial, ataupun lurus (Stoecker and Jones, 1996).

b. Kompresor *Rotary*

Kompresor *rotary* yaitu kompresor yang kerjanya berdasarkan putaran *roller* pada rumahnya, prinsip kerjanya adalah satu putaran porosnya akan terjadi langkah hisap dan langkah tekan yang bersamaan waktunya, kompresor *rotary* terdiri dua macam yaitu kompresor *rotary* dengan pisau / *blade* tetap. Kompresor *rotary* mempunyai rotor dalam satu tempat dengan piston dan memberikan pengeluaran kontinyu bebas denyutan. Kompresor beroperasi pada kecepatan tinggi dan umumnya menghasilkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan kompresor *reciprocating* (Angky Puspawan, 2014).



Gambar 2.2 Kompresor Torak Multi Silinder (Syamsuri Hasan dkk., 2008)



Gambar 2.3 Aksi Mekanik Kompresor *Rotary* (Syamsuri Hasan dkk., 2008)

2.2.2 Kondensor

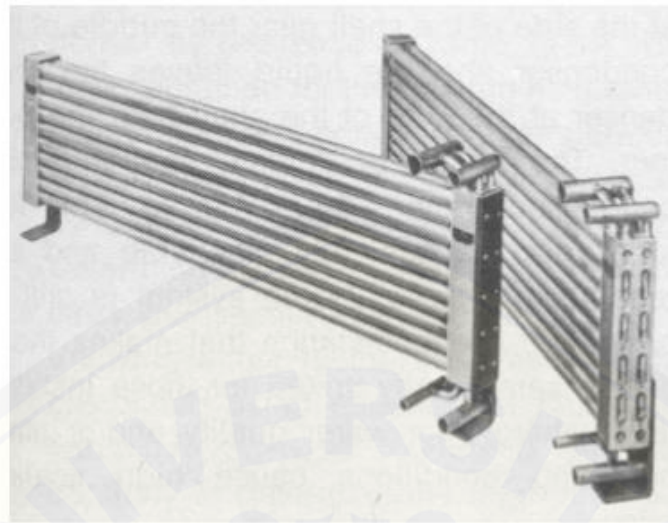
Kondensor adalah suatu alat untuk merubah bahan pendingin dari bentuk gas menjadi cair. Bahan pendingin dari kompresor dengan suhu dan tekanan tinggi, panasnya keluar melalui permukaan rusuk-rusuk kondensor ke udara. Sebagai akibat dari kehilangan panas, bahan pendingin gas mula-mula didinginkan menjadi

gas jenuh, kemudian mengembun berubah menjadi cair. Seperti telah diketahui, bahwa fungsi kondensor di dalam sistem refrigerasi kompresi gas adalah untuk merubah wujud refrigeran dari gas yang bertekanan dan bersuhu tinggi dari *discharge* kompresor menjadi cairan refrigeran yang masih bersuhu dan bertekanan tinggi. Pada saat gas bergerak dari sisi *discharge* kompresor masuk ke dalam kondensor, ia mengandung beban kalor yang meliputi kalor yang diserap oleh evaporator untuk penguapan liquid refrigeran, kalor yang diserap untuk menurunkan suhu *liquid* refrigeran dari suhu kondensing ke suhu evaporating, kalor yang dihisap oleh silinder chamber dan kalor yang dipakai untuk mengkompresi gas dari evaporator. Kondenser harus mampu membuang kalor tersebut ke medium pendingin yang digunakan oleh kondensernya (Syamsuri Hasan dkk., 2008).

Sesuai dengan jenis *cooling medium* yang digunakan maka kondenser dapat dibedakan menjadi 3, yaitu : (1) *Air Cooled Condenser* (menggunakan udara sebagai *cooling medium*), (2) *Water Cooled Condenser* (menggunakan air sebagai *cooling medium* dan (3) *Evaporative Condenser* (menggunakan kombinasi udara dan air).

Menurut Saut Siagian (2015) faktor penting yang menentukan kapasitas kondensor dengan pendinginan udara adalah :

1. Luas permukaan yang didinginkan dan sifat perpindahan kalornya.
2. Jumlah udara permenit yang dipakai untuk mendinginkan
3. Perbedaan suhu antara bahan pendingin dengan udara luar.
4. Sifat dan karakteristik bahan pendingin yang dipakai.



Gambar 2.4 *Water Cooled Condenser* (Syamsuri Hasan dkk., 2008)

a. Kondensor dengan pendingin udara

Pada kondensor ini, panas digerakkan oleh udara dengan menggunakan sirkulasi alami atau dengan sirkulasi buatan sendiri. Kondensor ini biasanya terbuat dari baja, tembaga, atau tabung aluminium yang dilengkapi dengan *fin* atau sirip yang berfungsi untuk memperluas permukaan sentuh dengan udara, sehingga proses pindah panas melalui *fin* atau sirip ini bisa berlangsung lebih optimal. Refrigeran akan mengalir didalam tabung dan udara yang didinginkan mengalir diluar tabungnya.

b. Kondensor dengan pendingin

Kondensor tipe ini dibagi menjadi 3 macam yaitu sel dan tabung, sel dan coil, dan tabung ganda.

1. Sel dan tabung

Dimana refrigeran akan mengalir didalam pipa sedangkan cairan yang didinginkan mengalir didalam tabung dengan melintasi pia-pipa tersebut.

2. Sel dan coil

Terdiri dari sebuah cangkang yang dilas secara elektrik dan berisi koil air, terkadang juga dengan pipa bersirip.

3. Tabung ganda

Refrigeran mengembun diluar pipa dan air mengalir didalam pipa dengan arah yang berlawanan. Pipa ganda digunakan dalam hubungan dengan *cooling tower* dan *spray pond*.

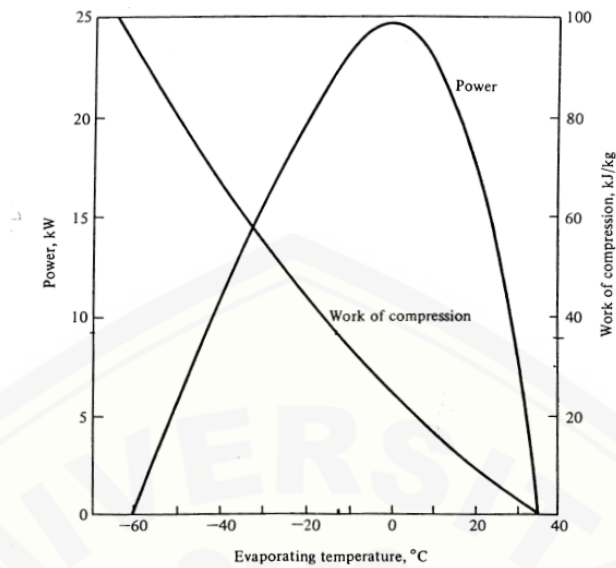
c. Kondensor dengan sistem penguapan

Kondensor ini awalnya refrigeran melepas panasnya kedalam air, kemudian air melepaskan panas tersebut ke udara terutama dalam bentuk penguapan air. Oleh karena itu udara keluar dengan kelembapan tinggi seperti di *cooling tower*.

d. Hubungan kondensor, evaporator dan kompresor

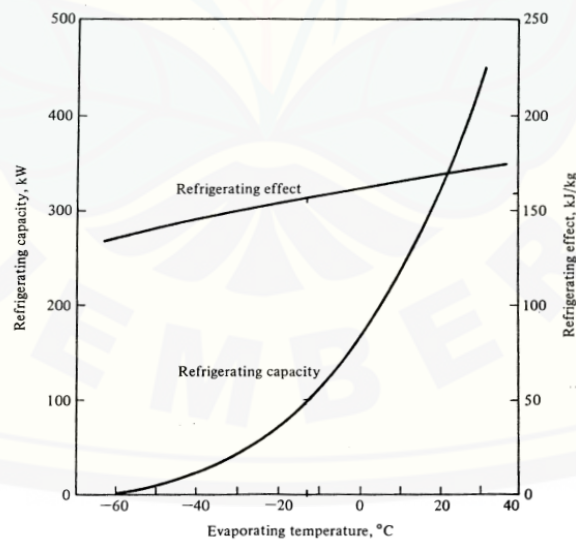
Refrigeran yang berwujud gas bertekanan dan bersuhu tinggi dari kompresor akan dirubah wujudnya menjadi *liquid* atau cairan oleh kondensor. Kondensor akan menurunkan suhunya dengan cara membuang kalornya ke lingkungan melalui medium pendinginnya. Kemudian evaporator memiliki fungsi kebalikan dari kondensor dimana semua evaporator berfungsi untuk menyerap kalor sedangkan kondensor melepaskan kalor ke lingkungan. Jadi refrigeran yang ada didalam evaporator menyerap panas dari ruangan sehingga refrigeran tersebut akan menguap. Refrigeran uap atau gas membawa kalor ke kompresor dan dibuang keluar melalui kondensor begitu seterusnya.

Menurut Stoecker (1996) pada kompresor ideal, semakin naik suhu evaporasi maka kinerja kompresornya akan menurun. Kebutuhan dayanya juga naik sampai suhu evaporasi 0°C , kalau suhu evaporasinya lebih dari 0°C maka kebutuhan dayanya akan menurun. Terlihat pada suhu evaporasi 0°C kebutuhan dayanya sekitar 24 kW sedangkan pada suhu evaporasi 40°C kebutuhan dayanya 0 kW. Nilai kerja kompresor tertinggi yaitu 100 kJ/kg terjadi pada saat suhu evaporasi -60°C kemudian menjadi 0 ketika suhu evaporasi meningkat sampai 40°C . Grafiknya ditunjukkan oleh Gambar 2.5 dibawah ini.



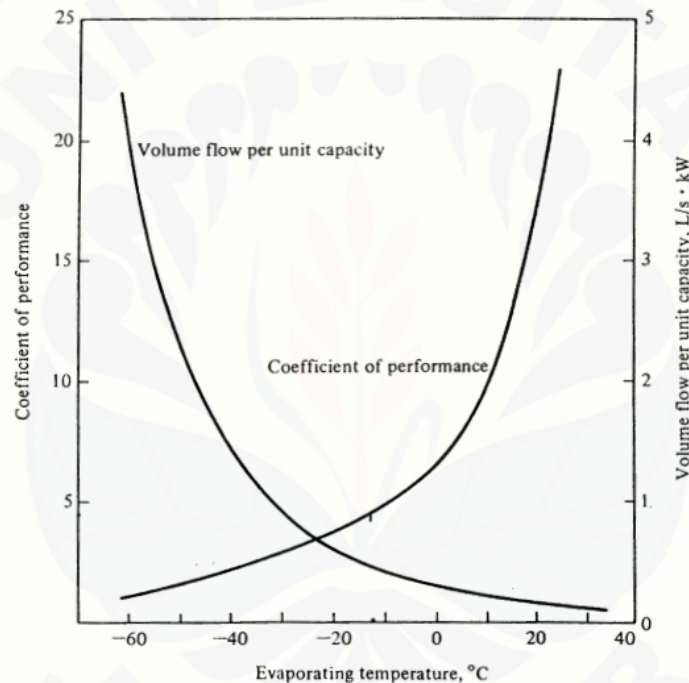
Gambar 2.5 Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap Kinerja Kompresor dan Kebutuhan Daya Pada Kompresor Ideal (Stoecker, 1996)

Suhu evaporasi juga ada hubungannya dengan dampak refrigerasi dan kapasitas refrigerasi yang akan ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap Dampak Refrigerasi dan Kapasitas Refrigerasi (Stoecker, 1996)

Pada Gambar 2.6 diatas bisa dijelaskan bahwa semakin naik suhu evaporasinya maka kapasitas refrigerasi dan dampak refrigerasi juga naik. Bedanya kapasitas refrigerasi naik begitu pesat sedangkan dampak refrigerasi tidak. Terlihat pada suhu -60°C kapasitas refrigerasinya 0 namun ketika suhu evaporasinya naik 40°C kapasitas refrigerasinya menjadi sekitar 450 kW sedangkan untuk dampak refrigerasi ketika suhu evaporasinya -60°C dampak refrigerasinya bernilai sekitar 140 kJ/Kg setelah suhu evaporasi naik menjadi 40°C dampak refrigerasinya menjadi sekitar 175 kJ/Kg saja. Selain itu suhu evaporasi juga berpengaruh pada COP dan volume aliran berikut penjelasannya pada Gambar 2.7.

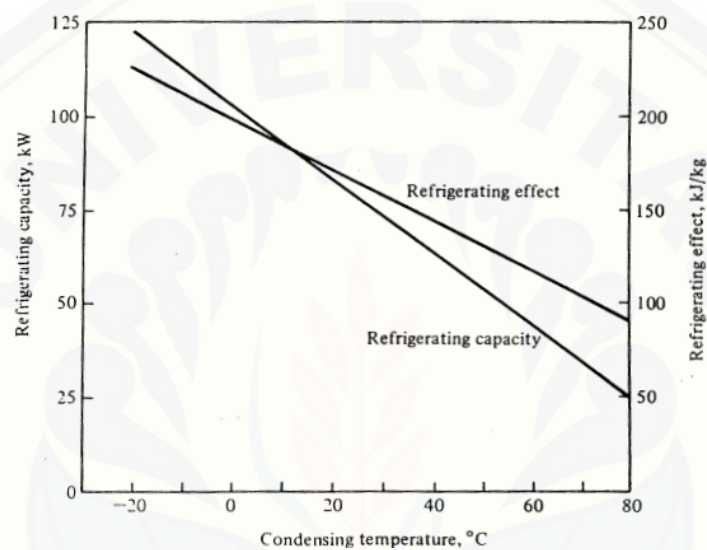


Gambar 2.7 Pengaruh Suhu Evaporasi Terhadap COP dan Volume Aliran
(Stoecker, 1996)

Pada Gambar 2.7 terlihat bahwa semakin tinggi suhu evaporasi maka COP semakin tinggi sebaliknya volume alirannya menurun. Ketika suhu evaporasi sebesar -60°C nilai COP hanya sekitar 1 namun saat suhu evaporasi meningkat menjadi 25°C nilai COP meningkat menjadi sekitar 24. Kemudian untuk aliran volume, ketika suhu evaporasi sebesar 60°C aliran volumenya sebesar sekitar 4,5 L/s.kW namun ketika suhu evaporasi naik menjadi 40°C aliran volumenya menurun

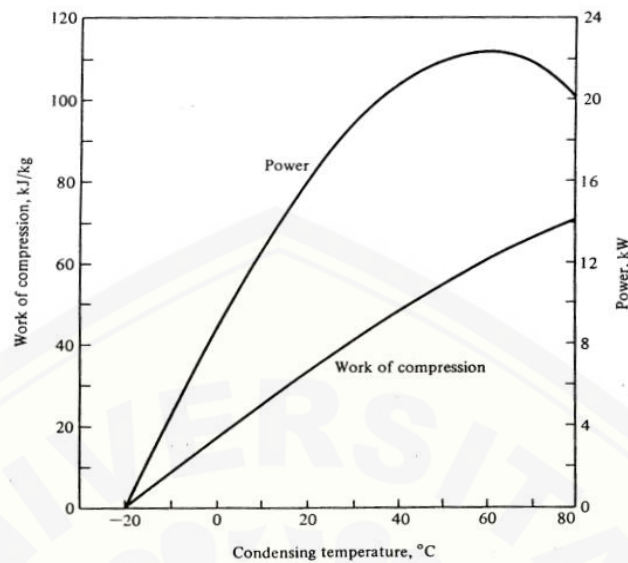
sampai hanya sekitar 0,1 L/s.kW. Jadi COP dengan volume aliran ini berbanding terbalik terhadap suhu evaporasi.

Selain suhu evaporasi, suhu kondensasi juga mempengaruhi dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi dan kerja kompresor. Pada gambar 2.8 menunjukkan pengaruh suhu kondensasi terhadap dampak refrigerasi dan kapasitas refrigerasi.



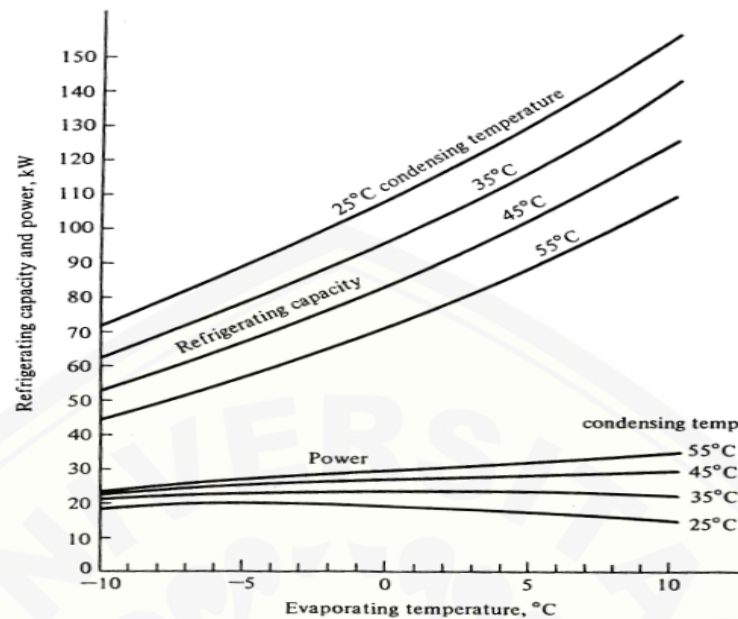
Gambar 2.8 Pengaruh Suhu Kondensasi Terhadap Dampak Refrigerasi dan Kapasitas Refrigerasi (Stoecker, 1996)

Pada gambar 2.8 Semakin naik suhu kondensasi maka efek refrigerasinya menurun begitu juga dengan kapasitas refrigerasinya juga menurun. Pada suhu kondensasi -20°C dampak refrigerasinya sebesar sekitar 240 kJ/kg dan kapasitas refrigerasinya hampir menyentuh 125 kW namun ketika suhu naik menjadi 80°C dampak refrigerasinya menurun sampai sekitar 90 kJ/kg sedangkan kapasitas refrigerasinya juga menurun sampai 25 kW. Kemudian pada gambar 2.9 dijelaskan pengaruh suhu kondensasi terhadap kerja kompresor dan kebutuhan daya.



Gambar 2.9 Pengaruh Suhu Kondensasi Terhadap Kerja Kompresor dan Kebutuhan Daya (Stoecker, 1996)

Pada gambar 2.9 terlihat bahwa semakin naik suhu kondensasinya kerja kompresor juga meningkat sedangkan kebutuhan daya meningkat dari suhu kondensasi -20°C sampai 60°C saja, setelah itu kebutuhan daya menurun. Terlihat pada gambar saat suhu mencapai 60°C maka kebutuhan dayanya sebesar 22 kW dan pada saat suhu mencapai 80°C kebutuhan dayanya menurun sampai 20 kW. Selanjutnya pada gambar 2.10 ditunjukkan pengaruh suhu kondensasi, suhu evaporasi terhadap kebutuhan daya dan kapasitas refrigerasi.



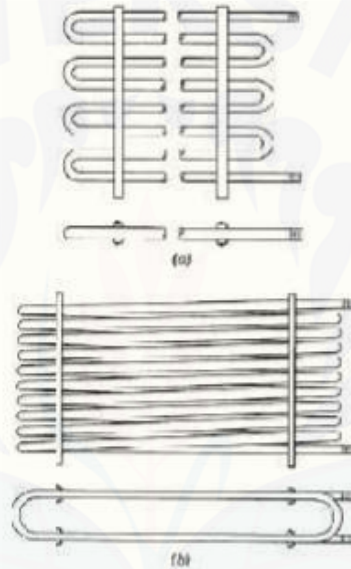
Gambar 2.10 Pengaruh Suhu Kondensasi dan Suhu Evaporasi Terhadap Kapasitas Refrigerasi dan Kebutuhan Daya (Stoecker, 1996)

Semakin tinggi suhu evaporasi dan semakin kecil suhu kondensasi maka kapasitas refrigerasinya meningkat pesat. Pada suhu evaporasi 10°C dan suhu kondensasi 25°C terlihat nilai kapasitas refrigerasi terbesar yaitu 150 kW. Kebutuhan daya yang dibutuhkan terbesar yaitu 30 kW terdapat pada suhu evaporasi 10°C dan suhu kondensasi 55°C. Pada suhu kondensasi 30°C dan 25°C terlihat kebutuhan dayanya semakin menurun.

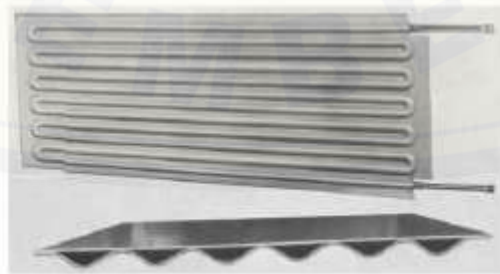
2.2.3 Evaporator

Evaporator berfungsi untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam lemari es dan mendinginkannya. Kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap bahan pendingin gas dari evaporator, sehingga tekanan didalam evaporator menjadi rendah dan vakum. Evaporator adalah media pemindahan energi panas melalui permukaan agar refrigeran cair menguap dan menyerap panas dari udara dan produk yang ada di dalam ruang tersebut. Karena, begitu banyaknya variasi kebutuhan refrigerasi, maka evaporator juga dirancang dalam berbagai tipe, bentuk, ukuran dan desain (Syamsuri Hasan dkk., 2008).

Untuk evaporator yang digunakan lemari es adalah jenis konstruksi evaporator kering yang terbuat dari bahan aluminium, tembaga, baja tahan karat dan lain-lain (Karyanto, 2003). Evaporator dapat berupa koil telanjang tanpa sirip (*bare pipe coil*), koil bersirip (*finned coil*), pelat (*plate evaporator*), *shell and coil*, atau *shell and tube* evaporator. Jenis evaporator yang digunakan pada suatu sistem refrigerasi tergantung pada jenis aplikasinya (Stocker and Jones, 1996). Menurut Saut Siagian (2015) evaporator menurut prinsip kerjanya dibagi menjadi 2 yaitu evaporator banjir (*flooded evaporator*) dan evaporator kering (*dry evaporator*).



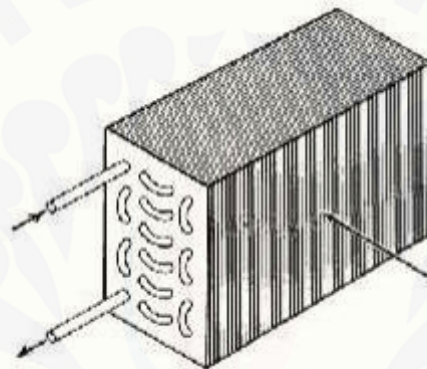
Gambar 2.11 Evaporator *Bare-tube* (a) *Plate Zigzag Coil*, (b) *Oval Trombone Coil* (Syamsuri Hasan dkk., 2008)



Gambar 2.12 Evaporator Plat (Syamsuri Hasan dkk., 2008)



Gambar 2.13 Evaporator Plat dengan Pipa (Syamsuri Hasan dkk., 2008)



Gambar 2.14 *Finned* Evaporator (Syamsuri Hasan dkk., 2008)

2.2.4 Alat Ekspansi (Pipa Kapiler)

Salah satu komponen dasar mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU) adalah alat ekspansi. Kegunaan alat ekspansi adalah untuk menurunkan tekanan refrigeran cair yang keluar dari kondensor dan mengatur aliran refrigeran tersebut masuk ke evaporator. Alat ekspansi jenis pipa kapiler adalah sebuah pipa panjang dengan diameter yang kecil dan bervariasi antara 1 m hingga 6 m dengan diameter dalam antara 0,5 mm sampai 3 mm. Pemilihan panjang dan diameter pipa kapiler tergantung pada daya kompresor yang dipakai, kapasitas pendinginan di evaporator dan jenis refrigeran yang digunakan. sehingga setelah dipilih tidak dapat disetel lagi untuk mengatasi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada mesin pendingin. Semakin besar diameter pipa kapiler maka semakin rendah tingkat pengkabutannya dan semakin jauh daya pancar refrigerant yang bisa

berakibat bahan pendingin kembali ke kompresor masih dalam bentuk cairan, yang seharusnya sudah dalam bentuk gas, hal ini dapat membahayakan kompresor (Stoecker and Jones, 1996).

Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang pipa kapiler dapat mengontrol jumlah bahan pendingin yang mengalir ke evaporator. Pipa kapiler gunanya untuk :

- a. Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir di dalamnya
- b. Mengatur jumlah bahan pendingin cair yang mengalir melaluinya
- c. Membangkitkan tekanan bahan pendingin di kondensor

Pipa kapiler tidak boleh dibengkokkan terlalu tajam, karena dapat menyebabkan lubang pipa kapiler tersebut menjadi buntu, pipa kapiler menghubungkan saringan dan evaporator, merupakan batas antara sisi tekanan tinggi dan tekanan rendah dari sistem, pada bagian tengahnya sepanjang mungkin dikeluarkan dengan saluran hisap (*suction valve*).

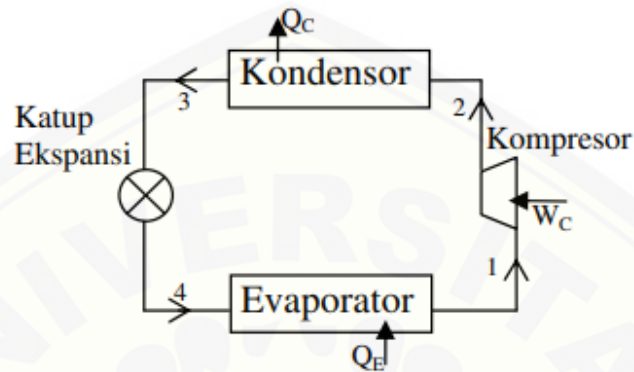


Gambar 2.15 Pipa Kapiler (Stoecker and Jones, 1996)

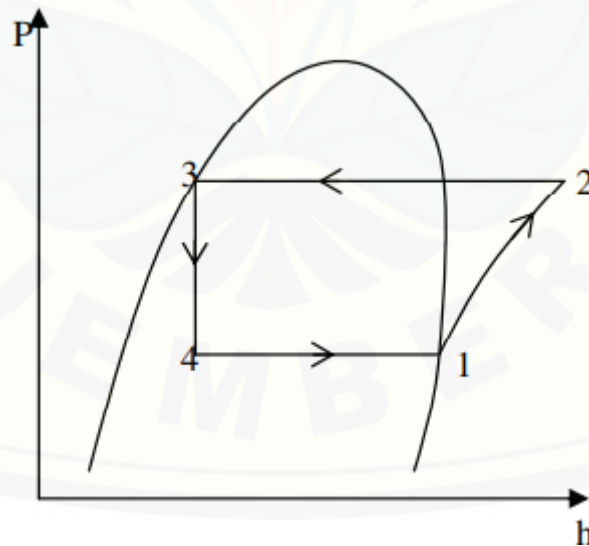
2.3 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan jenis mesin pendingin yang paling sering digunakan saat ini. Mesin pendingin ini terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Dalam siklus ini uap refrigeran bertekanan rendah akan ditekan oleh kompresor sehingga menjadi uap refrigeran bertekanan tinggi, dan kemudian uap refrigeran bertekanan tinggi diembunkan menjadi cairan refrigeran bertekanan tinggi dalam kondensor.

Kemudian cairan refrigeran tekanan tinggi tersebut tekanannya diturunkan oleh katup ekspansi agar cairan refrigeran tekanan rendah tersebut dapat menguap kembali dalam evaporator menjadi uap refrigeran tekanan rendah (I Gusti Agung dkk., 2010).



Gambar 2.16 Skematik Sistem Pendingin Siklus Kompresi Uap Standar (I Gusti Agung dkk., 2010)

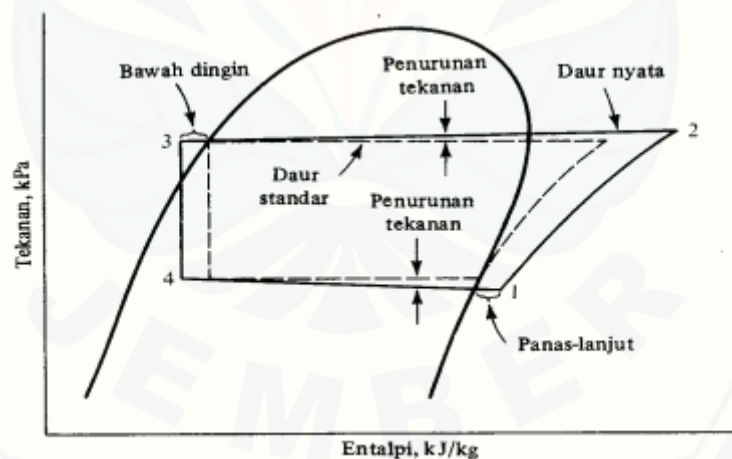


Gambar 2.17 P-h Diagram Siklus Kompresi Uap Standar (I Gusti Agung dkk., 2010)

2.3.1 Siklus Kompresi Uap Aktual

Pada kenyataanya siklus kompresi uap mengalami penyimpangan dari kompresi uap standar, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18. Menurut I Gusti Agung dkk. (2010) Perbedaan penting siklus kompresi siklus uap aktual dari siklus standar adalah :

1. Terjadi penurunan tekanan di sepanjang pipa kondensor dan evaporator.
2. Adanya proses dibawah dingin (*sub cooling*) cairan yang meninggalkan kondensor sebelum memasuki katup ekspansi.
3. Pendinginan lanjut uap yang meninggalkan evaporator sebelum memasuki kompresor.
4. Terjadi kenaikan entropi pada saat proses kompresi (kompresi tak isentropik).
5. Proses ekspansi berlangsung non-adiabatik. Walaupun siklus aktual tidak sama dengan siklus standar, tetapi proses ideal dalam siklus standar sangat bermanfaat dan diperlukan untuk mempermudah analisis secara teoritik.



Gambar 2.18 Siklus Kompresi Uap Aktual (I Gusti Agung dkk., 2010)

a. Dampak Refrigerasi

Dampak refrigerasi merupakan besarnya kalor yang dipindahkan pada proses 4-1 yaitu sebagai berikut :

$$q_r = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

q_r = Efek refrigerasi (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_1 = Entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

b. Kerja Kompresi

Kerja kompresi merupakan perubahan entalpi pada proses 1-2 pada gambar 2.2. Hubungan ini diturunkan dari persamaan energi umum untuk analisa volume atur (*control volume*) :

$$w_c = h_2 - h_1 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

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

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

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

c. Kapasitas Refrigerasi

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

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

Keterangan:

Q = Kapasitas refrigerasi (kW)

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

h_1 = Entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg) atau (Btu/lb)

d. COP (*Coefficient of Performance*)

COP dari siklus kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi kerja kompresi, yaitu:

$$COP = \frac{q_r}{w_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

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

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

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

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

2.4 Refrigeran

Refrigeran merupakan fluida yang digunakan dalam siklus panas yang mengalami perubahan fase akibat tekanan. Refrigeran terdiri dari beberapa jenis, berbeda jenis refrigeran berbeda pula karakteristik yang terkandung dalam suatu refrigeran tersebut sehingga berpengaruh terhadap kemampuan dan kinerja mesin pendingin (Edi Purwanto dkk., 2017). Adapun pengertian lainnya adalah refrigerasi atau pendinginan merupakan proses pengambilan atau pengeluaran kalor dari suatu materi atau ruangan dan mempertahankan keadaannya sedemikian rupa sehingga temperaturnya lebih rendah dari pada lingkungan sekitarnya. Pada prinsipnya refrigerasi adalah terapan dari mata kuliah perpindahan panas dan termodinamika, dimana kalor akan mengalir atau berpindah dari suatu keadaan yang mempunyai temperatur tinggi ke suatu keadaan yang bertemperatur rendah.

2.4.1 Refrigeran Primer

Refrigeran primer adalah refrigeran yang digunakan pada sistem kompresi uap. Refrigeran yang digunakan pada sistem pendinginan kompresi uap harus

mempunyai mempunyai sifat-sifat kimia, fisika, termodinamika tertentu yang sesuai dengan kondisi penggunaan. Berikut adalah jenis dari refrigeran primer :

a. Golongan Halokarbon

Refrigeran golongan halokarbon adalah jenis refrigeran yang umum digunakan. Refrigeran jenis ini meliputi refrigeran yang terdiri dari satu atau lebih dari tiga jenis ion golongan halogen (klorin, fluorin, dan bromin).

b. Senyawa Hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai refrigeran, umumnya digunakan pada industri minyak bumi, seperti metana, etana, propana, etilen, dan isobutilen. Kesemuanya *flammable* dan *explosive*. Digolongkan sedikit beracun karena mengandung efek bius pada tingkat tertentu. Etana, metana, dan etilen digunakan pada pendinginan suhu ekstra rendah.

Hidrokarbon sebagai refrigeran dalam sistem refrigerasi telah dikenal sejak tahun 1920-an, sebelum refrigeran sintetik dikenal. Ilmuwan yang tercatat sebagai promotor hidrokarbon sebagai refrigeran antara lain Linde (1916) dan ilmuwan dunia Albert Einstein (1920). Hidrokarbon kembali diperhitungkan sebagai alternatif pengganti CFC, setelah aspek lingkungan mengemuka, dan timbulnya permasalahan dalam peralihan dari CFC ke HFC, dikarenakan perlu adanya penyesuaian perangkat keras, pelumas, serta perlakuan khusus dalam operasional penggunaan bahan HFC : R-134a ini.

Indonesia sebagai negara yang memiliki cadangan gas alam dan minyak bumi, disamping pemanfaatan sebagai bahan bakar juga memiliki potensi sebagai negara yang dapat berkecimpung dalam hal refrigerant hidrokarbon maupun produk-produk ramah lingkungan berbasis hidrokarbon lainnya seperti : Aerosol propellant, foaming agent, solvent, dan lain-lain.

c. Azeotrop

Senyawa azeotrop adalah suatu campuran yang tak dapat dipisahkan menjadi senyawa penyusunnya dengan cara distilasi. Senyawa ini menguap dan mengembun sebagai satu zat, tidak seperti campuran lainnya. Azeotrop yang paling dikenal adalah R502 yang merupakan campuran 48.8% R22 dan 51.2% R115. Azeotrop lainnya adalah R-500, campuran dari 73.8% R-12 dan 26.2% R-152a.

2.4.2 Refrigeran Sekunder

Seperti dijelaskan sebelumnya, refrigeran sekunder merupakan fluida yang membawa panas dari benda yang didinginkan ke evaporator suatu sistem pendinginan. Suhu refrigeran sekunder akan berubah saat refrigeran mengambil panas namun tidak berubah fasa. Air dapat digunakan sebagai refrigeran sekunder, namun hanya untuk kondisi operasi di atas titik beku air. Refrigeran yang umum digunakan adalah campuran garam dan air atau anti beku yang mempunyai titik beku di bawah 0°C. Beberapa anti beku yang umum digunakan adalah campuran air dengan etilen glikol, propil glikol atau kalsium klorida. Etilen glikol dapat digunakan dalam industri makanan karena tidak beracun.

Tabel 2.2 Refrigeran Sekunder

Refrigeran Inorganik	Penggunaan
Amonia (NH_3)	Untuk cold storage, pabrik es, pendinginan bahan pangan
Air (H_2O)	Pendinginan tipe ejektor
Karbondioksida (CO_2)	Sebagai karbondioksida padat atau es kering dan hanya digunakan untuk refrigerasi angkutan
Refrigeran 11 (CCL_3F)	Pendinginan dengan kompresor sentrifugal untuk sistem AC ber-kapasitas besar
Refrigeran 12 (CCL_2F)	Pendinginan dengan kompresor piston untuk refrigerasi unit kecil terutama water cooler, kulkas
Refrigeran 22	Pendinginan dengan kompresor tipe piston untuk unit refrigerasi kapasitas besar seperti pengemasan dan central AC
Refrigeran 502	Untuk bahan pangan beku dalam kabinet, terutama untuk pendinginan di pasar swalayan

(Stoecker, 1996)

2.4.3 Sifat Refrigeran

Dalam pemilihan refrigeran, sifat refrigeran yang penting antara lain sifat termodinamika, kimia, dan fisik. Sifat termodinamika yang penting antara lain titik didih, tekanan penguapan dan pengembunan, tekanan dan suhu kritis, titik beku, volume uap, COP, tenaga per ton refrigerasi. Sifat kimia berhubungan dengan reaksi refrigeran terhadap keadaan sekitar, antara lain tidak mudah terbakar, tidak beracun, tidak bereaksi dengan air, minyak dan bahan konstruksi. Sedangkan sifat fisik refrigeran berhubungan dengan bahan itu sendiri, antara lain konduktivitas dan kekentalan. Menurut Aris Munandar dan Saito (1991) berikut sifat-sifatnya :

- a. Tekanan penguapan harus cukup tinggi
- b. Sebaiknya refrigeran memiliki suhu pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi
- c. Tekanan pengembunan yang tidak terlampaui tinggi, apabila tekanan pengembunannya terlalu rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah, sehingga penurunan prestasi kondensor dapat dihindarkan, selain itu dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan dan sebagainya menjadi lebih kecil.
- d. Kalor laten penguapan harus tinggi, refrigeran yang mempunyai kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigerasi yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.
- e. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil, Refrigeran dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian untuk kapasitas refrigerasi yang sama ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.
- f. Koefisien prestasi harus tinggi, dari segi karakteristik termodinamika dari refrigeran, koefisien prestasi merupakan parameter yang terpenting untuk menentukan biaya operasi.

- g. Konduktivitas termal yang tinggi, konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.
- h. Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas, dengan turunnya tahanan aliran refrigeran dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang.
- i. Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik.
- j. Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi.

2.5 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan gas hidrokarbon produksi dari kilang minyak dan kilang gas dengan komponen utama gas propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) dan dikemas didalam tabung. LPG (*Liquified Petroleum Gas*) dipilih karena zat tersebut memiliki sifat termodinamika yang mendekati sifat termodinamika R22. Hidrokarbon adalah suatu zat yang memiliki unsur utama hidrogen dan karbon adalah zat - zat yang tidak asing bagi kehidupan sehari hari. Disamping mudah didapat harganya juga jauh lebih terjangkau dibandingkan dengan R22. Hanya saja fluida ini lebih flameable (Imron Rosyadi dkk., 2015).

Pada penelitian lain (Imron Rosyadi dkk., 2015) pemakaian daya listrik yang dibutuhkan untuk menjalankan kompresor untuk pengujian menggunakan LPG menunjukan daya yang lebih kecil yaitu 0,299 kW dibandingkan dengan pengujian menggunakan R22 yaitu 0,398 kW pada tekanan masing-masing 40 psia. Hal ini menunjukan bahwa penggunaan LPG sebagai refrigeran pada mesin pendingin kompresi uap lebih hemat konsumsi listrik dibandingkan dengan menggunakan R22.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya (Sahu *et al*, 2013) meneliti tentang variasi jarak *fin* pada kondensor. Variasi jaraknya mulai dari 3 mm, 6 mm, dan 9 mm. Hasilnya *discharge pressure* dengan variasi spasi fins 9 mm sama dengan 6 mm dengan rata-rata reduksi sebesar 5,7 % sedangkan yang menggunakan variasi 3 mm *discharge*

pressure-nya lebih besar daripada 6 mm dan 9 mm. Hasil *discharge pressure* pada 3 mm adalah 34,41 bar pada 6 mm adalah 32,00, dan pada 9 mm adalah 30,56 bar. Kesimpulannya bahwa memperkecil jarak *fin* dapat meningkatkan laju perpindahan kalor dan efek pendinginan.

Penelitian lain (Sharmas Vali *et al*, 2011) meneliti tentang variasi jarak *fin* pada kondensor. Variasi jaraknya mulai dari 2 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm, dan 10 mm. Hasilnya COP naik hingga 6,94%, kinerja kompresor menurun hingga 5,88%. Konsumsi daya juga menurun hingga 5,88% dan pelepasan kalor pada kondensor juga meningkat. Kesimpulannya bahwa memperkecil jarak bisa meningkatkan COP, menurunkan kinerja kompresor, dan menurunkan konsumsi dayanya.

Rima Zidni (2017) meneliti tentang analisis variasi jarak *fin* dan tipe kondensor terhadap performa mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG. Hasilnya pengurangan jarak *fin* dapat meningkatkan nilai COP karena pengurangan jarak *fin* menurunkan kerja kompresi. Nilai COP tertinggi yaitu pada variasi jarak 3 mm sebesar 4,43% dibandingkan dengan jarak *fin* 6 mm.

2.7 Hipotesis

Penelitian ini memvariasikan *fin* pada kondensor yaitu jarak antar *fin* dan diameter *fin* dengan *double* evaporator yang dirangkai secara seri menggunakan refrigeran LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Penelitian ini dilakukan dengan 5 variasi kondensor yaitu kondensor dengan jarak antar *fin* 5 mm berdiameter 1 mm, jarak antar *fin* 10 mm berdiameter 1 mm, jarak antar *fin* 5 mm berdiameter 2 mm, jarak antar *fin* 10 mm berdiameter 2 mm, dan menggunakan kondensor standar sebagai pembandingnya.

Hasil yang diharapkan adalah semakin kecil jarak antar *fin* maka prestasi mesin dari kulkas ini semakin bagus karena semakin rapat *fin* kondensor akan memperluas permukaan sentuh dengan udara, sehingga proses pindah panas melalui *fin* atau sirip ini bisa berlangsung lebih optimal dan akan meningkatkan COP dari kulkas ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan yaitu menggunakan metode *trial and error* dengan memvariasikan jarak dan diameter *fin* pada kondensor. Evaporator juga divariasikan yaitu menggunakan sistem *double* evaporator yang dirangkai secara seri. Refrigeran yang digunakan yaitu LPG (*Liquified Petroleum Gas*). Unjuk kerja yang dihitung yaitu kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, dan COP (*Coefficient of Performance*) dari mesin pendingin.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2020 sampai Maret 2020. Proses tersebut meliputi proses persiapan alat uji dan pengambilan data. Penelitian ini dilaksanakan di Bengkel Mesin Pendingin Cak Har di Jalan Kaliurang Kecamatan Sumbersari Kabupaten Jember.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

- a. 1 buah kulkas
- b. Termokopel tipe K, untuk mengukur suhunya
- c. *Pressure Gauge*, untuk mengukur tekanan
- d. *Smartphone*
- e. Kondensor beserta *finnya*
- f. *Double Evaporator* dengan pemasangan seri
- g. Kompresor
- h. Pipa kapiler
- i. Las LPG
- j. *Manifold Gauge*
- k. *Coolpack software*
- l. Alat tulis
- m. *Cutter*
- n. *Filter*



Gambar 3.1 Evaporator



Gambar 3.2 Manifold Gauge



Gambar 3.3 Kondensor

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada saat penelitian adalah LPG (*Liquified Petroleum Gas*) yang akan digunakan sebagai refrigeran (fluida kerja). Kondensor beserta *finnya* terbuat dari besi atau baja yang dilapisi tembaga.

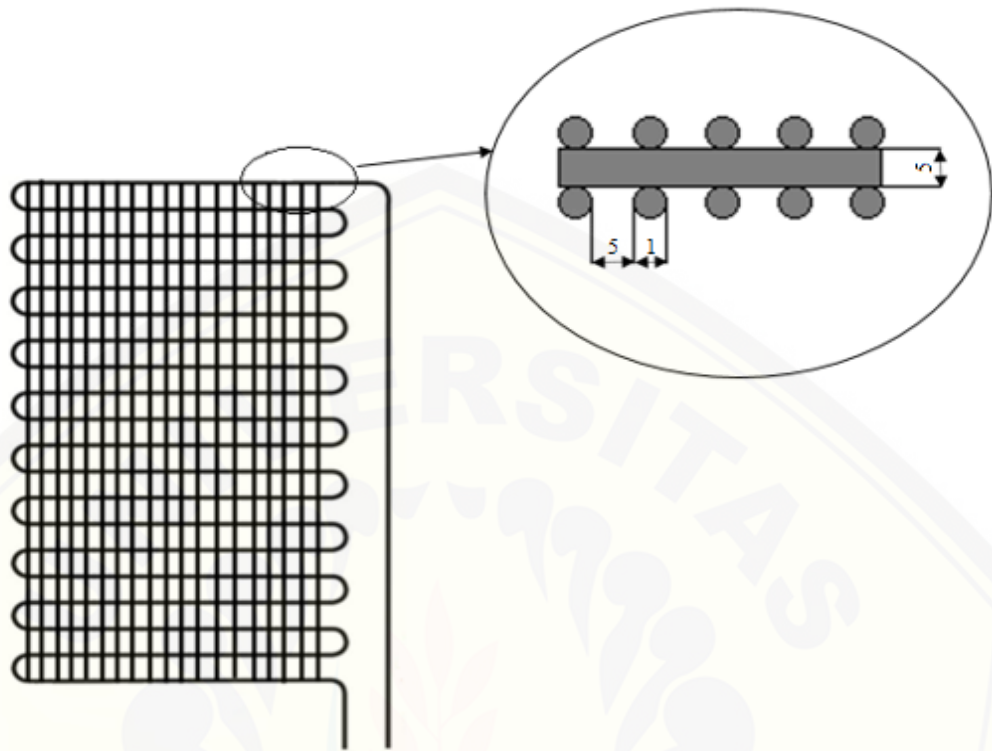


Gambar 3.7 LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

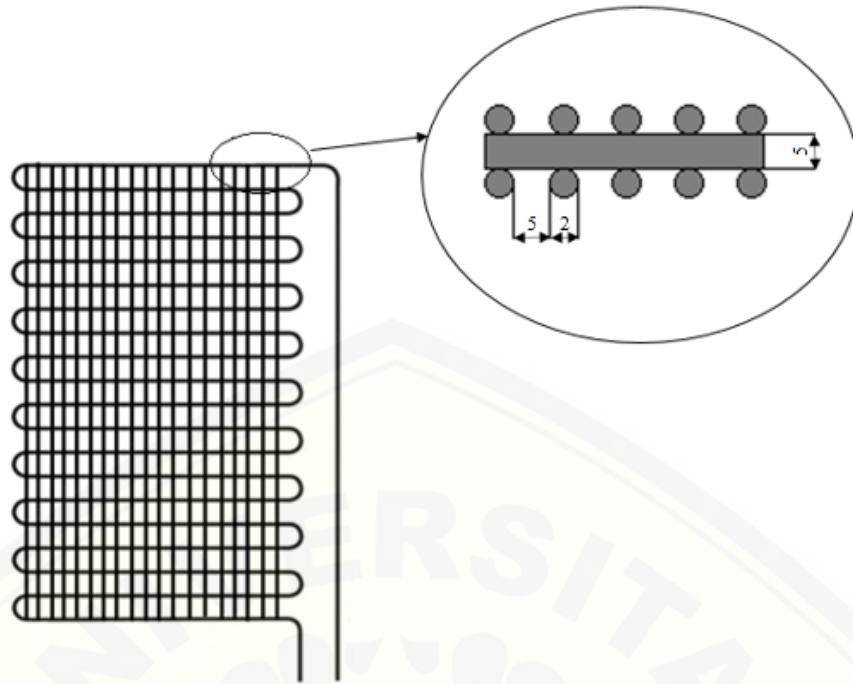
3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

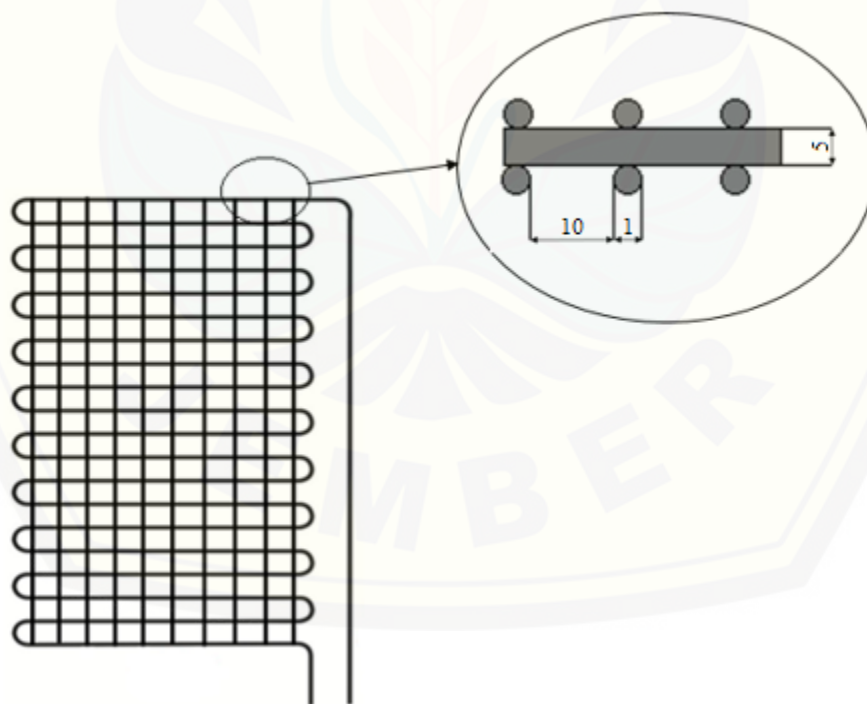
Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi jarak *fin* dan diameter *fin* pada kondensor yaitu 5 mm dan 10 mm dengan berdiameter 1 mm dan 2 mm.



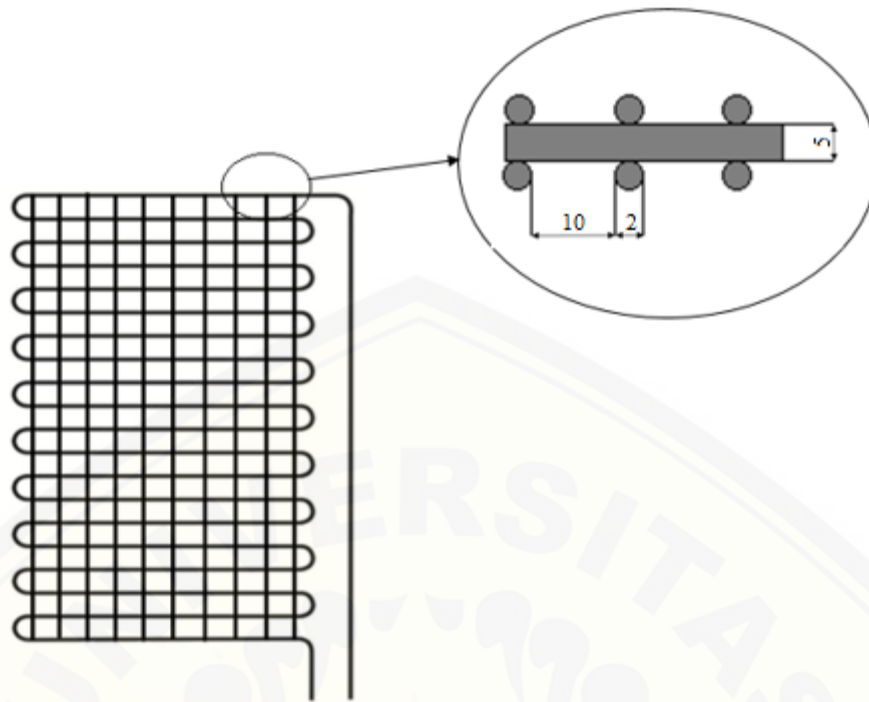
Gambar 3.8 Kondensator Dengan Variasi Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 1 mm



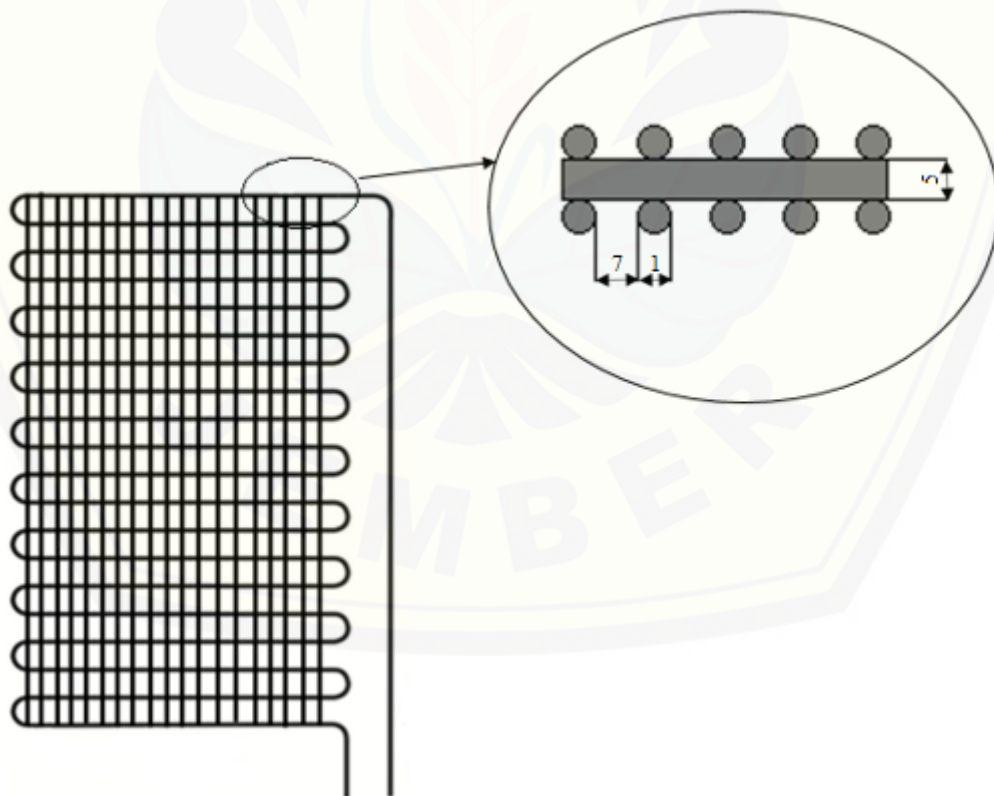
Gambar 3.9 Kondensor Dengan Variasi Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 2 mm



Gambar 3.10 Kondensor Dengan Variasi Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 1 mm



Gambar 3.11 Kondensor Dengan Variasi Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 2 mm



Gambar 3.12 Kondensor Standar

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak bisa ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya bergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini merupakan tekanan dan temperatur pada titik yang akan dicari yaitu $T_1, T_2, T_3, T_4, T_{5a}, T_{5b}, T_6, T_7, P_1, P_2,$ dan P_3 (Gambar 3.13). Temperatur dan tekanan ini akan mempengaruhi dampak refrigerasi, kinerja kompresor, kapasitas refrigerasi dan COP (*Coefficient of Performance*).

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Alat Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, langkah pertama yang dilakukan adalah mempersiapkan alat-alat penelitian, yang terdiri dari :

- a. Memeriksa keadaan dari komponen refrigerator
- b. Pemasangan kondensor
- c. Pemasangan termokopel dan *pressure gauge* untuk mengukur temperatur dan tekanan pada setiap titik yang telah ditentukan.

3.5.2 Pemeriksaan Alat Penelitian

Melakukan pemeriksaan terhadap kesiapan alat uji sebelum melakukan penelitian. Pengujian alat digunakan untuk mengetahui bahwa alat uji berfungsi dengan baik atau tidak.

3.5.3 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan dengan cara mengukur semua variabel saat pengujian berlangsung. Tahap pengambilan datanya adalah sebagai berikut :

- a. Semua komponen seperti kondensor, kompresor, evaporator, pipa kapiler serta komponen lainnya dirangkai. Pada awal rangkaian menggunakan kondensor dengan variasi *fin* 5 mm dan berdiameter 1 mm.
- b. Alat ukur yang dipasang pada beberapa titik untuk mengetahui tekanan dan temperatur.
- c. Pemasangan LPG sebagai refrigerannya.
- d. Menghidupkan mesin pendingin lalu langsung diambil datanya dari 0 menit sampai 360 menit.

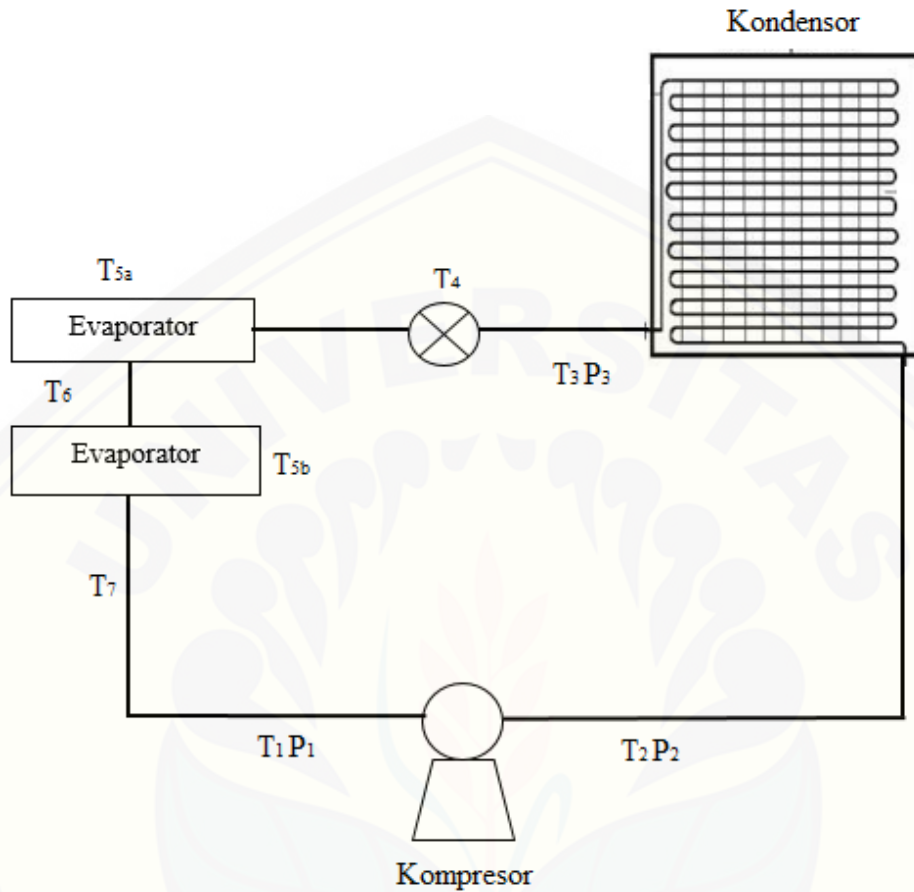
- e. Mencatat semua perubahan temperatur dan tekanan pada setiap titik dan waktu yang sudah ditentukan.
- f. Penggantian *fin* kondensor dari variasi 5 mm dengan variasi 10 mm juga dari berdiameter 1 mm dengan 2 mm dan terakhir menggunakan kondensor standar.
- g. Pengulangan langkah b sampai e.
- h. Pengumpulan data

3.5.4 Pengolahan data

Setelah pengambilan data, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengolahan data. Berikut langkah-langkahnya :

- a. Data temperatur dan tekanan didapat dari nilai entalpi (h) dari tabel *thermodynamics properties* dan *coolpack software*.
- b. Dari data percobaan maka akan bisa dihitung efek refrigerasi, kerja kompresor, kapasitas refrigerasi, dan COP (*Coefficient of Performance*).

3.6 Rangkaian Mesin Pendingin

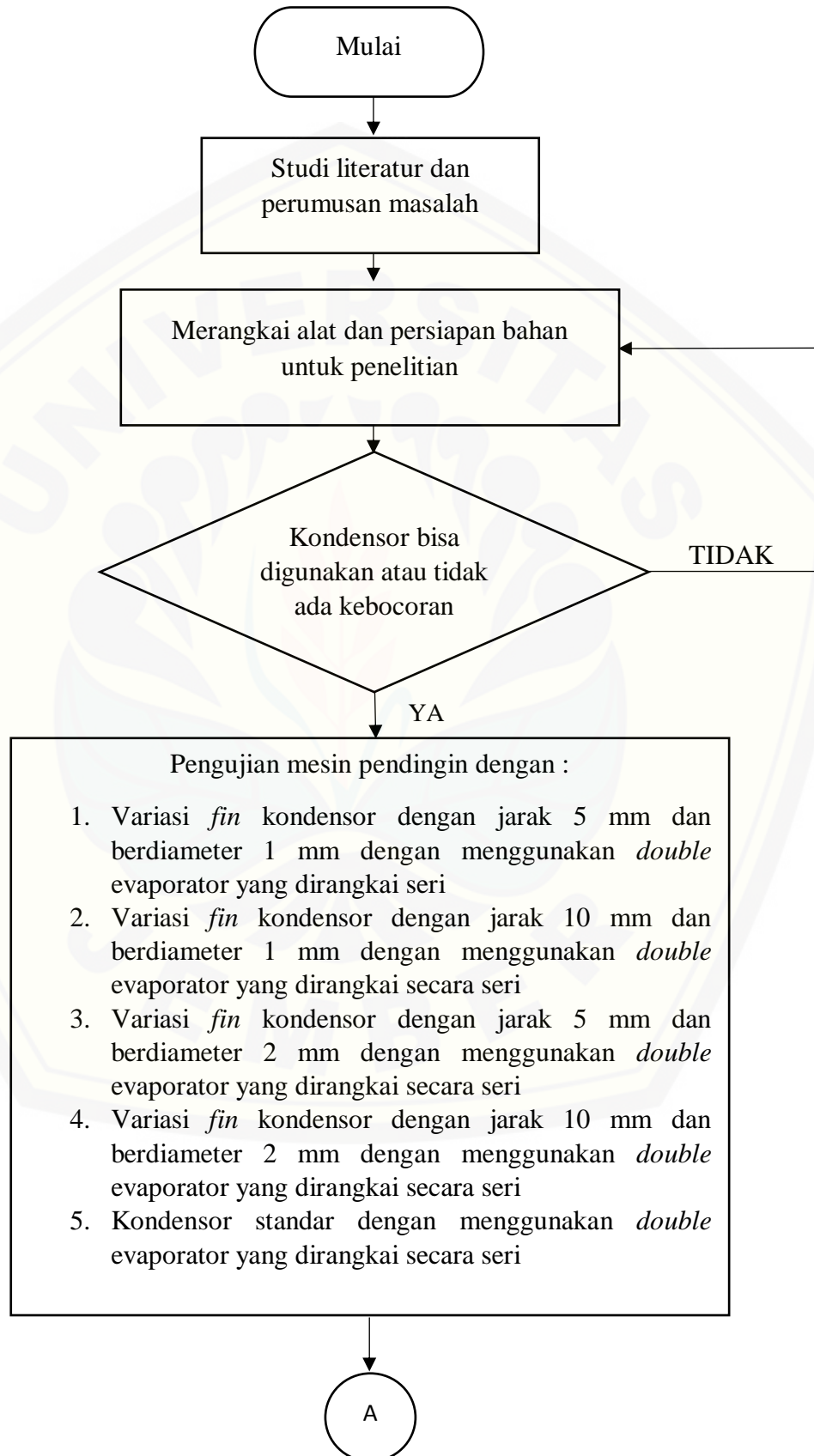


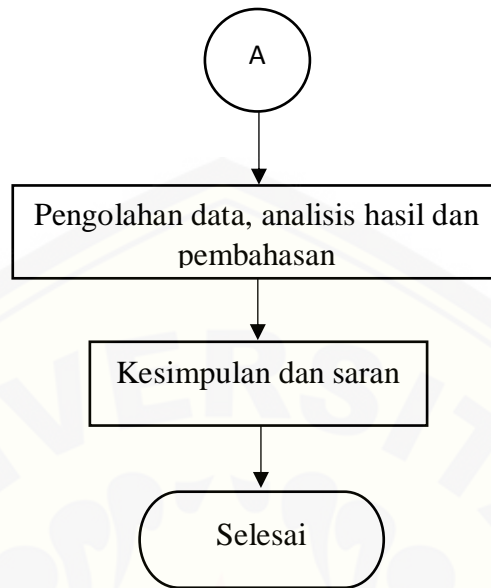
Gambar 3.13 Rangkaian Mesin Pendingin Dengan *Double* Evaporator Yang Dirangkai Secara Seri

Gambar 3.13 menampilkan rangkaian seri *double* evaporator pada mesin pendingin yang akan divariasikan jarak antar *fin*nya ini, pada rangkaian ini ada titik temperatur dan 3 titik tekanan yang akan dicari nilainya, antara lain :

- T_1 = Temperatur masukan kompresor
- T_2 = Temperatur keluaran kompresor
- T_3 = Temperatur keluaran kondensor
- T_4 = Temperatur masukan evaporator
- T_{5a} dan T_{5b} = Temperatur didalam evaporator a dan b

3.8 Diagram Alir





Gambar 3.14 Diagram Alir

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dikerjakan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Semakin rapat jarak antar *fin* pada kondensor pengaruhnya dapat meningkatkan performa mesin pendingin kulkas. Performa mesin pendingin yang terbaik yaitu pada kondensor dengan jarak antar *fin* 5 mm berdiameter 2 mm dengan nilai COP (*Coefficient of Performance*) 14,02. Untuk nilai COP paling rendah yaitu kondensor dengan jarak antar *fin* 10 mm berdiameter 1 mm dengan nilai COP 8,39. Jadi semakin rapat jarak antar *fin*nya nilai COPnya naik sehingga performa mesin pendinginnya semakin bagus.
- b. Dampak refrigerasi tertinggi yaitu pada kondensor dengan jarak antar *fin* 5 mm berdiameter 2 mm dengan nilai 481,75 kJ/kg, sedangkan terendah yaitu pada kondensor dengan jarak antar *fin* 10 mm berdiameter 1 mm dengan nilai 477,34 kJ/kg. Pengaruhnya semakin besar dampak refrigerasi maka semakin besar juga panas yang dibuang. Hal itu membuat prestasi mesin pendingin semakin baik.
- c. Kerja kompresi terendah yaitu pada kondensor dengan jarak antar *fin* 5 mm berdiameter 2 mm dengan nilai 34,52 kJ/kg, sedangkan tertinggi pada kondensor dengan jarak antar *fin* 10 mm berdiameter 1 mm dengan nilai 56,91 kJ/kg. Jadi semakin rapat jarak antar *fin*nya nilai kerja kompresinya semakin rendah sehingga membuat kompresor bisa digunakan lebih lama dan tidak mudah rusak.
- d. Kapasitas refrigerasi tertinggi yaitu pada jarak *fin* 5 mm berdiameter 2 mm dengan nilai 1,85 kW sedangkan nilai kapasitas refrigerasi terendah yaitu pada variasi jarak *fin* 10 mm berdiameter 1 mm dengan nilai 1,11 kW. Semakin rapat jarak antar *fin*nya maka nilai kapasitas refrigerasinya akan semakin naik. Kapasitas refrigerasi ini berbanding lurus dengan dampak refrigerasi, sehingga apabila dampak refrigerasi naik maka kapasitas

refrigerasinya juga naik. Semakin rapat jarak antar *fin* nilai kapasitas refrigerasinya semakin naik sehingga kinerja mesin pendingin tersebut semakin baik.

5.2 Saran

- a. Penelitian selanjutnya sebaiknya suhunya diatur dalam keadaan stabil agar hasilnya lebih baik.
- b. Saat penelitian harus memperhatikan setiap titik sambungan las karena apabila ada yang bocor sedikit saja bisa merubah datanya.
- c. Waktu pengambilan data sebaiknya dalam kondisi *steady state*.
- d. Variasi penelitian seharusnya ada 3 level agar grafiknya lebih sempurna dan terlihat perbandingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, I Gusti., Ida Bagus., Hendra Wijaksana, dan Nengah Suarnadwipa. 2010. Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasikan dengan Water Heater. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra*. 4(1): 57-61.
- Anwar, Khairil. 2010 Efek Beban Pendinginan Terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin. *SMARTek*, 8(3): 203-215.
- Anwar, K. 2010. Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin. Skripsi. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Arismunandar, W. dan Saito, H. 1991. *Penyegaran Udara*. Edisi Keempat. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Barita., Eron Rudianto., Zainuddin., Eswanto. 2018. Pengaruh Kinerja Kompresor Pada Mesin Pendingin Dengan Penggunaan Variasi Bahan Refrigeran. *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*. 4(1): 48-55.
- Hasan, Syamsuri., Sapto Widodo. 2008. *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara Jilid 1. Buku untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Laksono, Ari Fakhri. 2014. Analisis Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Line Suction Terhadap Prestasi Mesin Pendingin dengan LPG Sebagai Refrigeran. Skripsi. Jember : Teknik Universitas Jember.
- Ningrum, P., A. 2016. Analisis Variasi Tipe Evaporator dengan Refrigeran LPG Terhadap Unjuk Kerja Mesin Refrigerator. Skripsi. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Purwanto, Edi., Kemas Ridhuan. 2017. Pengaruh Jenis Refrigerant dan Beban Pendinginan Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin. *Jurnal Teknik Mesin*. 3(1): 11-16.
- Puspawan, Angky. 2014. Analisa Kondisi Deviasi Kompresor Amoniak Pada Waktu Operasi. *Jurnal Telematik*. 4(3): 1034-1041.
- Rizal., Nasrul Ilminnafik., Digdo Listyadi. 2013. Pengaruh Variasi Beban Pendingin Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin dengan Refrigeran R12 dan LPG. *Jurnal Rotor*. Volume 6(1).

- Rosyadi, Imron., Ipick Setiawan., Mushlih. 2015. Studi Eksperimen Penggunaan LPG Sebagai Fluida Pendingin Pengganti Refrigerant R22 Pada Mesin Pengkondisian Udara. *Jurnal Teknik Mesin Untirta*. 1(2): 78-83.
- Sahu, Vivek., Pooja Tiwari., K. K. Jain, dan Abhishek., Tiwari. 2013. Experimental Investigation of the Refrigerator Condenser By Varying the Spacing of the Condenser. *International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER)*. 1(1): 2321-5747.
- Sambudi, Yorda Cipta. 2016. Analisis Variasi Jumlah Fan pada Kondensor Bertingkat Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG. Skripsi. Jember: Teknik Mesin Jember.
- Setyawan, Digdo Listyadi., Eko Widodo., Hasby. 2016. Analisis Variasi Media Pendingin Kondensor Terhadap Rasio Pelepasan Kalor Dan Coefficient Of Performance (COP) Pada Mesin Pendingin. *Jurnal Rotor*. Edisi Khusus (2).
- Siagian, Saut. 2015. Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Kondensor Pada Sistem Pendingin (Air Conditioning) Yang Menggunakan Freon R-134 A Berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin. *Jurnal Bina Teknika*. 2(2): 124-130.
- Stoecker, W. F., dan Jones J. W. 1996. *Refrigeration and Air Conditioning*. Second Edition. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Vali, S. Sharmas., M. L. S. Deva. Kumar, dan K.Vijaya Kumar. Reddy. 2011. Experimental Analysis of the Effect of Varying the Condensor Fins Spacing on Vapor Compression Refrigeration System Performance. *International Journal of Mechanical Engineering*. 4(2): 95-99.
- Yoon. Won Jae., Jung, Hae Won., Chung, Hyun Joon., and Kim, Yongchan. 2010. Experimental Study on the Performance of a Two Circuit Cycle with Paralel Evaporators for a Domestic Refrigerator Freezer. *Journal Purdue e-Pubs*. 2190:1-8.
- Zidni, Rima. 2017. Analisis Variasi Jarak Fin dan Tipe Kondensor Terhadap Performa Mesin Pendingin yang Menggunakan Refrigeran LPG. Skripsi. Jember: Teknik Mesin Jember

LAMPIRAN A. HASIL PENGAMBILAN DATA

A. Temperatur Kondensor Variasi Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 2 mm

Waktu	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{5a}	T_{5b}	T_6	T_7	P_1	P_2	P_3
0	29,63	29,17	29,2	28,87	28,17	27,5	27,93	27,53	3,45	3,45	3,445
15	35,83	66,73	45,77	-0,567	3,867	1,867	-7,8	-2,5	0,69	13,78	14,47
30	32,47	65,9	42,57	-7,9	-3,133	-6,067	-14,33	-11,27	0,6	12,4	12,86
45	31,77	67,7	41,57	-14,7	-7,1	-9,467	-16,9	-14,17	0,46	11,71	12,06
60	31	70	40,37	-14,53	-8,967	-12,3	-18,7	-17,07	0,37	11,48	11,83
75	30,17	69,17	39,3	-15,7	-10,73	-12,97	-20,4	-18,37	0,28	10,91	11,25
90	29,77	69,6	38,33	-15,8	-11,77	-14,57	-21,47	-19,33	0,23	10,56	10,91
105	29,1	68,83	36,5	-16,83	-12,6	-15,2	-21,83	-20,5	0,23	10,45	10,79
120	28,9	66,6	36,4	-17,2	-13,17	-15,47	-22,57	-21,2	0,14	10,11	10,56
135	28,87	66,57	36	-17,57	-13,5	-15,93	-23	-21,8	0,14	10,11	10,45
150	29,1	67,03	35,8	-17,6	-13,57	-15,93	-22,27	-21,5	0,14	10,22	10,56
165	28,83	67,23	34,5	-18,37	-13,4	-16,17	-22,47	-21,4	0,14	10,34	10,79
180	28,93	67,3	33,1	-18,37	-13,83	-16,27	-22,63	-21,53	0,14	9,99	10,34
195	28,87	68,17	32,5	-18,57	-13,67	-16,53	-23,1	-21,43	0,14	9,99	10,34
210	29,63	65,37	32,2	-18,6	-13,53	-16,33	-22,9	-21,67	0,14	9,99	10,45
225	28,97	65,5	31,9	-18,4	-13,8	-16,4	-23	-21,67	0,11	9,88	10,34
240	29,03	64,63	31,4	-19,6	-13,8	-16,6	-23,1	-21,97	0,11	9,88	10,34
255	28,93	64,9	31,5	-19,67	-14	-16,6	-23,03	-22,13	0,11	9,99	10,45
270	28,77	66	30,8	-19,3	-14,33	-17,13	-23,33	-22,47	0,11	9,88	10,34
285	28,43	65,53	30,5	-18,97	-14,33	-16,67	-23,3	-22,37	0,11	9,88	10,22
300	28,57	66,63	30	-18,5	-14,6	-16,67	-23,33	-21,9	0,11	9,88	10,22
315	28,37	67,1	29,3	-17,97	-14,1	-16,9	-23,4	-21,93	0,11	9,88	10,22
330	28	66,33	29,1	-18,13	-14,8	-17,37	-23,73	-22,2	0,09	10,11	10,45
345	27,97	66,2	28,5	-18	-14,6	-17	-23,37	-22,2	0,09	10,11	10,45
360	28,17	66,97	28,5	-17,83	-14,83	-17	-23,17	-22,03	0,09	10,11	10,45

B. Temperatur Kondensor Variasi Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 1 mm

Waktu	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{5a}	T_{5b}	T_6	T_7	P_1	P_2	P_3
0	29,57	31,47	29,8	26,63	26,13	29,23	25,97	26,23	3,45	3,45	3,45
15	32,07	57,5	41,27	-4,83	3,4	1,467	-9,17	-3,2	0,55	10,1	10,6
30	29,9	59,13	39	-9,93	-1,83	-4,4	-14,3	-8,73	0,3	9,42	9,76
45	29,93	62,43	38,9	-13	-6,73	-9,47	-17,6	-12,2	0,3	9,3	9,65
60	29,4	62,4	37,63	-14	-8,13	-10,8	-18,8	-14,7	0,28	9,19	9,53
75	29,8	64,53	38,2	-14,8	-9,8	-12	-19,7	-16,4	0,23	8,84	9,19
90	29,2	65,97	37,5	-15,6	-10,5	-12,6	-20	-16,9	0,14	8,73	9,07
105	29,23	64,63	37,13	-16	-11,3	-13,4	-20,2	-17,3	0,11	8,73	9,07
120	29,2	65,1	37,33	-16,4	-11,5	-13,5	-20,4	-18,2	0,11	8,73	9,07
135	29,53	65,2	38,43	-16,3	-11,4	-13,8	-20,6	-18,3	0,11	8,96	9,3
150	29,53	66,2	37,7	-16,5	-11,8	-14,1	-20,7	-18	0,11	8,73	9,07
165	29,23	66,43	37	-16,6	-11,6	-13,9	-20,7	-18	0,07	8,96	9,3
180	29,77	66,73	36,5	-16,9	-11,4	-13,9	-20,8	-17,7	0,07	8,96	9,3
195	28,3	65,7	35,3	-17,9	-12,1	-14,4	-21,1	-18,3	0,07	8,96	9,3
210	27,63	64,33	35,2	-18	-12	-14,6	-21,2	-18,3	0,07	8,84	9,19
225	27,9	63,63	33,2	-18,2	-12,7	-15	-21,4	-18,9	0,07	8,84	9,19
240	28,17	63,9	33	-17,7	-12	-14,6	-21,3	-18,4	0,07	8,84	9,19
255	27,87	63,6	32,5	-18,5	-12,4	-14,5	-21,2	-18,3	0,07	8,84	9,19
270	27,93	62,77	32	-18,6	-13	-15,2	-21,4	-18,6	0,07	8,61	8,96
285	28	62,6	31,5	-18,6	-12,7	-15,2	-21,1	-18,3	0,07	8,61	8,96
300	28	63,5	31,2	-18,4	-12,7	-15	-21,5	-18,8	0,07	8,61	8,96
315	27,93	61,7	30,6	-19,2	-12,9	-15,1	-21,6	-19	0,07	8,38	8,73
330	27,43	62,4	30,2	-18,8	-12,9	-15,5	-22,1	-18,7	0,07	8,15	8,50
345	26,83	61	30,2	-18,9	-13,4	-15,9	-22,4	-19,5	0,07	8,15	8,50
360	26,3	61,03	29,8	-19,5	-13,9	-15,9	-22,4	-19,5	0,07	8,15	8,50

C. Temperatur Kondensor Variasi Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 2 mm

Waktu	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{5a}	T_{5b}	T_6	T_7	P_1	P_2	P_3
0	30,57	31,47	29,23	28,33	26,83	25,9	26,53	27,1	3,45	3,45	3,45
15	32,1	58,53	42,93	-2,567	4,1	2,333	-6,83	-1,97	0,69	10,79	11,14
30	29,73	64,87	42,03	-8,5	-1,867	-4,03	-12,3	-9,367	0,64	10,34	10,68
45	29,2	68,27	40,43	-12,73	-6,233	-8,7	-16,1	-13,23	0,30	9,88	10,22
60	29,17	70,03	39,83	-14,7	-8,633	-10,6	-18,07	-15,37	0,14	9,88	10,22
75	28,93	71,67	38,83	-15,37	-9,933	-12,6	-19,43	-16,97	0,14	9,88	10,22
90	28,77	71,9	36,7	-17,03	-11,6	-13,9	-20,23	-17,83	0,14	9,19	9,53
105	28,73	73,3	36,97	-17	-11,77	-14	-20,33	-17,87	0,14	9,19	9,53
120	29,03	74,07	37,8	-16,7	-12,2	-14	-20,7	-18,43	0,14	9,19	9,53
135	28,67	74,37	37,23	-17,07	-12,4	-15	-21,17	-18,9	0,14	9,19	9,53
150	28,77	74,83	37,87	-16,67	-12,1	-14,6	-20,6	-18,9	0,14	9,19	9,53
165	28,43	74,93	37,77	-16,63	-12,53	-14,8	-21,1	-19,13	0,12	9,19	9,53
180	29,1	74,73	37,5	-16,77	-11,83	-14,6	-20,87	-19,17	0,12	9,19	9,53
195	28,6	74,13	38	-16,9	-12	-14,3	-21,4	-19,63	0,12	9,19	9,53
210	28,4	74,43	38,2	-17,47	-12,27	-14,6	-21,63	-20,03	0,09	9,19	9,53
225	28,27	73,8	38,2	-18,43	-12,77	-15,2	-22,5	-20,2	0,07	9,19	9,53
240	28,03	71,27	37,6	-18,73	-12,87	-15,4	-22,23	-20,03	0,07	8,73	9,07
255	27,3	69,47	37,8	-19,5	-13,3	-15,8	-22,9	-20,3	0,07	8,73	9,07
270	26,83	70,1	38	-19,57	-13,47	-15,9	-23,07	-21,03	0,07	8,73	9,07
285	26,43	69,77	38,2	-19,57	-13,83	-16,4	-23,27	-21,1	0,07	8,50	8,84
300	26,17	69,27	37,8	-20,03	-14,3	-16,5	-23,73	-21,63	0,07	8,27	8,61
315	26,17	68,67	38,1	-20,6	-14,43	-17	-24,17	-22	0,07	8,27	8,61
330	26,43	68,07	37,7	-20,63	-14,9	-17,2	-24,23	-21,93	0,07	8,27	8,61
345	26,17	68,23	38,1	-20,8	-15,07	-17,5	-24,63	-22,3	0,07	8,27	8,61
360	26,13	67,3	37,9	-20,67	-15,07	-17,6	-24,63	-22,17	0,07	8,27	8,61

D. Temperatur Kondensor Variasi Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 1 mm

Waktu	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{5a}	T_{5b}	T_6	T_7	P_1	P_2	P_3
0	32,1	34,93	29,67	29,8	30,37	29,4	29,6	29,37	3,45	3,45	3,45
15	31,93	67,73	44,87	-4,63	4,6	3,23	-11,3	-2,433	0,6	10,7	11,25
30	29,83	71,33	41,23	-9,5	-2,63	-4,6	-16	-9,2	0,37	10,4	11,02
45	29,77	73,7	40,53	-12,83	-6,47	-9	-17,9	-12,77	0,23	10,2	10,68
60	28,9	74,07	39,27	-13,87	-8,8	-11,37	-19,63	-15,4	0,18	10,1	10,45
75	30	75,1	40,8	-14,23	-9,73	-11,87	-19,9	-15,87	0,16	9,99	10,45
90	30,5	76,6	40,43	-14,87	-10,33	-12,27	-20,53	-15,93	0,14	10,2	10,68
105	30,23	77,53	40,93	-15	-10,43	-12,9	-20,57	-16,53	0,14	10,2	10,68
120	29,63	77,5	40,37	-15,57	-10,93	-13,3	-20,6	-16,9	0,14	10,2	10,79
135	29,67	75,3	41,5	-16,4	-11,13	-13,97	-21,27	-17,23	0,14	9,88	10,34
150	29,4	76,57	42,3	-16,57	-11,23	-13,6	-21,6	-17,47	0,11	9,76	10,34
165	29,97	76,6	43	-16,4	-11,43	-13,77	-22	-17,93	0,09	9,88	10,34
180	29,87	75,73	43,4	-16,53	-11,53	-14,17	-21,57	-17,9	0,09	9,99	10,34
195	30,3	76,83	43,3	-15,67	-11,2	-13,8	-21,03	-17,33	0,09	9,99	10,22
210	29,93	77,73	43	-15,4	-11,03	-14	-21,57	-17,53	0,09	9,99	10,34
225	29,87	77,37	42,8	-15,93	-11,4	-14,3	-21,8	-17,93	0,07	9,88	10,22
240	29,5	77,63	42,9	-15,67	-11,23	-13,63	-21,13	-17,13	0,07	9,76	10,22
255	29,43	76,97	42,4	-15,73	-11,1	-13,6	-21,17	-17,07	0,07	9,76	9,99
270	29,4	76,3	42,3	-16,53	-11,23	-14,1	-21,83	-18	0,07	9,88	10,11
285	29,4	76,97	41,8	-16	-11,47	-14,33	-22,1	-18,23	0,07	9,88	10,11
300	28,77	76,2	41,6	-16,23	-11,87	-14,93	-22,4	-18,3	0,07	9,76	9,99
315	28,07	75,07	41,6	-16,5	-12,1	-15,2	-22,9	-18,53	0,07	9,42	9,76
330	27,73	74,33	41,8	-17,23	-12,57	-15,97	-23,33	-18,83	0,07	9,42	9,65
345	27,03	75,27	41,4	-17,83	-12,83	-16,23	-23,83	-19,27	0,07	9,53	9,76
360	27,37	75	41,4	-18,47	-13,17	-16,53	-24,3	-19,63	0,07	9,42	9,65

E. Temperatur Kondensor Standar

Waktu	T_1	T_2	T_3	T_4	T_{5a}	T_{5b}	T_6	T_7	P_1	P_2	P_3
0	32,33	35,33	29,57	26,93	23,13	22,5	23,13	22,33	3,45	3,45	3,45
15	31,67	61,03	43,07	-2,13	2,43	2	-11,1	-0,77	0,55	10,79	11,25
30	30,07	65,9	40,5	-10,8	-3,6	-5,7	-16,13	-9,37	0,39	10,56	10,91
45	29,57	69,07	40,2	-12,73	-7,17	-9,567	-18,43	-13,07	0,25	9,88	10,79
60	29,37	70,5	39,2	-14,43	-8,33	-11,47	-20,3	-15,13	0,25	9,88	10,22
75	29,43	71,03	39,03	-15,63	-10,9	-12,83	-20,53	-16,57	0,12	9,53	9,88
90	29,6	72	38,27	-16,7	-11,43	-13,27	-21,17	-17,07	0,12	9,30	9,65
105	29,27	72,93	38,2	-16,73	-11,77	-14,23	-21,47	-17,27	0,12	9,19	9,53
120	29,27	74	38,63	-16,77	-11,33	-13,7	-21,23	-17,27	0,12	9,19	9,53
135	29,27	73,67	38,5	-16,53	-11,83	-13,9	-21,57	-17,73	0,12	9,30	9,65
150	28,8	71,9	37,37	-17,27	-12	-14,4	-22,13	-18,10	0,12	9,19	9,53
165	29,17	73,03	38,23	-17,1	-12,03	-14,2	-21,87	-17,63	0,12	9,42	9,76
180	28	72,17	36,47	-18,43	-12,77	-14,83	-22,07	-18,53	0,12	9,30	9,76
195	28,07	71	36,73	-18	-13,13	-15	-22,77	-19,1	0,07	9,19	9,53
210	28,07	71,43	36,43	-18,1	-13,13	-15,33	-23,13	-19,3	0,07	8,96	9,30
225	28,2	71,07	36,67	-17,8	-13,4	-15,37	-22,87	-19,17	0,07	9,19	9,53
240	28,37	71,63	37,13	-18,03	-13,5	-15,17	-22,50	-19,03	0,07	9,07	9,42
255	28	69,93	36,8	-18,4	-13,1	-15,4	-22,90	-18,93	0,07	8,84	9,19
270	27,2	69,63	36,5	-19,2	-13,87	-15,73	-23,20	-19,67	0,07	8,84	9,19
285	27,1	68,7	36,3	-18,73	-13,57	-15,6	-22,97	-19,17	0,07	8,84	9,19
300	27,3	68,53	36,3	-19,87	-14,03	-16,33	-23,83	-19,93	0,07	8,84	9,19
315	27,27	68,9	35,8	-19,17	-13,9	-15,83	-23,47	-19,73	0,07	8,73	9,07
330	26,87	68	35,6	-19,37	-14	-15,97	-23,67	-19,73	0,07	8,50	8,84
345	26,27	67,83	35,6	-19,47	-14,3	-16,47	-23,63	-20	0,07	8,50	8,84
360	26,13	67,83	34,8	-19,7	-14,5	-16,3	-23,87	-19,73	0,07	8,50	8,84

LAMPIRAN B. NILAI ENTALPI PROPANA DAN BUTANA

A. Nilai Entalpi Propana dan Butana pada Kondensor Variasi Jarak *Fin* 5 mm

Berdiameter 2 mm

h_1	h_2	h_3	h_4	h_{5a}	h_{5b}	h_6	h_7
631,28	630,45	275,06	274,17	272,27	270,47	271,63	270,56
650,95	658,19	321,51	198,61	209,52	204,58	181,11	193,9
645,4	674,08	312,28	180,87	192,37	185,28	165,58	172,84
644,49	680,02	309,42	164,71	182,79	177,13	159,53	165,97
643,58	685,85	306,01	165,11	178,32	170,39	155,3	159,13
642,44	685,47	302,99	162,35	174,12	168,8	151,33	156,08
641,9	687,35	300,25	162,11	171,64	165,01	148,84	153,83
640,76	686,05	298,4	159,69	169,67	163,53	147,99	151,09
640,7	682,36	298,57	158,82	168,32	162,89	146,27	149,46
640,65	682,36	298,57	157,95	167,54	161,81	145,27	148,06
641,04	682,95	295,61	244,29	167,38	161,81	146,97	148,76
640,58	683,03	297,45	156,08	167,78	161,24	146,51	148,99
640,75	684,16	285,71	156,08	166,76	161,01	146,13	148,68
640,65	685,97	284,06	155,61	167,14	160,4	145,03	148,92
641,94	680,14	283,24	155,54	167,47	160,87	145,5	148,37
640,89	680,75	282,42	156,02	166,83	160,7	145,27	148,37
640,99	678,94	281,05	153,2	166,83	160,23	145,03	147,67
640,82	679,16	281,32	153,03	166,36	160,23	145,19	147,28
640,55	681,79	279,41	153,9	165,58	158,99	144,5	146,51
639,98	680,81	278,59	154,67	165,58	160,7	144,5	146,74
640,21	683,09	277,23	155,77	164,79	160,7	144,5	147,83
639,87	684,07	275,33	157,01	166,12	159,93	144,34	147,76
639,32	681,8	274,52	156,64	164,47	158,42	143,56	147,13
639,27	681,53	273,17	156,94	164,94	159,29	144,41	147,13
639,61	683,13	273,17	157,34	164,4	159,29	144,88	147,52

h1	h2	h3	h4	h5a	h5b	h6	h7
620,91	620,05	269,57	268,77	267,07	265,45	266,49	265,53
644,97	636,67	310,37	198,66	190,89	204,4	181,64	194,11
639,43	646,56	302,38	181,4	192,62	185,72	166,29	173,49
638,67	656,08	299,9	165,42	183,29	177,72	160,25	166,67
637,84	663,23	296,92	162,82	178,9	171,06	156,02	159,85
636,79	664,56	294,28	163,07	174,75	169,48	152,02	156,8
636,29	667,48	291,88	162,03	172,31	165,72	149,51	154,53
635,14	666,3	290,26	160,41	170,35	164,24	148,66	151,79
635,18	662,96	290,4	159,94	169,01	163,61	146,93	150,14
635,13	662,89	290,4	158,67	168,24	162,53	145,91	148,73
635,33	663,33	287,8	158,6	168,07	162,53	147,63	149,43
635,06	660,56	289,42	156,79	168,47	161,96	147,16	149,67
635,24	665,28	279,06	156,79	167,46	161,73	146,77	149,36
635,13	667,22	277,59	156,32	167,84	161,12	145,67	149,6
636,45	660,73	276,86	156,25	168,17	161,59	146,14	149,03
635,4	661,66	275,16	156,72	167,53	161,42	145,91	149,03
635,51	659,64	274,91	153,9	167,53	160,95	145,67	148,34
635,34	659,63	275,16	153,74	167,06	160,95	145,84	147,95
635,06	662,82	273,45	154,61	166,29	159,71	145,13	147,16
634,47	661,73	272,72	155,38	166,29	160,79	145,2	147,4
634,71	664,27	271,51	156,49	165,65	160,79	145,13	148,49
634,37	665,36	269,81	157,73	166,83	160,25	144,97	148,42
633,83	660,32	269,08	157,36	165,18	159,14	144,18	147,79
633,78	660,01	267,87	157,66	165,55	160,01	145,04	147,79
634,13	661,84	267,87	158,06	165,11	160,01	145,51	148,18

B. Nilai Entalpi Propana dan Butana pada Kondensor Variasi Jarak *Fin* 5 mm
Berdiameter 1 mm

h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h _{5a}	h _{5b}	h ₆	h ₇
631,16	634,58	276,69	268,13	266,79	275,15	266,35	267,06
644,83	663,46	308,56	188,26	208,37	203,6	177,84	192,2
641,91	668,95	302,14	176,02	195,53	189,3	165,58	178,89
641,96	676,07	301,86	168,73	183,67	177,13	157,96	170,62
641,13	676,34	298,29	166,44	180,32	173,88	155,07	164,78
641,95	681,7	299,89	164,55	176,33	171,03	152,89	160,78
641,21	684,95	297,93	162,66	174,59	169,6	152,19	159,53
641,33	682,22	296,9	161,64	172,76	167,78	151,72	158,52
641,28	683,18	297,45	160,7	172,36	167,61	151,26	156,55
641,84	682,74	300,54	161,01	172,6	166,83	150,86	156,31
641,84	685,43	298,49	160,54	171,57	166,12	150,7	156,94
641,48	685,26	299,8	160,31	172,12	166,67	150,63	157,02
642,39	685,88	295,13	159,6	172,6	166,67	150,32	157,58
639,9	683,76	291,79	157,26	170,86	165,42	149,69	156,16
638,77	681,29	291,51	156,94	171,03	164,87	149,39	156,24
639,22	679,85	285,99	156,47	169,37	163,92	148,92	154,76
639,67	680,4	285,44	157,57	171,1	165,02	149,3	155,94
639,17	679,79	284,06	155,95	170,08	165,11	149,46	156,31
639,27	678,75	282,69	155,47	168,66	163,53	149,07	155,61
639,39	678,41	281,32	155,54	169,51	163,61	149,62	156,31
639,39	680,24	280,5	156,08	169,44	164	148,69	155,14
639,27	677,24	278,87	154,21	168,96	163,84	148,46	154,6
638,43	679,31	277,78	155,07	169,04	162,9	147,44	155,3
637,42	676,48	277,78	154,76	167,71	161,95	146,59	153,51
636,52	676,55	276,69	153,51	166,6	161,95	146,74	153,36

h1	h2	h3	h4	h5a	h5b	h6	h7
620,79	624,37	271,02	263,35	262,15	269,65	261,75	262,39
638,92	641,41	299,15	188,62	208,02	203,46	178,43	192,46
636,22	649,54	293,54	176,63	195,68	189,64	166,36	179,45
636,28	657,75	293,29	169,41	184,15	177,72	158,68	171,29
635,46	658,3	290,16	167,14	180,96	174,52	165,49	165,49
636,35	664,88	291,56	165,26	176,94	171,69	161,5	161,5
635,7	668,65	289,84	163,38	175,22	170,28	160,25	160,25
635,85	668,65	288,93	162,36	173,41	168,47	159,24	159,24
635,8	666,73	289,42	161,42	173,02	168,32	157,27	157,27
636,37	665,8	292,13	161,73	173,25	167,53	157,03	157,03
636,37	669,17	290,33	161,26	173,23	166,83	157,66	157,66
636,05	668,55	291,48	161,03	172,78	167,38	157,74	157,74
636,97	669,22	287,38	160,32	173,25	167,38	158,29	158,3
634,45	666,92	284,4	157,97	171,53	166,12	156,89	156,89
633,3	664,44	284,19	157,66	171,69	165,58	156,96	156,96
633,76	662,88	279,3	157,19	170,05	164,64	155,48	155,48
634,22	663,48	278,81	158,29	171,76	165,73	156,65	156,65
633,7	662,81	277,59	156,56	170,75	165,82	157,03	157,03
633,82	662,13	276,37	156,18	169,34	164,24	156,32	156,32
633,93	661,76	275,16	156,25	170,19	164,32	157,03	157,03
633,93	663,75	274,43	156,8	170,12	164,71	155,85	155,85
633,82	660,94	272,97	154,92	169,65	164,56	155,31	155,31
632,96	663,62	272	155,78	169,73	163,62	156,02	156,02
631,92	660,56	272	155,48	168,4	162,68	154,21	154,21
631,02	660,63	271,02	154,21	167,3	162,68	154,07	154,07

C. Nilai Entalpi Propana dan Butana pada Kondensor Variasi Jarak *Fin* 10
mm Berdiameter 2 mm

h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h _{5a}	h _{5b}	h ₆	h ₇
632,96	634,58	275,06	272,21	268,67	266,17	267,87	269,39
644,48	663,43	313,22	193,74	210,1	205,72	183,43	195,2
640,55	678,09	310,65	179,44	195,44	190,19	170,39	177,36
640,71	686,49	306,1	169,36	184,88	178,96	161,41	168,17
641,16	690,16	304,4	164,71	179,12	174,5	156,79	163,13
640,75	693,58	301,58	163,13	176,02	169,6	153,59	159,37
640,48	695,91	295,69	159,21	172,05	166,52	151,72	157,34
640,41	698,81	296,63	159,29	171,65	166,29	151,49	157,26
640,92	700,4	298,77	160	170,62	166,29	150,63	155,94
640,31	701,02	297,09	159,13	170,15	163,93	149,54	154,83
640,48	701,99	299,05	160,07	170,86	165,02	150,86	154,83
639,98	702,19	298,77	160,16	169,84	164,4	149,69	154,29
641,11	701,78	297,93	159,82	171,5	165,02	150,24	154,21
640,26	700,53	299,33	159,53	171,1	165,58	148,99	153,13
640	701,15	299,89	158,19	170,46	164,94	148,45	152,19
639,84	699,85	299,33	155,93	169,28	163,46	146,63	151,79
639,44	695,82	290,96	155,23	169,04	163,13	147,06	152,19
638,21	692,12	298,77	153,43	168,02	162,11	145,5	151,56
637,42	693,42	299,33	153,27	167,62	161,96	145,11	149,86
636,75	693,35	299,89	153,27	166,76	160,78	144,65	149,69
636,3	692,94	298,77	152,18	165,65	160,4	143,57	148,32
636,3	691,72	299,61	150,86	165,34	159,22	142,56	147,59
636,75	690,5	298,49	150,79	164,24	158,74	142,41	147,76
636,3	690,83	299,61	150,39	163,84	158,12	141,48	146,9
636,24	688,93	299,05	150,7	163,84	157,81	141,48	147,21

h1	h2	h3	h4	h5a	h5b	h6	h7
622,67	624,37	269,57	267,46	263,84	261,59	263,12	264,49
638,39	639,22	303,2	193,95	209,67	205,49	183,91	195,37
634,44	657,6	300,97	179,99	195,6	190,51	171,06	177,95
635,01	668,05	297	170,04	185,33	179,52	162,13	168,87
635,65	672,09	295,51	165,42	179,68	175,13	157,5	163,85
635,24	675,84	293,04	163,85	176,62	170,28	154,3	160,09
634,96	679,66	287,87	159,94	172,7	167,23	152,18	158,06
634,89	682,79	288,61	160,01	172,31	166,99	152,18	157,97
635,41	684,5	290,58	160,72	171,29	166,99	151,31	156,64
634,79	685,17	289,1	159,85	170,82	164,64	150,22	155,55
634,96	686,2	290,82	160,79	171,53	165,73	151,55	155,55
634,47	686,43	290,58	160,88	170,52	165,11	150,37	155,01
635,63	685,89	289,84	160,56	172,16	165,73	150,92	154,92
634,77	684,64	291,07	160,25	171,76	166,29	149,67	153,82
634,52	685,31	291,56	158,91	171,14	165,65	149,13	152,89
634,39	683,91	291,07	156,65	169,96	164,17	147,08	152,49
633,98	680,35	290,08	155,95	169,73	163,85	147,71	152,89
632,73	676,4	290,58	154,14	168,71	162,83	146,14	152,26
631,92	677,79	291,07	153,98	168,32	162,68	145,75	150,54
631,24	678,12	291,56	153,98	167,46	161,49	145,28	150,37
630,79	678,07	290,58	152,89	166,36	161,11	144,19	149,12
630,79	676,76	291,32	151,55	166,05	159,93	143,16	148,26
631,24	675,45	290,33	151,48	164,95	159,46	143,01	148,42
630,79	675,81	291,32	151,08	164,56	158,84	142,07	147,55
630,73	673,77	290,82	151,39	164,56	158,53	142,07	147,87

D. Nilai Entalpi Propana dan Butana pada Kondensor Variasi Jarak *Fin* 10
mm Berdiameter 1 mm

h1	h2	h3	h4	h5a	h5b	h6	h7
635,72	640,84	276,42	276,69	278,24	275,6	276,15	275,52
644,47	683,09	318,98	188,73	211,34	207,95	172,76	194,07
641,58	691,3	308,37	177,05	193,58	188,81	161,64	177,76
641,9	696,91	306,38	169,12	184,31	178,24	157,18	169,44
640,56	697,97	302,99	166,68	178,72	172,59	153,13	163,06
642,5	700,45	307,23	165,81	176,49	171,41	152,49	161,95
643,42	703,01	306,1	164,31	175,07	170,46	151,02	161,81
642,96	704,97	307,52	164	174,83	168,96	150,93	160,4
641,94	704,9	306,1	162,66	173,64	168,02	150,86	159,53
642,01	701,18	302,42	160,7	173,16	166,43	149,3	158,75
641,62	704,12	302,14	160,31	172,93	167,31	148,53	158,19
642,66	703,9	302,7	160,7	172,45	166,9	147,59	157,11
642,49	701,78	314,66	160,39	172,21	165,96	148,6	157,18
643,23	704,09	314,37	162,43	173	166,83	149,86	158,52
642,6	705,98	313,51	163,06	173,4	166,36	148,6	158,05
642,56	705,51	312,94	161,8	172,52	165,65	148,06	157,11
641,93	706,35	313,22	162,43	172,93	167,24	149,62	158,99
641,81	704,95	311,79	162,27	173,24	167,31	149,53	159,13
641,76	703,27	311,51	160,4	172,93	166,12	147,99	156,94
641,76	704,67	310,08	161,64	172,36	165,58	147,36	156,4
640,7	703,35	309,51	161,1	171,41	164,16	146,66	156,24
639,51	701,88	309,51	160,47	170,86	163,53	145,5	155,7
638,94	700,34	310,08	158,74	169,75	161,71	144,5	155
637,75	702,01	308,94	157,34	169,13	161,1	143,34	153,97
638,33	701,74	308,94	155,85	168,32	160,4	142,25	153,13

h1	h2	h3	h4	h5a	h5b	h6	h7
625,56	630,9	270,78	271,02	272,41	270,05	270,54	269,94
638,48	662,42	308,19	189,1	210,85	207,62	173,41	194,27
635,81	663,71	298,98	177,64	193,8	189,01	162,36	178,35
636,29	678,81	297,24	169,81	184,78	178,82	157,9	169,95
634,99	680,21	294,28	167,37	179,29	173,25	153,9	163,77
636,99	683,12	297,99	166,52	177,1	172,02	153,2	162,67
637,95	685,47	297	165,02	175,69	171,13	151,79	162,53
637,48	687,61	298,24	164,71	175,46	169,65	151,55	161,12
636,45	687,53	297	163,37	174,28	168,71	151,55	160,25
636,41	684,11	293,78	161,42	173,81	167,13	149,9	159,47
636,15	687,51	293,54	161,02	173,57	168	149,2	158,91
637,23	687,97	294,03	161,42	173,1	167,5	148,26	157,83
637,06	684,56	304,45	161,12	172,87	166,66	149,2	157,9
637,8	687,07	304,2	163,14	173,65	167,53	150,61	159,24
637,16	689,12	303,45	163,77	174,04	167,06	149,2	158,77
637,15	688,81	302,95	162,53	173,18	166,36	150,37	157,83
636,51	689,92	303,2	163,14	173,57	167,93	150,37	159,71
636,39	688,42	301,96	163	173,88	168	150,14	159,85
636,34	686,39	301,71	161,12	173,57	166,83	148,73	157,66
636,34	687,9	300,47	162,36	173,01	166,29	148,02	157,12
635,26	686,68	299,97	161,82	172,07	164,88	147,32	156,96
634,05	685,7	299,97	161,19	171,53	164,24	146,14	156,42
633,47	684,04	300,47	159,47	170,42	162,43	145,2	155,71
632,27	685,63	299,48	158,06	169,81	161,82	144,03	154,68
632,85	685,55	299,48	156,56	169,01	161,12	142,85	153,83

E. Nilai Entalpi Propana dan Butana pada Kondensor Standar

h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h _{5a}	h _{5b}	h ₆	h ₇
636,13	641,56	276,15	268,93	258,79	257,13	258,79	256,68
644,16	668,68	313,8	194,79	205,98	204,91	173,24	198,12
641,91	679,58	306,38	173,95	191,23	186,16	161,34	177,36
641,49	688,16	305,53	169,36	182,63	176,89	155,94	168,57
641,14	691,14	302,7	165,34	179,84	179,84	151,56	163,69
641,67	693,19	302,14	162,51	173,71	169,12	151,02	160,31
641,96	695,81	300,17	160	172,44	168,09	148,6	159,13
641,4	698,05	299,89	159,93	171,65	165,81	148,84	158,66
641,4	700,26	301,01	159,84	172,69	167,07	149,16	158,66
641,4	699,28	300,73	160,4	171,5	166,6	148,6	157,57
640,6	695,91	297,65	158,66	171,1	165,42	147,29	156,71
641,23	697,64	299,89	159,06	171,03	165,89	147,9	157,81
639,25	696,16	295,13	155,93	169,28	164,39	147,44	155,7
639,49	694,05	295,69	156,94	168,41	164	145,81	154,37
639,49	695,55	294,85	156,71	168,41	163,22	144,96	153,9
639,73	694,19	295,69	157,41	167,78	163,13	145,58	154,21
640,01	695,66	296,81	156,87	167,54	163,61	146,43	154,53
639,39	692,76	295,97	156,01	168,49	163,06	145,5	154,76
638,04	692,15	295,13	154,13	166,67	162,28	144,8	153,03
637,87	690,24	294,57	155,23	167,38	162,58	145,34	154,21
638,21	689,89	294,57	152,27	166,28	160,94	143,33	152,42
638,15	690,96	293,18	154,21	166,6	162,04	144,18	152,89
637,48	689,74	292,63	153,74	166,36	161,72	143,71	152,89
636,47	689,4	292,63	153,51	165,65	160,54	143,8	152,26
636,24	689,4	290,41	152,96	165,18	160,94	143,25	152,89

h1	h2	h3	h4	h5a	h5b	h6	h7
625,99	631,65	270,54	264,08	254,93	253,41	254,93	253
638,22	645,46	303,7	194,98	205,73	204,71	173,88	198,19
636,12	658,72	297,24	174,59	191,52	186,56	186,58	177,95
635,84	669,88	296,5	170,05	183,13	177,5	156,65	169,26
635,5	673,13	294,03	166,05	180,39	173,02	152,26	164,4
636,2	676,08	293,54	163,23	174,35	169,81	151,71	161,03
636,49	679,35	291,81	160,72	173,1	168,79	150,22	159,85
635,92	681,96	291,56	160,65	172,31	166,52	149,51	159,38
635,92	684,35	292,55	160,56	173,34	167,77	150,07	159,38
635,92	683,08	292,3	161,12	172,12	167,3	149,28	158,29
635,11	679,66	289,59	159,38	171,76	166,12	147,95	157,43
635,74	681,13	291,56	159,78	171,69	166,59	148,57	158,53
633,73	679,72	287,38	156,64	169,96	165,11	148,1	156,42
634,05	677,65	287,87	157,66	169,1	164,71	146,46	155,08
634,05	679,68	287,14	157,43	169,1	163,94	145,59	154,61
634,28	677,8	287,87	158,13	168,47	163,85	146,22	154,92
634,56	679,59	288,85	157,58	168,24	164,32	147,08	155,24
633,93	676,89	288,12	156,72	169,18	163,77	146,14	155,47
632,56	676,23	287,38	154,84	167,38	162,99	145,44	153,47
632,39	674,16	286,89	155,95	168,08	163,3	145,99	154,92
632,72	673,79	286,89	153,27	166,99	161,66	143,95	153,12
632,67	675,14	285,66	154,92	167,3	162,76	144,81	153,6
631,99	674,24	285,17	154,45	167,06	162,44	144,33	153,6
630,96	673,87	285,17	154,21	166,36	161,26	144,43	152,96
630,73	673,87	283,21	153,67	165,89	161,66	143,87	153,6

LAMPIRAN C. CONTOH PERHITUNGAN

Prosedur perhitungan prestasi mesin pendingin dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama, data hasil pengujian diolah menggunakan aplikasi *coolpack* sehingga diketahui diagram P-H dan dapat diketahui nilai entalpi pada setiap titiknya,

Refrigeran yang digunakan dalam pengujian ini adalah LPG, sehingga perhitungan tidak dapat dilakukan secara langsung karena LPG terdiri dari 2 jenis molekul yaitu propana dan butana. Perhitungan dapat dilakukan dengan cara menambah entalpi kedua molekul tersebut dan kemudian dibagi dua. Contoh perhitungan dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

$$\text{Entalpi (h)} = (h_{\text{propana}} + h_{\text{butana}}) / 2$$

Pada menit ke- 180 variasi kondensor jarak fin 5 mm berdiameter 2 mm

a. Dampak Refrigerasi :

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 638 - 156,44 \\ &= 481,56 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

b. Kerja Kompresor

$$\begin{aligned} w &= h_2 - h_1 \\ &= 674,72 - 638 \\ &= 36,73 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

c. Laju Aliran Massa

$$\begin{aligned} m &= \frac{V \times I / 1000}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{220 \times 0,6 / 1000}{36,725} \\ &= 0,004 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

d. Kapasitas Refrigerasi

$$\begin{aligned} Q &= q_e \times m \\ &= 481,56 \times 0,00359 \\ &= 1,73 \text{ kW} \end{aligned}$$

e. Pelepasan Kalor

$$\begin{aligned}\text{Pelepasan Kalor} &= h_2 - h_3 \\ &= 674,72 - 282,39 \\ &= 392,33 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

f. RPK (Rasio Pelepasan Kalor)

$$\begin{aligned}\text{RPK} &= (h_2 - h_3) / (h_1 - h_4) \\ &= \frac{395,77}{481,93} \\ &= 0,82\end{aligned}$$

g. COP (*Coefficient of Performance*)

$$\begin{aligned}\text{COP} &= \frac{q_e}{w} \\ &= \frac{481,56}{36,73} \\ &= 13,11\end{aligned}$$

LAMPIRAN D. NILAI DAMPAK REFRIGERASI, KERJA KOMPRESOR, LAJU ALIRAN MASSA, KAPASITAS REFRIGERASI, DAN COP (*COEFFICIENT OF PERFORMANCE*)

A. Kondensor Variasi Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 2 mm

Waktu	Dampak Refrigerasi	Kerja Kompresi	Laju Aliran Massa	Kapasitas Refrigerasi	COP
180	481,56	36,73	0,004	1,73	13,11
195	481,93	38,71	0,003	1,64	12,45
210	483,3	31,24	0,004	2,04	15,47
225	481,78	33,06	0,004	1,92	14,57
240	484,7	31,04	0,004	2,06	15,62
255	484,70	31,32	0,004	2,04	15,48
270	483,55	34,5	0,004	1,85	14,02
285	482,2	34,05	0,004	1,87	14,16
300	481,33	36,22	0,004	1,75	13,29
315	479,75	37,59	0,004	1,68	12,76
330	479,58	34,49	0,004	1,84	13,91
345	479,23	34,25	0,004	1,85	13,99
360	479,17	35,62	0,004	1,78	13,45

Rata-rata Dampak Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 481,75 kJ/kg

Rata-rata Kerja Kompresi pada saat *steady state* adalah 34,52 kJ/kg

Rata-rata laju aliran massa pada saat *steady state* adalah 0,004 kg/s

Rata-rata Kapasitas Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 1,85 kW

Rata-rata COP pada saat *steady state* adalah 14,02

B. Kondensor Variasi Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 1 mm

Waktu	Dampak Refrigerasi	Kerja Kompresi	Laju Aliran Massa	Kapasitas Refrigerasi	COP
180	479,72	37,87	0,003	1,67	12,67
195	479,56	38,17	0,003	1,66	12,57
210	478,74	36,83	0,004	1,72	13
225	479,66	34,88	0,004	1,82	13,75
240	479,02	34,99	0,004	1,81	13,69
255	480,18	34,87	0,004	1,82	13,77
270	480,72	33,90	0,004	1,87	14,18
285	480,77	33,43	0,004	1,90	14,38
300	480,22	35,34	0,004	1,79	13,59
315	481,98	32,55	0,004	1,96	14,81
330	480,27	35,77	0,004	1,77	13,43
345	479,55	33,85	0,004	1,87	14,17
360	479,91	34,82	0,004	1,82	13,78

Rata-rata Dampak Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 480,02 kJ/kg

Rata-rata Kerja Kompresi pada saat *steady state* adalah 35,17 kJ/kg

Rata-rata laju aliran massa pada saat *steady state* adalah 0,004 kg/s

Rata-rata Kapasitas Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 1,81 kW

Rata-rata COP pada saat *steady state* adalah 13,68

C. Kondensor Variasi Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 2 mm

Waktu	Dampak Refrigerasi	Kerja Kompresi	Laju Aliran Massa	Kapasitas Refrigerasi	COP
180	478,18	51,45	0,002	1,14	8,62
195	477,63	49,08	0,002	1,15	8,67
210	478,71	50,85	0,002	1,13	8,55
225	480,83	48,99	0,002	1,16	8,78
240	481,12	50,34	0,003	1,24	9,37
255	481,69	48,17	0,003	1,30	9,87
270	481,05	48,89	0,003	1,25	9,44
285	480,37	47,07	0,003	1,23	9,28
300	481,01	46,38	0,003	1,22	9,26
315	482,34	47,64	0,003	1,26	9,51
330	482,86	47,26	0,003	1,30	9,86
345	482,81	47,92	0,003	1,28	9,70
360	482,44	48,15	0,003	1,33	10,08

Rata-rata Dampak Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 480,85 kJ/kg

Rata-rata Kerja Kompresi pada saat *steady state* adalah 51,80 kJ/kg

Rata-rata laju aliran massa pada saat *steady state* adalah 0,003 kg/s

Rata-rata Kapasitas Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 1,23 kW

Rata-rata COP pada saat *steady state* adalah 9,31

D. Kondensor Variasi Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 1 mm

Waktu	Dampak Refrigerasi	Kerja Kompresi	Laju Aliran Massa	Kapasitas Refrigerasi	COP
180	479,02	53,40	0,002	1,18	8,97
195	477,73	55,07	0,002	1,15	8,68
210	476,47	57,67	0,002	1,09	8,26
225	477,69	57,31	0,002	1,10	8,33
240	476,44	58,92	0,002	1,07	8,09
255	476,47	57,59	0,002	1,09	8,27
270	478,29	55,78	0,002	1,13	8,58
285	477,05	57,24	0,002	1,1	8,34
300	476,52	57,04	0,002	1,10	8,36
315	475,95	57,01	0,002	1,10	8,35
330	477,10	55,99	0,002	1,14	8,52
345	477,31	58,81	0,002	1,07	8,11
360	479,39	58,06	0,002	1,09	8,26

Rata-rata Dampak Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 477,32 kJ/kg

Rata-rata Kerja Kompresi pada saat *steady state* adalah 56,91 kJ/kg

Rata-rata laju aliran massa pada saat *steady state* adalah 0,002 kg/s

Rata-rata Kapasitas Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 1,11 kW

Rata-rata COP pada saat *steady state* adalah 8,39

E. Kondensor Standar

Waktu	Dampak Refrigerasi	Kerja Kompresi	Laju Aliran Massa	Kapasitas Refrigerasi	COP
180	480,21	51,45	0,003	1,23	9,33
195	479,47	49,08	0,003	1,29	9,77
210	479,7	50,85	0,003	1,25	9,44
225	479,24	48,99	0,003	1,29	9,78
240	480,06	50,34	0,003	1,26	9,54
255	480,29	48,17	0,003	1,32	9,97
270	480,82	48,89	0,003	1,30	9,84
285	479,54	47,07	0,003	1,35	10,19
300	482,69	46,38	0,003	1,37	10,41
315	480,85	47,64	0,003	1,33	10,09
330	480,64	47,25	0,003	1,34	10,17
345	479,86	47,92	0,003	1,32	10,01
360	480,17	48,15	0,003	1,32	9,97

Rata-rata Dampak Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 480,27 kJ/kg


Rata-rata Kerja Kompresi pada saat *steady state* adalah 48,62 kJ/kg

Rata-rata laju aliran massa pada saat *steady state* adalah 0,03 kg/s

Rata-rata Kapasitas Refrigerasi pada saat *steady state* adalah 1,31 kW

Rata-rata COP pada saat *steady state* adalah 9,88

LAMPIRAN E. SPESIFIKASI LPG (*LIQUIFIED PETROLEUM GAS*)

 **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.

Gambar 3.15 Spesifikasi LPG

LAMPIRAN F. GAMBAR PENELITIAN



Gambar 3.16 Kondensor Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 2 mm



Gambar 3.17 Kondensor Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 2 mm



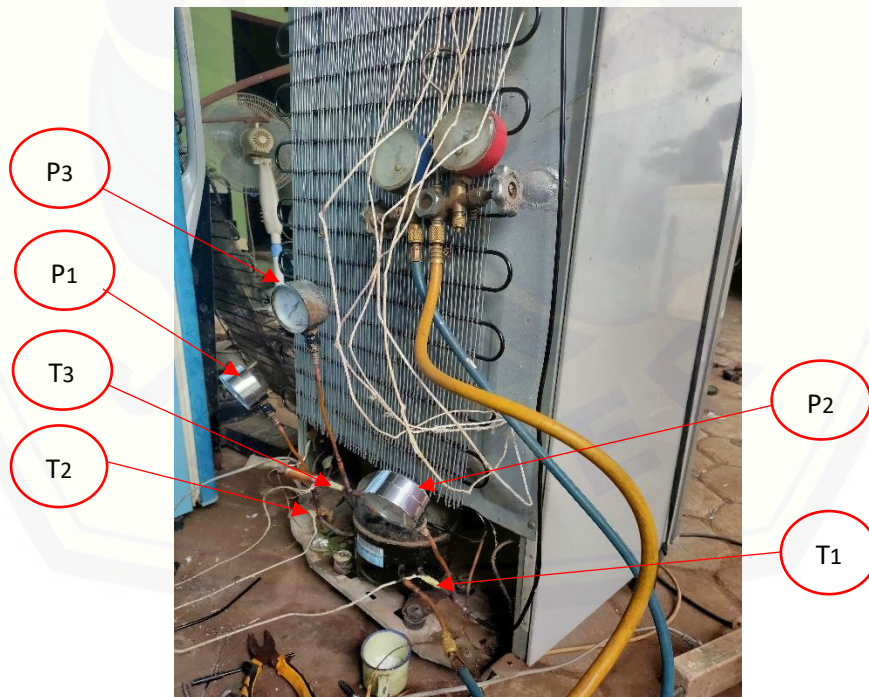
Gambar 3.18 Kondensor Jarak *Fin* 10 mm Berdiameter 1 mm



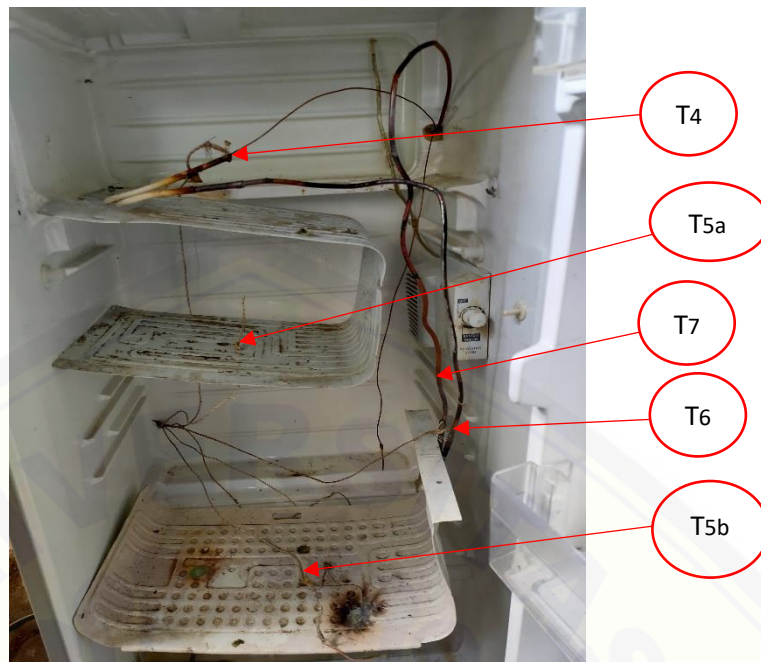
Gambar 3.19 Kondensor Jarak *Fin* 5 mm Berdiameter 1 mm



Gambar 3.20 Kondensor Standar



Gambar 3.21 Rangkaian Alat Penelitian



Gambar 3.22 Rangkaian Alat Penelitian