



**ANALISIS VARIASI JUMLAH PIPA U  
SEPARATION CONDENSER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN  
PENDINGIN MENGGUNAKAN *DOUBLE* EVAPORATOR**

**SKRIPSI**

Oleh

**Yossi Christanto  
NIM 151910101112**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**ANALISIS VARIASI JUMLAH PIPA U  
SEPARATION CONDENSER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN  
PENDINGIN MENGGUNAKAN *DOUBLE* EVAPORATOR**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Yossi Christanto  
NIM 151910101112**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rizki, nikmat, dan karuniaNya, serta kepada junjungan Nabi Muhammad SAW;
2. Ibunda Suryani dan Ayahanda Tulangen serta Kakak Janidya Christiani yang tercinta. Terimakasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, motivasi, nasihat dan segalanya yang senantiasa mengiringi setiap langkah perjuangan dan keberhasilan penulis;
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota, Ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, Bapak Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota, dan Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik;
4. Semua guru mulai dari guru TK, SD, SMP hingga SMA yang tidak kenal lelah menularkan ilmunya, membimbing serta memberikan arahan yang terbaik hingga ke jenjang perguruan tinggi;
5. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Dan seluruh pihak yang mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

**MOTO**

“Bertaqwalah kepada Allah, maka Dia akan membimbingmu. Sesungguhnya Allah mengetahui segala sesuatu”  
(Qs. Al Baqarah ayat 282)<sup>\*)</sup>

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan"  
(Asy Syarh ayat 5-6)<sup>1\*)</sup>

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya."  
(Qs. Al Baqarah ayat 286)<sup>\*\*\*)</sup>

---

<sup>\*)\*\*);\*\*\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Yossi Christanto

NIM : 151910101112

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Variasi Jumlah Pipa U *Separation Condenser* terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan *Double Evaporator*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 22 Februari 2019

Yang menyatakan,

Yossi Christanto

NIM 151910101112

**SKRIPSI**

**ANALISIS VARIASI JUMLAH PIPA U  
SEPARATION CONDENSER TERHADAP UNJUK KERJA MESIN  
PENDINGIN MENGGUNAKAN *DOUBLE* EVAPORATOR**

Oleh  
Yossi Christanto  
NIM 151910101112

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. R. Koekoeh K W., S.T., M.Eng.

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Variasi Jumlah Pipa U *Separation Condenser* terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan *Double Evaporator*” karya Yossi Christanto telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 28 Februari 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

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

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.

NIP 196707081994121001

NIP 196806171995011001

Penguji Utama,

Penguji Anggota,

Rika Dwi Hidayatul Q., S.T., M.T

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

NIP 760014642

NIP 197111141999031002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP 196612151995032001

## RINGKASAN

**Analisis Variasi Jumlah Pipa U *Separation Condenser* terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin menggunakan *Double Evaporator***; Yossi Christanto, 151910101112, 2019: 58 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Alat pendingin tidak hanya dapat dijumpai di industri-industri besar, tetapi hampir setiap orang saat ini memiliki alat pendingin di rumahnya. Kulkas merupakan salah satu jenis mesin pendingin. Kulkas mempunyai beberapa komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi atau kapiler, dan evaporator. *Separation condenser* adalah jenis kondensor dimana telah mengalami modifikasi pada model pemisah dua fasa. *Separation condenser* terbukti menghasilkan prestasi kerja mesin pendingin yang baik. Pada laju aliran massa yang sama, suhu keluar kondensor lebih rendah sebesar 1,3 K dalam *separation condenser* dibandingkan dengan *baseline condenser*. Laju aliran kondensat 6,1% lebih banyak juga dalam *separation condenser* (Li dan Hrnjak, 2017).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan beberapa jenis variasi antara *separation condenser 8/8*, *separation condenser 6/8*, *separation condenser 4/8* dan *baseline condenser*. Data yang diperoleh pada penelitian ini meliputi suhu dan tekanan. Pengambilan data dilakukan selama 180 menit dengan interval waktu 15 menit dan dengan 3 kali pengulangan pengambilan data pada setiap variasi penelitian dengan menunggu waktu *steady state* selama 3 jam.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa COP tertinggi terdapat pada rangkaian variasi *separation condenser 6/8* sebesar 18,8204; sedangkan nilai COP terendah terdapat pada rangkaian variasi menggunakan *baseline condenser* sebesar 16,0314. Hasil COP ini dipengaruhi oleh volume ruang sirkulasi *refrigerant* memiliki ruang yang cukup dan juga pada *separation condenser 6/8* terjadi pemisahan fasa antara fasa gas dan fasa cair sehingga *refrigerant* dapat terpisah sempurna.



## SUMMARY

**Analisis Variations U Pipe Of Separation Condensor To Refrigerator Performance Using Double Evaporator**; Yossi Christanto, 151910101112, 2019: 58 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Refrigerators can't only be found in large industries, but almost everyone now has refrigerators in his home. A refrigerator is a type of cooling machine. The refrigerator has several main components, namely a compressor, condenser, expansion device or capillary, and evaporator. Separation condenser is a type of condenser which has been modified in a two phase separator model. Separation condenser is proven to produce good cooling machine good performance. At the same mass flow rate, the condenser outlet temperature is lower 1.3 K in the separation condenser compared to the condenser baseline. More 6.1% condensate flow rates are also in the separation condenser (Li dan Hrnjak, 2017).

This study uses an experimental method by comparing several types of variations between separation condenser 8/8, separation condenser 6/8, separation condenser 4/8 and condenser baseline. The data obtained in this study include temperature and pressure. Data retrieval was carried out for 180 minutes with an interval of 15 minutes and with 3 repetitions of data retrieval in each variation of the study by waiting for the steady state time for 3 hours.

The results of the study found that the highest COP was found in the 6/8 condenser separation series of 18.8204; while the lowest COP value is found in a series of variations using a condenser baseline of 16.0314. The COP results are influenced by the circulating volume of the refrigerant having sufficient space and also at the 6/8 separation condenser there is a phase separation between the gas phase and the liquid phase so that the refrigerant can be completely separated.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Jumlah Pipa U *Separation Condenser* terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan *Double Evaporator*”. 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 terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rizki, nikmat, dan hidayahNya yang telah diberikan, serta kepada junjunganku Nabi Muhammad SAW;
2. Ibunda Suryani dan Ayahanda Tulangen, terima kasih atas pengorbanan, kasih sayang, nasihat, dukungan, materi, dan segalanya yang senantiasa mengiringi setiap langkah perjuangan dan keberhasilan penulis;
3. Kakak saya Janidya Christiani yang telah memberikan doa, nasihat dan semangat kepada penulis;
4. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah M. UM. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
5. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara B., S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
6. Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama, Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi ini sehingga dapat terlaksana dengan baik;
7. Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota, terimakasih atas saran dan kritiknya;
8. Sumarji, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah;

9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis;
10. Saudara-saudaraku seperjuangan Teknik Mesin 2015 (M'17) yang telah memberikan doa, dukungan, kontribusi, ide dan kritikan;
11. Kontrakan P.B Sudirman 94 Aria Dwi Narendra, Salman Al Farisi, Indra GL Setiawan, Robi Subastian, dan Ardy Wahyu Pratama yang selalu bersama dalam duka (tidak pernah senang).
12. Tim “Sedingin Sikapnya Padaku” Ardila Dwi Tresna, Fika Nashirotul Millah, dan William Prizkiabi yang saling memotivasi dalam menyelesaikan penulisan skripsi dan selalu menemani mulai dari pembuatan alat hingga pengambilan data dari malam hingga pagi;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

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

Jember, Maret 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Permasalahan</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat</b> .....	4
1.3.1 Tujuan.....	4
1.3.2 Manfaat.....	5
<b>1.4 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
<b>2.1 Refrigerant</b> .....	7
2.1.1 Jenis <i>Refrigerant</i> .....	7
<b>2.2 Komponen Utama</b> .....	11
2.2.1 Kompresor.....	11
2.2.2 Kondensor.....	13
2.2.3 Alat Ekspansi.....	15
2.2.4 Evaporator.....	16
<b>2.3 Komponen Pendukung</b> .....	17

2.4	Siklus Refrigerasi .....	19
2.5	Siklus Kompresi Uap Ideal.....	19
2.6	Siklus Kompresi Uap Aktual .....	22
2.6	<i>Separation Condenser</i> .....	23
2.6	Hipotesis .....	25
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		26
3.1	Metode .....	26
3.2	Waktu dan Tempat .....	26
3.3	Alat dan Bahan .....	26
3.3.1	Alat Penelitian.....	26
3.3.2	Bahan Penelitian.....	28
3.4.	Variabel Penelitian.....	28
3.5	Prosedur Penelitian.....	32
3.5.1	Persiapan Alat.....	32
3.5.2	Pemeriksaan Alat.....	33
3.5.3	Pengambilan Data.....	33
3.5.4	Pengolahan Data.....	34
3.6	Skema Alat .....	35
3.7	Diagram Alir.....	37
3.8	Tabel Kegiatan .....	38
<b>BAB 4. PEMBAHASAN .....</b>		39
4.1	Data Hasil Percobaan .....	39
4.1.1	<i>Baseline</i> Kondensor.....	39
4.1.2	Kondensor Separasi 8/8.....	39
4.1.3	Kondensor Separasi 6/8.....	40
4.1.4	Kondensor Separasi 4/8.....	41
4.1.5	Grafik Suhu Evaporator.....	41
4.2	Nilai Entalpi Hasil Pengujian.....	43
4.2.1	<i>Baseline</i> Kondensor .....	43
4.2.2	Kondensor Separasi 8/8.....	44
4.2.3	Kondensor Separasi 6/8.....	45

4.2.4 Kondensor Separasi 4/8.....	45
<b>4.3 Pembahasan</b> .....	46
4.3.1 Dampak Refrigerasi (kJ/kg).....	46
4.3.2 Kerja Kompresi (kJ/kg).....	47
4.3.3 Laju Aliran Massa (kg/s).....	48
4.3.4 Kapasitas Refrigerasi (kW).....	50
4.3.5 Pelepasan Kalor (kJ/kg) .....	51
4.3.6 Rasio Pelepasan Kalor (RPK) .....	52
4.3.7 Temperatur Kondensor Separasi .....	53
4.3.8 Coefficient of Performance (COP).....	55
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	57
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	59
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	61

DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
2.1 Kompresor.....	11
2.2 Kondensor .....	14
2.3 Pipa Kapiler.....	15
2.4 Evaporator.....	16
2.5 Filter .....	17
2.6 <i>Sight Glass</i> .....	18
2.7 <i>Acces Port</i> .....	18
2.8 Diagram Ph.....	20
2.9 <i>Separation Condenser</i> .....	24
3.1 <i>Baseline Condenser</i> .....	28
3.2 <i>Separation Condenser 8/8</i> .....	29
3.3 <i>Separation Condenser 6/8</i> .....	30
3.4 <i>Separation Condenser 4/8</i> .....	31
3.5 Skema Alat Uji.....	35
3.6 Diagram Alir .....	37
4.1 Grafik waktu terhadap temperatur evaporator pada kulkas A .....	42
4.2 Grafik waktu terhadap temperatur evaporator pada kulkas B.....	42
4.3 Grafik waktu terhadap dampak refrigerasi.....	46
4.4 Grafik waktu terhadap kerja kompresi.....	47
4.5 Grafik waktu terhadap laju aliran massa .....	49
4.6 Grafik waktu terhadap kapasitas refrigerasi.....	50
4.7 Grafik waktu terhadap pelepasan kalor.....	51
4.8 Grafik waktu terhadap rasio pelepasan kalor .....	52
4.9 Grafik waktu terhadap suhu kondensor separasi 8/8.....	53
4.10 Grafik waktu terhadap suhu kondensor separasi 6/8.....	54
4.11 Grafik waktu terhadap suhu kondensor separasi 4/8.....	54
4.12 Grafik waktu terhadap nilai Coefficient of Performance.....	55

DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
2.1 <i>Refrigerant</i> Halokarbon .....	8
2.2 <i>Refrigerant</i> Hidrokarbon.....	9
2.3 Senyawa Anorganik .....	9
3.1 Pengambilan Data .....	34
3.2 Jadwal Penelitian.....	38
4.1 Hasil Pengujian Pada <i>Baseline</i> Kondensor .....	39
4.2 Hasil Pengujian Pada Kondensor Separasi 8/8 .....	40
4.3 Hasil Pengujian Pada Kondensor Separasi 6/8 .....	40
4.4 Hasil Pengujian Pada Kondensor Separasi 4/8 .....	41
4.5 Nilai Entalpi <i>Baseline</i> Kondensor .....	44
4.6 Nilai Entalpi Kondensor Separasi 8/8.....	44
4.7 Nilai Entalpi Kondensor Separasi 6/8 .....	45
4.8 Nilai Entalpi Kondensor Separasi 4/8 .....	45
4.9 Debit <i>Refrigerant</i> .....	49



DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran A. Data Hasil Pengujian</b> .....	61
<b>Lampiran B. Tampilan <i>Coolpack Refrigerant Calculator</i></b> .....	67
<b>Lampiran C. Tampilan Diagram P-h R134a</b> .....	68
<b>Lampiran D. Nilai Unjuk Kerja Mesin Pendingin</b> .....	69
<b>Lampiran E. Contoh Perhitungan</b> .....	72
<b>Lampiran F. Alat Ukur Debit <i>Refrigerant</i></b> .....	80
<b>Lampiran G. Data Logger</b> .....	81
<b>Lampiran H. Dokumentasi Penelitian</b> .....	82

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Alat pendingin tidak hanya dapat dijumpai di industri-industri besar, tetapi hampir setiap orang saat ini memiliki alat pendingin di rumahnya. Berbagai macam alat pendingin yang ada, seperti Refrigerator, AC (*air conditioner*), *freezer*, serta *chiller*. Penggunaan sistem pengkondisian udara pada saat ini bukan lagi merupakan suatu kemewahan, namun telah menjadi kebutuhan yang harus dipenuhi. Tanpa adanya peralatan ini banyak kegiatan yang tidak dapat dilakukan dengan baik, apalagi kegiatan yang dilakukan dalam ruangan, misalnya didalam kantor, kendaraan, bahkan untuk beristirahatpun kebanyakan orang memerlukan penggunaan alat ini untuk kenyamanan. Ironisnya, banyak AC dan lemari es yang menggunakan pendingin (*refrigerant*) berbahan HCFC dan CFC yang justru mempercepat proses penipisan ozon dan pemanasan global.

Penipisan ozon dan pemanasan global dapat mengganggu perubahan iklim, merusak mata, menyebabkan kanker kulit, menurunkan kekebalan tubuh, dan lain-lain. Bahan-bahan pendingin buatan atau *syntetic refrigerant* mengandung H (*Hydro*), C (*Chloro*), F (*Fluoro*) dan C (*Carbon*). Di Indonesia, pendingin sintetis ini lebih dikenal dengan istilah freon. Kelemahan pendingin sintetis ini antara lain dapat merusak lapisan ozon, meyebabkan pemanasan global, serta beracun (Widodo dan Hasan, 2008). Pemerintah Indonesia secara tegas telah melarang penggunaan ketiga jenis *refrigerant* ini sejak 2007 silam. Melihat kondisi tersebut, para pecinta lingkungan hidup mulai menggalakkan penggunaan *refrigerant hydrocarbon*, sebagai pengganti freon.

Refrigerasi adalah proses pengambilan kalor atau panas dari suatu benda atau ruang untuk menurunkan temperaturnya. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda ekuivalen dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. Pada aplikasi tata udara *air conditioning*, kalor yang diambil berasal dari udara. Untuk mengambil kalor dari udara, maka udara harus bersentuhan dengan suatu bahan atau material yang memiliki temperatur yang lebih rendah.

Salah satu jenis dari mesin pendingin yang sudah menjadi kebutuhan hampir di setiap rumah adalah kulkas. Kulkas merupakan alat yang berfungsi untuk membekukan dan mengawetkan makanan, minuman, sayuran, buah, dan lain lain. Tujuannya yaitu agar tahan lama karena pada suhu yang rendah bakteri tidak dapat hidup. Kulkas mempunyai beberapa komponen utama yaitu kondensor, evaporator, alat ekspansi, kompresor, dan *refrigerant* yang merupakan substansi kerja dalam sistem refrigerasi yang berbentuk fluida (Stoecker dan Jones, 1982).

Kondensor adalah komponen yang sangat penting didalam kulkas, yaitu berfungsi sebagai alat penukar kalor yang mengubah fasa *refrigerant* dari wujud gas menjadi cair. Kondensor dapat memindahkan panas kelingkungan dengan sangat cepat bila menggunakan media pendingin yang baik. Kondensor berfungsi untuk membuang kalor dan mengubah wujud bahan pendingin dari dari gas menjadi cair. Selain itu kondensor juga digunakan untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kapasitasnya antara lain: luas permukaan yang meliputi diameter pipa kondensor, panjang kondensor, karakteristik pipa kondensor, aliran udara, perbedaan temperatur antara *refrigerant* dengan udara luar, serta karakteristik refrigerannya.

*Separation condenser* menghasilkan prestasi kerja mesin pendingin yang baik. Pada laju aliran massa yang sama, suhu keluar lebih rendah sebesar 1,3 K dalam *separation condenser* dibandingkan dengan *baseline condenser*. Laju aliran kondensat 7,4% lebih banyak juga dalam *separation condenser*. Hasil COP (*Coefficient of Performance*) *separation condenser* menunjukkan sampai 6,6% lebih tinggi dari pada sistem kondensor biasa (Li dan Hrnjak, 2017). Penelitian tentang *separation condenser* yang lain yaitu mengenai unjuk kerja mesin pendingin menggunakan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* menggunakan *refrigerant* LPG. Hasil penelitian diperoleh nilai COP tertinggi pada pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* pada debit refrigerant  $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  dengan nilai rata-rata sebesar 4,08934. Pada pengujian *baseline condenser* nilai COP tertinggi pada debit refrigerant  $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  dengan nilai COP sebesar 4,22930. (Yahya, 2018).

Perbandingan unjuk kerja pada penelitian lainnya yaitu menggunakan *domestic refrigerator* dengan *separation condenser* menggunakan *refrigerant* LPG dan R134a. Hasilnya COP tertinggi yaitu pada penggunaan *separation condenser* sebesar 4,89 dengan *refrigerant* LPG. Sedangkan COP terendah pada penggunaan *separation condenser* sebesar 3,91 dengan *refrigerant* R134a. (Nurcahyo, 2018).

Komponen penting lainnya yaitu evaporator, sama halnya dengan kondensor, evaporator juga mempunyai fungsi sebagai penukar kalor. Salah satu cara untuk menghemat penggunaan energi yaitu dengan metode pemasangan evaporator. Penelitian mesin pendingin dengan dua evaporator menunjukkan sebuah mesin pendingin yang kedua evaporator dipasang katup ekspansi serta menggunakan satu kompresor, kondensor, dan *heat exchanger*. Sebuah katup solenoid dihubungkan dengan aliran *refrigerant* menuju *freezer* dan evaporator *freshfood*. Hasilnya pada siklus kerja secara seri didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 8,5% (Lavanis et al, 1998). Dalam penelitian lain yang juga menggunakan dua evaporator, sirkulasi sistem terpisah tiap ruangan, didapatkan hasil penurunan konsumsi energi sebesar 7,8%. Sistem dua evaporator mengurangi energi listrik yang digunakan setiap ruangan (Yoon et al, 2010).

Penelitian lain yang menggunakan *double* evaporator menunjukkan nilai COP (*Coefficient Of Performance*) untuk tipe evaporator paralel (dengan pembatas dan tanpa pembatas) lebih baik dibandingkan dengan tipe evaporator seri (dengan pembatas dan tanpa pembatas), tipe evaporator paralel satu ruang dapat meningkatkan COP sebesar 1,17% lebih besar dibandingkan COP tipe seri satu ruang dan paralel dua ruang sebesar 1,49% lebih besar dibandingkan seri dua ruang, penyebabnya adalah pada evaporator paralel untuk mendinginkan ruangan bagian atas dan ruangan bagian bawah waktu untuk *refrigerant* masuk adalah hampir bersamaan (rute lebih pendek) sehingga kerja kompresinya lebih rendah, dan apabila kerja kompresinya rendah maka menghasilkan nilai COP yang lebih baik (Ningrum, 2016)

Berdasarkan kondisi diatas, sehingga diperlukan adanya penelitian lebih lanjut guna meningkatkan prestasi kerja dari mesin pendingin dan menghemat penggunaan energi menggunakan kondensor jenis *separation condenser* dengan *double evaporator* yang dipasang secara paralel pada dua kulkas.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

- a. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap dampak refrigerasi dengan variasi jumlah pipa U kondensor?
- b. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap kerja kompresi dengan variasi jumlah pipa U kondensor?
- c. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap laju aliran massa dengan variasi jumlah pipa U kondensor?
- d. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap kapasitas refrigerasi dengan variasi jumlah pipa U kondensor?
- e. Bagaimana pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap prestasi mesin pendingin dengan variasi jumlah pipa U kondensor?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap dampak refrigerasi dengan variasi jumlah pipa U kondensor.

- b. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap kerja kompresi dengan variasi jumlah pipa U kondensor.
- c. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap laju aliran massa dengan variasi jumlah pipa U kondensor.
- d. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap kapasitas refrigerasi dengan variasi jumlah pipa U kondensor.
- e. Untuk mengetahui pengaruh *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang paralel terhadap prestasi mesin pendingin dengan variasi jumlah pipa U kondensor.

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

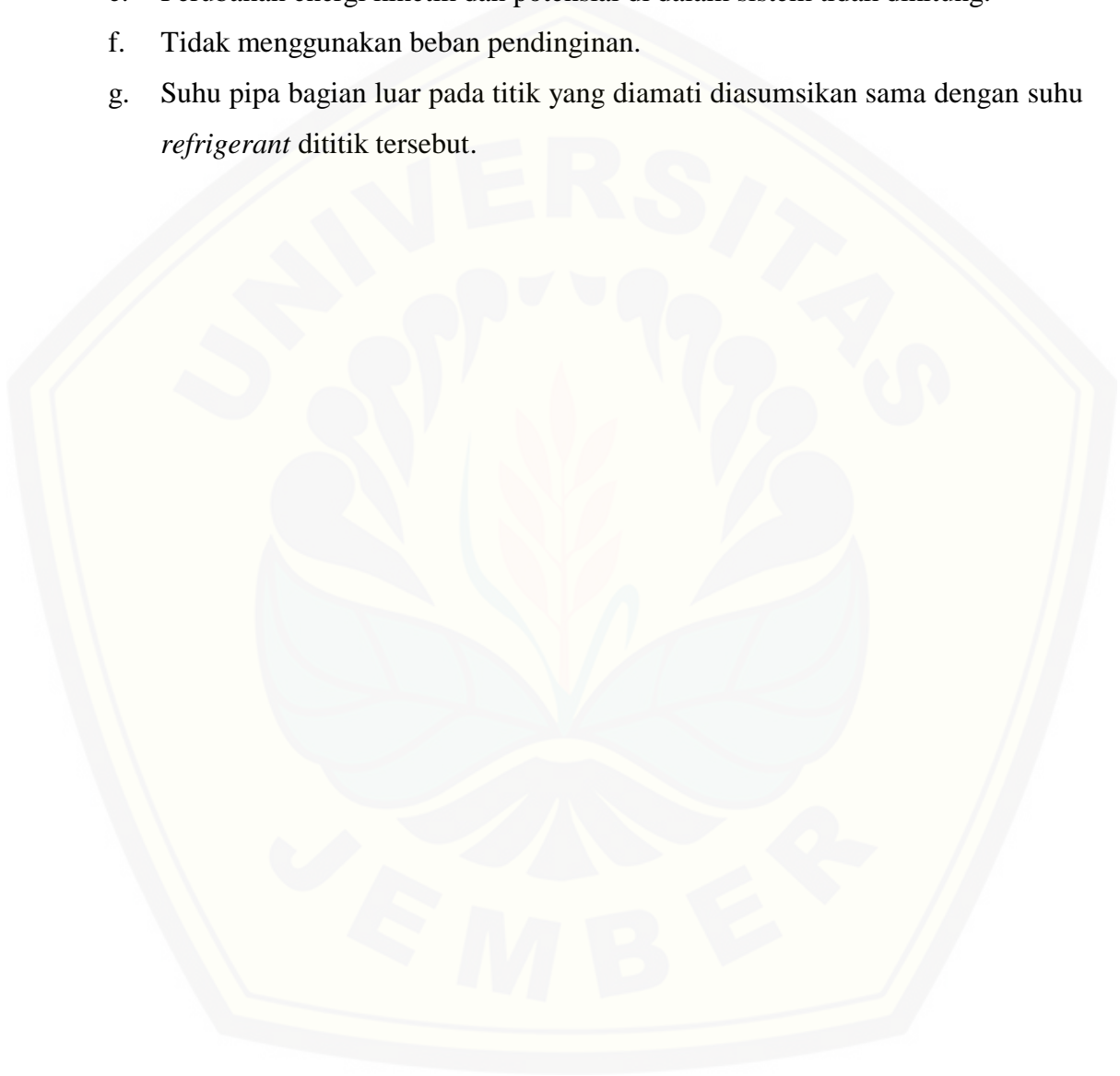
- a. Mendapatkan informasi mengenai pengaruh pemasangan *separation condenser* dengan *double* evaporator yang dipasang secara paralel terhadap dampak refrigerasi, kerja kompresi, laju aliran massa, kapasitas refrigerasi dan prestasi mesin pendingin dengan variasi jumlah pipa U kondensor.
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan prestasi kerja mesin pendingin.
- c. Sebagai bahan acuan atau informasi untuk penelitian yang lain dalam mengembangkan teknologi mesin pendingin.

#### 1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang sulit dikontrol dalam penelitian ini, sehingga diperlukan batasan masalah dan asumsi agar mudah dalam menganalisis permasalahan. Diantaranya sebagai berikut:

- a. Sistem diasumsikan terisolasi sempurna.

- b. Tidak menghitung perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi pada sistem.
- c. Massa *refrigerant* dianggap konstan.
- d. Kondisi *steady state* diasumsikan tiga jam setelah penyalaan.
- e. Perubahan energi kinetik dan potensial di dalam sistem tidak dihitung.
- f. Tidak menggunakan beban pendinginan.
- g. Suhu pipa bagian luar pada titik yang diamati diasumsikan sama dengan suhu *refrigerant* dititik tersebut.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Refrigerant

Sistem refrigerasi kompresi uap adalah sistem refrigerasi yang umum dan mudah dijumpai pada aplikasi sehari-hari, baik untuk keperluan rumah tangga, komersial, dan industri. Sistem refrigerasi ini menggunakan *refrigerant*, yaitu suatu zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap kalor dari bahan lain seperti udara dalam ruangan, sehingga *refrigerant* tersebut dapat dengan mudah merubah fasenya dari air menjadi gas. Pada saat terjadi perubahan fase dari cair ke uap, *refrigerant* akan mengambil kalor dari lingkungan. Sebaliknya dari fase uap ke cair, *refrigerant* akan membuang kalor ke lingkungan sekelilingnya (Stoecker dan Jones, 1982).

Untuk jenis *refrigerant* dipilih yang paling sesuai dengan jenis kompresor. Berikut ini merupakan persyaratan yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Tahanan aliran *refrigerant* dalam pipa harus kecil.
- b. Memiliki struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan dan diuapkan.
- c. Tidak bersifat korosif terhadap logam yang banyak digunakan pada system refrigerasi
- d. *Refrigerant* tidak beracun, tidak berwarna, dan tidak berbau.
- e. *Refrigerant* tidak mudah terbakar dan meledak, bila bercampur dengan udara, minyak pelumas, dan sebagainya
- f. Mempunyai nilai konduktivitas thermal yang tinggi.
- g. Bila terjadi kebocoran mudah dicari.
- h. Memiliki titik didih dan tekanan kondensasi yang rendah. Karena tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kerja kompresor yang besar dan kuat.
- i. Harganya tidak terlalu mahal dan mudah diperoleh.

#### 2.1.1 Jenis Refrigerant

*Refrigerant* atau yang sering kita sebut Freon adalah cairan yang menyerap panas pada suhu rendah dan menolak panas pada suhu yang lebih tinggi. Prinsip - prinsip *refrigerant* memungkinkan untuk digunakan pada *outdoor unit* dan *indoor*



*unit* langsung menjalankannya dengan baik, karena hubungan tekanan suhu. Hubungan tekanan suhu ini memungkinkan untuk dapat mentransfer panas. Dalam industri HVAC refrigeran diberi nama dagang dikenal sebagai "nama R". Contoh nama-nama ini adalah R22, R134a, dan R502. Nama-nama ini membantu untuk menggambarkan berbagai jenis *refrigerant*. *Refrigerant* memiliki berbagai susunan kimia dengan sifat-sifat yang berbeda. Beberapa *refrigerant* hanya mampu bekerja dalam tekanan yang tinggi sementara yang lain menggunakan tekanan rendah untuk berfungsi dengan baik.

Berdasarkan standart rekomendasi dari ASRE (*American Society of Refrigerating Engineers*) *refrigerant* dikelompokkan menjadi :

a. Senyawa Halokarbon

*Refrigerant* yang termasuk dalam kelompok halokarbon mempunyai satu atau lebih atom dari salah satu halogen. Halogen mempunyai tiga jenis yaitu klorin, fluorin, dan bromin (Stoecker dan Jones, 1982). Pada Tabel 2.1 berikut adalah daftar *refrigerant* halokarbon.

Tabel 2.1 *Refrigerant* Halokarbon

Ketentuan Penomoraran	Nama Kimia	Rumus Kimia
11	Trikloromonofluorometana	CCl <sub>3</sub> F
12	Diklorodifluorometana	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
13	Monoklorotrifluorometana	CClF <sub>3</sub>
22	Monoklorodifluorometana	CHClF <sub>2</sub>
40	Metil klorida	CH <sub>3</sub> Cl
113	Triklorotrifluorometana	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>
114	Diklorotetrafluoroetana	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>

Sumber : Stoecker dan Jones (1982)

b. Senyawa Hidrokarbon

Senyawa hidrokarbon banyak yang cocok digunakan sebagai *refrigerant*, khususnya untuk dipakai pada industri perminyakan dan petrokimia (Stoecker dan Jones, 1982). Pada Tabel 2.2 berikut adalah daftar *refrigerant* hidrokarbon.

Tabel 2.2 *Refrigerant* Hidrokarbon

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

Sumber : Stoecker dan Jones (1982)

### c. Senyawa Anorganik

*Refrigerant* terdahulu merupakan senyawa anorganik, dan masih ada yang digunakan sampai saat ini (Stoecker dan Jones, 1982). Pada Tabel 2.3 berikut ini adalah senyawa anorganik.

Tabel 2.3 Senyawa Anorganik

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
717	Amonia	NH <sub>3</sub>
718	Air	H <sub>2</sub> O
729	Udara	—
744	Karbon dioksida	CO <sub>2</sub>
764	Sulfur dioksida	SO <sub>2</sub>

Sumber : Stoecker dan Jones (1982)

### d. Azeotrop

Campuran Azeotrop dua substansi adalah campuran yang tidak dapat dipisahkan menjadi komponen dengan cara destilasi. Azeotrop menguap dan mengembun sebagai substansi tunggal yang sifatnya berbeda dengan sifat unsur pembentuknya. Azeotrop yang paling dikenal adalah refrigeran R-502 yang merupakan campuran 48,8% R-22 dan 51,2% R-115 (Hadianto, 2014).

Dampak refrigerasi menjadi indikator pertama yang baik bagi efisiensi pendaaran, tetapi sifat ini harus diperhitungkan bersama dengan kerja kompresi. *Refrigerant* 717 (Ammonia) misalnya, mempunyai dampak refrigerasi yang jauh lebih besar daripada *refrigerant* lain, tetapi kerja kompresi untuk ammonia juga

tinggi, sehingga COP nya sama besar dengan yang ditunjukkan oleh *refrigerant* lain (Stoecker dan Jones, 1982).

Ada tiga susunan utama *refrigerant* yang digunakan pada saat ini yaitu :

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

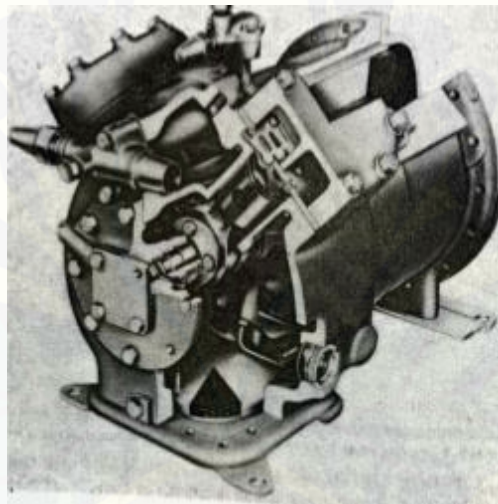
*Refrigerant* alami adalah pengembangan *refrigerant* yang ramah lingkungan. Sebagai pengganti CFC, tentunya hidrokarbon memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimiliki CFC seperti ramah lingkungan yang ditunjukkan dengan nilai *Ozon Depleting Potential* (ODP) nol, *Global Warming Potential* (GWP) yang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

Hidrokarbon sebagai *refrigerant* ramah lingkungan tidak akan merusak komponen dalam sistem refrigerasi yang sebagian besar berbahan dasar logam. Elastomer juga biasa digunakan kecuali elastomer berbahan dasar karet alam dimana CFC, HCFC dan HFC juga dapat merusak lapisan ozon. Hidrokarbon yang merupakan *refrigerant* alternatif jangka panjang pengganti CFC / HCFC memiliki keunggulan utama yaitu ramah lingkungan dan karakteristik termodinamika yang baik sehingga dapat meningkatkan kinerja dan meningkatkan efisiensi energi.

## 2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin

### 2.2.1 Kompresor

Kompresor pada Gambar 2.1 dikenal sebagai jantung dari sistem refrigerasi dan digunakan untuk menghisap dan menaikkan tekanan uap *refrigerant* yang berasal dari evaporator. Bagian pemipaan yang menghubungkan antara evaporator dengan kompresor dikenal dengan saluran hisap (*suction line*). Penambahan tekanan uap *refrigerant* dengan kompresor bertujuan agar *refrigerant* dapat mengembun pada temperatur yang relatif tinggi. *Refrigerant* yang keluar dari kompresor masih ber fase uap dengan tekanan tinggi. Perbandingan antara absolut tekanan buang (*discharge pressure*) dan tekanan isap (*suction pressue*) disebut dengan rasio kompresi (*compression ratio*).



Gambar 2.1 Kompresor (Stoeckers dan Jones, 1982)

Kompresor yang digunakan pada sistem refrigerasi bermacam-macam jenisnya, yaitu kompresor torak (*reciprocating compressor*), *rotary*, *scroll*, *helix*, dan sentrifugal.

#### a. Kompresor Torak

Ketika langkah hisap piston, gas *refrigerant* yang bertekanan rendah ditarik masuk melalui katup hisap yang terletak pada piston atau di kepala kompresor. Pada saat langkah buang, piston menekan *refrigerant* dan mendorongnya keluar melalui katup buang, yang terletak pada kepala silinder.

b. Kompresor *Rotary*

Rotor terdiri dari dua baling-baling. Langkah hisap terjadi ketika katup mulai terbuka dan berakhir setelah katup tertutup. Saat katup telah tertutup, langkah tekan mulai bekerja hingga katup pengeluaran membuka, sedangkan dalam waktu yang bersamaan, terjadi langkah hisap pada katup. Proses tersebut berlangsung berulang - ulang.

c. Kompresor *Scroll*

Kedua *scroll* ini saling bersinggungan identik satu sama lain tetapi berbeda sudut 180 derajat. Orbit dari *scroll* yg bergerak akan mengikuti jalur. Keduanya bersinggungan berdasarkan gaya sentrifugal. *Refrigerant* gas bertemperatur rendah dan bertekanan rendah (warna biru) masuk dari bagian *suction* ke ruang kompresor. Kemudian, bersinggungan dengan motor kompresor dengan temperaturnya lebih tinggi sehingga terjadi aliran kalor dari motor ke *refrigerant*. Selanjutnya, masuk ke *intake* kompresor untuk memulai proses kompresi. *Refrigerant* yang terperangkap di ruang *scroll* kemudian dikompresikan untuk kemudian dikeluarkan dari bagian tengah scroll.

d. Kompresor *Helix*

Kompresor Sekrup memiliki dua rotor yang saling bertautan, yang satu mempunyai bentuk cekung, sedangkan lainnya berbentuk cembung, sehingga dapat memindahkan udara secara aksial ke sisi lainnya. Kedua rotor itu identik dengan sepasang roda gigi *helix* yang saling bertautan. Roda-roda gigi kompresor sekrup harus diletakkan pada rumah-rumah roda gigi dengan benar sehingga benar – benar dapat menghisap dan menekan fluida.

e. Kompresor Sentrifugal

Kompresor sentrifugal, termasuk dalam kelompok kompresor dinamik adalah kompresor dengan prinsip kerja mengkonversikan energi kecepatan gas/udara yang dibangkitkan oleh aksi atau gerakan impeller yang berputar dari energi mekanik unit penggerak menjadi energi potensial (tekanan) di dalam diffuser.

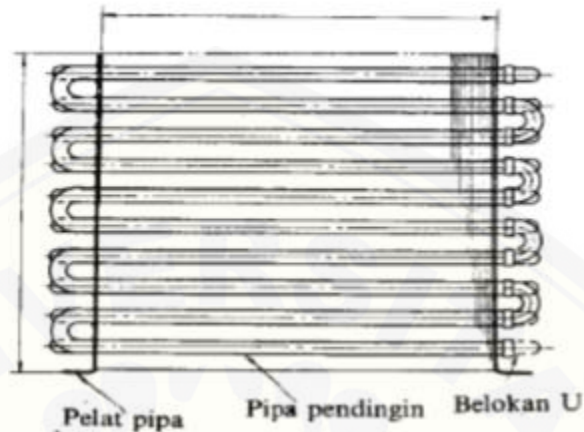
Kompresor yang paling umum dijumpai dan terdapat berbagai tingkat kapasitas adalah komprsr torak. *Refrigerant* yang masuk ke dalam kompresor harus benar-benar berfase uap karena adanya fase cair yang masuk ke kompresor dapat menyebabkan kerusakan pada piston, silinder, piston ring dan batang torak. Beberapa jenis mesin refrigerasi dilengkapi dengan *liquid receiver* untuk memastikan *refrigerant* yang dihisap oleh kompresor benar-benar telah berfase uap (Stoecker dan Jones, 1982).

### 2.2.2 Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berfungsi untuk membuang kalor dari dalam sistem ke luar sistem. Ketika *refrigerant* fasenya berbentuk uap memasuki kondensor, maka akan terkondensasi, sehingga fasa uap *refrigerant* tersebut berubah menjadi fasa cair dengan tekanan yang tinggi. Kondensor mempunyai tugas untuk melepaskan panas *refrigerant* yang diserap pada saat proses kompresi. Pemipaan yang menghubungkan antara kompresor dengan kondensor dikenal dengan saluran buang (*discharge line*). Hal tersebut menyebabkan perubahan pada kondensor dari fase uap ke cair ini yang selalu disertai dengan pembuangan kalor ke lingkungan. Pada kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke udara. Pada kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*) pembuangan dilakukan ke air. Kondensor juga digunakan untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kondensor memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kapasitasnya antara lain: luas permukaan yang meliputi diameter pipa kondensor, panjang kondensor, karakteristik pipa kondensor, aliran udara, perbedaan temperatur antara *refrigerant* dengan udara luar, serta karakteristik refrigerannya.

Pada penelitian yang membahas tentang variasi panjang kondensor 6,1m, 5,1m, dan 7,01m yang menghasilkan nilai COP paling tinggi ketika panjang kondensor 7,01m berdasarkan grafik pengujiannya ( Babu dan Babu, 2013). Hal ini membuktikan bahwa semakin panjang pipa kondensor maka dapat mempercepat laju perpindahan panas. Konveksi paksa yang diberikan dapat mempercepat proses

pelepasan kalor, sehingga suhu *refrigerant* akan semakin turun. Dengan rendahnya suhu keluaran dari kondensator maka memperkecil kerja kompresi dan dapat meningkatkan COP (*Coefficient Of Performance*).



Gambar 2.2 Kondensator (Arismunandar, 1991)

Ada tiga tipe kondensator berdasarkan pendinginannya yaitu:

- a. Kondensator dengan pendinginan udara dimana proses pelepasan kalor dikurangi dengan udara menggunakan konveksi secara natural atau paksa (dengan diberi beberapa *fan*)
- b. Kondensator dengan pendinginan air dimana model ini menggunakan *shell and tube*. Air mengalir di dalam tube dan *refrigerant* mengalir di bagian tabung.
- c. Kondensator dengan pendinginan campuran air dan udara. Koil kondensator letaknya berdekatan dengan media pendinginnya yaitu udara dan air. Kemudian, kedua media tersebut disemprotkan melalui lubang nozzle.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas kondensator seperti sifat dan karakteristik *refrigerant* yang dipakai. Luas permukaan yang didinginkan dan sifat perpindahan kalor. Jumlah udara per menit yang dipakai untuk mendinginkan serta perbedaan antara temperatur *refrigerant* dengan udara luar. Kondensator pada mesin pendingin diletakkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, agar proses pelepasan kalor dapat dibuang secara langsung ke udara luar.

Pada suatu sistem pendingin dikatakan seimbang apabila uap pendingin yang dihisap oleh kompresor sama dengan jumlah uap yang berkondensasi pada

kondensor. (Karyanto dan Paringga, 2003). Oleh karena itu kondensor perlu dicek secara berkala guna menghindari kerusakan dan memperpanjang masa pakai.

Kondensor yang paling sering digunakan pada kulkas domestik ada 2 jenis yaitu:

- a. Kulkas berukuran kecil menggunakan kondensor dengan pendingin udara secara alamiah (*natural convection*).
- b. Lemari es yang ukurannya lebih besar menggunakan kondensor dengan *fan* motor. Cara kerja dari *fan* motor tersebut adalah meniupkan udara ke arah kondensor dalam jumlah kapasitas lebih besar, sehingga kapasitas kondensor bertambah.

### 2.2.3 Alat Ekspansi (Pipa Kapiler)

Alat ekspansi mempunyai dua fungsi yaitu menurunkan tekanan *refrigerant* cair dan mengatur aliran *refrigerant* ke evaporator (Stoecker dan Jones, 1982). Pipa kapiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem refrigerasi yang berfungsi untuk menurunkan tekanan *refrigerant*. Letaknya, diantara kondensor dan evaporator. Material dari pipa kapiler terbuat dari tembaga. Pipa kapiler mempunyai ukuran panjang 1,5 hingga 2 m, dengan diameter dalam 0,5 mm hingga 2 mm (Sumanto, 2004). Pada pipa kapiler cairan *refrigerant* akan masuk dan mengalir sehingga tekanannya berkurang disebabkan oleh gesekan dan perlambatan aliran *refrigerant*.



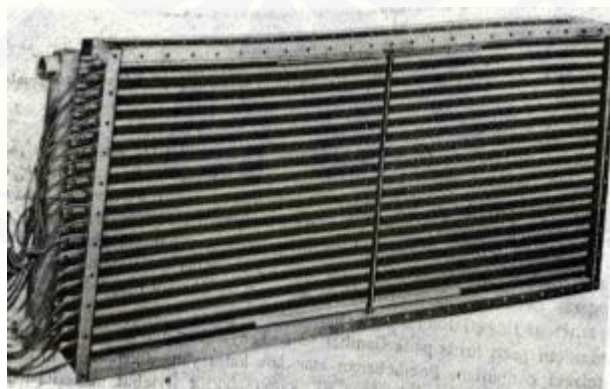
Gambar 2.3 Pipa Kapiler



Sejumlah cairan berubah menjadi uap ketika *refrigerant* mengalir melalui pipa ini. Pipa-pipa tersebut juga memungkinkan tekanan yang ada di dalam sistem merata selama sistem tidak bekerja, sehingga motor penggerak kompresor mempunyai momen gaya awal yang kecil. Kerugian dari pipa kapiler adalah pipa-pipa ini tidak dapat di atur terhadap kondisi beban yang berubah-ubah, mudah terganggu oleh adanya penyumbatan dari benda-benda asing dan memerlukan jumlah pengisian *refrigerant* yang berada dekat pada batas maksimal (Stoecker dan Jones, 1982).

#### 2.2.4 Evaporator

Evaporator pada dasarnya berfungsi hampir sama dengan kondensor yaitu sebagai penukar kalor. Namun, evaporator disini memiliki fungsi menyerap kalor dari udara di dalam mesin pendingin dan mendinginkannya. Proses penyerapan kalor menyebabkan *refrigerant* mendidih dan menguap sehingga fasanya berubah dari cair menjadi uap. Evaporator adalah komponen yang digunakan untuk mengambil kalor dari suatu ruangan atau suatu benda yang bersentuhan dengannya. Ada 2 macam panas yang terjadi ketika *refrigerant* mengalami perubahan fasa antara lain panas sensible (perubahan temperatur) dan panas laten (perubahan wujud).



Gambar 2.4 Evaporator (Stoeckers dan Jones 1982)

Evaporator dapat berupa koil polos tanpa sirip (*bare pipe coil*), koil bersirip (*finned coil*), pelat (*plate evaporator*) *shell and coil*, atau *shell and tube evaporator*. Jenis evaporator yang digunakan pada suatu sistem refrigerasi tergantung pada jenis aplikasinya (Stoecker dan Jones, 1982).

### 2.3 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

#### a. Solenoid Valve

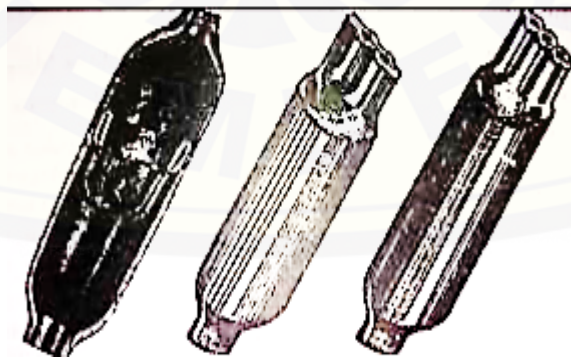
Katup solenoid berfungsi sebagai penghenti refrigeran pada saat sistem refrigerasi. Katup tersebut bekerja ketika ada aliran listrik. Sehingga katup solenoid akan bekerja secara otomatis saat sistem mulai bekerja.

#### b. Liquid Receiver

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

#### c. Filter / Dryer

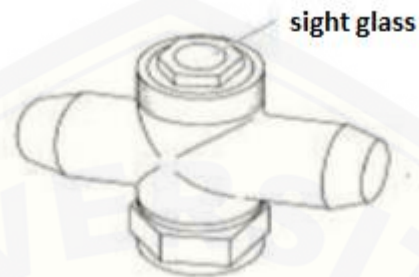
Filter berfungsi untuk menyaring kotoran – kotoran selama sistem refrigerasi berlangsung. Pemasangan filter tersebut memiliki tujuan agar tidak terjadi penyumbatan pada pipa kapiler. Karena diameter pipa kapiler yang sangat kecil sehingga sering terjadi penyumbatan yang mengganggu sistem refrigerasi. Panjang filter sekitar 8 – 15 cm.



Gambar 2.5 Filter (Karyanto dan Paringga, 2003)

d. *Sight Glass*

*Sight Glass* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mendeteksi secara visual kondisi refrigeran pada *liquid line*. Dari warna juga dapat dilihat bahwa *refrigerant* tersebut masih mengandung uap air atau tidak.



Gambar 2.6 *Sight Glass* (Wang, 1994)

e. *Acces Port*

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



Gambar 2.7 *Acces Port*

f. *Thermostat*

Alat ini digunakan untuk pengatur atau kontrol temperatur ruangan, sehingga di dalam mesin pendingin kulkas temperaturnya selalu stabil sesuai dengan kebutuhan.

## 2.4 Siklus Refrigerasi

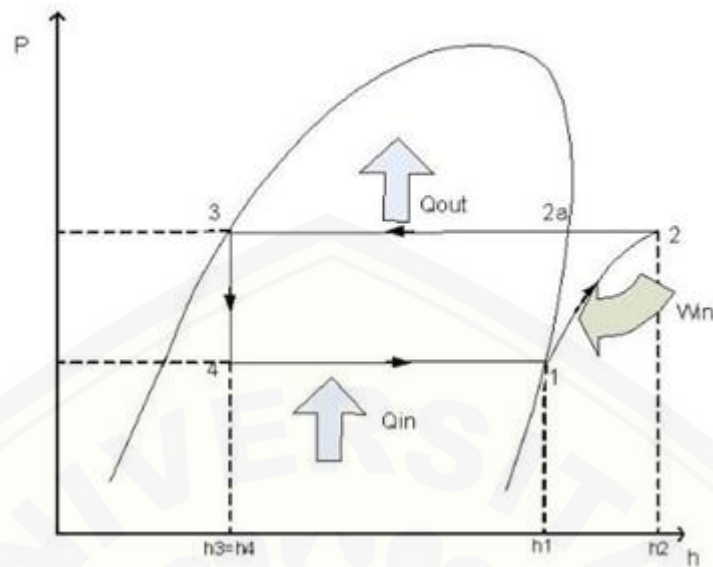
Siklus refrigerasi merupakan suatu siklus yang mentransfer kalor dari media yang memiliki temperatur rendah ke media yang memiliki temperatur tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem.

Siklus refrigerasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

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

## 2.5 Siklus Kompresi Uap Ideal

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal merupakan kebalikan siklus Carnot, di mana *refrigerant* harus menguap seluruhnya sebelum dikompresi pada kompresor, sehingga turbin digantikan peranannya oleh katup ekspansi atau pipa kapiler. Dalam mesin pendingin seperti kulkas pada umumnya menggunakan siklus kompresi uap, yang menggunakan beberapa komponen antara lain kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Pada siklus ini, *refrigerant* yang berfasa uap dikompresi oleh kompresor hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi. Setelah itu, uap *refrigerant* mengalami kondensasi dalam kondensor. Proses pelepasan kalor dari uap *refrigerant* ke lingkungan, mengakibatkan fasa *refrigerant* berubah menjadi cair dengan adanya penurunan temperatur. Selanjutnya, menuju katup ekspansi agar tekanannya turun. Lalu, diteruskan ke evaporator dimana menguapkannya sehingga temperaturnya menjadi naik.



Gambar 2.8 Diagram P-h (Widodo dan Hasan, 2008)

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

Alur *refrigerant* dimulai pada kondisi 1 saat masuk kompresor sebagai uap jenuh kemudian dikompresi secara isentropik sampai tekanan kondensor. Temperatur refrigeran naik selama proses kompresi ini di atas temperatur lingkungan. *Refrigerant* kemudian masuk ke kondensor sebagai uap superheat pada tingkat keadaan 2 dan keluar sebagai cairan jenuh pada tingkat keadaan 3 sehingga terjadi pelepasan kalor ke lingkungan. *Refrigerant* pada tingkat keadaan 3 ini diekspansi sampai tekanan evaporator melalui katup ekspansi. Temperatur refrigeran menjadi turun di bawah temperatur ruangan yang dikondisikan selama proses ini. *Refrigerant* masuk ke evaporator pada tingkat keadaan 4 sebagai campuran saturasi dua-fasa (cair-uap) dengan kualitas rendah, kemudian *refrigerant* menguap seluruhnya dengan menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan tersebut. *Refrigerant* keluar dari evaporator sebagai uap jenuh dan masuk kembali ke kompresor pada tingkat keadaan 1.

Persamaan energi untuk komponen-komponen refrigerator adalah sebagai berikut :

a. Dampak Refrigerasi

Dampak refrigerasi merupakan besarnya kalor yang dipindahkan pada proses 4-1 seperti pada Gambar 2.8, yaitu sebagai berikut :

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

Keterangan :

$q_r$  = Dampak refrigerasi, (kJ/kg)

$h_1$  = Enthalpi *refrigerant* keluar evaporator, (kJ/kg)

$h_4$  = Enthalpi *refrigerant* masuk evaporator, (kJ/kg)

b. Kerja Kompresi

Kerja kompresi merupakan perubahan enthalpy pada proses 1-2 pada Gambar 2.8. Hubungan ini diturunkan dari persamaan energi umum untuk analisa volume atur (*control volume*) :

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

Keterangan :

$w_c$  = Kerja kompresor, (kJ/kg)

$h_2$  = Entalphi *refrigerant* keluar kompresor, (kJ/kg)

$h_1$  = Entalphi *refrigerant* keluar evaporator, (kJ/kg)

c. Kapasitas Refrigerasi

Kapasitas refrigerasi adalah laju aliran massa dikalikan pengurangan *refrigerant* yang keluar dan masuk evaporator.

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

Keterangan:

$q$  = Kapasitas refrigerasi, (kJ/s)

$h_1$  = Enthalpi *refrigerant* keluar evaporator, (kJ/kg)

$h_4$  = Enthalpi *refrigerant* masuk evaporator, (kJ/kg)

$\dot{m}$  = Laju aliran massa, (kg/s)

d. Koefisien Prestasi

COP dari siklus kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi kerja kompresi.

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

Keterangan:

COP = *Coefficient of Performance*

$q_r$  = Dampak refrigerasi, (kJ/kg)

$w_c$  = Kerja kompresor, (kJ/kg)

$h_1$  = Enthalpi *refrigerant* keluar evaporator, (kJ/kg)

$h_2$  = Entalphi *refrigerant* keluar kompresor, (kJ/kg)

$h_4$  = Enthalpi *refrigerant* masuk evaporator, (kJ/kg)

## 2.6 Siklus Kompresi Uap Aktual

Di dalam siklus aktual terjadi pemanasan lanjut dari uap *refrigerant*, hal tersebut dikarenakan akibat jenis peralatan ekspansi atau bisa juga penyerapan panas di *line suction* yang letaknya diantara evaporator dan kompresor. Begitu pula dengan *refrigerant* cairan yang mengalami pendinginan lanjut.

Siklus kompresi uap aktual mengalami penyimpangan dari kompresi uap standar. Perbedaan penting siklus kompresi uap aktual dari siklus standar adalah:

- a. Terjadi penurunan tekanan di sepanjang pipa kondensor dan evaporator.
- b. Adanya proses di bawah dingin (*sub cooling*) cairan yang meninggalkan kondensor sebelum memasuki katup ekspansi.
- c. Pendinginan lanjut uap yang meninggalkan evaporator sebelum memasuki kompresor.
- d. Terjadi kenaikan entropi pada saat proses kompresi (kompresi tak isentropik).
- e. 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.

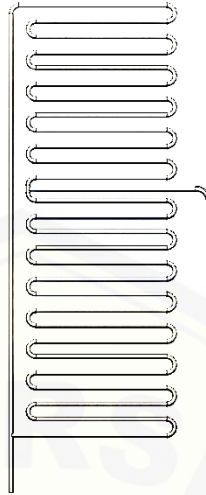
## 2.7 Separation Condenser

*Separation condenser* adalah kondensor dengan pemisah fasa cair dan pemisah fasa gas. Penelitian yang dilakukan oleh Li dan Hrnjak (2017) yaitu peningkatan kinerja kondensor dengan pemisahan fasa cair dan uap menggunakan model evaporator *microchannel* paralel untuk *steady state* dengan diskretisasi volume terbatas 1-D. Hasil yang didapat yaitu bahwa pemisahan fase cair dan uap dari kondensor *microchannel* menguntungkan kinerja kondensor. Pada laju aliran massa yang sama, suhu keluar lebih rendah sebesar 1,3 K dalam *separation condenser* dibandingkan dengan *baseline condenser*, laju aliran kondensat 6,1% lebih banyak juga dalam *separation condenser*.

Hua et al, (2013) meneliti dan mengklarifikasi dari performa termodinamika dari *liquid vapor condenser* menggunakan metode eksperimental. Penelitian membandingkan antara model kondensor biasa dengan *liquid vapor separation condenser*. Dari hasil penelitian membuktikan bahwa hasil yang ditunjukkan dari sistem *liquid vapor separation condenser* sangat baik sesuai dengan perhitungan secara teori. Desain yang sangat bagus dari *liquid vapor separation condenser* terbukti memiliki perpindahan panas tinggi dan *pressure drop* yang rendah dibandingkan dengan kondensor biasa.

Penelitian lain tentang *separation condenser* yaitu mengenai unjuk kerja mesin pendingin menggunakan *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* menggunakan *refrigerant* LPG. Hasil penelitian diperoleh nilai COP tertinggi pada pengujian *separation condenser* dengan penambahan *subcooler* pada debit *refrigerant*  $114 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  dengan nilai rata-rata sebesar 4,08934. Pada pengujian kondensor biasa nilai COP tertinggi pada debit *refrigerant*  $131 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  dengan nilai COP sebesar 4,22930 (Yahya, 2018).





Gambar 2.9 *Separation Condenser*

Penelitian lain mengenai analisis perbandingan unjuk kerja *domestic refrigerator* dengan *separation condenser* menggunakan *refrigerant* LPG dan R134a. Hasil yang didapatkan COP tertinggi yaitu pada penggunaan *separation condenser* sebesar 4,89 dengan *refrigerant* LPG. Sedangkan COP terendah pada penggunaan *separation condenser* sebesar 3,91 dengan *refrigerant* R134a (Nurchahyo, 2018).

Zheng et al. (2014) meneliti sekaligus membandingkan kinerja mesin pendingin yang terpasang pada mobil berdasarkan model kondensor yaitu *Parallel flow micro-channel condenser* (PFMC) dengan *Liquid-vapor separation microchannel condenser* (LSMC). Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa kapasitas pendinginan *Liquid-vapor micro-channel condenser* (LSMC) 5,18% lebih tinggi dari *parallel flow micro-channel condenser* (PFMC). Prestasi kerja dari serangkaian sistem LSMC lebih baik dibandingkan dengan serangkaian sistem PFMC.

Zhong et al. (2014) meneliti performa kinerja mesin pendingin dengan membandingkan antara *liquid vapor separation condenser* (LSC), *parallel-flow condenser* (PFC), dan kondensor biasa menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa terjadi peningkatan kinerja pada sistem melalui koefisien perpindahan panas pada *liquid-vapor separation*

*condenser* (LSC). *Pressure drop* pada LSC mengalami penurunan sebesar 77,1%-81,4% dibandingkan kondensor biasa dan dibandingkan *parallel-flow condenser* sebesar 57,5% - 64,6%.

Luo et al. (2015) melakukan penelitian lebih lanjut mengenai *organic rankine cycle* yang terjadi pada kondensor dengan membandingkan kinerja kondensor biasa dengan *separation condenser*. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental dan dibantu program simulasi *Mixed-integer nonlinear programming* (MINLP). MINLP membuktikan bahwa *separation condenser* mampu meningkatkan kinerja dari *organic rankine cycle* karena memiliki koefisien perpindahan panas yang tinggi, tekanan yang lebih rendah dan lebih ringkas yang mampu menghemat energi sekaligus mengurangi biaya produksi.

## 2.8 Hipotesis

*Separation condenser* menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik daripada *baseline condenser* karena menghasilkan suhu refrigeran pada evaporator yang semakin rendah. Dengan turunnya suhu keluaran yang dihasilkan, maka juga menurunkan kerja kompresi. Jika kerja kompresi menurun, maka nilai COP (*Coefficient of Performance*) meningkat.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan dengan menguji pengaruh jumlah pipa U pada *separation condenser* dengan menggunakan double evaporator yang dipasang secara paralel pada mesin pendingin. Pada pengujian penelitian ini menggunakan *refrigerant* R134a. Temperatur yang diukur terdapat pada beberapa titik yang telah ditentukan. Ketika temperatur sudah didapatkan maka hal yang selanjutnya dilakukan adalah melakukan pengolahan data yang didapatkan dari entalpi titik tersebut untuk menghitung efek refrigerasi, kerja kompresor, laju aliran massa, kapasitas refrigerasi, dan COP (*coefficient of performance*).

### 3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan November 2018 dengan melakukan persiapan alat dan bahan. Pada bulan Desember akan dilakukan pengambilan data dengan beberapa variasi yang telah ditentukan. Setelah semua data didapatkan maka langkah selanjutnya yaitu mengolah data penelitian. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi II Teknik Mesin Universitas Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan yang perlu disiapkan, diantaranya yaitu :

#### 3.3.1 Alat Penelitian

##### a. Kulkas (*Refrigerator*)

##### 1. Kulkas A

Merk	: Sharp SJ-M151T
Jenis	: Kulkas satu pintu
Tegangan	: 220 (volt)
Arus	: 0,6 (ampere)

Daya : 74 (watt)  
Frekuensi : 50 (Hz)  
Kapasitas : 136 liter  
Berat bersih : 27 (kg)  
Zat pendingin : R-134a 60 gram

2. Kulkas B

Merk : Panasonic NR-A17KX  
Jenis : Kulkas satu pintu  
Tegangan : 220 (volt)  
Arus : 0,66 (ampere)  
Daya : 75 (watt)  
Frekuensi : 50 (Hz)  
Kapasitas : 150 liter kotor, 140 liter bersih  
Berat bersih : 27 (kg)  
Zat pendingin : R-134a 80 gram

- b. Termokopel
- c. *Data logger*
- d. *Pressure gauge*
- e. *Clamp meter*
- f. Pemotong pipa kondensor
- g. Kondensor separasi
- h. Kompresor 1/3 PK
- i. Mesin vakum
- j. *Stopwatch*
- k. *Filler*
- l. Gas butane kecil
- m. *Flame gun*
- n. *Collpack software*
- o. *Swaging tools*

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *refrigerant* R134a yang digunakan sebagai fluida pendingin dari sistem refrigerasi.

### 3.4 Variabel Penelitian

Variabel adalah sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti yang dapat dipelajari dan dipahami sehingga dapat diperoleh tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan.

#### a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi hasil dari sebuah penelitian. Variabel bebas dari penelitian ini diantara lain yaitu:

##### 1. *Baseline Condenser*

Yaitu kondensor biasa yang digunakan dalam *refrigerator domestic*. Dimana pada kulkas A menggunakan tipe kondensor 7U dan kulkas B menggunakan tipe kondensor 9U. Setelah itu dilakukan modifikasi untuk kulkas A dan kulkas B dijadikan satu sitem kerja menggunakan satu buah kompresor sehingga desain kondensor yang baru seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 *Baseline Condenser*

## Spesifikasi kondensor

Tipe	: kondensor 16U
Diameter luar	: 3/16 inch (4,76 mm)
Diameter dalam	: 4,0025 mm
Panjang pipa	: 1678 cm
Bahan	: besi dilapisi dengan tembaga

2. *Separation Condenser 8/8*

*Separation Condenser* adalah modifikasi kondensor dengan pemisah fasa uap dan fasa cair. Dimana desain dari kondensor separasi 8/8 seperti pada Gambar 3.2 berikut.



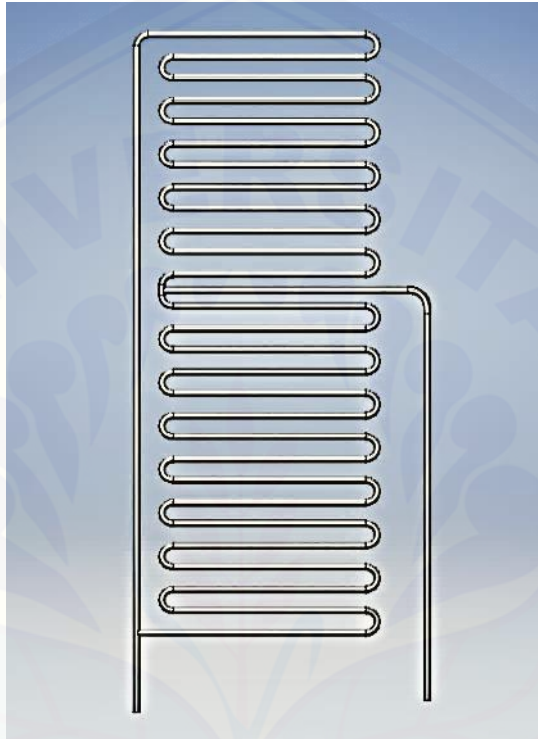
Gambar 3.2 *Separation Condenser 8/8*.

## Spesifikasi kondensor :

Tipe kondensor	: Modifikasi <i>Separation Condenser 8/8</i>
Diameter luar	: 3/16 inch (4,76 mm)
Diameter dalam	: 4,0025 mm
Panjang pipa	: 1820 cm
Material	: Besi dilapisi dengan tembaga

### 3. *Separation Condenser 6/8*

*Separation Condensor* adalah modifikasi kondensor dengan pemisah fasa uap dan fasa cair. Dimana desain dari kondensor separasi 6/8 seperti pada Gambar 3.3 berikut.



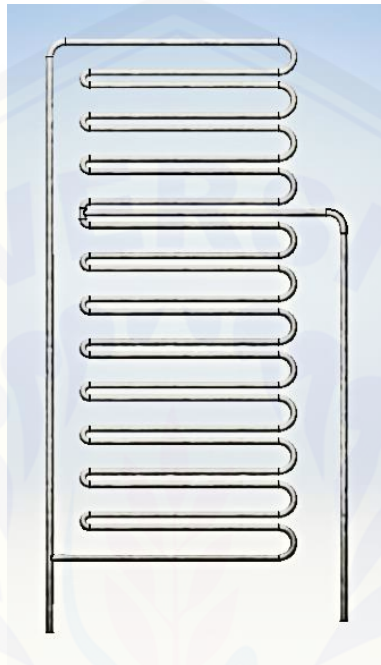
Gambar 3.3 *Separation Condenser 6/8*.

#### Spesifikasi Kondensor:

Tipe Kondensor	: Modifikasi <i>Separation Condenser 6/8</i>
Diameter luar	: 3/16 inch (4,76 mm)
Diameter dalam	: 4,0025 mm
Panjang pipa	: 1604 cm
Material	: Besi dilapisi tembaga

#### 4. *Separation Condenser 4/8*

*Separation Condenser* adalah modifikasi kondensor dengan pemisah fasa uap dan fasa cair. Dimana desain dari kondensor separasi 4/8 seperti pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 *Separation Condenser 4/8*.

##### Spesifikasi Kondensor:

Tipe Kondensor	: Modifikasi <i>Separation Condenser 4/8</i>
Diameter luar	: 3/16 inch (4,76 mm)
Diameter dalam	: 4,0025 mm
Panjang pipa	: 1388 cm
Material	: Besi dilapisi tembaga

#### b. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang diakibatkan adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah temperatur dan tekanan pada titik yang telah ditentukan. Data temperature dan tekanan kemudian diolah agar mendapatkan



nilai entalpi dan digunakan untuk menghitung efek refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, dan COP (*Coefficient Of Performance*).

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan Alat

- a. Memeriksa dan memastikan semua komponen dalam keadaan baik.
- b. Pemasangan kondensor.
- c. Pemasangan *pressure gauge* dan termokopel untuk mengukur tekanan dan temperatur yang telah ditentukan di beberapa titik.

#### 3.5.2 Pemeriksaan Alat

Melakukan pemeriksaan terhadap kesiapan alat uji sebelum dilakukan pengujian. Pengujian alat bertujuan untuk mengetahui bahwa alat uji berfungsi dengan baik atau tidak. Jika baik maka langkah selanjutnya melakukan pengujian. Jika tidak maka hal yang dilakukan yaitu menganalisa penyebabnya dan memperbaikinya.

#### 3.5.3 Pengambilan Data

Di dalam tahap pengambilan data ini dilakukan dengan cara mengukur semua variabel saat pengujian berlangsung. Tahap pengambilan data diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Semua komponen seperti kompresor, kondensor, kapiler, evaporator serta komponen lainnya dirangkai. Pada rangkaian awal menggunakan *baseline condenser*.
- b. Alat ukur dipasang pada beberapa titik yang telah ditentukan untuk mengetahui tekanan dan temperatur.
- c. Pengisian *Refrigerant R134a*.
- d. Menyalakan mesin pendingin hingga kondisi *steady state*, diasumsikan 3 jam setelah penyalaan.
- e. Mencatat semua perubahan temperatur dan tekanan pada setiap titik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.



3.5.4 Pengolahan Data

Setelah pengambilan data, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengolahan data.

- a. Data temperatur dan tekanan digunakan untuk mencari nilai entalphi (h) menggunakan bantuan *software coolpack*.
- b. Dari data percobaan dapat diperoleh antara lain :

- 1) Dampak refrigerasi

$$q_r = h_1 - h_4 \dots\dots\dots(3.1)$$

- 2) Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1 \dots\dots\dots(3.2)$$

- 3) Kapasitas refrigerasi

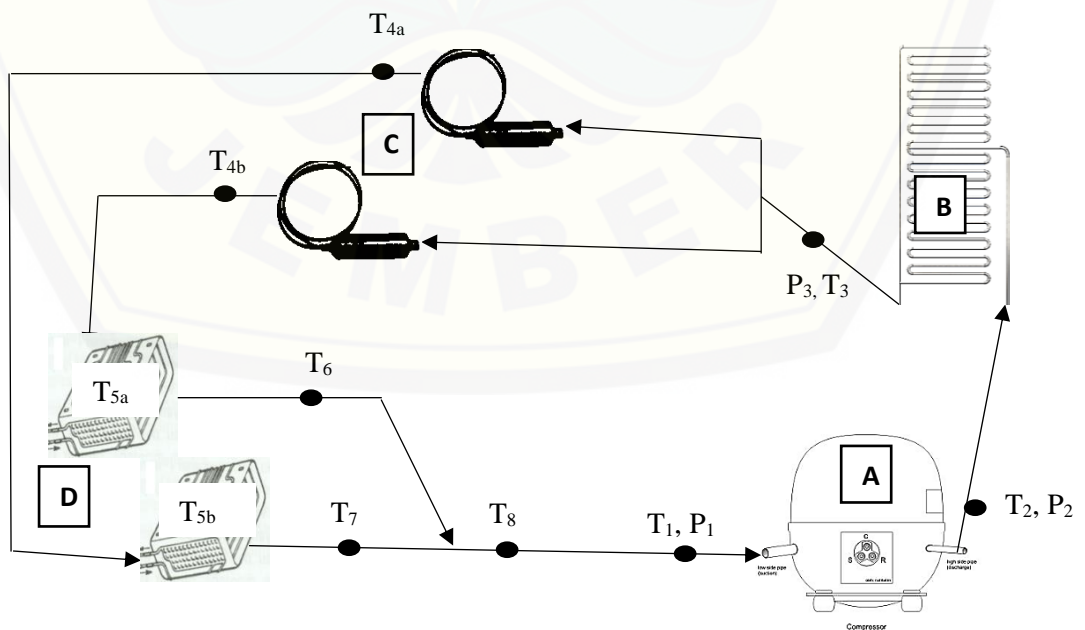
$$q = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(3.3)$$

- 4) COP (*Coefficient of Performance*)

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(3.4)$$

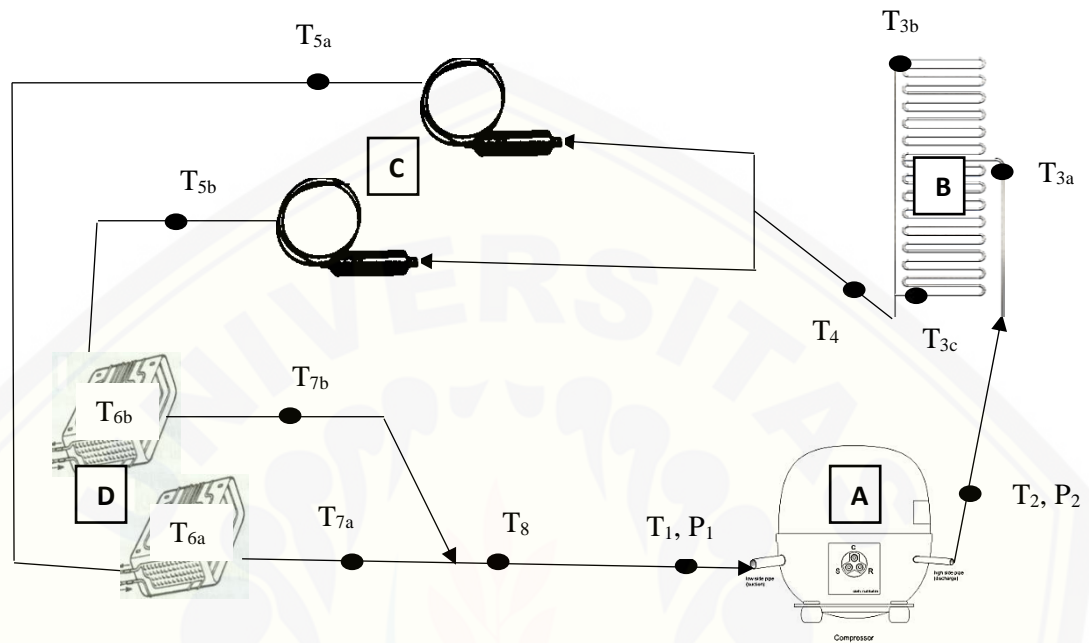
3.6 Skema Alat

Skema rangkain alat uji *baseline* kondensor pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.5 berikut:



Gambar 3.5 Skema alat uji *baseline* kondensor

Skema rangkain alat uji *separation condenser* pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 3.6 berikut:



Gambar 3.6 Skema alat uji *separation condenser*

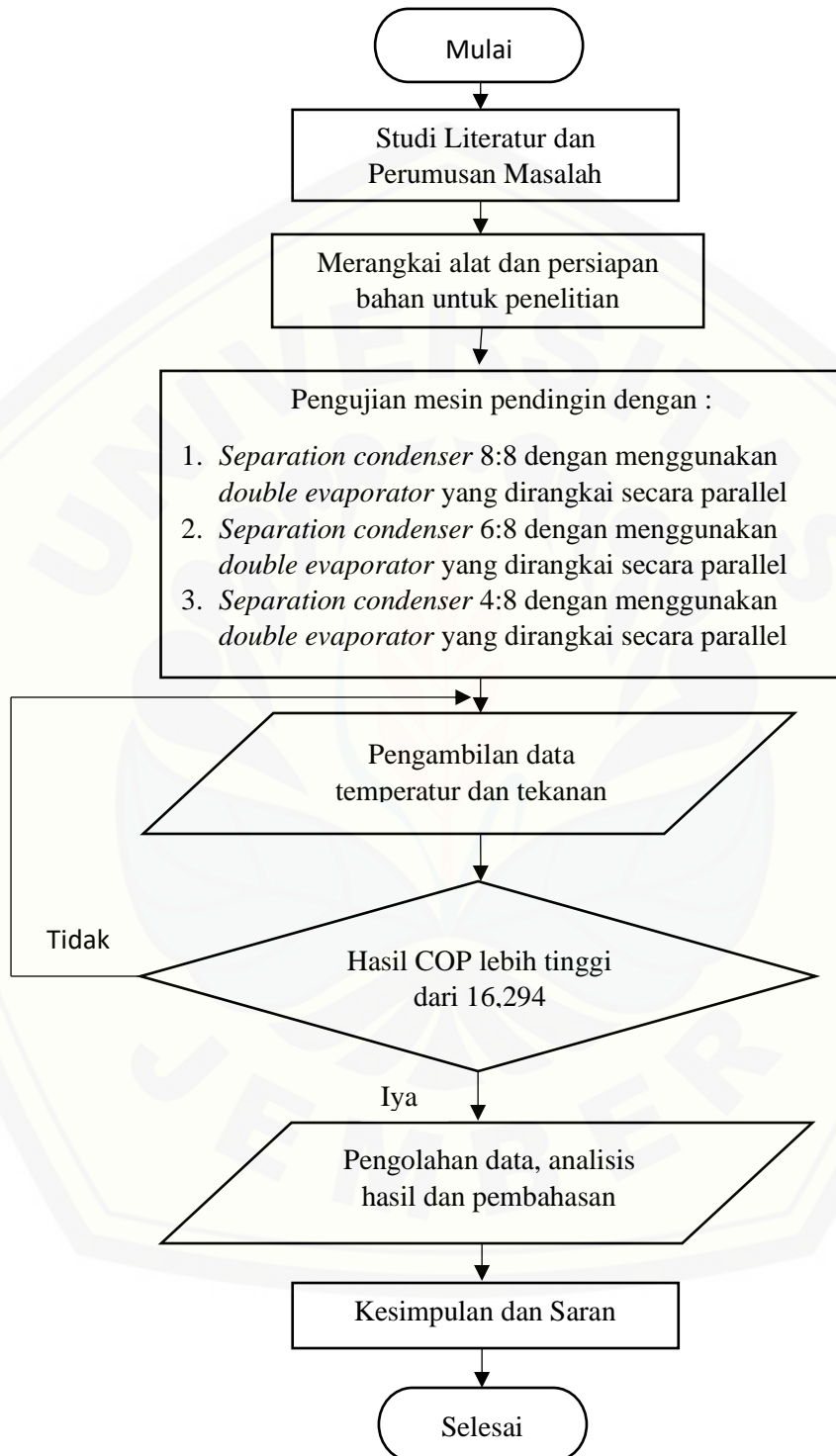
Keterangan :

- A : Kompresor
- B : Kondensor
- C : Kapiler
- D : Evaporator
- T<sub>1</sub> : Temperatur masukan kompresor
- T<sub>2</sub> : Temperatur keluaran kompresor
- T<sub>3</sub> : Temperatur keluaran *baseline* kondensor
- T<sub>3a</sub> : Temperatur masuk kondensor separasi
- T<sub>3b</sub> : Temperatur kondensor separasi atas
- T<sub>3c</sub> : Temperatur kondensor separasi bawah
- T<sub>4</sub> : Temperatur keluaran kondensor
- T<sub>4a</sub> : Temperatur kapiler *baseline* kulkas A
- T<sub>4b</sub> : Temperatur kapiler *baseline* kulkas B

- T<sub>5a</sub> : Temperatur kapiler dan evaporator *baseline* pada kulkas A  
T<sub>5b</sub> : Temperatur kapiler dan evaporator *baseline* pada kulkas B  
T<sub>6</sub> : Temperatur keluaran evaporator A  
T<sub>6a</sub> : Temperatur evaporator kulkas A  
T<sub>6b</sub> : Temperatur evaporator kulkas B  
T<sub>7</sub> : Temperatur keluaran evaporator B  
T<sub>7a</sub> : Temperatur keluaran evaporator A  
T<sub>7b</sub> : Temperatur keluaran evaporator B  
T<sub>8</sub> : Temperatur keluaran evaporator A&B  
P<sub>1</sub> : Tekanan masuk kompresor  
P<sub>2</sub> : Tekanan keluar kompresor  
P<sub>3</sub> : Tekanan keluar kondensor

### 3.7 Diagram Alir

Pada Gambar 3.7 berikut merupakan diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 3.7 Diagram Alir

### 3.8 Tabel Kegiatan

Berikut ini merupakan tabel pelaksanaan kegiatan penelitian yang akan dilakukan. Jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	November	Desember	Januari	Februari
1	Studi Literatur				
2	Penyusunan Proposal				
3	Persiapan Alat dan Bahan				
4	Perangkaian Alat				
5	Pengujian Alat				
6	Pengambilan Data				
7	Pengolahan dan Analisis Data				

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Dampak refrigerasi tertinggi yaitu 373,1 kJ/kg pada *separation condenser* 6/8, sedangkan nilai terendah yaitu 368,44 kJ/kg yang terdapat pada *separation condenser* 4/8.
- b. Kerja kompresi tertinggi yaitu 46,76 kJ/kg yang terdapat pada *baseline* kondensor, sedangkan nilai terendah yaitu 38,32 kJ/kg yang terdapat pada *separation condenser* 6/8.
- c. Laju aliran massa tertinggi yaitu terdapat pada *baseline* kondensor yang menggunakan *refrigerant* R134A dengan nilai sebesar  $69 \times 10^{-4}$  kg/s sedangkan nilai terendah terdapat pada *separation condenser* 4/8 dengan nilai  $68,3 \times 10^{-4}$  kg/s.
- d. Kapasitas refrigerasi tertinggi terjadi pada *separation condenser* 6/8 dengan nilai 2,59 kW dan nilai terendah terdapat pada *separation condenser* 4/8 dengan nilai 2,52 kW.
- e. COP tertinggi yaitu 18,8204 yang terjadi pada *separation condenser* 6/8, sedangkan nilai terendah terdapat pada *baseline* kondensor dengan nilai rata – rata 16,0314.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Sebaiknya sebelum mengambil data suhu, termokopel dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara memasukkan termokopel kedalam air mendidih, apa bila menunjukkan temperatur 100 °C, maka termokopel dalam keadaan baik.
- b. Penelitian selanjutnya sebaiknya perlu dilakukan pengujian yang lebih lanjut mengenai desain *separation condenser*.



- c. Sebaiknya hindari penyambungan pipa yang terlalu banyak agar dapat mengurangi kemungkinan kebocoran pada sistem pendingin.
- d. Saat pengujian berlangsung, komponen rangkaian pendingin harus tertutup rapat agar tidak ada udara dari lingkungan yang masuk ke sistem.
- e. Saat pengujian berlangsung pemasangan termokopel harus tepat dan sesuai pada + dan - agar tidak terjadi *burn out*.
- f. Hati – hati saat melakukan menyambungan pipa, karena *filler* las mudah masuk kedalam pipa sambungan dan menjadi tersumbat.
- g. Hasil penelitian ini merupakan data pendukung yang diharapkan mampu menjadi acuan oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin yang lebih baik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arismunandar, W., Saito, H. 1991. *Penyegaran Udara*. Jakarta. PT Pradya Pramita
- Bhaskara, Dirga. 2019. Pengaruh Variasi Separation Condenser Terhadap Kinerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant Liquefied Petroleum Gas. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Babu, P.S., dan Babu, N.H., 2013. Experimental Study of A Domestic Refrigeration/Freezer Using Variable Condenser Length. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2(12): 1477 -1486.
- Hadianto, Y. 2014. Redesign of Simple Refrigeration Simulator. *Tugas Akhir*. Semarang: Program Studi Diploma III Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Hua, N., Y. Chen, E. Chen, L. Deng, W. Zheng, dan Z. Yang. 2013. Prediction and Verification of the Thermodynamic Performance of Liquid-vapor Separation Condenser. *Jurnal Ilmiah Elsevier Energy*. 58 (2013) 384 397.
- Karyanto, E. dan Paringga, Emon. 2003. *Teknik Mesin Pendingin*. Jakarta: CV. Restu Agung.
- Lavanis M., Haider.I., Radermacher.R. 1998. Experimental Investigation of an Alternating Evaporator Duty Refrigerator/Freezer, *ASHRAE Transactions*, Vol.104, P. 2.
- Luo, X., J. Xu, Y. Chen, dan S. Mo. 2015. Mathematical Optimization of the Liquid Separation Condenser Used in the Organic Rankine Cycle. *Jurnal Ilmiah Elsevier Energy Procedia* 75 (2015) 3127 – 3132.
- Li, J., dan P. Hrnjak. 2017. Separation in condensers as a way to improve efficiency. *International Journal of Refrigeration*. 79: 1-9.
- 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.
- Nurchahyo, H. E. 2018. Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Domestic Refrigerator dengan Separation Condenser Menggunakan Refrigerant LPG dan Refrigerant R-134a. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

- Stoecker, W. F. dan Jones, J. W. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*. Second Edition. Singapore: McGraw-Hill Inc.
- Sumanto. 2004. *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*. Yogyakarta: Andi.
- Widodo, S. dan Hasan, S., 2008. *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara*. Edisi Kedua. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Wang, Shan K. 1994. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. New York: Mc Graw- Hill.
- 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.
- Yahya, A. 2018. Unjuk Kerja Separation Condenser Refrigerator dengan Penambahan Subcooler Menggunakan Refrigerant Liquefied Petroleum Gas. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Zheng, W., Y. Chen, N. Hua, T. Zhong, dan Y. Gong. 2014. Comparative Performance of an Automotive Air Conditioning System Using Micro-channel Condensers with and without Liquid-vapor Separation. *Jurnal Ilmiah Elsevier Energy Procedia*. 61 (2014) 1646 – 1649.
- Zhong, T., Y. Chen, N. Hua, W. Zheng, X. Luo, dan S. Mo. 2014. In-tube Performance Evaluation of an Air-cooled Condenser with Liquid-vapor Separator. *Jurnal Ilmiah Elsevier Applied Energy*. 136 (2014) 908-978.

## LAMPIRAN

## Lampiran A. Data Hasil Pengujian

1. Hasil Pengujian Rangkaian *Baseline* KondensorTabel A.1 Hasil pengujian *baseline* kondensor

Waktu (menit)	Temperature (°C)										Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4a</sub>	T <sub>4b</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	28,0	70,2	34,1	30,7	31,2	-17,3	-6,0	22,7	24,5	25,8	6	165	162
195	28,3	70,3	33,9	30,5	31,2	-17,2	-5,1	22,8	24,6	25,9	6	160	156
210	28,5	70,0	33,2	30,3	32,2	-17,0	-4,8	22,6	24,7	25,8	4	160	156
225	28,4	70,0	33,2	30,3	32,0	-16,0	-4,7	22,7	24,7	25,8	4	160	158
240	28,6	70,3	33,9	30,1	31,7	-16,0	-4,9	23,0	24,4	26,0	4	160	156
255	27,9	70,0	33,2	30,0	31,5	-16,3	-4,5	23,0	24,5	25,1	4	160	154
270	28,1	70,0	33,4	30,7	31,3	-16,4	-4,7	22,8	24,6	26,0	4	160	156
285	28,4	70,2	33,6	30,7	31,4	-16,6	-4,5	23,0	24,8	26,0	4	160	156
300	28,1	70,1	34,0	30,9	31,7	-16,2	-4,3	22,7	24,5	25,9	4	160	156
315	28,7	70,0	33,5	29,8	31,2	-16,1	-4,6	23,1	24,6	25,8	4	160	156
330	28,0	70,1	33,7	29,7	31,8	-16,0	-4,3	23,8	24,6	25,7	4	160	158
345	28,7	70,0	33,4	29,9	31,5	-16,7	-4,0	23,0	24,6	26,0	4	165	158
360	28,0	70,2	33,4	29,7	31,0	-16,9	-3,1	23,1	24,6	26,0	4	160	156

Tabel A.2 Hasil pengujian *baseline* kondensor

Waktu (menit)	Temperature (°C)										Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4a</sub>	T <sub>4b</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	28,0	70,2	33,5	30,5	31,5	-17,3	-6,0	23,0	24,5	25,1	6	165	162
195	28,3	70,1	33,7	30,3	31,3	-17,2	-5,1	22,8	24,6	26,0	6	160	156
210	28,5	70,0	33,4	30,3	31,2	-17,0	-4,9	23,0	24,6	26,0	4	160	156
225	28,0	70,3	33,2	30,1	31,2	-16,4	-4,5	22,7	24,6	25,9	4	160	158
240	28,6	70,0	33,4	30,7	31,0	-16,3	-4,7	22,8	24,6	25,8	4	160	156
255	27,9	70,0	33,6	30,7	31,4	-16,0	-4,5	22,7	24,5	25,9	4	160	154
270	28,1	70,0	34,0	30,9	31,7	-16,7	-4,7	22,8	24,6	25,8	4	160	156
285	28,4	70,0	34,1	30,7	31,2	-16,9	-4,3	22,6	24,8	25,8	4	160	156
300	28,1	70,1	33,4	30,0	31,8	-16,0	-4,6	22,6	24,5	25,9	4	160	156
315	28,7	70,2	33,9	29,8	31,5	-16,6	-4,3	22,7	24,6	25,8	4	160	156

330	28,4	70,2	33,9	29,7	32,2	-16,2	-4,8	23,0	24,5	25,8	4	160	158
345	28,7	70,3	33,2	29,9	32,0	-16,1	-4,0	23,0	24,6	26,0	4	165	158
360	28,0	70,0	33,2	29,7	31,7	-16,0	-3,1	23,1	24,6	26,0	4	160	156

Tabel A.3 Hasil pengujian *baseline* kondensor

Waktu (menit)	Temperature (°C)										Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4a</sub>	T <sub>4b</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	28,4	70,0	33,5	30,3	31,4	-17,3	-6,0	22,6	24,7	25,1	6	165	162
195	28,5	70,2	33,6	30,1	31,7	-17,2	-5,1	22,7	24,7	26,0	6	160	156
210	28,4	70,1	34,0	30,0	31,7	-17,0	-4,5	22,8	24,4	26,0	4	160	156
225	28,7	70,2	34,1	29,8	31,5	-16,0	-4,7	22,6	24,6	25,9	4	160	158
240	28,0	70,3	33,9	29,7	31,3	-16,3	-4,5	22,7	24,6	25,8	4	160	156
255	28,1	70,0	33,2	29,9	31,2	-16,0	-4,0	23,0	24,5	26,0	4	160	154
270	28,7	70,0	33,2	30,7	31,2	-16,7	-4,3	23,0	24,6	25,8	4	160	156
285	28,0	70,1	33,7	30,7	31,2	-16,9	-4,6	23,0	24,8	25,7	4	160	156
300	28,6	70,0	33,4	30,9	31,8	-16,4	-4,3	22,8	24,5	26,0	4	160	156
315	27,9	70,2	33,4	30,7	31,5	-16,6	-4,8	23,0	24,6	25,8	4	160	156
330	28,1	70,3	33,9	30,5	32,2	-16,2	-4,7	22,7	24,7	25,7	4	160	158
345	28,0	70,0	33,2	30,3	32,0	-16,1	-4,9	22,8	24,7	26,0	4	165	158
360	28,3	70,0	33,4	29,7	31,0	-16,0	-3,1	23,1	24,4	26,0	4	160	156

## 2. Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 8/8

Tabel A.4 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 8/8

Waktu (menit)	Temperature (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	30	70,9	52	38	36,5	32,2	31,6	30,4	-18,7	-11,9	30	30,1	30,4	6	170	166
195	30	70,3	53	39	34,1	32,4	31,3	30,4	-18,7	-12,2	30	29,9	30,8	6	170	165
210	31	71,4	50	37,7	36,8	32,4	31,6	30,5	-18,8	-12,2	30	30	30	6	170	165
225	30	70,0	52	38,5	33,4	32,1	31,7	30,6	-18,7	-12,2	30	30	30,5	6	170	160
240	30	71,9	51	39	32,5	32,4	31,8	30,7	-18,7	-12,3	30	30,4	30,3	6	170	160
255	30	71,1	50	39,1	34,3	32,3	32,2	30,7	-18,9	-12,5	31	29,8	30,5	6	170	166
270	30	70	50	39,4	35,8	32,1	31	30,6	-19	-12,6	30	30	30,4	6	170	165
285	30	71,8	54	37,5	37	32	31,8	30,1	-19,1	-12,8	30	30,8	30,3	6	170	165
300	30	71,4	56	38,3	35,3	31,8	31,9	29,6	-19	-13	30	30,8	30,2	6	170	165
315	30	70	54	38	38	31,9	32,3	29,9	-19,2	-13	30	30,7	30	4	170	165
330	30	70	52	38,3	34,6	32	31,5	29,7	-19,6	-13	30	30,6	30	4	170	165
345	30	70	52	38,8	35,2	31,8	31,7	30	-19,3	-12,7	30	30,6	30,1	4	170	165
360	30	70,9	51	38,6	33,4	31,3	31,6	29,7	-18,8	-12,4	30	30,5	29,8	4	170	165

Tabel A.5 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 8/8

Waktu (menit)	Temperature (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	30	71,1	53	38,4	33,9	32,5	31,5	30,4	-18,7	-12,3	30	30,4	30,1	6	170	166
195	31	70,7	53	39,9	32,5	32,7	31,7	30,8	-18,7	-12,2	30	30,3	30,8	6	170	165
210	30	71,7	51	38	35,9	32,7	31,6	30	-19,1	-12,6	30	30,2	30,7	6	170	165
225	30	70,4	53	38,6	34,3	32,3	31,6	30,5	-19	-12,8	30	30,2	30,6	6	170	160
240	30	72	52	39,1	34,9	32,6	31,3	29,9	-19,2	-12,2	30	30,1	30,6	6	170	160
255	30	71,6	50	39,1	35,4	32,4	31,6	30	-18,8	-12,2	30	30	30,7	6	170	166
270	30	70,5	50	39,5	36,1	32,2	31,7	30	-18,7	-11,9	31	30,8	30,7	6	170	165
285	30	71,9	55	37,9	36,9	32,1	31,8	30,4	-18,7	-12,5	30	30	30,6	6	170	165
300	30	71,8	56	38,6	34,5	31,9	32,2	30	-18,9	-13	31	29,8	30,1	6	170	165
315	30	70,2	54	37,9	37,6	32	31	30	-19	-12,7	30	29,8	30,6	4	170	165
330	30	70,1	53	38	33,4	32,3	31,8	30,1	-19,6	-13	30	29,5	30,4	4	170	165
345	30	70,5	52	38,9	33,1	32,1	31,9	29,8	-19,3	-13	30	29,7	30,6	4	170	165
360	30	71,4	52	38,6	33,3	31,6	32,3	29,7	-18,8	-12,4	30	30	30,5	4	170	165

Tabel A.6 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 8/8

Waktu (menit)	Temperature (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	31	70,9	52	38,3	35,9	32,3	31,6	30	-18,7	-12,5	30	30,8	30	6	170	166
195	30	70,6	53	39,3	33,1	32,5	31,7	30,1	-18,7	-12,6	31	30,8	30	6	170	165
210	30	71,4	50	38,4	36,8	32,5	31,8	29,8	-18,9	-12,8	30	30,7	30,4	6	170	165
225	30	70,5	52	38,6	35,1	32,3	31,9	29,7	-18,7	-12,2	30	30,6	29,8	6	170	160
240	30	71,7	51	38,9	33,5	32,5	32,3	30,4	-18,7	-12,2	30	30,2	30,4	6	170	160
255	30	71,3	50	39,1	35,1	32,6	31,5	30,4	-18,8	-11,9	30	30,2	30,8	6	170	166
270	30	70,3	50	39,5	35,5	32,4	31,7	30,5	-19,6	-12,2	30	30,2	30	6	170	165
285	30	71,6	54	38	36,3	32,3	31	30,3	-19,3	-12,3	30	30,1	30,5	6	170	165
300	30	71,6	55	38,5	33,8	32,1	31,8	30,5	-18,8	-13	30	30	29,9	6	170	165
315	30	70,2	53	37,7	36,7	32,2	31,6	30,4	-19	-13	31	30,1	29,6	4	170	165
330	30	70,1	52	37,7	33	32,1	31,6	30,3	-19,1	-12,4	31	30,2	29,9	4	170	165
345	30	70,3	51	39	33,7	31,9	31,3	30,2	-19	-12,7	31	30,6	29,7	4	170	165
360	30	70,7	51	38,6	33,3	31,4	32,2	30	-19,2	-13	31	30,5	30	4	170	165

**3. Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 6/8**

Tabel A.7 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 6/8

Waktu (menit)	Temperature (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	30,4	70,6	55,4	43,5	41,0	36,5	31,6	32,3	-19,7	-17,8	28,7	29,4	30,4	5	180	170
195	30,0	70,6	54,5	43,5	41,5	36,7	31,6	32,3	-20,1	-18,4	28,5	29,3	30,3	5	180	170
210	30,1	71,1	54,6	43,7	41,2	37,2	31,7	31,7	-20,3	-18,4	28,5	29,1	30,2	5	180	170
225	30,2	71,6	54,6	43,3	41,6	37,5	32,2	32,1	-19,7	-18,6	28,5	28,9	30,4	5	175	165
240	30,2	71,1	54,4	43,4	41,3	37,4	31,7	31,8	-19,1	-19,4	29,9	28,8	30,3	5	175	165
255	30,2	71,6	55,7	43,7	41,7	37,9	32,1	31,5	-19,4	-19,8	29,8	28,9	30,1	5	175	165
270	30,1	71,6	54,9	43,7	41,6	37,9	32,0	31,5	-19,9	-18,2	29,9	29,7	30,5	5	175	175
285	30,1	70,9	55,3	43,6	41,8	37,1	32,3	31,8	-19,8	-18,3	29,3	29,2	30,7	5	175	175
300	30,2	71,3	55,3	43,8	41,8	37,2	32,2	32,7	-20,1	-17,8	29,2	29,2	30,4	5	175	170
315	30,3	70,9	55,0	43,9	41,4	37,3	31,5	32,1	-20,1	-17,9	28,8	29,4	30,2	5	175	170
330	30,3	70,8	55,2	43,9	41,2	37,3	31,5	31,7	-20,0	-18,0	29,1	29,6	30,3	5	170	165
345	30,0	71,1	55,1	43,6	41,2	37,5	31,5	32,2	-20,1	-18,0	28,7	29,2	30,3	5	170	165
360	30,2	71,2	55,2	43,3	41,0	38,1	32,1	32,0	-20,5	-18,2	28,7	29,2	30,4	5	170	165

Tabel A.8 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 6/8

Waktu (menit)	Temperature (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	30,2	70,8	55,2	43,6	41,3	38,1	31,7	32,7	-20,1	-17,8	28,7	29,2	30,4	5	180	170
195	30,1	70,6	55,7	43,8	41,7	37,4	31,5	31,5	-20,1	-17,8	28,5	29,4	30,2	5	180	170
210	30,1	70,6	54,9	43,9	41,8	37,2	31,5	31,8	-20,0	-18,6	28,5	29,3	30,4	5	180	170
225	30,2	71,1	54,5	43,9	41,4	37,3	32,1	32,3	-19,7	-19,4	28,5	29,2	30,3	5	175	165
240	30,0	71,6	55,4	43,6	41,6	37,3	32,0	32,3	-19,1	-19,8	28,7	29,2	30,4	5	175	165
255	30,1	71,1	55,3	43,3	41,8	37,5	32,3	31,7	-19,4	-17,9	29,9	29,1	30,3	5	175	165
270	30,4	71,1	55,3	43,7	41,0	37,9	32,2	32,1	-19,9	-18,0	29,8	28,9	30,2	5	175	175
285	30,3	71,2	54,6	43,3	41,0	37,9	31,6	31,8	-19,8	-18,0	29,9	28,8	30,3	5	175	175
300	30,3	71,6	54,6	43,4	41,5	37,1	31,6	32,1	-20,1	-18,2	29,3	28,9	30,3	5	175	170
315	30,0	71,6	54,4	43,7	41,2	36,5	31,7	31,7	-20,3	-18,2	29,2	29,4	30,4	5	175	170
330	30,2	70,9	55,0	43,5	41,6	37,5	32,2	32,2	-19,7	-18,3	28,8	29,6	30,5	5	170	165
345	30,2	71,3	55,2	43,5	41,2	36,7	31,5	32,0	-20,1	-18,4	29,1	29,7	30,7	5	170	165
360	30,2	70,9	55,1	43,7	41,2	37,2	32,1	31,5	-20,5	-18,4	28,7	29,2	30,1	5	170	165

Tabel A.9 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 6/8

Waktu (menit)	Temperature (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	30,4	71,6	55,1	43,8	41,2	37,9	31,6	31,5	-19,1	-18,4	29,9	28,8	30,4	5	180	170
195	30,3	71,6	55,2	43,9	41,2	37,1	31,7	31,5	-20,1	-18,4	29,3	28,9	30,3	5	180	170
210	30,3	70,9	55,3	43,9	41,0	36,5	32,2	31,8	-20,1	-17,8	29,2	29,4	30,1	5	180	170
225	30,0	71,1	55,0	43,6	41,0	37,5	31,7	32,3	-20,0	-17,8	28,8	29,3	30,4	5	175	165
240	30,1	71,1	55,2	43,3	41,5	38,1	31,5	32,3	-19,4	-17,9	29,1	29,2	30,3	5	175	165
255	30,2	71,2	55,4	43,7	41,6	37,4	31,5	32,7	-19,9	-18,0	28,7	29,4	30,2	5	175	165
270	30,1	70,6	55,3	43,3	41,8	37,9	31,5	32,1	-19,8	-18,0	28,5	29,6	30,3	5	175	175
285	30,2	70,6	55,7	43,4	41,8	37,2	32,1	31,7	-19,7	-18,2	28,5	29,7	30,3	5	175	175
300	30,0	71,1	54,9	43,7	41,4	37,3	32,1	32,2	-20,1	-18,2	28,5	29,2	30,4	5	175	170
315	30,2	71,6	54,6	43,5	41,2	37,3	32,0	32,0	-20,3	-18,3	28,7	29,2	30,5	5	175	170
330	30,1	71,3	54,4	43,5	41,6	36,7	32,3	31,7	-19,7	-18,6	29,9	29,2	30,7	5	170	165
345	30,2	70,9	54,5	43,7	41,3	37,2	32,2	32,1	-20,1	-19,4	29,8	29,1	30,4	5	170	165
360	30,2	70,8	54,6	43,6	41,7	37,5	31,6	31,8	-20,5	-19,8	28,7	28,9	30,2	5	170	165

**4. Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 4/8**

Tabel A.10 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensor Separasi 4/8

Waktu (menit)	Temperatur (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	30	72	55,8	44	41,1	37,8	31,8	32,1	-21,4	-21,2	29,5	29,8	29,9	4	180	170
195	30	73	55,3	43	41,5	37,6	32,5	32,1	-21,4	-21,8	29,7	30,2	30,1	4	180	170
210	31	73	54,7	43	41,3	37,6	32,5	31,6	-21,2	-21,8	29,9	29,8	29,9	4	180	170
225	30	73	54,9	43	40,9	37,5	32,3	32,3	-21,2	-21,4	29,8	30,1	29,9	4	180	165
240	30,0	73	54,9	43	40,9	37,2	32,7	32,6	-20,7	-21,1	30,2	29,8	30,1	4	180	165
255	31	72	55,8	44	41,1	37,0	31,9	32,2	-20,1	-20,7	30,3	30,1	30,2	4	175	160
270	29	73	55,7	44	41,2	37,2	32,7	32,1	-20,1	-19,7	29,5	30,1	29,7	4	175	160
285	29	73	55,7	44	41,7	37,5	32,5	32,0	-20,4	-19,7	30,5	30,5	29,8	4	175	160
300	29	73	55,7	44	41,8	37,2	32,2	32,1	-20,5	-19,8	29,7	30,4	30,0	4	175	160
315	30	72	55,1	43,0	40,9	37,3	32,2	32,0	-20,9	-20,3	29,9	30,1	30,1	4	175	160
330	30	73	55,6	43	41,8	37,6	31,8	32,0	-20,5	-20,7	29,7	30,4	30,2	4	175	160
345	30	73	55,8	43	41,8	37,6	32,9	33,3	-20,4	-21,2	29,8	29,7	30,5	4	170	160
360	30	73	55,6	43	41,9	37,2	32,3	33,5	-20,4	-20,7	30,1	29,5	30,2	4	170	160



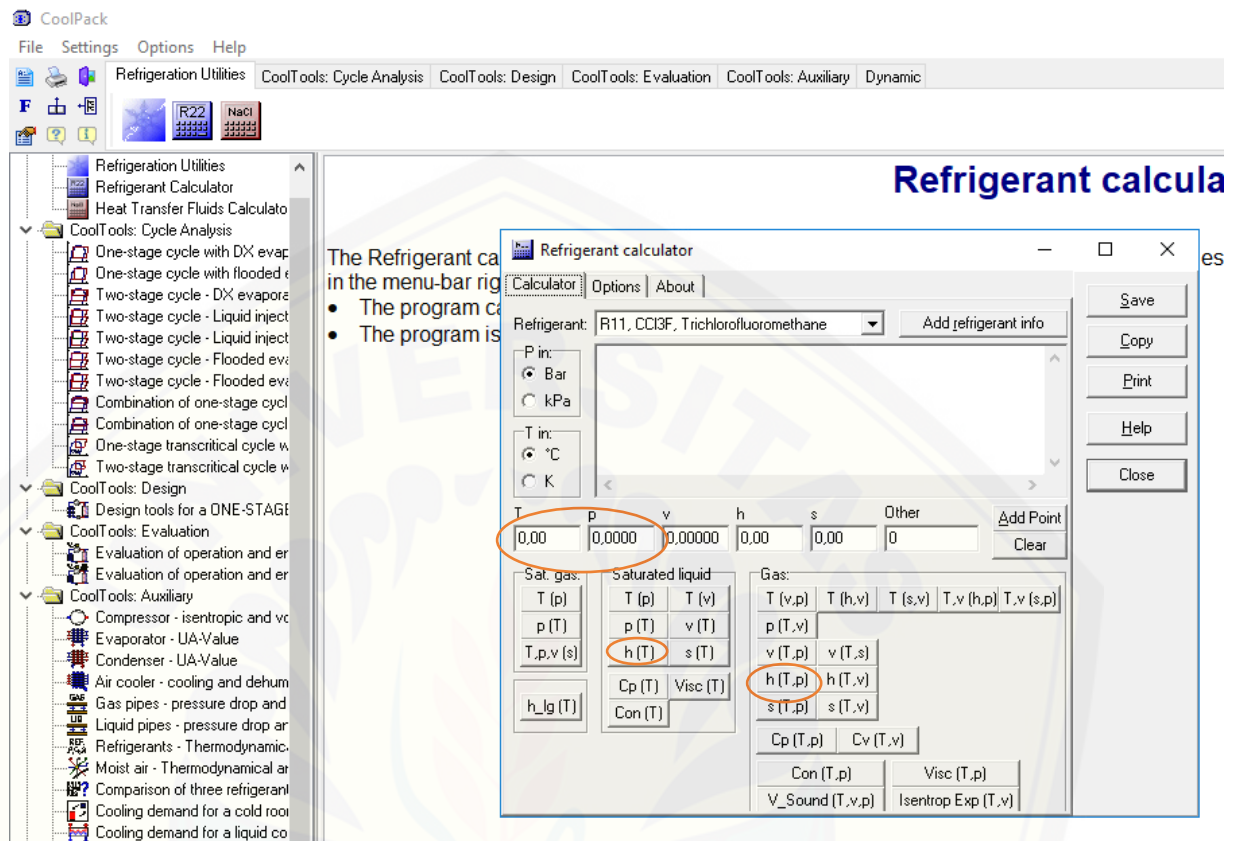
Tabel A.11 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensator Separasi 4/8

Waktu (menit)	Temperatur (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	31	72	55,8	43	41,7	37,6	31,8	31,6	-20,1	-19,7	29,5	29,8	30,2	4	180	170
195	31	73	55,7	43	41,8	37,6	32,5	32,3	-20,1	-19,7	29,5	30,2	30,1	4	180	170
210	30	72	55,7	43	40,9	37,8	32,5	32,6	-21,4	-19,8	29,7	29,8	29,9	4	180	170
225	30,0	73	55,8	43	40,9	37,6	32,3	33,3	-21,2	-20,3	29,9	29,5	30,0	4	180	165
240	30	73	55,3	43	40,9	37,6	32,7	32,0	-21,2	-20,7	29,9	29,8	30,1	4	180	165
255	30	73	54,7	44	41,1	37,5	32,9	32,2	-20,7	-21,4	29,7	30,1	30,2	4	175	160
270	30	73	55,7	44	41,2	37,5	32,3	32,1	-20,4	-21,1	29,8	30,1	30,5	4	175	160
285	30	73	55,1	44	41,1	37,2	32,7	32,1	-20,5	-20,7	30,1	30,5	29,9	4	175	160
300	29	73	55,6	43	41,5	37,3	32,5	32,1	-20,9	-20,7	29,8	30,4	29,7	4	175	160
315	29	72	55,8	43	41,3	37,2	32,2	32,0	-21,4	-21,2	30,2	30,1	29,8	4	175	160
330	29	73	55,6	44	41,8	37,0	32,2	32,1	-20,5	-21,2	30,3	30,4	29,9	4	175	160
345	30	73	54,9	44	41,8	37,2	31,8	32,0	-20,4	-21,8	30,5	29,7	30,1	4	170	160
360	30	73	54,9	43,0	41,9	37,2	31,9	33,5	-20,4	-21,8	29,7	30,1	30,2	4	170	160

Tabel A.12 Hasil Pengujian Rangkaian Kondensator Separasi 4/8

Waktu (menit)	Temperatur (°C)													Tekanan (Psi)		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3a</sub>	T <sub>3b</sub>	T <sub>3c</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5a</sub>	T <sub>5b</sub>	T <sub>6a</sub>	T <sub>6b</sub>	T <sub>7a</sub>	T <sub>7b</sub>	T <sub>8</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
180	29	72	55,7	44	40,9	37,5	32,7	32,3	-20,1	-19,7	29,5	30,1	29,9	4	180	170
195	30	73	54,7	44	41,1	37,2	32,5	32,6	-20,7	-19,7	29,7	30,4	29,7	4	180	170
210	30	73	54,9	43,0	41,2	37,3	32,2	33,3	-20,5	-19,8	29,9	29,7	29,8	4	180	170
225	31	73	54,9	43	41,1	37,6	32,5	33,5	-20,4	-21,8	29,7	30,1	30,0	4	180	165
240	31	72	55,6	43	41,5	37,6	32,5	32,0	-20,4	-21,8	29,8	29,8	30,1	4	180	165
255	29	73	55,8	44	41,3	37,8	32,3	32,2	-21,4	-21,4	30,2	30,2	30,1	4	175	160
270	29	73	55,7	44	41,7	37,6	32,7	32,1	-21,4	-20,3	30,3	30,5	30,1	4	175	160
285	30	72	55,7	44	41,8	37,6	32,9	32,1	-21,2	-20,7	30,5	30,2	30,5	4	175	160
300	30,0	73	55,8	43	40,9	37,5	32,3	31,6	-21,2	-21,2	29,5	30,1	30,4	4	175	160
315	30	73	55,3	43	40,9	37,2	32,2	32,1	-20,1	-21,2	29,7	29,8	29,9	4	175	160
330	30	73	55,1	43	41,8	37,0	31,8	32,0	-20,4	-21,1	29,9	30,2	29,9	4	175	160
345	30	73	55,6	43	41,8	37,2	31,9	32,1	-20,5	-20,7	29,8	29,8	30,1	4	170	160
360	30	73	55,8	43	41,9	37,2	31,8	32,0	-20,9	-20,7	30,1	29,5	30,2	4	170	160

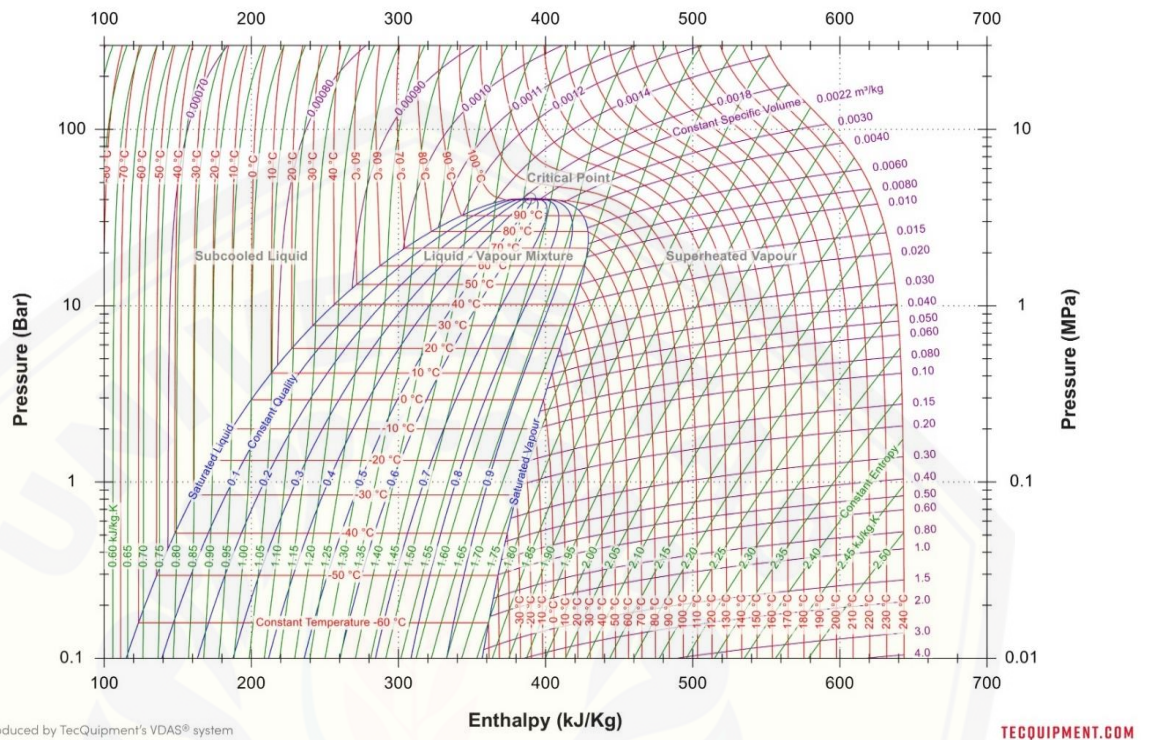
Lampiran B. Tampilan Coolpack Refrigerant Calculator



Gambar B.1 Coolpack Refrigerant Calculator

Nilai entalpi didapatkan dengan cara mengisi  $T$  (*temperature*) dan  $P$  (*tekanan*). Nilai entalpi fasa gas, akan diketahui dengan memilih  $h(T,p)$  pada gas, sedangkan untuk fasa cair, nilai entalpi akan diketahui dengan memilih  $h(T)$  pada *saturated liquid*.

Lampiran C. Tampilan Diagram P-h R134a



Gambar C.1 Tampilan Diagram P-h R134a

Cara membaca diagram P-h yaitu dengan membuat garis horizontal pada tekanan *suction* dan *discharge*, kemudian suhu yang diketahui T1-T4 ditegakluruskan dengan tekanan tersebut, sehingga nilai entalpi dapat diketahui.

Lampiran D. Termodinamic of R134a

TEMP °C	PRESSURE = 30.00 kPa (abs)					
	V	H	S	Cp	Cp/Cv	v <sub>s</sub>
-49.66	0.00069	136.5	0.7446	1.2205	1.5084	855.4
-49.66	0.59559	368.2	1.7813	0.7154	1.1468	141.8
-45	0.60901	371.5	1.7961	0.7224	1.1434	143.3
-40	0.62344	375.2	1.8118	0.7300	1.1401	144.8
-35	0.63735	378.8	1.8274	0.7379	1.1370	146.4
-30	0.65189	382.6	1.8428	0.7459	1.1341	147.9
-25	0.66578	386.3	1.8581	0.7541	1.1315	149.4
-20	0.67981	390.1	1.8732	0.7623	1.1289	150.9
-15	0.69396	393.9	1.8882	0.7707	1.1266	152.3
-10	0.70771	397.8	1.9031	0.7790	1.1244	153.8
-5	0.72202	401.7	1.9178	0.7874	1.1223	155.2
0	0.73584	405.7	1.9324	0.7959	1.1203	156.6
5	0.74963	409.7	1.9470	0.8043	1.1184	158.0
10	0.76336	413.7	1.9614	0.8128	1.1166	159.3
15	0.77760	417.8	1.9757	0.8213	1.1149	160.7
20	0.79114	421.9	1.9899	0.8297	1.1132	162.0
25	0.80515	426.1	2.0040	0.8382	1.1117	163.4
30	0.81900	430.3	2.0180	0.8466	1.1102	164.7
35	0.83264	434.6	2.0319	0.8550	1.1087	166.0
40	0.84602	438.9	2.0457	0.8634	1.1073	167.3
45	0.85985	443.2	2.0595	0.8717	1.1060	168.5
50	0.87413	447.6	2.0731	0.8800	1.1047	169.8
55	0.88731	452.0	2.0867	0.8883	1.1035	171.1
60	0.90171	456.5	2.1002	0.8965	1.1023	172.3
65	0.91491	461.0	2.1136	0.9047	1.1012	173.5
70	0.92851	465.5	2.1270	0.9129	1.1001	174.8
75	0.94251	470.1	2.1402	0.9210	1.0990	176.0
80	0.95602	474.7	2.1534	0.9290	1.0979	177.2
85	0.96993	479.4	2.1665	0.9370	1.0969	178.4
90	0.98328	484.1	2.1796	0.9449	1.0960	179.6
95	0.99701	488.8	2.1925	0.9528	1.0950	180.7
100	1.01112	493.6	2.2054	0.9607	1.0941	181.9
105	1.02459	498.4	2.2183	0.9685	1.0932	183.1
110	—	—	—	—	—	—

Lebih lengkap dapat didownload pada link di bawah ini :

[https://www.chemours.com/Refrigerants/en\\_US/assets/downloads/h47752\\_hfc134a\\_thermo\\_prop\\_si.pdf](https://www.chemours.com/Refrigerants/en_US/assets/downloads/h47752_hfc134a_thermo_prop_si.pdf)

## Lampiran E. Nilai Unjuk Kerja Mesin Pendingin

### 1. Hasil entalpi *baseline* kondensator menggunakan tabel termodinamic R134a

Tabel E.1 *baseline* kondensator

Waktu (Menit)	Entalpi (kJ/kg)					
	h1	h2	h3a	h3b	h4a	h4b
180	428,83	451,56	243,48	243,49	243,48	243,49
195	428,57	451,65	243,48	243,93	243,48	243,93
210	428,27	451,54	243,77	243,2	243,77	243,2
225	428,57	451,95	243,48	243,27	243,48	243,27
240	428,83	451,87	243,29	243,64	243,29	243,64
255	428,48	451,54	243,19	243,64	243,19	243,64
270	428,35	451,54	243,19	243,44	243,19	243,44
285	428,57	451,16	243,61	243,93	243,61	243,93
300	428,33	451,55	243,46	243,64	243,46	243,64
315	428,28	451,26	243,39	243,35	243,39	243,35
330	428,21	451,37	243,23	243,2	243,23	243,2
345	428,27	451,35	243,32	243,2	243,32	243,2
360	428,17	451,43	243,43	243,56	243,43	243,56

### 2. Hasil entalpi *separation condenser* 8/8 menggunakan tabel termodinamic R134a

Tabel E.2 *separation condenser* 8/8

Waktu (Menit)	Entalpi (kJ/kg)					
	h1	h2	h3a	h3b	h4a	h4b
180	430,21	450,53	244,91	244,04	244,91	244,04
195	430,12	450,96	244,7	244,19	244,7	244,19
210	430,12	451,09	244,56	244,33	244,56	244,33
225	429,86	450,76	244,8	244,09	244,8	244,09
240	430,03	450,54	244,53	244,19	244,53	244,19
255	429,95	450,87	244,93	244,04	244,93	244,04
270	429,95	450,62	244,78	244,49	244,78	244,49
285	430,03	451,53	244,78	244,75	244,78	244,75
300	429,6	451,2	244,35	244,46	244,35	244,46
315	429,86	450,51	244,78	244,46	244,78	244,46
330	429,95	450,49	244,17	244,61	244,17	244,61
345	429,76	450,74	244,22	244,17	244,22	244,17
360	429,6	450,53	244,65	244,03	244,65	244,03

**3. Hasil entalpi *separation condenser* 6/8 menggunakan tabel termodinamic R134a**

Tabel E.3 *separation condenser* 6/8

Waktu (Menit)	Entalpi (kJ/kg)					
	h1	h2	h3a	h3b	h4a	h4b
180	430,34	450,02	244,31	244,18	244,31	244,18
195	430,25	450,02	244,26	244,21	244,26	244,21
210	430,25	450,69	244,08	244,18	244,08	244,18
225	430,54	450,28	244,35	244,25	244,35	244,25
240	430,17	449,82	244,24	244,16	244,24	244,16
255	430,08	449,87	244,31	244,09	244,31	244,09
270	430,08	449,48	244,38	244,09	244,38	244,09
285	430,17	449,48	244,65	244,09	244,65	244,09
300	430,89	450,05	244,38	244,3	244,38	244,3
315	430,99	450,62	244,68	244,3	244,68	244,3
330	430,46	450,64	244,09	244,35	244,09	244,35
345	430,47	450,64	244,09	244,51	244,09	244,51
360	430,47	450,75	244,51	244,38	244,51	244,38

**4. Hasil entalpi *separation condenser* 4/8 menggunakan tabel termodinamic R134a**

Tabel E.4 *separation condenser* 4/8

Waktu (Menit)	Entalpi (kJ/kg)					
	h1	h2	h3a	h3b	h4a	h4b
180	429,74	451,59	245,38	244,51	245,38	244,51
195	429,43	451,16	245,09	244,36	245,09	244,36
210	429,43	450,71	245,65	244,51	245,65	244,51
225	429,43	451,16	245,65	244,36	245,65	244,36
240	429,21	451,05	245,53	244,36	245,53	244,36
255	429,38	451,41	245,67	244,65	245,67	244,65
270	429,89	451,98	245,53	245,76	245,53	245,76
285	429,76	452,32	245,09	245,51	245,09	245,51
300	429,82	452,32	245,09	245,24	245,09	245,24
315	429,69	451,87	244,8	244,8	244,8	244,8
330	430,04	451,87	245,38	245,24	245,38	245,24
345	430,3	452,44	245,67	245,26	245,67	245,26
360	430,09	452,56	244,8	245,55	244,8	245,55

## 5. Dampak Refrigerasi ( $q_r$ )

Tabel E.5 Dampak refrigerasi

Waktu (menit)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)			
	<i>Baseline</i>	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	370,69	371,47	372,19	369,59
195	369,73	371,35	372,03	369,41
210	369,57	371,35	372,24	368,70
225	370,39	370,83	372,48	368,85
240	370,73	371,34	371,94	368,53
255	370,13	370,93	371,76	368,44
270	370,07	370,63	371,69	368,49
285	369,60	370,53	371,60	368,92
300	369,56	370,39	373,10	369,31
315	369,82	370,48	373,00	369,78
330	369,99	371,12	372,48	369,46
345	370,02	371,13	372,34	369,67
360	369,35	370,52	372,05	369,83

## 6. Kerja Kompresi ( $W_c$ )

Tabel E.6 Kerja kompresi

Waktu (menit)	Kerja Kompresi (kJ/kg)			
	<i>Baseline</i>	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	45,46	40,64	39,36	43,70
195	46,16	41,68	39,54	43,46
210	46,54	41,94	40,88	42,56
225	46,76	41,80	39,48	43,46
240	46,08	41,02	39,30	43,68
255	46,12	41,84	39,58	44,06
270	46,38	41,34	38,80	44,18
285	45,18	43,00	38,62	45,12
300	46,44	43,20	38,32	45,00
315	45,96	41,30	39,26	44,36
330	46,32	41,08	40,36	43,66
345	46,16	41,96	40,34	44,28
360	46,52	41,86	40,56	44,94

## 7. Laju Aliran Massa (m)

Tabel E.7 Laju aliran massa

Waktu (menit)	Laju Aliran Massa (kg/s)			
	<i>Baseline</i>	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	0,00694	0,00694	0,00694	0,00694
195	0,00694	0,00694	0,00694	0,00695
210	0,00694	0,00694	0,00694	0,00696
225	0,00694	0,00694	0,00694	0,00680
240	0,00694	0,00694	0,00694	0,00680
255	0,00694	0,00694	0,00694	0,00680
270	0,00694	0,00694	0,00694	0,00680
285	0,00694	0,00694	0,00694	0,00680
300	0,00694	0,00680	0,00694	0,00680
315	0,00694	0,00680	0,00694	0,00680
330	0,00694	0,00680	0,00680	0,00680
345	0,00694	0,00680	0,00680	0,00680
360	0,00694	0,00680	0,00680	0,00680

## 8. Kapasitas Refrigerasi (q)

Tabel E.8 Kapasitas refrigerasi

Waktu (menit)	Kapasitas Refrigerasi (kW)			
	<i>Baseline</i>	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	2,573201	2,578615	2,583614	2,565565
195	2,566537	2,577782	2,582503	2,564316
210	2,565425	2,577782	2,583960	2,559387
225	2,571118	2,574173	2,585626	2,508184
240	2,573479	2,577713	2,581878	2,506004
255	2,569314	2,574867	2,580628	2,505392
270	2,568897	2,572784	2,580143	2,505732
285	2,565634	2,572090	2,579518	2,508656
300	2,565357	2,518652	2,589930	2,511308
315	2,567162	2,519264	2,589236	2,514504
330	2,568342	2,523616	2,532864	2,512328
345	2,568550	2,523684	2,531912	2,513756
360	2,563899	2,519536	2,529941	2,514844



## 9. Pelepasan Kalor (Q)

Tabel E.9 Pelepasan kalor

Waktu (menit)	Pelepasan Kalor (kj/kg)			
	<i>Baseline</i>	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	416,15	411,79	412,55	411,81
195	415,89	411,98	412,57	411,63
210	416,11	412,26	412,78	411,59
225	417,15	412,31	412,56	411,83
240	416,81	412,20	412,96	411,56
255	416,25	412,20	412,63	411,82
270	416,45	412,20	412,92	411,99
285	414,78	412,27	412,62	411,23
300	416,14	412,22	412,82	411,25
315	415,78	412,36	412,51	411,28
330	416,31	412,26	412,64	411,10
345	416,18	412,33	412,68	411,09
360	415,87	412,44	412,61	412,32

## 10. Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

Tabel E.10 Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

Waktu (menit)	Rasio Pelepasan Kalor (RPK)			
	<i>Baseline</i>	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	1,12263616	1,108541740	1,108439238	1,114234692
195	1,12484786	1,109411606	1,108969707	1,114290355
210	1,12593014	1,110165612	1,108908231	1,116327638
225	1,12624531	1,111857185	1,107603093	1,116524332
240	1,12429531	1,110033931	1,110286605	1,116761186
255	1,12460487	1,111260885	1,109936518	1,117739659
270	1,12532764	1,112160376	1,110925771	1,118049336
285	1,12224026	1,112649448	1,110387513	1,114686111
300	1,12566295	1,112935014	1,106459394	1,113563131
315	1,12427668	1,113042539	1,105924933	1,112228893
330	1,12519257	1,110853632	1,107817869	1,112705029
345	1,12475001	1,111012314	1,108341838	1,112045879
360	1,12595099	1,113138292	1,109017605	1,114890625

## 11. Coefficient of Performance (COP)

Tabel E.11 Coefficient of Performance (COP)

Waktu (menit)	Coefficient of Performance (COP)			
	Baseline	Separasi 8/8	Separasi 6/8	Separasi 4/8
180	16,308403	18,281003	18,912093	16,914874
195	16,019497	17,819097	18,817905	17,000000
210	15,881822	17,708631	18,211350	17,326127
225	15,842172	17,743062	18,869300	16,974229
240	16,090711	18,105314	18,928244	16,874084
255	16,050737	17,730879	18,785245	16,724466
270	15,958171	17,930817	19,159278	16,681303
285	16,361221	17,233953	19,243915	16,352836
300	15,915592	17,147685	19,472860	16,413777
315	16,093124	17,940920	19,001528	16,671776
330	15,975388	18,068159	18,457879	16,924415
345	16,032062	17,689704	18,460089	16,696928
360	15,879191	17,702818	18,345660	16,458834

### Lampiran F. Contoh Perhitungan

Hasil entalpi yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung unjuk kerja mesin pendingin. Berikut ini adalah contoh perhitungan menghitung unjuk kerja mesin pendingin pada rangkaian paralel dan rangkaian seri menggunakan *separation condenser* maupun *baseline condenser*.

Unjuk kerja mesin pendingin pada rangkaian *baseline* kondensor:

- 1) Dampak Refrigerasi

$$q_r = h_1 - h_4$$

Pada evaporator A

$$q_r = 428,83 - 242,48 = 186,35 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$q_r = 428,83 - 243,49 = 185,34 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$q_r = 371,69 \text{ kJ/kg}$$

## 2) Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

Pada evaporator A

$$W_c = 451,16 - 428,83 = 22,33 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$W_c = 451,16 - 428,83 = 22,33 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$W_c = 44,66 \text{ kJ/kg}$$

## 3) Pelepasan Kalor

$$Q_a = h_2 - h_{3a}$$

$$Q_a = 451,16 - 242,48 = 208,69 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_b = h_2 - h_{3b}$$

$$Q_b = 451,16 - 243,49 = 207,67 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = Q_a + Q_b$$

$$Q = 416,36 \text{ kJ/kg}$$

## 4) Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

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

$$RPK = \frac{416,36}{371,69}$$

$$RPK = 1,12$$

## 5) Laju Aliran Massa

$\dot{m}$  = massa jenis *refrigerant* x debit aliran

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ liter/menit}$$

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 0,000163 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0,0069 \text{ kg/s}$$

## 6) Daya Kompresor

$$W = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$W = 0,0069 \text{ kg/s} (44,66 \text{ kJ/kg})$$

$$W = 0,309 \text{ kW}$$

## 7) Kapasitas Refrigerasi

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

$$q = 0,00692 \text{ kg/s (371,69 kJ/kg)}$$

$$q = 2,572 \text{ kW}$$

8) *Coefficient of Performance (COP)*

$$\text{COP} = \frac{q_r}{w_c}$$

Pada evaporator A

$$\text{COP} = \frac{186,35 \text{ kJ/kg}}{22,33 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 8,34$$

Pada evaporator B

$$\text{COP} = \frac{185,34 \text{ kJ/kg}}{22,33 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 8,30$$

$$\text{COP total} = 16,64$$

Unjuk kerja mesin pendingin pada variasi kondensor separasi 8/8:

1) Dampak Refrigerasi

$$q_r = h_1 - h_4$$

Pada evaporator A

$$q_r = 430,21 - 244,31 = 185,9 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$q_r = 430,21 - 244,04 = 186,17 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$q_r = 372,07 \text{ kJ/kg}$$

2) Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

Pada evaporator A

$$W_c = 450,53 - 430,21 = 20,32 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$W_c = 450,53 - 430,21 = 20,32 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$W_c = 40,46 \text{ kJ/kg}$$

## 3) Pelepasan Kalor

$$Q_a = h_2 - h_{3a}$$

$$Q_a = 450,53 - 244,91 = 205,62 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_b = h_2 - h_{3b}$$

$$Q_b = 450,53 - 244,04 = 206,49 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = Q_a + Q_b$$

$$Q = 412,11 \text{ kJ/kg}$$

## 4) Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

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

$$RPK = \frac{412,11}{372,07}$$

$$RPK = 1,107$$

## 5) Laju Aliran Massa

$\dot{m}$  = massa jenis *refrigerant* x debit aliran

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ liter/menit}$$

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 0,00163 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0,00692 \text{ kg/s}$$

## 6) Daya Kompresor

$$W = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$W = 0,00692 \text{ kg/s} (40,46 \text{ kJ/kg})$$

$$W = 0,2779 \text{ kW}$$

## 7) Kapasitas Refrigerasi

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

$$q = 0,000709 \text{ kg/s} (372,07 \text{ kJ/kg})$$

$$q = 2,637 \text{ kW}$$

8) *Coefficient of Performance* (COP)

$$COP = \frac{q_r}{w_c}$$

Pada evaporator A

$$COP = \frac{185,9 \text{ kJ/kg}}{20,32 \text{ kJ/kg}}$$

$$COP = 9,14$$

Pada evaporator B

$$\text{COP} = \frac{186,17 \text{ kJ/kg}}{22,33 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 9,16$$

$$\text{COP total} = 18,3$$

Unjuk kerja mesin pendingin pada rangkaian kondensor separasi 6/8.

1) Dampak Refrigerasi

$$q_r = h_1 - h_4$$

Pada evaporator A

$$q_r = 430,34 - 244,31 = 186,03 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$q_r = 430,34 - 244,18 = 186,16 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$q_r = 372,19 \text{ kJ/kg}$$

2) Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

Pada evaporator A

$$W_c = 450,02 - 430,34 = 19,68 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$W_c = 450,02 - 430,34 = 19,68 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$W_c = 39,36 \text{ kJ/kg}$$

3) Pelepasan Kalor

$$Q_a = h_2 - h_{3a}$$

$$Q_a = 450,02 - 244,31 = 205,71 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_b = h_2 - h_{3b}$$

$$Q_b = 450,02 - 244,18 = 205,84 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = Q_a + Q_b$$

$$Q = 411,55 \text{ kJ/kg}$$

4) Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

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

$$\text{RPK} = \frac{412,11}{372,19}$$

$$\text{RPK} = 1,107$$

## 5) Laju Aliran Massa

$\dot{m}$  = massa jenis *refrigerant* x debit aliran

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ liter/menit}$$

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 0,00163 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0,00692 \text{ kg/s}$$

## 6) Daya Kompresor

$$W = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$W = 0,00692 \text{ kg/s} (39,36 \text{ kJ/kg})$$

$$W = 0,272 \text{ kW}$$

## 7) Kapasitas Refrigerasi

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

$$q = 0,00692 \text{ kg/s} (372,19 \text{ kJ/kg})$$

$$q = 2,575 \text{ kW}$$

8) *Coefficient of Performance (COP)*

$$\text{COP} = \frac{q_r}{w_c}$$

Pada evaporator A

$$\text{COP} = \frac{186,03 \text{ kJ/kg}}{19,68 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 9,45$$

Pada evaporator B

$$\text{COP} = \frac{186,16 \text{ kJ/kg}}{19,68 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 9,45$$

$$\text{COP total} = 18,91$$

Unjuk kerja mesin pendingin pada rangkaian kondensor separasi 4/8.

## 1) Dampak Refrigerasi

$$q_r = h_1 - h_4$$

Pada evaporator A

$$q_r = 429,74 - 245,38 = 184,36 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$q_r = 429,74 - 244,51 = 185,36 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$q_r = 369,72 \text{ kJ/kg}$$

2) Kerja Kompresi

$$W_c = h_2 - h_1$$

Pada evaporator A

$$W_c = 451,59 - 429,74 = 21,85 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator B

$$W_c = 451,59 - 429,74 = 21,85 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$W_c = 43,7 \text{ kJ/kg}$$

3) Pelepasan Kalor

$$Q_a = h_2 - h_{3a}$$

$$Q_a = 451,59 - 245,38 = 206,21 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_b = h_2 - h_{3b}$$

$$Q_b = 451,59 - 244,51 = 207,08 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = Q_a + Q_b$$

$$Q = 413,29 \text{ kJ/kg}$$

4) Rasio Pelepasan Kalor (RPK)

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

$$RPK = \frac{413,29}{369,72}$$

$$RPK = 1,117$$

5) Laju Aliran Massa

$\dot{m}$  = massa jenis *refrigerant* x debit aliran

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ liter/menit}$$

$$\dot{m} = 4,25 \text{ kg/m}^3 \times 0,00163 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0,00692 \text{ kg/s}$$

6) Daya Kompresor



$$W = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$W = 0,00692 \text{ kg/s} (43,7 \text{ kJ/kg})$$

$$W = 0,3024 \text{ kW}$$

7) Kapasitas Refrigerasi

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

$$q = 0,00692 \text{ kg/s} (369,72 \text{ kJ/kg})$$

$$q = 2,55 \text{ kW}$$

8) *Coefficient of Performance* (COP)

$$\text{COP} = \frac{q_r}{w_c}$$

Pada evaporator A

$$\text{COP} = \frac{184,36 \text{ kJ/kg}}{21,85 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 8,43$$

Pada evaporator B

$$\text{COP} = \frac{185,36 \text{ kJ/kg}}{21,85 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{COP} = 8,48$$

**Lampiran G. Alat Ukur Debit *Refrigerant***

**LZM 6 – Flowmeter**



Gambar F.1 *Flowmeter* tipe LZM 6

**Spesifikasi:**

<i>Working Pressure</i>	: $\leq 0,6$ MPa
<i>Operating Temperature</i>	: 0 – 80 °C
<i>Body Material</i>	: Acrylic
<i>Fitting Material</i>	: ABS OR SS 304
<i>Float Material</i>	: SS 304
<i>O-Ring Material</i>	: Silicon

**Lampiran H. Data Logger**

**Midi LOGGER GL200A**

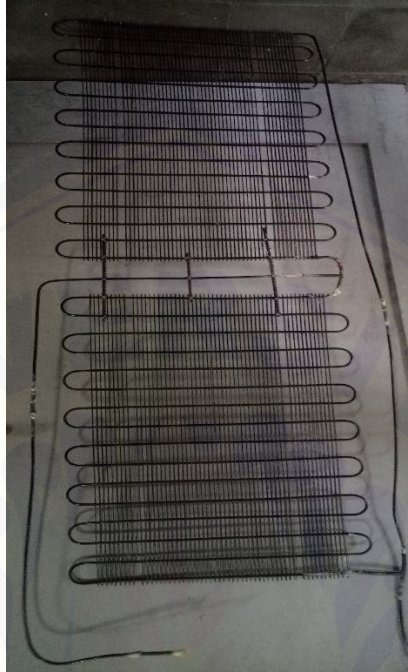


Gambar G.1 Midi LOGGER GL200A

Tabel J.1 Spesifikasi Midi LOGGER GL200A

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

**Lampiran I. Dokumentasi Penelitian**



Gambar I.1 *Separation condenser*



Gambar I.2 *Baseline condenser*



Gambar I.3 Kulkas yang digunakan



Gambar I.4 Manifold



Gambar I.5 Pressure gauge



Gambar I.6 Vacuum pump



Gambar I.7 Refrigerant R134a



Gambar I.8 Kompresor 1/3 PK



Gambar I.9 Pengisian *refrigerant* R134a



Gambar I.10 Perakitan *separation condenser*