



**ANALISIS PENGARUH TIPE KONDENSOR TERHADAP UNJUK  
KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN *DOUBLE*  
EVAPORATOR**

**SKRIPSI**

Oleh

**Ardila Dwi Tresna  
NIM 151910101104**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**ANALISIS PENGARUH TIPE KONDENSOR TERHADAP UNJUK  
KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN *DOUBLE*  
EVAPORATOR**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Ardila Dwi Tresna  
NIM 151910101104**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT dengan tulus dan ikhlas serta kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Keluargaku, Ibu Mujiani, Ayah Sutrisno, Kakak Fandy Achmad, Adik Ratna Juwita dan Inayah Putri yang terkasih dan tersayang. Terimakasih atas segala bentuk dukungan, cinta, kasih sayang, perhatian, doa, perhatian, pengorbanan, semangat, motivasi dan bimbingan;
2. Seluruh dosen serta civitas akademik jurusan Teknik Mesin Universitas Jember. Terima kasih telah sabar membimbing dan memberikan ilmunya terutama Bapak Boy Arief Fachri S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing utama, Bapak Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Danang Yudistiro S.T., M.T selaku dosen penguji I, Bapak Ir. Digdo Listyadi Setiawan Msc dan Bapak Santoso Mulyadi S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik;
3. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

**MOTO**

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(QS Al-Insyirah 6)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ardila Dwi Tresna

Nim : 151910101104

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Pengaruh Tipe Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan *Double Evaporator*” adalah benar-benar karya sendiri kecuali jika dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada intitusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 1 Maret 2019

Yang menyatakan,

Ardila Dwi Tresna

NIM 151910101104

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH TIPE KONDENSOR TERHADAP UNJUK  
KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN *DOUBLE EVAPORATOR***

Oleh

Ardila Dwi Tresna

Nim 151910101104

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Tipe Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan *Double Evaporator*” karya Ardila Dwi Tresna telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jum’at, 1 Maret 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji :

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota

Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T

NIP. 197409011999031002

NIP. 196812071195121002

Penguji I,

Penguji II,

Danang Yudistiro, S.T., M.T

Ir. Digdo Listyadi Setyawan, Msc.

NIP. 197902072015041000

NIP. 196806171995011001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM

NIP 196612151995032001



## RINGKASAN

**Analisis Pengaruh Tipe Kondensor Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan *Double Evaporator***; Ardila Dwi Tresna, 151910101104; 2019; 58 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Sistem refrigerasi saat ini sudah menjadi kebutuhan bagi masyarakat baik di desa maupun di kota. Refrigerasi merupakan sebuah proses untuk penurunan suhu suatu zat sehingga suhunya lebih rendah dari lingkungan. Refrigerasi erat kaitannya dengan mesin pendingin yang diantaranya terdiri dari *refrigerator*, *air conditioner*, *freezer*, *chiller* dan lain-lain. Penggunaan mesin pendingin seperti *refrigerator* dan *air conditioner* menuntut efisiensi kerja yang tinggi, hal ini dapat diciptakan dengan memvariasikan beberapa komponen diantaranya kondensor dan evaporator.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja penggunaan *baseline condenser* dan *separation condenser* dengan *double evaporator* yang menggunakan *refrigerant* berupa LPG dan R134A pada lemari es. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan komponen utama : kondensor, evaporator, kompresor dan pipa kapiler. Alat ukur yang digunakan yaitu : *flowmeter*, termokopel dan *pressure gauge*. Termokopel dipasang pada beberapa titik yang telah ditentukan. Waktu pengambilan data selama 180 menit dengan interval waktu 15 menit.

Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa penggunaan *refrigerant* R134A lebih baik digunakan pada *baseline condenser* daripada LPG. R134A dapat menaikkan COP (*Coeffisien of Performance*) sebesar 15,5% pada *baseline condenser*. Penggunaan *double evaporator* dapat meningkatkan nilai efek refrigerasi, kapasitas refrigerasi, pelepasan dan rasio pelepasan kalor selama mesin pendingin beroperasi jika dibandingkan dengan *single evaporator*.



## SUMMARY

**Analysis of Influence the Condenser Type on Performance of Refrigerator using Double Evaporator;** Ardila Dwi Tresna, 151910101104; 2019; 58 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Jember University.

Cooling system has become a necessity for everyone who live in the village and in the city. Refrigeration is a process to reduce the temperature of a substance so that it is lower than the ambient temperature. Refrigeration is tightly approved by a cooling machine consisting of a refrigerator, air conditioner, freezer, chiller and others. The use of cooling machines such as refrigerators and air conditioners requires work efficiency, this can be made by varying several components that can be used as condensers and evaporators.

The aim of this research was to determine the comparison of performance the use of double evaporator on baseline condenser and separation condenser using LPG and R134A as refrigerants o refrigerator. This research used experimental methods with main components: condensers, evaporators, compressors and capillary pipes. Measuring instruments used are: flowmeter, thermocouple and pressure gauge. Thermocouples are installed at several predetermined points. Data retrieval time for 180 minutes with an interval of 15 minutes.

The results of this research found that the use R134A as a refrigerant is better than used LPG at the baseline condenser. R134A can increase COP (Coefficient of Performance) by 15.5% at the baseline condenser. Using double evaporator can increase the value of the refrigeration effect, refrigeration capacity, heat transfer and heat transfer ratio as long as the refrigerator operates when compared to the single evaporator.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Tipe Kondensor 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. Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayahNya, skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. yang telah member kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. yang telah member kesempatan dan kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
4. Boy Arief Fachri S.T., M.T, Ph.D. Selaku Dosen Pembimbing Utama dan Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, dorongan, semangat dan saran dengan penuh kesabaran selama penyusunan skripsi kepada penulis;
5. Danang Yudistiro, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji Utama dan Ir. Digo Listyadi S. M.Sc. Selaku Dosen Penguji Anggota, terima kasih atas kritik dan saran yang membangun untuk penulisan skripsi ini;
6. Santoso Mulyadi S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan, motivasi, dan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan;
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, motivasi dan kritik kepada penulis;
8. Ibu Mujjani dan Ayah Sutrisno yang telah memberikan doa, semangat, waktu, tenaga dan pikiran kepada penulis;

9. Kakakku Fandy Achmad dan Adikku Ratna Juwita serta Inayah Putri yang telah memberikan dorongan dan bantuan dalam penyelesaian penulisan skripsi;
10. Dulur Teknik Mesin Angkatan 2015 yang telah membantu menyelesaikan penulisan skripsi;
11. Tim Pendingin (Fika Nashirotul, Yossi Christanto, William Prizkiabi) yang saling memotivasi dalam menyelesaikan penulisan skripsi;
12. Sahabatku Erik Arianto, Irfan Setiawan, Veni Dwi Sulastri, Suci Putri Pertiwi, Hurin Nabila Aghnia Ilma, Ayuni Hadiatur Rohman, Vita Hafidzoh, Siti Khatimah, Vita Kartika Widhianingtyas, Febriolita Widyaningrum, Haris Dwi Armianto, Garin Akbar Subiyantoro yang selalu memberikan semangat dalam penulisan skripsi;
13. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak, demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang telah membaca.

Jember, 1 Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                      | i       |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                | ii      |
| <b>HALAMAN MOTO</b> .....                       | iii     |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....                 | iv      |
| <b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....               | v       |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                 | vi      |
| <b>RINGKASAN/SUMMARY</b> .....                  | vii     |
| <b>PRAKATA</b> .....                            | ix      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                         | xi      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                      | xiv     |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                       | xv      |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                    | xvi     |
| <br>  |         |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                 | 1       |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....                 | 1       |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....                | 2       |
| <b>1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian</b> .....  | 3       |
| 1.3.1 Tujuan .....                              | 3       |
| 1.3.2 Manfaat .....                             | 3       |
| <b>1.4 Batasan Masalah</b> .....                | 3       |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....            | 5       |
| <b>2.1 Mesin Pendingin</b> .....                | 5       |
| <b>2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin</b> ..... | 6       |
| 2.2.1 Evaporator .....                          | 6       |
| 2.2.2 Kondensor .....                           | 9       |
| 2.2.3 Pipa Kapiler .....                        | 10      |
| 2.2.4 Kompresor .....                           | 13      |
| 2.2.5 Katup Ekspansi .....                      | 14      |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.6 Refrigerant .....                      | 15        |
| <b>2.3 Komponen Pendukung .....</b>          | <b>17</b> |
| 2.3.1 Filter .....                           | 17        |
| 2.3.2 Liquid Receiver .....                  | 18        |
| 2.3.3 Selenoid Valve .....                   | 18        |
| 2.3.4 Thermostat .....                       | 18        |
| 2.3.5 Sight Glass .....                      | 19        |
| <b>2.4 Siklus Pendinginan .....</b>          | <b>19</b> |
| <b>2.5 Siklus Kompresi Uap Ideal .....</b>   | <b>21</b> |
| 2.5.1 Proses Kompresi .....                  | 23        |
| 2.5.2 Proses Kondensasi .....                | 23        |
| 2.5.3 Proses Ekspansi .....                  | 24        |
| 2.5.4 Proses Evaporasi .....                 | 24        |
| <b>2.6 Siklus Kompresi Uap Aktual .....</b>  | <b>24</b> |
| <b>2.7 Siklus Peredaran Gas/Liquid .....</b> | <b>25</b> |
| <b>2.8 LPG .....</b>                         | <b>26</b> |
| <b>2.9 Persamaan Pada Refrigerator .....</b> | <b>26</b> |
| 2.9.1 Efek Refrigerasi .....                 | 26        |
| 2.9.2 Kerja Kompresi .....                   | 27        |
| 2.9.3 COP .....                              | 27        |
| <b>2.10 Hipotesis .....</b>                  | <b>27</b> |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>        | <b>28</b> |
| <b>3.1 Metode Penelitian .....</b>           | <b>28</b> |
| <b>3.2 Tempat Penelitian .....</b>           | <b>28</b> |
| <b>3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....</b>   | <b>28</b> |
| 3.3.1 Alat Penelitian .....                  | 28        |
| 3.3.2 Bahan Penelitian .....                 | 29        |
| <b>3.4 Variabel Penelitian .....</b>         | <b>29</b> |
| <b>3.5 Prosedur Penelitian .....</b>         | <b>31</b> |
| 3.5.1 Persiapan Alat Pengujian .....         | 31        |
| 3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian .....       | 31        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.5.3 Pengambilan Data .....                                     | 31        |
| 3.5.4 Pengolahan Data .....                                      | 32        |
| <b>3.6 Skema Alat Uji .....</b>                                  | <b>33</b> |
| <b>3.7 Diagram Alir Penelitian .....</b>                         | <b>34</b> |
| <b>BAB 4. PEMBAHASAN .....</b>                                   | <b>35</b> |
| <b>4.1 Hasil Pengujian .....</b>                                 | <b>35</b> |
| <b>4.2 Data Penelitian .....</b>                                 | <b>36</b> |
| 4.2.1 Data Suhu <i>Baseline Condenser</i> .....                  | 36        |
| 4.2.1 Data Suhu <i>Separation Condenser</i> .....                | 37        |
| <b>4.3 Pembahasan .....</b>                                      | <b>38</b> |
| 4.3.1 Temperatur Evaporator .....                                | 38        |
| 4.3.2 Perhitungan Data Entalpi .....                             | 39        |
| 4.3.3 Hasil Perhitungan Efek Refrigerasi, Kerja Kompresi & COP44 |           |
| 4.3.4 Grafik dan Pembahasan .....                                | 46        |
| <b>BAB 5. PENUTUP .....</b>                                      | <b>57</b> |
| <b>5.1 Kesimpulan .....</b>                                      | <b>57</b> |
| <b>5.2 Saran .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                      | <b>59</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>  | <b>62</b> |



DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 <i>Roll bond type</i> .....   | 7       |
| 2.2 <i>Wire tube type</i> .....   | 8       |
| 2.3 Serpentine type.....  | 8       |
| 2.4 <i>Fin tube type</i> .....  | 9       |
| 2.5 <i>Filter</i> .....   | 18      |
| 2.6 <i>Liquid receiver</i> .....  | 18      |
| 2.7 Thermostat .....  | 19      |
| 2.8 <i>Sight glass</i> .....  | 19      |
| 2.9 Siklus pendinginan sistem refrigerasi .....                           | 20      |
| 2.10 Penyerapan panas di evaporator dan pembuangan panas di kondensor.... | 20      |
| 2.11 Diagram T-s.....   | 22      |
| 2.12 Diagram P-h .....  | 23      |
| 2.13 Perbandingan siklus sktual dan ideal .....                           | 25      |
| 3.1 <i>Baseline condenser</i> .....                                       | 30      |
| 3.2 <i>Separation condenser</i> .....                                     | 30      |
| 3.3 Skema alat uji <i>separation condenser</i> .....                      | 33      |
| 3.5 Skema alat uji <i>baseline condenser</i> .....                        | 33      |
| 3.6 Diagram alir penelitian .....   | 34      |
| 4.1 Hubungan temperatur evaporator dengan waktu pada mesin pendingin 1    | 38      |
| 4.2 Hubungan temperatur evaporator dengan waktu pada mesin pendingin 2    | 39      |
| 4.3 Hubungan efek refrigerasi terhadap waktu .....                        | 46      |
| 4.4 Hubungan kerja kompresi terhadap waktu.....                           | 48      |
| 4.5 Hubungan laju aliran massa terhadap waktu .....                       | 50      |
| 4.6 Hubungan kapasitas refrigerasi terhadap waktu.....                    | 51      |
| 4.7 Hubungan pelepasan kalor terhadap waktu .....                         | 52      |
| 4.8 Hubungan rasio pelepasan kalor terhadap waktu.....                    | 53      |
| 4.9 Hubungan COP terhadap waktu .....                                     | 54      |



**DAFTAR TABEL**

|      | Halaman   |
|------|---|
| 2.1  | Daftar pemakaian pipa kapiler .....12                                       |
| 2.2  | Macam-macam <i>refrigerant halocarbon</i> .....15                           |
| 2.3  | Macam <i>refrigerant jenis hydrocarbon</i> .....16                          |
| 2.4  | Macam <i>refrigerant inorganic compounds</i> .....16                        |
| 2.5  | Macam <i>refrigerant unsaturated organic compounds</i> .....17              |
| 4.1  | Data suhu <i>baseline condenser</i> menggunakan LPG .....36                 |
| 4.2  | Data suhu <i>baseline condenser</i> menggunakan R134A .....37               |
| 4.3  | Data suhu <i>separation condenser</i> menggunakan LPG .....37               |
| 4.4  | Data suhu <i>separation condenser</i> menggunakan R134A .....38             |
| 4.5  | Data entalpi pada <i>baseline condenser</i> mesin 1 menggunakan LPG.....40  |
| 4.6  | Data entalpi pada <i>baseline condenser</i> mesin 2 menggunakan LPG.....40  |
| 4.7  | Data entalpi pada <i>baseline condenser</i> mesin 1 menggunakan R134A....41 |
| 4.8  | Data entalpi pada <i>baseline condenser</i> mesin 2 menggunakan R134A....41 |
| 4.9  | Data entalpi pada <i>separation condenser</i> mesin 1 menggunakan LPG....42 |
| 4.10 | Data entalpi pada <i>separation condenser</i> mesin 2 menggunakan LPG....42 |
| 4.11 | Data entalpi pada <i>separation condenser</i> mesin 1 menggunakan R134A43   |
| 4.12 | Data entalpi pada <i>separation condenser</i> mesin 2 menggunakan R134A43   |
| 4.13 | Hasil <i>baseline condenser</i> menggunakan LPG.....44                      |
| 4.14 | Hasil <i>baseline condenser</i> menggunakan R134A.....44                    |
| 4.15 | Hasil <i>separation condenser</i> menggunakan LPG.....45                    |
| 4.16 | Hasil <i>separation condenser</i> menggunakan R134A.....45                  |
| 4.17 | Hasil efek refrigerasi <i>single evaporator</i> .....47                     |
| 4.18 | Hasil kerja kompresi <i>single evaporator</i> .....49                       |
| 4.19 | Rata-rata debit aliran pada sistem .....50                                  |
| 4.20 | Hasil COP <i>single evaporator</i> .....55                                  |

DAFTAR LAMPIRAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| A. Data Hasil Pengujian .....  | 62      |
| B. Data Entalpi.....   | 70      |
| C. Hasil Perhitungan .....   | 78      |
| D. Contoh Perhitungan .....  | 82      |
| E. Alat Ukur Debit Refrigerant .....   | 84      |
| F. Data Logger.....  | 85      |
| G. Dokumentasi Penelitian .....  | 86      |
| H. Tampilan Perhitungan Entalpi <i>Refrigerant</i> Pada <i>Software Coolpack</i> ..... | 92      |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Refrigerasi saat ini sudah menjadi kebutuhan bagi kehidupan masyarakat baik di kota maupun desa. Refrigerasi merupakan sebuah proses untuk penurunan suhu suatu zat hingga suhu dari zat tersebut lebih rendah daripada suhu lingkungannya. Sistem refrigerasi ini bekerja dengan membentuk suatu siklus. Refrigerasi saling berhubungan erat dengan mesin pendingin. Mesin pendingin ini juga dapat terdiri dari lemari es, *freezer* maupun *chiller*. Mesin pendingin 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). Agar terjadi proses pendinginan, diperlukan suatu cairan (*refrigerant*) yang mudah dirubah bentuknya dari gas menjadi cair ataupun sebaliknya untuk dapat mengambil panas dari evaporator dan dilanjutkan ke kondensor.

Kondensor merupakan salah satu komponen pada mesin pendingin yang berfungsi untuk mengembunkan atau mengkondensasikan *refrigerant* bertekanan tinggi dari kompresor (Tampubolon dan Samosir, 2005). Selain itu kondensor juga dapat disebut dengan alat pengubah fase dari gas menjadi cair. Kondensor pada mesin pendingin lemari es diletakkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, agar proses pelepasan kalor dapat dibuang secara langsung ke udara luar. Pembuangan kalor pada kondensor berpendingin udara diteruskan ke udara sekitar, sedangkan untuk kondensor berpendingin air pelepasan kalor dibuang ke air sebagai media pendingin (Dossat dan Roy, 1961). Uap bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dapat dengan mudah dicairkan dengan cara mendinginkannya dengan media pendingin (Basri, 2009). Berbagai cara dapat dilakukan agar mesin pendingin dapat mendinginkan evaporator lebih cepat, salah satunya adalah dengan memodifikasi kondensornya (Stoecker dan Jones, 1982).

*Refrigerant* dapat lebih mudah dicairkan dan didinginkan dengan pemodelan kondensor menjadi separasi (*separation condenser*). Pendinginan pada

*separation condenser* akan semakin cepat. *Separation condenser* akan dapat mempercepat proses pendinginan. Semakin cepat pendinginan maka nilai prestasi kerja suatu mesin pendingin akan meningkat pula. Laju aliran pada massa yang sama, temperatur pada *separation condenser* lebih rendah 1,3 K jika dibandingkan dengan *baseline condenser*. Nilai laju aliran kondensat 6,1% lebih banyak juga dalam *separation condenser* (Li dan Hrnjak, 2017).

Komponen penting dari sebuah mesin pendingin yang lainnya adalah evaporator. Evaporator merupakan sebuah alat yang berfungsi sebagai penukar kalor dan mengubah sebagian dari *refrigerant* dari bentuk cair menjadi uap. Pada sebuah sistem pendingin efek pendinginan diperoleh dengan cara menyerap panas *refrigerant* yang menguap dengan cepat. Proses penguapan ini membutuhkan energi panas. Penelitian mesin pendingin dengan dua evaporator dilakukan dengan dua kompresor, sirkulasi sistem terpisah tiap ruangan, didapatkan hasil peningkatan efisiensi sebanyak 3,5%. Sistem pendingin dengan dua evaporator dapat mengurangi energi listrik yang digunakan setiap ruangan (Yoon et al.,2010). Penelitian lain menunjukkan sebuah mesin pendingin yang menggunakan multi evaporator, kedua evaporator dipasang katup ekspansi serta menggunakan satu kompresor, kondensor dan *heat exchanger*. Sebuah katup selenoid 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).

Berdasarkan kondisi tersebut di atas, maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan prestasi kerja dan mengurangi konsumsi energi dari mesin pendingin terutama lemari es. Penelitian ini dilakukan dengan cara memvariasikan penggunaan tipe kondensor dengan evaporator yang dipasang *double* secara parallel. Variasi tipe kondensor yang digunakan yaitu *baseline condenser* (kondensor biasa) dan *separation condenser* (kondensor modifikasi).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dengan latar belakang yang ada, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

- a. Bagaimana pengaruh pemasangan *baseline condenser* pada mesin pendingin yang berupa lemari es dengan *double evaporator* terhadap efek refrigerasi dan prestasi kerja mesin.
- b. Bagaimana pengaruh pemasangan *separation condenser* terhadap efek refrigerasi, kerja kompresi serta unjuk kerja pada mesin pendingin dengan *double evaporator*.

### 1.3 Tujuan dan Manfaat

#### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Mengetahui pengaruh pemasangan *baseline condenser* pada mesin pendingin yang berupa lemari es dengan *double evaporator* terhadap efek refrigerasi, kerja kompresi dan prestasi kerja mesin.
- b. Mengetahui pengaruh pemasangan *separation condenser* terhadap efek refrigerasi, kerja kompresi serta unjuk kerja pada mesin pendingin dengan *double evaporator*.

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mendapatkan informasi mengenai pengaruh pemasangan *baseline condenser* dan *separation condenser* dengan *double evaporator* terhadap efek refrigerasi, kerja kompresor serta unjuk kerja mesin pendingin.
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan prestasi kerja pada sebuah mesin pendingin terutama lemari es.
- c. Sebagai bahan acuan untuk mengembangkan teknologi pada mesin pendingin.

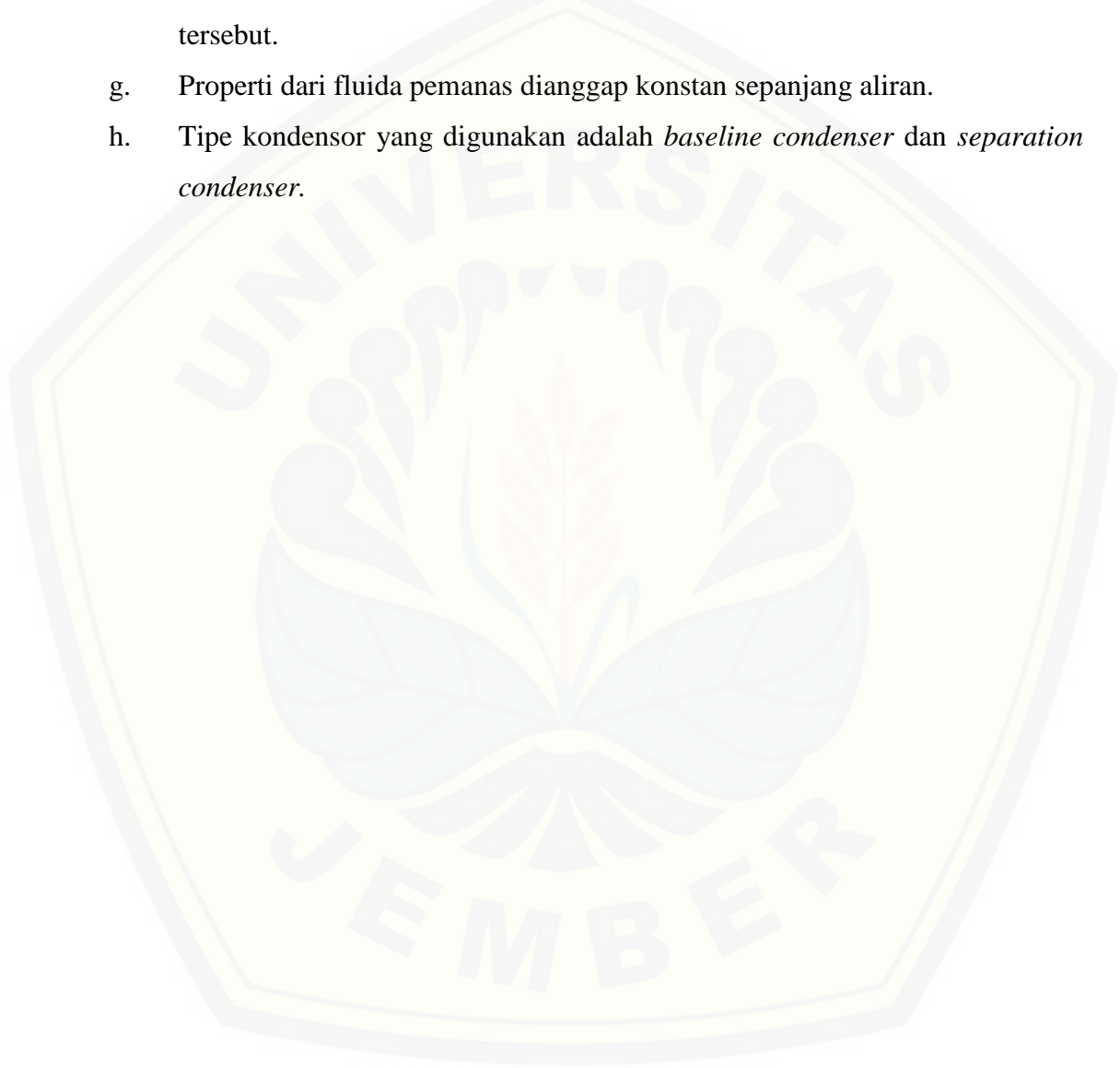
### 1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang sulit pada penelitian ini, sehingga berikut ini adalah batasan masalah yang ada agar mudah dalam menganalisis permasalahan.

- a. Sistem diasumsikan dalam bentuk terisolasi sempurna.



- b. *Steady state* diasumsikan pada kondisi setelah penyalaan 3 jam.
- c. Tidak ada beban pendinginan
- d. *Heat transfer* dalam sistem tidak diperhitungkan.
- e. Perubahan energi baik potensial maupun kinetik tidak dianggap.
- f. Suhu pada pipa bagian luar diasumsikan sama dengan *refrigerant* pada titik tersebut.
- g. Properti dari fluida pemanas dianggap konstan sepanjang aliran.
- h. Tipe kondensor yang digunakan adalah *baseline condenser* dan *separation condenser*.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mesin Pendingin

Mesin pendingin merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mendinginkan suatu zat agar temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Beberapa contoh dari mesin pendingin yaitu *refrigerator* (lemari es), *freezer* dan *chiller*. *Refrigerator* adalah suatu unit mesin pendingin dipergunakan dalam rumah tangga, untuk menyimpan bahan makanan/minuman dan terdapat kotak penyimpanan es pada umumnya di bagian evaporator (Karyanto dan Paringga, 2003). Mesin pendingin mempunyai beberapa komponen utama yaitu kondensor, evaporator, alat ekspansi dan *refrigerant* yang merupakan substansi kerja dalam sistem refrigerasi yang berbentuk fluida (Stoecker dan Jones, 1982).

Proses yang terjadi dalam sebuah mesin pendingin yaitu penyerapan kalor dari ruangan yang bertemperatur tinggi dan kemudian dipindahkan menuju ruangan yang bertemperatur rendah. Tujuan dari refrigerasi akan tercapai apabila penyerapan terjadi secara terus-menerus pada temperatur yang rendah sehingga cairan dapat menguap dan terjadi secara kontinyu. Proses ini terjadi secara terus-menerus sehingga temperatur yang ada di dalam ruangan akan berkurang dan temperatur ruangan akan menyesuaikan kebutuhan. Media yang digunakan untuk perpindahan kalor ini biasanya disebut *refrigerant* (Karyanto dan Paringga, 2003).

Penggunaan unit refrigerasi haruslah dipilih jenis *refrigerant* yang paling sesuai dengan jenis kompresor yang dipakai (Daryanto, 1983). *Refrigerant* yang sudah di pompa oleh kompresor akan memiliki nilai tekanan yang tinggi serta diikuti dengan peningkatan temperaturnya sehingga fase dari refrigeran akan berubah menjadi uap. *Refrigerant* menuju ke kondensor setelah melewati kompresor. Kondensor akan mengalami proses kondensasi dimana kalor pada *refrigerant* dibuang ke temperatur lingkungan. Fase *refrigerant* berubah menjadi cair tetapi masih dalam keadaan bertekanan tinggi. *Refrigerant* tersebut akan berjalan menuju pipa kapiler, tetapi sebelumnya akan melewati sebuah filter untuk menyaring kotorannya. Pada saat ada di pipa kapiler tekanan *refrigerant* akan diturunkan.



*Refrigerant* akan bergerak menuju evaporator setelah melewati pipa kapiler. Temperatur dari *refrigerant* akan meningkat lagi sehingga fase akan berubah menjadi uap. *Refrigerant* menyerap panas dari lingkungan. Perubahan fase dari uap ke cair, *refrigerant* akan membuang kalor ke lingkungan sekelilingnya (Stoecker dan Jones, 1982).

## 2.2 Komponen Utama

### 2.2.1 Evaporator

Evaporator juga sebuah alat penukar kalor yang ada pada lemari es. Evaporator merupakan sebuah bagian yang berhubungan langsung dengan *refrigerant* yang akan didinginkan. Fungsi dari evaporator yaitu menyerap panas dari udara atau benda yang ada di dalam lemari es dan mendinginkannya (Daryanto, 1983). Evaporator ditempatkan diantara pipa kapiler dan kompresor, pada sisi tekanan rendah dari sebuah sistem (Karyanto dan Paringga, 2003).

Penguapan yang terjadi dari bahan pendingin akan menyerap panas yang ada pada ruangan. Panas yang diambil tergantung pada jumlah kalor yang diserap dalam evaporator. Kemampuan untuk menyerap panas tersebut disebut juga dengan efek refrigerasi (Karyanto dan Paringga, 2003).

Hamzah et al., melakukan penelitian pada *air conditioner* (AC) guna mengetahui prestasi kerjanya dengan pemasangan evaporator tunggal, seri dan parallel. Penelitian dilakukan dengan cara memasang satu unit evaporator pada ruang A dan B yang diberi tiga perlakuan. Perlakuan pertama, pada masing-masing evaporator tunggal dihubungkan dengan satu unit outdoor berkompresor ½ Pk. Perlakuan kedua, kedua evaporator dihubungkan seri pada satu unit outdoor berkompresor 1 Pk. Perlakuan ketiga, kedua evaporator dihubungkan parallel pada satu unit *outdoor* berkompresor 1 Pk. Perhitungan pada setiap variasi metode pemasangan evaporator, diperoleh hasil *coefficient of performance* (COP) pada pemasangan tunggal sebesar 4,26 pada ruang A dan 4,22 pada ruang B. Pada pemasangan seri terjadi penurunan nilai COP yaitu 2,76 pada ruang A dan 3,02 pada ruang B. Demikian pada pemasangan evaporator parallel sebesar 1,88 pada ruang A dan 1,91 pada ruang B. Akan tetapi metode pemasangan seri dan paralel

dapat digunakan untuk menghemat energi dan biaya pengadaan AC walau COP cenderung lebih rendah dibanding pemasangan tunggal (Hamzah et al., 2010).

Won menguji mesin pendingin dengan menggunakan dua evaporator dan dua kompresor, sirkulasi sistem terpisah tiap ruangan. Dari hasil penelitian didapatkan peningkatan efisiensi sebanyak 3,5%. Sistem dua evaporator mengurangi energi listrik yang digunakan pada setiap ruangan (Wang, 1994).

Beberapa tipe dari evaporator menurut Karyanto dan Paringga (2003) adalah sebagai berikut

a. *Roll-Bond type*

*Roll-bond type* terdiri dari dua buah plat alumunium yang disatukan dan diantaranya diberi saluran untuk *refrigerant*. Evaporator dengan tipe ini banyak digunakan untuk lemari es dua pintu serta *freezer* karena bunga es yang terbentuk mudah untuk dibersihkan. Evaporator tipe ini mudah dibentuk menjadi bermacam-macam bentuk, diantaranya bentuk U, L serta segi empat. Beberapa plat pada evaporator tipe ini dapat dihubungkan secara seri maupun parallel.



Gambar 2.1 *Roll bond type* (Karyanto dan Paringga, 2003)

b. *Wire-tube type*

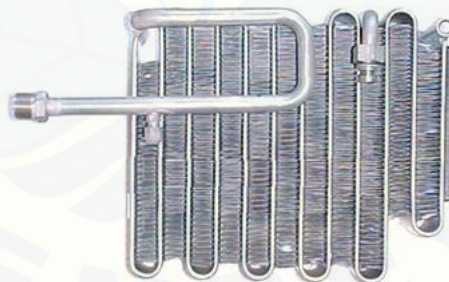
Terdiri daripada tabung pipa tembaga yang dibuat melingkar-lingkar membentuk spiral dan diberi rangka penguat, jenis ini special digunakan dalam *freezer* (Karyanto dan Paringga, 2003).



Gambar 2.2 *Wire tube type* (Karyanto dan Paringga, 2003)

c. *Serpenting type*

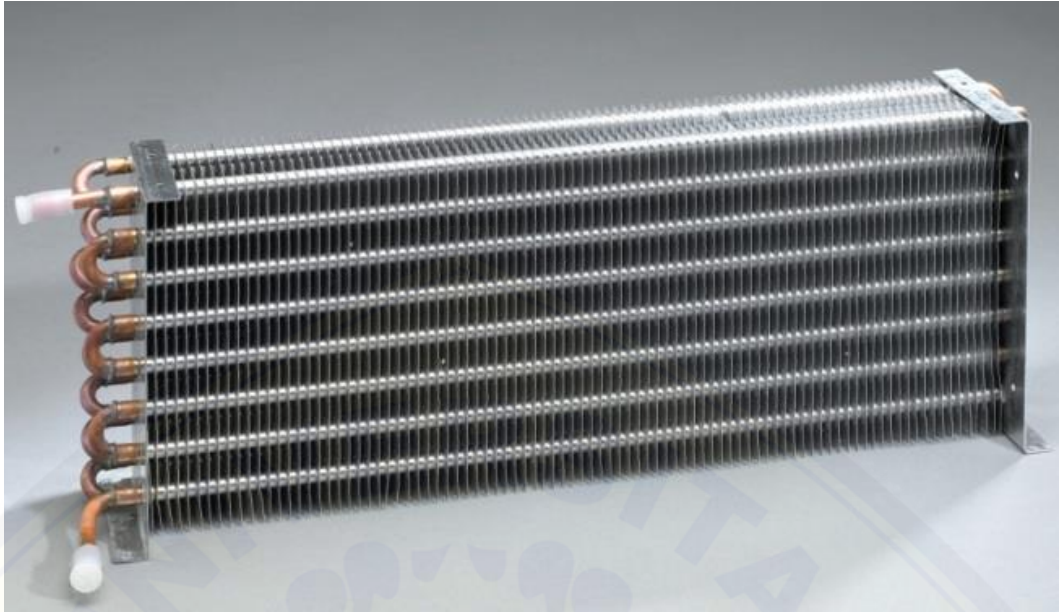
Tipe ini terbuat dari lengkungan yang berupa lingkaran dari pipa tembaga disertai dengan sirip yang digunakan untuk menyimpan bahan makanan agar tetap segar pada lemari es dua pintu.



Gambar 2.3 *Serpenting type* (Karyanto dan Paringga, 2003)

d. *Fin Tube type*

Konstruksi dari evaporator tipe ini terbuat dari pipa jenis alumunium yang diberi pelat tipis berupa sirip. Sirip disini berfungsi untuk memperluas permukaan dari evaporator sehingga dapat menyerap kalor lebih banyak.



Gambar 2.4 *Fin tube type* (Karyanto dan Paringga, 2003)

### 2.2.2 Kondensor

Kondensor merupakan sebuah alat penukar kalor yang berfungsi untuk membuang panas dan mengubah fase dari *refrigerant* yang mula-mula berupa gas menjadi cair. Kondensor ditempatkan antara kompresor dan alat pengatur bahan pendingin (pipa kapiler) (Karyanto dan Paringga, 2003). Kondensor sendiri ditempatkan di luar ruangan pada sistem yang didinginkan. Hal ini disebabkan untuk dapat membuang panas secara langsung ke lingkungan. Kondensor dengan perencanaan yang baik harus dapat membuat cairan dingin lanjut (*subcooling*) (Karyanto dan Paringga, 2003). Tekanan *refrigerant* pada kondensor lebih tinggi daripada bagian lainnya yang ada dalam sistem pendingin.

Kondensor dapat dibagi menjadi tiga macam, tergantung pada medium yang digunakan untuk mendinginkannya (Anshari dan Alam, 2015) antara lain :

- a. Kondensor dengan pendingin udara (*air cooled*)
- b. Kondensor dengan pendingin air (*water cooled*)
- c. Kondensor dengan pendingin air dan udara

Beberapa jenis kondensor yang dipergunakan untuk domestik *refrigerator* antara lain (Karyanto dan Paringga, 2003) :

- a. *Natural convection* adalah kondensor yang digunakan untuk lemari es yang kecil



- b. *Fan motor* adalah kondensor yang digunakan untuk lemari es yang lebih besar. *Fan motor* meniupkan udara ke kondensor dalam kapasitas yang besar.

*Separation condenser* adalah sebuah kondensor yang dapat memisahkan antara fasa cair dan gas. Dari serangkaian alat ukur yang terpasang pada sistem *liquid-vapor separation condenser* memiliki hasil eksperimental yang sangat baik. Desain yang sangat bagus dari *liquid-vapor separation condenser* terbukti memiliki perpindahan panas tinggi dan *pressure drop* yang rendah dibandingkan dengan *serpentine condenser* (Hua et al., 2013). Penelitian lain yang telah dilakukan oleh Zhuang et al., (2014) terjadi sebuah peningkatan pada kinerja sistem melalui koefisien perpindahan panas pada *liquid-vapor separation condenser*. *Pressure drop* mengalami penurunan sebesar 77,11-81,4% jika dibandingkan dengan *serpentine condenser*.

*Separation condenser* juga diuji menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan kinerja dari *liquid-vapor micro channel separation condenser* dengan *parallel flow micro channel condenser*. Kapasitas pendinginan dari *liquid-vapor micro-channel separation condenser* 5,18% lebih tinggi jika dibandingkan dengan *parallel flow micro channel condenser* (Zheng at al., 2014). Prestasi kerja yang didapatkan dari *liquid-vapor micro channel condenser* lebih baik dibandingkan dengan *parallel flow micro channel separation*.

Pemisah fasa menguntungkan kondensor agar lebih efektif. Pada *separation condenser* dapat menghasilkan laju aliran kondensat sebesar 1,6-7,4 % lebih tinggi daripada kondensor yang biasa. Pada aliran kondensat yang sama, *separation condenser* mampu menurunkan suhu keluaran yang lebih rendah daripada suhu keluaran kondensat biasa. Hasil dari COP *separation condenser* menunjukkan sampai 6,6% lebih tinggi daripada sistem kondensat biasa (Li dan Hrnjak, 2017).

### 2.2.3 Pipa Kapiler

Pipa kapiler biasa juga disebut dengan *restrictor tube* atau *choke tube*. Pipa kapiler merupakan sebuah alat yang berguna untuk menurunkan tekanan dari *refrigerant* cair yang mengalir, mengatur jumlah *refrigerant* yang mengalir, serta meningkatkan tekanan *refrigerant* di kondensator. Panjang dan diameter dari pipa

kapiler ini dapat digunakan untuk mengontrol jumlah *refrigerant* yang akan mengalir menuju evaporator. Pipa kapiler terbuat dari tembaga dengan diameter 0,026-0,031 inci (Karyanto dan Paringga, 2003).

Pemasangan pipa kapiler tidak boleh dibengkokkan terlalu tajam, hal ini dikarenakan dapat membuat pipa tersumbat. Pipa kapiler ini disambungkan dengan saringan *drier* dan evaporator, yang merupakan batas antara *high pressure* dan *low pressure* dari sebuah sistem refrigerasi. Pada bagian tengahnya, pipa kapiler dilekatkan dengan saluran hisap (*suction line*) (Karyanto dan Paringga, 2003).

Pipa kapiler tidak dapat menahan ataupun menghentikan aliran dari *refrigerant* saat kompresor sedang bekerja maupun berhenti. Ketika kompresor motor dihentikan, *refrigerant* dari sisi yang memiliki tekanan tinggi akan terus mengalir ke sisi yang bertekanan rendah untuk menyamakan tekanannya. Kemampuan ini dinamakan dengan waktu penyamaan tekanan. Lemari es yang menggunakan pipa kapiler dalam sistem refrigerasinya memerlukan waktu sekitar lima menit untuk menyamakan tekanan tersebut (Karyanto dan Paringga, 2003).

Keuntungan dari menggunakan pipa kapiler dalam sistem refrigerasi adalah kompresor motor dapat dijalankan dengan *split phase motor* tanpa menggunakan kapasitor. Kerugian dari menggunakan pipa kapiler yaitu tidak sensitif terhadap perubahan beban. Hal ini terjadi karena diameter dan panjang pipa kapiler tidak dapat dirubah lagi setelah dipasang pada sistem (Daryanto, 1983).

Berikut ini adalah hal-hal yang perlu diperhatikan pada pemakaian pipa kapiler menurut Karyanto dan Paringga (2003).

a. Kebersihan Pipa Kapiler

Pipa kapiler harus dijaga kebersihannya agar kotoran yang seperti debu, udara dan uap air tidak masuk ke lubang pipa kapiler. Pipa kapiler memiliki lubang dalam yang sangat kecil, sehingga sedikit saja kotoran yang masuk dapat mengakibatkan penyumbatan.

b. Ukuran Pipa Kapiler

Panjang dan diameter dari pipa kapiler sangat sensitif dalam menentukan besar tahanannya. Sedikit saja terdapat perubahan pada diameter maka akan mengubah jumlah aliran dari *refrigerant*. Panjang dan diameter dari pipa

kapiler sendiri dapat direncanakan dengan bergantung kepada kapasitas daya kompresor motornya serta suhu dingin pada bagian evaporatornya.

Tabel 2.1 Daftar pemakaian pipa kapiler

| D.K. | Bahan Pendingin | Kondensor | Rendah                        | Sedang                         | Tinggi                          |
|------|-----------------|-----------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|      |                 |           | -23s/d -15 °C<br>I.D. x meter | -15 s/d -6.5°C<br>I.D. x meter | -6.7s/d +1.7 °C<br>I.D. x meter |
| 1/20 | R-12            | S-F       | 0.026 X 4.88                  | 0.026 X 3.05                   |                                 |
| 1/12 | R-12            | S-F       | 0.026 X 3.62                  | 0.031 X 3.62                   |                                 |
| 1/9  | R-12            | S         | 0.026 X 3.62                  | 0.031 X 3.62                   |                                 |
| 1/9  | R-12            | F         | 0.026 X 3.05                  | 0.031 X 3.05                   |                                 |
| 1/8  | R-12            | S-F       | 0.026 X 3.05                  | 0.031 X 3.05                   |                                 |
| 1/6  | R-12            | S         | 0.026 X 3.62                  | 0.036 X 3.62                   |                                 |
| 1/6  | R-12            | F         | 0.031 X 3.05                  | 0.036 X 3.05                   | 0.036 X 2.44                    |
| 1/5  | R-12            | S         | 0.031 X 3.05                  | 0.036 X 3.05                   |                                 |
| 1/5  | R-12            | F         | 0.031 X 2.44                  | 0.036 X 2.44                   | 0.044 X 2.29                    |
| ¼    | R-22            | S         | 0.036 X 3.62                  |                                |                                 |
| ¼    | R-12            | F         | 0.036 X 3.05                  | 0.044 X 4.57                   | 0.044 X 2.59                    |
| 1/3  | R-22            | F         | 0.036 X 3.05                  | 0.044 X 4.57                   |                                 |
| 1/3  | R-12            | F         | 0.044 X 3.77                  | 0.050 X 3.96                   | 0.050 X 3.36                    |
| ½    | R-22            | F         | 0.044 X 4.57                  | 0.044 X 2.74                   |                                 |
| ½    | R-12            | F         | 0.055 X 3.36                  | 0.055 X 2.74                   | 0.055 X 2.29                    |
| ¾    | R-22            | F         | 0.055 X 3.36                  | 0.055 X 2.74                   |                                 |
| ¾    | R-12            | F         | 0.055 X 2.29                  | 0.070 X 3.62                   | 0.080 X 3.05                    |
| 1    | R-22            | F         | 0.064 X 3.05                  | 0.070 X 3.62                   |                                 |
| 1    | R-12            | F         | 0.070 X 3.05                  | 2(0.055X3.36)                  | 2(0.055X2.29)                   |
| 1 ½  | R-22            | F         |                               | 2(0.055X3.36)                  | 2(0.064X2.44)                   |

(Sumber : Karyanto dan Paringga, 2003)

Keterangan :

S : Statis untuk kondensor tanpa *fan* motor

F : *Fan* untuk kondensor yang memakai fan motor



#### 2.2.4 Kompresor

Kompresor merupakan sebuah alat yang berguna untuk menghisap dan menekan *refrigerant* untuk dialirkan ke seluruh sistem. Kompresor biasanya terdiri dari dua silinder (*twin cylinder*) dan satu silinder (*single cylinder*). Lemari es biasanya menggunakan kompresor dengan satu silinder. Pemasangannya dapat secara tegak maupun mendatar. Bila ditinjau dari cara penggerakannya (Karyanto dan Paringga, 2003) kompresor dapat dibagi menjadi :

a. Kompresor Open Unit (*Open Type Unit*)

Kompresor open unit sering juga disebut sebagai *belt driven unit* atau *open type compressor*. Tipe ini, kompresor terpisah dari tenaga penggerakannya. Salah satu ujung poros engkol dari kompresor menonjol ke luar, sebuah *pulley* dari luar dipasang pada ujung poros tersebut. Melalui tali dari kipas, *pulley* dihubungkan dengan tenaga penggerakannya (Karyanto dan Paringga, 2003).

Keuntungan dari penggunaan kompresor tipe ini adalah jika motor penggerakannya yang rusak maka kita dapat memperbaiki motornya saja, dapat mengatur jumlah putaran kompresor dengan cara mengubah diameter *pulley*, pada daerah yang tidak ada listrik kompresor masih dapat digunakan dengan tenaga penggerak dari diesel atau motor bensin serta pemeriksaan pada minyak pelumas mudah dilakukan. Sedangkan untuk kerugiannya adalah bentuknya yang lebih besar sehingga lebih berat dan harganya lebih mahal serta *seal* dari kompresor pada poros engkol sering rusak yang mengakibatkan kebocoran pelumas dan *refrigerant* (Karyanto dan Paringga, 2003).

b. Kompresor Semi Hermetik Unit

Kompresor dan motor penggerak dalam keadaan terpisah, tetapi saling dikaitkan sehingga terlihat menjadi satu buah. Poros motor listrik harus dihubungkan dengan poros kompresor secara langsung apabila ingin menggerakkan kompresor.

c. Kompresor Hermetik

Konstruksi dari kompresor dan motor penggerak menjadi satu kesatuan yang mana digerakkan langsung oleh motor penggerak yang dihubungkan dengan poros engkol. Sehingga jumlah putaran kompresor akan sama dengan jumlah

putaran motor penggerak. Keuntungan dari penggunaan kompresor hermetic adalah bentuknya yang kecil sehingga tidak banyak memakan tempat serta memiliki putaran yang konstan. Sedangkan kelemahan dari kompresor hermetik ini yaitu apabila terjadi kerusakan sedikit pada komproser maka seluruh unit harus dibongkar.

d. Kompresor Rotari Hermetik

Kompresor jenis rotari hermetik ini merupakan sistem terbaru yang digunakan pada unit pendingin seperti lemari es. Hal ini diakibatkan karena pada kompresor ini tidak banyak terjadi getaran. Adapun keuntungan menggunakan kompresor ini adalah konsumsi energi listriknya lebih hemat, bentuknya lebih sederhana, tekanannya merata, suaranya cenderung tenang serta getaran yang ditimbulkan kecil. Sedangkan untuk kerugiannya antara lain apabila terjadi kerusakan akan susah diperbaiki serta harga yang lebih mahal.

#### 2.2.5 Katup Ekspansi

Katup ekspansi merupakan sebuah komponen yang berfungsi untuk menurunkan tekanan dari *refrigerant* (Karyanto dan Paringga, 2003). Katup ekspansi dipasang pada saluran masuk evaporator. Macam-macam dari katup ekspansi ini adalah sebagai berikut

a. Katup ekspansi siku

Tabung kontrol pada pipa kapiler dan ruangan yang ada di atas membran diisi dengan sebuah cairan khusus yang sensitiv terhadap perubahan temperatur. Tabung kontrol ini diletakkan dengan cara di dempetkan pada pipa keluar evaporator. Apabila temperatur dari evaporator rendah, maka tekanan cairan yang ada di atas membran tidak mampu melawan tekanan pegas sehingga katup jarum menutup saluran yang akan masuk ke evaporator dan mengakibatkan penguapan *refrigerant* terhenti dan temperatur evaporator naik kembali. Sebaliknya pada saat temperatur evaporator meningkat maka cairan yang ada di atas membran akan naik sehingga melebihi tekanan yang ada pada pegas, katup akan terdorong ke bawah, saluran menjadi terbuka dan suhu dari evaporator akan menurun kembali.

b. Katup ekspansi blok

Bagian yang ada di atas membran merupakan cairan yang dapat mengontrol temperatur pipa yang keluar dari evaporator. Membuka dan menutupnya katup diatur oleh tekanan pegas.

### 2.2.6 Refrigerant

*Refrigerant* adalah sebuah fluida yang digunakan sebagai media dari perpindahan panas pada evaporator sehingga terjadi penguapan karena temperaturnya rendah serta memberikan panas dengan cara pengembunan pada temperatur dan tekanan yang tinggi. Menurut ASRE (*American Society of Refrigerating Engineers*) refrigeran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa golongan, antara lain :

a. *Halocarbon Compounds*

Kelompok ini terdiri dari *refrigerant* yang berisi satu atau lebih dari 3 halogens yaitu *chlorine*, *fluorine* dan *bromine* (Daryanto, 1983). Berikut ini adalah perencanaan angka dan nama kimia dari macam-macam *refrigerant halocarbon*.

Tabel 2.2 Macam-macam *refrigerant halocarbon*

| Angka Penunjukan | Nama Kimia                          | Rumus Kimia                  |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 11               | <i>Trichloromono fluora methane</i> | $\text{CCl}_3\text{F}$       |
| 12               | <i>Dichloro difluoro methane</i>    | $\text{CCl}_2\text{F}_2$     |
| 13               | <i>Monochloro trifluoro methane</i> | $\text{CClF}_3$              |
| 22               | <i>Monochloro difluoro methane</i>  | $\text{CHClF}_3$             |
| 30               | <i>Methyline chloride</i>           | $\text{CH}_2\text{Cl}_2$     |
| 40               | <i>Methyl chloride</i>              | $\text{CH}_3\text{Cl}$       |
| 113              | <i>Trichloro trifluoro ethane</i>   | $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$ |
| 114              | <i>Dichloro tetrafluoro ethane</i>  | $\text{CClF}_2\text{CClF}_2$ |
| 1142 a           | <i>Dichloro tetrafluoro ethane</i>  | $\text{CCl}_2\text{FCF}$     |
| 152 a            | <i>Difluoro ethane</i>              | $\text{CH}_3\text{CHF}_2$    |

(Sumber : Daryanto, 1983)

b. *Azeotropes*

*Azeotropes* adalah campuran dari dua atau lebih cairan sehingga komponen yang tidak dapat diubah dengan cara destilasi sederhana. Dalam dunia

perdagangan *refrigerant* ini bernama R500 yang merupakan campuran dari R12 dan R152 dengan perbandingan 73,8% dan 26,2% dari berat totalnya (Daryanto, 1983).

c. *Hydrocarbon*

*Refrigerant* dalam kelompok *hydrocarbon* banyak digunakan terutama dalam industri *petroleum* dan petrokimia (Daryanto, 1983).

Tabel 2.3 Macam *refrigerant* jenis *hydrocarbon*

| Nd  | Cn              | Cf  |
|-----|-----------------|---|
| 50  | <i>Methane</i>  | CH <sub>4</sub>                                 |
| 170 | <i>Ethane</i>   | CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>                 |
| 290 | <i>Prophane</i> | CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> |

(Sumber : Daryanto, 1983)

d. *Anorganic Compounds*

*Anorganic compounds* merupakan *refrigerant* yang terdiri dari senyawa anorganik (tidak mengandung ikatan karbon-hidrogen). Mayoritas dari *refrigerant* ini tidak beracun dan ramah lingkungan serta murah dan tidak mudah terbakar (Daryanto, 1983).

Tabel 2.4 Macam *refrigerant inorganic compounds* (Daryanto, 1983)

| Nd  | Cn                     | Cf               |
|-----|------------------------|------------------|
| 717 | <i>Amoniak</i>         | NH <sub>3</sub>  |
| 718 | <i>Water</i>           | H <sub>2</sub> O |
| 729 | <i>Air</i>             | -                |
| 744 | <i>Carbon dioksida</i> | CO <sub>2</sub>  |
| 764 | <i>Sulfur dioksida</i> | SO <sub>2</sub>  |

(Sumber : Daryanto, 1983)

e. *Unsaturated Organic Compounds*

*Unsaturated organic compounds* merupakan senyawa hidrokarbon organik yang molekulnya mengandung ikatan ganda atau rangkap tiga atom karbon. Hal ini mengakibatkan *unsaturated organic compounds* lebih reaktif dibandingkan dengan *hydrocarbon* serta memiliki lebih sedikit atom *hydrogen* yang terikat pada atom karbon (Daryanto, 1983). Pada kelompok ini *refrigerant* yang sering dipakai yaitu :

Tabel 2.5 Macam *refrigerant unsaturated organic compounds*

| Angka Penunjukan | Nama Kimia       | Rumus Kimia |
|------------------|------------------|-------------|
| 1150             | <i>Ethylene</i>  | $C_2H_4$    |
| 1270             | <i>Propylene</i> | $C_3H_6$    |

(Sumber : Daryanto, 1983)

Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan penggunaan *refrigerant* yaitu:

- a. Termodinamika
  - 1) Titik beku yang dimiliki
  - 2) Tekanan baik pada temperatur pengembunan serta penguapan
  - 3) Volume yang dibutuhkan saat pendingin dalam setiap tonnya
  - 4) Harga dari COP
- b. Sifat Kimia
  - 1) Reaksi terhadap material pada kontruksi yag digunakan
  - 2) Titik nyala
  - 3) Racun yang terkandung
  - 4) Kerusakan pada hasil pendinginan
- c. Sifat Fisik
  - 1) Kekentalan
  - 2) Kebocoran

## 2.3 Komponen Pendukung

### 2.3.1 *Filter*

*Filter* merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk menyaring kotoran saat sistem refrigerasi sedang berlangsung. Pemasangan *filter* memiliki tujuan agar tidak terjadi penyumbatan pada pipa kapiler. Panjangnya sekitar 8-15 cm (Martino, 2015).





Gambar 2.5 *Filter* (Karyanto dan Paringga, 2003)

### 2.3.2 *Liquid Receiver*

*Liquid receiver* merupakan sebuah komponen yang berfungsi sebagai tempat untuk menampung sebuah *refrigerant* setelah melewati kondensor (Tampubolon dan Samosir, 2005).



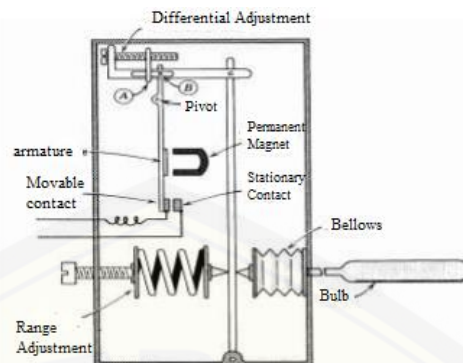
Gambar 2.6 *Liquid receiver* (Widodo dan Hasan, 2008)

### 2.3.3 *Solenoid Valve*

Katup solenoid (*solenoid valve*) berfungsi untuk mengalirkan dan menghentikan *refrigerant* pada saat sistem refrigerasi berlangsung. Katup tersebut berjalan ketika ada aliran listrik (Tampubolon dan Samosir, 2005).

### 2.3.4 *Thermostat*

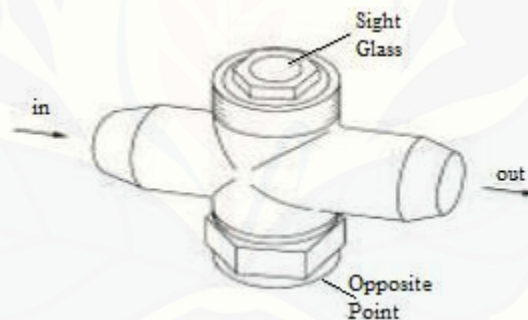
Thermostat merupakan sebuah komponen yang digunakan untuk sebuah pengatur atau kontrol dari temperatur ruangan, sehingga temperatur di dalam lemari es selalu stabil dan sesuai dengan kebutuhan (Martino, 2015).



Gambar 2.7 Thermostat (Widodo dan Hasan, 2008)

### 2.3.5 Sight Glass

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



Gambar 2.8 Sight Glass (Wang,1987)

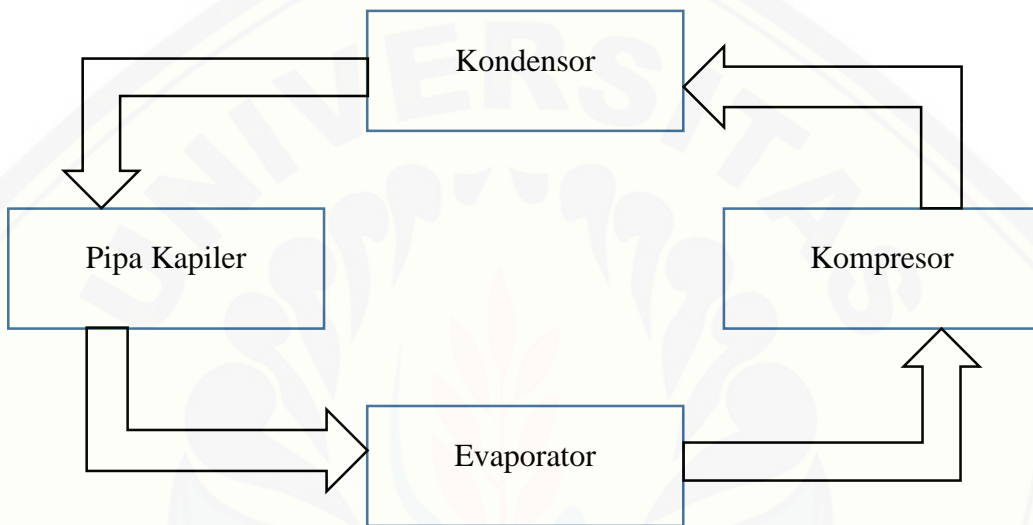
## 2.4 Siklus Pendinginan

Saat kompresor sedang bekerja, *refrigerant* di kompresi agar tekanannya menjadi tinggi. *Refrigerant* mengalir ke kondensor, pipa kapiler, evaporator dan melalui saluran hisap akan kembali ke kompresor lagi. Saat kompresor berhenti bekerja, *refrigerant* akan terus mengalir dari sisi yang bertekanan tinggi menuju sisi yang bertekanan rendah sampai tekanan menjadi sama. Pada sebuah sistem refrigerasi, kompresor bekerja untuk membuat perbedaan tekanan sehingga *refrigerant* dapat mengalir dari satu bagian ke bagian lainnya dari suatu sistem.

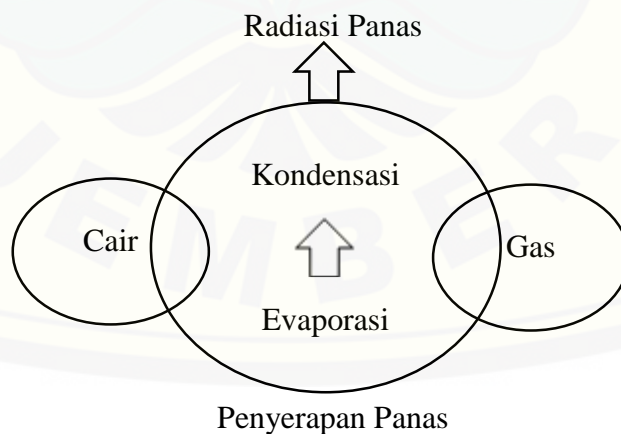


Karena adanya perbedaan tekanan maka *refrigerant* dapat mengalir melalui pipa kapiler menuju ke evaporator.

Tekanan gas pada evaporator harus lebih tinggi daripada tekanan gas dalam saluran hisap agar gas dingin yang dari evaporator dapat mengalir melalui saluran hisap menuju ke kompresor. Jika menggunakan kompresor jenis hermetik maka gas dingin tersebut akan berguna untuk mendinginkan kumparan motor listrik dan minyak pelumasnya.



Gambar 2.9 Siklus pendinginan sistem refrigerasi



Gambar 2.10 Penyerapan panas di evaporator dan pembuangan panas di kondensor

Kondensor mempunyai fungsi melepaskan panas yang diserap oleh *refrigerant* di evaporator dan panas yang terjadi selama proses kompresor, yang biasanya di rumuskan sebagai berikut :

$$Q_c = Q_o + W_t \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan

$Q_c$  : panas yang dilepaskan kondensor

$Q_o$  : panas yang diserap evaporator

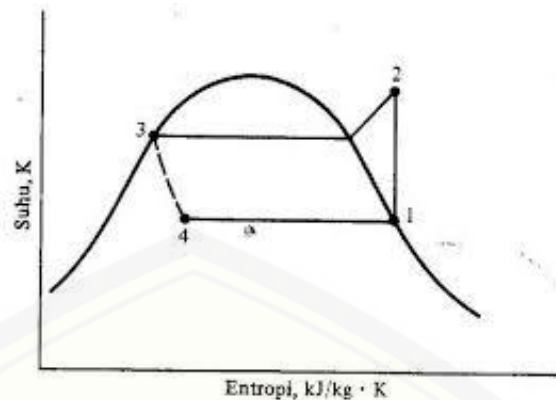
$W_t$  : panas proses kompresor

## 2.5 Siklus Kompresi Uap Ideal

Dalam mesin pendingin *refrigerator* umumnya menggunakan siklus kompresi uap. Pada siklus ini, uap dikompresi oleh kompresor sehingga mencapai tekanan dan temperatur yang tinggi yang kemudian akan dikondensasi pada kondensor. Saat kalor dilepas dari uap *refrigerant* menuju lingkungan akan mengakibatkan perubahan wujud *refrigerant* menjadi cair yang disertai dengan penurunan temperatur. Selanjutnya akan menuju ke katup ekspansi agar tekanannya turun yang kemudian diteruskan ke evaporator dimana terjadi penguapan sehingga temperaturnya menjadi naik. Ada beberapa proses pada siklus refrigerasi kompresi uap ideal yaitu :

- a. Proses Kompresi
- b. Proses Kondensasi
- c. Proses Ekspansi
- d. Proses Evaporasi

Siklus tersebut dapat digambarkan pada diagram T-s sebagai berikut

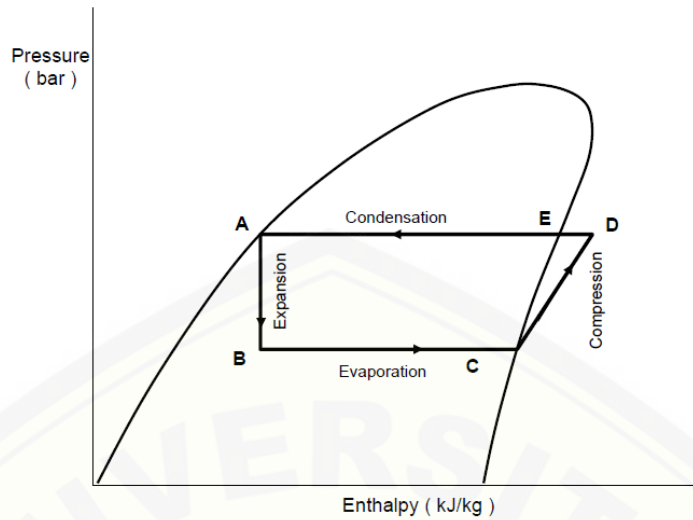


Gambar 2.11 Diagram T-s (Stoecker, 1982)

Dari diagram diatas dapat diketahui bahwa :

- Proses 1-2 : kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor
- Proses 2-3 : Pelepasan kalor reversibel pada tekanan yang konstan sehingga menyebabkan penurunan panas dan terjadi pengembunan pada *refrigerant*
- Proses 3-4 : ekspansi yang terjadi tidak reversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator
- Proses 4-1 : penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh

Sedangkan untuk mengetahui nilai COP maka dapat menggunakan diagram P-h seperti berikut.



Gambar 2.12 Diagram P-h

### 2.5.1 Proses Kompresi (1-2)

Pada proses ini berlangsung secara *isentropic adiabatic*. *Refrigerant* masuk ke kompresor dalam keadaan uap jenuh dan bertekanan rendah. Setelah dikompresi berubah menjadi uap bertekanan tinggi (Adam, 2012).

$$w = \dot{m}(h_2-h_1) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan

- w : besar kerja kompresi yang dilakukan (kJ/kg)
- $\dot{m}$  : laju aliran massa (kg/s)
- $h_1$  : entalpi *refrigerant* pada saat masuk ke kompresor (kJ/kg)
- $h_2$  : entalpi *refrigerant* pada saat keluar dari kompresor (kJ/kg)

### 2.5.2 Proses Kondensasi (2-3)

*Refrigerant* dengan temperatur yang tinggi keluar dan mengalir menuju kompresor. Di dalam kondensor terjadi pertukaran kalor antara *refrigerant* dengan udara. Sehingga panas dari *refrigerant* berpindah ke udara atau pelepasan kalor yang akhirnya mengembun menjadi fasa cair (Adam, 2012).

$$Q_c = \dot{m}(h_2-h_3) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan

- $Q_c$  : besar panas yang dilepas oleh kondensor (kJ/kg)
- $\dot{m}$  : laju aliran massa (kg/s)
- $h_2$  : entalpi *refrigerant* pada saat masuk ke kondensor (kJ/kg)

$h_3$  : entalpi *refrigerant* pada saat keluar dari kondensor (kJ/kg)

2.5.3 Proses Ekspansi (3-4)

Tidak terjadi penambahan entalpi pada proses ini, tetapi terdapat penurunan tekanan dan temperatur. Hal ini diakibatkan oleh pipa kapiler yang berfungsi untuk mengatur laju *refrigerant* serta menurunkan tekanan dari *refrigerant* (Adam, 2012). Besar  $h_3 = h_4$ .

$$h_3 = h_4 \dots\dots\dots (4)$$

2.5.4 Proses Evaporasi (4-1)

*Refrigerant* cair dan bertekanan rendah di dalam evaporator akan menyerap kalor dari lingkungan dan mengakibatkan perubahan fasa menjadi gas serta bertekanan rendah. Proses ini terjadi secara isobar dan isothermal (Adam, 2012).

$$Q_c = \dot{m}(h_1-h_4) \dots\dots\dots (5)$$

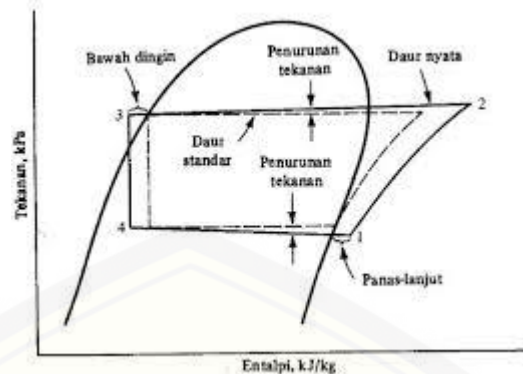
Keterangan

- $Q_c$  : besar panas yang serap oleh evaporator (kJ/kg)
- $\dot{m}$  : laju aliran massa (kg/s)
- $h_1$  : entalpi *refrigerant* pada saat masuk keluar dari evaporator (kJ/kg)
- $h_4$  : entalpi *refrigerant* pada saat masuk ke evaporator (kJ/kg)

**2.6 Siklus Kompresi Uap Aktual**

Di dalam siklus ini terjadi sebuah pemanasan lanjut dari uap *refrigerant* setelah melewati evaporator sebelum masuk ke kondensor. Hal ini diakibatkan oleh jenis dari ekspansi dan juga penyerapan panas di *line suction* yang letaknya ada diantara evaporator dan kompresor. Begitu juga dengan *refrigerant* cairan yang mengalami pendinginan lanjut. Perbedaan antara daur teoritis dan aktual terletak pada penurunan tekanan yang ada di dalam kondensor dan evaporator. Secara teoritis tidak terjadi penurunan tekanan tetapi pada kenyataannya ada penurunan tekanan yang diakibatkan oleh gesekan dengan dinding pipa menuju ke evaporator sehingga kompresor membutuhkan kerja yang lebih.





Gambar 2.13 Perbandingan siklus aktual dan ideal (Stoecker, 1982)

Keterangan

- Garis 1-1 : Menunjukkan terjadinya panas lanjut pada uap *refrigerant* yang melewati batas uap jenuh
- Garis 1'-2 : Proses terjadinya kompresi uap pada *refrigerant*
- Garis 2'-3 : Menunjukkan adanya penurunan pada tekanan pipa kondensor
- Garis 3-3 : Tekanan berada pada garis cair
- Garis 4-4' : Menunjukkan terjadinya penurunan tekanan *refrigerant* pada *line suction* dari evaporator ke kompresor.

## 2.7 Siklus Peredaran Gas/Liquid

Gas *refrigerant* yang datang dari *suction line* dari evaporator akan masuk melalui pipa *inlet* dari kompresor dan *suction valve* ke dalam silinder dari kompresor. Maka hal yang terjadi selanjutnya adalah *refrigerant* akan dipompa menuju luar oleh piston melalui *discharge valve* dan pipa outlet ke *discharge line*. Gas yang keluar disebut dengan *hot gas* karena memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi. Tekanan *refrigerant* yang dari kondensor harus lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan pada komponen lain pada sistem (Karyanto dan Paringga, 2003).

Dari kondensor *refrigerant* akan melewati saringan ke pipa kapiler dan tekanan dari gas tersebut menjadi lebih rendah kemudian di dalam pipa kapiler mulai berubah wujud menjadi cair yang kemudian masuk menuju evaporator. Saat *refrigerant* masuk ke dalam evaporator, cairan tersebut akan menguap dan wujudnya akan berubah menjadi gas dengan temperatur dan tekanan yang rendah.

Peredaran *gas/liquid* ini dari *discharge line* hingga pipa kapiler bisa dikatakan *high pressure* karena memiliki tekanan dan temperatur tertinggi dalam peredarannya, sedangkan dari pipa *inlet* evaporator dan *suction line* disebut *low pressure* karena dibagian ini peredaran dari *gas/liquid* tekanan dan temperaturnya lebih rendah (Karyanto dan Paringga, 2003).

## 2.8 LPG

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan salah satu bahan bakar yang berupa gas yang dicairkan, dimana LPG merupakan produk minyak bumi yang didapatkan dari proses destilasi bertekanan tinggi. Beberapa komponen utama penyusun LPG adalah *hydrocarbon* ringan berupa *propane* ( $C_3H_8$ ) dan *butane* ( $C_4H_{10}$ ), serta sedikit persentase dari *etana* ( $C_2H_6$ ) dan *pentana* ( $C_5H_{12}$ ) (Sambudi, 2016).

LPG banyak digunakan untuk bahan bakar rumah tangga maupun industri karena harganya yang terjangkau dan praktis. Ada persyaratan khusus agar LPG aman digunakan yaitu salah satunya ditambahkan zat pembau agar pengguna mengetahui apabila terjadi sebuah kebocoran. Zat pembau yang ditambahkan pada LPG harus melarut sempurna dan tidak boleh mengendap. Untuk itu digunakan *etil merkaptan* ( $C_2H_5SH$ ) atau *butil merkaptan* ( $C_4H_9SH$ ). Di bidang industri, LPG digunakan sebagai pengganti *freon*, *aerosol*, *refrigerant/cooling agent*, kosmetik dan dapat pula digunakan sebagai bahan baku produk khusus (Pratipta, 2016).

## 2.9 Persamaan Pada Refrigerator

### 2.9.1 Efek Refrigerasi

Efek refrigerasi merupakan jumlah kalor yang mampu diserap oleh *refrigerant* di dalam evaporator untuk setiap satuan massa dari *refrigerant* dan terjadi pada proses 4 ke 1. Rumus dari efek refrigerasi adalah sebagai berikut.

$$ER = h_1 - h_4 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan

$h_1$  : entalpi *refrigerant* pada titik 4 (masuk evaporator)

$h_4$  : entalpi *refrigerant* pada titik 1 (keluar evaporator)

### 2.9.2 Kerja Kompresor

Kerja kompresor adalah perubahan entalpi pada proses 1-2 dimana *refrigerant* yang meninggalkan evaporator kemudian melewati kompresor sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Untuk perhitungan dari kerja kompresor, dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut

$$\text{Kerja kompresor} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan

$h_2$  : entalpi pada proses 2

$h_1$  : entalpi pada proses 1

### 2.9.3 COP (*Coefficient of Performance*)

COP (*Coefficient of Performance*) merupakan efisiensi yang dimiliki oleh sebuah mesin pendingin. Rumus dari COP yaitu :

$$\text{COP} = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresor}} \dots\dots\dots (8)$$

### 2.10 Hipotesis

Dengan menggunakan *separation condenser* maka COP yang dihasilkan akan lebih tinggi dibandingkan dengan *baseline condenser*. Hal ini diakibatkan oleh suhu keluaran yang rendah dan laju aliran kondensat yang tinggi. Akibat suhu keluaran turun maka akan menurunkan kerja kompresi (Li dan Hrnjak, 2017).

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Penelitian ini dilakukan dengan menguji pengaruh penggunaan tipe kondensor dengan menggunakan *double evaporator* yang dipasang secara paralel pada mesin pendingin. Pada pengujian tersebut *refrigerant* yang digunakan adalah 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 serta COP (*coefficient of performance*) pada *baseline condenser* dan *separation condenser*.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tersebut akan dilaksanakan pada Oktober - November 2018. Pada bulan tersebut akan dilaksanakan persiapan alat dan pengambilan data. Penelitian ini akan dilaksanakan pada Laboratorium Konversi Energi II Teknik Mesin Universitas Jember.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1 Alat Penelitian

Pada penelitian tersebut terdapat beberapa alat yang dibutuhkan, antara lain adalah

a. Lemari es (*refrigerator*)

1) Panasonic NR-A17KX

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| Voltase      | : | 220 v     |
| Arus         | : | 0.66 A    |
| Daya         | : | 75 W      |
| Frekuensi    | : | 50 Hz     |
| Kapasitas    | : | 150 liter |
| Berat bersih | : | 27 kg     |

## 2) Sharp SJ-M151T-CG

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| Voltase      | : | 220 V     |
| Arus         | : | 0.6 A     |
| Daya         | : | 74 W      |
| Frekuensi    | : | 50 Hz     |
| Kapasitas    | : | 136 liter |
| Berat bersih | : | 27 kg     |

- b. Termokopel
- c. *Pressure gauge*
- d. *Flowmeter*
- e. Pemotong pipa kondensor
- f. *Separation condenser*
- g. *Baseline condenser*
- h. Kompresor
- i. Mesin vakum
- j. *Stopwatch*
- k. *Filler*
- l. Mesin las
- m. *Clamp meter*

## 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *refrigerant* R134A dan LPG yang digunakan sebagai fluida pendingin dari sistem refrigerasi ini.

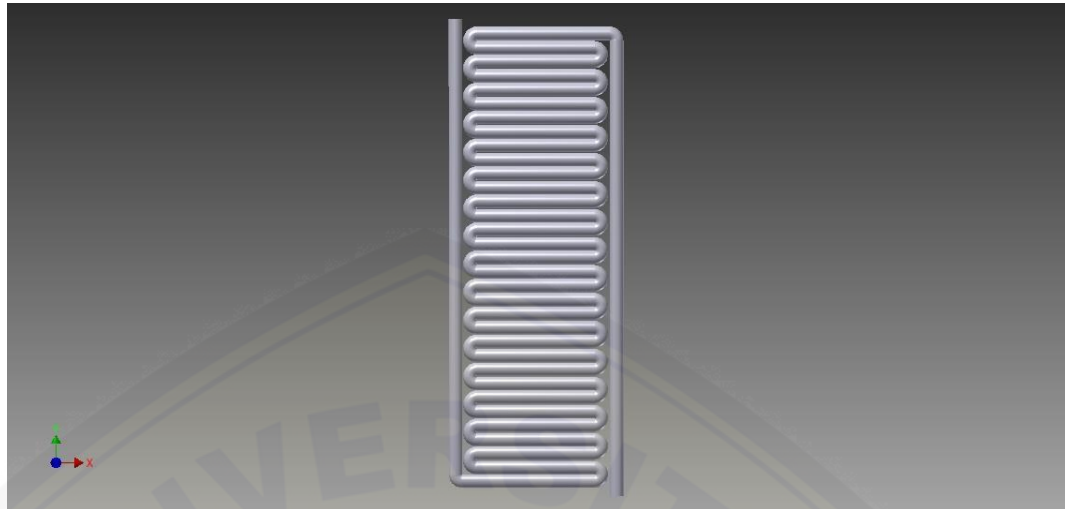
**3.4 Variabel Penelitian**

Dalam penelitian ini terdapat beberapa variabel, antara lain adalah sebagai berikut.

## a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah sebuah variabel yang mempengaruhi hasil dari sebuah penelitian. Variabel bebas dari penelitian ini ada 2, antara lain *baseline condenser* dan *separation condenser*.



Gambar 3.1 *Baseline Condenser*

Spesifikasi kondensor :

- Tipe kondensor : 16 U
- Diameter luar : 3/16 inch (4.76 mm)
- Diameter dalam : 4.0025 mm
- Panjang pipa : 16780 mm

Gambar 3.2 *Separation Condenser*

Spesifikasi kondensor :

- Tipe kondensor : *separation condenser*
- Diameter luar : 3/16 inch (4,76 mm)
- Diameter dalam : 4.0025 mm
- Panjang pipa : 18200 mm

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang diakibatkan oleh adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah temperatur dan tekanan pada titik yang telah ditentukan yang kemudian diolah agar mendapatkan nilai entalpi dan digunakan untuk menghitung :

- 1) Efek refrigerasi
- 2) Kerja kompresor
- 3) COP

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan Alat Pengujian

Sebelum melakukan pengujian, langkah pertama yang dilakukan adalah persiapan dari alat pengujian, yang terdiri dari :

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

#### 3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

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

#### 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 kondensor, kompresor, evaporator, kapiler serta komponen lainnya dirangkai. Pada rangkaian awal menggunakan *baseline condenser*.
- b. Alat ukur dipasang pada beberapa titik untuk mengetahui tekanan dan temperatur.

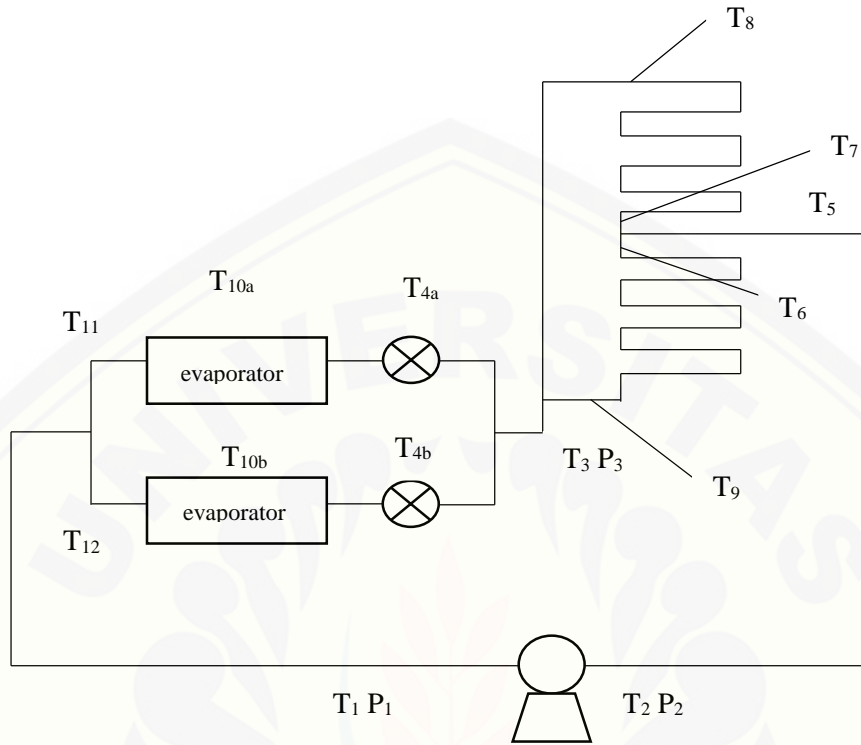
- c. Pengisian R134A dan LPG sebagai *refrigerant* yang digunakan sebagai fluida pendingin sesuai dengan prosedurnya.
- d. Menghidupkan mesin pendingin lalu ditunggu hingga kondisi *steady state*. Pada penelitian ini kondisi *steady state* diasumsikan 3 jam setelah penyalaan awal.
- e. Mencatat semua perubahan temperatur dan tekanan pada setiap titik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.
- f. Penggantian *baseline condenser* dengan *separation condenser*.
- g. Pengulangan langkah b sampai e.
- h. Pengumpulan data.

#### 3.5.4 Pengolahan Data

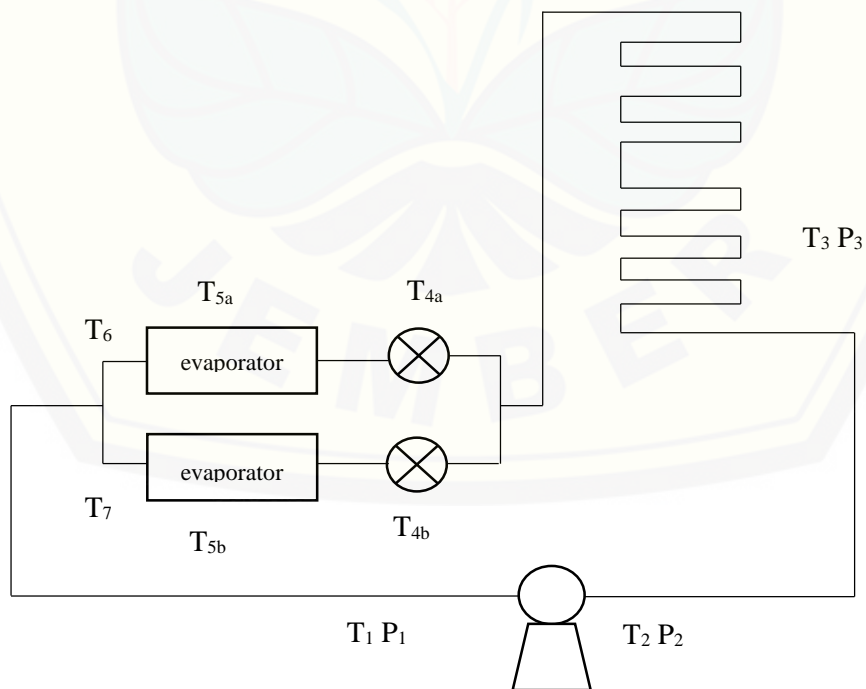
Setelah pengambilan data, maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah pengolahan data.

- a. Data temperatur dan tekanan di dapat dari nilai entalpi (h) dari tabel *thermodynamics properties* dan *coolpack software*.
- b. Dari data percobaan dapat diperoleh antara lain :
  - 1) Efek refrigerasi
$$ER : h_1 - h_4$$
  - 2) Kerja Kompresor
$$W : h_2 - h_1$$
  - 3) COP
$$COP : \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresor}}$$
  - 4) Penyerapan Kalor
$$Q : h_2 - h_3$$

3.6 Skema Alat Uji

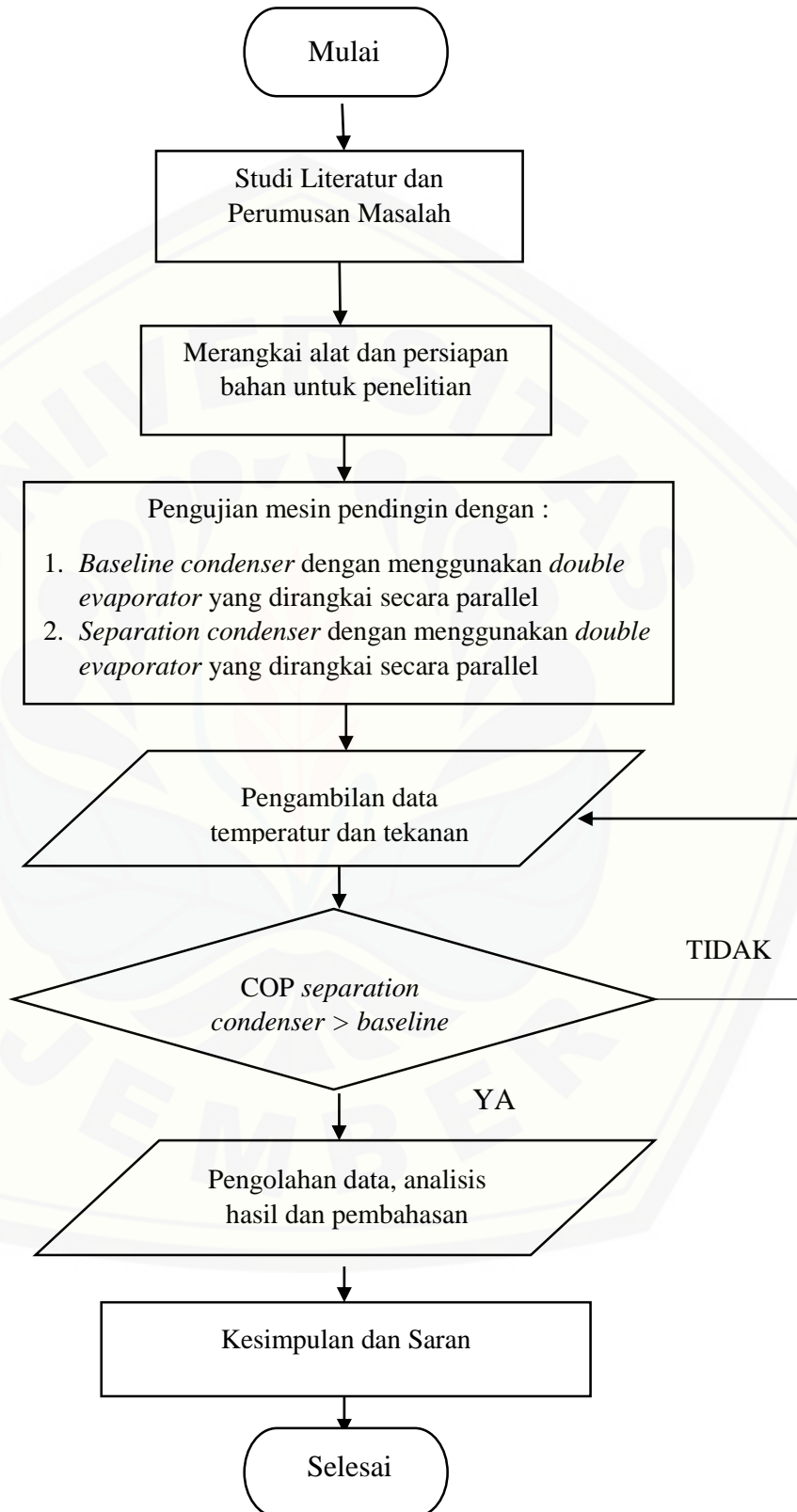


Gambar 3.3 Skema alat uji *separation condenser*



Gambar 3.4 Skema alat uji *baseline condenser*

### 3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan adalah sebagai berikut

- a. Pada *baseline condenser* yang menggunakan *refrigerant* LPG memiliki efek refrigerasi tertinggi yaitu 772,22 kJ/kg, kerja kompresi sebesar 175,6 kJ/kg dan COP sebesar 17,9.
- b. Pada *baseline condenser* yang menggunakan *refrigerant* R134A memiliki efek refrigerasi tertinggi yaitu 390,66 kJ/kg, kerja kompresi sebesar 51,9 kJ/kg dan COP sebesar 21,2.
- c. Pada *separation condenser* yang menggunakan *refrigerant* LPG memiliki efek refrigerasi tertinggi yaitu 714,155 kJ/kg, kerja kompresi sebesar 131,04 kJ/kg dan COP sebesar 14,6.
- d. Pada *separation condenser* yang menggunakan *refrigerant* R134A memiliki efek refrigerasi tertinggi yaitu 370,14 kJ/kg, kerja kompresi sebesar 68,2 kJ/kg dan COP sebesar 13,7.
- e. Penggunaan *separation condenser* pada penelitian ini tidak berhasil membuktikan hipotesis bahwa nilai COP yang dihasilkan lebih besar daripada *baseline condenser*. Hal ini dapat diakibatkan oleh geometri *separation condenser* yang lebih panjang dari *baseline condenser* serta kemungkinan massa *refrigerant* yang berbeda pada saat pengisian.
- f. Penggunaan *double evaporator* membuktikan bahwa unjuk kerja mesin pendingin lebih baik daripada menggunakan *single evaporator*. Hal ini diakibatkan oleh sirkulasi pada *double evaporator* akan lebih cepat jika dibandingkan dengan *single evaporator* karena kompresi akan dibagi menjadi dua.

### 5.2 Saran

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

- a. Sebaiknya sebelum mengambil data suhu maka termokopel sebaiknya dikalibrasi terlebih dahulu dengan cara memasukkannya ke dalam air mendidih.
- b. Sebaiknya hindari penyambungan pipa yang terlalu banyak agar dapat mengurangi kemungkinan kebocoran pada sistem pendingin.
- c. Saat pengujian berlangsung, komponen rangkaian pendingin harus tertutup rapat agar tidak ada udara dari lingkungan yang masuk ke sistem.
- d. Saat pengujian berlangsung pemasangan termokopel harus tepat dan sesuai agar tidak terjadi *burn out*.
- e. Penelitian selanjutnya dapat memvariasikan pemasangan evaporator dengan jumlah lebih dari dua agar dapat mendapatkan unjuk kerja yang lebih bagus.
- f. Jika ingin membandingkan antara *baseline condenser* dan *separation condenser* lebih baik panjang dari *condenser* sama.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Adam, C. 2012. Uji Performansi Refrigerasi Kompresi Udara pada Seed Storage. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung.
- Basri, M. H., 2009. Efek Perubahan Laju Aliran Massa Air Pendingin pada Kondensor terhadap Kinerja Mesin Refrigerasi Focus 808. *SMARTek*, Volume 7, pp. 197-203.
- Daryanto. 1983. *Ikhtisar Praktis Teknik Pendingin*. Bandung: Tarsito.
- Dossat, R. J. 1961. *Principles of Refrigeration*. Japan: Toppan Company, LTD.
- Hamzah, F., W. H. Piarah, dan J. Hadada. Kaji experimental prestasi AC split evaporator tunggal dan ganda.
- Hasan, S. dan S. Widodo. 2008. *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara*. Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Hua, N., Y. Chen, E. Chen, L. Deng, W. Zheng, dan Z. Yang. 2013. Prediction and verification of the thermodynamic performance of vapour-liquid separation condenser. *Energy*. 58 : 384-397
- Karyanto, E. dan E. Paringga. 2003. *Teknik Mesin Pendingin ( Refrigerator, Freezer, Display Cooler)*. Volume 1. Jakarta: CV. Restu Agung.
- Lavanis, M., Haider, I., dan Radermacher, R. 1998. Experimental investigation of an alternating evaporator duty refrigerator/freezer. Volume 104. United States.
- Li, Jun dan P. Hrnjak. 2017. Improvement of condenser performance by phase separation confirmed experimentally and by modelling. *International Journal of Refrigeration*. 78: 60-69.
- Li, Jun dan P. Hrnjak. 2017. Separation in condenser as a way to improve efficiency. *International Journal of Refrigeration*. 79: 1-16.

- Li, Jun dan P. Hrnjak. 2017. Visualization and quantification of separation of liquid vapor two phase flow in a vertical header at low inlet quality. *International Journal of Refrigeration*. 1-24.
- Martino, L. 2015. Karakteristik Kulkas dengan Daya Kompresor 1/8 pk, Panjang Pipa Kapiler 170 cm dan Refrigeran R600a. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Nurchahyo, H. E. 2018. Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Domestic Refrigerator Dengan Separation Condenser Menggunakan Refrigerant LPG Dan Refrigerant R134a. *Skripsi*. Jember : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Pratipta, Y.A. 2016. Studi Pengaruh Variasi Lekukan Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigerant LPG. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Sambudi, Y.C. 2016. Analisis Variasi Jumlah Fan Pada Kondensor Bertingkat Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG. *Skripsi*. Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Stoecker, W.F. dan J. W. Jones. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hil Inc. Terjemahan oleh S. Hara. 1989. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Tampubolon, D., dan R. Samosir. 2005. Pemahaman tentang sistem refrigerasi. *Jurnal Teknik Simetrika*. 4(1): 312-316.
- Wang, Shan K. 1994. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. New York: Mc Graw- Hill.
- Widodo, S. & Hasan, S. 2008. *Sistem Refrigerasi & Tata Udara*. Jilid 1. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Yoon, W. J., H. W. Jung., H. J. Chung, dan Y. Kim. 2010. An Experimental Study on the Performance of a Two-Circuit Cycle with Parallel Evaporators for a Domestic Refrigerator-Freezer. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 1042.
- Zheng, W., Y. Chen, N. Hua, T. Zhong, dan Y. Gong. 2014. Comparative performance of an automotive air conditioning system using micro-channel

condensers with and without liquid-vapor separation. *Energy Procedia*. 61 : 1646-1649

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





LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Pengujian

1. Hasil Pengujian Refrigerant LPG pada Baseline Condenser

Tabel A.1 Hasil pengujian 1 refrigerant LPG pada baseline condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 22,9            | 86,7           | 33,9           | 31,5            | 30,6            | -28,5           | 0,9             | 15,1           | 30,7           | 2              | 160            | 190            | 0,61  |
| 195              | 22,2            | 86,9           | 33,8           | 31,8            | 30,6            | -29,4           | 0,9             | 12,5           | 31             | 2              | 190            | 192            | 0,6   |
| 210              | 26,5            | 93,5           | 37,3           | 35              | 34,1            | -21,6           | -14,7           | 23,7           | 28,1           | 4              | 240            | 230            | 0,6   |
| 225              | 26,7            | 93,1           | 37,2           | 35              | 34              | -20,8           | -17,4           | 25,1           | 28,2           | 2              | 205            | 200            | 0,59  |
| 240              | 26,7            | 92,6           | 36,5           | 34,6            | 33,2            | -19,3           | -18,4           | 25,8           | 27,2           | 14             | 245            | 240            | 0,6   |
| 255              | 26,8            | 91,8           | 36,4           | 34,4            | 32,9            | -18,9           | -20,4           | 26,5           | 26,6           | 14             | 220            | 118            | 0,59  |
| 270              | 26,7            | 90             | 35,7           | 34              | 32,1            | -14,9           | -23,1           | 27,5           | 26             | 10             | 215            | 210            | 0,59  |
| 285              | 26,7            | 90,1           | 35,1           | 33,6            | 31,9            | -8,2            | -23,9           | 27,5           | 25,8           | 18             | 220            | 202            | 0,59  |
| 300              | 26,5            | 88,6           | 34,6           | 33,1            | 31,2            | -1,9            | -25,1           | 27,4           | 25,2           | 10             | 220            | 216            | 0,59  |
| 315              | 26,4            | 87,9           | 34,3           | 32,7            | 30,8            | -0,6            | -25,8           | 27,6           | 24,9           | 10             | 205            | 202            | 0,59  |
| 330              | 26,5            | 88,2           | 34,2           | 32,9            | 30,9            | -0,2            | -25,7           | 27,6           | 25             | 10             | 200            | 192            | 0,58  |
| 345              | 26,6            | 87,2           | 33,9           | 32,6            | 30,2            | -0,1            | -25,8           | 27,2           | 24,7           | 18             | 195            | 188            | 0,58  |
| 360              | 26,3            | 86,7           | 33,9           | 32,4            | 30,4            | 0,5             | -26             | 27,6           | 24,7           | 16             | 200            | 192            | 0,58  |

Tabel A.2 Hasil pengujian 2 refrigerant LPG pada baseline condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 19,5            | 87,3           | 33,3           | 30,6            | 30,1            | -29,3           | 0,9             | 6,1            | 30,4           | 10             | 200            | 192            | 0,54  |
| 195              | 23,9            | 93,9           | 36,3           | 33,3            | 32,9            | -24,6           | -7,2            | 13,6           | 27,3           | 18             | 195            | 188            | 0,53  |
| 210              | 26,5            | 93,1           | 37,2           | 34,7            | 33,6            | -20,8           | -16,1           | 24,3           | 27,6           | 16             | 200            | 192            | 0,59  |
| 225              | 26,9            | 92,5           | 36,6           | 34,7            | 33,2            | -19,1           | -19,1           | 26,2           | 27             | 14             | 205            | 192            | 0,54  |
| 240              | 26,8            | 90,9           | 35,7           | 34,1            | 32,4            | -18,3           | -22,1           | 27             | 26,5           | 12             | 200            | 196            | 0,75  |
| 255              | 26,6            | 89,8           | 35,5           | 33,6            | 31,9            | -11             | -23,5           | 27             | 25,9           | 12             | 200            | 192            | 0,71  |
| 270              | 26,6            | 83,3           | 34,9           | 33,4            | 31,4            | -4,1            | -24,4           | 27,4           | 25,5           | 10             | 200            | 190            | 0,77  |
| 285              | 26,5            | 88,1           | 34,4           | 32,9            | 31              | -1,3            | -25,2           | 27,5           | 26,2           | 10             | 190            | 186            | 0,76  |
| 300              | 26,4            | 87,5           | 34             | 32,6            | 30,6            | 0,1             | -25,8           | 27,5           | 24,8           | 10             | 190            | 186            | 0,68  |
| 315              | 26,3            | 86,9           | 33,7           | 32,3            | 30,3            | 0,7             | -26,3           | 27,8           | 25,2           | 8              | 190            | 182            | 0,68  |
| 330              | 26,4            | 86,5           | 33,4           | 32,2            | 30,1            | 0,9             | -26,5           | 29,5           | 24,3           | 8              | 185            | 180            | 0,65  |
| 345              | 26,6            | 86,5           | 34,1           | 32,6            | 30,5            | 1               | -26,5           | 28             | 24,7           | 8              | 190            | 180            | 0,72  |
| 360              | 26,7            | 86,9           | 34,1           | 32,6            | 30,5            | 1,6             | -26,7           | 27,9           | 24,7           | 8              | 190            | 180            | 0,72  |

Tabel A.3 Hasil pengujian 3 refrigerant LPG pada *baseline condenser*

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 25,9            | 93,9           | 37,4           | 35              | 34,2            | -22,5           | -13,2           | 21,7           | 28,3           | 12             | 200            | 192            | 0,65  |
| 195              | 26,7            | 93,1           | 37,2           | 35              | 34              | -20,9           | -17,4           | 25,1           | 28,2           | 8              | 190            | 184            | 0,72  |
| 210              | 26,7            | 90,7           | 35,3           | 33,7            | 32,1            | -16,8           | -22,8           | 27,4           | 26             | 6              | 185            | 182            | 0,72  |
| 225              | 26,7            | 90,1           | 35,1           | 33,6            | 31,9            | -8,2            | -23,9           | 27,5           | 25,8           | 6              | 175            | 178            | 0,7   |
| 240              | 26,5            | 88,9           | 34,6           | 33,1            | 31,3            | -2,9            | -24,8           | 27,2           | 25,2           | 6              | 180            | 172            | 0,7   |
| 255              | 26,5            | 88,6           | 34,6           | 32,8            | 30,8            | -1              | -25,4           | 27,2           | 25             | 6              | 180            | 174            | 0,7   |
| 270              | 26,5            | 88,3           | 34,4           | 32,8            | 30,6            | -0,9            | -25,5           | 27,3           | 24,9           | 6              | 180            | 174            | 0,69  |
| 285              | 26,4            | 88,1           | 34,2           | 32,8            | 30,8            | -0,3            | -25,7           | 27,6           | 24,9           | 4              | 180            | 170            | 0,68  |
| 300              | 26,4            | 88             | 34,2           | 32,8            | 30,8            | -0,1            | -25,7           | 27,6           | 24,8           | 4              | 175            | 168            | 0,67  |
| 315              | 26,3            | 87,6           | 33,9           | 32,6            | 30,5            | 0,4             | -26             | 27,5           | 24,7           | 4              | 170            | 166            | 0,67  |
| 330              | 26,2            | 86             | 33,6           | 32,3            | 30,3            | 0,6             | -26,3           | 27,5           | 24,6           | 4              | 170            | 168            | 0,67  |
| 345              | 26,3            | 86,2           | 33,5           | 32,1            | 30,3            | 0,8             | -26,4           | 27,4           | 24,6           | 4              | 170            | 168            | 0,67  |
| 360              | 26,4            | 85,8           | 33,6           | 32,3            | 30,3            | 0,9             | -26,3           | 27,7           | 24,7           | 4              | 170            | 168            | 0,67  |

Tabel A.4 Hasil rata-rata pengujian *refrigerant LPG* pada *baseline condenser*

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 22,7            | 89,3           | 34,8           | 32,3            | 31,6            | -3,8            | -26,7           | 14,3           | 29,8           | 8              | 186,6          | 191,3          | 0,6   |
| 195              | 24,2            | 91,3           | 35,7           | 33,3            | 32,5            | -7,9            | -24,9           | 17,1           | 28,8           | 9,3            | 191,6          | 188            | 0,6   |
| 210              | 26,5            | 92,4           | 36,6           | 34,4            | 33,2            | -17,8           | -19,7           | 25,1           | 29,2           | 8,6            | 208,3          | 201,3          | 0,6   |
| 225              | 26,7            | 91,9           | 36,3           | 34,4            | 33,1            | -20,1           | -16,1           | 26,2           | 27             | 7,3            | 195            | 190            | 0,6   |
| 240              | 26,6            | 90,8           | 35,6           | 33,9            | 32,3            | -21,7           | -13,5           | 26,6           | 26,3           | 10,6           | 208,3          | 202,6          | 0,7   |
| 255              | 26,6            | 90             | 35,5           | 33,6            | 31,8            | -23,1           | -10,3           | 26,9           | 25,8           | 10,6           | 200            | 161,3          | 0,7   |
| 270              | 26,6            | 87,2           | 35             | 33,4            | 31,3            | -24,3           | -6,6            | 27,4           | 25,4           | 8,6            | 198,3          | 191,3          | 0,7   |
| 285              | 26,5            | 88,7           | 34,5           | 33,1            | 31,2            | -24,9           | -3,2            | 27,5           | 25,6           | 10,6           | 196,6          | 186            | 0,7   |
| 300              | 26,4            | 88,1           | 34,2           | 32,8            | 30,8            | -24,5           | -0,6            | 27,5           | 24,9           | 8              | 195            | 190            | 0,6   |
| 315              | 26,3            | 87,4           | 33,9           | 32,5            | 30,5            | -26,1           | 0,1             | 27,6           | 24,9           | 7,3            | 188,3          | 183            | 0,6   |
| 330              | 26,3            | 86,9           | 33,7           | 32,4            | 30,4            | -26,1           | 0,4             | 28,1           | 24,6           | 7,3            | 185            | 180            | 0,6   |
| 345              | 26,5            | 86,6           | 33,8           | 32,4            | 30,3            | -26,2           | 0,5             | 27,5           | 24,6           | 10             | 185            | 178            | 0,7   |
| 360              | 26,4            | 86,4           | 33,8           | 32,4            | 30,4            | -26,3           | 1               | 27,7           | 24,7           | 9,3            | 186,6          | 180            | 0,7   |

**2. Hasil Pengujian Refrigerant R134A pada Baseline Condenser**

Tabel A.5 Hasil pengujian 1 refrigerant R134A pada baseline condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 32,9            | 61,1           | 35             | 26,5            | 31,6            | -24             | 1,7             | 25,7           | 25,7           | 2              | 130            | 130            | 0,56  |
| 195              | 33,9            | 41,9           | 30,3           | 31,1            | 19,1            | -23,1           | -4,5            | 25,6           | 22,1           | 2              | 140            | 130            | 0,56  |
| 210              | 34,4            | 41,8           | 30,7           | 31,3            | 17,5            | -14,9           | -23,7           | 24,6           | 22,1           | 2              | 130            | 128            | 0,56  |
| 225              | 34,7            | 40,5           | 30,2           | 31,5            | 16,5            | -9,2            | -24,5           | 24,6           | 22,2           | 0              | 130            | 128            | 0,56  |
| 240              | 34,2            | 39,7           | 30,1           | 31,6            | 16,6            | -7,2            | -24,6           | 24,6           | 22,3           | 0              | 135            | 128            | 0,57  |
| 255              | 34,1            | 38,9           | 29,9           | 31,7            | 16,5            | -5,8            | -23,4           | 24,5           | 22,2           | 0              | 130            | 128            | 0,56  |
| 270              | 34,1            | 43,2           | 30,9           | 30,8            | 16,7            | -4,7            | -23,9           | 24,4           | 22,1           | 0              | 140            | 126            | 0,56  |
| 285              | 33,6            | 54,8           | 35             | 26,1            | 18,5            | -3,6            | -18,1           | 26,1           | 22,2           | 0              | 145            | 136            | 0,56  |
| 300              | 33,6            | 54,9           | 35,1           | 26,2            | 18,1            | -2,9            | -11,4           | 26,2           | 21,9           | 2              | 140            | 140            | 0,56  |
| 315              | 33,7            | 54,8           | 35,1           | 26,4            | 18,6            | -1,7            | -8              | 26,2           | 22,3           | 2              | 140            | 138            | 0,56  |
| 330              | 33,2            | 54,2           | 34,4           | 26,4            | 18,4            | -0,8            | -6,5            | 25,9           | 22,4           | 2              | 140            | 138            | 0,55  |
| 345              | 32,8            | 54,4           | 34,2           | 26,4            | 17,9            | 0               | -6              | 25,8           | 22,4           | 2              | 140            | 134            | 0,56  |
| 360              | 34,1            | 55,1           | 34             | 27,7            | 17,2            | 0,5             | -5              | 25,8           | 21,7           | 2              | 140            | 132            | 0,55  |

Tabel A.6 Hasil pengujian 2 refrigerant R134A pada baseline condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 28              | 76,7           | 36,2           | 33,9            | 15,8            | -24,4           | 0,6             | 27,1           | 22,6           | 4              | 145            | 140            | 0,59  |
| 195              | 28,1            | 75,2           | 35,6           | 33,5            | 15,1            | -25,7           | 0,8             | 26,9           | 22,4           | 2              | 145            | 140            | 0,59  |
| 210              | 27,9            | 73,9           | 34,9           | 32,9            | 15,2            | -26,7           | 0,9             | 26,5           | 22,5           | 2              | 145            | 138            | 0,58  |
| 225              | 27,7            | 73,7           | 34,8           | 32,8            | 14,2            | -26,8           | 1,1             | 26,3           | 21,9           | 2              | 145            | 140            | 0,58  |
| 240              | 27,9            | 73,3           | 34,7           | 32,8            | 15,7            | -27,2           | 0,9             | 26,4           | 22,5           | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 255              | 27,9            | 73,2           | 34,6           | 32,7            | 15,1            | -27,3           | 0,4             | 26,3           | 22,3           | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 270              | 27,8            | 72,9           | 34,6           | 32,6            | 14,1            | -27,3           | 0,9             | 26,2           | 21,6           | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 285              | 27,9            | 73,1           | 34,9           | 32,8            | 15,2            | -27,1           | 0,3             | 26,4           | 22             | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 300              | 27,7            | 72,9           | 35             | 32,7            | 14,8            | -27,2           | 0               | 26,3           | 21,7           | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 315              | 27,7            | 73,1           | 34,7           | 32,7            | 14,4            | -27,3           | 0               | 26,2           | 21,4           | 2              | 140            | 136            | 0,57  |
| 330              | 27,6            | 73,3           | 34,8           | 32,6            | 13,9            | -27,3           | 0,1             | 26,2           | 21,3           | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 345              | 27,5            | 73,2           | 34,5           | 32,3            | 14,4            | -27,2           | 0,3             | 25,9           | 21,4           | 2              | 140            | 136            | 0,58  |
| 360              | 27,5            | 73,4           | 34,4           | 32,2            | 13,9            | -27,4           | 0,5             | 25,9           | 21,1           | 2              | 140            | 132            | 0,59  |

Tabel A.7 Hasil pengujian 3 refrigerant R134A pada *baseline condenser*

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 30,6            | 83,4           | 40,8           | 39              | 37,1            | -15,3           | -16,6           | 31,2           | 30,4           | 2              | 150            | 142            | 0,65  |
| 195              | 28,2            | 82,7           | 38,4           | 36,7            | 29,1            | -12,1           | -19,8           | 37             | 31,9           | 2              | 145            | 138            | 0,65  |
| 210              | 27,9            | 84,4           | 37,9           | 36,1            | 28,2            | -16,8           | -20,9           | 28,7           | 32,1           | 2              | 145            | 138            | 0,64  |
| 225              | 28              | 86,1           | 37,7           | 35,9            | 27,9            | -17,6           | -21,8           | 28,7           | 32,3           | 2              | 145            | 136            | 0,64  |
| 240              | 27,6            | 86,9           | 36,2           | 34,5            | 26,8            | -17,9           | -22,6           | 27,5           | 32,2           | 2              | 145            | 136            | 0,68  |
| 255              | 27,4            | 86,1           | 36,2           | 34,5            | 26,3            | -17,7           | -23,4           | 27,4           | 31,9           | 2              | 145            | 136            | 0,66  |
| 270              | 27,3            | 86,3           | 36,7           | 34,9            | 26,5            | -17,2           | -23,6           | 27,7           | 31,9           | 2              | 145            | 138            | 0,65  |
| 285              | 27,1            | 85,6           | 34,4           | 34,7            | 26,1            | -14,9           | -23,9           | 27,6           | 31,8           | 2              | 145            | 138            | 0,67  |
| 300              | 26,9            | 85,5           | 36,1           | 34,3            | 25,9            | -15,5           | -24,2           | 27,3           | 31,8           | 2              | 145            | 138            | 0,66  |
| 315              | 26,5            | 84,8           | 35,7           | 33,4            | 25              | -15             | -24,6           | 26,6           | 31,5           | 2              | 145            | 138            | 0,64  |
| 330              | 26,4            | 84,7           | 35,5           | 33,8            | 25,5            | -15,2           | -24,7           | 26,8           | 31,7           | 2              | 145            | 138            | 0,66  |
| 345              | 26,2            | 83,9           | 35,2           | 33,6            | 25,2            | -15,1           | -24,8           | 26,6           | 30,9           | 2              | 145            | 138            | 0,65  |
| 360              | 26,1            | 83,7           | 35,5           | 33,8            | 25,3            | -15             | -24,9           | 26,8           | 30,8           | 2              | 145            | 138            | 0,67  |

Tabel A.8 Hasil rata-rata pengujian refrigerant R134A pada *baseline condenser*

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                | Tekanan (Psi)  |                |                | I (A) |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                  | 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> | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |       |
| 180              | 30,5            | 73,7           | 37,3           | 33,1            | 28,1            | -4,76           | -21,2           | 28             | 26,2           | 2,6            | 141,6          | 137,3          | 0,6   |
| 195              | 30,1            | 66,5           | 34,7           | 33,7            | 21,1            | -7,83           | -20,3           | 29,6           | 25,4           | 2              | 143,3          | 136            | 0,6   |
| 210              | 30,1            | 66,6           | 34,4           | 33,4            | 20,3            | -14,6           | -19,4           | 26,5           | 25,5           | 2              | 140            | 134,6          | 0,6   |
| 225              | 30,1            | 66,7           | 34,2           | 33,4            | 19,5            | -15,1           | -17,8           | 26,5           | 25,4           | 1,3            | 140            | 134,6          | 0,6   |
| 240              | 29,9            | 66,6           | 33,6           | 32,9            | 19,6            | -15,4           | -17,4           | 26,1           | 25,6           | 1,3            | 140            | 133,3          | 0,6   |
| 255              | 29,8            | 66,1           | 33,6           | 32,9            | 19,3            | -15,4           | -16,9           | 26,1           | 25,4           | 1,3            | 138,3          | 133,3          | 0,6   |
| 270              | 29,7            | 67,4           | 34,1           | 32,7            | 19,1            | -15,5           | -16,3           | 26,1           | 25,2           | 1,3            | 141,6          | 133,3          | 0,6   |
| 285              | 29,5            | 71,1           | 34,7           | 31,2            | 19,9            | -13,9           | -15,2           | 26,6           | 25,3           | 2              | 143,3          | 136,6          | 0,6   |
| 300              | 29,4            | 71,1           | 35,4           | 31,1            | 19,6            | -11,8           | -15,2           | 26,6           | 25,1           | 2              | 141,6          | 138            | 0,6   |
| 315              | 29,2            | 70,9           | 35,1           | 30,8            | 19,3            | -10,8           | -14,6           | 26,3           | 25,1           | 2              | 141,6          | 137,3          | 0,6   |
| 330              | 29,1            | 70,7           | 34,9           | 30,9            | 19,2            | -10,3           | -14,4           | 26,3           | 25,1           | 2              | 141,6          | 136            | 0,6   |
| 345              | 28,8            | 70,5           | 34,6           | 30,7            | 19,1            | -10,1           | -14,1           | 26,1           | 24,9           | 2              | 141,6          | 134            | 0,6   |
| 360              | 29,2            | 70,7           | 34,6           | 31,2            | 18,8            | -9,8            | -14             | 26,1           | 24,5           | 2              | 143,3          | 135,3          | 0,6   |

**3. Hasil Pengujian Refrigerant LPG pada Separation Condenser**

Tabel A.9 Hasil pengujian 1 refrigerant LPG pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I (A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 30,6            | 83,5           | 46,1           | 42,3            | 32,1            | 42             | 29,3           | 41,1           | 28,8           | 31,4           | -2,8             | -14,5            | 26,7            | 32,1            | 2              | 85    | 82             | 0,4            |
| 195              | 32,1            | 82,6           | 45,9           | 41,9            | 33,2            | 41,7           | 30,1           | 40,9           | 28,7           | 31,4           | -5,2             | -14,9            | 27,1            | 31,4            | 2              | 90    | 84             | 0,5            |
| 210              | 33,9            | 83,7           | 45,8           | 42,4            | 36,8            | 41,7           | 41,3           | 38,5           | 28,8           | 39,6           | -6,4             | -15,4            | 28              | 32,6            | 2              | 95    | 86             | 0,4            |
| 225              | 34,3            | 87,7           | 46             | 41,8            | 38,6            | 45,5           | 46,6           | 45,2           | 28,8           | 33,8           | -7,8             | -13,7            | 28,7            | 33,7            | 2              | 100   | 92             | 0,5            |
| 240              | 35,2            | 86,4           | 47,5           | 42,4            | 39,8            | 45,7           | 46,2           | 44,2           | 28,8           | 32,8           | -8,7             | -12              | 29,1            | 35,6            | 2              | 100   | 92             | 0,5            |
| 255              | 35,4            | 87,9           | 47,3           | 41,7            | 40,6            | 43,2           | 43,4           | 40,5           | 29,1           | 31,3           | -9,1             | -11,3            | 29              | 36,4            | 2              | 95    | 90             | 0,5            |
| 270              | 37,3            | 86,9           | 47,6           | 41,1            | 41              | 36,8           | 34,2           | 33,4           | 29             | 29,9           | -9,5             | -10,6            | 28,9            | 36              | 2              | 100   | 92             | 0,4            |
| 285              | 38,4            | 87             | 44,6           | 40,9            | 43,4            | 29,5           | 29,1           | 28,8           | 28,7           | 29,6           | -10,8            | -9,5             | 26,8            | 36,1            | 2              | 95    | 82             | 0,4            |
| 300              | 38,6            | 90,4           | 46,4           | 40,7            | 44,5            | 50,8           | 51,5           | 49,9           | 29,2           | 31,6           | -11,5            | -8,3             | 27,6            | 34,5            | 2              | 110   | 106            | 0,4            |
| 315              | 39              | 89,3           | 46,3           | 40,6            | 44,4            | 39,1           | 36,6           | 34,9           | 28,8           | 30             | -12,6            | -7,7             | 27,2            | 34,2            | 2              | 105   | 98             | 0,4            |
| 330              | 39,4            | 89,7           | 42,3           | 40,4            | 44,6            | 31             | 29,4           | 29,3           | 28,7           | 29,8           | -12,9            | -6,5             | 26,9            | 30,5            | 2              | 105   | 98             | 0,5            |
| 345              | 39,6            | 88,9           | 41,7           | 40,1            | 44,3            | 36,5           | 36,6           | 35,5           | 29,6           | 30             | -13              | -5,9             | 27,1            | 34,2            | 2              | 110   | 104            | 0,5            |
| 360              | 40,3            | 84,1           | 46             | 39,8            | 43,6            | 38,5           | 31,3           | 37,3           | 30,3           | 29,8           | -15,8            | -4,8             | 28,3            | 35,1            | 2              | 120   | 108            | 0,4            |

Tabel A.10 Hasil pengujian 2 refrigerant LPG pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I (A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 28,3            | 82,1           | 31,6           | 30,8            | 31,1            | 61,8           | 37,3           | 64,3           | 32,4           | 31,1           | -5,9             | -14,5            | 25,2            | 30,9            | 2              | 130   | 122            | 0,5            |
| 195              | 29,6            | 80,1           | 31,2           | 30,4            | 30,9            | 59,2           | 35,1           | 57,6           | 31,6           | 34,8           | -6,4             | -14,9            | 24,9            | 30,8            | 2              | 130   | 122            | 5              |
| 210              | 30,2            | 76,9           | 31             | 30,1            | 31              | 32,7           | 31,7           | 31,8           | 30,5           | 31,6           | -9,5             | -15,4            | 25,4            | 30,1            | 2              | 120   | 110            | 0,4            |
| 225              | 31              | 76             | 30,9           | 34,2            | 31,2            | 31,5           | 30,8           | 30,9           | 30,3           | 31,3           | -10,8            | -13,7            | 24,9            | 29,8            | 2              | 120   | 110            | 0,4            |
| 240              | 31,7            | 74,9           | 30,8           | 29,1            | 30,8            | 45,8           | 37,2           | 36,3           | 30,3           | 31,9           | -11,9            | -11,3            | 25              | 30              | 2              | 130   | 120            | 0,5            |
| 255              | 32,4            | 72,8           | 31             | 29              | 30,3            | 61,7           | 63             | 60,3           | 30,5           | 32,8           | -12,4            | -10,6            | 25,1            | 30,1            | 2              | 130   | 124            | 0,5            |
| 270              | 34,4            | 70             | 34,1           | 29,2            | 31,1            | 38,8           | 35,5           | 34,5           | 30,2           | 32,3           | -13,7            | -10,1            | 24,8            | 30,3            | 2              | 130   | 124            | 0,4            |
| 285              | 35,8            | 71,5           | 32,9           | 29,6            | 31,4            | 59,5           | 58,7           | 53,2           | 37,7           | 32,8           | -14,8            | -9,5             | 23,6            | 30,4            | 2              | 140   | 134            | 0,4            |
| 300              | 36,1            | 76,6           | 34,5           | 30,5            | 31,8            | 59,5           | 62,3           | 58,8           | 31,3           | 32,6           | -15,7            | -8,3             | 24,2            | 30              | 4              | 145   | 134            | 0,5            |
| 315              | 36,8            | 79             | 31,3           | 31,4            | 32,2            | 64,7           | 61,7           | 58,5           | 31,3           | 33,4           | -17,8            | -7,2             | 23,9            | 30,2            | 2              | 150   | 138            | 0,4            |
| 330              | 37,1            | 80,5           | 32,9           | 32,2            | 30,4            | 44,8           | 35,7           | 34,8           | 30,5           | 31,6           | -18,7            | -5,9             | 24,7            | 31,1            | 2              | 145   | 138            | 0,4            |
| 345              | 37,4            | 83,1           | 34,7           | 32,5            | 32,4            | 65,1           | 64,6           | 61,1           | 31,5           | 32,2           | -19,6            | -4,8             | 24,4            | 30,3            | 2              | 150   | 138            | 0,5            |
| 360              | 36,9            | 86,5           | 35,3           | 32,8            | 32,3            | 31,8           | 32,2           | 31,7           | 30,2           | 31,7           | -20,9            | -3,8             | 24,8            | 30,7            | 2              | 145   | 128            | 0,4            |



Tabel A.11 Hasil pengujian 3 refrigerant LPG pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I(A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |      | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 29,5            | 64,7           | 38,6           | 35,7            | 35,1            | 60,8           | 59,4           | 56,6           | 30,5           | 30,9           | -5,6             | -14,7            | 30              | 29,5            | 2              | 145  | 128            | 0,4            |
| 195              | 29,8            | 65,1           | 39,1           | 36,3            | 35,6            | 37,7           | 34,3           | 33,4           | 30             | 31,1           | -6,6             | -13,5            | 30,3            | 30,1            | 2              | 145  | 132            | 0,4            |
| 210              | 30,1            | 66,6           | 39,4           | 36,4            | 36,3            | 30,1           | 30,8           | 30,6           | 29,7           | 31,3           | -7,5             | -12,8            | 30,9            | 30,7            | 2              | 145  | 132            | 0,4            |
| 225              | 30,3            | 67,8           | 39,9           | 36,9            | 36,4            | 65,3           | 65,2           | 64,3           | 31,8           | 39,4           | -8,7             | -11,6            | 31,3            | 31,1            | 4              | 160  | 142            | 0,4            |
| 240              | 30,4            | 67,4           | 40             | 37,1            | 36,3            | 61,4           | 56,9           | 53,8           | 31             | 33             | -9,7             | -10,4            | 32,3            | 31,4            | 2              | 155  | 150            | 0,4            |
| 255              | 30,6            | 67,5           | 40,2           | 37,7            | 36,7            | 50,4           | 51             | 41,5           | 30,6           | 32,7           | -10,6            | -9,2             | 31,6            | 31,9            | 2              | 150  | 142            | 0,4            |
| 270              | 30,9            | 71,5           | 39,9           | 37,9            | 37,3            | 70,6           | 32,2           | 63,2           | 31,3           | 34,9           | -11,1            | -8,8             | 31,9            | 32              | 2              | 170  | 160            | 0,4            |
| 285              | 31              | 74,1           | 40,3           | 38,3            | 37,5            | 60,9           | 59,9           | 53,9           | 30,8           | 32,9           | -11,8            | -7,7             | 32              | 32,2            | 2              | 165  | 160            | 0,4            |
| 300              | 30,9            | 79             | 40,8           | 38,5            | 37,6            | 54,9           | 46,2           | 43,2           | 31,1           | 32,9           | -12              | -6,8             | 32,1            | 32,4            | 2,6            | 165  | 152            | 0,4            |
| 315              | 31,1            | 81             | 40,9           | 38,6            | 37,8            | 48,5           | 31,2           | 49,2           | 30,6           | 32,9           | -13,3            | -5,9             | 32,7            | 32,3            | 2              | 155  | 148            | 0,4            |
| 330              | 31,4            | 80,8           | 41             | 38,5            | 37,9            | 63,7           | 64,6           | 60,8           | 31,8           | 38,1           | -14,4            | -5,1             | 32,9            | 31,9            | 4              | 160  | 154            | 0,5            |
| 345              | 32,5            | 81             | 41,4           | 38,7            | 38,5            | 35,7           | 34,9           | 33,9           | 30,7           | 31,9           | -15,4            | -4,7             | 33              | 32,3            | 2              | 155  | 148            | 0,4            |
| 360              | 33,4            | 79,6           | 41,6           | 39,3            | 38,8            | 39,4           | 35,5           | 34,5           | 30,5           | 32,4           | -14,9            | -4,4             | 33,4            | 32,7            | 2              | 160  | 150            | 0,4            |

Tabel A.12 Hasil rata-rata pengujian refrigerant LPG pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I(A)  |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 29,4            | 76,7           | 38,7           | 36,2            | 32,7            | 54,8           | 42             | 54             | 30,5           | 31,1           | -4,7             | -14,5            | 27,3            | 30,8            | 2              | 120   | 110,6          | 0,4            |
| 195              | 30,5            | 75,9           | 38,7           | 36,2            | 33,2            | 46,2           | 33,1           | 43,9           | 30,1           | 32,4           | -6,1             | -14,4            | 27,4            | 30,7            | 2              | 121,6 | 108,6          | 0,5            |
| 210              | 31,4            | 75,7           | 38,7           | 36,3            | 34,7            | 34,8           | 34,6           | 33,6           | 29,6           | 34,1           | -7,8             | -14,5            | 28,1            | 31,1            | 2              | 120   | 109,3          | 0,4            |
| 225              | 31,8            | 77,1           | 38,9           | 37,6            | 35,3            | 47,4           | 47,5           | 46,8           | 30,3           | 34,8           | -9,1             | -13              | 28,3            | 31,5            | 2,6            | 126,6 | 118            | 0,4            |
| 240              | 32,4            | 76,2           | 39,4           | 36,2            | 35,7            | 50,9           | 46,7           | 44,7           | 30,1           | 32,5           | -10,1            | -11,2            | 28,8            | 32,5            | 2              | 128,3 | 122            | 0,5            |
| 255              | 32,8            | 76,1           | 39,5           | 36,1            | 36,1            | 51,7           | 52,4           | 47,4           | 30,1           | 32,2           | -10,7            | -10,3            | 28,5            | 32,8            | 2              | 125   | 118,6          | 0,5            |
| 270              | 34,2            | 76,1           | 40,5           | 36,1            | 36,5            | 48,7           | 33,9           | 43,7           | 30,1           | 32,3           | -11,4            | -9,8             | 28,5            | 32,7            | 2              | 136,6 | 128,6          | 0,4            |
| 285              | 31,5            | 77,5           | 39,2           | 36,2            | 37,4            | 49,9           | 49,2           | 45,3           | 32,4           | 31,7           | -12,4            | -8,9             | 27,4            | 32,9            | 2              | 135   | 122            | 0,4            |
| 300              | 35,2            | 85             | 40,5           | 36,5            | 38,1            | 55,1           | 53,3           | 50,6           | 30,5           | 32,3           | -13,1            | -7,8             | 27,9            | 32,3            | 2,6            | 141,6 | 132            | 0,4            |
| 315              | 35,6            | 83,1           | 39,5           | 36,8            | 38,2            | 50,7           | 43,1           | 47,5           | 30,2           | 32,1           | -14,5            | -6,9             | 27,9            | 32,2            | 2              | 135   | 128            | 0,4            |
| 330              | 35,9            | 83,6           | 38,7           | 37,1            | 37,8            | 46,5           | 43,2           | 41,6           | 30,3           | 33,1           | -15,3            | -5,8             | 28,1            | 31,1            | 2,6            | 138,3 | 130            | 0,5            |
| 345              | 36,5            | 84,3           | 39,2           | 37,1            | 38,5            | 45,7           | 45,3           | 43,5           | 30,6           | 31,3           | -16              | -5,1             | 28,1            | 32,2            | 2              | 136,6 | 126,6          | 0,5            |
| 360              | 36,8            | 83,4           | 40,9           | 37,3            | 38,2            | 36,5           | 33             | 34,5           | 30,3           | 31,3           | -17,2            | -4,3             | 28,8            | 32,8            | 2              | 141,6 | 128,6          | 0,4            |

**4. Hasil Pengujian Refrigerant R134A pada Separation Condenser**

Tabel A.13 Hasil pengujian 1 refrigerant R134A pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I (A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 30,2            | 66,1           | 29,9           | 28,8            | 29,9            | 12,1           | 11,4           | 12,5           | 28,1           | 27,5           | -1,5             | -2,3             | 26,1            | 25,1            | 2              | 115   | 100            | 0,69           |
| 195              | 33,6            | 72             | 30,1           | 29,5            | 29,4            | 11,1           | 10             | 10,5           | 30,6           | 17,7           | -2,9             | -4,6             | 25,8            | 25,4            | 2              | 110   | 98             | 0,65           |
| 210              | 33,7            | 72,1           | 29,1           | 29,5            | 29,7            | 12,5           | 10,6           | 12,8           | 31,8           | 18,5           | -3,5             | -5,5             | 13,4            | 25,9            | 4              | 120   | 94             | 0,64           |
| 225              | 33,9            | 74,2           | 29             | 29,4            | 29,5            | 21,2           | 21,6           | 23,8           | 33,2           | 26,7           | -4,1             | -6,8             | 11,2            | 26,2            | 2              | 130   | 96             | 0,5            |
| 240              | 34,1            | 74,9           | 28,9           | 29,5            | 29,6            | 22,8           | 24,3           | 26,2           | 32,4           | 26,7           | -4,6             | -7,8             | 4,5             | 26,3            | 2              | 115   | 100            | 0,5            |
| 255              | 30,2            | 77             | 29             | 29,7            | 29,9            | 18             | 19,6           | 21,9           | 30,9           | 28,2           | -5               | -8,4             | 0,6             | 26,4            | 4              | 120   | 102            | 0,5            |
| 270              | 28,7            | 78,2           | 30,3           | 30              | 30              | 27,9           | 28,9           | 29,5           | 32,6           | 29             | -6,3             | -9,7             | 0,9             | 26,7            | 2              | 120   | 108            | 0,48           |
| 285              | 28              | 79,2           | 30,4           | 30,1            | 29,8            | 22,1           | 26,9           | 42,2           | 32,3           | 26,2           | -7,4             | -10,4            | -0,7            | 26,9            | 2              | 115   | 110            | 0,48           |
| 300              | 27,6            | 78,3           | 30,1           | 30,5            | 29,4            | 28,8           | 30             | 30,5           | 32,2           | 28             | -7,6             | -10,7            | 0,1             | 27,4            | 2              | 110   | 106            | 0,48           |
| 315              | 27,4            | 80,2           | 30             | 30,8            | 29,2            | 27,3           | 29,2           | 29,6           | 32,4           | 27,4           | -8,1             | -9,9             | -0,3            | 27,9            | 2              | 115   | 100            | 0,49           |
| 330              | 27,4            | 81,3           | 29,9           | 31,4            | 29,3            | 25,2           | 29,6           | 30,5           | 32,9           | 25,5           | -8,8             | -10,8            | -1,5            | 26,9            | 2              | 115   | 98             | 0,48           |
| 345              | 27,1            | 80,3           | 28,9           | 31,8            | 29              | 32,1           | 30,5           | 31             | 33,1           | 30             | -9,7             | -9,9             | -1,2            | 26,7            | 2              | 120   | 104            | 0,48           |
| 360              | 26,9            | 79,4           | 29,6           | 32              | 29,5            | 23             | 28             | 17,4           | 30,7           | 15             | -10,7            | -10,3            | -0,1            | 27,7            | 2              | 130   | 110            | 0,8            |

Tabel A.14 Hasil pengujian 2 refrigerant R134A pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I (A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 20,1            | 79             | 36,6           | 35,1            | 34,6            | 42             | 3,2            | 10,7           | 32,8           | 16,4           | -1,7             | -4,4             | 4,9             | 30,3            | 2              | 135   | 124            | 0,79           |
| 195              | 20,8            | 79,2           | 36,8           | 34,7            | 34,5            | 43             | 5,2            | 16,7           | 31             | 16,5           | -1,9             | -5,1             | 5,6             | 30,1            | 4              | 145   | 126            | 0,78           |
| 210              | 21,8            | 79             | 35,7           | 34,5            | 34              | 36,3           | 12,4           | 22,6           | 33,6           | 28,3           | -2,2             | -5,7             | 8,4             | 30              | 2              | 140   | 108            | 0,54           |
| 225              | 22,5            | 79,3           | 35,5           | 33,8            | 33,8            | 32,9           | 31,4           | 39,7           | 31,6           | 31,8           | -3               | -6,6             | 7,1             | 29,8            | 2              | 130   | 112            | 0,47           |
| 240              | 23,6            | 79             | 35,6           | 33,7            | 33,4            | 29,2           | 28,2           | 29,5           | 33,6           | 30,9           | -3,3             | -7,8             | 5,9             | 29,7            | 2              | 140   | 124            | 0,47           |
| 255              | 23,9            | 78,6           | 35             | 33,4            | 33,3            | 14,5           | 13,3           | 16             | 33,4           | 27,7           | -3,9             | -8,5             | 8,5             | 29,4            | 2              | 135   | 124            | 0,48           |
| 270              | 24,4            | 78,7           | 34,8           | 33,1            | 33,4            | 24,5           | 27,4           | 28,6           | 33,6           | 26,3           | -4,2             | -8,8             | 7,1             | 29,2            | 6              | 145   | 126            | 0,48           |
| 285              | 25,2            | 78,7           | 34,9           | 32,9            | 33,2            | 32             | 24,5           | 15,3           | 32,6           | 27,4           | -5,2             | -9,6             | 6               | 29,1            | 2              | 150   | 130            | 0,5            |
| 300              | 25,4            | 78,6           | 35             | 32,8            | 33,5            | 23             | 26,8           | 15,1           | 33,8           | 30,1           | -5,9             | -10,4            | 6,4             | 29              | 4              | 155   | 136            | 0,79           |
| 315              | 25,6            | 78,2           | 35,3           | 32,9            | 33,6            | 32,1           | 31,3           | 31,6           | 31,8           | 31,8           | -6,6             | -11,3            | 10              | 29,2            | 10             | 155   | 130            | 0,5            |
| 330              | 25,7            | 78,4           | 35,5           | 33              | 33,9            | 11,5           | 15,7           | 8,9            | 32,1           | 28,9           | -6,9             | -11,9            | 13,3            | 29,6            | 8              | 150   | 132            | 0,82           |
| 345              | 24,6            | 77,7           | 35,7           | 33,1            | 33,1            | 29,9           | 28,2           | 29,3           | 33,7           | 29             | -7,9             | -12              | 14,5            | 29,3            | 2              | 160   | 140            | 0,48           |
| 360              | 24,3            | 77             | 35,6           | 33,7            | 32,7            | 32,6           | 31,3           | 31,7           | 33,2           | 33,2           | -8,4             | -12,5            | 16,5            | 29,8            | 2              | 155   | 134            | 0,49           |

Tabel A.15 Hasil pengujian 3 refrigerant R134A pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I (A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 26,6            | 63,5           | 33,3           | 31,3            | 31              | 66,4           | 64,7           | 64,9           | 29,6           | 38,3           | -4,6             | -5,5             | 26,6            | 25,9            | 2              | 145   | 134            | 0,9            |
| 195              | 26,9            | 63,7           | 33,4           | 31,3            | 31,4            | 69,6           | 72,4           | 70,2           | 30,6           | 41,5           | -4,9             | -6,4             | 26,8            | 26              | 2              | 150   | 128            | 0,9            |
| 210              | 27,1            | 65,2           | 33,6           | 31,4            | 31,6            | 65,8           | 69             | 66             | 31,2           | 43,3           | -5,2             | -5,6             | 27              | 26              | 2              | 150   | 136            | 0,83           |
| 225              | 27              | 67,1           | 33,5           | 31,5            | 31,9            | 57             | 54,6           | 56,3           | 31,9           | 37,5           | -5,3             | -6,1             | 26,9            | 26,1            | 4              | 170   | 138            | 0,7            |
| 240              | 27,1            | 67,7           | 33,8           | 31,8            | 32              | 70,9           | 67,9           | 55,5           | 33,4           | 40,4           | -2,1             | -4,3             | 27              | 26,2            | 2              | 170   | 146            | 0,5            |
| 255              | 27,2            | 67,9           | 33,9           | 31,9            | 31,9            | 33             | 33,6           | 31,4           | 31,9           | 35             | -1,5             | -3,8             | 27,2            | 26,1            | 2              | 160   | 144            | 0,5            |
| 270              | 27,3            | 68,2           | 34,1           | 31,6            | 31,4            | 32,7           | 33,8           | 33,3           | 32,1           | 36             | -1,7             | -3,3             | 27,8            | 26              | 2              | 155   | 150            | 0,51           |
| 285              | 27              | 68,9           | 34,3           | 32              | 30,8            | 70             | 73,5           | 72,4           | 24,9           | 35,7           | -2               | -2,6             | 27,4            | 25,9            | 2              | 145   | 162            | 0,52           |
| 300              | 26,9            | 69,4           | 34,9           | 32,1            | 30,5            | 31,8           | 31,8           | 31,6           | 31             | 33,4           | -2,6             | -2,3             | 27,5            | 26,1            | 2              | 160   | 154            | 0,51           |
| 315              | 26,8            | 72,1           | 35,1           | 32,4            | 30,3            | 31,1           | 31,2           | 31,2           | 30,8           | 32,8           | -3,7             | -1,9             | 28,2            | 26,2            | 2              | 160   | 152            | 0,51           |
| 330              | 26,9            | 74,6           | 34,9           | 32,5            | 30,1            | 30,7           | 30,8           | 30,6           | 30,7           | 31,9           | -4,3             | -1,5             | 28,3            | 25,9            | 2              | 165   | 152            | 0,51           |
| 345              | 27              | 75,9           | 35             | 32,9            | 29,8            | 65,1           | 67,7           | 65,5           | 30,3           | 32,4           | -5,5             | -1,2             | 28,7            | 25,6            | 2              | 155   | 150            | 0,89           |
| 360              | 27,1            | 77,2           | 35,4           | 33,6            | 29,5            | 63,5           | 67,2           | 64             | 31,1           | 38             | -6,4             | -2,6             | 28,6            | 25,5            | 2              | 165   | 146            | 0,83           |

Tabel A.16 Hasil rata-rata pengujian refrigerant R134A pada separation condenser

| Waktu<br>(Menit) | Temperatur (°C) |                |                |                 |                 |                |                |                |                |                |                  |                  | Tekanan (Psi)   |                 |                | I (A) |                |                |
|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|                  | T <sub>1</sub>  | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | T <sub>4a</sub> | T <sub>4b</sub> | T <sub>5</sub> | T <sub>6</sub> | T <sub>7</sub> | T <sub>8</sub> | T <sub>9</sub> | T <sub>10a</sub> | T <sub>10b</sub> | T <sub>11</sub> | T <sub>12</sub> | P <sub>1</sub> |       | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
| 180              | 25,6            | 69,5           | 33,2           | 31,7            | 31,8            | 40,1           | 26,4           | 29,3           | 29,5           | 27,4           | -2,6             | -4,1             | 19,2            | 27,1            | 2              | 131,6 | 111,9          | 0,7            |
| 195              | 27,1            | 71,6           | 33,4           | 31,8            | 31,7            | 41,2           | 29,2           | 32,4           | 31,6           | 25,2           | -3,2             | -5,3             | 19,4            | 27,1            | 2,6            | 135   | 111,3          | 0,7            |
| 210              | 27,5            | 72,1           | 32,8           | 31,8            | 31,7            | 38,2           | 30,6           | 33,8           | 31,5           | 30,1           | -3,6             | -5,6             | 16,2            | 27,3            | 2,6            | 136,6 | 114            | 0,6            |
| 225              | 27,8            | 73,5           | 32,6           | 31,5            | 31,7            | 37,1           | 35,8           | 39,9           | 32,9           | 32             | -4,1             | -6,5             | 15,1            | 27,3            | 2,6            | 143,3 | 119,3          | 0,5            |
| 240              | 28,2            | 73,8           | 32,7           | 31,6            | 31,6            | 40,9           | 40,1           | 37,1           | 33,1           | 32,6           | -3,3             | -6,6             | 12,4            | 27,4            | 2              | 141,6 | 123,3          | 0,5            |
| 255              | 27,1            | 74,5           | 32,6           | 31,6            | 31,7            | 21,8           | 22,1           | 23,1           | 32,1           | 30,3           | -3,4             | -6,9             | 12,1            | 27,3            | 2,6            | 138,3 | 124            | 0,5            |
| 270              | 26,8            | 75,1           | 33,1           | 31,5            | 31,6            | 28,3           | 30,1           | 30,4           | 32,4           | 30,4           | -4,1             | -7,2             | 11,9            | 27,3            | 3,3            | 140   | 129,3          | 0,5            |
| 285              | 26,7            | 75,6           | 33,2           | 31,6            | 31,2            | 41,3           | 41,6           | 43,3           | 30,3           | 29,7           | -4,8             | -7,5             | 10,9            | 27,3            | 2              | 136,6 | 136            | 0,5            |
| 300              | 26,6            | 75,4           | 33,3           | 31,8            | 31,1            | 27,8           | 29,5           | 25,7           | 31,6           | 30,5           | -5,3             | -7,8             | 11,3            | 27,5            | 2,6            | 141,6 | 130            | 0,6            |
| 315              | 26,6            | 76,8           | 33,4           | 32,1            | 31,1            | 30,1           | 30,5           | 30,8           | 31,7           | 30,6           | -6,1             | -7,7             | 12,6            | 27,7            | 4,6            | 143,3 | 128            | 0,5            |
| 330              | 26,6            | 78,1           | 33,4           | 32,3            | 31,1            | 22,4           | 25,3           | 23,3           | 32,4           | 28,7           | -6,6             | -8,1             | 13,3            | 27,4            | 4              | 143,3 | 130            | 0,6            |
| 345              | 26,2            | 77,9           | 33,2           | 32,6            | 30,6            | 42,3           | 42,1           | 41,9           | 32,2           | 30,4           | -7,7             | -7,7             | 14              | 27,2            | 2              | 145   | 129,3          | 0,6            |
| 360              | 26,1            | 77,8           | 33,5           | 33,533,1        | 30,5            | 39,7           | 42,1           | 37,7           | 30,9           | 28,7           | -8,5             | -8,4             | 15              | 27,6            | 2              | 150   | 130            | 0,7            |

**LAMPIRAN B. Data Entalpi****1. Entalpi Refrigerant LPG Pada Baseline Condenser**

Tabel B.1 Entalpi butana pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 622,68          | 703,4  | 277,1  | 277,1  |
| 195              | 624,85          | 706,42 | 279,54 | 279,54 |
| 210              | 629,05          | 703,86 | 282,23 | 282,23 |
| 225              | 629,8           | 706,96 | 282,23 | 282,23 |
| 240              | 699,79          | 699,79 | 281,01 | 281,01 |
| 255              | 628,6           | 700,81 | 280,2  | 280,2  |
| 270              | 629,23          | 694,29 | 279,59 | 279,59 |
| 285              | 628,42          | 698,06 | 279,06 | 279,06 |
| 300              | 629,06          | 697,06 | 278,32 | 278,32 |
| 315              | 629,1           | 695,82 | 277,59 | 277,59 |
| 330              | 629,11          | 697,08 | 277,35 | 277,35 |
| 345              | 628,65          | 697,32 | 277,35 | 277,35 |
| 360              | 628,65          | 696,34 | 277,35 | 277,35 |

Tabel B.2 Entalpi propana pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 630,7           | 723,79 | 283,51 | 283,51 |
| 195              | 633,2           | 727,2  | 286,26 | 286,26 |
| 210              | 637,1           | 726,97 | 289,3  | 289,3  |
| 225              | 637,4           | 728,05 | 289,3  | 289,3  |
| 240              | 637,2           | 723,4  | 287,92 | 287,92 |
| 255              | 637,2           | 723,12 | 287,09 | 287,09 |
| 270              | 673,23          | 717,18 | 286,54 | 286,54 |
| 285              | 637,05          | 719,67 | 285,71 | 285,71 |
| 300              | 636,89          | 719,38 | 284,89 | 284,89 |
| 315              | 636,73          | 718,79 | 284,06 | 284,06 |
| 330              | 636,73          | 718,79 | 283,79 | 283,79 |
| 345              | 637,06          | 718,13 | 283,79 | 283,79 |
| 360              | 636,89          | 717,44 | 283,79 | 283,79 |

Tabel B.3 Entalpi rata-rata pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |         |         |         |
|------------------|-----------------|---------|---------|---------|
|                  | $h_1$           | $h_2$   | $h_3$   | $h_4$   |
| 180              | 626,69          | 713,595 | 280,305 | 280,305 |
| 195              | 629,025         | 716,81  | 282,9   | 282,9   |
| 210              | 633,075         | 715,415 | 285,765 | 285,765 |
| 225              | 633,6           | 717,505 | 285,765 | 285,765 |
| 240              | 668,495         | 711,595 | 284,465 | 284,465 |
| 255              | 632,9           | 711,965 | 283,645 | 283,645 |
| 270              | 651,23          | 705,735 | 283,065 | 283,065 |
| 285              | 632,735         | 708,865 | 282,385 | 282,385 |
| 300              | 632,975         | 708,22  | 281,605 | 281,605 |
| 315              | 632,915         | 707,305 | 280,825 | 280,825 |
| 330              | 632,92          | 707,935 | 280,57  | 280,57  |
| 345              | 632,855         | 707,725 | 280,57  | 280,57  |
| 360              | 632,77          | 706,89  | 280,57  | 280,57  |

Tabel B.4 Entalpi butana pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 622,68          | 703,4  | 275,4  | 275,4  |
| 195              | 624,85          | 706,42 | 277,59 | 277,59 |
| 210              | 629,05          | 703,86 | 279,3  | 279,3  |
| 225              | 629,8           | 706,96 | 279,06 | 279,06 |
| 240              | 699,79          | 699,79 | 277,1  | 277,1  |
| 255              | 628,6           | 700,81 | 275,89 | 275,89 |
| 270              | 629,23          | 694,29 | 274,67 | 274,67 |
| 285              | 628,42          | 698,06 | 274,43 | 274,43 |
| 300              | 629,06          | 697,06 | 273,45 | 273,45 |
| 315              | 629,1           | 695,82 | 272,72 | 272,72 |
| 330              | 629,11          | 697,08 | 272,48 | 272,48 |
| 345              | 628,65          | 697,32 | 272,24 | 272,24 |
| 360              | 628,65          | 696,34 | 272,48 | 272,48 |



Tabel B.5 Entalpi propana pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 630,7           | 723,79 | 281,6  | 281,6  |
| 195              | 633,2           | 727,2  | 284,06 | 284,06 |
| 210              | 637,1           | 726,97 | 285,99 | 285,99 |
| 225              | 637,4           | 728,05 | 285,71 | 285,71 |
| 240              | 637,2           | 723,4  | 283,51 | 283,51 |
| 255              | 637,2           | 723,12 | 282,14 | 282,14 |
| 270              | 673,23          | 717,18 | 280,78 | 280,78 |
| 285              | 637,05          | 719,67 | 280,5  | 280,5  |
| 300              | 636,89          | 719,38 | 279,41 | 279,41 |
| 315              | 636,73          | 718,79 | 278,59 | 278,59 |
| 330              | 636,73          | 718,79 | 278,32 | 278,32 |
| 345              | 637,06          | 718,13 | 278,05 | 278,05 |
| 360              | 636,89          | 717,44 | 278,32 | 278,32 |

Tabel B.6 Entalpi rata-rata pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |         |         |         |
|------------------|-----------------|---------|---------|---------|
|                  | $h_1$           | $h_2$   | $h_3$   | $h_4$   |
| 180              | 626,69          | 713,595 | 278,5   | 278,5   |
| 195              | 629,025         | 716,81  | 280,825 | 280,825 |
| 210              | 633,075         | 715,415 | 282,645 | 282,645 |
| 225              | 633,6           | 717,505 | 282,385 | 282,385 |
| 240              | 668,495         | 711,595 | 280,305 | 280,305 |
| 255              | 632,9           | 711,965 | 279,015 | 279,015 |
| 270              | 651,23          | 705,735 | 277,725 | 277,725 |
| 285              | 632,735         | 708,865 | 277,465 | 277,465 |
| 300              | 632,975         | 708,22  | 276,43  | 276,43  |
| 315              | 632,915         | 707,305 | 275,655 | 275,655 |
| 330              | 632,92          | 707,935 | 275,4   | 275,4   |
| 345              | 632,855         | 707,725 | 275,145 | 275,145 |
| 360              | 632,77          | 706,89  | 275,4   | 275,4   |



## 2. Entalpi Refrigerant R134A Pada Baseline Condenser

Tabel B.7 Entalpi pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 430,76          | 456,71 | 245,97 | 245,97 |
| 195              | 430,49          | 448,69 | 246,84 | 246,84 |
| 210              | 430,49          | 449,18 | 247,87 | 247,87 |
| 225              | 430,58          | 449,29 | 247,87 | 247,87 |
| 240              | 430,41          | 449,18 | 245,67 | 245,67 |
| 255              | 430,32          | 448,84 | 245,67 | 245,67 |
| 270              | 430,24          | 449,87 | 245,38 | 245,38 |
| 285              | 429,97          | 453,7  | 243,2  | 243,2  |
| 300              | 429,88          | 453,89 | 243,06 | 243,06 |
| 315              | 429,71          | 453,67 | 242,62 | 242,62 |
| 330              | 429,62          | 453,45 | 242,77 | 242,77 |
| 345              | 429,37          | 453,24 | 242,48 | 242,48 |
| 360              | 429,71          | 453,26 | 243,2  | 243,2  |

Tabel B.8 Entalpi pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 430,76          | 456,71 | 238,73 | 238,73 |
| 195              | 430,49          | 448,69 | 228,78 | 228,78 |
| 210              | 430,49          | 449,18 | 227,66 | 227,66 |
| 225              | 430,58          | 449,29 | 226,53 | 226,53 |
| 240              | 430,41          | 449,18 | 226,67 | 226,67 |
| 255              | 430,32          | 448,84 | 226,25 | 226,25 |
| 270              | 430,24          | 449,87 | 225,97 | 225,97 |
| 285              | 429,97          | 453,7  | 227,09 | 227,09 |
| 300              | 429,88          | 453,89 | 226,67 | 226,67 |
| 315              | 429,71          | 453,67 | 226,25 | 226,25 |
| 330              | 429,62          | 453,45 | 226,11 | 226,11 |
| 345              | 429,37          | 453,24 | 225,97 | 225,97 |
| 360              | 429,71          | 453,26 | 225,56 | 225,56 |

### 3. Entalpi Refrigerant LPG Pada Separation Condenser

Tabel B.9 Entalpi butana pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 641,58          | 708,2  | 294,29 | 294,29 |
| 195              | 643,45          | 706,27 | 294,29 | 294,29 |
| 210              | 644,98          | 706,14 | 294,57 | 294,57 |
| 225              | 645,54          | 707,9  | 298,21 | 298,21 |
| 240              | 646,69          | 705,73 | 294,29 | 294,29 |
| 255              | 647,38          | 706,1  | 294,02 | 294,02 |
| 270              | 649,78          | 704,07 | 294,02 | 294,02 |
| 285              | 645,15          | 707,27 | 294,29 | 294,29 |
| 300              | 651,39          | 721,88 | 295,13 | 295,13 |
| 315              | 652,2           | 718,99 | 295,97 | 295,97 |
| 330              | 652,61          | 719,48 | 296,81 | 296,81 |
| 345              | 653,75          | 721,24 | 296,81 | 296,81 |
| 360              | 654,27          | 718,51 | 297,37 | 297,37 |

Tabel B.10 Entalpi propana pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 636,08          | 694,28 | 286,64 | 286,64 |
| 195              | 637,98          | 692,08 | 286,64 | 286,64 |
| 210              | 639,54          | 692,1  | 286,89 | 286,89 |
| 225              | 640,07          | 693,28 | 290,08 | 290,08 |
| 240              | 641,28          | 690,78 | 286,64 | 286,64 |
| 255              | 641,98          | 691,54 | 286,4  | 286,4  |
| 270              | 644,42          | 688,07 | 286,4  | 286,4  |
| 285              | 639,72          | 691,68 | 286,64 | 286,64 |
| 300              | 646             | 706,55 | 287,38 | 287,38 |
| 315              | 646,86          | 704,17 | 288,12 | 288,12 |
| 330              | 647,23          | 704,35 | 288,9  | 288,9  |
| 345              | 648,44          | 706,39 | 288,9  | 288,9  |
| 360              | 648,97          | 702,96 | 289,35 | 289,35 |

Tabel B.11 Entalpi rata-rata pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |         |         |         |
|------------------|-----------------|---------|---------|---------|
|                  | $h_1$           | $h_2$   | $h_3$   | $h_4$   |
| 180              | 638,83          | 701,24  | 290,465 | 290,465 |
| 195              | 640,715         | 699,175 | 290,465 | 290,465 |
| 210              | 642,26          | 699,12  | 290,73  | 290,73  |
| 225              | 642,805         | 700,59  | 294,145 | 294,145 |
| 240              | 643,985         | 698,255 | 290,465 | 290,465 |
| 255              | 644,68          | 698,82  | 290,21  | 290,21  |
| 270              | 647,1           | 696,07  | 290,21  | 290,21  |
| 285              | 642,435         | 699,475 | 290,465 | 290,465 |
| 300              | 648,695         | 714,215 | 291,255 | 291,255 |
| 315              | 649,53          | 711,58  | 292,045 | 292,045 |
| 330              | 649,92          | 711,915 | 292,855 | 292,855 |
| 345              | 651,095         | 713,815 | 292,855 | 292,855 |
| 360              | 651,62          | 710,735 | 293,36  | 293,36  |

Tabel B.12 Entalpi butana pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 641,58          | 708,2  | 284,61 | 284,61 |
| 195              | 643,45          | 706,27 | 285,99 | 285,99 |
| 210              | 644,98          | 706,14 | 290,13 | 290,13 |
| 225              | 645,54          | 707,9  | 291,79 | 291,79 |
| 240              | 646,69          | 705,73 | 292,9  | 292,9  |
| 255              | 647,38          | 706,1  | 294,02 | 294,02 |
| 270              | 649,78          | 704,07 | 295,13 | 295,13 |
| 285              | 645,15          | 707,27 | 297,65 | 297,65 |
| 300              | 651,39          | 721,88 | 299,61 | 299,61 |
| 315              | 652,2           | 718,99 | 299,89 | 299,89 |
| 330              | 652,61          | 719,48 | 298,77 | 298,77 |
| 345              | 653,75          | 721,24 | 300,73 | 300,73 |
| 360              | 654,27          | 718,51 | 299,89 | 299,89 |

Tabel B.13 Entalpi propana pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 636,08          | 694,28 | 278,08 | 278,08 |
| 195              | 637,98          | 692,08 | 279,3  | 279,3  |
| 210              | 639,54          | 692,1  | 282,97 | 282,97 |
| 225              | 640,07          | 693,28 | 284,44 | 284,44 |
| 240              | 641,28          | 690,78 | 285,42 | 285,42 |
| 255              | 641,98          | 691,54 | 286,4  | 286,4  |
| 270              | 644,42          | 688,07 | 287,38 | 287,38 |
| 285              | 639,72          | 691,68 | 289,59 | 289,59 |
| 300              | 646             | 706,55 | 291,32 | 291,32 |
| 315              | 646,86          | 704,17 | 291,56 | 291,56 |
| 330              | 647,23          | 704,35 | 290,58 | 290,58 |
| 345              | 648,44          | 706,39 | 292,3  | 292,3  |
| 360              | 648,97          | 702,96 | 291,56 | 291,56 |

Tabel B.14 Entalpi rata-rata pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |         |         |         |
|------------------|-----------------|---------|---------|---------|
|                  | $h_1$           | $h_2$   | $h_3$   | $h_4$   |
| 180              | 638,83          | 701,24  | 281,345 | 281,345 |
| 195              | 640,715         | 699,175 | 282,645 | 282,645 |
| 210              | 642,26          | 699,12  | 286,55  | 286,55  |
| 225              | 642,805         | 700,59  | 288,115 | 288,115 |
| 240              | 643,985         | 698,255 | 289,16  | 289,16  |
| 255              | 644,68          | 698,82  | 290,21  | 290,21  |
| 270              | 647,1           | 696,07  | 291,255 | 291,255 |
| 285              | 642,435         | 699,475 | 293,62  | 293,62  |
| 300              | 648,695         | 714,215 | 295,465 | 295,465 |
| 315              | 649,53          | 711,58  | 295,725 | 295,725 |
| 330              | 649,92          | 711,915 | 294,675 | 294,675 |
| 345              | 651,095         | 713,815 | 296,515 | 296,515 |
| 360              | 651,62          | 710,735 | 295,725 | 295,725 |

#### 4. Entalpi Refrigerant R134A Pada Separation Condenser

Tabel B.15 Entalpi pada mesin pendingin 1

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 426,62          | 453,27 | 243,93 | 243,93 |
| 195              | 427,83          | 455,16 | 244,07 | 244,07 |
| 210              | 428,17          | 455,52 | 244,07 | 244,07 |
| 225              | 428,43          | 456,3  | 243,64 | 243,64 |
| 240              | 428,85          | 456,81 | 243,78 | 243,78 |
| 255              | 427,83          | 457,92 | 243,78 | 243,78 |
| 270              | 427,47          | 458,39 | 243,64 | 243,64 |
| 285              | 427,56          | 459,29 | 243,78 | 243,78 |
| 300              | 427,4           | 458,54 | 244,07 | 244,07 |
| 315              | 427,12          | 459,88 | 244,51 | 244,51 |
| 330              | 427,2           | 461,29 | 244,8  | 244,8  |
| 345              | 427,13          | 460,91 | 245,24 | 245,24 |
| 360              | 427,05          | 460,28 | 246,55 | 246,55 |

Tabel B.16 Entalpi pada mesin pendingin 2

| Waktu<br>(menit) | Entalpi (kJ/kg) |        |        |        |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|
|                  | $h_1$           | $h_2$  | $h_3$  | $h_4$  |
| 180              | 426,62          | 453,27 | 244,07 | 244,07 |
| 195              | 427,83          | 455,16 | 243,93 | 243,93 |
| 210              | 428,17          | 455,52 | 243,93 | 243,93 |
| 225              | 428,43          | 456,3  | 243,93 | 243,93 |
| 240              | 428,85          | 456,81 | 243,78 | 243,78 |
| 255              | 427,83          | 457,92 | 243,93 | 243,93 |
| 270              | 427,47          | 458,39 | 243,78 | 243,78 |
| 285              | 427,56          | 459,29 | 243,2  | 243,2  |
| 300              | 427,4           | 458,54 | 243,06 | 243,06 |
| 315              | 427,12          | 459,88 | 243,06 | 243,06 |
| 330              | 427,2           | 461,29 | 243,06 | 243,06 |
| 345              | 427,13          | 460,91 | 242,33 | 242,33 |
| 360              | 427,05          | 460,28 | 242,19 | 242,19 |

## Lampiran C. Hasil Perhitungan

### 1. Efek Refrigerasi

Tabel C.1 Efek refrigerasi mesin pendingin

| Waktu<br>(menit) | Efek Refrigerasi (kJ/kg) |                       |                       |                         |
|------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | <i>Baseline</i> LPG      | <i>Baseline</i> R134A | <i>Separation</i> LPG | <i>Separation</i> R134A |
| 180              | 694,575                  | 376,82                | 705,85                | 365,24                  |
| 195              | 694,325                  | 385,36                | 708,32                | 367,66                  |
| 210              | 697,74                   | 385,45                | 707,24                | 368,34                  |
| 225              | 699,05                   | 386,76                | 703,35                | 369,29                  |
| 240              | 772,22                   | 388,48                | 708,345               | 370,14                  |
| 255              | 703,14                   | 388,72                | 708,94                | 367,95                  |
| 270              | 741,67                   | 389,13                | 712,735               | 367,52                  |
| 285              | 705,62                   | 389,65                | 700,785               | 368,14                  |
| 300              | 707,915                  | 390,03                | 710,67                | 367,67                  |
| 315              | 709,35                   | 390,55                | 711,29                | 366,67                  |
| 330              | 709,87                   | 390,36                | 712,31                | 366,54                  |
| 345              | 709,995                  | 390,29                | 712,82                | 366,69                  |
| 360              | 709,57                   | 390,66                | 714,155               | 365,36                  |
| Rata-rata        | 711,9                    | 378,9                 | 708,99                | 367,5                   |

### 2. Kerja Kompresi

Tabel C.2 Kerja kompresi mesin pendingin

| Waktu<br>(menit) | Kerja Kompresi (kJ/kg) |                       |                       |                         |
|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | <i>Baseline</i> LPG    | <i>Baseline</i> R134A | <i>Separation</i> LPG | <i>Separation</i> R134A |
| 180              | 173,81                 | 51,9                  | 124,82                | 53,3                    |
| 195              | 175,57                 | 36,4                  | 116,92                | 54,7                    |
| 210              | 164,68                 | 37,38                 | 113,72                | 54,7                    |
| 225              | 167,81                 | 37,4                  | 115,57                | 55,74                   |
| 240              | 86,2                   | 37,5                  | 108,54                | 55,92                   |
| 255              | 158,13                 | 37,04                 | 108,28                | 60,2                    |
| 270              | 109,01                 | 39,3                  | 97,94                 | 61,8                    |
| 285              | 152,26                 | 47,5                  | 114,08                | 63,5                    |
| 300              | 150,49                 | 48,02                 | 131,04                | 62,3                    |
| 315              | 148,78                 | 47,9                  | 124,1                 | 65,5                    |
| 330              | 150,03                 | 47,66                 | 123,99                | 68,2                    |
| 345              | 149,74                 | 47,7                  | 125,44                | 67,6                    |
| 360              | 148,24                 | 47,1                  | 118,23                | 66,5                    |
| Rata-rata        | 146,7                  | 42,6                  | 117,1                 | 60,8                    |



### 3. Laju Aliran Massa

Tabel C.3 Laju aliran massa mesin pendingin

| Waktu<br>(menit) | Laju Aliran Massa (kg/s) |                       |                       |                         |
|------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | <i>Baseline</i> LPG      | <i>Baseline</i> R134A | <i>Separation</i> LPG | <i>Separation</i> R134A |
| 180              | 0,0003930345             | 0,00070975            | 0,0003836205          | 0,00069275              |
| 195              | 0,0003930345             | 0,00070975            | 0,0003836205          | 0,00069275              |
| 210              | 0,0003930345             | 0,00070975            | 0,0003836205          | 0,00069275              |
| 225              | 0,0003930345             | 0,00069275            | 0,00037656            | 0,00069275              |
| 240              | 0,0003836205             | 0,00069275            | 0,00037656            | 0,00069275              |
| 255              | 0,0003836205             | 0,00069275            | 0,0003694995          | 0,00066725              |
| 270              | 0,0003836205             | 0,00069275            | 0,0003694995          | 0,00066725              |
| 285              | 0,0003836205             | 0,00069275            | 0,0003694995          | 0,00066725              |
| 300              | 0,00037656               | 0,00069275            | 0,0003694995          | 0,00066725              |
| 315              | 0,00037656               | 0,00069275            | 0,0003600855          | 0,00065025              |
| 330              | 0,00037656               | 0,00068               | 0,0003600855          | 0,00065025              |
| 345              | 0,00037656               | 0,00068               | 0,0003600855          | 0,00065025              |
| 360              | 0,0003694995             | 0,00068               | 0,0003600855          | 0,00065025              |
| Rata-rata        | 0,0003832                | 0,0006937             | 0,0003709             | 0,0006718               |

### 4. Kapasitas Refrigerasi

Tabel C.4 Kapasitas Refrigerasi

| Waktu<br>(menit) | Kapastat Refrigerasi |                       |                       |                         |
|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | <i>Baseline</i> LPG  | <i>Baseline</i> R134A | <i>Separation</i> LPG | <i>Separation</i> R134A |
| 180              | 0,272                | 0,267                 | 0,271                 | 0,253                   |
| 195              | 0,272                | 0,273                 | 0,271                 | 0,254                   |
| 210              | 0,274                | 0,273                 | 0,271                 | 0,255                   |
| 225              | 0,274                | 0,267                 | 0,264                 | 0,255                   |
| 240              | 0,296                | 0,269                 | 0,266                 | 0,256                   |
| 255              | 0,269                | 0,269                 | 0,261                 | 0,245                   |
| 270              | 0,284                | 0,269                 | 0,263                 | 0,245                   |
| 285              | 0,27                 | 0,269                 | 0,258                 | 0,245                   |
| 300              | 0,266                | 0,27                  | 0,262                 | 0,245                   |
| 315              | 0,267                | 0,27                  | 0,256                 | 0,238                   |
| 330              | 0,267                | 0,265                 | 0,256                 | 0,238                   |
| 345              | 0,267                | 0,265                 | 0,256                 | 0,238                   |
| 360              | 0,262                | 0,265                 | 0,257                 | 0,237                   |
| Rata-rata        | 0,272                | 0,269                 | 0,262                 | 0,246                   |

## 5. Pelepasan Kalor

Tabel C.5 Pelepasan Kalor Mesin Pendingin

| Waktu<br>(menit) | Pelepasan Kalor (kJ/kg) |                       |                       |                         |
|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | <i>Baseline</i> LPG     | <i>Baseline</i> R134A | <i>Separation</i> LPG | <i>Separation</i> R134A |
| 180              | 868,385                 | 428,72                | 830,67                | 418,54                  |
| 195              | 869,895                 | 421,76                | 825,24                | 422,32                  |
| 210              | 862,42                  | 422,83                | 820,96                | 423,04                  |
| 225              | 866,86                  | 424,18                | 818,92                | 425,03                  |
| 240              | 858,42                  | 426,02                | 816,885               | 426,06                  |
| 255              | 861,27                  | 425,76                | 817,22                | 428,13                  |
| 270              | 850,68                  | 428,39                | 810,675               | 429,36                  |
| 285              | 857,88                  | 437,11                | 814,865               | 431,6                   |
| 300              | 858,405                 | 438,05                | 841,71                | 429,95                  |
| 315              | 858,13                  | 438,47                | 835,39                | 432,19                  |
| 330              | 859,9                   | 438,02                | 836,3                 | 434,72                  |
| 345              | 859,735                 | 438,03                | 838,26                | 434,25                  |
| 360              | 857,81                  | 437,76                | 832,385               | 431,82                  |
| Rata-rata        | 860,753                 | 431,161               | 826,113               | 428,231                 |

## 6. Rasio Pelepasan Kalor

Tabel C.6 Rasio Pelepasan Kalor

| Waktu<br>(menit) | Rasio Pelepasan Kalor |                       |                       |                         |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
|                  | <i>Baseline</i> LPG   | <i>Baseline</i> R134A | <i>Separation</i> LPG | <i>Separation</i> R134A |
| 180              | 1,25                  | 1,137                 | 1,176                 | 1,145                   |
| 195              | 1,252                 | 1,094                 | 1,165                 | 1,148                   |
| 210              | 1,236                 | 1,096                 | 1,161                 | 1,148                   |
| 225              | 1,24                  | 1,096                 | 1,164                 | 1,151                   |
| 240              | 1,111                 | 1,096                 | 1,153                 | 1,151                   |
| 255              | 1,224                 | 1,095                 | 1,152                 | 1,163                   |
| 270              | 1,146                 | 1,101                 | 1,137                 | 1,168                   |
| 285              | 1,215                 | 1,121                 | 1,162                 | 1,172                   |
| 300              | 1,212                 | 1,123                 | 1,184                 | 1,169                   |
| 315              | 1,209                 | 1,122                 | 1,174                 | 1,178                   |
| 330              | 1,211                 | 1,122                 | 1,174                 | 1,186                   |
| 345              | 1,211                 | 1,122                 | 1,175                 | 1,184                   |
| 360              | 1,208                 | 1,121                 | 1,165                 | 1,181                   |
| Rata-rata        | 1,209                 | 1,111                 | 1,164                 | 1,164                   |

## 7. Coefficient of Performance (COP)

Tabel C.7 Coefficient of Performance (COP)

| Waktu<br>(menit) | COP          |                |                |                  |
|------------------|--------------|----------------|----------------|------------------|
|                  | Baseline LPG | Baseline R134A | Separation LPG | Separation R134A |
| 180              | 7,9          | 14,5           | 11,3           | 13,7             |
| 195              | 7,9          | 21,2           | 12,1           | 13,5             |
| 210              | 8,5          | 20,6           | 12,4           | 13,5             |
| 225              | 8,3          | 20,7           | 12,1           | 13,3             |
| 240              | 17,9         | 20,7           | 13,1           | 13,2             |
| 255              | 8,9          | 21,0           | 13,1           | 12,2             |
| 270              | 13,6         | 19,8           | 14,6           | 11,9             |
| 285              | 9,3          | 16,4           | 12,3           | 11,6             |
| 300              | 9,4          | 16,2           | 10,8           | 11,8             |
| 315              | 9,5          | 16,3           | 11,5           | 11,2             |
| 330              | 9,5          | 16,4           | 11,5           | 10,8             |
| 345              | 9,5          | 16,4           | 11,4           | 10,9             |
| 360              | 9,6          | 16,6           | 12,1           | 11,0             |
| Rata-rata        | 9,98         | 18,22          | 12,18          | 12,2             |

**Lampiran D. Contoh Perhitungan**

Hasil entalpi yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung unjuk kerja mesin pendingin. Berikut ini adalah contoh perhitungan dari unjuk kerja mesin pendingin

## 1) Efek Refrigerasi

$$q_r = h_1 - h_4$$

Pada evaporator 1 (*baseline* LPG)

$$q_r = h_1 - h_4$$

$$q_r = 626,69 - 280,305$$

$$q_r = 346,385 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator 2 (*baseline* LPG)

$$q_r = h_1 - h_4$$

$$q_r = 626,69 - 278,5$$

$$q_r = 348,19 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$q_r = 346,385 + 348,19$$

$$q_r = 694,575 \text{ kJ/kg}$$

## 2) Kerja Kompresi

$$q_r = h_2 - h_1$$

Pada evaporator 1 (*baseline* LPG)

$$q_r = h_2 - h_1$$

$$q_r = 713,595 - 626,69$$

$$q_r = 86,905 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator 2 (*baseline* LPG)

$$q_r = h_2 - h_1$$

$$q_r = 713,595 - 626,69$$

$$q_r = 86,905 \text{ kJ/kg}$$

Nilai total

$$q_r = 86,905 + 86,905$$

$$q_r = 173,81 \text{ kJ/kg}$$

## 3) Laju Aliran Massa

$$\dot{m} = \text{massa jenis } \textit{refrigerant} \times \text{debit aliran}$$

$$\dot{m} = 2,3535 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ liter/menit}$$

$$\dot{m} = 2,3535 \text{ kg/m}^3 \times 0,000163 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0,0003836205 \text{ kg/s}$$

## 4) Kapasitas Refrigerasi

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

$$q = 0,0003836205 (694,575)$$

$$q = 0,271$$

## 5) Pelepasan Kalor

$$Q = h_2 - h_3$$

Pada evaporator 1 (*baseline* LPG)

$$Q = h_2 - h_3$$

$$Q = 713,595 - 280,305$$

$$Q = 433,29 \text{ kJ/kg}$$

Pada evaporator 2 (*baseline* LPG)

$$Q = h_2 - h_3$$

$$Q = 713,595 - 278,5$$

$$Q = 435,095 \text{ kJ/kg}$$

Total pelepasan kalor

$$Q = 433,29 + 435,095$$

$$Q = 868,385 \text{ kJ/kg}$$

## 6) Rasio Pelepasan Kalor

$$\text{RPK} = Q/\text{Efek refrigerasi}$$

$$\text{RPK} = 868,385/694,575$$

$$\text{RPK} = 1,25$$

## 7) COP

$$\text{COP} = \text{efek refrigerasi/kerja kompresi}$$

$$\text{COP}_{\text{total}} = \text{COP mesin 1} + \text{COP mesin 2}$$

$$\text{COP}_{\text{total}} = (346,385/86,905) + (348,19/86,905)$$

$$\text{COP}_{\text{total}} = 7,99$$

**Lampiran E. Alat Ukur Debit Refrigerant**

**LZM 6 – Flowmeter**



Gambar E.1 *Flowmeter* tipe LZM 6

**Spesifikasi:**

|                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| <i>Working Pressure</i>      | : $\leq 0,6$ MPa |
| <i>Operating Temperature</i> | : 0 – 60 °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 F. Data Logger**

**Midi LOGGER GL200A**

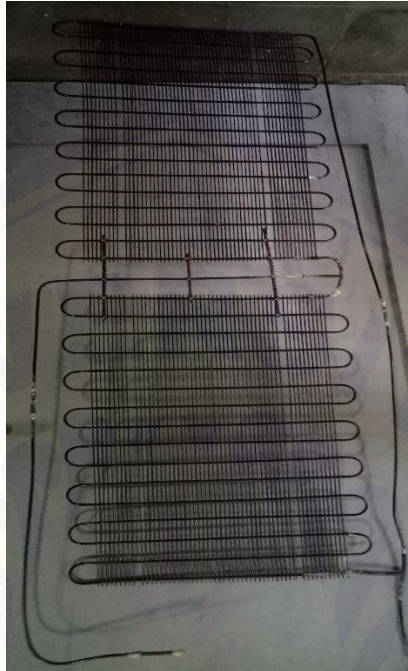


Gambar F.1 Midi LOGGER GL200A

Tabel F.1 Spesifikasi Midi LOGGER GL200A

| Item                      | Description   |
|---------------------------|---|
| Number of Channels        | Analog 10ch, Logic 1ch, Pulse 1ch, (RPM, Instant, Count), Alarm output 1ch  |
| Input Method              | Isolated input  |
| Display unit              | 3,5" TFT color LCD  |
| Input Type                | DC voltage 20 mV to 50V, 1-5V<br>Temperature<br>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 G Dokumentasi Penelitian**



Gambar G.1 *Separation condenser*



Gambar G.2 *Baseline condenser*

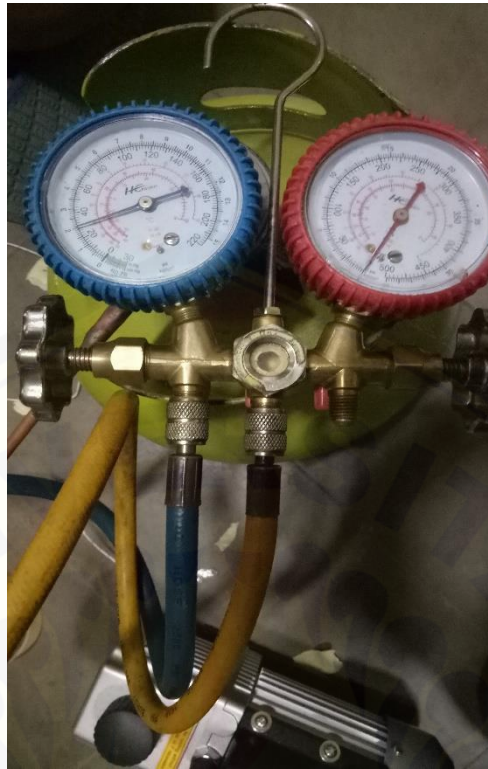


Gambar G.3 Lemari es yang digunakan



Gambar G.4 *Clamp* meter





Gambar G.5 Manifold



Gambar G.6 Pressure gauge



Gambar G.7 Vacuum pump



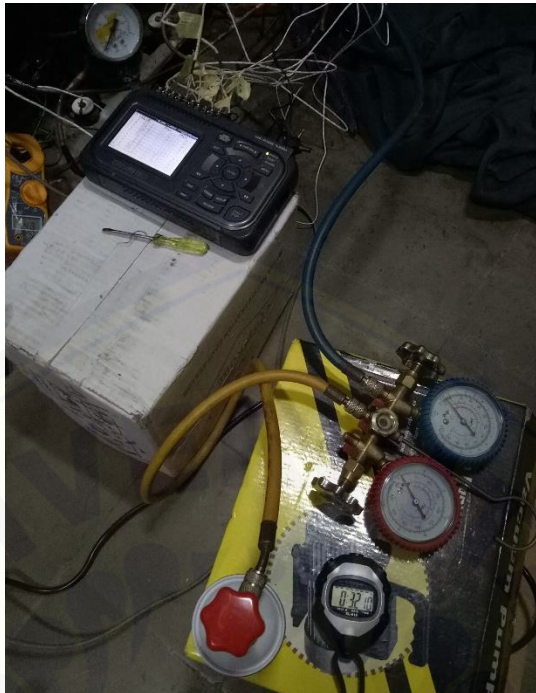
Gambar G.8 Refrigerant R134A



Gambar G.9 Refrigerant LPG



Gambar G.10 Kompresor 1/3 PK



Gambar G.11 Proses pengisian *refrigerant* R134A



Gambar G.12 Proses perakitan *baseline condenser*



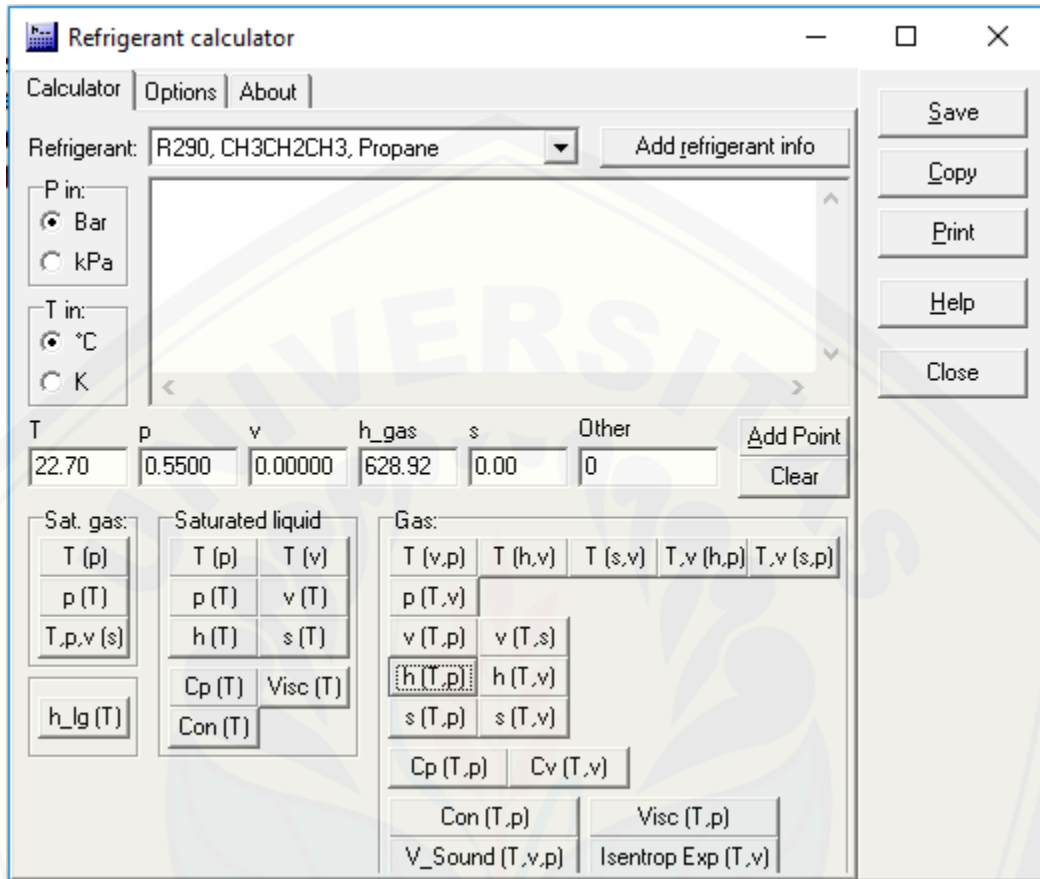


Gambar G.13 Proses perakitan *separation condenser*

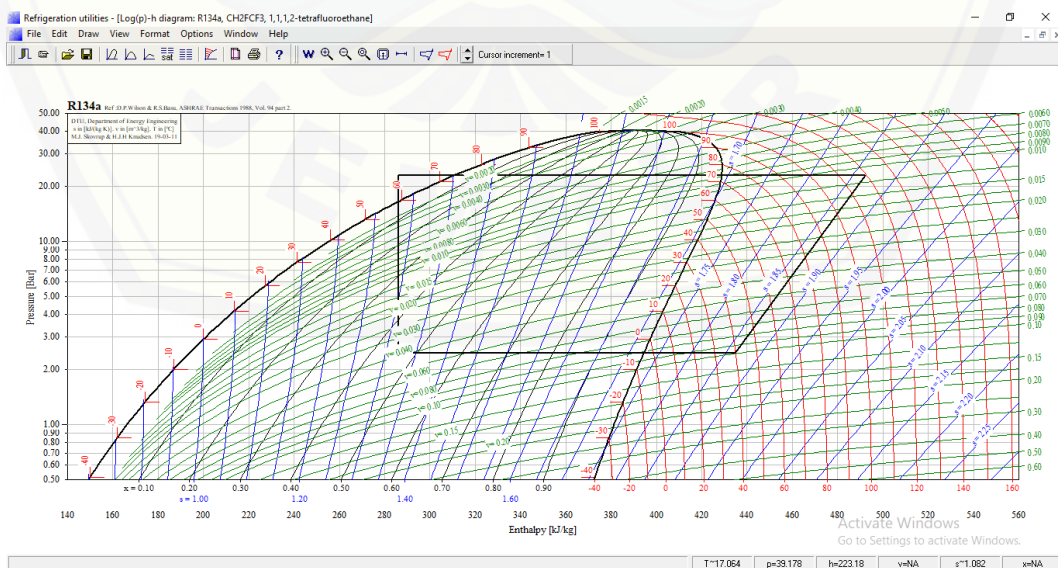


Gambar G.14 Proses *recording data*

LAMPIRAN H. Tampilan Perhitungan Entalpi Refrigerant Pada Software Coolpack



Gambar H.1 Tampilan kalkulator refrigerant pada software coolpack



Gambar H.2 Tampilan diagram P-h pada software coolpack