



**ANALISIS PENGGUNAAN KONDENSOR *TUBE AND TUBE*  
TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN  
MENGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) Teknik  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Rio Hawin Rahman**

**NIM 091910101057**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**ANALISIS PENGGUNAAN KONDENSOR *TUBE AND TUBE*  
TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN  
MENGUNAKAN REFRIGERAN LPG**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) Teknik  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Rio Hawin Rahman**

**NIM 091910101057**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

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

1. Kepada kedua orang tuaku, Bapak Sudarno dan Ibu Ririn Suparmi cinta dan kasihku tiada hentinya, serta memberikan dukungan do'anya buat aku."Tanpa keluarga, manusia sendiri di dunia gemetar dalam dingin."
2. Kakakku Sindy Rindar Aristi dan adikku Yesika Rindar Perwari yang selalu memberi semangat dan motivasi
3. Keluarga besar yang selalu membantu dan memberi dukungan
4. Ika Ayu Lestari orang terkasih yang setia mendiam di hatiku dan memberiku semangat yang tak ada henti.
5. Sahabat sahabat terbaikku yang selalu memberi ku semangat dan dorongan
6. Dosen dosen jurusan tekink mesin yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu kepadaku
7. Terima kasih yang tak terhingga buat dosen dosen ku, terutama DPU dan DPA bapak digdo listyadi dan bapak Ahmad syuhri yang tak pernah lelah dan sabar memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Partner partner skripsiku Heru (Paijem) dan Fakhri (Made Faker)
9. Keluarga besar N-Gine Teknik Mesin angkatan tahun 2009 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka dan duka selama kuliah.
10. Almamater Fakultas Teknik Universitas jember
11. Dan seluruh pihak yang telah mendukung yang tak bisa kusebutkan satu persatu .

**MOTTO**

“Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan diperbuatnya”.

( *Ali Bin Abi Thalib* )

“Hidup adalah kepastian jika kita terlalu sering mengambil keputusan yang tidak pasti berarti kita belum hidup seutuhnya.”

(john saviq capone)

“Sebuah lidah tajam kadang-kadang memotong tenggorokannya sendiri.”

(Jim Scancarelli)

“Keyakinan merupakan satu-satunya penawar kegagalan yang diketahui orang”

(Napoleon Hill, Think & Grow Rich)

“Masalah sebenarnya adalah soal apa yang akan Anda lakukan kepada penyelesaian masalah setelah masalah itu terselesaikan.”

(Gay Talese, Sastrawan)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rio Hawin Rahman

NIM : 091910101057

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul “**ANALISIS PENGGUNAAN KONDENSOR TUBE AND TUBE TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG**” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan 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 mendapat sangsi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 April 2015

Yang menyatakan,

Rio Hawin Rahman

NIM 091910101057

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGGUNAAN KONDENSOR TUBE AND TUBE  
TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN  
REFRIGERAN LPG**

**Oleh**

**Rio Hawin Rahman**

**NIM 091910101057**

**Pembimbing**

**Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.**  
**Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, M.T**

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “ANALISIS PENGGUNAAN KONDENSOR TUBE AND TUBE TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Jum'at ,24 April 2014

Tempat : Ruang Ujian II Dekanat Fakultas Teknik

Ketua,

Sekretaris,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.  
NIP 19680617 199501 1 001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.  
NIP 19670123 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.  
NIP 19681207 199512 1 002

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.  
19650120 200112 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi , M.T.  
NIP 196104141989021001

## RINGKASAN

**ANALISIS PENGGUNAAN KONDENSOR TUBE AND TUBE TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN MENGGUNAKAN REFRIGERAN LPG;** Rio Hawin Rahman; 091910101057; 2015; 50 halaman; Program Studi Strata Satu (S1); Jurusan Teknik Mesin; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Dalam kehidupan manusia sekarang ini, tidak lepas dari suatu peran perangkat pendingin atau pengawet makanan yang merupakan alat pengkondisian udara (*Air Conditioning*), baik itu pada bidang industri, rumah tangga, pertambangan, komersial. Adanya peningkatan temperatur di bumi (*Global Warming*) membuat kenyamanan yang diinginkan manusia tidak terpenuhi, terutama pada daerah tropis. Dari berbagai macam jenis penggunaan di atas maka sistem pendinginan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Semakin berkembangnya teknologi seharusnya faktor keamanan, nyaman, dan keselamatan manusia menjadi suatu prioritas, serta tidak melupakan aspek dari lingkungan yang menjadi sasaran utamanya.

Pada awalnya teknologi kulkas hanya dipergunakan sebagai alat pembuatan es tetapi kini telah berkembang dengan pesat seiring berjalanya waktu juga menjadi alat untuk mengawetkan berbagai bahan makanan maupun makanan jadi. Dengan melihat pentingnya fungsi dari mesin referigerasi, maka berbagai masalah timbul dalam pengoptimalan kinerja mesin tersebut antara lain yang pertama paling umum dijumpai setelah pemakaian beberapa tahun yaitu adanya penurunan laju perpindahan kalor pada kondensor yang berkaitan erat dengan perubahan suhu kondensasi sehingga akan mempengaruhi koefisien prestasi.

Rangkaian sederhana yang dibuat berupa rangkaian mesin refrigerator yang terdiri dari kompresor, kondensor, pipa kapiler, evaporator dan komponen-komponen



lainnya. Pada dasarnya mesin pendingin ini refrigerator ini hanya digunakan untuk proses pendinginan dalam ruangan kulkas tidak untuk proses *freezing* (pembekuan). Dengan memasang beberapa alat pengukur tekanan dan suhu yaitu *pressure gauged* dan termometer digital, rangkaian ini digunakan untuk melihat besarnya tekanan dan suhu pada setiap titik yang telah ditentukan. Titik-titik tersebut dipasang pada beberapa komponen antara lain titik T1 dan P1 diletakkan pada masukan kompresor. Titik T2 dan P2 terletak pada keluaran kompresor dan titik-titik lain seperti T3 dan T4 yang diletakkan pada masukan evaporator dan keluaran evaporator. Titik T5 yang diletakkan dalam ruangan kulkas yang berfungsi untuk melihat suhu ruangan kulkas. Adapun kondensator yang digunakan yaitu Kondensator tube and tube berpendingin air dengan aliran yang berbeda 2,5ltr/mnt, 5ltr/mnt, 7,5ltr/mnt.

Penelitian tentang “Analisis penggunaan kondensator tube and tube Terhadap Prestasi Kerja Mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG Sebagai Refrigeran” dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Dari hasil penelitian yang diperoleh bahwa semakin besar aliran air pada kondensator dapat meningkatkan COP pada mesin refrigerasi. Hal ini dikarenakan semakin besar aliran air pendingin pada kondensator semakin baik kalor yang dilepas oleh kondensator serta suhu evaporator menjadi lebih baik dan prestasi kerja pada mesin pendingin meningkat. Fakta ini dapat dilihat dari tingginya nilai COP terjadi pada penggunaan kondensator tube and tube dengan aliran air 7,5 ltr/mnt yaitu 17,72.

## SUMMARY

ANALYSIS OF USE TUBE AND TUBE CONDENSER FOR WORK PERFORMANCE ENGINE COOLING USE REFRIGERANT LPG; Rio Hawin Rahman; 091910101057; 2015; 50 pages; Study Program Tier One (S1); Department of Mechanical Engineering; Faculty Of Engineering; University of Jember.

In human life today, can not be separated from the role of a cooling device or food preservative which is a tool of air conditioning (Air Conditioning), be it in the field of industrial, domestic, mining, commercial. An increase in temperature of the earth (Global Warming) create the desired comfort humans are not met, especially in the tropics. Of the various types of use of the above, the cooling system is very useful for human life. The continued development of technology should factor of safety, comfort, and safety of the human becomes a priority, and do not forget the environmental aspects of its main target.

At first the refrigerator technology only used as a means of making ice but now it has grown rapidly over time berjalanya also be a tool to preserve various foods and processed foods. By looking at the importance of the functions of the machine referigerasi, the various problems arising in machine performance optimization, among others, the first one of the most common after the use of a few years is a decrease in the rate of heat transfer in the condenser which is closely related to the changes that will affect the condensation temperature coefficient of achievement.

Simple circuit made a series refrigeration machine consisting of a compressor, condenser, capillary tube, evaporator and komponen other components. Basically this cooler refrigeration machine is only used for the cooling process in the refrigerator room is not for the freezing (freezing). By installing some pressure and temperature gauges, namely pressure gaugedan digital thermometer, this circuit is used to see the

magnitude of the pressure and suhu pada any predetermined point. These points are mounted on beberapa komponen among others point T1 and P1 placed on the compressor intake. T2 dan point P2 is located at the output of the compressor and other points such as T3 and T4 yang diletakkan at the input and output evaporator evaporator. T5 point placed in the room refrigerator that works to see the temperature of the room refrigerator. The condenser is used, namely Condenser tube and tube water cooled with different flow 2,5ltr / mnt, 5ltr / mnt, 7,5ltr / min.

Research on "Analysis of the use of the condenser tube and tube Against Job Performance refrigerant cooling machine using LPG as Refrigerant" performed in Energy Conversion Laboratory Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember. From the results of the study showed that the greater the flow of water in the condenser can increase the COP on refrigeration machine. This is because the greater the flow of cooling water in the condenser, the better the heat given off by the condenser and the evaporator temperature becomes better and work performance at engine coolant increases. This fact can be seen from the high value of the COP occurs in the use of the condenser tube and tube with a water flow of 7.5 liters / min is 17.72.

## PRAKATA

Segala puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat-Nya sehingga skripsi ini dapat tersusun sesuai dengan yang diharapkan. Penulis menyusun skripsi ini guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Selain itu penulis berharap agar skripsi yang telah tersusun ini dapat bermanfaat baik bagi penulis pada khususnya maupun bagi masyarakat pada umumnya. Penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan segenap pikiran maupun yang telah banyak membantu dalam penyusunan Karya Tulis Ilmiah ini khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.sc. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, MT. Selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu , pikiran dan perhatiannya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Orang Tua Penulis, Bapak Sudarno dan Ibu Ririn Suparmi orang yang selalu memberikan doa dan dukungannya dalam bentuk nasehat dan materi.
3. Teman teman yang telah banyak membantu dalam meberikan dukungan .
4. Semua pihak yang telah banyak membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan skripsi ini, Penulis berusaha semaksimal mungkin agar skripsi yang disusun ini menjadi sempurna tanpa adanya satu kekurangan apapun juga. Namun tidak menutup kemungkinan bagi pembaca yang akan memberikan saran ataupun kritik tentu saja akan penulis pertimbangkan.

Jember, 24 April 2015

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</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	xx
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah dan asumsi</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan dan manfaat penelitian</b> .....	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Refrigrasi sederhana</b> .....	6

2.1.1 Evaporator .....	6
2.1.2 Pipa Kapiler .....	7
2.1.3 Kompresor .....	9
2.1.4 Kondensor .....	9
2.1.5 Alat Ekspansi.....	10
2.1.6 Komponen pendukung pada sistem refrigrasi .....	11
2.1.6.1 <i>solenoid valve</i> .....	11
2.1.6.2 <i>filter dryer</i> .....	11
2.1.6.3 <i>sight glass</i> .....	11
2.1.6.4 <i>Access port/service valve</i> .....	11
2.1.6.5 <i>Liquid Receiver</i> .....	12
<b>2.2 Siklus Refrigrasi</b> .....	13
2.2.1 Dampak refrigrasi dan kerja kompresi dari sistem refrigran .....	14
2.2.2 Kapasitas refrigrasi.....	15
2.2.3 Siklus refrigrasi kompresi uap ideal .....	15
2.2.4 Siklus refrigrasi kompresi uap aktual .....	17
<b>2.3 Pemilihan Refrigran</b> .....	18
2.3.1 Jenis jenis refrigran .....	19
2.3.2 Chlorofluorocarbon CFC.....	20

2.3.2.1 Masalah akibat jenis refrigeran CFC .....	21
2.3.3 Refrigeran Hidrokarbon .....	22
<b>2.4 LPG (liquified petroleum gas) .....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Pengertian LPG .....	24
2.4.2 komposisi LPG .....	24
2.4.3 propana dan butana.....	25
<b>2.5 Beban pendinginan Pada Siklus Refrigeran.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6 Kondisi steady state pada suatu sistem .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7 Hipotesis.....</b>	<b>30</b>
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Waktu Tempat dan Penelitian .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....</b>	<b>31</b>
3.3.1 Alat .....	31
3.3.2 Bahan.....	32
<b>3.3 Metodologi Penelitian .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 prosedur Penelitian .....</b>	<b>32</b>
3.4.1 Persiapan Alat Pengujian .....	33
3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian.....	33
3.4.3 Tahap Pengambilan Data .....	33

<b>3.5 Rangkaian Refrigerator .....</b>	<b>34</b>
<b>3.6 Variable Penelitian.....</b>	<b>34</b>
3.6.1 Variable Bebas.....	34
3.6.2 Variable Terikat .....	34
<b>3.7 Pengambilan Data .....</b>	<b>35</b>
3.7.1 Pengolahan data .....	36
<b>3.8 Diagram Alir .....</b>	<b>37</b>
<b>3.9 jadwal rencana Penelitian .....</b>	<b>38</b>
<b>BAB 4 Hasil dan pembahasan.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Hasil pengujian .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Pembahasan .....</b>	<b>41</b>
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



**DAFTAR GAMBAR**

	<b>Halaman</b>
2.1 Komponen lemari es .....	6
2.2 Evaporator .....	7
2.3 Pipa kapiler.....	8
2.4 Kompresor.....	9
2.5 Kondensor .....	10
2.6 Kondensor Tube and Tube .....	11
2.7 Thermostatic expansion valve.....	11
2.8 Filter Dryer dan slight glass .....	12
2.9 Liquid receiver .....	13
2.10 Skema Refrigerator .....	13
2.11 Kapasitas refrigeran terhadap suhu evaporator .....	15
2.12 Skema siklus refrigerasi kompresi uap ideal.....	16
2.13 Siklus refrigerasi kompresi uap aktual .....	18
2.14 Bahaya Refrigeran.....	22
2.15 Nilai ODP dan GWP refrigeran .....	22
2.16 Gambar Molekul Propana .....	26
2.17 Gambar Molekul Butana` .....	26

2.18 Laju aliran massa terhadap tekanan hisap kompresor.....	27
2.19 Dampak refrigerasi pada pipa kapiler .....	29
3.1 Gambar software coolpack.....	34
3.2 Gambar skema refrigerator .....	34
3.3 Gambar skema pengumpulan data .....	37
3.4 Gambar diagram alir .....	38
4.1 Grafik perbandingan suhu evaporator terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dan air.....	41
4.2 Grafik perbandingan COP terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dan berpendingin air .....	45
4.3 Grafik perbandingan dampak refrigrasi kj/kg terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dan berpendingin air.....	45
4.4 Grafik perbandingan kerja kompresi terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dan berpendingin air.....	46
4.5 Grafik perbandingan kapasitas refrigrasi terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dan berpendingin air.....	47
4.6 Grafik perbandingan rasio pelepasan kalor terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dan berpendingin air.....	47
4.7 Grafik COP kondensor tube and tube terhadap aliran air .....	48

**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
2.1 Kelompok refrigeran organik.....	19
2.2 Properties macam macam refrigeran.....	20
2.3 Beberapa penelitian menggunakan refrigeran LPG .....	26
3.1 Pengambilan data kondensor pendingin udara.....	35
3.2 Pengambilan data kndensor berpendingin air .....	36
3.3 Jadwal rencana penelitian .....	39
4.1 Hasil pengujian dengan pendingin udara .....	40
4.2 Hasil pengujian dengan kondensor tube and tube aliran air 2,5ltr/mnt.....	40
4.3 Hasil pengujian dengan kondensor tube and tube aliran air 5ltr/mnt.....	41
4.4 Hasil pengujian dengan kondensor tube and tube aliran air 7,5ltr/mnt.....	41
4.5 Hasil nilai entalpi kondensor pendingin udara.....	42
4.6 Dampak refrigerasi ,kerja kompresi ,kapasitas refrigerasi ,rasio pelpasan kalor ,dan COP pada mesin refrgrasi berpendingin udara .....	43
4.7 Hasil nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 2,5ltr/mnt .....	44
4.8 Hasil nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 5ltr/mnt .....	44
4.9 Hasil nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 7,5ltr/mnt .....	44

4.10 Dampak refrigerasi ,kerja kompresi ,kapasitas refrigerasi ,rasio pelpasan kalor  
 ,dan COP pada mesin refrgrasi kondensor tube and tube dengan aliran air yang  
berbeda.....45



**DAFTAR ISTILAH**

T1	: Suhu masukan kompresor (kJ/kg)
T2	: Suhu keluaran kompresor (kJ/kg)
T3	: Suhu masukan evaporator (kJ/kg)
T4	: Suhu keluaran evaporator (kJ/kg)
T5	: Suhu ruangan kulkas (kJ/kg)
P1	: Tekanan masukan kompresor (kJ/kg)
P2	: Tekanan keluaran kompresor (kJ/kg)
h1	: entalpi masukan kompresor (kJ/kg)
h2	: entalpi keluaran kompresor (kJ/kg)
h3	: entalpi masukan evaporator (kJ/kg)
h4	: entalpi keluaran evaporator (kJ/kg)
q <sub>e</sub>	: dampak refrigerasi (kJ/kg)
W	: kerja kompresi (kJ/kg)
q	: kapasitas kefrigerasi (kW)
COP	: koefisien prestasi
$\dot{m}$	: laju alir massa (kg/s)
c <sub>p</sub>	: kalor jenis udara ( J/kg °C )
$\Delta T$	: perubahan suhu (°C)
$\rho$	: massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )
P manifold	: tekanan manifold (kg/m <sup>3</sup> )
t	: waktu (menit/detik)
Aselang	: Luas keluaran selang (m <sup>3</sup> )
GWP	: Global warming Potential
ODP	:Ozone Depletion Potential

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1. Latarbelakang

Dalam kehidupan manusia sekarang ini, tidak lepas dari suatu peran perangkat pendingin atau pengawet makanan yang merupakan alat pengkondisian udara (*Air Conditioning*), baik itu pada bidang industri, rumah tangga, pertambangan, komersial. Adanya peningkatan temperatur di bumi (*Global Warming*) membuat kenyamanan yang diinginkan manusia tidak terpenuhi, terutama pada daerah tropis. Dari berbagai macam jenis penggunaan di atas maka sistem pendinginan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Semakin berkembangnya teknologi seharusnya faktor keamanan, nyaman, dan keselamatan manusia menjadi suatu prioritas, serta tidak melupakan aspek dari lingkungan yang menjadi sasaran utamanya.

Pada awalnya teknologi kulkas hanya dipergunakan sebagai alat pembuatan es tetapi kini telah berkembang dengan pesat seiring berjalanya waktu juga menjadi alat untuk mengawetkan berbagai bahan makanan maupun makanan jadi. Dengan melihat pentingnya fungsi dari mesin referigerasi, maka berbagai masalah timbul dalam pengoptimalan kinerja mesin tersebut antara lain yang pertama paling umum dijumpai setelah pemakaian beberapa tahun yaitu adanya penurunan laju perpindahan kalor pada kondensor yang berkaitan erat dengan perubahan suhu kondensasi sehingga akan mempengaruhi koefisien prestasi.

Suatu sistem pendingin tidak lepas dari Refrigeran sebagai fluida untuk melakukan proses pendinginan tersebut. Penemuan sistem pendingin terdahulu masih menggunakan suatu refrigeran yang masih berbasis *choloflourocarbon* (CFC). Sejak adanya penemuan bahwa lapisan ozon di bumi telah menipis, Serikat Nation Environment memutuskan bahwa Refrigeran yang mengandung *choloflourocarbon* (CFC) dan *hidrokloroflourocarbon* (HCFC) dimana memiliki sifat stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun, dan *kompatibel* terhadap sebagian besar bahan komponen pada peralatan pendingin konvensional yang diharapkan untuk tidak digunakan lagi. Refrigeran jenis tersebut adalah Refrigeran yang mempunyai efek buruk terhadap lingkungan, dimana Refrigeran jenis ini mempunyai ODP (*Ozon*

*Depleting Potential*) yang tinggi. Dengan adanya efek buruk dari penggunaan Refrigeran R-12, maka muncul inisiatif untuk mengganti Refrigeran yang ada pada perangkat pendinginan udara tersebut dengan Refrigeran yang lebih ramah lingkungan seperti Refrigeran R-134a. Namun sifat thermophysical antara R-12 dan R134a sangat mirip, dengan alasan ini maka produksi dan penggunaan R-134a akan berakhir dalam waktu dekat ini.

Sistem pendinginan pada umumnya dirancang dengan derajat exhibilitas operasional yang tinggi. Hal tersebut untuk memungkinkan suatu sistem pendingin mengatasi variasi-variasi yang terjadi pada kondisi operasi. Pergantian Refrigeran dari R-12 dan R-134a ke Refrigeran lainnya yang lebih ramah lingkungan sangat mempengaruhi performansi dari alat-alat sistem pendingin. Sistem pendinginan udara dapat menunjukkan performansi maksimal pada saat sistem tersebut berjalan dengan Refrigeran tertentu sebagai fluida kerja. Pada saat dilakukan penggantian Refrigeran dalam suatu sistem pendinginan udara, maka kinerja sistem pendinginan udara tersebut tidak bisa memberikan performansi seperti sebelum dilakukan penggantian. Akan tetapi ada kemungkinan sistem tersebut mampu bekerja mendekati maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan studi eksperimental pengaruh penggantian Refrigeran pada sistem pendinginan udara untuk mengetahui performansi maksimal sistem tersebut. Pemilihan Refrigeran LPG adalah salah satu alternatif untuk menggantikan Refrigeran R-134a karena hidrokarbon selain rendah terhadap ODP (*Ozone Depletion Potentials*) juga rendah terhadap GWP (*Global Warming Potentials*), namun penggantian Refrigeran pada sistem pendingin dengan instalasi yang sama dapat memberikan hasil performansi yang berbeda, hal ini disebabkan karena perbedaan masa jenis Refrigeran sehingga laju aliran massa Refrigeran juga berbeda. (Stocker, Supratman Hara.1992)

Refrigeran sendiri merupakan fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi, karena dialah yang menggunakan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. Namun pada dasarnya refrigerasi merupakan salah satu penyebab timbul-timbulnya masalah kontemporer terhadap adanya pemanasan global. Ashrae

(2005) mendefinisikan refrigeran sebagai fluida kerja di dalam mesin refrigerasi pengkondisian udara, dan sistem pompa kalor refrigeran menyerap panas dari satu lokasi dan membuangnya ke lokasi lain melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Hal ini yang menyebabkan terjadinya masalah pemanasan global, dibuangnya udara panas keluar yang mengandung gas CO<sub>2</sub> menyebabkan munculnya lubang ozon karena suplai panas tersebut.

Fatouh M,(2005) melakukan penelitian untuk mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan LPG sebagai refrigeran pengganti pada sistem refrigerasi. Selain itu, Bilal A. Akash (2003) juga melakukan penelitian yang serupa, dimana penggunaan LPG lokal sebagai refrigeran pengganti dari R-12 (refrigeran yang membuat efek pemanasan global dan penipisan lapisan ozon).

Kondensor adalah salah satu komponen penting dari mesin pendingin yang salah satu fungsinya sebagai *heat exchanger* yaitu memindahkan panas dari sistem ke lingkungan. Agar kondensor dapat bekerja dengan baik, kondensor perlu didinginkan supaya dapat memindahkan panas lebih cepat. Media pendingin yang paling umum digunakan adalah udara karena konstruksinya yang sederhana. Akan tetapi media pendingin ini masih dianggap kurang efektif. (Stocker, Supratman Hara. 1992.)

Melihat penelitian sebelumnya, penulis mencoba memberikan solusi dengan suatu penelitian pengembangan mesin refrigerasi menyangkut pengoptimalan fungsi kondensor dengan melakukan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh AAIAS Komala Dewi dan IGK Sukadana (2007) dengan menganalisis variasi panjang kondensor. Diharapkan penelitian lanjutan ini dapat membantu memperbaiki koefisien prestasi dan penghematan energy pada mesin refrigerasi.

Penelitian diharapkan dengan suatu penelitian pengembangan mesin refrigerasi menyangkut pengoptimalan fungsi kondensor. Percobaan ini menggunakan LPG sebagai refrigeran dengan penambahan variasi *tube and tube condenser* pada sistem refrigerasi. Pada akhirnya penelitian ini dapat memperbaiki koefisien prestasi mesin pendingin sehingga bisa menghemat energi dan dapat



melihat LPG menjadi refrigeran *non-ozon depleting substance*(non-ODS) dan *non Global warming potential* (non-GWP).

## 1.2. Perumusan Masalah

Sesuai dengan maksud dan tujuan Tugas Akhir maka dapat dijelaskan suatu perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Pengaruh pemasangan *tube and tube condenser* dengan variasi kecepatan aliran air terhadap dampak refrgerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, pada mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.
2. Bagaimana pengaruh pemasangan *tube and tube condenser* dengan variasi kecepatan alir terhadap prestasi kerja mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG

## 1.3. Batasan Masalah dan Asumsi

1. Properti dari fluida pemanas konstan sepanjang aliran
2. Sistem terisolasi sempurna
3. Tidak menghitung perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi pada sistem
4. Kondisi dalam sistem mesin pendingin setelah penyalaan selama 1 jam diasumsikan *steady state*
5. Suhu pipa pada setiap titik yang diamati diasumsikan suhu refrigeran

## 1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Tujuan

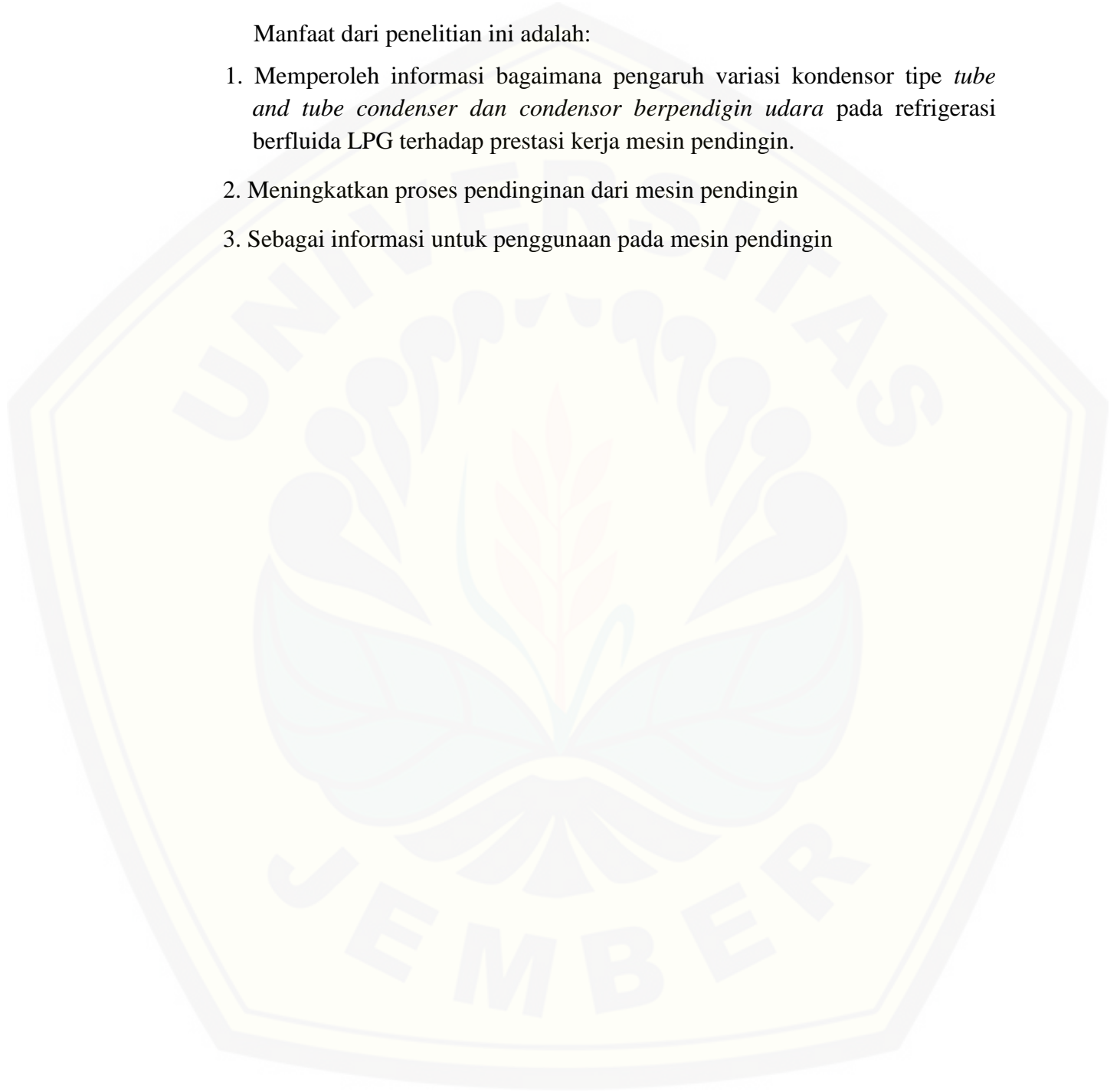
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi pemasangan tipe kondensor *tube and tube* pada refrigerasi berfluida LPG terhadap prestasi kerja mesin pendingin
2. Mengetahui perbandingan dampak refrigerasi kerja kompresor kapasitas refrigerasi pada prestasi kerja mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG dari pemasangan *tube and tube condenser* dengan tanpa pemasangan *tube and tube condenser*?

#### 1.4.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh informasi bagaimana pengaruh variasi kondensor tipe *tube and tube condenser* dan *condensor berpendingin udara* pada refrigerasi berfluida LPG terhadap prestasi kerja mesin pendingin.
2. Meningkatkan proses pendinginan dari mesin pendingin
3. Sebagai informasi untuk penggunaan pada mesin pendingin



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Refrigerasi Sederhana

Sistem refrigerasi yang umum dan mudah dijumpai pada aplikasi sehari-hari, baik untuk keperluan rumah tangga, komersial, dan industri, adalah sistem refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration*). Pada sistem ini terdapat refrigeran (*refrigerant*), yakni suatu senyawa yang dapat berubah fase secara cepat dari uap ke cair dan sebaliknya. Pada saat terjadi perubahan fase dari cair ke uap, refrigeran akan mengambil kalor (panas) dari lingkungan. Sebaliknya, saat berubah fase dari uap ke cair, refrigeran akan membuang kalor (panas) ke lingkungan sekelilingnya (Stoecker, 1992).



Gambar 2.1 Komponen Lemari Es(sumber : Stoecker, 1992.)

Komponen utama dari suatu sistem refrigerasi kompresi uap adalah:

- |                 |   |
|-----------------|---|
| a. Evaporator   | d. Filter                                   |
| b. Pipa Kapiler | e. Kompresor                                |
| c. Kondensor    | f. Alat ekspansi ( <i>metering device</i> ) |

### 2.1.1 Evaporator

Evaporator adalah komponen yang digunakan untuk mengambil kalor dari suatu ruangan atau suatu benda yang bersentuhan dengannya. Pada evaporator terjadi pendidihan (*boiling*) atau penguapan (*evaporation*), atau perubahan fasa refrigeran dari cair menjadi uap (Stoecker 1996). Refrigeran pada umumnya memiliki titik didih yang rendah, seperti: refrigeran 22 (R22) memiliki titik didih pada suhu  $-41^{\circ}\text{C}$ , sehingga refrigeran mampu menyerap kalor pada temperatur yang sangat rendah.

Evaporator dapat berupa koil telanjang tanpa sirip (*bare pipe coil*), koil bersirip (*finned coil*), pelat (*plate evaporator*) *shell and coil*, atau *shell and tube evaporator*. Jenis evaporator yang digunakan pada suatu sistem refrigerasi tergantung pada jenis aplikasinya (Stoecker 1992).



Gambar 2.2 Evaporator (sumber : <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Elektro/Kulkas/komponen.html>.)

### 2.1.2 Pipa Kapiler

Pipa kapiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem refrigerasi. Pipa kapiler melayani hampir semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10 kW. Pipa kapiler mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 m, dengan diameter dalam 0,5 hingga 2 mm (Stoecker, 1992). Pada pipa kapiler cairan refrigeran memasuki pipa kapiler

tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang disebabkan oleh gesekan dan percepatan refrigeran. Sejumlah cairan berubah menjadi uap ketika refrigeran mengalir melalui pipa ini.

Keuntungannya yang lebih banyak menyebabkan pipa kapiler diterima secara umum untuk sistem-sistem yang dirakit di pabrik. Bentuknya sederhana tanpa komponen yang bergerak dan murah. Pipa-pipa tersebut juga memungkinkan tekanan didalam sistem merata selama sistem tak bekerja, sehingga motor penggerak kompresor mempunyai momen gaya awal yang kecil. Kerugian dari pipa kapiler bahwa pipa-pipa tersebut tidak dapat diatur terhadap kondisi beban yang berubah-ubah, mudah terganggu oleh adanya penyumbatan oleh benda asing dan memerlukan jumlah pengisian refrigeran berada dekat batas. Pendapat terakhir ini mengharuskan pipa kapiler hanya digunakan pada sistem yang diberi preparat secara hermetic yang kurang memungkinkan adanya kebocoran (Stoecker, 1992). Pipa kapiler dirancang untuk sebagian kondisi operasi dan setiap perubahan beban kalor atau suhu kondensor dari keadaan yang dirancang, akan menyebabkan penurunan efisiensi kerjanya (Stoecker, 1992)



Gambar 2.3 Pipa Kapiler (sumber : <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Elektro/Kulkas/komponen.html>.)

Fungsi pipa kapiler juga untuk membuat cairan freon dingin yang berasal dari kondensor terpancar dalam bentuk kabut sehingga suhu penguapan dari evaporator menjadi sangat rendah. Semakin besar diameter pipa kapilernya semakin kecil tingkat pengkabutannya dan semakin jauh daya pancar cairan pendinginnya yang bisa

berakibat bahan pendingin kembali ke kompresor masih dalam bentuk cair (seharusnya sudah dalam bentuk gas) ini membahayakan kompresor. (Stoecker, 1992)

### 2.1.3 Kompresor

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



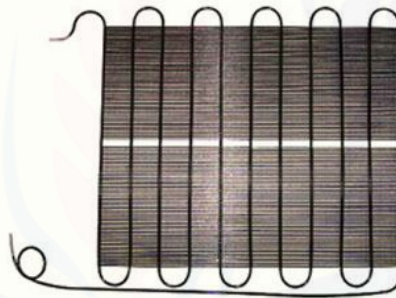
Gambar 2.4 Kompresor (Sumber: <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Elektro/Kulkas/komponen.html>)

Kompresor pada sistem refrigerasi dapat berupa kompresor torak (*reciprocating compressor*), *rotary*, *scrol*, *screw*, dan *centrifugal*. Kompresor yang paling umum dijumpai dan terdapat dalam berbagai tingkat kapasitas adalah kompresor torak. Refrigeran yang masuk ke dalam kompresor harus benar-benar berfase uap. Cairan yang masuk ke kompresor dapat menyebabkan kerusakan pada piston, silinder, piston ring dan batang torak, sehingga beberapa jenis mesin

refrigerasi dilengkapi dengan *liquid receiver* untuk memastikan refrigeran yang dihisap oleh kompresor benar-benar telah berfasa uap (Stoecker, 1992).

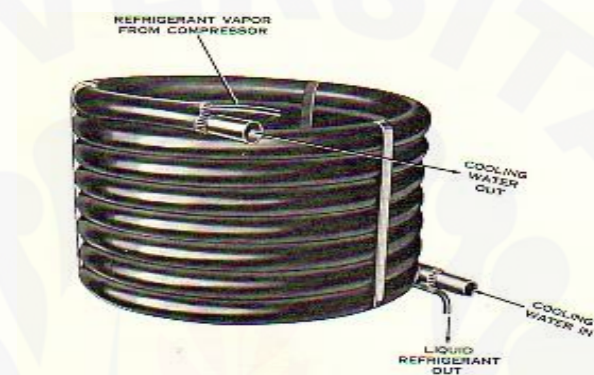
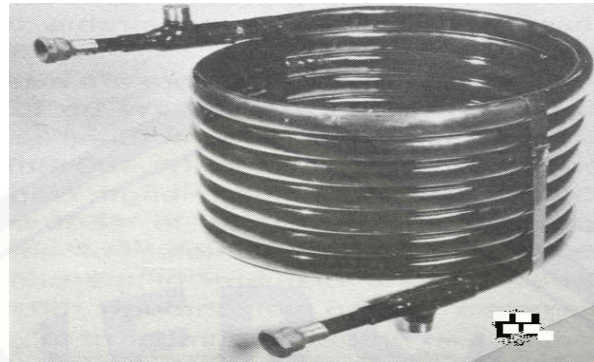
#### 2.1.4 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengembungkan atau mengkondensasikan refrigeran bertekanan tinggi dari kompresor. Pemipaan yang menghubungkan antara kompresor dengan kondensor dikenal dengan saluran buang (*discharge line*). Hal tersebut menyebabkan perubahan pada kondensor dari fase uap ke cair ini yang selalu disertai dengan pembuangan kalor ke lingkungan. Pada kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke udara. Pada kondenser berpendingin air (*water cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke air.



Gambar 2.5 Kondensor pendingin udara (Sumber: <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Elektro/Kulkas/komponen.html>)

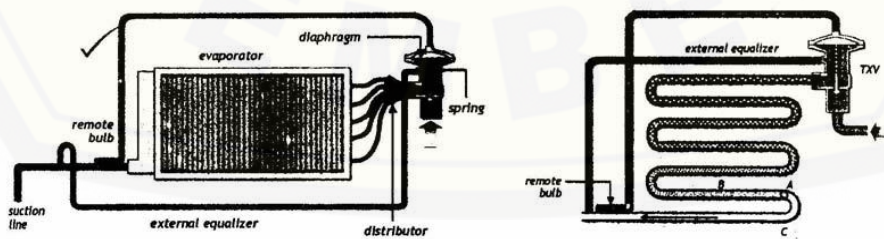
Kondensor pada kulkas berpendingin air sangat jarang digunakan yang biasanya secara umum pendinginya menggunakan udara. Kondesor yang berpendingin air ini adalah tipe kondensor tube and tube yang hampir sama dengan Heat Exchanger. Lihat gambar di bawah ini



Gambar 2.6 Tipikal kondensator dengan pendingin air, tube-in tube. (sumber: <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Elektro/Kulkas/komponen.html>.)

### 2.1.5 Alat Ekspansi (*Metering Device*)

Komponen ini berfungsi memberikan satu cairan refrigeran dalam tekanan rendah ke Evaporator sesuai dengan kebutuhan. Pada alat ekspansi terjadi penurunan tekanan refrigeran akibat adanya penyempitan aliran. Alat ekspansi dapat berupa pipa kapiler, katup ekspansi termostatik (*Thermostatik Expansion Valve* (TXV), Gambar 2.2), katup ekspansi *otomatik*, maupun katup ekspansi manual.



Gambar 2.7 *Thermostatic expansion valve* (sumber : Stocker, 1992.)



## 2.1.6 Komponen Pendukung pada Sistem Refrigerasi

### 2.1.6.1 Solenoid Valve

Pada sistem refrigerasi, *solenoid valve* atau katup solenoid dapat digunakan untuk menyekat aliran refrigeran pada saat sistem tidak sedang bekerja. Pada berbagai aplikasi, katup solenoid juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk penghilangan bunga es pada evaporator dengan metode *hot gas defrosts*.

### 2.1.6.2 Filter Dryer

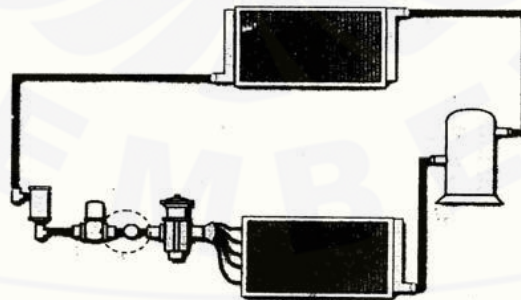
Komponen ini berfungsi menyaring kotoran dan menghilangkan uap air yang kemungkinan masih tertinggal pada sistem refrigerasi. *Filter dryer* dipasang pada *liquid line*, yakni saluran yang menghubungkan antara keluaran kondenser dengan alat ekspansi (Stoecker, 1992).

### 2.1.6.3 Sight Glass

Alat ini digunakan untuk mengamati secara visual kondisi refrigeran pada *liquid line*. Apabila ada pada *sight glass* terlihat ada gelembung, berarti kondensasi pada kondensor tidak berlangsung secara sempurna. Selain itu, dari warna yang tampak pada alat ini dapat dilihat apakah refrigeran pada sistem refrigerasi masih mengandung uap air atau tidak (Stoecker, 1992).

### 2.1.6.4 Access Port / Service Valve

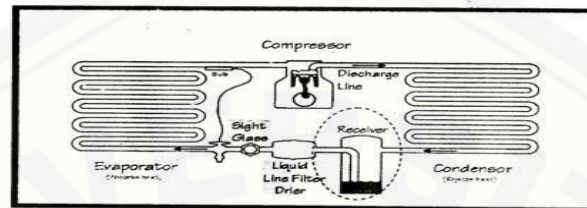
Alat ini digunakan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian refrigeran. Alat ini juga dapat digunakan untuk keperluan *pumpdown*.



Gambar 2.8 *Filter Dryer dan Sight Glass* sumber : (Sumber: Stoecker, 1992)

### 2.1.6.5 Liquid Receiver

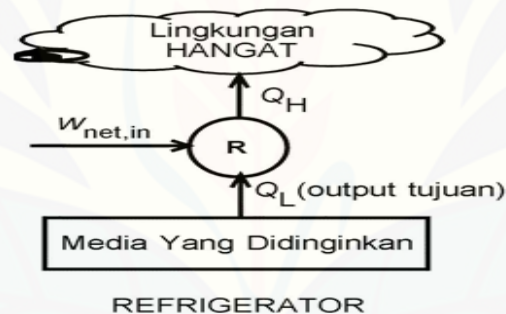
Alat ini digunakan untuk menampung refrigeran cair yang berasal dari kondenser. *Liquid receiver* dipasang pada *liquid line* sebelum *filter dryer* dan *sight glass*.



Gambar 2.9 *Liquid Receiver* (Sumber: mymediashare.wordpress.com)

## 2.2 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi adalah siklus kerja yang mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem. Ilustrasi tentang *refrigerator* di bawah,



Gambar 2.10 Skema *Refrigerator* (Sumber: mymediashare.wordpress.com)

Siklus refrigerasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*) dimana refrigeran mengalami proses penguapan dan kondensasi, dan dikompresi dalam fasa uap.
2. Siklus gas (*gas refrigeration cycle*), dimana refrigeran tetap dalam kondisi gas.
3. Siklus bertingkat (*cascade refrigeration cycle*), dimana merupakan gabungan lebih dari satu siklus refrigerasi.
4. Siklus absorpsi (*absorption refrigeration cycle*), dimana refrigeran dilarutkan dalam sebuah cairan sebelum dikompresi.

5. Siklus termoelektrik (*thermoelectric refrigeration cycle*), dimana proses refrigerasi dihasilkan dari mengalirkan arus listrik melalui 2 buah material yang berbeda.

### 2.2.1 Dampak Refrigerasi dan Kerja Kompresi dari Sistem Refrigeran

Pada suatu sistem refrigerasi, besarnya kalor yang diambil oleh refrigeran pada evaporator dari lingkungannya akan sebanding dengan selisih entalpi antara keluaran dan masukan evaporator, ini dikenal dengan sebutan efek refrigerasi,  $q_E$  atau

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

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

$h_1$  = Entalpi refrigeran keluaran evaporator, (kJ/kg)

$h_4$  = Entalpi refrigeran masukan evaporator, (kJ/kg)

Pada proses kompresi, entalpi refrigeran akan mengalami kenaikan akibat energi yang ditambahkan oleh kompresor kepada refrigeran. Besarnya kenaikan energi refrigeran akan sebanding dengan kerja kompresor (Stoecker, 1992) yang dinyatakan dengan:

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

di mana:

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

$h_1$  = Entalpi refrigeran keluaran kompresor, (kJ/kg) atau (Btu/lb)

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

### 2.2.2 Kapasitas Refrigerasi

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

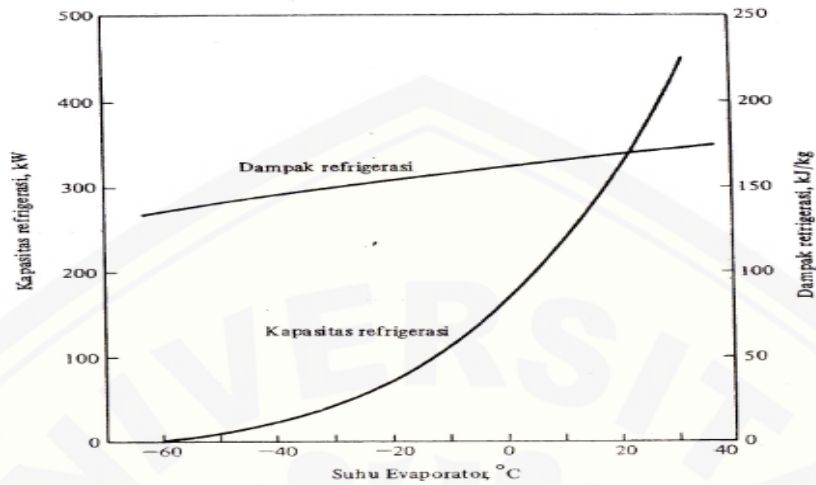
$$q = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots \dots \dots (2.3)$$

$q$  = Kapasitas refrigerasi, (kJ/kg) atau (Btu/lb)

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

$h_1$  = Entalpi refrigeran keluaran evaporator, (kJ/kg)

$h_4$  = Entalpi refrigeran masukan evaporator, (kJ/kg)

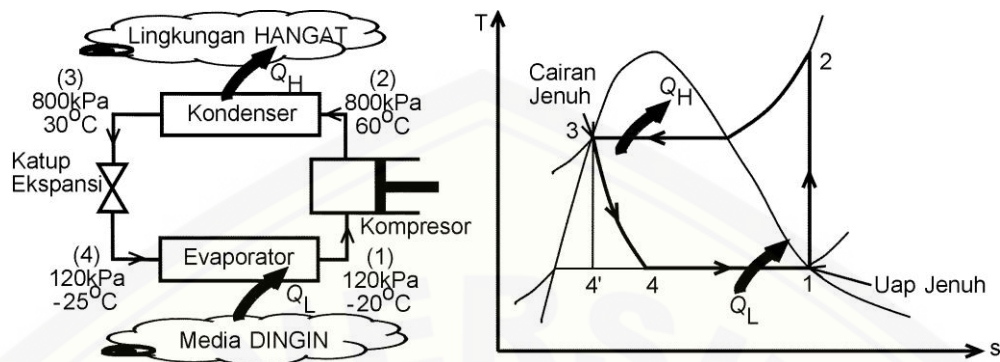


Gambar 2.11 Kapasitas Refrigeran terhadap Suhu Evaporator(sumber : Stocker, 1992.)

Dampak refrigerasi naik sedikit dengan naiknya tekanan hisap seperti terlihat dalam Gambar 2.11, asalkan entalpi refrigeran yang memasuki katup ekspansi tetap konstan. Kenaikan ini disebabkan oleh entalpi uap jenuh yang sedikit lebih tinggi pada suhu evaporator yang lebih tinggi. Dalam Gambar 2.11 dapat juga dilihat kapasitas refrigerasi yang dihitung dengan persamaan 2.3. Kapasitas tersebut akan berharga nol pada titik dimana laju aliran massa berharga nol. Kapasitas refrigerasi dapat dilipat duakan, misalnya dengan menaikkan suhu evaporator dari 0 hingga 20°C.

### 2.2.3 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Gambar 3.1 menunjukkan siklus refrigerasi kompresi uap ideal secara skematis. Refrigeran dalam kondisi uap jenuh masuk ke kompresor dan keluar sebagai uap panas lanjut. Refrigeran kemudian masuk ke kondensor untuk melepas kalor sehingga terjadi kondensasi sampai ke kondisi cairan jenuh. Keluar kondensor refrigeran masuk ke katup ekspansi untuk menjalani proses pencekikan (*throttling*) sehingga mengalami penurunan tekanan dan berubah menjadi campuran jenuh. Proses terakhir ini bisa juga diganti dengan sebuah turbin isentropis untuk menaikkan kapasitas pendinginan dan menurunkan kerja input (dengan kompensasi kompleksnya sistem). Selanjutnya refrigeran masuk ke evaporator untuk menyerap kalor sehingga terjadi proses evaporasi dan siap untuk dilakukan langkah kompresi berikutnya.



Gambar 2.12 Skema Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

(sumber:mymediashare.wordpress.com.)

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal dapat digambarkan dalam diagram  $T-s$  seperti gambar 2.11. Proses-proses yang terjadi adalah

1-2 : Kompresi isentropis dalam kompresor

Kompresi merupakan proses yang terjadi kompresor yang menekan refrigeran atau freon secara reversibel dan isentropik. Kerja atau usaha yang diberikan pada refrigeran akan menyebabkan kenaikan pada tekanan sehingga temperatur refrigeran akan lebih besar dari temperatur lingkungan atau refrigeran akan mengalami fasa superheat.

2-3 : Pembuangan kalor secara isobaris dalam kondensor (kondensasi)

Kondesasi merupakan proses pelepasan kalor refrigeran ke lingkungan sehingga fasanya berubah menjadi uap cair jenuh tetapi tekanan temperaturnyamasih tetap tinggi. Media pengembunan refrigeran pada kondensor bisa berupa udara (*air cooled condensor*), air (*water cooled condensor*) atau campuran udara dan air (*evaporative condensor*)

3-4 : *Throttling* dalam katup ekspansi atau tabung kapiler (ekspansi)

Ekspansi merupakan proses penurunan secara adiabatik pada tekanan dan temperatur lingkungan.

4-1 : Penyerapan kalor secara isobaris dalam evaporator (evaporasi)

Setelah refrigerasi diekspansikan secara irreversibel adiabatik menjadi cairan jenuh, refrigeran akan memiliki tekanan dan temperatur rendah sehingga akan

menerima sejumlah kalor dari lingkungan yang didinginkan dan refrigeran berubah seluruhnya menjadi uap jenuh yang kemudian masuk ke kompresor kemudian disirkulasikan kembali.

Persamaan energi untuk komponen-komponen refrigerator bisa dituliskan sebagai berikut:

$$q - w = h_e - h_i \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana diasumsikan perubahan energi kinetik dan potensial bisa diabaikan.

Dari notasi-notasi pada gambar di atas maka  $COP_R$  dapat dituliskan sebagai berikut:

$$COP_R = \frac{q_L}{w_{net,in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(2.5)$$

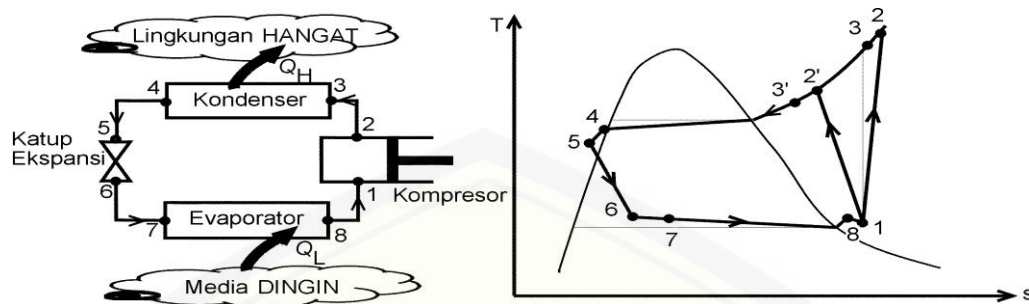
Perbandingan antara besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator dengan kerja kompresor yang harus diberikan disebut sebagai koefisien kinerja (*coefficient of performance* (COP) Kinerja suatu *refrigerator* dinilai dari besarnya koefisien kinerja (*coefficient of performance* (COP) yang didefinisikan sebagai berikut;

$$COP_R = \frac{\text{output tujuan}}{\text{kerja yang dibutuhkan}} = \frac{\text{efek pendinginan}}{\text{input kerja}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}} \dots\dots\dots(2.6)$$

#### 2.2.4 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

*Refrigerator* akan bekerja dengan suatu proses yang menyimpang dari siklus idealnya akibat ireversibilitas dalam tiap komponennya. Ireversibilitas ini pada umumnya disebabkan oleh gesekan fluida dan perpindahan kalor dari atau ke lingkungan sekitar. Pada siklus refrigerasi kompresi uap berhubungan dengan diagram perbandingan suhu dan entropi seperti pada Hukum Termodinamika ke 2.

Siklus refrigerasi kompresi uap aktual dapat digambarkan secara skematis seperti gambar di bawah.



Gambar 2.13 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual (sumber: mymediashare.wordpress.com.)

Hal-hal yang terjadi dalam siklus aktual:

1. Refrigeran sudah dalam kondisi uap panas lanjut sebelum masuk ke kompresor.
2. Akibat cukup panjangnya pipa penghubung kompresor-evaporator akan mengakibatkan rugi tekanan. Rugi tekanan yang disertai peningkatan volume spesifik dari refrigeran membutuhkan power input yang lebih besar.
3. Dalam proses kompresi ada rugi gesekan dan perpindahan kalor yang akan meningkatkan entropi (1-2) atau menurunkan entropi (1-2') dari refrigeran tergantung kepada arah perpindahan kalornya.

Proses (1-2') lebih disukai karena volume spesifiknya turun sehingga power input bisa lebih kecil. Hal ini bisa dilakukan apabila dilakukan pendinginan dalam langkah kompresi.

4. Di dalam kondenser akan terjadi juga rugi tekanan.
5. Refrigeran dalam kondisi cairan terkompresi ketika masuk dalam katup ekspansi.

### 2.3 Pemilihan Refrigeran

Jenis refrigeran adalah sangat banyak dimana pemilihan refrigeran secara tidak tepat akan bisa membuat kerja refrigerator menjadi tidak optimal. Jenis Refrigeran ada 2 yaitu refrigeran sintetis dan alami. Kelompok refrigeran sintetis meliputi refrigeran CFC (Chlorofluorocarbon) Kelompok refrigeran senyawa anorganik dan halokarbon kelompok refrigeran ini diberi nomor yang dimulai dengan angka 7 dan digit selanjutnya menyatakan berat molekul dari senyawanya, contoh dari refrigeran ini adalah:

R-702 : hidrogen

R-704 : helium

R-717 : amonia

R-718 : air

R-744 : O<sub>2</sub>

R-764 : SO<sub>2</sub>

Tabel 2.1 Kelompok Refrigeran Organik penyusun LPG (sumber: Calm and Houran, 2001)

Ketentuan penomeran+	Nama Kimia	Rumus Kimia
600	n-Butana	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
290	Propana	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
600a	Iso-Butana	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>

#### Kelompok refrigeran senyawa halokarbon

diturunkan dari hidrokarbon (HC) yaitu metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), atau dari propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) dengan mengganti atom-atom hidrogen dengan unsur-unsur halogen seperti khlor (Cl), fluor (F), atau brom (Br). Jika seluruh atom hidrogen tergantikan oleh atom Cl dan F maka refrigeran yang dihasilkan akan terdiri dari atom khlor, fluor dan karbon. Refrigeran ini disebut refrigeran *chlorofluorocarbon* (CFC). Jika hanya sebagian saja atom hidrogen yang digantikan oleh Cl dan atau F maka refrigeran yang terbentuk disebut *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC). Refrigeran halokarbon yang tidak mengandung atom khlor disebut *hydrofluorocarbon* (HFC).

Kemudian kelompok refrigeran alami adalah refrigeran senyawa refrigeranorganik. Kelompok refrigeran ini sebenarnya terdiri dari unsur C, H dan lainnya. Namun demikian cara penulisan nomornya tidak dapat mengikuti cara penomoran refrigeran halokarbon karena jumlah atom H nya jika ditambah dengan 1 lebih dari 10 sehingga angka kedua pada nomor refrigeran menjadi dua digit. Sebagai



contoh butana ( $C_4H_{10}$ ), jika dipaksakan dituliskan sesuai dengan cara penomoran refrigeran halokarbon, maka refrigeran ini akan bernomor R-3110 sehingga akan menimbulkan keracunan.

Nomor kelompok *refrigeran* digit lainnya dipilih berdasarkan kesepakatan. Contoh *refrigeran* dari kelompok ini meliputi butana,propana dan isobutana.

Berikut ini merupakan kelompok refrigeran menurut Calm and Hourahan beserta properti (tabel komposisi,berat molekul dan temperatur kritis) yang mendukung bahwa propana, butana, dan iso-butana dapat menjadi refrigeran organik.

Tabel 2.2 Properties of macam-macam refrigeran (sumber: Calm and Houran, 2001)

Refrigerant	Composition	Replaces	Molecular (wt)	Critical temperature (°C)	Boiling point (°C)	ASHARAE safety code
R404A	R125/R143a/R134a (44:52:4)	R502, R22	97.6	72.1	-46.5	A1
R407C	R32/R125/R134a (23:25:52)	R22	86.2	87.3	-43.56	A1
R410A	R32/R125 (50:50)	R22	72.58	72.5	-51.53	A1
R417A	R125/R134a/R600 (46.6:50:3.4)	R22	106.75	89.9	-38.0	A1
R161	Pure fluid	R502	89.41	102.2	-46.08	A1
R134a	Pure fluid	R12	102.03	101.1	-26.5	A1
R152a	Pure fluid	R12, R134a	66.05	113.3	-24	A2
R600a	Pure fluid	R12, R134a	58.12	134.7	-11.6	A3
R600	Pure fluid	R12, R22	58.12	152	-0.5	A3
R290	Pure fluid	R12, R22	44.1	96.7	-42.1	A3
RC270	Pure fluid	R12, R134a	42.08	125.2	-33.5	A3
R1270	Pure fluid	R22	42.08	92.4	-47.7	A3
R717	Pure fluid		17.03	132.3	-33.3	B1
R744	Pure fluid	R22, R12	44.01	31.1	-78.4	A1
R507	R125/R143a (50:50)	R502	98.9	70.9	-47.1	A1
R123	Pure fluid	R22, R11, R12	152.93	183.8	27.8	A1
R12	Pure fluid	-	120.93	112	-29.79	A1
R22	Pure fluid	-	86.47	96.2	-40.8	A1
R502	R22/R115 (48.8/51.2)	-	111.64	80.7	-45.4	A1

### 2.3.1 Chlorofluorocarbon CFC

Dengan merek dagang Freon, refrigeran jenis ini adalah yang paling banyak dipakai tetapi karena sifatnya yang berupa ODS maka pemakaiannya di negara-negara maju sudah sangat dibatasi. Jenis-jenis freon antara lain R-11 (AC dengan kapasitas besar), R-12 (AC dan *freezer* dalam rumah tangga), R-22 (*heat pump* dan AC bangunan komersial dan industri besar), R-502 (*chiller* supermarket) dll. Jenis Freon yang bukan ODS adalah R-134a.

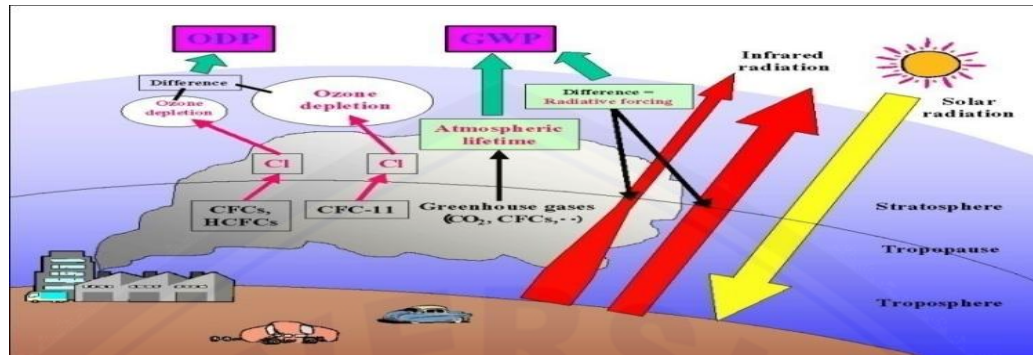
Refrigeran 11 dan refrigeran 113, refrigeran ini populer untuk sistem-sistem kompresor sentrifugal. Refrigeran 12 digunakan dengan kompresor torak untuk melayani refrigrasi rumah tangga dan di dalam pengkondisian udara kendaraan

otomotif. Refrigeran R22 hampir sama dengan refrigeran R12 digunakan pada refrigerasi rumah tangga dan di dalam pengkondisian udara kendaraan otomotif namun biaya kompresor dapat lebih murah jika menggunakan refrigeran ini, oleh sebab itu refrigeran ini telah banyak mengambil alih peran refrigeran R12. Refrigeran R502 adalah jenis refrigeran terbaru, dengan sejumlah keuntungan seperti yang dimiliki refrigeran R22, tetapi mempunyai kelebihan dari sifatnya terhadap minyak dan suhu buang (*discharge temperature*) yang lebih rendah dibanding refrigeran R22.

### 2.3.2 Masalah Akibat Jenis Refrigeran CFC

Pada dasarnya sebagian besar jenis refrigeran menimbulkan masalah terutama pada penggunaan refrigeran berbasis non-ODP dan non-GWP. Chlorofluorocarbon (CFC) dan hydrochlorofluorocarbons (HCFC) dapat mempengaruhi ozon stratosfir dan perubahan iklim, sedangkan hidrofluorokarbon (HFC) dapat mempengaruhi perubahan iklim. Meminimalkan semua rilis refrigeran dari sistem ini penting tidak hanya karena dampak lingkungan, tetapi juga karena kerugian biaya menyebabkan tingkat biaya sistem yang tidak memadai, yang pada gilirannya menghasilkan operasi optimal dan efisiensi diturunkan. Filter lapisan ozon stratosfir di luar bagian UV-B (UV) radiasi ultraviolet matahari. *Overexposure* untuk radiasi ini meningkatkan risiko kanker kulit, katarak dan sistem kekebalan yang terganggu. Hal ini juga dapat merusak tanaman sensitif, mengurangi hasil panen, dan stres *fitoplankton* laut (dan dengan demikian pasokan makanan manusia dari lautan). Selain itu, paparan radiasi UV merusak plastik dan kayu.

Penipisan ozon stratosfer telah dikaitkan dengan keberadaan klorin dan bromin di stratosfer. Kimia atmosfer dengan masa hidup yang panjang dapat bermigrasi ke stratosfer, dimana molekul memecah dari interaksi dengan sinar ultraviolet atau melalui reaksi kimia. Bahan kimia seperti CFC dan HCFC melepaskan klorin, yang bereaksi dengan ozon stratosfer.

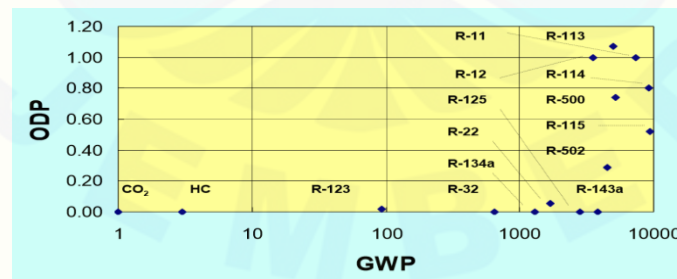


Gambar 2.14 Bahaya Refrigeran(sumber:Calm and Houran, 2001)

BPO termasuk CFC dan HCFC, harus dihapus dari produksi di bawah Protokol Montreal. Peraturan Amerika Serikat untuk CFC dan HCFC dapat dilihat di <http://www.epa.gov/ozone/strathome.html>. Alliance Kebijakan Atmosfer Bertanggung Jawab (<http://www.arap.org/regs/>) juga sempat merangkul peraturan untuk beberapa negara. CFC dan refrigeran HCFC reklamasi yang memenuhi persyaratan Standar 700 ISPA dapat terus digunakan untuk sistem refrigerasi yang ada.

### 2.3.3 Refrigeran Hidrokarbon

Refrigeran-refrigeran hidrokarbon dapat digunakan sebagai alternative pengganti CFC ,dan HCFC. Refrigeran ini memiliki ODS nol dan GWP rendah, dan dapat digunakan langsung pada sistem CFC dan HCFC penghematan daya yang cukup signifikan.dan dapat diperoleh dengan harga yang lebih murah.



Gambar 2.15 Nilai ODP dan GWP Refrigeran (Sumber : AryadiSuwono, 2008)

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan refrigeran:

1. Temperatur media yang akan didinginkan.

Disini perlu perbedaan temperatur yang cukup antara media dan refrigeran (yang optimal 5~10°C). Misal, untuk mendinginkan media pada temperatur -10°C maka temperatur refrigeran adalah sekitar -20°C.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah tekanan minimum (tekanan dalam evaporator) dalam sistem harus sedikit lebih besar dari tekanan atmosfer untuk mencegah masuknya udara masuk dalam sistem perpipaan. Dengan kata lain refrigeran harus mempunyai tekanan jenuh sedikit lebih besar dari 1 atm pada -20°C (dalam contoh di atas).

2. Temperatur media dimana panas dibuang

Temperatur ini akan menentukan temperatur minimum refrigeran. Misal, untuk refrigerator rumah tangga maka refrigeran tidak boleh dibawah 40°C (kondisi Indonesia). Juga tekanan jenuh dari refrigeran di kondenser harus dibawah tekanan kritisnya.

Keuntungan lain dari refrigeran Organik adalah:

1. Refrigeran organic setelah diuji mempunyai nilai prestasi mesin yang lebih baik dibandingkan dengan refrigeran sintetik
2. Hidrokarbon adalah bahan alami (tidak menyebabkan ODP dan GWP)
3. Dapat diterapkan untuk hampir semua aplikasi dan sistem pendingin udara
4. *Refrigerant HC* mudah untuk memperoleh, tidak hanya di negara maju tetapi juga di negara berkembang, terutama di Indonesia di mana sumber daya alam yang melimpah
5. HC sudah bagian dari kehidupan kita sehari-hari (Bahan Bakar, Korek api, Semprot rambut, parfum dll botol)
6. Secara teknis layak menjadi pilihan yang aman, dan efisien untuk pendinginan, pemanasan dan pendinginan aplikasi.

## 2.4 LPG ( Liquefied Petroleum Gas )

### 2.4.1 Pengertian LPG

LPG (*liquified petroleum gas*, harafiah: "gas minyak bumi yang dicairkan") adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ). Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana ( $C_2H_6$ ) dan pentana ( $C_5H_{12}$ ).

Dalam kondisi atmosfer, elpiji akan berbentuk gas. Volume elpiji dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu elpiji dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung elpiji tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1. Tekanan di mana elpiji berbentuk cair, dinamakan tekanan uapnya, juga bervariasi tergantung komposisi dan temperatur; sebagai contoh, dibutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2.2 bar) bagi butana murni pada 20 °C (68 °F) agar mencair, dan sekitar 2.2 MPa (22 bar) bagi propana murni pada 55 °C (131 °F).

### 2.4.2 Komposisi LPG

Berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009, komposisi produk LPG minimal mengandung campuran Propane (C3) & Butane (C4) sebesar 97% dan maximum 2% merupakan campuran Pentane (C5) dan hidrokarbon yang lebih berat.

Batasan komposisi Propane (C3) dan Butane (C4) dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan (*145 psi*). Komposisi campuran LPG Pertamina yang mengandung 50% propane dan 50% butane telah sesuai dengan ketentuan tersebut baik dari aspek komposisi maupun

tekanan uapnya yang telah diperhitungkan sesuai kalori/daya bakar yang diperlukan untuk kebutuhan rumah tangga.

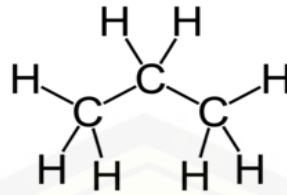
Komposisi tersebut telah digunakan sejak awal program konversi dan tidak mengalami perubahan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku yang ada mengingat propane banyak dihasilkan oleh gas yang berasal dari lapangan minyak dan gas, sedangkan butane dihasilkan dari kilang pengolahan minyak. Dari sisi keselamatan, komposisi tersebut merupakan komposisi yang optimum, karena komposisi campuran tersebut dijaga pada level tekanan 120 psi atau 8 bar atau 8 kali tekanan udara luar. Tekanan ini sepertiga dari tekanan kerja yang dirancang untuk katup LPG (yang ada pada bagian atas tabung LPG 12 kg maupun 3 kg) sebesar 24 bar. Selain itu komposisi tersebut juga telah mempertimbangkan keamanan dan kemampuan aksesoris sesuai standar SNI.

#### 2.4.3 Propana dan Butana

Propana adalah senyawa alkana tiga karbon ( $C_3H_8$ ) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tapi dapat dikompresi menjadi cairan yang mudah dipindahkan. Senyawa ini diturunkan dari produk petroleum lain pada pemrosesan minyak bumi atau gas alam. Propana umumnya digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin dan dalam hal ini propana mampu menjadi refrigerant hidrokarbon.

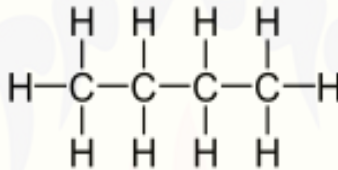
Propana mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Rumus Kimia :  $C_3H_8$
2. Massa molar : 44,1 g/mol
3. Penampilan : Tak berwarna
4. Densitas : 2,0089 mg/ml (at  $0^\circ C$ , 101,3 kPa)
5. Kelarutan dalam air : 40 mg/mL (at  $0^\circ C$ )
6. Tekanan Uap : 853,16 kPa (at  $21,1^\circ C$ )



Gambar 2.16 Gambar molekul Propana (Sumber: <http://wikipedia.molekul.com>)

Butana memiliki rumus kimia  $C_4H_{10}$ , juga disebut *n-butana*, adalah alkana rantai lurus dengan empat atom karbon  $CH_3CH_2CH_2CH_3$ . Butana sangat mudah terbakar, tidak berwarna dan merupakan gas yang mudah dicairkan. Nama butana diturunkan dari nama asam butirat ([wikipedia.com](http://wikipedia.com)).



Gambar 2.17 Gambar molekul Butana (Sumber: [http:// wikipedia.molekul.com](http://wikipedia.molekul.com))

Berdasarkan sejumlah penelitian menyimpulkan bahwa LPG bisa digunakan sebagai refrigeran. Berikut beberapa penelitian yang menggunakan LPG sebagai refrigeran.  $CH_3CH_2CH_2CH_3$ .

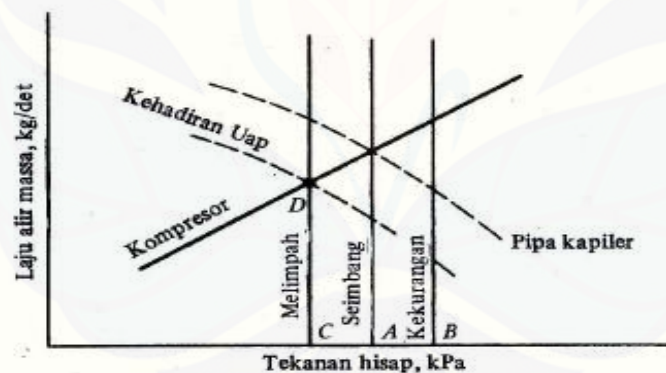
Tabel 2.3 Beberapa penelitian menggunakan refrigeran LPG (Sumber: Mohanraj, 2007)

Table 2 - Experimental investigations carried out in India with domestic refrigerators			
Authors	Refrigerant	Alternative	Conclusion
Devotta and Kulkarni (1996)	R12	R290/R600a	Energy consumption for CFC-12 and the hydrocarbon mixture are comparable The pull-down test results revealed that the final freezer and food compartment temperatures are very much higher when the refrigerator is retrofitted either with a hydrocarbon blend The performance was improved by optimum capillary length and refrigerant charge The ice making time for both the refrigerants are more or less the same
Sekhar et al. (2004)	R12	R134a/(R290/R600a) (R134a/9% HC mixture)	The energy consumption was reduced by 4-11% with 3-8% higher COP The discharge temperature was found to be lower than R12 Temperature glide in the evaporator is with in 3 °C
Mohanraj et al. (2007)	R134a	R290/R600a (45/55)	It has been reported that above mixture is an energy efficient and environment friendly alternative due to its reduced energy consumption about by about 4% with 12 K lower than that of R134a The environmental impacts of hydrocarbon refrigerant mixture are negligible compared to R134a

## 2.5 Beban Pendinginan dalam Siklus Refrigeran

Pipa kapiler melayani hampir semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil termasuk mesin pendingin lemari es. Pemilihan pipa yang dipakai biasanya berdasarkan perubahan-perubahan pada tekanan buang, tekanan hisap atau beban pendingin, kompresor dan alat ekspansi harus mampu mencapai kondisi-kondisi hisap dan buang yang memungkinkan evaporator memompa refrigeran dari evaporator yang sama besarnya dengan yang dilewatkan oleh alat ekspansi. Kondisi aliran yang setara atau seimbang antara dua komponen ini diperlukan secara temporer.

Kompresor dan pipa kapiler tidak mempunyai kebebasan penuh untuk menetapkan tekanan hisap karena relasai relasasi perpindahan kalor pada evaporator juga harus dipenuhi, bila perpindahan kalor pada evaporator tidak dipenuhi pada titik keseimbangan kompresor-pipa kapiler akan dihasilkan keadaan yang tidak seimbang yang dapat melampirkan/mengosongkan ataupun mengumpankan berlebih (overfeed) evaporator.



Gambar 2.18 Laju Aliran Massa Terhadap Tekanan Hisap Kompresor (Sumber: [wikipedia.org/wiki/.com](http://wikipedia.org/wiki/.com))

Kekosongan pada evaporator terjadi bila tekanan hisap bertambah tinggi dan pipa kapiler tidak dapat mensuplai refrigeran yang cukup untuk mendinginkan permukaan-permukaan evaporator. Dalam Gambar 2.18 dapat dilihat titik keseimbangan untuk suatu tekanan kondensator yang konstan antara kompresor dan pipa kapiler pada tekanan hisap A, bila evaporator menerima beban kalor yang berat



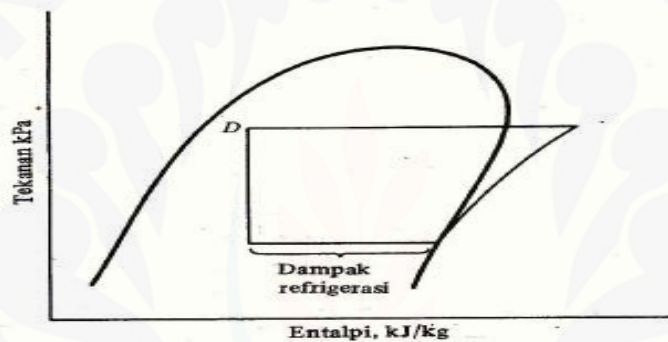
,atau bila suhu fluida yang akan didinginkan cukup tinggi, tekanan dan suhu hisap akan naik ke titik B. Pada tekanan hisap B, kompresor tersebut dapat menarik refrigeran lebih banyak dari evaporator daripada yang dapat disuplai oleh pipa kapiler, sehingga evaporator segera menjadi kekurangan refrigeran yang disebut “kelaparan”. Karena evaporator tidak dapat dikosongkan sama sekali maka harus terjadi suatu yang dapat mengembalikan keseimbangan. Kondisi yang baik untuk unit-unit yang tidak mempunyai penampung (*receiver*), tempat menampung cairan antara kondensor dan alat ekspansi, adalah mengembalikan cairan ke kondensor. Akibatnya, daerah pengembunan jadi berkurang dan tekanan kondensor naik. Dengan tingginya tekanan kondensor, kapasitas kompresor menurun dan laju pengumpanan oleh pipa kapiler naik hingga keseimbangan dikembalikan. Kemungkinan lain untuk mengembalikan laju aliran seimbang adalah turunnya koefisien perpindahan kalor pada evaporator yang kekurangan refrigeran tersebut. Perbedaan suhu yang lebih besar harus dibuat antara fluida yang akan didinginkan dan refrigeran didalam evaporator, dengan cara menurunkan tekanan hisap kembali ke titik A, dan pengembalian keseimbangan aliran.

Bila beban pendinginan menurun hingga kecil dari kapasitas refrigerasi di titik keseimbangan, akan dihasilkan kondisi tak seimbangan berlawanan. Bila beban refrigerasi tersebut rendah sekali, maka tekanan dan suhu hisap turun hingga ke titik C.

Pada tekanan hisap C, pipa kapiler dapat mensuplai lebih banyak refrigeran ke evaporator daripada yang dapat diserap oleh kompresor. Evaporator akan penuh dengan cairan dan melimpah ke kompresor, yang dapat menyebabkan kerusakan bila tidak dicegah. Pembanjiran kompresor dengan cara ini dapat dicegah dengan membatasi pengisian refrigeran ke dalam sistem. Refrigeran tersebut diukur dengan hati-hati sehingga terdapat jumlah yang cukup untuk mengisi evaporator, tetapi tidak berlebih. Keseimbangan aliran dikembalikan ketika jumlah gas memasuki pipa kapiler, yang menyebabkan turunnya laju pengumpanan oleh pipa tersebut karena

spesifik uap yang tinggi. Suatu titik keseimbangan yang baru ada pada titik D dalam Gambar 2.18.

Walaupun titik D menyatakan aliran yang seimbang, tapi bukanlah merupakan kondisi yang baik. Keadaan refrigeran saat memasuki pipa kapiler yang ditunjukkan pada diagram tekanan-entalpi dalam Gambar 2.15 berada dalam daerah campuran, yang menunjukkan dampak refrigerasi dibandingkan dengan keadaan bila cairan bawa dingin (*subcooled*) atau jenuh yang memasuki pipa kapiler. Dalam Gambar 2.16 setiap kilogram refrigeran mengalami penurunan dampak refrigerasi, tetapi kerja per kilogram tetap tak berubah.



Gambar 2.19 Dampak Refrigerasi Pada Pipa Kapiler (Sumber: [wikipedia.org/wiki/.com](http://wikipedia.org/wiki/.com))

## 2.6 Kondisi Steady State pada suatu sistem

Keadaan tunak (*steady state*) adalah kondisi sewaktu sifat-sifat suatu sistem tak berubah dengan berjalannya waktu atau dengan kata lain, konstan. Ini berakibat untuk setiap properti  $p$  dari system.

Pada kebanyakan sistem, keadaan *steady* baru akan dicapai beberapa waktu setelah sistem dimulai atau diinisiasi. Kondisi awal ini sering disebut sebagai keadaan transien.

Kesetimbangan dinamis adalah suatu kondisi khusus dari keadaan *steady* yang terjadi sewaktu dua atau lebih proses terbalikkan (*reversible process*) terjadi pada laju yang sama. Tetapi, sistem dalam keadaan *steady* tidak berarti harus berada dalam kesetimbangan dinamis karena beberapa proses yang terlibat bukanlah proses yang

terbalikkan. Misalnya, aliran fluida di dalam pipa atau aliran listrik dalam suatu jaringan merupakan suatu keadaan *steady* karena adanya aliran fluida atau listrik yang konstan di dalamnya. Kondisi tidak *steady* menyebabkan perubahan properti  $p$  yang tidak stabil seiring perubahan selang waktu yang terjadi pada suatu sistem. Kondisi ini dapat terjadi jika suatu sistem mengalami kegagalan dan sistem berjalan tidak maksimal (wikipedia.com).

### **2.7 Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian ini ialah semakin cepat aliran air pada tube and tube condenser mengakibatkan pendinginan ( $Q_L$ ) semakin besar. Semakin besar ( $Q_L$ ) maka rasio pelepasan kalor akan semakin besar.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian ini dapat dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Januari sampai dengan Maret 2015.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.3.1 Alat

- a. Lemari es satu pintu, satu evaporator

---

##### Spesifikasi Alat

Daya Kompresor	<b>150 W</b>
Freezer storage capacity	<b>651</b>
Nominal electrical input	<b>150 W, 240 V</b>
Evaporator temperature range	<b>-10<sup>0</sup>C to -30<sup>0</sup>C</b>
Compressor type	<b>Hermetic</b>

---

- b. Kran Air
- c. *Thermoreader*, sebagai alat pengukur suhu
- d. Termokopel
- e. *Pressure gauge*, sebagai alat pengukur tekanan
- f. *Manifold* sebagai alat pengisi *refrigerant*
- g. *Terminal port*
- h. Bak Air
- i. Selang Air 3/4 inch
- j. Pompa Air

### 3.3.2 Bahan

Refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG 80 gram dan selang air 3/4 inch sebagai pengganti sirip pada kondensor yang berfungsi sebagai pelepasan kalor.

### 3.3 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan variasi kondensor tube and tube pada prestasi kerja mesin pendingin. Variasi kondensor tube and tube sebagai pendingin dilakukan dengan memasukkan kondensor ke dalam sebuah selang air yaitu berdiameter 3/4 inch yang di dalamnya di aliri air sebagai pengganti udara untuk melepas kalor. Selanjutnya berdasarkan kondisi refrigeran dapat dihitung kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, rasio pelepasan kalor dan koefisien prestasi mesin pada sistem untuk setiap variasi pendingin yang digunakan.

### 3.4 Prosedur penelitian

#### 3.4.1 Persiapan Alat Pengujian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan merangkai ulang instalasi perpipaannya pada mesin pendingin sesuai kebutuhan, dalam hal ini alat pengujinya menggunakan lemari es satu pintu, kemudian memasang pressure gauge pada sisi sebelum dan sesudah kompresor untuk mengatur tekanan di titik tersebut.

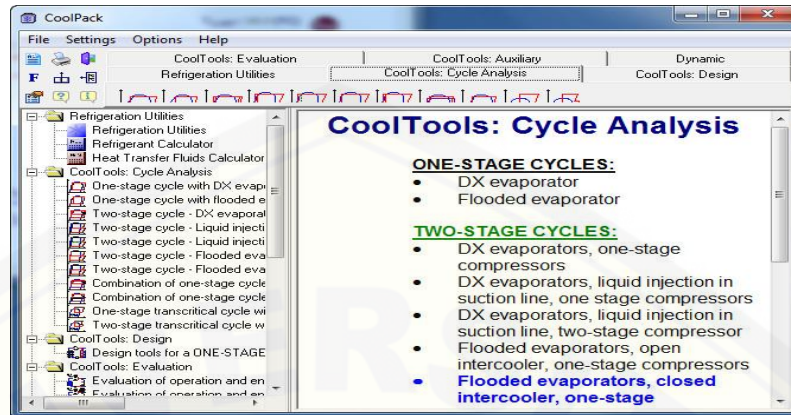
#### 3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji dan komponen mesin pendingin dan melakukan tes. Kemudian melakukan pemvakuman untuk memastikan tidak ada sisa udara didalam sistem. Kemudian pengisian refrigeran.

### 3.4.3 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat melakukan pengujian. Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

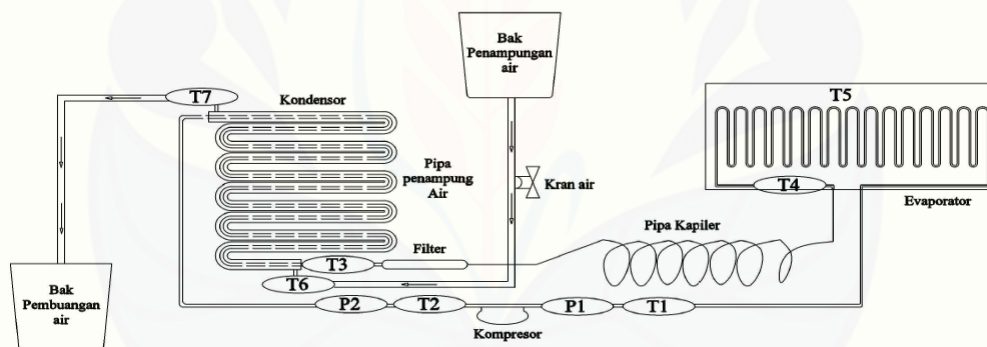
- a. Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar yaitu kondensor, kompresor, evaporator, pipa kapiler dan komponen komponen yang lain
- b. Pemasangan alat ukur suhu (termokopel digital), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah ditentukan menggunakan terminal port pada 7 titik yang diamati
- c. Mengisi refrigeran dengan benar, menggunakan refrigeran LPG
- d. Mengisi bak penampungan air hingga penuh.
- e. Memasang pompa air pada bak penampungan air.
- f. Menempatkan bak pembuangan air pada tempat yang ditentukan.
- g. Memasang kran air untuk menentukan banyaknya aliran air pada kondensor tube and tube dengan sudut yang telah ditentukan.
- h. Selanjutnya menjalankan alat uji sampai sistem dan aliran refrigerannya stabil
- i. Mencatat tekanan dan temperatur yang ditunjukkan oleh pengukur tekanan dan temperatur pada semua titik pada laju aliran air pendingin (dengan pemasangan *tube and tube condenser*)
- j. Pengumpulan data
- k. Perhitungan data sebagian menggunakan *software coolpack* dan data tabel *gasco refrigerant*. Gambar *software coolpack* di bawah ini.



Gambar 3.1 Software Coolpack

### 3.5 Rangkaian Refrigerator

Untuk skema rangkaian alat yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.2 Skema rangkaian refrigerator

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan.

### 3.6.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi Kondensator tube and tube yang menggunakan refrigeran LPG dengan menentukan aliran air pada sudut yang telah ditentukan yaitu 2,5 ltr/mnt, 5ltr/mnt, dan 7,5ltr/mnt.

### 3.6.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi tekanan dan temperatur pada titik titik yang dicari yaitu T1, T2, T3, T4, T5. Selain itu juga mengetahui nilai dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigersi dan koefisien prestasi.

## 3.7 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada saat melakukan pengujian. Pengujian dilakukan dua kali dengan memvariasikan laju aliran air pendingin pada kondensator berpendingin air dan Kondensator berpendingin udara. Cara pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan 3.2.

Tabel 3.1 Pengambilan Data Kondensator berpendingin udara Setelah kondisi steady state (1 jam)

Waktu (menit)	Temperatur ( °C )					Tekanan ( Bar )	
	T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2
5							
10							
15							
30							
60							



Tabel 3.2 Pengambilan data untuk kondensor berpendingin air setelah kondisi state (1jam)

Waktu (menit)	Temperatur ( °C )							Tekanan ( Bar )	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2
5									
10									
15									
30									
60									

### 3.7.1 Pengolahan data

Setelah pengambilan data selesai maka didapat nilai temperature dan tekanan selanjutnya dari data tersebut diperoleh :

1. Nilai entalpi (h) dari tabel *thermodynamic properties (Gasco refrigerant)* dan *software coolpack*
2. Dari nilai entalpi dapat diperoleh :

- a) Dampak refrigerasi

$$qe = h1 - h4$$

- b) Kerja kompresi

$$W = h2 - h1$$

- c) Kapasitas refrigerasi

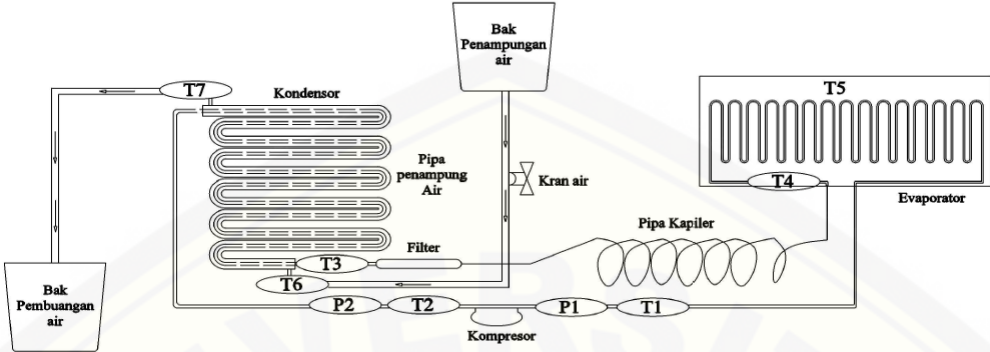
$$q = qe . m$$

- d) Koefisien prestasi

$$COP = \frac{qe}{W}$$

- e) Rasio pelepasan kalor

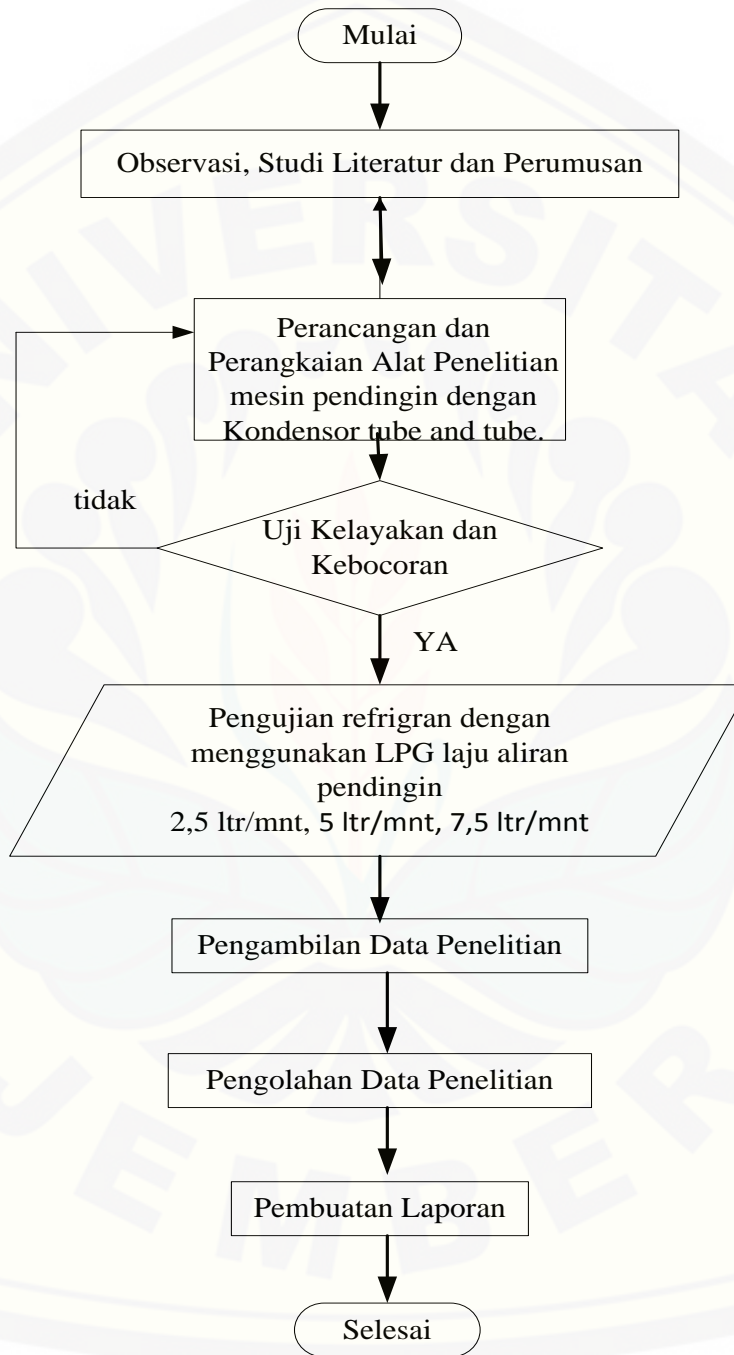
$$\frac{H2 - H3}{H1 - H4}$$



Gambar 3.3 Skema Pengumpulan Data

### 3.8 Diagram Alir

Adapun proses dan alur penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian



**BAB. 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 HASIL PENGUJIAN**

4.1.1 Hasil Pengujian dengan Kondensor pendingin udara

Tabel 4.1 Hasil pengujian dengan kondensor pendingin udara

Waktu (menit)	Temperatur ( °C )					Tekanan ( Bar )	
	T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2
5	36	85	52	-11	19	0,75	9,64
10	36	85	53	-3	18	0,75	9,64
15	37	85	53	-8	17	0,75	9,64
30	36	86	52	-13	15	0,75	9,64
60	37	84	51	-15	13	0,75	9,64

4.1.2 Hasil Pengujian dengan Kondensor tube and tube

Tabel 4.2 Hasil pengujian dengan kondensor tube and tube dengan aliran air 2,5 ltr/mnt

Waktu ( menit )	Temperatur ( °C )							Tekanan ( Bar )	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2
5	22	70	46	-9	17	29	29	0,75	9,64
10	22	70	46	-10	16	29	30	0,75	9,64
15	22	69	44	-12	18	29	29	0,75	9,64
30	22	68	43	-16	16	30	30	0,75	9,64
60	21	69	44	-16	11	29	29	0,75	9,64

#### 4.1.3 Hasil Pengujian dengan Kondensor tube and tube

Tabel 4.3 Hasil pengujian dengan kondensor tube and tube dengan aliran air 5 ltr/mnt

Waktu ( menit )	Temperatur ( °C )							Tekanan ( Bar )	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2
5	21	60	29	-18	10	29	30	0,75	9,64
10	21	60	30	-18	9	29	29	0,75	9,64
15	20	62	29	-20	7	29	30	0,75	9,64
30	20	63	31	-21	6	29	29	0,75	9,64
60	20	63	30	-21	4	29	30	0,75	9,64

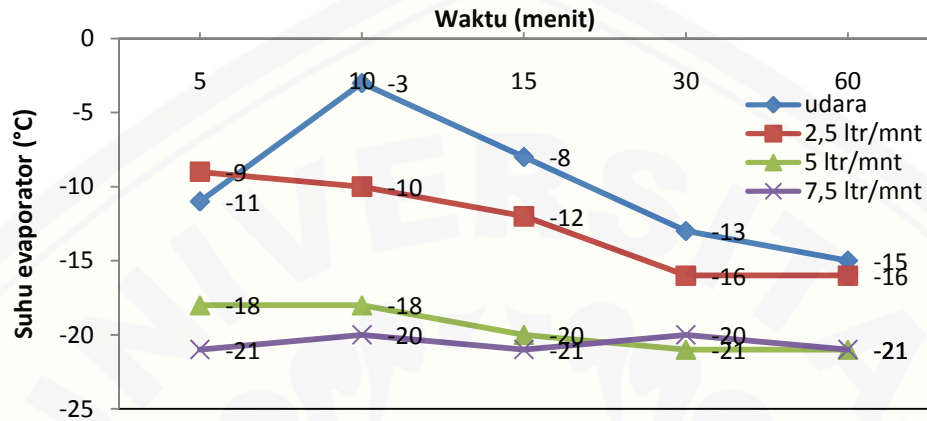
#### 4.1.4 Hasil Pengujian dengan Kondensor tube and tube

Tabel 4.4 Hasil pengujian dengan kondensor tube and tube dengan aliran air 7,5 ltr/mnt

Waktu ( menit )	Temperatur ( °C )							Tekanan ( Bar )	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	P1	P2
5	20	54	21	-21	3	30	30	0,75	9,64
10	20	54	22	-20	3	29	30	0,75	9,64
15	20	54	20	-21	3	29	29	0,75	9,64
30	20	59	23	-20	2	30	30	0,75	9,64
60	20	58	21	-21	1	30	30	0,75	9,64

Dari hasil penelitian pada mesin refrigerasi dengan kondensor pendingin udara diperoleh tidak stabilnya suhu terhadap waktu pemakaian mesin refrigerasi, kenaikan drastis suhu evaporator mulai menit ke-30 sampai menit ke-60. Hasil penelitian pada mesin refrigerasi. Dengan kondensor tube and tube diperoleh suhu evaporator semakin naik. Jenis kondensor tube and tube yang digunakan berdampak nyata pada suhu evaporator, dimana suhu evaporator semakin menunjukkan tingkat kestabilan dan cenderung naik dengan hasil terbaik pada suhu  $-21^{\circ}\text{C}$  pada jenis kondensor tube and tube. Kenaikan suhu pada mesin refrigerasi akibat semakin besarnya kalor yang dilepas pada kondensor dengan merubah jenis kondensor berpendingin udara menjadi berpendingin air sehingga kontak refrigeran dengan

penampang kondensor dibantu dengan media air lebih maksimal dibanding dengan menggunakan kondensor berpendingin udara.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan suhu evaporator terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dengan kondensor berpendingin air

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisis Kinerja Mesin Pendingin dengan kondensor pendingin udara

Berdasarkan hasil percobaan menggunakan kondensor pendingin udara dapat diperoleh data entalpi dari Tabel *Gasco Refrigerant* dan *software coolpack* :

Tabel 4.5 Hasil pengujian dan nilai entalpi dengan kondensor pendingin udara

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	h <sub>1</sub>		h <sub>2</sub>		h <sub>3</sub>		h <sub>4</sub>	
					propa	butan	Propan	Butan	propan	butan	Propan	Butan
5	36	85	52	-11	651,59	645,55	722,17	707,04	339,92	326,09	173,47	174,12
10	36	85	53	-3	651,59	645,55	722,17	707,04	342,94	328,64	192,69	192,33
15	37	85	53	-8	652,81	646,80	722,17	707,04	342,94	328,64	180,63	181,17
30	36	86	52	-13	651,59	645,55	724,28	709,28	339,92	326,09	168,73	164,41
60	37	84	51	-15	652,81	646,80	720,06	704,80	336,92	323,55	164,00	164,71

Dari nilai entalpi diperoleh dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, koefisien prestasi dan laju pelepasan kalor dengan rumus: Dampak refrigerasi  $Q_{\text{evap}} = h_1 - h_4$ ; Kerja Kompresi =  $h_2 - h_1$ ; Kapasitas Refrigerasi  $q = m \times Q_{\text{evap}}$ ; Rasio Pelepasan Kalor (RPK) =  $\frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4}$ ; Koefisien Prestasi =  $Q_{\text{evap}}/W_k$ .

Tabel 4.6 Dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, rasio pelepasan kalor dan COP pada mesin pendingin dengan kondensor pendingin udara

Waktu (menit)	Dampak Refrigerasi (kJ/kg)	Kerja Kompresi (kJ/kg)	Kapasitas Refrigerasi (kW)	RPK	COP
5	474,78	67,12	37,98	0,80	7,07
10	455,58	67,12	36,44	0,78	6,78
15	468,9	65,89	37,51	0,76	7,11
30	479,5	70,17	38,36	0,80	6,83
60	485,45	63,49	38,83	0,79	7,64

4.2.2 Analisis Kinerja Mesin Pendingin dengan kondensor tube and tube dengan aliran air yang berbeda yaitu 2,5 ltr/mnt, 5 ltr/mnt, dan 7,5 ltr/mnt.

Berdasarkan hasil percobaan menggunakan kondensor tube and tube dengan Aliran air yang berbeda dapat diperoleh data entalpi dari Tabel *Gasco Refrigerant* dan *software coolpack* :



Tabel 4.7 Hasil pengujian dan nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 2,5ltr/mnt

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	h <sub>1</sub>		h <sub>2</sub>		h <sub>3</sub>		h <sub>4</sub>	
					propan	butan	Propan	Butan	propan	butan	Propan	Butan
5	22	70	46	-9	627,08	620,55	690,76	673,24	322,18	310,95	178,24	178,82
10	22	70	46	-10	627,08	620,55	690,76	673,24	322,18	310,95	175,85	176,47
15	22	69	44	-12	627,08	620,55	688,69	670,96	316,38	305,95	171,10	171,76
30	22	68	43	-16	627,08	620,55	686,61	668,68	313,51	303,45	161,64	162,36
60	21	69	44	-16	625,40	618,83	688,69	670,96	316,38	305,95	161,64	162,36

Tabel 4.8 Hasil pengujian dan nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 5ltr/mnt

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	h <sub>1</sub>		h <sub>2</sub>		h <sub>3</sub>		h <sub>4</sub>	
					propan	butan	Propan	Butan	propan	butan	Propan	Butan
5	21	60	29	-18	625,40	618,83	670,08	650,27	274,52	269,08	156,94	157,66
10	21	60	30	-18	625,40	618,83	670,08	650,27	277,23	271,51	156,94	157,66
15	20	62	29	-20	623,72	617,11	674,20	654,91	244,52	269,08	152,26	152,92
30	20	63	31	-21	623,72	617,11	676,27	657,22	279,59	273,94	149,93	150,61
60	20	63	30	-21	623,72	617,11	676,27	657,22	277,23	271,51	149,93	150,61

Tabel 4.9 Hasil pengujian dan nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 7,5ltr/mnt

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Nilai Entalpi (kJ/kg)							
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	h <sub>1</sub>		h <sub>2</sub>		h <sub>3</sub>		h <sub>4</sub>	
					propan	butan	Propan	Butan	propan	butan	Propan	Butan
5	20	54	21	-21	623,72	617,11	657,74	636,14	253,71	249,82	149,93	150,61

10	20	54	22	-20	623,72	617,11	657,74	636,14	255,81	252,21	152,26	152,96
15	20	54	20	-21	623,72	617,11	657,74	636,14	250,55	247,42	149,93	150,61
30	20	59	23	-20	623,72	617,11	668,02	647,94	258,45	254,61	152,26	152,96
60	20	58	21	-21	623,72	617,11	665,96	645,60	253,71	249,82	149,03	150,61

Dari nilai entalpi diperoleh dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, koefisien prestasi dan laju pelepasan kalor dengan rumus: Dampak refrigerasi  $Q_{\text{evap}} = h_1 - h_4$ ; Kerja Kompresi =  $h_2 - h_1$ ; Kapasitas Refrigerasi  $q = q_e.m$   $Q_{\text{evap}}$ ; Laju Pelepasan Kalor (RPK) =  $\frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4}$ ; Koefisien Prestasi =  $Q_{\text{evap}}/W$ .

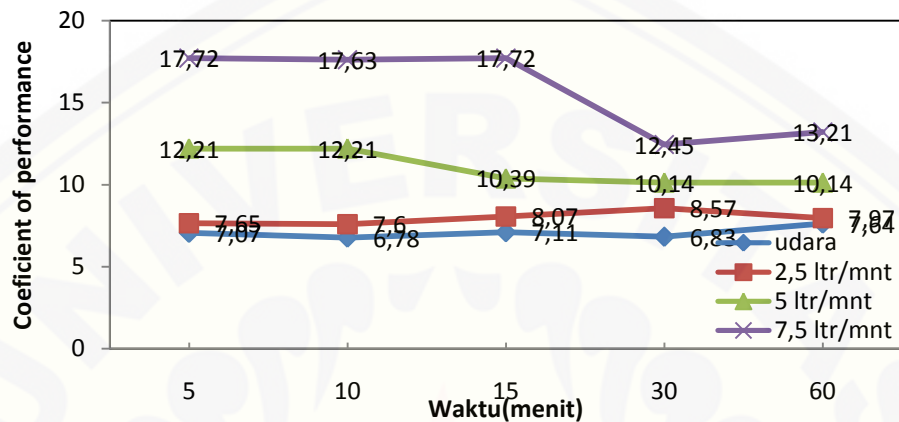
Tabel 4.10 Dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, RPK dan COP pada mesin pendingin menggunakan kondensor tube and tube dengan aliran air yang berbeda

Waktu (mnt)	Dampak refrigerasi (kJ/kg)			Kerja Kompresi (kJ/kg)			Kapasitas refrigerasi (kW)			RPK			COP		
	Aliran air			Aliran air			Aliran air			Aliran air			Aliran air		
	2,5ltr/mnt	5ltr/mnt	7,5ltr/mnt	2,5ltr/mnt	5ltr/mnt	7,5ltr/mnt	2,5ltr/mnt	5ltr/mnt	7,5ltr/mnt	2,5ltr/mnt	5ltr/mnt	7,5ltr/mnt	2,5ltr/mnt	5ltr/mnt	7,5ltr/mnt
5	445,28	464,81	470,14	58,19	38,06	26,53	35,62	37,18	37,61	0,82	0,83	0,84	7,65	12,21	17,72
10	447,65	464,81	467,8	58,19	38,06	26,53	35,81	37,18	37,42	0,81	0,83	0,83	7,60	12,21	17,63
15	452,38	467,81	470,14	56,01	44,14	26,53	36,19	37,42	37,61	0,81	0,83	0,84	8,07	10,59	17,72
30	461,81	470,21	467,8	53,83	46,33	37,57	36,94	37,61	37,42	0,80	0,82	0,85	8,57	10,14	12,45
60	460,11	470,21	470,14	57,11	46,33	35,57	36,80	37,61	37,61	0,80	0,83	0,86	7,97	10,14	13,21

#### 4.2.3 Analisis Keseluruhan Penggunaan Kondensor berpendingin udara dan kondensor tube and tube.

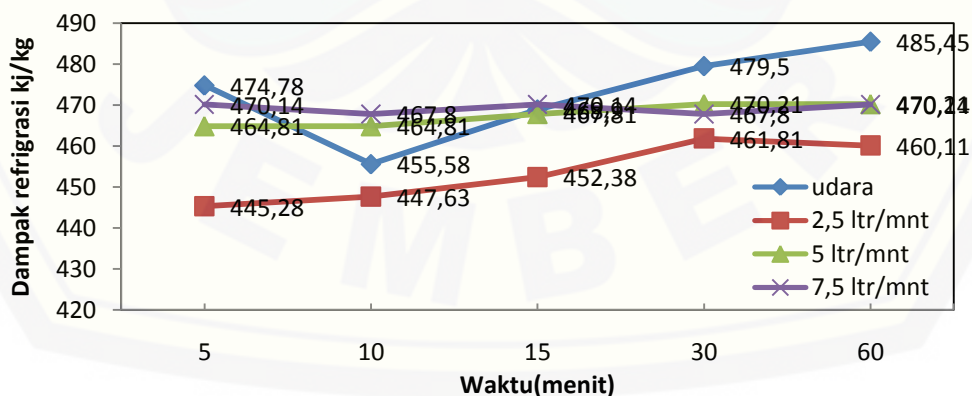
Dari hasil penelitian keseluruhan didapatkan COP kondensor berpendingin udara lebih kecil dibandingkan penggunaan kondensor berpendingin air. Tingkat kestabilan angka COP didapat dengan digunakannya kondensor berpendingin air

yang terlihat pada Gambar 4.11. Nilai COP tertinggi diangka 17,72 menit ke-5 pada kondensor berpendingin air, nilai COP terendah di angka 6,78 menit ke-10 pada kondensor berpendingin udara.



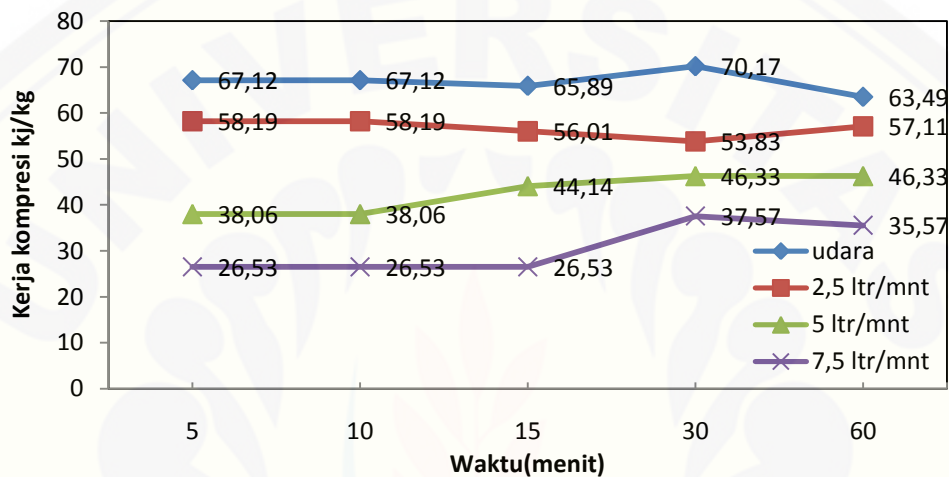
Gambar 4.2 Grafik perbandingan coefficient of performance terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dengan berpendingin air

Pada hasil penelitian keseluruhan didapatkan dampak refrigerasi kondensor berpendingin air lebih kecil dibanding dengan penggunaan kondensor bependingin udara dan waktu penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 4.12. Dampak refrigerasi tertinggi sebesar 485,45 kJ/kg pada menit ke-60 kondensor berpendingin udara dan dampak refrigerasi terendah sebesar 460,07, kJ/kg pada menit ke-5 kondensor berpendingin air.



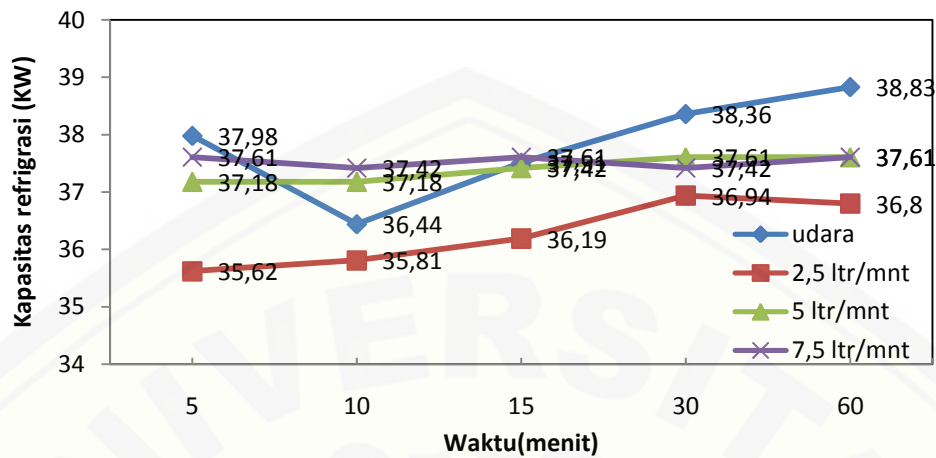
Gambar 4.3 Grafik perbandingan dampak refrigerasi kJ/kg terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dengan kondensor berpendingin air

Dari hasil penelitian keseluruhan didapatkan angka kerja kompresi lebih kecil dibanding penggunaan kondensor berpendingin udara seperti yang terlihat pada Gambar 4.13. Hasil tertinggi kerja kompresi sebesar 70,17 kJ/kg pada menit ke-30 kondensor berpendingin udara dan hasil kerja kompresi terendah 40,92 pada menit ke-5 kondensor berpendingin air.



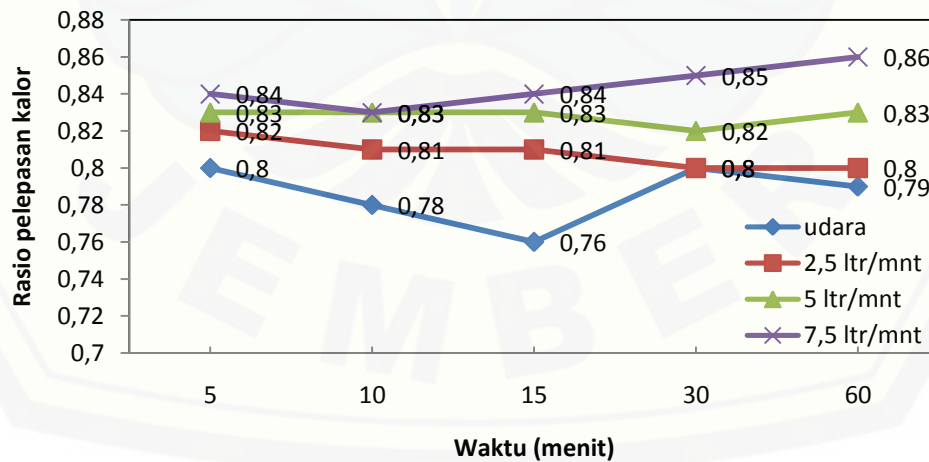
Gambar 4.4 Grafik perbandingan kerja kompresi terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dengan kondensor berpendingin air

Pada grafik hasil penelitian keseluruhan dapat dilihat kapasitas refrigerasi kondensor berpendingin air lebih kecil dibanding kondensor berpendingin udara, hasil nilai tertinggi dari kapasitas refrigerasi sebesar 38,83 kW pada menit ke-60 kondensor berpendingin udara dan nilai terendah pada kondensor berpendingin air yaitu 36,80 KW pada menit ke-5.



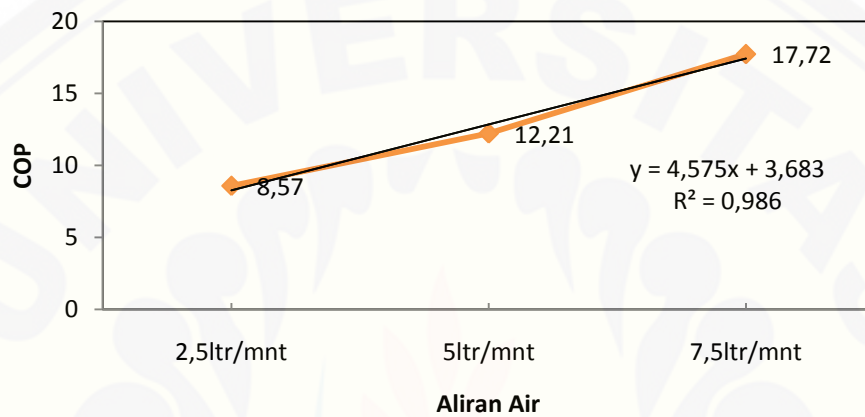
Gambar 4.5 Grafik perbandingan kapasitas refrigerasi terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dengan kondensor berpendingin air

Dari hasil penelitian keseluruhan didapatkan angka rasio pelepasan kalor pada kondensor berpendingin air lebih besar dibanding kondensor berpendingin udara seperti yang terlihat pada Gambar 4.14. Hasil rasio pelepasan kalor terbaik didapat pada kondensor berpendingin air sebesar 0,83 pada menit ke-60 dan terendah pada kondensor berpendingin udara dengan nilai sebesar 0,76 pada menit ke-15. Tingginya nilai rasio pelepasan kalor pada refrigerasi disebabkan oleh banyak nya kalor yang dilepas pada kondensor dibanding penyerapan kalor pada evaporator.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan rasio pelepasan kalor terhadap waktu pada kondensor berpendingin udara dengan kondensor berpendingin air

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan didapat hasil pengolahan data COP semakin besar pada kondensor tube and tube yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang terlihat pada Gambar 4.15. Pencapaian COP terbesar didapat pada aliran air 7,5 ltr/mnt pada menit ke-5 dengan hasil 17,72.



Gambar 4.7 Grafik COP kondensor tube and tube terhadap aliran air

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a) Penggunaan kondensor tube and tube terbukti dapat menaikkan prestasi kerja mesin pendingin dibandingkan penggunaan kondensor berpendingin udara (standar), maka kondensor tube and tube yang digunakan dapat meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin.
- b) Pencapaian COP pada kondensor tube and tube yang tertinggi sebesar 17,72 dengan aliran air 7,5ltr/mnt. Dengan demikian penggunaan kondensor tube and tube dapat menaikkan COP sehingga prestasi kerja mesin pendingin semakin baik.
- c) Diketahui COP yang didapat pada penelitian ini sebesar 17,72 dengan aliran 7,5 ltr/mnt, Jika diprosentasekan yaitu dengan nilai 80% kenaikan COP pada kondensor tube and tube dibanding dengan kondensor pendingin udara.

### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- a) Hasil penelitian ini merupakan data pendukung yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk meningkatkan besarnya koefisien kerja mesin pendingin kompresi uap
- b) Kajian ini masih terbatas pada waktu dan analisa menggunakan satu variasi yang dilakukan dalam variasi kondensor tube and tube. Oleh

karena itu, analisa dan penelitian lanjutan dapat memvariasikan panjang waktu penelitian untuk memperoleh hasil yang lebih baik guna meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin.





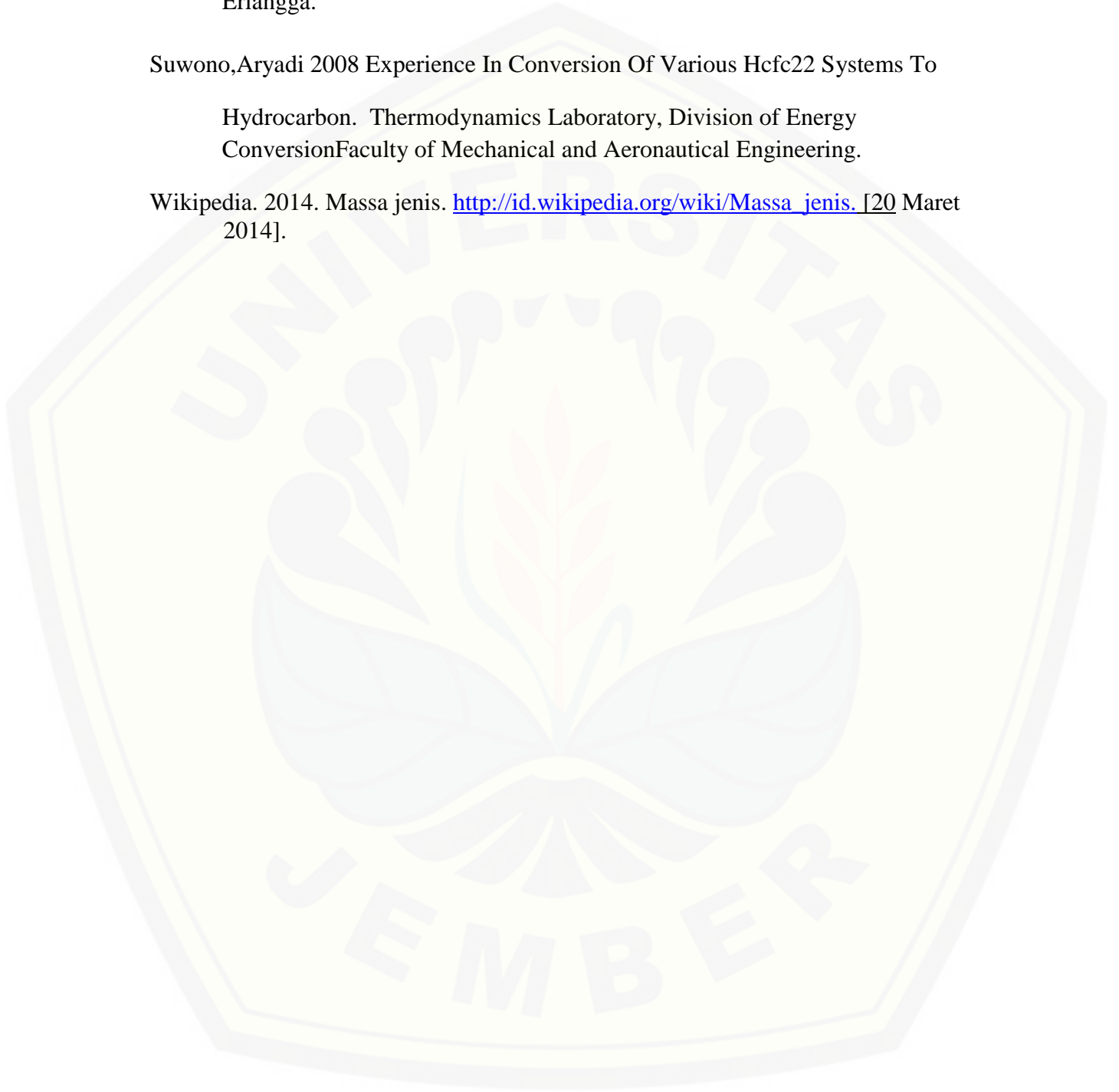
**DAFTAR PUSTAKA**

- Akash, Bilal A. dan Said, Salem A. 2003. *Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators*. Jurnal Ilmiah Pergamon Energy Conversion and Management 44 (2003) 381–388.
- Ashrae. 2005. *Methods of Testing for Rating Positive Displacement Refrigerant Compressors and Condensing Units, ANSI/ASHRAE Standard 23-2005*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA.
- Dewi, AAIS Komala<sup>(1)</sup> & Sukadana, IGK<sup>(2)</sup>. 2007. *Analaisi Variasi Jarak Pembuluh Terhadap Unjuk Kerja Kondensor*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM
- Fatouh, M dan Kafafy, M. E. 2006. *Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG*. Jurnal Ilmiah Elsevier Applied Thermal Engineering 26 (2006) 1593–1603.
- Michael. 2012. *Komponen-Komponen pada Kulkas*. <http://idkf.bogor.net/yuesbi/e-DU.KU/edukasi.net/Elektro/Kulkas/komponen.html>. [20 maret 2014].
- Rasta, I made 2011 *Kaji Eksperimental Aplikasi Katup EPR Terhadap Temperatur Mesin Refrigeran Multievaporator*. Jurnal Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali
- Salem A. Said *Assessment of LPG as posible alternative to R-12 in domestic refrigerator 7 Februari 2002*.
- Silalahi, Santi Roselinda. 2006. *Analisis Eksergi dan Karakteristik Termodinamik Sejumlah Refrigeran Pada Sistem Kompresi Uap*. Skripsi. Departemen Teknik Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

Stoecker, Supratman Hara. 1992. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.

Suwono, Aryadi 2008 Experience In Conversion Of Various Hfc22 Systems To Hydrocarbon. Thermodynamics Laboratory, Division of Energy Conversion Faculty of Mechanical and Aeronautical Engineering.

Wikipedia. 2014. Massa jenis. [http://id.wikipedia.org/wiki/Massa\\_jenis](http://id.wikipedia.org/wiki/Massa_jenis). [20 Maret 2014].



Rasio pelepasan kalor

$$\begin{aligned} \text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{715,69 - 333,05}{648,57 - 173,79} \\ &= 0,80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{q_e}{W} \\ &= \frac{474,78 \text{ kJ/kg}}{67,12 \text{ kJ/kg}} \\ &= 7,07 \end{aligned}$$

• Menit ke-10

Dampak refrigerasi

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= (648,57 - 192,46) \text{ kJ/kg} \\ &= 455,58 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kompresi

$$\begin{aligned} W &= h_2 - h_1 \\ &= (715,69 - 648,57) \text{ kJ/kg} \\ &= 67,12 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kapasitas refrigerasi

$$\begin{aligned} q &= q_e \cdot \dot{m} \\ &= 455,58 \text{ kJ/kg} \cdot 0,08 \text{ kg/s} \\ &= 36,4464 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rasio pelepasan kalor

$$\begin{aligned} \text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{715,69 - 335,79}{648,57 - 192,46} \\ &= 0,78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{q_e}{W} \\ &= \frac{455,58 \text{ kJ/kg}}{67,12 \text{ kJ/kg}} \\ &= 6,78 \end{aligned}$$

• Menit ke-15

Dampak refrigerasi

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= (649,80 - 180,9) \text{ kJ/kg} \\ &= 468,9 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kompresi

$$\begin{aligned} W &= h_2 - h_1 \\ &= (715,69 - 649,80) \text{ kJ/kg} \\ &= 65,89 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kapasitas refrigerasi

$$\begin{aligned} q &= q_e \cdot \dot{m} \\ &= 468,9 \text{ kJ/kg} \cdot 0,08 \text{ kg/s} \\ &= 37,512 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rasio pelepasan kalor

$$\begin{aligned} \text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{715,69 - 335,79 \text{ kJ/kg}}{649,80 - 180,9 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{q_e}{W} \\ &= \frac{468,9 \text{ kJ/kg}}{65,89 \text{ kJ/kg}} \\ &= 7,11 \end{aligned}$$

- Menit ke-30

Dampak refrigerasi

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= (648,57 - 169,07) \text{ kJ/kg} \\ &= 479,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kompresi

$$\begin{aligned} W &= h_2 - h_1 \\ &= (718,74 - 648,57) \text{ kJ/kg} \\ &= 70,17 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kapasitas refrigerasi

$$\begin{aligned} q &= q_e \cdot \dot{m} \\ &= 479,5 \text{ kJ/kg} \cdot 0,08 \text{ kg/s} \\ &= 38,36 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rasio pelepasan kalor

$$\begin{aligned} \text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{718,74 - 333,05}{648,57 - 169,07} \\ &= 0,80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{q_e}{W} \\ &= \frac{479,5 \text{ kJ/kg}}{70,17 \text{ kJ/kg}} \\ &= 6,83 \end{aligned}$$

- Menit ke-60

Dampak refrigerasi

$$\begin{aligned} Q_e &= h_1 - h_4 \\ &= (649,80 - 164,35) \text{ kJ/kg} \\ &= 485,45 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kompresi

$$\begin{aligned} W &= h_2 - h_1 \\ &= (713,29 - 330,23) \text{ kJ/kg} \\ &= 63,49 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kapasitas refrigerasi

$$\begin{aligned} Q &= q_e \cdot \dot{m} \\ &= 485,45 \text{ kJ/kg} \cdot 0,08 \text{ kg/s} \\ &= 38,836 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rasio pelepasan kalor

$$\begin{aligned} \text{RPK} &= \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \\ &= \frac{713,29 - 330,23}{649,80 - 164,35} \\ &= 0,79 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{q_e}{W} \\ &= \frac{485,45}{63,49} \\ &= 7,64 \end{aligned}$$

“Untuk pengerjaan pada kondensor tube and tube selanjutnya proses dan cara sama seperti contoh lampiran perhitungan diatas”

**LAMPIRAN 1. CONTOH PERHITUNGAN**

**DATA TEKANAN MANIFOLD-WAKTU-LAJU ALIRAN MASSA**

$$P_{\text{manifold}} : 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$D \text{ selang keluaran} : 2,8 \text{ cm}$$

$$A \text{ selang keluaran} : 7,84 \text{ cm}^2$$

$$t \text{ (waktu) masukan refrigerant} : 1 \text{ menit } 50 \text{ detik} = 110 \text{ detik}$$

$$F = P/A = 70 / 7,84 = 8.92 \text{ kg}$$

$$\dot{m} = F/t = 8.92 \text{ kg} / 110 \text{ detik} = 0.0811 \text{ kg/det}$$

Lanjutan perhitungan kondensor pendingin udara (standar)

Dampak refrigerasi

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= (648,57 - 173,79) \text{ kJ/kg} \\ &= 474,78 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kerja kompresi

$$\begin{aligned} W &= h_2 - h_1 \\ &= (715,69 - 648,57) \text{ kJ/kg} \\ &= 67,12 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kapasitas refrigerasi

$$\begin{aligned} q &= q_e \cdot \dot{m} \\ &= 474,78 \text{ kJ/kg} \cdot 0,08 \text{ kg/s} \\ &= 37,9824 \text{ kW} \end{aligned}$$

**LAMPIRAN 2. FOTO  
PENELITIAN**



Kran air



Gelas Ukur



Pompa Air



Spesifikasi Kompresor



Termometer



Evaporator



Rangkaian komponen mesin pendingin



PipaKapiler



Kondensor tube and tube





**LAMPIRAN 3 HASIL ENTALPI REFRIGERAN**

Hasil nilai entalpi kondensor standar

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Entalpi (kJ/kg)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
5	36	85	52	-11	648,57	715,69	333,05	173,79
10	36	85	53	-3	648,57	715,69	335,79	192,46
15	36	85	53	-8	649,80	715,69	335,79	180,9
30	36	86	52	-13	648,57	718,74	333,05	169,07
60	37	84	51	-15	649,80	713,29	330,23	164,35

Hasil nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 2,5 ltr/mnt

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Entalpi (kJ/kg)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
5	22	70	46	-9	623,81	682	316,56	178,53
10	22	70	46	-10	623,81	682	316,56	176,16
15	22	69	44	-12	623,81	679,82	311,16	171,43
30	22	68	43	-16	623,81	677,64	308,48	162
60	21	69	44	-16	622,11	679,82	311,16	162

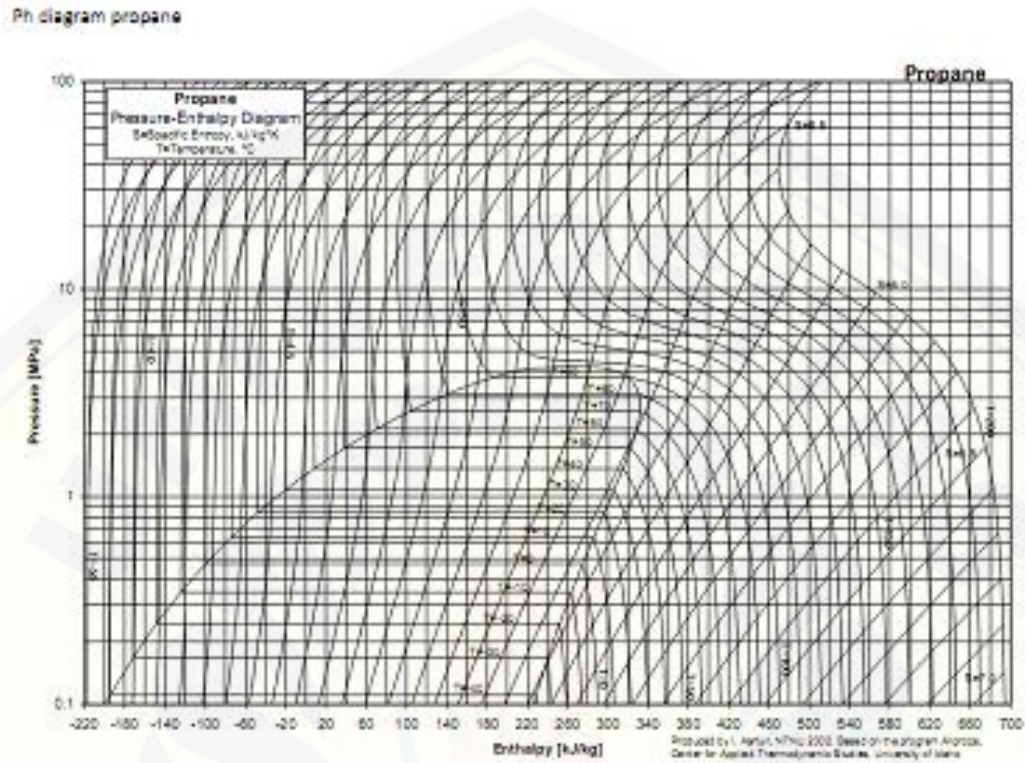
Hasil nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 5 ltr/mnt

Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Entalpi (kJ/kg)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
5	21	60	29	-18	622,11	660,17	271,81	157,3
10	21	60	30	-18	622,11	660,17	274,37	157,3
15	20	62	29	-20	620,41	664,55	271,8	152,6
30	20	63	30	-21	620,41	666,74	276,76	150,2
60	20	63	31	-21	620,41	666,74	274,37	150,2

Hasil nilai entalpi kondensor tube and tube dengan aliran air 7,5 ltr/mnt

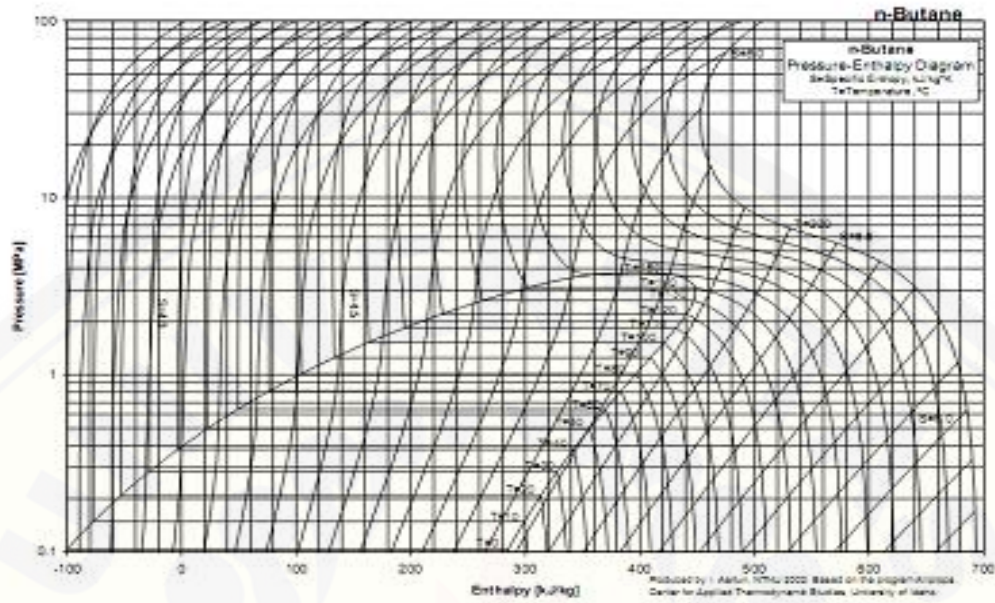
Waktu (menit)	Temperatur (°C)				Entalpi (kJ/kg)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
5	20	54	21	-21	620,41	646,94	251,76	150,27
10	20	54	22	-20	620,41	646,94	254,01	152,61
15	20	54	20	-21	620,41	646,94	248,98	150,27
30	20	59	23	-20	620,41	657,98	256,53	152,61
60	20	58	21	-21	620,41	655,78	251,76	150,27

**LAMPIRAN 4. Gambar Diagram P-H Dari Software Coolpack**



JEMBER

Ph diagram Butane



Liquidified Petroleum Gas (LPG)

Geological Era	Mesozoic (Baldonnel) Mole %	Paleozoic (Kaybob South) Mole %	Solution Gas Mole %
N <sub>2</sub>	0.32	0.94	2.45
H <sub>2</sub> S	4.37	17.89	0.00
CO <sub>2</sub>	2.41	3.49	0.11
Methane	85.34	56.53	91.94
Ethane	4.50	7.69	13.85
Propane	1.50	3.38	7.30
Isobutane	0.25	0.87	1.06
n-Butane	0.48	1.73	2.15
Isopentane	0.15	0.71	0.36
n-Pentane	0.21	0.76	0.48
Hexane	0.47+	1.48	0.18
Heptane plus	-	4.53	0.12