



**STUDI PENGARUH VARIASI LUKUKAN PIPA KAPILER TERHADAP
PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN
REFRIGERAN LPG**

SKRIPSI

Oleh
Yongki Arif Pratipta
NIM 121910101126

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**STUDI PENGARUH VARIASI LUKUKAN PIPA KAPILER TERHADAP
PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN
REFRIGERAN LPG**

SKRIPSI

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

Oleh
Yongki Arif Pratipta
NIM 121910101126

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala rizki dan karuniaNya yang telah dilimpahkan, serta kepadajunjungan Nabi Muhammad SAW.
2. Ibu Sunarlik, bapak Rejo Wiyono, dan saudara kembar saya Yorda Cipta Sambudi yang telah memberi dukungan lahir dan batin.
3. Semua keluarga besar yang selalu mendukung saya untuk melanjutkan studi ke Perguruan Tinggi.
4. Kepala desa Purwodadi beserta jajarannya yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan sewaktu saya awal masuk kuliah.
5. Keluarga besar alumni SMKN Tegalsari (Yorda, Rizal, Agung, Fauzan, Muhsin, Bayu, Ilyas, Sukron, Zuhri, Lutfi, Ulfi, Nurin, Sholikah, Lizawati, Riris, Novi, dan sejenisnya) yang menempuh pendidikan baik di Universitas Jember ataupun Universitas Muhammadiyah Jember yang merelakan waktunya untuk sekedar melepas penat dalam pengerjaan skripsi.
6. Teman-teman kontrakan yang bersedia menemani saya dalam proses pengambilan data.
7. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Boy Arief F., S.T., M.T.PhD selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji I, Bapak Sumarji, S.T., M.T. selaku dosen penguji II, dan Bapak Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik.
8. Almamter tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

9. Teman-teman kontrakan Brantas 9. No 44 (Yorda, Rizal, Agung, Fauzan, Muhsin, Bayu, Dika) yang menemani perjalanan menuju sarjana selama ini.
10. Teman-teman *Refrigeration Team* (Yorda, Alif, Nanda) dan semua Saudara-Saudara Teknik Mesin 2012 (Mechanical Engineering) atas semua kebersamaan dan kenangan manis selama ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.



MOTTO

“Dan orang mukmin yang paling sempurna imannya adalah mereka yang paling baik akhlaknya”.

(HR.Ahmad)

“Orang yang menuntut ilmu bearti menuntut rahmat ; orang yang menuntut ilmu bearti menjalankan rukun Islam dan Pahala yang diberikan kepada sama dengan para Nabi”.

(HR. Dailani dari Anas r.a)

“Sebaik – baiknya orang diantara kamu adalah orang yang mempelajari Al – Qur’an dan mengajarkanya “.

(HR . Bukhari)

“Barang siapa yang keluar dalam menuntut ilmu maka ia adalah seperti berperang di jalan Allah hinggang pulang”.

(H.R.Tirmidzi)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yongki Arif Pratipta

NIM : 121910101126

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “Studi Pengaruh Variasi Lekukan Pipa Kapiler terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin dengan Refrigeran LPG” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Juni 2016

Yang menyatakan,

Yongki Arif Pratipta

NIM 121910101126

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH VARIASI LUKUKAN PIPA KAPILER TERHADAP
PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN
REFRIGERAN LPG**

Oleh

Yongki Arif Pratipta

NIM 121910101126

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Boy Arief F., S.T., M.T.PhD

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Studi Pengaruh Variasi Lekukan Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran LPG” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

hari, tanggal : Jum’at, 24 Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama,

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

Anggota I,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Dosen Pembimbing Anggota,

Boy Arief F., S.T., M.T.PhD.
NIP 19740901 199903 1 002

Anggota II,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 196802202 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Studi Pengaruh Variasi Lekukan Pipa Kapiler terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin dengan Refrigeran LPG; Yongki Arif Pratipta, 121910101126; 2016: 56 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Proses perkembangan ilmu dan teknologi saat ini semakin berkembang. Inovasi dilakukan pada mesin pendingin adalah perbaikan karakteristik mesin pendingin, penelitian penggunaan refrigeran non-ODP (Ozone Depleting Potential) dan non-GWP (Global Warming Potential), serta pencarian teknologi refrigeran alternatif. Kebanyakan penelitian dilakukan dengan memanfaatkan penggunaan refrigeran hidrokarbon dan variasi pada mesin pendingin.

LPG (*Liquified Petroleum Gas*) merupakan salah satu jenis senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai refrigeran yang dapat mengurangi kerusakan pada lapisan ozon. Selain itu pemilihan diameter pipa kapiler, panjang, dan lekukan akan memberikan dampak pada peningkatan prestasi mesin pendingin. Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak yang dihasilkan oleh mesin pendingin dengan variasi lekukan pipa kapiler pada mesin pendingin yang menggunakan refrigeran LPG. Pengujian dilakukan dengan mesin pendingin satu pintu dengan pipa kapiler spiral sebagai pipa kapiler standart kemudian membandingkan dengan variasi pipa kapiler lurus, pipa kapiler melingkar, dan pipa kapiler helical. Dari hasil pengujian semua variasi pipa kapiler akan diketahui besarnya dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, daya kompresor, serta koefisien prestasi. Alat yang digunakan adalah *Thermoreader* untuk membaca temperatur dan *Pressuregauge* untuk mengetahui tekanan pada sisi hisap dan keluaran dari kompresor.

Temperatur terendah didapat pada pipa kapiler helical yaitu sebesar $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Daya kompresor terendah dimiliki oleh pipa kapiler helical yaitu sebesar $0,52\text{ kW}$, sedangkan COP tertinggi juga dimiliki oleh pipa kapiler helical yaitu sebesar $10,67$.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa penggunaan pipa kapiler helical dapat dijadikan sebagai alternatif untuk meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin karena memiliki daya kompresor yang rendah dan COP yang tinggi.



SUMMARY

Study On Effect Of Capillary Tube Grooves Variation For Cooling Engine Performance With LPG As Refrigerant; Yongki Arif Pratipta, 121910101126; 2016: 56 page; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The process of development of science and technology is currently growing. The innovation for cooling engine is to repair engine characteristics , the study of non-ODP (Ozone Depleting Potential) refrigerants and non - GWP (Global Warming Potential) refrigerant , and the search for alternative refrigerant technology. Most of the research done by exploiting the use of hydrocarbon refrigerants and variations in engine coolant.

LPG (Liquefied Petroleum Gas) is one type of hydrocarbon compound used as a refrigerant to reduce damage of ozone layer. Besides the selection of the capillary tube diameter, the length, and the curve of capillary tube have an impact on refrigeration performance. This study is to determine the impact caused by the variation of capillary grooves on the cooling machine. Testing process is conducted on one door cooling machine with spiral capillary tube as a standard capillary tube and then comparing with the variation of a straight capillary tube, circular capillary tube, and helical capillary tube. The results shows the impact of refrigeration, the work of compression, refrigeration capacity, compressor power, as well as the coefficient of achievement. The tools are thermoreader to read temperature and pressure gauge to read pressure on the suction side and the discharge side of the compressor.

The lowest temperature obtained at the helical capillary tube that is equal to -9.1 °C. Lowest compressor power possessed by the helical capillary tube is 0.52 kW, while the highest COP also owned by helical capillary tube is 10.67. The research

showed the helical capillary tube can be used as an alternative to improve cooling engine performance.



PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Pengaruh Variasi Lekukan Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Dengan Refrigeran LPG”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Hary Sutjahjono, S.T., selaku Ketua Program Studi S1 jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
4. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
5. Bapak Boy Arief F., S.T., M.T.PhD., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
6. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi
7. Bapak Sumarji, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi
8. Dosen, staf, dan teknisi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

9. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2012 khususnya dan semua teman-teman Fakultas Teknik Universitas Jember.
10. Teman – teman beserta seluruh pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.

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

Jember, 24 Juni 2016
Penulis

Yongki Arif Pratipta
121910101126

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTO	v
PERNYATAAN	vi
PEMBIMBINGAN	vii
PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Hipotesis	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Refrigerasi Sederhana	5
2.1.1 Evaporator	7
2.1.2 Pipa Kapiler	8
2.1.3 Kompresor	9
2.1.4 Kondensor	10
2.2 Komponen Pendukung Mesin Pendingn	11

2.3 Siklus Refrigerasi	13
2.3.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	14
2.3.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	17
2.4 Pemilihan Refrigeran	18
2.4.1 Jenis Refrigeran	18
2.4.2 Chloro Fluoro Carbon	20
2.4.3 Refrigeran Hidrokarbon	21
2.4.4 Syarat Refrigeran	23
2.5 Liquid Petroleum Gas	24
2.5.1 Pengertian LPG	24
2.5.2 Komposisi LPG	25
2.5.3 Sifat – Sifat LPG	25
2.6 Kondisi Steady State	29
2.7 Penelitian Terdahulu	30

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3.1 Alat	32
3.3.2 Bahan	33
3.4 Variabel Penelitian	33
3.4.1 Variabel Bebas	33
3.4.2 Variabel Terikat	33
3.5 Prosedur Penelitian	34
3.5.1 Persiapan Alat Pengujian	34
3.5.2 Profil Variasi Pipa Kapiler	34
3.5.3 Pemeriksaan Alat Pengujian	36
3.5.4 Tahapan Pengambilan Data	36

3.5.5 Pengolahan Data	37
3.6 Diagram Alir Penenitian	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengujian	41
4.1.1 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Lurus	41
4.1.2 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Spiral	42
4.1.3 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Melingkar	43
4.1.4 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Helical	43
4.2 Pembahasan	44
4.2.1 Hubungan Waktu Terhadap Temperatur Ruangan	44
4.2.2 Analisis Kerja Mesin Pendingin Dengan Variasi Lekukan Pipa Kapiler	46
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

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 Siklus Refrigerasi	13
2.7 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	14
2.8 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	17
2.9 Nilai ODP dan GWP Refrigeran	22
3.1 Pipa Kapiler Spiral	34
3.2 Pipa Kapiler Lurus	35
3.3 Pipa Kapiler Melingkar	35
3.4 Pipa Kapiler Helical	36
3.5 Diagram Alir Penelitian	39
4.1 Hubungan Waktu Pendingin Terhadap Temperatur Ruangan	45
4.2 Dampak Refrigerasi	48
4.3 Kerja Kompresi	50
4.4 Kapasitas Refrigerasi	51
4.5 Daya Kompresor	52
4.6 COP	53

DAFTAR TABEL

2.1 Karakteristik Propana dan Butana	25
3.1 Pengambilan Data	37
3.2 Jadwal Rencana Kegiatan	40
4.1 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Lurus	41
4.2 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Spiral	42
4.3 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Melingkar	43
4.4 Hasil Pengujian Pipa Kapiler Helical	44
4.5 Nilai Entalpi Pipa Kapiler Lurus	46
4.6 Nilai Entalpi Pipa Kapiler Spiral	46
4.7 Nilai Entalpi Pipa Kapiler Melingkar	47
4.8 Nilai Entalpi Pipa Kapiler Helical	47
4.9 Dampak Refrigerasi	48
4.10 Kerja Kompresi	49
4.11 Kapasitas Refrigerasi	51
4.12 Daya Kompresor	52
4.13 COP (<i>Coefficient of Performance</i>)	53

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi mesin pendingin saat ini sangat mempengaruhi kehidupan dunia modern, tidak hanya terbatas untuk peningkatan kualitas dan kenyamanan hidup, namun juga sudah menyentuh hal-hal esensial penunjang kehidupan manusia. Teknologi ini dibutuhkan untuk penyiapan bahan makanan, penyimpanan dan distribusi makanan, proses kimia yang memerlukan pendinginan, pengkondisian udara untuk kenyamanan ruangan baik pada industri, perkantoran, bank, restoran, hotel, transportasi maupun rumah tangga (Soni et al., 2013).

Mesin jenis ini kebanyakan menggunakan jenis refrigeran CFC (*Chloro Fluoro Carbon*) dan HFC (*Hydro Chloro Fluoro Carbon*). Refrigeran CFC adalah penyebab terjadinya penipisan lapisan ozon dan refrigeran HFC termasuk gas rumah kaca. Lapisan ozon yang terdapat di daerah stratosphere berfungsi untuk menghalangi masuknya sinar ultraviolet-B ke permukaan bumi (Calm, 2002). Sinar ultraviolet-B ini ditengarai akan menyebabkan masalah kesehatan bagi manusia dan gangguan pada tumbuhan di permukaan bumi. Sebagai tanggapan terhadap kerusakan lapisan ozon di stratosfer, pada tahun 1981 UNEP (*United Nations Environment Programme*) memulai proses negosiasi pengembangan langkah-langkah Internasional untuk melindungi lapisan ozon melalui Konvensi Wina yang disahkan pada bulan Maret 1985. Pada bulan September 1987 ditindaklanjuti dengan pengesahan Protokol Montreal yang memuat aturan pengawasan produksi, konsumsi dan perdagangan bahan-bahan perusak ozon (Velders et al., 2007).

Protokol Montreal mengenai bahan perusak lapisan ozon (sebuah protokol kepada Konvensi Wina untuk Perlindungan Lapisan Ozon) adalah sebuah perjanjian internasional yang dirancang untuk melindungi lapisan ozon dengan pentahapan keluar produksi berbagai zat diyakini bertanggung jawab untuk penipisan ozon. Selanjutnya pelaksanaan program perlindungan lapisan ozon di Indonesia difasilitasi

oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup sebagai lembaga pengendali dalam upaya pelestarian lingkungan (UNDP-KLH, 2008).

Berdasarkan kondisi di atas, sangat penting dilakukan pengembangan tentang performa penggantian refrigerant CFC atau HCFC dengan menggunakan refrigeran ramah lingkungan. Dalam penelitian ini menggunakan LPG (*Liquefied petroleum gas*) sebagai refrigeran. Pemilihan LPG adalah salah satu alternatif yang dapat digunakan karena memiliki nilai GWP (*Global Warming Potentials*) yang rendah. Namun penggantian refrigeran dengan menggunakan instalasi yang tetap akan mempengaruhi performa dari mesin pendingin tersebut. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan massa jenis refrigeran yang mengalir pada sistem sehingga mempengaruhi aliran refrigeran.

Salah satu cara untuk mengetahui performa maksimal dari mesin pendingin yang menggunakan LPG sebagai refrigeran adalah dengan cara memvariasikan bentuk lekukan pipa kapiler. Dengan pengaruh bentuk lekukan pipa kapiler pada mesin pendingin, maka laju aliran refrigeran di dalam pipa kapiler juga bervariasi. Dengan variasi tersebut maka kita bisa mengetahui performa maksimal dari mesin pendingin udara (Nassution, 2002).

Pada penelitian sebelumnya, dilakukan dengan menggunakan refrigeran R12 dengan massa refrigeran sebesar 104 gram serta pipa kapiler berukuran 0,31 inch dan panjang 2 meter dengan variasi pipa kapiler lurus, pipa kapiler gelombang, dan pipa kapiler spiral. Dari percobaan ketiga variasi tersebut, terbukti bahwa yang menghasilkan suhu terendah dan COP terbesar adalah variasi pipa kapiler bentuk spiral dengan hasil -24°C dan COP sebesar 4,56, namun hanya bertahan pada menit ke 30. Suhu tersebut mulai berangsur naik menjadi -19°C pada menit ke 100. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh bentuk lekukan spiral terhadap suhu di evaporator hanya berlaku di menit ke 30 saja. Setelah lewat dari itu, suhu perlahan-lahan naik ke -19°C (Dwinanda, 2003).

Berdasarkan hasil penelitian diatas, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna menyempurnakan penelitian yang sudah ada. Penggunaan LPG sebagai refrigeran dan variasi pipa kapiler yang berbeda diharapkan mampu merubah aliran massa refrigeran didalam sistem sehingga akan diketahui peforma dari mesin pendingin.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi lekukan pipa kapiler terhadap prestasi kerja (dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, COP, dan daya kompresor) pada mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi lekukan pipa kapiler terhadap prestasi kerja (dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, COP, dan daya kompresor) pada mesin pendingin menggunakan refrigeran LPG.

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan penelitian kedepan guna mendapatkan performa mesin pendingin yang ideal khususnya dalam bahasan pipa kapiler.
2. Penggunaan refrigeran LPG dapat mengurangi kerusakan lapisan ozon sehingga tercipta keselarasan teknologi dengan lingkungan.

1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang sulit dikendalikan dalam penelitian ini sehingga mempengaruhi pengambilan data dan analisa. Untuk itu perlu diberikan batasan dan asumsi agar mudah menganalisa permasalahan. Diantaranya sebagai berikut:

1. Sistem terisolasi sempurna.

2. Tidak menghitung perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi pada sistem.
3. Suhu pipa bagian luar pada titik yang diamati diasumsikan sama dengan suhu refrigeran di titik tersebut.
4. Aliran massa refrigerant pada setiap komponen dianggap konstan.
5. Temperatur ruangan terendah diasumsikan tiga jam setelah penyalaan mesin pendingin.

1.5 Hipotesis

Semakin kecil diameter dan panjang profil lengkung pipa kapiler, menyebabkan aliran refrigeran semakin cepat. sehingga refrigeran akan mudah terpancar dalam bentuk uap dengan tekanan refrigeran yang menurun. Hal ini menyebabkan partikel refrigeran akan mengalami penguraian sehingga penyerapan kalor yang terjadi pada evaporator akan cepat terjadi. Resiko refrigeran kembali ke dalam kompreor dalam keadaan cair sangat kecil terjadi. Hal ini akan meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Refrigerasi Sederhana

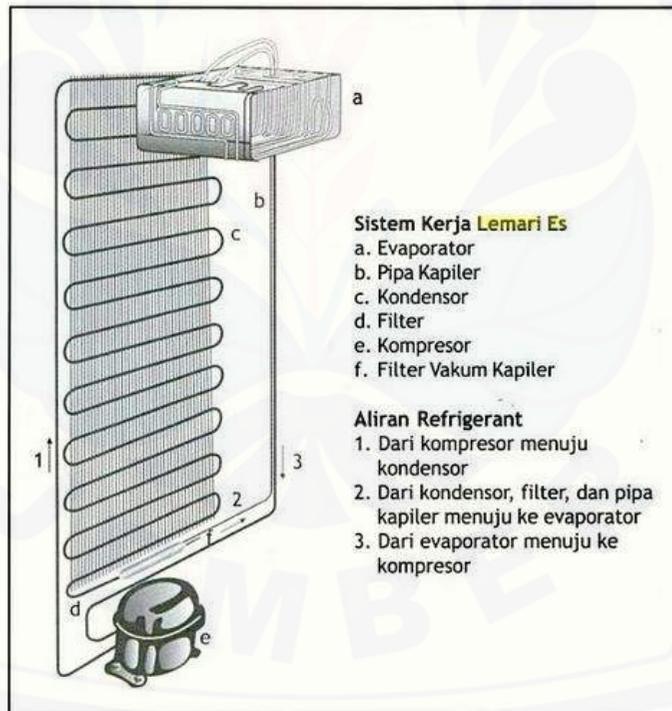
Refrigerasi adalah suatu proses penyerapan panas dari suatu zat atau produk sehingga temperaturnya berada dibawah temperatur lingkungan. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda ekuivalen dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. Karena kalor yang berada di sekeliling refrigeran diserap, akibatnya refrigeran akan menguap sehingga temperatur di sekitar refrigeran akan bertambah dingin. Hal ini dapat terjadi mengingat penguapan memerlukan kalor. Pada aplikasi tata udara (*air conditioning*), kalor yang diambil berasal dari udara. Untuk mengambil kalor dari udara, maka udara harus bersentuhan dengan suatu bahan atau material yang memiliki temperatur yang lebih rendah (Darwis dan Robert, 2005).

Di dalam suatu alat pendingin, kalor diserap di evaporator dan dibuang ke kondensor. Uap refrigeran yang berasal dari evaporator yang bertekanan dan bertemperatur rendah masuk ke kompresor melalui saluran hisap. Di kompresor uap refrigeran tersebut dimampatkan, sehingga ketika ke luar dari kompresor uap refrigeran akan bertekanan dan bersuhu tinggi, jauh lebih tinggi dibanding temperatur udara sekitar. Kemudian uap menuju ke kondensor melalui saluran tekan. Di kondensor uap tersebut akan melepaskan kalor, sehingga akan berubah fasa dari uap menjadi cair (terkondensasi) dan selanjutnya cairan tersebut terkumpul di penampungan cairan refrigeran.

Cairan refrigeran yang bertekanan tinggi mengalir dari penampungan refrigeran ke katup ekspansi. Keluar dari katup ekspansi tekanan menjadi sangat berkurang dan akibatnya cairan refrigeran bersuhu sangat rendah. Pada saat itulah cairan tersebut mulai menguap yaitu di evaporator, dengan menyerap kalor dari sekitarnya hingga cairan refrigeran habis menguap. Akibatnya evaporator menjadi dingin. Bagian inilah yang dimanfaatkan untuk mengawetkan bahan makanan atau untuk mendinginkan

ruangan. Kemudian uap refrigeran akan dihisap oleh kompresor dan demikian seterusnya proses-proses tersebut berulang kembali.

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 (Anwar, 2010)



Gambar 2.1 Komponen Lemari Es (Kusuma, 2015)

Komponen utama dari suatu sistem refrigerasi kompresi uap adalah:

- a) Evaporator
- b) Pipa Kapiler
- c) Kondensor
- d) Filter
- e) Kompresor
- f) Filter Vakum Kapiler

2.1.1 Evaporator

Evaporator berfungsi menyerap panas dari benda yang di masukkan kedalam kulkas. Kemudian evaporator menguapkan bahan pendingin untuk melawan panas dan mendinginkannya. Sesuai fungsinya evaporator adalah alat penguap bahan pendingin agar efektif dalam menyerap panas dan menguapkan bahan pendingin, evaporator di buat dari bahan logam anti karat, yaitu tembaga dan almunium.

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 (Darwis, & Robert, 2005).



Gambar 2.2 Evaporator (Widodo, 2014)

2.1.2 Pipa Kapiler

Pipa kapiler adalah tabung berdiameter kecil yang digunakan untuk ekspansi fluida yang mengalir. Perbedaan tekanan antara masuk dan keluar ujung tabung kapiler selalu sama dengan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator. Diameter pipa kapiler yang digunakan dalam peralatan pendingin bervariasi dari 0.5mm sampai 2.3mm (Pathak et al., 2014)

Dalam penyegar udara skala kecil, dipergunakan pipa kapiler sebagai pengganti katup ekspansi. Diameter dalam dan panjang dari pipa kapiler tersebut ditentukan berdasarkan besarnya perbedaan tekanan yang diinginkan, antara bagian yang bertekanan tinggi dan bagian yang bertekanan rendah, dan jumlah refrigerant yang bersirkulasi. Cairan refrigerant mengalir ke dalam evaporator, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga menguap secara berangsur – angsur (Poernomo, 2015).



Gambar 2.3 Pipa Kapiler (Aprikusani, 2015)

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 dimaksud agar refrigeran dapat mengembun pada temperatur yang relatif tinggi. Refrigeran yang keluar dari kompresor masih berfasa uap dengan tekanan tinggi. Perbandingan antara absolut tekanan buang (*discharge pressure*) dan tekanan isap (*suction pressure*) disebut dengan ratio kompresi (*compression ratio*).

Kompresor pada sistem refrigerasi dapat berupa kompresor torak (*reciprocating compresor*), *rotary*, *scrol*, *screw*, dan *centrifugal*. Kompresor yang paling umum dijumpai dan terdapat dalam berbagai tingkat kapasitas adalah kompresor torak. Refrigeran yang masuk kedalam kompresor harus benar-benar berfasa uap. Adanya cairan yang masuk ke kompresor dapat merusak piston, silinder, piston ring dan batang torak. Karena itu, beberapa jenis mesin refrigerasi dilengkapi dengan *liquid receiver* untuk memastikan refrigeran yang diisap oleh kompresor benar-benar telah berfasa uap (Darwis, & Robert, 2005).

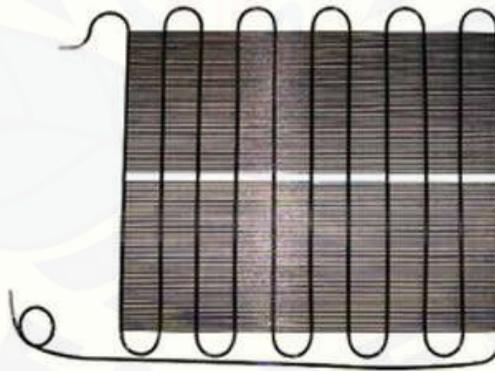


Gambar 2.4 Kompresor (Aprikusani, 2015)

2.1.4 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengembunkan atau mengkondensasikan refrigeran bertekanan tinggi dari kompresor. Pemipaan yang menghubungkan antara kompresor dengan kondensor dikenal dengan saluran buang (*discharge line*). Dengan demikian, pada kondensor terjadi perubahan fasa uap ke cair ini selalu disertai dengan pembuangan kalor ke lingkungan. Pada kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke udara. Pada kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*), pembuangan kalor dilakukan ke air (Darwis, & Robert, 2005).

Kondensor Berfungsi sebagai alat penukar kalor, menurunkan temperatur refrigeran, dan mengubah wujud refrigeran dari bentuk gas menjadi cair. Kondensor mesin pendingin biasanya disimpan pada luar ruangan (*outdoor*). Agar proses pelepasan kalor bisa lebih cepat, pipa kondensor didesain berliku dan dilengkapi dengan sirip.



Gambar 2.5 Kondensor (Aprikusani, 2015)

2.2 Komponen Pendukung Mesin Pendingin

Selain komponen utama yang telah disebutkan, mesin refrigerasi mempunyai komponen pendukung lain guna mengoptimalkan kinerja dari mesin itu sendiri. Komponen pendukung tersebut adalah:

1. *Solenoid Valve*

Alat ini mempunyai fungsi untuk mengalirkan dan menghentikan refrigerant dalam sistem refrigerasi dan tata udara. Cara kerja dari alat ini adalah apabila plunyer (inti besi) dialiri arus listrik maka plunyer tersebut akan menjadi medan magnet sehingga akan menarik plunyer ke atas dan menyebabkan katup menjadi terbuka dan aliran refrigerant pun akan mengalir, sedangkan apabila arus listrik diputus maka tidak akan terjadi medan magnet pada plunyer dan dengan karena beratnya plunyer tersebut akan turun ke bawah dan menutup aliran refrigerant. Pada berbagai aplikasi, katup solenoid juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk penghilangan bunga es pada evaporator dengan metode *hot gas*

defrosts (Darwis, & Robert, 2005). Beberapa tipe dari solenoid valve yaitu:

- a. Solenoid dua jalan, mempunyai dua sambungan pipa. Satu sambungan masuk dan satu sambungan keluar.
- b. Solenoid tiga jalan, mempunyai tiga sambungan pipa. Satu sambungan masuk dan dua sambungan keluar.
- c. Solenoid empat jalan atau disebut juga dengan reversing valve, banyak digunakan untuk heat pump, mempunyai satu sambungan masuk dan tiga sambungan keluar.

2. *Filter Dryer*

Alat ini mempunyai fungsi untuk menyaring kotoran dari sistem. Pada alat ini di dalamnya terdapat silica gel. Silica gel inilah yang dapat menyerap kotoran dari

sistem. *Filter dryer* dipasang pada *liquid line*, yakni saluran yang menghubungkan antara keluaran kondensor dengan pipa kapiler (Darwis, & Robert, 2005).

3. *Sight Glass*

Alat ini mempunyai fungsi untuk melihat keadaan refrigerant di dalam sistem. Jika di dalam sight glass terdapat buih-buih refrigerant maka sistem tersebut kurang refrigerant. Selain itu pada alat ini terdapat dua indikator yaitu kuning dan hijau. Kuning mengindikasikan bahwa sistem tersebut terdapat uap air dan jika hijau mengindikasikan bahwa sistem tersebut tidak ada uap air (Darwis, & Robert, 2005).

4. *Acumulator*

Akumulator adalah suatu peralatan bantu dalam sistem refrigerasi yang mempunyai fungsi untuk menampung atau memisahkan antara cairan refrigerant dan gas refrigerant agar refrigerant yang masuk ke dalam kompresor semuanya berbentuk gas refrigeran. Akumulator biasanya dipasang setelah evaporator dan sebelum kompresor atau pada bagian sisi tekanan rendah dari sistem.

5. *Acces Port / Service Valve*

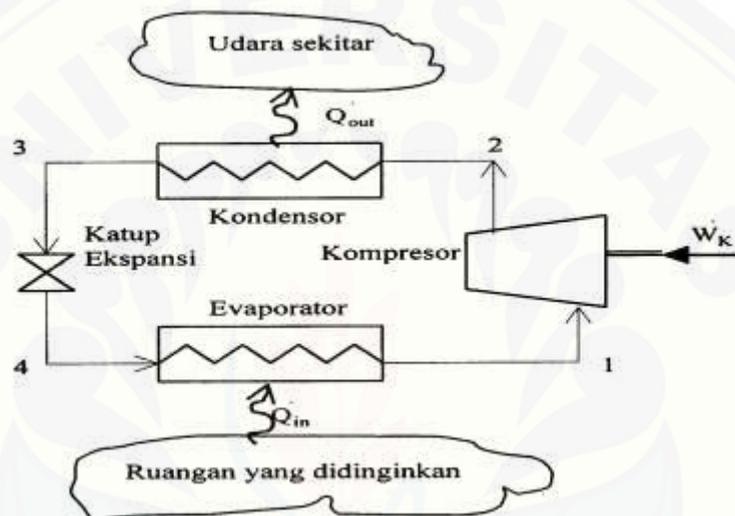
Alat ini diperlukan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian refrigeran. Alat ini juga bisa digunakan untuk keperluan *pumpdown* (Darwis, & Robert, 2005).

6. *Liquid Receiver*

Alat ini mempunyai fungsi untuk menampung sementara cairan refrigerant yang keluar dari kondensor agar refrigerant yang mengalir ke katup ekspansi semuanya berbentuk cairan. Cairan refrigerant ditampung di bagian bawah dari alat ini, sedangkan uap refrigerant ditampung di bagian atas. Alat ini dipasang setelah kondensor dan sebelum *filter dryer* (Darwis, & Robert, 2005).

2.3 Siklus Refrigerasi

Siklus refrigerasi adalah siklus kerja yang mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem (Nasution, 2002). Secara prinsip merupakan kebalikan dari siklus mesin kalor (*heat engine*). Ilustrasi tentang refrigerator dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.6 Siklus Refrigerasi (Handoyo, 2002)

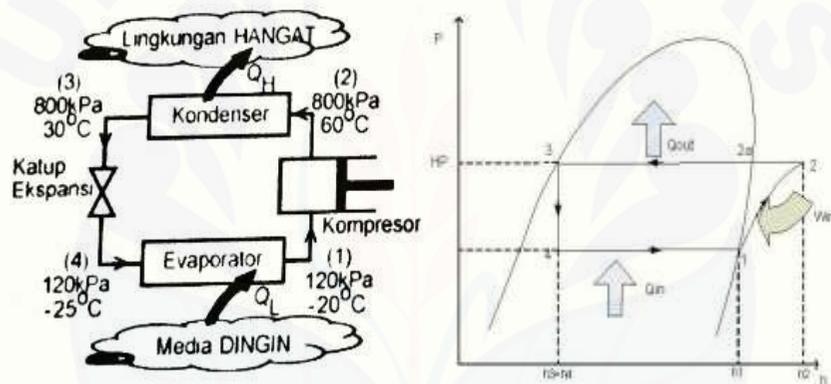
Siklus refrigerasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

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

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

2.3.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Siklus refrigerasi kompresi-uap ideal merupakan kebalikan siklus Carnot, di mana refrigeran harus menguap seluruhnya sebelum dikompresi pada kompresor, sehingga turbin digantikan peranannya oleh katup ekspansi atau pipa kapiler.



Gambar 2.7 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal (Kusuma, 2015)

Seperti terlihat pada skema dan diagram $T-s$ di atas, ada empat proses yang terjadi, yaitu proses 1-2 kompresi isentropik pada kompresor, proses 2-3 pelepasan kalor pada tekanan konstan di kondensor, proses 3-4' ekspansi isentropik pada katup ekspansi, dan proses 4'-1 penyerapan kalor pada tekanan konstan di evaporator.

Dari gambar di atas, alur refrigeran dimulai pada kondisi 1 saat masuk kompresor sebagai uap jenuh kemudian dikompresi secara isentropik sampai tekanan kondensor. Temperatur refrigeran naik selama proses kompresi ini di atas temperatur lingkungan. Refrigeran kemudian masuk ke kondensor sebagai uap superheat pada

tingkat keadaan 2 dan keluar sebagai cairan jenuh pada tingkat keadaan 3 sehingga terjadi pelepasan kalor ke lingkungan. Refrigeran pada tingkat keadaan 3 ini diekspansi sampai tekanan evaporator melalui katup ekspansi atau pun pipa kapiler. Temperatur refrigeran menjadi turun di bawah temperatur ruangan yang dikondisikan selama proses ini. Refrigeran masuk ke evaporator pada tingkat keadaan 4 (diidealisasi sebagai ekspansi isentropik pada tingkat keadaan 4') sebagai campuran saturasi dua-fasa (cair-uap) dengan kualitas rendah, kemudian refrigeran menguap seluruhnya dengan menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan tersebut. Refrigeran keluar dari evaporator sebagai uap jenuh dan masuk kembali ke kompresor pada tingkat keadaan 1.

Seluruh proses siklus di atas bersifat reversibel secara internal, kecuali untuk proses ekspansi yang irreversibel (karena trotoel tidak mungkin isentropik sehingga perlu diidealisasi atau berperan sebagai turbin untuk memudahkan analisis). Efisiensi siklus refrigerasi ini dinyatakan dalam koefisien unjuk kerja (COP), di mana tergantung dari efek refrigerasi ($Load/Q_L$) dan kerja netto ($W_{net,in}$). Secara teoritis COP maksimum ini tergantung dari temperatur dua sisi (T_{cool} dan T_{high}), di mana COP akan naik bila beda temperatur keduanya semakin kecil, dengan kata lain T_{cool} naik atau T_{high} turun.

Perbandingan antara besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator dengan kerja kompresor yang harus diberikan disebut sebagai koefisien kinerja (*Coefficient of Performance*). Besarnya COP (*Coefficient of Performance*) dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$COP = \frac{q_e}{w_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

Pada sistem refrigerasi, besarnya kalor yang diambil oleh refrigeran pada evaporator dari lingkungannya akan sebanding dengan selisih entalpi antara keluaran dan masukan evaporator. Fenomena ini dikenal sebagai efek refrigerasi.

$$q_e = h_1 - h_4 \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

q_e = Efek refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk 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 kompresi (Stoecker and Jones, 1982) yang dinyatakan dengan:

$$W_k = h_2 - h_1 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

W_k = Kerja kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

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

$$q = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

q = Kapasitas refrigerasi (kW)

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

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

Daya kompresor dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Daya Kompresor} = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

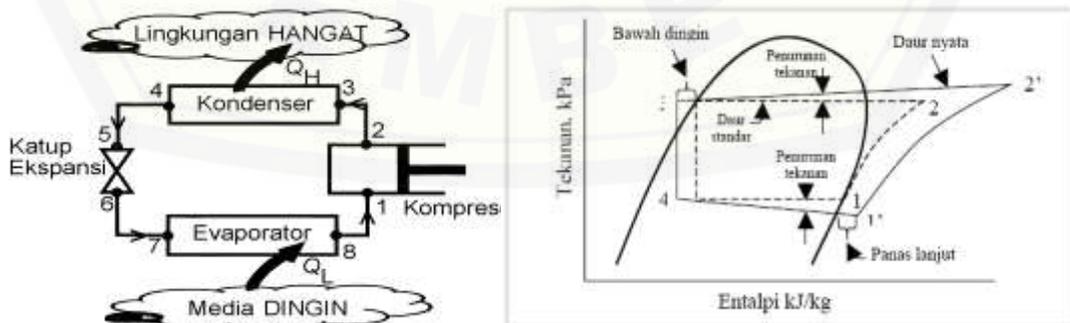
\dot{m} = Laju aliran massa (kg/det)

h_1 = Entalpi refrigeran keluaran kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

2.3.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Aktual

Pada kenyataannya *refrigerator* atau *heat pump* akan bekerja dengan suatu proses yang menyimpang dari siklus idealnya akibat irreversibilitas dalam tiap komponennya. Irreversibilitas ini pada umumnya disebabkan oleh gesekan fluida dan perpindahan kalor dari atau ke lingkungan sekitar. Siklus refrigerasi kompresi uap aktual dapat digambarkan secara skematis seperti gambar di bawah.



Gambar 2.8 Siklus Refrigerasi Kompresi Aktual (Kusuma,2015)

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.

2.4 Pemilihan Refrigeran

Dalam sistem refrigerasi, penggunaan refrigeran sangat penting guna mendukung suatu mesin refrigerasi. Oleh karena itu pemilihan refrigeran menjadi hal yang sangat penting.

2.4.1 Jenis Refrigeran

Refrigerant atau yang sering kita sebut Freon adalah cairan yang menyerap panas pada suhu rendah dan menolak panas pada suhu yang lebih tinggi. Prinsip-prinsip refrigeran memungkinkan untuk digunakan pada *outdoor unit* dan *indoor unit* langsung menjalankannya dengan baik, karena hubungan tekanan suhu. Hubungan tekanan suhu ini memungkinkan untuk dapat mentransfer panas.

Dalam industri HVAC refrigeran diberi nama dagang dikenal sebagai " nama R". Contoh nama-nama ini adalah R22, R134a, dan R502. Nama-nama ini membantu untuk menggambarkan berbagai jenis refrigerant. Refrigeran memiliki berbagai

susunan kimia dengan sifat-sifat yang berbeda. Beberapa refrigeran hanya mampu bekerja dalam tekanan yang tinggi sementara yang lain menggunakan tekanan rendah untuk berfungsi dengan baik.

Ada tiga susunan utama refrigeran yang digunakan pada saat ini yaitu :

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

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

Hidrokarbon sebagai refrigeran ramah lingkungan, tidak akan merusak komponen dalam sistem refrigerasi seperti logam dan desikan, elastomer yang biasa digunakan kecuali elastomer berbahan dasar karet alam dimana CFC, HCFC dan HFC juga dapat merusaknya. Dan dapat digunakan dengan pelumas R-12, R-22 dan R-134a. Hidrokarbon yang merupakan refrigeran alternatif jangka panjang pengganti CFC / HCFC memiliki keunggulan utama yaitu ramah lingkungan dan karakteristik

termodinamika yang baik sehingga dapat meningkatkan kinerja dan meningkatkan efisiensi energi.

Ozon (O₃) terbentuk dari pemecahan molekul oksigen (O₂) oleh sinar ultra violet matahari dan bergabung dengan oksigen dan atom atom oksigen lainnya membentuk ozon (O₃). Posisi pada atmosfer bumi di lapisan stratosfer kurang lebih sekitar 15 – 20 Km diatas permukaan bumi. Lapisan ozon sangat membantu mencegah radiasi sinar ultra violet yang mengakibatkan penyakit, antara lain kanker kulit, kanker mata dan lain-lain. Dewasa ini kerusakan ozon menjadi isue internasional, diseluruh belahan bumi kerusakan ozon dibahas oleh setiap negara, proses kerusakan ozon bermula dari bahan kimia CFCs (*Chlorofluorocarbon*) yang dapat melepaskan atom *Chlorine* dan *Haloncarbon* yang dapat melepaskan atom *Bromine*, dimana kedua atom tersebut akan mengikat atom oksigen dari molekul ozon sehingga lapisan ozon menjadi rusak. Penggunaan freon pada alat AC, lemari es, dan alat pendingin lain merupakan salah satu bentuk yang turut andil dalam pengrusakan ozon, karena alat ini menggunakan CFCs dalam proses kerjanya.

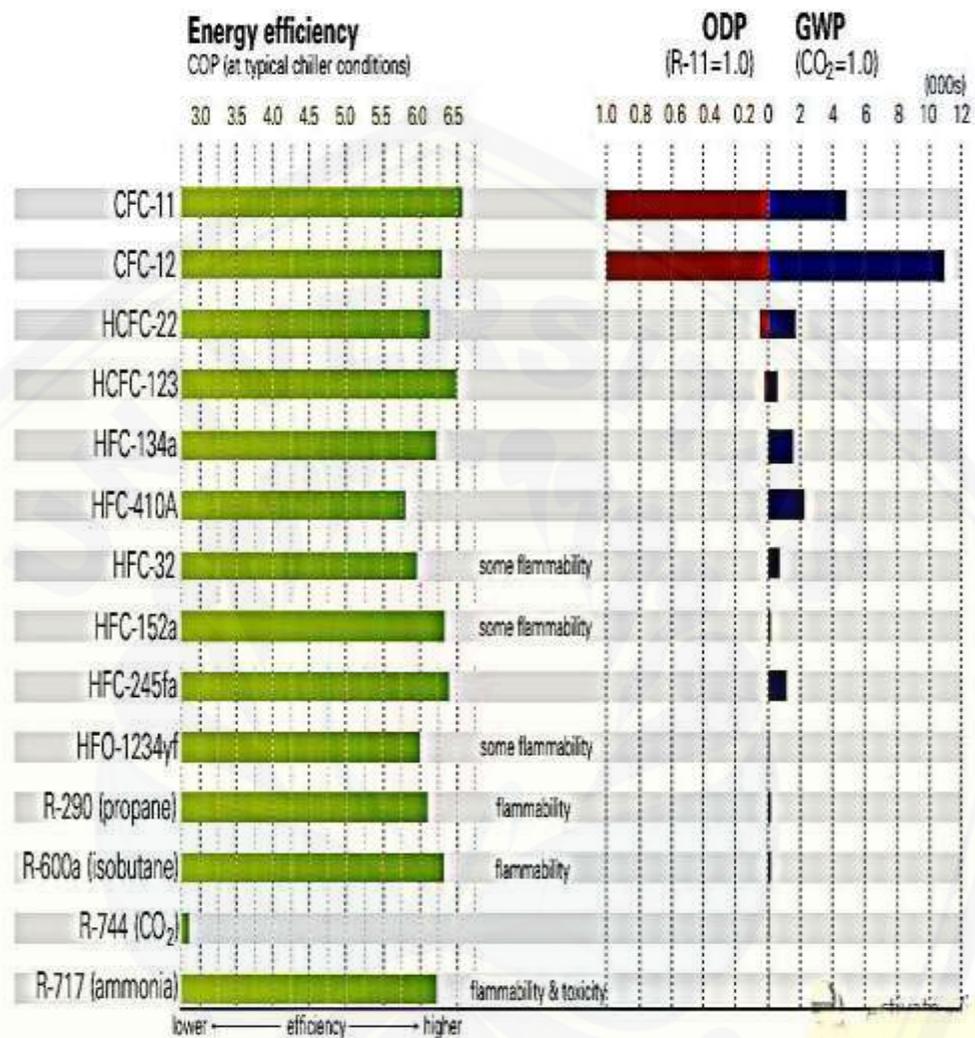
2.4.2 Chloro Fluoro Carbon (CFC)

Chloro Fluoro Carbon merupakan salah satu senyawa organik yang banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari. Artikel ini bertujuan untuk mengetahui proses perjalanan *Chloro Fluoro Carbon* hingga dapat merusak ozon dan membahayakan kehidupan di permukaan bumi. CFC adalah kloro fluoro karbon, yaitu senyawa-senyawa yang mengandung atom karbon dengan klorin dan fluorin terikat padanya. Dua CFC yang umum adalah CFC-11 (*Trichloro mono fluoro methane* atau freon 11) dan CFC-12 (*Dichloro difluoro methane*). CFC merupakan zat-zat yang tidak mudah terbakar dan tidak terlalu beracun. Satu buah molekul CFC memiliki masa hidup 50 hingga 100 tahun dalam atmosfer sebelum dihapuskan. Pada sekitar tahun 1970, zat-zat kimia seperti *chloro fluoro carbon* (CFC) dan *hydro chloro fluoro carbon* (HCFC) sudah menyebabkan penipisan lapisan ozon. Zat kimia

perusak lapisan ozon ini sangat stabil, sehingga bisa mencapai stratosfer secara utuh. Ketika berada di stratosfer, zat kimia ini diubah oleh radiasi ultraviolet dari sinar matahari dan mengeluarkan atom-atom klorin perusak ozon. Setelah lapisan ozon menipis, jumlah bahaya ultraviolet yang mencapai bumi bertambah antara lain menyebabkan perubahan ekosistem, kanker kulit, dan katarak.

2.4.3 Refrigeran Hidrokarbon

Refrigeran hidrokarbon adalah refrigeran yang saat ini banyak diteliti karena ramah lingkungan, tidak beracun, lebih murah, tidak menyebabkan penipisan ozon dengan nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) sebesar 0. Selain itu refrigeran hidrokarbon tidak menyebabkan pemanasan global dengan nilai GWP (*Global Warming Potential*) yang rendah (Tiwari et al., 2011).



Gambar 2.9 Nilai ODP dan GWP Refrigeran (Widodo, 2014)

Keuntungan refrigeran hidrokarbon adalah:

- Memiliki Sifat Fisika dan Termodinamika yang lebih baik.
- Sangat ramah lingkungan, tidak merusak lapisan Ozon dan tidak menimbulkan efek rumah kaca.
- Familiar dengan kehidupan manusia.

- Kompatible terhadap semua mesin pendingin yang biasa menggunakan refrigeran sintetis.
- Tidak merusak komponen mesin refrigerasi
- Tidak perlu penggantian komponen mesin refrigerasi.
- Mudah didapat.

2.4.4 Syarat Refrigeran

Sebuah refrigeran dituntut mampu bekerja secara optimal. Namun disamping itu ada beberapa syarat yang harus dimiliki refrigeran agar aman digunakan. Syarat tersebut antara lain:

- Tekanan penguapannya harus tinggi.
- Tekanan pengembunan yang tidak terlampaui tinggi.
- Kalor laten penguapannya harus tinggi.
- Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil.
- Koefisien prestasinya harus tinggi.
- Konduktivitas termal yang tinggi.
- Viskositas yang rendah dalam fasa cair maupun fasa gas.
- Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, sertatidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik.
- Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, jadi juga tidak menyebabkan korosi.
- Refrigeran tidak boleh beracun
- Refrigeran tidak boleh mudah terbakar
- Refrigeran harus mudah dideteksi, jika terjadi kebocoran.
- Harganya tidak mahal
- Mudah diperoleh.
- Tidak berbau merangsang.
- Ramah lingkungan.

- Tidak mudah meledak.

2.5 Liquefied Petroleum Gas (LPG)

2.5.1 Pengertian LPG

LPG merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan (*Liquefied Petroleum Gasses*) merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu dari Gas alam maupun Gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*). Komponen utama LPG terdiri dari Hidrokarbon ringan berupa Propana (C_3H_8) dan Butana (C_4H_{10}), serta sejumlah kecil Etana (C_2H_6 ,) dan Pentana (C_5H_{12}).

LPG digunakan sebagai bahan bakar untuk rumah tangga dan industri. LPG terutama digunakan oleh masyarakat tingkat menengah keatas yang kebutuhannya semakin meningkat dari tahun ketahun karena termasuk bahan bakar yang ramah lingkungan. Sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, LPG harus memenuhi beberapa persyaratan khusus dengan tujuan agar aman dipakai dalam arti tidak membahayakan bagi si pemakai dan tidak merusak peralatan yang digunakan serta efisien dalam pemakaiannya. Oleh sebab itu untuk menjaga faktor keselamatan, LPG dimasukan ke dalam tabung yang tahan terhadap tekanan yang terbuat dari besi baja dan dilengkapi dengan suatu pengatur tekanan.

Disamping itu untuk mendeteksi terjadinya kebocoran LPG, maka LPG sebelum dipasarkan terlebih dahulu ditambahkan zat pembau (*odor*) sehingga apabila terjadi kebocoran segera dapat diketahui. Pembau yang ditambahkan harus melarut sempurna dalam LPG, tidak boleh mengendap. Untuk maksud itu digunakan etil merkaptan (C_2H_5SH) atau butil merkaptan (C_4H_9SH). Sedangkan dibidang industri produk elpiji digunakan sebagai pengganti *freon, aerosol, refrigerant / cooling agent*, kosmetik dan dapat pula digunakan sebagai bahan baku produk khusus.

2.5.2 Komposisi LPG

Berdasarkan spesifikasi LPG yang dikeluarkan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009, komposisi produk LPG minimal mengandung campuran Propane (C3) dan Butane (C4) sebesar 97% dan maksimum 2% merupakan campuran Pentane (C5) dan hidrokarbon yang lebih berat. Batasan komposisi Propana (C3) dan Butana (C4) dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimum tekanan uap yang ditentukan (145 psi).

Tabel 2.1 Karakteristik Propana dan Butana

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

(Kusuma, 2015)

2.5.3 Sifat – Sifat LPG

a. Wujud

Gas elpiji yang ada di dalam tabung, wujudnya cair dan sebagian berwujud uap. Namun apabila gas tersebut dikeluarkan dari tabung, wujudnya berubah menjadi gas. Wujud awal dari LPG adalah gas. Namun di pasaran dijual dalam bentuk cair. Dengan adanya perubahan wujud akibat temperatur dan tekanan, maka volume gas juga berubah. Volume gas yang berwujud cair akan menjadi lebih kecil apabila dibandingkan dengan volume gas ketika

masih berwujud gas. Rasio antara volume gas bila menguap dengan gas dalam keadaan cair bervariasi tergantung komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1.

Kemampuan gas bisa berubah wujud menjadi cair merupakan kelebihan dari bahan-bahan gas yaitu volumenya bisa menjadi mengecil. Kelebihan ini diaplikasikan terutama untuk menyimpan dan mengirim gas dalam tangki, dimana dengan cara tersebut secara ekonomi sangat menguntungkan

b. Massa Jenis (*Density*)

Kepadatan massa atau kepadatan material atau massa jenis adalah massa per satuan volume. Simbol yang paling sering digunakan untuk kerapatan ρ (disebut rho). Massa jenis gas yaitu banyaknya massa (kg) dari gas yang mempunyai volume sebesar $1,0 \text{ m}^3$ pada kondisi tertentu (diukur pada suhu $0 \text{ }^\circ\text{C}$, dan tekanan 1013 bar / $1,013 \text{ kg/cm}^2$). Massa jenis gas propan adalah $2,004 \text{ kg/m}^3$, gas butan adalah $2,703 \text{ kg/m}^3$, dan udara sebesar $1,293 \text{ kg/m}^3$. Dari sini kita bisa diketahui bahwa dengan volume yang sama yaitu $1,0 \text{ m}^3$, massa propan, butan dan udara berbeda-beda. Massa butan lebih besar bila dibandingkan dengan massa propan, massa propan lebih besar daripada massa udara, dan massa kedua gas tersebut (butan dan propan) lebih besar daripada massa udara. Pengetahuan tentang massa jenis ini penting untuk memahami perilaku gas bila gas tersebut terlepas di udara bebas, apakah gas tersebut naik ke atas atau turun ke bawah (dan akan berada di atas permukaan tanah).

c. *Specific Gravity*

Specific gravity adalah perbandingan antara massa jenis fluida (*fluid density*) dengan massa jenis fluida tertentu (*specified reference density*). Yang digunakan sebagai fluida pembanding bisa berbeda-beda. Misalnya untuk cairan, maka sebagai fluida pembandingnya (*reference density*) adalah

air pada suhu 4 °C. Sedangkan untuk gas, sebagai fluida pembandingnya adalah udara (biasanya pada suhu 200 °C). *Specific gravity* merupakan sebuah perbandingan, sehingga *specific gravity* tidak mempunyai satuan.

Meskipun pengertiannya tidak sama persis (tetapi pada dasarnya adalah sama), ada yang menterjemahkan *specific gravity* dengan massa jenis relatif (*relative density*). Selanjutnya dalam tulisan ini untuk menyebut istilah *specific gravity* kita gunakan istilah massa jenis relatif. Massa jenis relatif gas adalah perbandingan antara massa jenis gas dengan massa jenis udara (udara luar atau udara bebas). Massa jenis relatif udara adalah 1. Angka ini didapat dari massa jenis udara dibandingkan dengan massa jenis udara itu sendiri, yaitu $1,293 \text{ kg/m}^3 : 1,293 \text{ kg/m}^3$ sama dengan 1. Dengan cara yang sama kita bisa menghitung massa jenis relatif dari propan yaitu $2,004 \text{ kg/m}^3 : 1,293 \text{ kg/m}^3$ sama dengan 1,55 dan massa jenis relatif dari butan adalah sebesar 2,09. Apabila massa jenis relatif dari suatu gas lebih kecil daripada 1, maka gas tersebut akan naik ke udara. Namun apabila massa jenis relatifnya lebih kecil dari 1, maka gas tersebut akan turun ke tanah (mencari/mengalir ke tempat yang lebih rendah).

Dengan mengetahui bahwa massa jenis relatif gas propan dan butan lebih besar dari udara, maka apabila kita menyimpan LPG harus memberi ventilasi yang diletakkan rata dengan tanah/lantai (bila memungkinkan) atau dinaikkan sedikit. Hal ini dimaksudkan apabila ada kebocoran LPG, gas tersebut bisa cepat keluar dan bercampur dengan udara bebas. Di samping itu, dengan alasan yang sama seperti dia atas, kita jangan menyimpan tabung LPG di ruangan bawah tanah.

d. Temperatur Nyala (*Ignition Temperature*)

Temperatur nyala dari bahan bakar gas pada umumnya antara 4500 °C sampai dengan 6500 °C. Dengan temperatur seperti itu, gas yang diletakkan di udara bebas akan menjadi panas dan akan terjadi pembakaran. Temperatur

nyala untuk propan adalah 5100 °C, sedangkan butan adalah 4600 °C. Dari data ini kita bisa tahu bahwa apabila ada LPG yang terlepas atau bocor dari tabung gas ke udara bebas, gas tersebut tidak akan terbakar dengan sendirinya. Karena temperatur udara bebas biasanya sekitar 270 °C. Untuk menimbulkan nyala pada peralatan yang menggunakan bahan bakar gas, misalnya kompor gas, kita menggunakan alat penyalu atau api penyalu. Apabila temperatur udara bebas ini minimal sama dengan temperatur nyala, maka gas tersebut berada dalam kondisi *autoignition temperature* yaitu temperatur terendah dimana bahan akan terbakar dengan sendirinya tanpa diberi sumber nyala.

e. Batas Nyala (*Flammable Range*)

Batas nyala (*Flammable Range*) atau disebut juga batas meledak (*Explosive Range*) adalah perbandingan campuran (dalam bentuk prosentase) antara gas dengan udara, dimana pada batas tersebut dapat terjadi nyala api atau ledakan. Untuk bisa terjadi nyala api atau ledakan, besarnya perbandingan antara uap gas dan udara tidak memiliki nilai (angka) yang tunggal, tetapi merupakan nilai-nilai yang mempunyai batas bawah dan batas atas. Jadi apabila terjadi campuran antara gas dan udara dalam rentang nilai bawah dan nilai atas, maka akan terjadi nyala api atau ledakan.

Nilai batas nyala bawah disebut juga *Lower Explosive Limit* (LEL) yaitu batas minimal konsentrasi uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api, gas tersebut akan terbakar. Sedangkan nilai batas atas atau *Upper Explosive Limit* (UEL) yaitu batas konsentrasi maksimal uap bahan bakar di udara dimana bila ada sumber api, gas tersebut akan terbakar. Batas nyala (*Flammable Range*) untuk propan adalah antara 2,4 % sampai dengan 9,6 % dan butan antara 1,9 % sampai dengan 8,6 %. Ini artinya bahwa misalnya terjadi campuran 2,4 % propan dengan 97,6 % udara, maka campuran tersebut akan dapat menyala, tetapi jumlah gas propan ini merupakan jumlah

yang minimal. Apabila jumlah propan kurang dari 2,4 %, maka tidak akan terjadi nyala. Demikian sebaliknya, apabila jumlah propan lebih dari 9,6 % juga tidak akan terjadi nyala.

Sebagai contoh terjadi campuran 15 % propan dan 85 % udara, maka tidak akan terjadi nyala. Jadi kesimpulannya bahwa meskipun ada sumber api tetapi karena perbandingan campuran antara propan dengan udara di bawah atau di atas batas nyala (*Flammable Range*), maka tidak akan terjadi pembakaran. Dengan mengetahui batas nyala (*flammable range*) dari gas, kita bisa mencegah dan mengantisipasi bahaya dari LPG (elpiji) tersebut. Dengan mengetahui bahwa gas akan terbakar apabila mempunyai campuran dengan udara dengan perbandingan tertentu, maka apabila ada gas yang bocor, salah satu tindakan sederhana yang bisa dilakukan adalah dengan membuka pintu atau jendela atau berusaha mengipas-ngipas gas tersebut agar keluar ruangan. Hal ini dimaksudkan gas tersebut komposisi campurannya kurang dari 1,9 % (untuk gas propan). Dengan demikian gas tersebut tidak bisa terbakar, meskipun ada sumber api.

2.6 Kondisi *Steady State*

Kondisi *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 sistem, turunan parsial terhadap waktu adalah nol. Pada kebanyakan sistem, keadaan tunak 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 tunak yang terjadi sewaktu dua atau lebih proses terbalikkan (*reversible process*) terjadi pada laju yang sama. Tetapi, sistem dalam keadaan tunak 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 tunak karena adanya aliran fluida atau listrik yang konstan di dalamnya.

2.7 Penelitian Terdahulu

Pada tahun (2002), Ekadewi meneliti pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada line suction terhadap peformasi mesin pendingin. Refrigeran yang digunakan adalah R-406a. Pengamatan terhadap waktu pendinginan air garam dalam ruang beban dilakukan mulai air garam mencapai $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, dimana pengukuran dilakukan untuk penurunan tiap $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dari hasil pengamatan, dilihat bahwa waktu pendinginan yang diperlukan bertambah dengan semakin rendahnya temperatur air garam. Namun saat temperatur air garam turun dari $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan dari $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, waktu yang diperlukan justru menurun dan kemudian untuk berikutnya meningkat kembali. Pada artikel ini tidak dibahas lebih jauh karena hal ini di luar tujuan eksperimen. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa usaha melilitkan pipa kapiler pada line suction tidak membuat waktu pendinginan lebih singkat. Hal ini dapat dimengerti karena kapasitas pendinginan tidak banyak berubah. Usaha yang dilakukan untuk meningkatkan performansi mesin pendingin adalah dengan mengkontakkan pipa (bukan pipa kapiler) yang keluar dari kondensor dengan line suction.

Dendi Dwinanda (2003) meneliti pengaruh bentuk lekukan pipa kapier pada mesin pendingin menggunakan refrigeran R12. Diperoleh bahwa bentuk lekukan pipa kapiler mempengaruhi besar kecilnya suhu di dalam evaporator. Bentuk lekukan pada pipa kapiler mempengaruhi besar kecilnya suhu di dalam *evaporator*. Dari bentuk variasi pipa kapiler lurus, pipa kapiler gelombang, dan pipa kapiler spiral diperoleh hasil dengan suhu terendah dan nilai COP tertinggi adalah pipa kapiler spiral. Dari percobaan ketiga pipa kapiler tersebut, terbukti bahwa yang menghasilkan suhu dingin terendah dan COP terbesar adalah yang diberi lekukan spiral. Namun hanya pada menit ke 30 saja, suhu tersebut berangsur angsur mulai

naik menjadi $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada menit ke 100. Dapat bahwa pengaruh bentuk lekukan spiral terhadap suhu di evaporator hanya berlaku di menit ke 30 saja. Setelah lewat dari itu, suhu perlahan-lahan naik ke $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Marwan (2005) melakukan penelitian serupa juga pada *freezer*, akan tetapi dengan menggunakan refrigeran R-134a. Mesin pendingin yang kebanyakan bekerja dengan dasar siklus pendingin kompresi uap membutuhkan energi input (umumnya listrik) dalam jumlah cukup besar. Dalam artikel ini dilakukan dengan melilitkan pipa kapiler pada line suction untuk mengetahui performansi suatu mesin pendingin, dalam eksperimen ini digunakan freezer. Performansi yang diamati adalah COP dan waktu pendinginan. Waktu pendinginan didapat dari waktu untuk menurunkan $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ air garam dari $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan seterusnya hingga $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dari eksperimen yang dilakukan didapat bahwa pipa kapiler yang dililitkan pada line suction dapat meningkatkan COP *freezer* sedang waktu pendinginan tidak banyak berubah. Hasil yang diperoleh menunjukkan penelitian pipa kapiler pada line suction meningkatkan COP sistem dan waktu yang diperlukan untuk menurunkan $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ larutan air garam semakin lama untuk temperatur yang makin rendah.

Pada tahun 2010, Khairil Anwar meneliti efek temperatur pipa kapiler terhadap kinerja mesin pendingin. Diperoleh bahwa temperatur pipa kapiler melalui proses pendinginan memberikan pengaruh terhadap kondisi refrigeran dalam siklus mesin pendingin, dalam hal ini adalah nilai entalpi. Pendinginan tersebut menyebabkan titik entalpi pada siklus bergeser kearah kiri (semakin kecil), terutama pada bagian keluar pipa kapiler atau sebelum masuk ke evaporator. Hal ini akan berdampak pada kapasitas refrigerasi (q_e) sistem mesin pendingin yang diuji. Semakin rendah suhu pendinginan, maka kapasitas refrigerasi (q_e) akan mengalami kenaikan. Untuk COP diperoleh temperatur optimal dari pipa kapiler yaitu temperatur pendinginan yang paling terendah.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan variasi lekukan pipa kapiler dengan Liquified Petroleum Gas (LPG) sebagai refrigeran pada mesin pendingin. Variasi lekukan pipa kapiler dilakukan dengan mengganti pipa kapiler standar (spiral) dengan diameter dan panjang yang sama namun berbeda profil lekukan. Berdasarkan data tersebut dapat ditentukan kondisi refrigeran pada setiap titik. Selanjutnya dapat dihitung dampak refrigerasi, kerja kompresi, kapasitas refrigerasi, koefisien prestasi, dan daya kompresor pada sistem untuk setiap variasi lekukan pipa kapiler yang digunakan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian pada penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2016 – April 2016. Proses tersebut meliputi proses persiapan alat uji dan pengambilan data. Penelitian ini dilaksanakan di Bengkel Pendingin Pak Hariyanto Jl. Kaliurang RT 03 RW02 Jember.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat

a. Lemari pendingin

Spesifikasi :

Ukuran: 110 x 55 x 55 (cm)

Jenis : Satu Pintu

Kapasitas : 155 (liter)

Tegangan : 220 (volt)

Frekuensi : 50 Hz

b. *Pressure gauge*, sebagai pengukur tekanan

- c. *Manifold gauge*, sebagai alat penghubung pengisi refrigeran
- d. *Thermoreader*
- e. Termocouple
- f. Tabung gas
- g. Las
- h. Pemotong pipa

3.3.2 Bahan

Fluida kerja atau refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG dan pipa kapiler dengan diameter 0,026 inch dengan variasi bentuk spiral, lurus, melingkar, dan helical dengan panjang 2 meter.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau memengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dimanipulasi atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diobservasi atau diamati. Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi profil lekukan pipa kapiler dengan bentuk sebagai berikut:

- a. Pipa kapiler spiral (panjang 2 meter, diameter 0,026 inchi).
- b. Pipa kapiler lurus (panjang 2 meter, diameter 0,026 inchi).
- c. Pipa kapiler melingkar (panjang 2 meter, diameter 0,026 inchi).
- d. Pipa kapiler helical (panjang 2 meter, diameter 0,026 inchi).

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diobservasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas, yaitu faktor yang muncul atau tidak muncul, atau berubah sesuai dengan yang diperkenalkan oleh peneliti. Variabel

terikat pada penelitian ini adalah tekanan dan temperatur pada titik yang telah ditentukan saat penelitian.

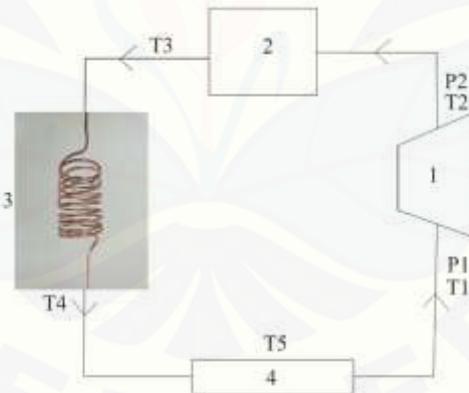
3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan Alat Pengujian

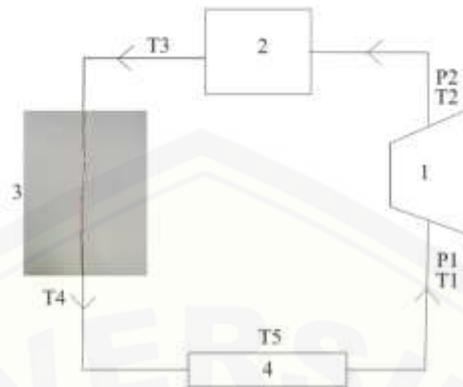
Sebelum penelitian dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan persiapan peralatan penelitian. Diantaranya sebagai berikut:

- Pemasangan pipa kapiler dengan profil lekukan yang telah ditentukan.
- Kondisi *pressure gauge* untuk pengukuran tekanan aliran yang terjadi pada titik yang diamati.
- Kondisi pipa kapiler.

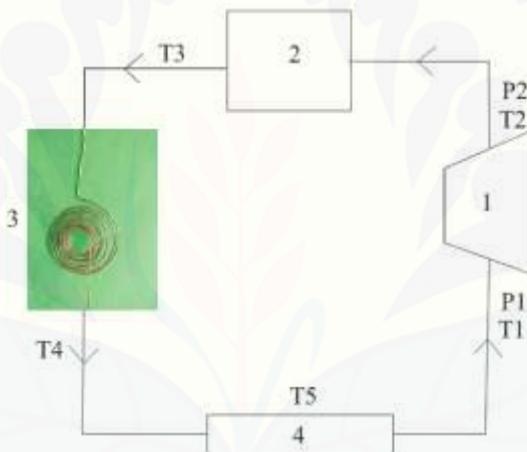
3.5.2 Profil Variasi Pipa Kapiler



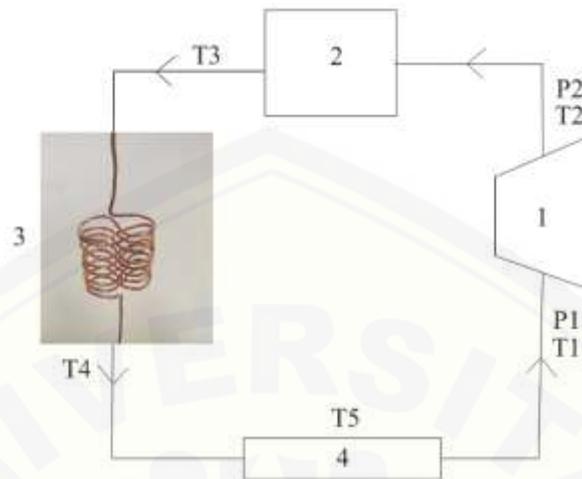
Gambar 3.1 Pipa Kapiler Spiral



Gambar 3.2 Pipa Kapiler Lurus



Gambar 3.3 Pipa Kapiler Melingkar



Gambar 3.4 Pipa Kapiler Helical

3.5.3 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji dan komponen mesin pendingin kemudian melakukan pengetesan. Selanjutnya melakukan pemvakuman untuk memastikan tidak ada sisa udara dalam sistem. Kemudian melakukan pengisian refrigeran LPG kedalam sistem.

3.5.4 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat melakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut:

1. Merangkai komponen mesin pendingin
2. Memasang alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik yang telah ditentukan.
3. Memasang alat pengukur suhu (*termokopel*) pada titik yang telah ditentukan.
4. Memasukkan refrigeran LPG ke dalam sistem.
5. Mengoperasikan mesin pendingin sampai keadaan stabil (dengan asumsi mesin beroperasi stabil setelah tiga jam dari waktu penyalaan).
6. Catat tekanan dan temperatur yang ditunjukkan masing-masing pengukur pada semua titik yang telah ditentukan dengan interval waktu 15 menit.

7. Pengumpulan data.
8. Perhitungan data sebagian menggunakan bantuan *software coolpack*.

Tabel 3.1 Pengambilan Data

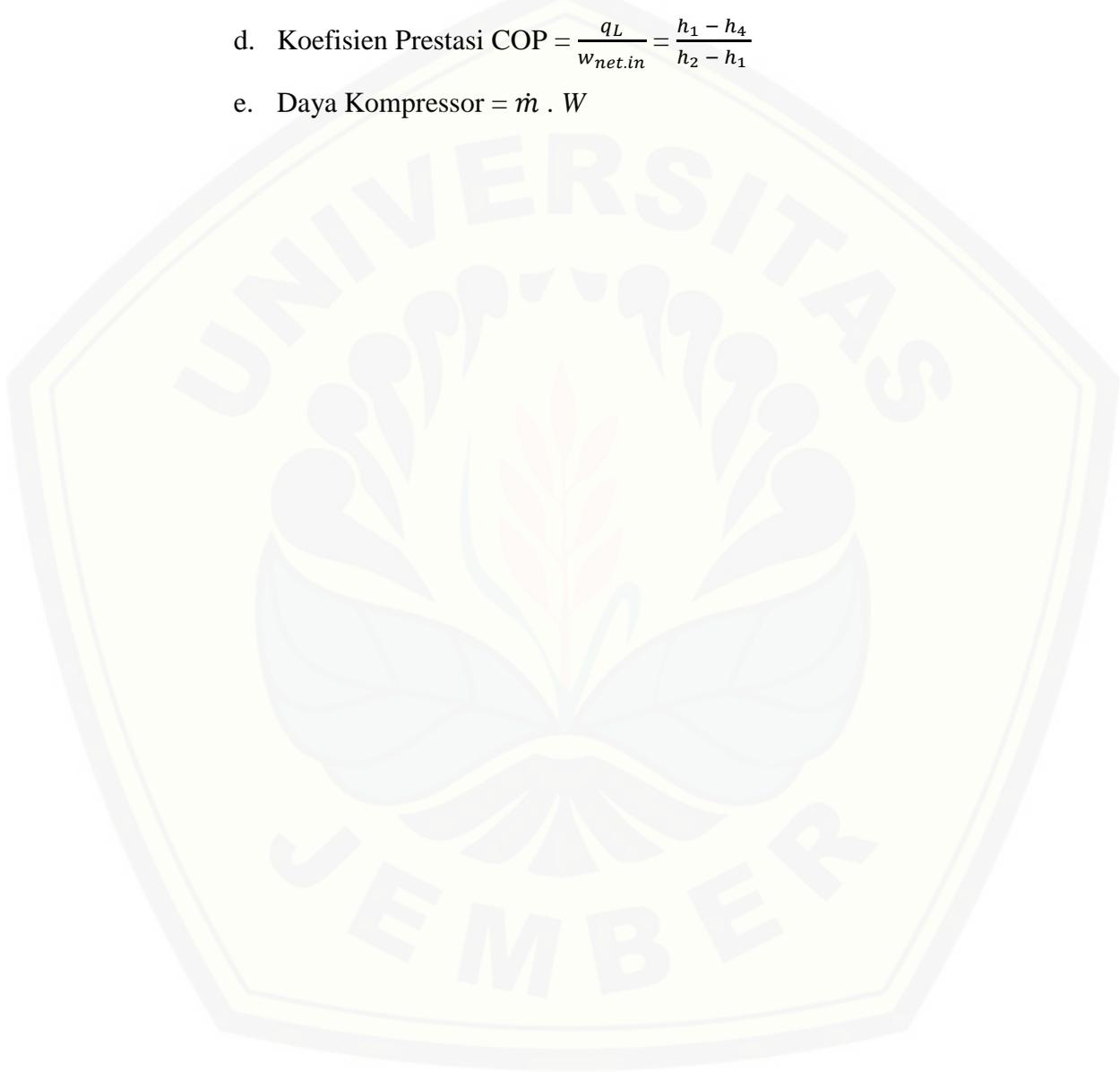
Waktu (menit)	Temperatur (°C)					Tekanan (bar)	
	T1	T2	T3	T4	T5	P1	P2
15							
30							
45							
60							
75							
90							
105							
120							
135							
150							
165							
180							

3.5.5 Pengolahan Data

Dari pengambilan data akan diperoleh didapatkan nilai temperatur dan tekanan. Selanjutnya dari temperatur dan tekanan tersebut akan diketahui:

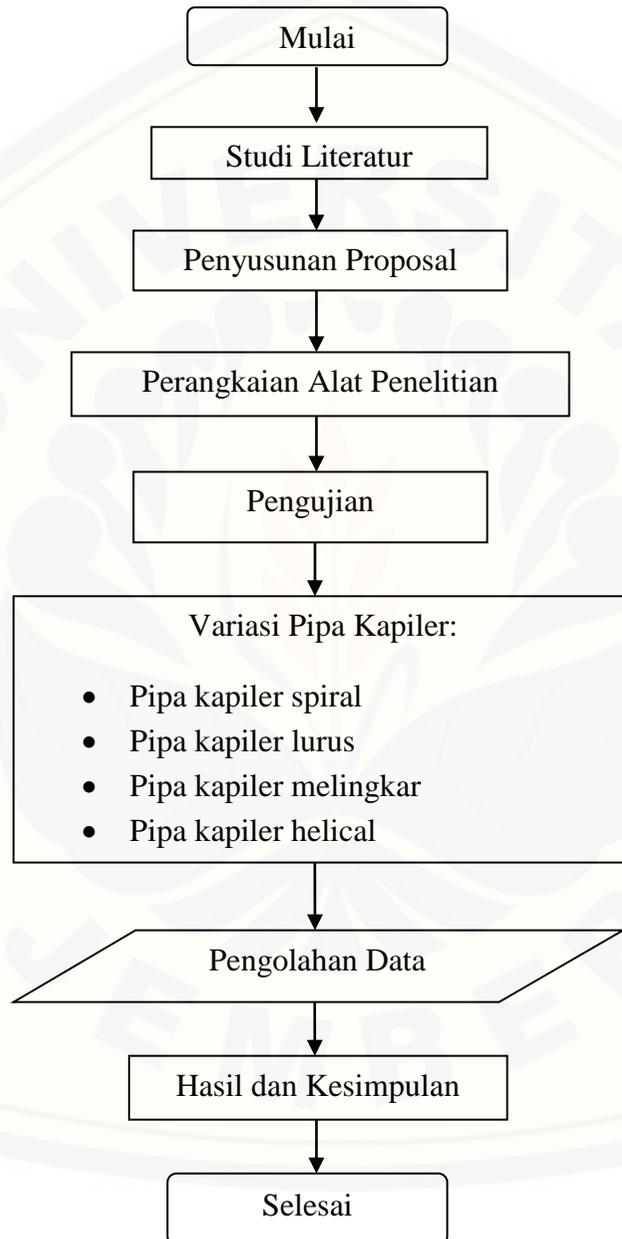
1. Nilai entalpi (h) dari *software coolpack*.
2. Dari nilai entalpi dapat diperoleh:

- a. Dampak refrigerasi $q_e = h_1 - h_4$
- b. Kerja Kompresi $W = h_2 - h_1$
- c. Kapasitas refrigerasi $q = \dot{m} (h_1 - h_4)$
- d. Koefisien Prestasi COP = $\frac{q_L}{w_{net.in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$
- e. Daya Kompresor = $\dot{m} \cdot W$



3.6 Diagram Alir Penelitian

Secara ringkas, penelitian ini dapat digambarkan menggunakan diagram sebagai berikut:



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dampak refrigerasi dan kerja kompresi terbesar berturut-turut dimiliki oleh pipa kapiler spiral yaitu sebesar 455,64 kJ/kg pipa kapiler spiral yaitu sebesar 70,78 kJ/kg. Sedangkan daya kompresor terkecil dimiliki oleh pipa kapiler helical sebesar 0,52 kW. Hal ini menyatakan bahwa pipa kapiler helical memiliki performa yang paling baik karena daya kompresornya rendah.
- b. Kapasitas refrigerasi memiliki nilai yang hampir mendekati satu sama lain yaitu sebesar 5,40 kW untuk pipa kapiler lurus, 5,57 kW untuk pipa kapiler spiral, 5,54 kW untuk pipa kapiler melingkar, dan 5,55 kW untuk pipa kapiler helical. Jika ditinjau dari kondisi stabil sistem (menit ke 150 sampai menit 180).
- c. COP tertinggi dimiliki oleh pipa kapiler helical yaitu sebesar 10,67. Sehingga variasi pipa kapiler helical dapat dijadikan alternatif untuk meningkatkan performa mesin pendingin karena daya kompresornya paling rendah dan nilai COP yang tinggi dibandingkan dengan variasi pipa kapiler lain.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian dan analisi yang telah dilakukan antara lain:

- a. Penelitian sebaiknya dilakukan menggunakan termocouple yang baru sehingga keakurasian pembacaan temperatur bisa lebih akurat.
- b. Pengujian dilakukan diruangan dengan temperatur konstan.
- c. Pada saat pengujian, mesin pendingin harus tertutup rapat agar tidak ada udara lingkungan yang masuk kedalam sistem.

DAFTAR PUSTAKA

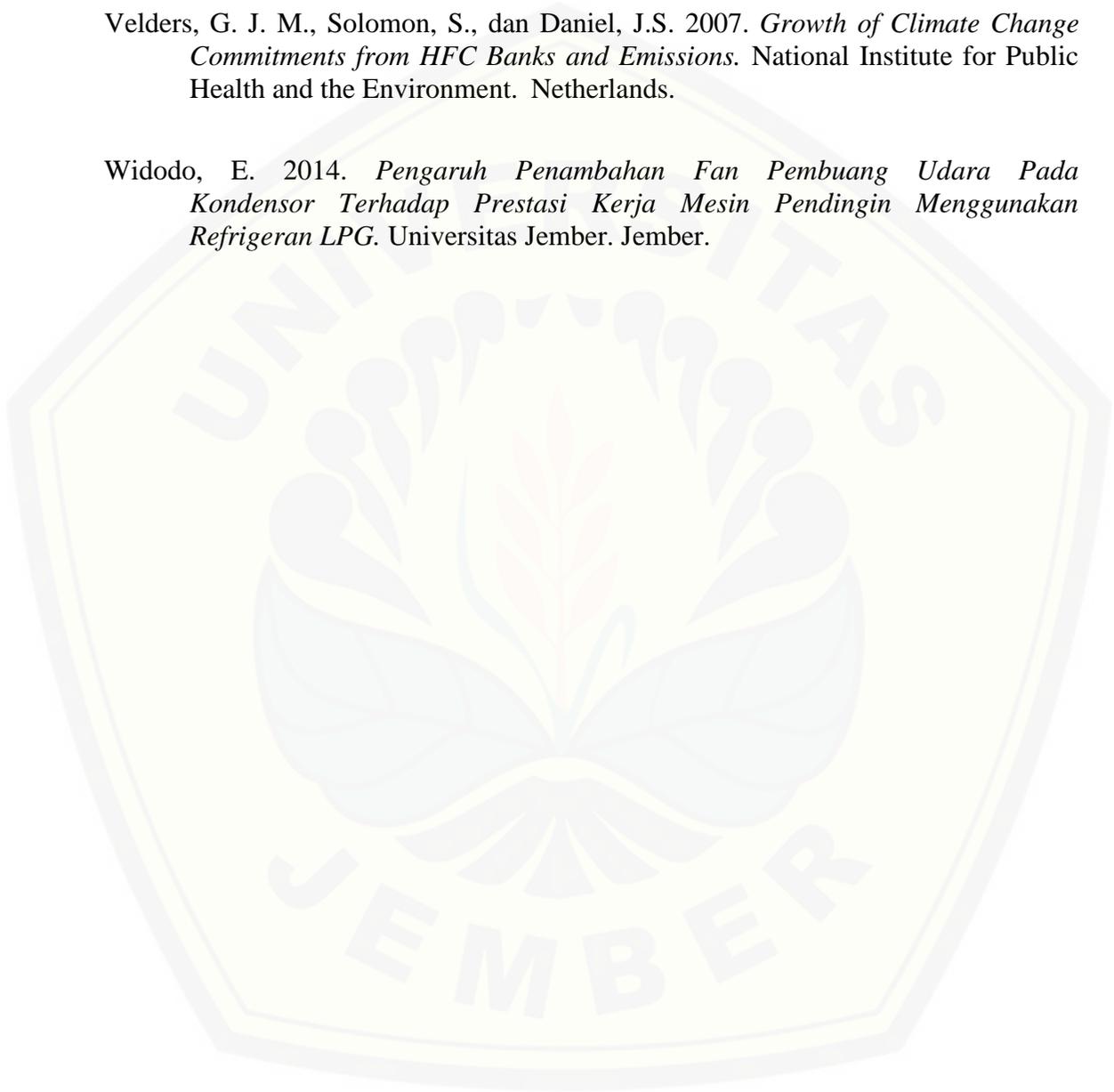
- Anwar, K. 2010. *Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin*. Fakultas Teknik. Universitas Tadulako. Palu.
- Aprikusani, A. A. N. 2015. *Kulkas Dua Pintu dengan Daya Kompresor 1/8 PK, Panjang Pipa Kapiler 160 cm dan Refrigeran R134_a*. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Arismunandar, W & Saito, H. 2002. *Penyegaran Udara*. Edisi keenam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Arora, C.P. 1986. *Refrigeration and Air Conditioning*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- ASHRAE. 2005. *Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA*.
- Dwinanda, D. 2003. *Analisis Pengaruh Bentuk Lekukan Pipa Kapiler Pada Refrigerator*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Gunadarma. Depok.
- Effendy, M. 2005. *Pengaruh Kecepatan Udara Pendingin Kondensor Terhadap Koefisien Prestasi Air Conditioning*. Jurnal Teknik Gelagar. (16) 1 : 51-58
- Handoyo, E. A. Dan Lukito, A. 2002. *Analisis Pengaruh Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Line Suction Terhadap Performansi Mesin Pendingin*. Universitas Kristen Petra.
- Kusuma, D. D. H. 2015. *Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler Yang Dililitkan Pada Line Suction Terhadap Prestasi Mesin Pendingin Dengan LPG Sebagai Refrigeran*. Universitas Jember. Jember.
- Laksono, F. A. 2014. *Analisis Pengaruh Variasi Diameter Pipa Kapiler Terhadap Prestasi Kerja Mesin Refrigerator Berbasis Refrigeran LPG*. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.

- Poernomo, H. 2015. *Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Sistem Pendingin (AirConditioning) Yang Menggunakan Freon R-22 Berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin Kondensor*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
- Salim, T. K. 2012. *The Effect of the Capillary Tube Coil Number on the Refrigeration System Performance*. Mechanical Engineering Department-University of Tikrit.
- Soni, R., Jhinge, P.K., dan Gupta., R.Cl. 2013. *Performance of Window Air Conditioner Using Alternative Refrigerants With Different Configurations of Capillary Tube*. Jabalpur Engineering College. India.
- Stoecker W.F and J.W. Jones. 1994. *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*. Edisi Kedua. Terjemahan Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.
- Sumanto. 2004. *Dasar-Dasar Mesin Pendingin*. Yogyakarta: Andi.
- Sumeru, K., Sulaimon, S., dan Nassution, H. 2002. *Numerical Study of an Ejector as an Expansion Devive in Split-type Air Conditioners for Energi Saving*. Faculty of Mechanical Engineering Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Tampubolon, D. dan Samosir, R. 2005. *Pemahaman Tentang Sistem Refrigerasi*. Politeknik Negeri Medan. Medan.
- Tiwari, A., dan Gupta, R.Cl. 2011. *Experimental Study Of R-404a And R-134a In Domestic Refrigerator*. ME-IVTH SEM,GOVT.ENGNEERING COLLEGE,JABALPUR
- UNDP-KLH. 2008. *Kumpulan Peraturan Pemerintah Tentang Program Perlindungan Lapisan Ozon. Unit Ozon Nasional. Asdep Urusan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim. Kementerian Negara Lingkungan Hidup*. Jakarta, Februari 2008.

UNEP. 1999. *Study on the Potential for Hydrocarbon Replacements in Existing Domestic and Small Commercial Refrigeration Appliances.*

Velders, G. J. M., Solomon, S., dan Daniel, J.S. 2007. *Growth of Climate Change Commitments from HFC Banks and Emissions.* National Institute for Public Health and the Environment. Netherlands.

Widodo, E. 2014. *Pengaruh Penambahan Fan Pembuang Udara Pada Kondensor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigeran LPG.* Universitas Jember. Jember.



LAMPIRAN 1. CONTOH PERHITUNGAN

Menentukan laju aliran massa

$$P \text{ manifold} = 0,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$D \text{ selang keluar} = 0,80 \text{ cm}$$

$$A \text{ selang keluar} = 0,50 \text{ cm}^2$$

$$t \text{ waktu pengisian} = 110 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{0,68 \text{ kg/cm}^2}{0,50 \text{ cm}^2} \\ &= 1,34 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{F}{t} \\ &= \frac{1,34 \text{ kg}}{110 \text{ s}} \\ &= 0,01 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Contoh Perhitungan pada menit ke 15 pipa kapiler lurus

1. Dampak Refrigerasi

$$\begin{aligned} q_e &= h_1 - h_4 \\ &= 641,99 \text{ kJ/kg} - 244,99 \text{ kJ/kg} \\ &= 397,01 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2. Kerja Kompresi

$$\begin{aligned} W &= h_2 - h_1 \\ &= 678,12 \text{ kJ/kg} - 641,99 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$= 36,13 \text{ kJ/kg}$$

3. Kapasitas Refrigerasi

$$\begin{aligned} q &= \dot{m} (h_1 - h_4) \\ &= 0,0122 \text{ kg/s} (641,99 \text{ kJ/kg} - 244,99 \text{ kJ/kg}) \\ &= 4,85 \text{ kW} \end{aligned}$$

4. Daya Kompresor

$$\begin{aligned} &= \dot{m} \cdot W \\ &= 0,0122 \text{ kg/s} \cdot 36,13 \text{ kJ/kg} \\ &= 0,44 \text{ kW} \end{aligned}$$

5. COP

$$\begin{aligned} &= \frac{q_e}{w} \\ &= \frac{397,01 \text{ kJ/kg}}{36,13 \text{ kJ/kg}} \\ &= 10,99 \end{aligned}$$

Catatan : Untuk pengerjaan menit selanjutnya pada semua variasi menggunakan langkah-langkah diatas.

LAMPIRAN 2. FOTO PENELITIAN



Data Logger



Manifold



Pressure Gauge



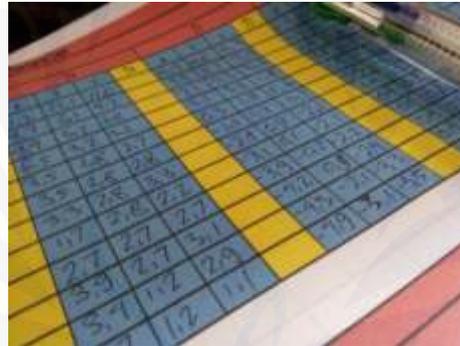
Pemotong Pipa



Data Logger



Pengujian



Pengambilan Data



Pengambilan Data



Pipa Kapiler Lurus



Pipa Kapiler Spiral



Pipa Kapiler Melingkar



Pipa Kapiler Helical



Acces Port

LAMPIRAN 3. TABEL PERHITUNGAN MENIT AWAL SAMPAI AKHIR

Dampak Refrigerasi q_e (kJ/kg)				
Waktu (menit)	Kapiler Lurus	Kapiler Spiral	Kapiler Melingkar	Kapiler Helical
15	397,01	416,89	388,20	402,99
30	426,15	422,45	390,70	411,98
45	427,95	431,92	391,71	429,38
60	434,74	436,59	441,15	439,44
75	436,32	438,01	445,12	445,50
90	439,10	444,67	445,29	447,81
105	438,34	448,65	452,41	453,67
120	441,03	456,25	453,28	453,54
135	441,04	452,27	452,56	453,49
150	439,31	454,90	452,97	453,97
165	441,01	456,59	454,27	454,69
180	445,14	455,44	453,86	454,25

Kerja Kompresi W (kJ/kg)				
Waktu (menit)	Kapiler Lurus	Kapiler Spiral	Kapiler Melingkar	Kapiler Helical
15	36,13	44,56	24,91	33,60
30	37,60	43,14	34,49	41,20
45	47,93	46,59	37,68	50,84
60	50,48	47,33	35,67	50,47
75	55,16	50,27	45,95	52,07
90	54,07	53,33	48,02	54,34
105	59,80	68,90	50,89	52,68
120	62,27	61,53	49,99	53,89
135	62,02	62,22	46,36	48,15
150	64,41	65,89	47,87	43,98
165	65,65	72,67	39,63	42,34

180 65,87 73,78 41,28 41,45

Kapasitas Refrigerasi q (kW)

Waktu (menit)	Kapiler Lurus	Kapiler Spiral	Kapiler Melingkar	Kapiler Helical
15	4,85	5,09	4,74	4,92
30	5,21	5,16	4,77	5,03
45	5,23	5,28	4,79	5,25
60	5,31	5,33	5,39	5,37
75	5,33	5,35	5,44	5,44
90	5,37	5,43	5,44	5,47
105	5,36	5,48	5,53	5,54
120	5,39	5,57	5,54	5,54
135	5,39	5,53	5,53	5,54
150	5,37	5,56	5,53	5,55
165	5,39	5,58	5,55	5,56
180	5,44	5,56	5,55	5,55

Daya Kompresor (kW)

Waktu (menit)	Kapiler Lurus	Kapiler Spiral	Kapiler Melingkar	Kapiler Helical
15	0,44	0,54	0,30	0,41
30	0,46	0,53	0,42	0,50
45	0,59	0,57	0,46	0,62
60	0,62	0,58	0,44	0,62
75	0,67	0,61	0,56	0,64
90	0,66	0,65	0,59	0,66
105	0,73	0,84	0,62	0,64
120	0,76	0,75	0,61	0,66
135	0,76	0,76	0,57	0,59

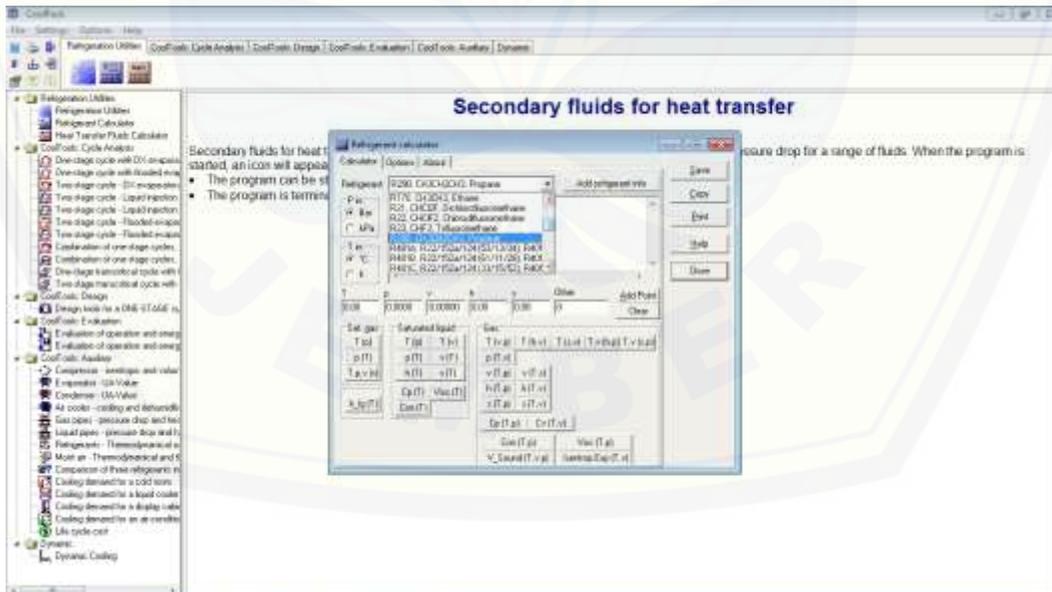
150	0,79	0,81	0,58	0,54
165	0,80	0,89	0,48	0,52
180	0,80	0,90	0,50	0,51

COP				
Waktu (menit)	Kapiler Lurus	Kapiler Spiral	Kapiler Melingkar	Kapiler Helical
15	10,99	9,35	15,58	12,00
30	11,33	9,79	11,33	10,00
45	8,93	9,27	10,40	8,44
60	8,61	9,22	12,37	8,71
75	7,91	8,71	9,69	8,55
90	8,12	8,34	9,27	8,24
105	7,33	6,51	8,89	8,61
120	7,08	7,42	9,07	8,42
135	7,11	7,27	9,76	9,42
150	6,82	6,90	9,46	10,32
165	6,72	6,28	11,46	10,74
180	6,76	6,17	10,99	10,96
rata2	8,14	7,94	10,69	9,53

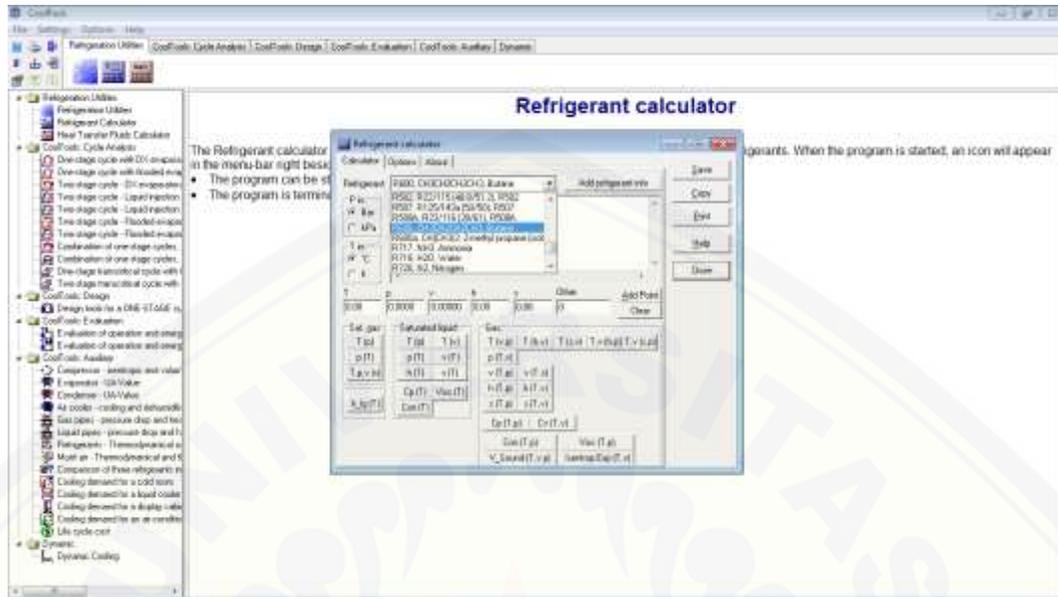
LAMPIRAN 4. COOLPACK



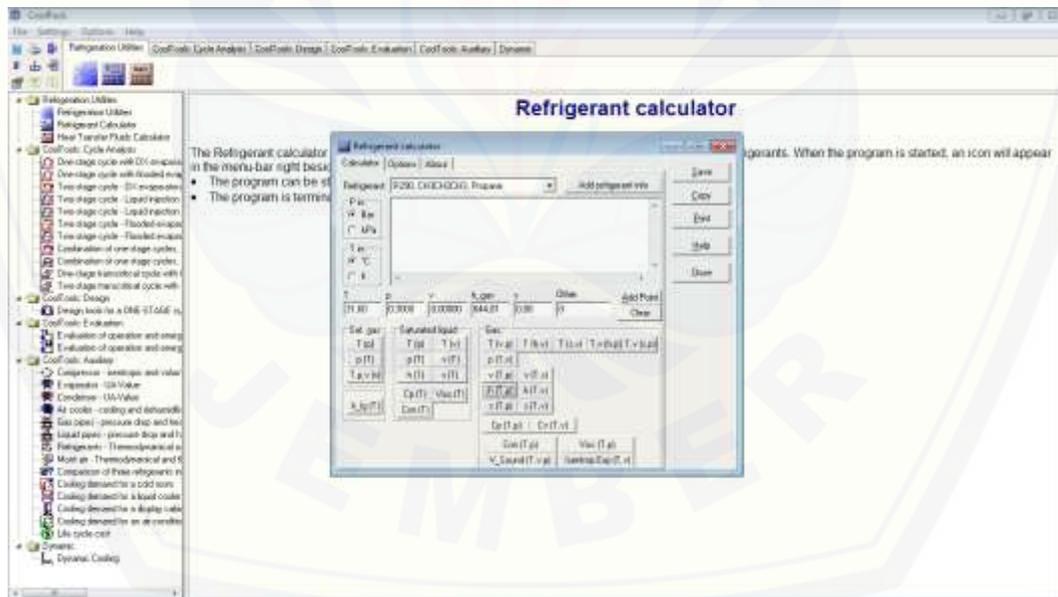
Tampilan Awal Software Coolpack



Pemilihan Refrigeran Propane



Pemilihan Refrigeran Butane



Contoh Perhitungan Entalpi

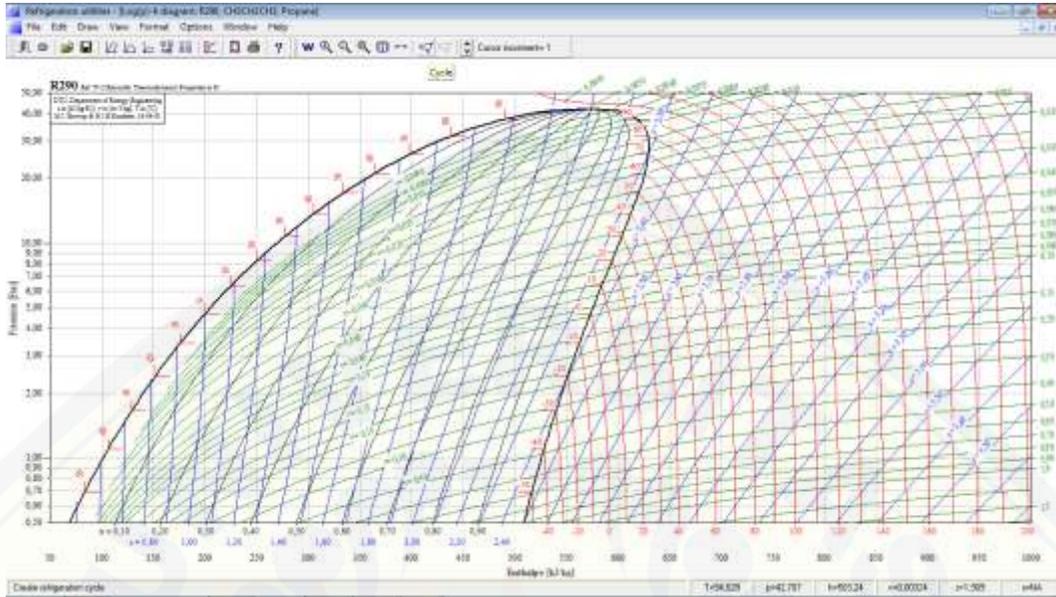
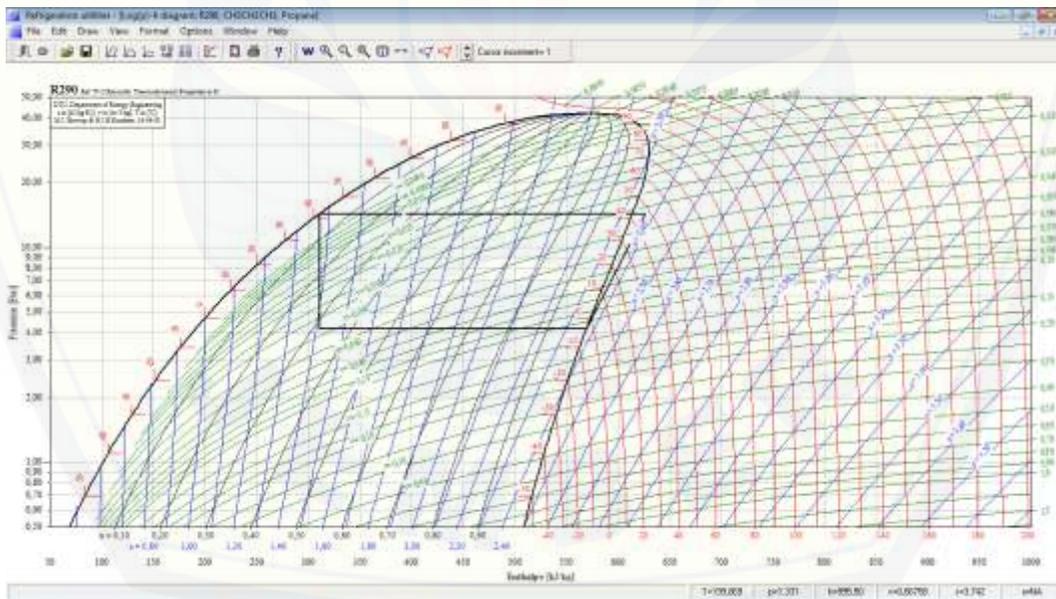


Diagram P-h propane



Contoh diagram P-h propane

LAMPIRAN 5. KOMPOSISI PROPANA DAN BUTANA



PT.Pertamina (Persero) , Indonesia - Corporate Website
www.pertamina.com

Liquified Petroleum Gas

Description

LPG is the light gaseous product which is yielded from the petroleum distillation or also yielded from the natural gas condensation in Processing Unit Plant. LPG used as fuel for the household and the industry. LPG is especially used by middle level society which its requirement progressively mount from year to year because it's environment friendly.

Application

In the industrial area, the LPG product used as substitution of Freon, Aerosol, Refrigerant/ Cooling Agent, cosmetic and also used as special product raw material.

Specification

According to its use, LPG is differentiated to :

1. LPG Mix
2. LPG Propane
3. LPG Butane

LPG Mix is the mixture of Propane and Butane with composition among 50 % and 50 % of volume and added by odorant (Mercaptant) and generally used for the fuel in household.

LPG Propane and LPG Butane are LPG which is containing Propane 95 % and Butane 97,5 % of volume each and added by odorant (Mercaptant), generally used for industry.