



**PENGARUH VARIASI PANJANG PIPA KAPILER YANG
DILILITKAN PADA *LINE SUCTION* TERHADAP
PRESTASI MESIN PENDINGIN DENGAN
LPG SEBAGAI REFRIGERAN**

SKRIPSI

Oleh

Derry Dodo Hendra Kusuma

NIM 091910101008

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



**PENGARUH VARIASI PANJANG PIPA KAPILER YANG
DILILITKAN PADA *LINE SUCTION* TERHADAP
PRESTASI MESIN PENDINGIN DENGAN
LPG SEBAGAI REFRIGERAN**

SKRIPSI

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

Oleh

Derry Dodo Hendra Kusuma

NIM 091910101008

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini adalah hasil kerja keras saya dengan bantuan berbagai pihak. Dengan segenap hati, skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, serta kepada junjunganku Nabi Muhammad SAW;
2. Keluargaku, Ayahanda Hasmono Widodo dan Ibunda Sri Rahayu atas segala doa dan dukungan yang tak pernah surut. Tidak lupa adikku tercinta Della Annisa Widayu Putri yang tak henti-hentinya memberi semangat;
3. Pasangan hidupku, Drg. Daniati Tri Erikawati yang selalu memberikan dukungan dan semangat untuk tidak menyerah;
4. Dosen-dosen Fakultas Teknik khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu kepadaku;
5. Guru-guruku sejak TK hingga SMA;
6. Keluarga besar N-Gine Teknik Mesin angkatan tahun 2009 yang banyak membantu dan memberikan semangat;
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;
8. Sahabat-sahabat kos Bangka 7/15 yang telah menjadi keluarga bagiku;
9. Seluruh pihak yang telah mendukung yang tak bisa kusebutkan satu persatu.

MOTO

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

(terjemahan Surat Al-Mujadalah ayat 11)^{*)}

Tidak ada jaminan bahwa pelajar yang rajin akan pandai, tapi tidak ada orang yang pandai yang tidak belajar.

(Mario Teguh)^{)}**

Darimana datangnya inspirasi, dari visi turun ke kerja keras tanpa henti.

(Najwa Shihab)^{*)}**

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

^{**)} Teguh, M. Wawancara Televisi. *Mario Teguh Golden Ways*. Metro TV. Jakarta, 2013.

^{***)} Shihab, N. Wawancara Televisi. *Mata Najwa*. Metro TV. Jakarta, 2014.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Derry Dodo Hendra Kusuma

NIM : 091910101008

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “*Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler Yang Dililitkan Pada Line Suction Terhadap Prestasi Mesin Pendingin Dengan LPG Sebagai Refrigeran*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 19 November 2015

Yang menyatakan,

Derry Dodo Hendra Kusuma
NIM 091910101008

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI PANJANG PIPA KAPILER YANG
DILILITKAN PADA *LINE SUCTION* TERHADAP
PRESTASI MESIN PENDINGIN DENGAN
LPG SEBAGAI REFRIGERAN**

Oleh

Derry Dodo Hendra Kusuma
NIM 091910101008

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler yang Dililitkan pada *Line Suction* terhadap Prestasi Mesin Pendingin dengan LPG sebagai Refrigeran” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Kamis, 19 November 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Nasrul Iminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

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

Penguji I,

Penguji II,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202 199702 1 001

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

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi , M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler Yang Dililitkan Pasa Line Suction Terhadap Prestasi Mesin Pendingin Dengan LPG Sebagai Refrigeran; Derry Dodo Hendra Kusuma; 091910101008; 2015; 69 halaman; Program Studi Strata Satu (S1); Jurusan Teknik Mesin; Fakultas Teknik; Universitas Jember.

Pada saat ini khususnya di perkotaan, mesin pendingin merupakan suatu peralatan yang dapat dijumpai pada hampir setiap perkantoran, gedung-gedung dan rumah tangga. Mesin pendingin dapat berfungsi sebagai *refrigerator*, *freezer*, dan *chiller* baik untuk kebutuhan *air conditioning* maupun untuk penunjang proses produksi. Gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan yang biasanya merupakan gedung bertingkat yang tidak berjendela sangat memerlukan mesin pendingin untuk mengkondisikan udara dalam gedung. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah sistem yang lebih efisien lagi dan dapat mengetahui tingkat efisiensi dari sistem refrigerasi yang digunakan sekarang ini, pada penelitian saya ini akan saya bandingkan hasil dari penggunaan panjang pipa kapiler yang berbeda yang merupakan salah satu komponen penunjang mesin pendingin. Pada penelitian saya ini akan digunakan refrigeran LPG karena R12 yang biasa disebut freon banyak menyebabkan kerusakan karena dapat mempercepat proses penipisan ozon dan pemanasan global yang dapat mengganggu perubahan iklim, merusak mata, menyebabkan kanker, menurunkan kekebalan tubuh, dan lain-lain. Permasalahan yang diteliti adalah dengan adanya pengurangan dan penambahan panjang pipa kapiler maka sejauh mana pengaruh dari variasi panjang pipa kapiler terhadap kinerja mesin pendingin dengan LPG sebagai refrigeran. Metode yang dipakai untuk mencari hasil dari penelitian pengaruh variasi panjang pipa kapiler terhadap kinerja mesin pendingin dengan menggunakan refrigeran LPG. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mencari seberapa besar pengaruh dari variasi panjang pipa kapiler terhadap kinerja mesin pendingin dan waktu pendinginan dengan refrigeran LPG. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dari hasil penelitian menggunakan variasi panjang pipa kapiler 1,5 meter, 1,8 meter, dan 2,1 meter dengan LPG sebagai refrigeran dapat diketahui rata-rata nilai COP saat mencapai stabil untuk panjang pipa kapiler 1,5 meter adalah 3,3. Rata-rata nilai COP saat mencapai stabil untuk panjang pipa kapiler 1,8 meter adalah 3,4. Sedangkan rata-rata nilai COP saat mencapai stabil untuk panjang pipa kapiler 2,1 meter adalah 3,9.

Dapat disimpulkan bahwa pengaruh penggunaan pipa kapiler pada mesin pendingin dengan panjang 2,1 meter lebih baik dibandingkan panjang pipa kapiler 1,5 meter atau 1,8 meter karena menghasilkan COP (*Coeficient Of Performance*) terbesar setiap menitnya.

PRAKATA

Segala puji syukur kehadiran 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 Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang Tua Penulis yang selalu memberikan dukungan baik dalam bentuk doa, pikiran maupun materi;
3. Teman-teman yang telah banyak membantu dalam memberikan 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, November 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Dan Manfaat	5
1.4.1 Tujuan Penelitian	5
1.4.2 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Refrigerasi	6
2.1.1 Evaporator	7
2.1.2 Pipa Kapiler dan <i>Line Suction</i>	8
2.1.3 Kompresor	9

2.1.4 Kondensor	10
2.1.5 Alat Ekspansi (<i>Metering Device</i>)	10
2.1.6 Komponen Pendukung Sistem Refrigerasi	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>	12
2.1.6.5 <i>Liquid Receiver</i>	12
2.2 Siklus Refrigerasi	13
2.2.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal	15
2.2.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual	16
2.3 Refrigeran Hidrokarbon	17
2.4 LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>)	19
2.4.1 Pengertian LPG	19
2.4.2 Komposisi LPG	20
2.4.3 Reaksi Kimia Pembakaran pada LPG	21
2.4.4 Karakteristik LPG	22
2.4.5 Sifat - Sifat LPG	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	25
3.3.1 Alat dan Instrumen Penelitian	25
3.3.2 Bahan Penelitian	26
3.4 Variabel Penelitian	26
3.4.1 Variabel Bebas	27
3.4.2 Variabel Terikat	27
3.5 Prosedur Penelitian	27
3.5.1 Persiapan Alat Pengujian	27
3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian	27
3.5.3 Tahapan Pengambilan Data	27

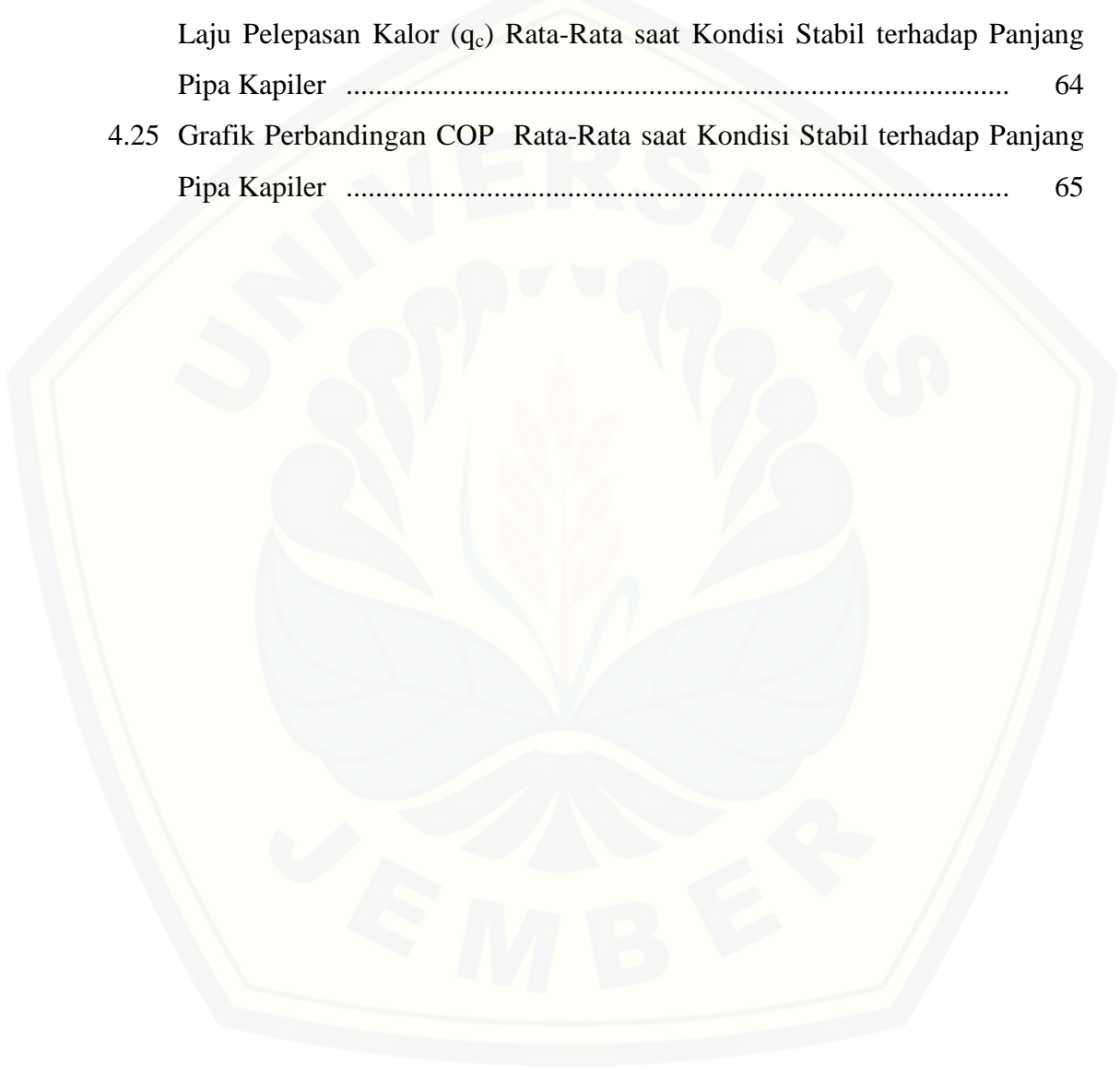
3.5.4 Skema Alat Uji dan Pengumpulan Data ..	29
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian	32
3.8 Hipotesis	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengujian	33
4.1.1 Hasil Pengujian dengan Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter	33
4.1.2 Hasil Pengujian dengan Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	37
4.1.3 Hasil Pengujian dengan Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	41
4.2 Pembahasan	46
4.2.1 Analisis Kinerja Mesin Pendingin Pipa Kapiler 1,8 meter ...	46
4.2.2 Analisis Kinerja Mesin Pendingin Pipa Kapiler 1,5 meter ...	51
4.2.3 Analisis Kinerja Mesin Pendingin Pipa Kapiler 2,1 meter ...	56
4.2.4 Analisis Grafik Keseluruhan	61
KESIMPILAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1	Komponen Lemari Es 7
2.2	Evaporator 8
2.3	Pipa Kapiler dan <i>Line Suction</i> 9
2.4	Kompresor Torak 10
2.5	<i>Thermostatik Expansion Valve</i> 11
2.6	<i>Filter Dryer dan Sight Glass</i> 12
2.7	<i>Liquid Receiver</i> 12
2.8	Skema Refrigerator 13
2.9	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal..... 15
2.10	Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual..... 17
2.11	Nilai ODP dan GWP pada Macam Refrigeran 18
2.12	Gambar Molekul Propana 21
2.13	Gambar Molekul Butana 22
3.1	Titik-titik Pengukuran dalam Eksperimen 29
3.2	Perancangan Alat dan Bahan Pengujian 29
3.3	Diagram Alir Penelitian 31
4.1	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Dampak Refrigerasi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter 46
4.2	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Kerja Kompresi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter..... 47
4.3	Grafik Hubungan Suhu Penguapan dan Suhu Pengembunan terhadap Kapasitas Refrigerasi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter 48
4.4	Grafik Hubungan Suhu Penguapan dan Suhu Pengembunan terhadap Daya Kompresor untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter 48
4.5	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Laju Pelepasan Kalor untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter 49
4.6	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap COP untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter 50

4.7	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Dampak Refrigerasi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	51
4.8	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Kerja Kompresi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter.....	52
4.9	Grafik Hubungan Suhu Penguapan dan Suhu Pengembunan terhadap Kapasitas Refrigerasi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	53
4.10	Grafik Hubungan Suhu Penguapan dan Suhu Pengembunan terhadap Daya Kompresor untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	53
4.11	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Laju Pelepasan Kalor untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	54
4.12	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap COP untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	55
4.13	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Dampak Refrigerasi untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	56
4.14	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Kerja Kompresi untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter.....	57
4.15	Grafik Hubungan Suhu Penguapan dan Suhu Pengembunan terhadap Kapasitas Refrigerasi untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	58
4.16	Grafik Hubungan Suhu Penguapan dan Suhu Pengembunan terhadap Daya Kompresor untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	58
4.17	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Laju Pelepasan Kalor untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	59
4.18	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap COP untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	60
4.19	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Dampak Refrigerasi untuk Semua Variasi Panjang Pipa Kapiler	61
4.20	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Kerja Kompresi untuk Semua Variasi Panjang Pipa Kapiler	61
4.21	Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap Laju Pelepasan Kalor untuk Semua Variasi Panjang Pipa Kapiler	62

4.22 Grafik Hubungan Waktu Pendinginan terhadap COP untuk Semua Variasi Panjang Pipa Kapiler	63
4.23 Grafik Perbandingan Dampak Refrigerasi (Q) dan Kerja Kompresi (W) Rata-Rata saat Kondisi Stabil terhadap Panjang Pipa Kapiler	64
4.24 Grafik Perbandingan Kapasitas Refrigerasi (q_e) , Daya Kompresor (P) , dan Laju Pelepasan Kalor (q_c) Rata-Rata saat Kondisi Stabil terhadap Panjang Pipa Kapiler	64
4.25 Grafik Perbandingan COP Rata-Rata saat Kondisi Stabil terhadap Panjang Pipa Kapiler	65



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Refrigeran Hidrokarbon	18
2.2 Karakteristik Propana dan Butana.....	22
3.1 Pengumpulan Data untuk Tiap-Tiap Variasi Panjang Pipa Kapiler	30
3.2 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian	32
4.1 Hasil Pengujian dengan Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter.....	33
4.2 Data Nilai Entalpi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter	34
4.3 Hasil Perhitungan Performansi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter	37
4.4 Hasil Pengujian dengan Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter.....	38
4.5 Data Nilai Entalpi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	39
4.6 Hasil Perhitungan Performansi untuk Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	41
4.7 Hasil Pengujian dengan Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter.....	42
4.8 Data Nilai Entalpi untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	43
4.9 Hasil Perhitungan Performansi untuk Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A Perhitungan Hasil Pengujian	70
A.1 Perhitungan Panjang Pipa Kapiler 1,8 meter	70
A.2 Perhitungan Panjang Pipa Kapiler 1,5 meter	75
A.3 Perhitungan Panjang Pipa Kapiler 2,1 meter	80
B Grafik Hasil Pengujian	85
C Tabel Tekanan Entalpi dan Grafik Psikometrik	98
D Foto Penelitian	104

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini khususnya di perkotaan, mesin pendingin merupakan suatu peralatan yang dapat dijumpai pada hampir setiap perkantoran, gedung-gedung dan rumah tangga. Mesin pendingin dapat berfungsi sebagai *refrigerator*, *freezer*, dan *chiller* baik untuk kebutuhan *air conditioning* maupun untuk menunjang proses produksi. Gedung perkantoran dan pusat perbelanjaan yang biasanya merupakan gedung bertingkat yang tidak berjendela sangat memerlukan mesin pendingin untuk mengkondisikan udara dalam gedung (Handoyo dkk,2002).

Peralatan ini dapat dijumpai dalam skala kecil misalnya untuk kebutuhan rumah tangga atau super market dan pada skala besar yang biasa digunakan untuk keperluan industri. Udara yang semakin panas karena *global warming*, membuat penggunaan penyejuk ruangan atau AC dan lemari es makin digemari. Ironisnya, banyak AC dan lemari es yang menggunakan pendingin (*refrigerant*) berbahan HCFC dan CFC yang justru mempercepat proses penipisan ozon dan pemanasan global. Penipisan ozon dan pemanasan global dapat mengganggu perubahan iklim, merusak mata, menyebabkan kanker kulit, menurunkan kekebalan tubuh, dan lain-lain. Bahan-bahan pendingin buatan atau *syntetic refrigerant* mengandung H (*Hydro*), C (*Chloro*), F (*Fluoro*) dan C (*Carbon*). Di Indonesia, pendingin sintesis ini lebih dikenal dengan istilah freon. Kelemahan pendingin sintesis ini antara lain dapat merusak lapisan ozon, menyebabkan pemanasan global, serta beracun. Sejak 2007 lalu, pemerintah Indonesia secara tegas telah melarang penggunaan ketiga jenis *refrigerant* ini. Melihat kondisi tersebut, para pecinta lingkungan hidup mulai menggalakkan penggunaan *refrigerant hydrocarbon*, sebagai pengganti freon. Pada dasarnya *hydrocarbon* sama dengan gas LPG yang ada di rumah, hanya dalam bentuk yang masih murni dan tak berbau (Aziz, 2009).

Refrigeran sendiri merupakan fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigeran adalah 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 timbulnya masalah kontemporer terhadap adanya pemanasan global (*global warming*). 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 CO₂ menyebabkan munculnya lubang ozon karena suplai panas tersebut.

Mayoritas ilmuwan dunia meyakini bahwa pemanasan global yang terjadi belakangan ini diakibatkan oleh gas-gas rumah kaca yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Selain berkontribusi pada produksi CO₂ melalui sistem pembangkit energi untuk suplai listrik mesin refrigerasi, teknologi refrigerasi juga berkontribusi langsung pada pemanasan global melalui kebocoran dan buangan refrigeran (yang bersifat gas rumah kaca) ke lingkungan. Terkait dengan hal ini, Protokol Kyoto tahun 1997 tentang perubahan iklim bumi telah mengatur penggunaan *refrigerant* yang termasuk dalam gas rumah kaca, yakni HFCs (*Hydro Fluoro Carbons*). Gas-gas yang memiliki potensi efek rumah kaca dikategorikan dalam zat GWP (*Global Warming Potential*), sedangkan zat perusak lapisan ozon disebut sebagai ODS (*Ozon Depleting Substance*) (Helmi, 2010).

Dengan demikian, terdapat tiga hal yang mempengaruhi perkembangan mesin refrigerasi saat ini, yakni: (1) Penghematan energi, (2) Tuntutan *refrigerant* non-ODS, dan (3) Tuntutan *refrigerant* non-GWP. Perlu diketahui bahwa efek GWP dan ODS pada zat *refrigerant* hanya terjadi bila zat tersebut terlepas ke atmosfer yang disebabkan kebocoran pada mesin refrigerasi ataupun penggantian dan *recycling refrigerant*. Di luar sistem refrigerasi, CFC juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti zat pendorong (*propellant*), aerosol, zat pengembang, dll. Guna menjawab tiga kebutuhan terkait dengan perkembangan teknologi refrigerasi di atas, ilmuwan dan teknologi melakukan berbagai inovasi yang pada umumnya terkategori dalam tiga hal: (1) Perbaikan prestasi dan karakteristik mesin refrigerasi yang telah eksis, (2) Penelitian guna menghasilkan

refrigeran non-ODS dan non-GWP, dan (3) Pencarian teknologi refrigerasi alternatif.

Pada siklus pendingin terdapat 4 komponen utama yaitu: evaporator, kompresor, kondensor dan alat ekspansi. Saluran keluar evaporator yang akan masuk ke kompresor disebut sebagai *line suction*. Refrigerant (orang sering menyebut freon) saat mengalir dalam evaporator dan *line suction* berada pada temperatur rendah (biasanya lebih rendah kira-kira 10-15 °C dari temperatur ruangan yang didinginkan). Setelah ke luar dari kompresor, refrigeran mengalir dalam kondensor dengan temperatur lebih tinggi kira-kira 10–15 °C dari temperatur udara sekitar. Dengan demikian refrigeran ke luar kondensor dan masuk alat ekspansi (biasanya pipa kapiler) pada temperatur yang lebih tinggi daripada di *line suction* yang kemudian disalurkan kembali ke evaporator (Sumanto, 1994).

Pada *refrigerator* terdapat sebuah komponen yang bernama pipa kapiler, yaitu sebuah pipa tembaga berdiameter sangat kecil yang dapat mengatur jumlah bahan pendingin yang mengalir ke evaporator. Pipa kapiler merupakan pipa berbentuk koil yang berdiameter sangat kecil, biasanya antara 0,5 mm sampai 2 mm dan memiliki panjang antara 1 meter sampai 6 meter. Ia bersifat plastis sehingga mudah sekali untuk ditekuk. Pipa kapiler ini memiliki pengaruh cukup besar terhadap besar kecilnya suhu yang dihasilkan di dalam evaporator (Stoecker, 1992).

Penelitian terkait dengan pipa kapiler untuk mendapatkan performa sistem yang optimal telah banyak dilakukan. Pada umumnya adalah dengan variasi bentuk geometri, dimensi serta posisi dari pipa kapiler tersebut. Wei et. al (2001) meneliti performa pipa kapiler untuk refrigeran R-407C, menggunakan 9 pipa kapiler dengan konfigurasi lurus dan koil. Diperoleh bahwa untuk tekanan masuk dan keluar yang sama serta diameter dalam pipa dan panjang yang sama pula, laju aliran turun seiring dengan pengecilan diameter koil.

Akintunde (2007) meneliti pengaruh *pitch* koil untuk pipa kapiler *helical* dan *serpentine* dengan fluida kerja R-134a. Pada pipa kapiler *helical*, diperoleh bahwa variasi *pitch* tidak memiliki efek yang signifikan pada performa sistem,

tetapi diameter koil memiliki pengaruh. Untuk pipa kapiler *serpentine*, tinggi dan *pitch* mempengaruhi performa sistem. Akan tetapi konfigurasi ini tidak cocok untuk sistem pendingin skala kecil karena membutuhkan lebih banyak *space*.

Hasil-hasil penelitian di atas mengungkapkan bahwa adanya perlakuan pada pipa kapiler, baik itu bentuk geometri, dimensi maupun penempatannya memiliki pengaruh terhadap performa sistem. Atas dasar inilah penulis mencoba meneliti apakah yang akan terjadi terhadap pengaruh variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* terhadap prestasi kerja mesin pendingin kompresi uap dengan LPG sebagai *refrigerant*. Dalam hal ini COP (*Coefficient Of Performance*) dan daya listrik kompresor.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan maksud dan tujuan tugas akhir maka dapat dijelaskan suatu perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan LPG sebagai *refrigerant*, dalam hal ini COP dan daya listrik kompresor?
2. Bagaimana pengaruh variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan LPG sebagai *refrigerant*, dalam hal ini COP dan daya listrik kompresor?

1.3 Batasan Masalah

Ada beberapa faktor yang tidak terkontrol sehingga dapat mempengaruhi pengambilan data dan analisa. Untuk itu perlu diberikan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisa terhadap permasalahan di atas yaitu :

1. Properti dari fluida pemanas konstan sepanjang aliran;
2. Sistem terisolasi sempurna;
3. Perubahan energi kinetik dan energi potensial tidak dihitung;
4. Tidak membahas perpindahan panas yang terjadi pada mesin pendingin baik secara konduksi, konveksi maupun radiasi.

1.4 Tujuan Dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan LPG sebagai *refrigerant*, dalam hal ini COP dan daya listrik kompresor.
2. Mengetahui pengaruh variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* terhadap prestasi kerja mesin pendingin dengan LPG sebagai *refrigerant*, dalam hal ini COP dan daya listrik kompresor.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai efek refrigerasi, kerja kompresi, COP, dan daya listrik kompresor pada beberapa variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction*.
2. Mengetahui nilai COP dengan panjang pipa kapiler berapa yang paling besar untuk kerja mesin pendingin dengan LPG sebagai *refrigerant*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Refrigerasi

Refrigerasi adalah proses pengambilan kalor atau panas dari suatu benda atau ruang untuk menurunkan temperaturnya. Kalor adalah salah satu bentuk dari energi, sehingga mengambil kalor suatu benda ekuivalen dengan mengambil sebagian energi dari molekul-molekulnya. Pada aplikasi tata udara (*air conditioning*), kalor yang diambil berasal dari udara. Untuk mengambil kalor dari udara, maka udara harus bersentuhan dengan suatu bahan atau material yang memiliki temperatur yang lebih rendah (Tampubolon, 2005).

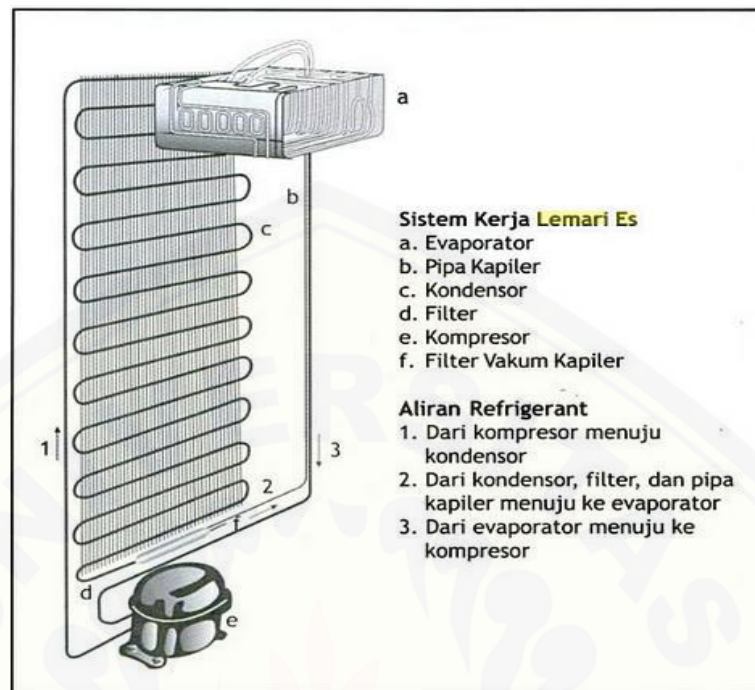
Suatu mesin refrigerasi akan memiliki tiga sistem terpisah yakni:

1. Sistem refrigerasi;
2. Sumberdaya untuk menggerakkan kompresor yang berupa motor listrik;
3. Sistem kontrol untuk menjaga suhu benda atau ruangan seperti diinginkan.

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).

Komponen utama dari suatu sistem refrigerasi kompresi uap adalah:

- a. Evaporator;
- b. Pipa Kapiler;
- c. Kondensor;
- d. Filter;
- e. Kompresor;
- f. Alat Ekspansi.

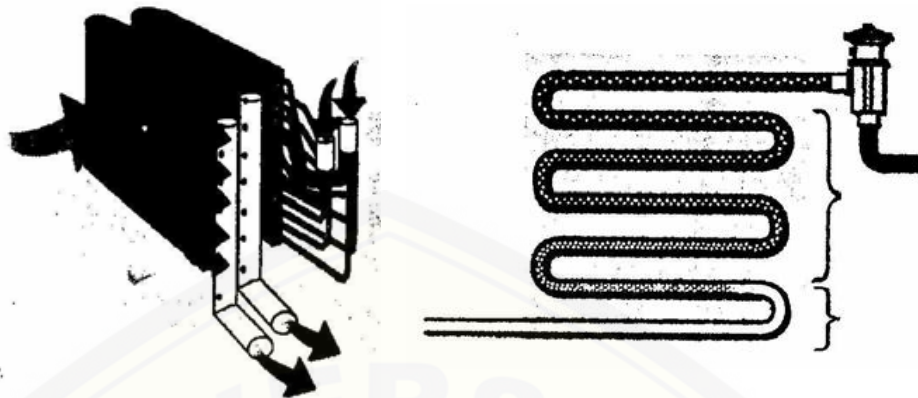


Gambar 2.1 Komponen Lemari Es (Sumber : Darwis Tampubolon, 2005)

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 fase refrigeran dari cair menjadi uap. Refrigeran pada umumnya memiliki titik didih yang rendah. Sebagai contoh, refrigeran 22 (R22) memiliki titik didih 41 °C. Dengan demikian, refrigeran mampu menyerap kalor pada temperatur yang sangat rendah (Darwis, & Robert, 2005).

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 (Sumber : Darwis Tampubolon, 2005)

2.1.2 Pipa Kapiler dan *Line Suction*

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 umumnya mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 m, dengan diameter dalam 0,5 hingga 2 mm. 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 (Stoecker, 1992).

Pipa kapiler mempunyai keuntungan dan kerugian tertentu. Keuntungannya lebih banyak, yang menyebabkan diterima secara umum untuk sistem-sistem yang dirakit di pabrik. Bentuknya sederhana tak ada bagian-bagian yang bergerak, dan tidak mahal. Pipa-pipa tersebut juga memungkinkan tekanan di dalam 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-benda asing, dan memerlukan jumlah pengisian refrigeran berada dekat batas. Pendapat terakhir ini mengharuskan pipa-pipa kapiler hanya digunakan pada sistem yang diberi preparat secara hermetik, yang kurang kemungkinan adanya kebocoran. Pipa

kapiler dirancang untuk sejumlah kondisi operasi, dan setiap perubahan beban kalor atau suhu kondensator dari keadaan yang dirancang, akan menyebabkan penurunan efisiensi kerjanya (Anwar, 2010).

Sedangkan pipa *line suction* adalah pipa tambahan yang fungsinya sebagai penyaluran gas *refrigerant* atau freon ke dalam mesin. Prosesnya ialah gas freon tersebut merayap dari pipa evaporator yang temperaturnya rendah (terjadi kondisi penguapan), kemudian merayap ke bagian *accumulator*. Dari *accumulator* diserap oleh pipa kapiler (kapiler penghisap) kemudian merayap terus menuju pipa *line suction* yang selanjutnya masuk ke katup di kompresor (Handoyo, 2002).

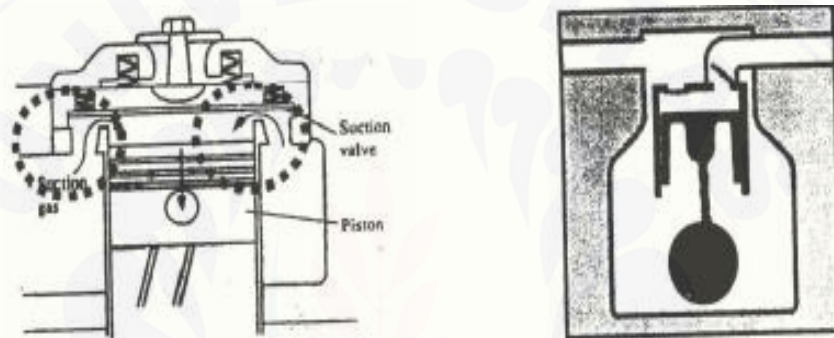


Gambar 2.3 Pipa Kapiler dan *Line Suction* (Sumber: Wikipedia.com)

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 compressor*), *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 Torak (Sumber : Darwis Tampubolon, 2005)

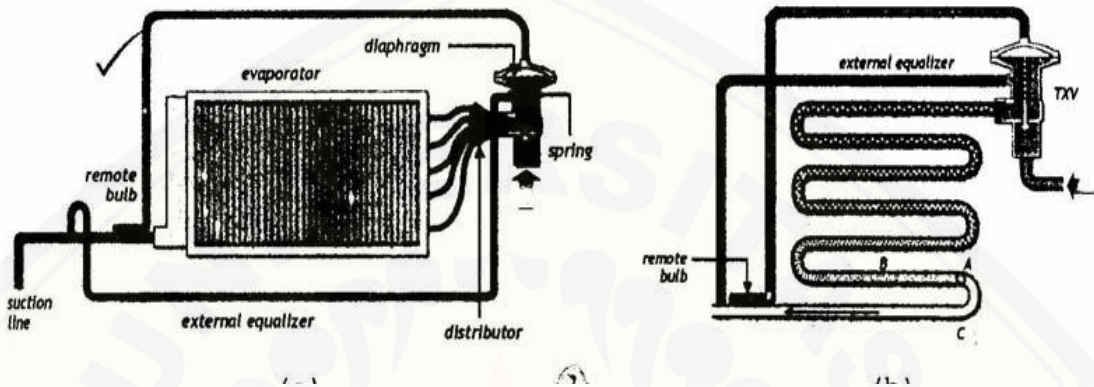
2.1.4 Kondensor

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).

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 (*thermostatic expansion valve*), katup ekspansi *automatic*, maupun katup ekspansi manual (Darwis, & Robert, 2005).



Gambar 2.5 *Thermostatic Expansion Valve* (Sumber : Darwis Tampubolon, 2005)

2.1.6 Komponen Pendukung 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* (Darwis, & Robert, 2005).

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 kondensor dengan alat ekspansi (Darwis, & Robert, 2005).

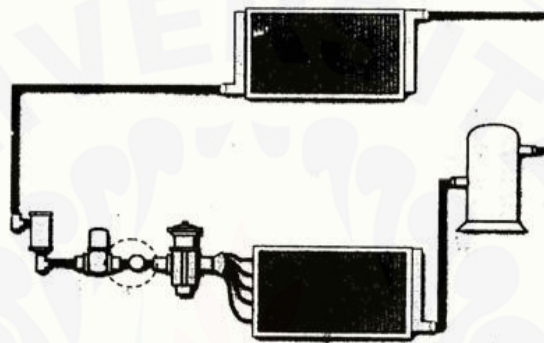
2.1.6.3 *Sight Glass*

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 (Darwis, & Robert, 2005).

2.1.6.4 Access Port / Service Valve

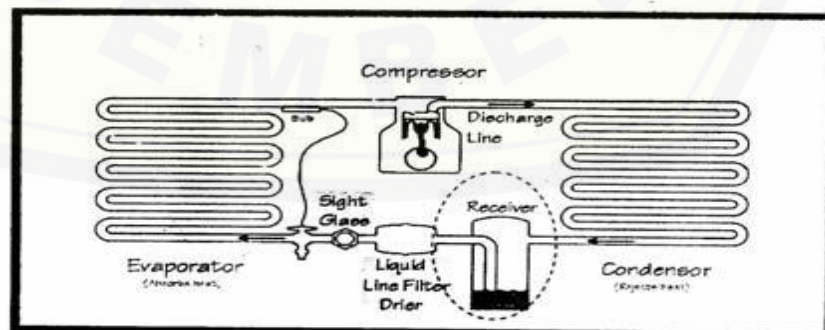
Alat ini digunakan untuk keperluan pemvakuman dan pengisian refrigeran. Alat ini juga dapat digunakan untuk keperluan *pumpdown* (Darwis, & Robert, 2005).



Gambar 2.6 *Filter Dryer dan Sight Glass* (Sumber : Darwis Tampubolon, 2005)

2.1.6.5 Liquid Receiver

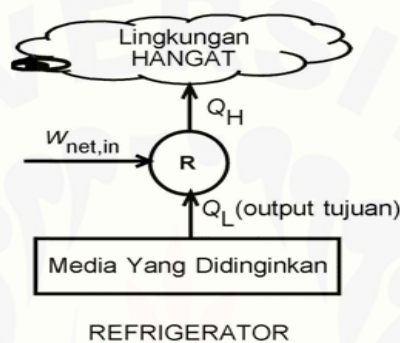
Alat ini digunakan untuk menampung refrigeran cair yang berasal dari kondensor. *Liquid receiver* dipasang pada *liquid line* sebelum *filter dryer* dan *sight glass* (Darwis, & Robert, 2005).



Gambar 2.7 *Liquid Receiver* (Sumber : Darwis Tampubolon, 2005)

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. Dilihat dari tujuannya maka alat dengan siklus refrigerasi dibagi menjadi dua yaitu *refrigerator* yang berfungsi untuk mendinginkan media dan *heat pump* yang berfungsi untuk memanaskan media. Ilustrasi tentang *refrigerator* dan *heat pump* dapat dilihat pada gambar di bawah (Pramacakrayuda, 2010).



Gambar 2.8 Skema Refrigerator (Sumber : Pramacakrayuda, 2010)

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.

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.

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

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

h_4 = Entalpi refrigeran keluaran evaporator, (kJ/kg)

h_1 = 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 yang dinyatakan dengan:

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

dimana:

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

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

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

Perbandingan antara besarnya kalor dari lingkungan yang dapat diambil oleh evaporator dengan kerja kompresor yang harus diberikan disebut sebagai koefisien kinerja COP (*Coeffisient Of Performance*).

$$COP = \frac{Q}{W} \dots \dots \dots (2.3)$$

atau

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

Dengan rumus di atas, maka besar COP selalu lebih besar dari satu. Pembuangan kalor (*heat rejection*) pada kondensor sebanding dengan panjang garis proses pada kondensor, yakni garis mendatar bagian atas pada plot siklus pada diagram tekanan entalpi. Pembuangan kalor pada kondensor dinyatakan dengan:

$$q_c = h_2 - h_3 \dots \dots \dots (2.5)$$

karena:

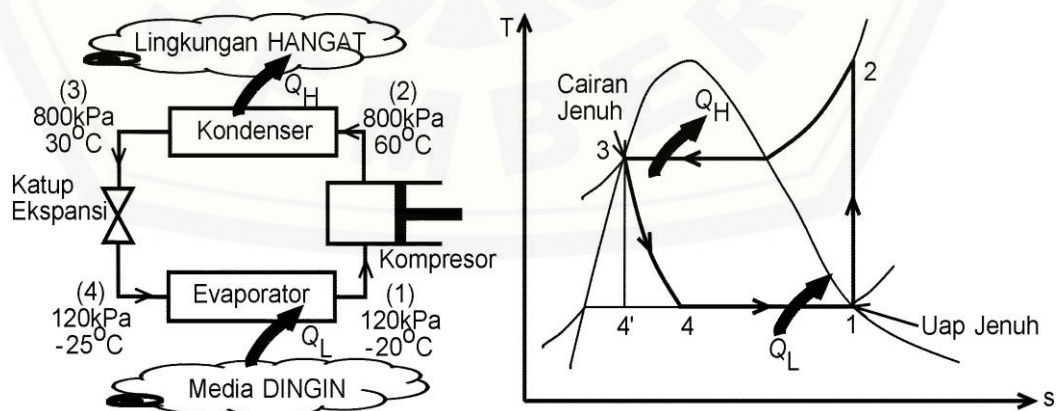
$$h_2 - h_3 = (h_2 - h_1) + (h_1 - h_4).$$

$$q_c = W + Q \dots \dots \dots (2.6)$$

Atau dengan kata lain pembuangan panas kondensor = kerja kompresor + efek refrigerasi (Wibowo, Subri 2006 : 4).

2.2.1 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal

Gambar di bawah kiri menunjukkan siklus refrigerasi kompresi uap ideal secara skematis. Disini 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 pengecilan (*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 (Pramacakrayuda, 2010).



Gambar 2.9 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Ideal (Sumber : Pramacakrayuda, 2010)

Siklus refrigerasi kompresi uap ideal dapat digambarkan dalam diagram $T-s$ seperti pada Gambar 2.9. 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)

Kondensasi merupakan proses pelepasan kalor refrigeran ke lingkungan sehingga fasanya berubah menjadi uap cair jenuh tetapi tekanan temperaturnya masih 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)

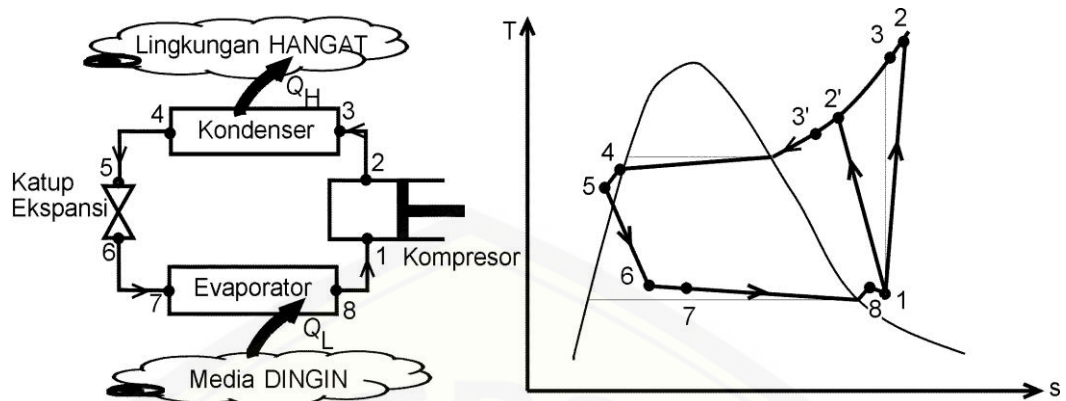
Ekspansi merupakan proses penurunan secara adiabatik pada tekanan dan temperatur lingkungan.

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.

2.2.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual

Pada kenyataannya *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. Siklus refrigerasi kompresi uap aktual dapat digambarkan secara skematis seperti Gambar 2.10 (Pramacakrayuda, 2010).



Gambar 2.10 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap Aktual (Sumber : Pramacakrayuda, 2010)

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.

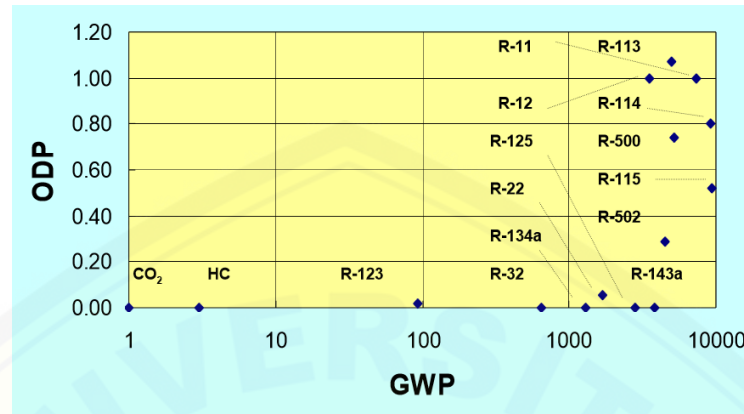
Proses (1-2') lebih disukai karena volume spesifiknya turun sehingga power input bisa lebih kecil. Hal ini bisa dilakukan apabila dilakukan pendinginan dalam langkah kompresi.

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

2.3 Refrigeran Hidrokarbon

Refrigeran - refrigeran hidrokarbon dapat digunakan sebagai alternatif pengganti CFC, dan HCFC. Refrigeran ini memiliki ODS nol dan GWP rendah,

dan dapat digunakan langsung pada system CFC dan HCFC penghematan daya yang cukup signifikan dan dapat diperoleh dengan harga yang lebih murah.



Gambar 2.11 Nilai ODP dan GWP pada Macam Refrigeran (Aryadi Suwono, 2008)

Tabel 2.1 Refrigeran Hidrokarbon

Ketentuan penomeran +	Nama Kimia	Rumus Kimia
600	Butana	C ₄ H ₁₀
290	Propana	C ₃ H ₈

Sumber : Aryadi Suwono (2010)

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan refrigeran:

1. Temperatur media yang akan didinginkan.

Di sini 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 kondensor harus dibawah tekanan kritisnya.

Keuntungan lain dari refrigeran Organik adalah:

1. Organik semakin baik rasio harga-performa dibandingkan dengan refrigeran sintetik.
2. Hidrokarbon adalah bahan alami (tidak ODP, tidak GWP).
3. Mampu di hampir setiap aplikasi. 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, dan lain-lain).
6. Secara teknis layak pilihan, 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}). LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lainnya dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

Dalam kondisi atmosfer, LPG akan berbentuk gas. Volume LPG dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu LPG dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung LPG 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 dimana LPG 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 & Gas Bumi No. 26525.K/10/DJM.T/2009, komposisi produk LPG minimal mengandung campuran *propane* (C3) & *butane* (C4) sebesar 97 % dan maksimal 2 % merupakan campuran *pentane* (C5) dan hidrokarbon yang lebih berat.

Batasan komposisi *propane* (C3) dan *butane* (C4) dalam spesifikasi tersebut dibatasi dengan parameter maksimal 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 memasak/rumah tangga (Zakiya, 2011).

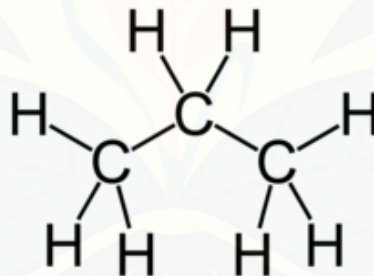
Komposisi tersebut telah digunakan sejak awal program konversi dan tidak mengalami perubahan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku yang ada mengingat *propane* banyak dihasilkan oleh gas yang berasal dari lapangan minyak & gas, sedangkan *butane* dihasilkan dari kilang pengolahan minyak. Dari 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 *valve*/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 Reaksi kimia pembakaran pada LPG

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 refrigeran hidrokarbon.

Propana mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Rumus kimia : C_3H_8
2. Massa molar : 44,1 g/mol
3. Penampilan : Tak berwarna
4. Bau : Tidak berbau
5. Densitas : 2,0089 mg/MI (at 0 °C ; 101,3 kPa)
6. Kelarutan dalam air : 40 mg/mL (at 0 °C)
7. Tekanan uap : 853,16 kPa (at 21,1 °C)

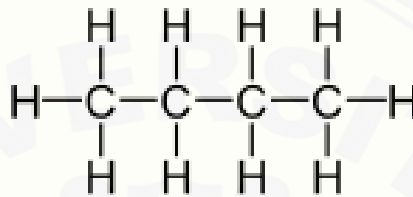


Gambar 2.12 Gambar Molekul Propana (Sumber : Wikipedia.com)

Propana mengalami reaksi pembakaran yang mirip dengan alkana lain. Pada keadaan oksigen berlebih, propana terbakar dan membentuk air dan karbon dioksida. Jika terbakar sempurna, reaksi pembakaran propana adalah sebagai berikut:

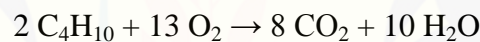


Butana memiliki rumus kimia C_4H_{10} , juga disebut n-butana, adalah alkana rantai lurus dengan empat atom karbon $CH_3CH_2CH_2CH_3$. Butana juga digunakan sebagai istilah kolektif untuk n-butana dan satu-satunya isomernya, isobutana (disebut juga metilpropana), $CH(CH_3)_3$. Butana sangat mudah terbakar, tidak berwarna, dan merupakan gas yang mudah dicairkan. Nama butana diturunkan dari nama asam butirat.



Gambar 2.13 Gambar Molekul Butana (Sumber : Wikipedia.com)

Jika terbakar sempurna, reaksi pembakaran butana adalah sebagai berikut:



Butana + Oksigen \rightarrow Karbon dioksida + Uap air + Panas

2.4.4 Karakteristik LPG

Tabel 2.2 Karakteristik Propana dan Butana (Awal Syahri, 2006)

Sifat-sifat	PROPANA	BUTANA
Rumus kimia	C_3H_8	C_4H_{10}
Temperatur pijar ($^{\circ}C$)	470-510	490
Temperatur bakar-udara ($^{\circ}C$)	1025	1900
Temperatur bakar- O_2 ($^{\circ}C$)	2500	2925
Temperatur didih ($^{\circ}C$)	-42	-0,5
Berat jenis terhadap udara	1,55	2,09
Massa molekul	44,10	58,13
Temperatur kritis ($^{\circ}C$)	96,8	152
Tekanan kritis	4254	3794
Titik beku ($^{\circ}C$)	-187,7	-138,5

LPG dalam aplikasinya dapat digunakan sebagai fluida kerja pada mesin pendingin yaitu termasuk fluida kerja hidrokarbon dalam sistem kompresi uap. Refrigeran hidrokarbon (LPG) merupakan refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon (CFC). Refrigeran hidrokarbon tidak berpotensi merusak ozon karena ODP = 0 dan GWP yang kecil. (Azridjal Aziz, 2005).

LPG merupakan merk dagang dari LPG atau *Liquefied Petroleum Gasses*. Merupakan campuran dari berbagai *hydrocarbon*, sebagai hasil penyulingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan atau menurunkan suhunya membuat menjadi cairan. Inilah yang kita kenal dengan bahan bakar gas cair. LPG merupakan senyawa *hydrocarbon* yang dikenal sebagai butana, propana, isobutana atau campuran antara butana dengan propana.

Liquified Petroleum Gas (LPG) PERTAMINA dengan brand LPG, merupakan gas hasil produksi dari Kilang BBM dan Kilang Gas, yang komponen utamanya adalah gas *propane* (C₃H₈) dan *butane* (C₄H₁₀) kurang lebih 97 % dan sisanya adalah gas *pentane* yang dicairkan. LPG lebih berat dari udara dengan berat jenis sekitar 2,01 (dibandingkan dengan udara), tekanan uap LPG cair dalam tabung sekitar 5,0 – 6,2 kg/cm². Zat merkaptan yang ditambahkan pada LPG dimaksudkan untuk keselamatan dengan memberikan bau yang khas, sehingga kebocoran gas mudah diketahui dengan cepat. LPG PERTAMINA umum dipasarkan di masyarakat dalam kemasan tabung (3 kg, 12 kg, dan 50 kg).

2.4.5 Sifat - sifat LPG

Sebagai bahan bakar, gas LPG mudah terbakar apabila terjadi persenyawaan di udara. Untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan perlu diketahui beberapa sifat umumnya:

- a. Tekanan gas LPG cukup besar, sehingga bila terjadi kebocoran LPG akan membentuk gas secara cepat, memuai dan sangat mudah terbakar.
- b. Berat jenis gas LPG lebih besar dari udara, yaitu:
 - Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara sehingga cenderung bergerak ke bawah.

- Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara sehingga cenderung bergerak ke bawah.
- c. Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
- d. Merupakan *solvent* yang baik terhadap karet sehingga perlu diperhatikan terhadap kemasan atau tabung yang dipakai.
- e. Tidak berwarna, baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.
- f. Tidak berbau sehingga untuk keselamatan, LPG komersial perlu ditambah zat odor, yaitu *Ethyl Mercaptane* yang berbau menyengat seperti petai.
- g. Tidak mengandung racun
- h. Bila menguap di udara bebas akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga adanya aliran gas.
- i. Setiap 1 kg LPG cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas LPG.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* mesin pendingin dengan LPG sebagai refrigeran. Variasi panjang pipa kapiler dilakukan dengan melilitkan pipa kapiler pada *line suction* dengan variasi panjang yang berbeda dalam keadaan sistem yang sama dan beban yang sama. Berdasarkan data tersebut dapat ditentukan kondisi refrigeran setiap titik pada siklus. Selanjutnya berdasarkan kondisi temperatur pada mesin pendingin dapat dihitung dampak refrigerasi (Q), kerja kompresi (W), kapasitas refrigerasi (q_e), daya kompresor (P), Laju pelepasan kalor (q_c), dan COP (*Coefficient Of Performance*) untuk setiap variasi panjang pipa kapiler yang digunakan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan Mei 2013 sampai dengan Juni 2013.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat dan Instrumen Penelitian

- a. Mesin pendingin tipe sanyo, berdimensi panjang 45 cm, lebar 45 cm, dan tinggi 90 cm dengan spesifikasi sebagai berikut:
 1. Kompresor, tipe *hermetic* merk Fuji Kobe, daya kompresor 86 W, *power supply* 220-240 V, frekuensi 50 HZ, arus 0,68 A , 1 *silinder reciprocating*, 1 *phase*;
 2. Kondensor, terbuat dari baja dengan diameter dalam 4 mm, diameter luar 5 mm, dan panjang kondensor 1040 cm;
 3. Evaporator, terbuat dari *aluminium* dengan diameter 6,5 mm dan panjang evaporator 680 cm;

4. Pipa kapiler, terbuat dari tembaga dengan diameter 0,26 mm.
- b. Termometer digital, merk Krisbow KW 06-278 *single input digital*;
- c. Termokopel, sebagai alat pendeteksi temperatur atau panas;
- d. *Terminal port* kabel termokopel;
- e. *Pressure gauge*, sebagai alat pengukur tekanan;
- f. *Manifold*, sebagai alat pengisi LPG;
- g. *Regulator high pressure* LPG;
- h. Selang regulator LPG;
- i. Timbangan gantung;
- j. *Clamp meter* digital, untuk mengukur tegangan dan kuat arus listrik;
- k. *Stopwatch*;
- l. Las asitelin;
- m. Mesin vakum;
- n. Selotip pipa;
- o. *Line suction*;
- p. Napel;
- q. Batangan perak tembaga;
- r. *Cool Pack Software*.

3.3.2 Bahan Penelitian

Variasi pipa kapiler yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa kapiler dengan panjang 1,5 meter, 1,8 meter, dan 2,1 meter. Fluida kerja yang dipakai adalah refrigeran LPG net 3 kg (*Propane* dan *Butane*) dengan jumlah massa yang diisikan 130 gram.

3.4 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.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* yaitu 1,5 meter, 1,8 meter, dan 2,1 meter.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi temperatur dan tekanan pada titik-titik yang dicari.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 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/frezer* satu pintu, kemudian memasang *pressure gauge* pada sisi sebelum dan sesudah pipa kapiler untuk mengatur tekanan di titik tersebut serta *pressure gauge* pada sisi sebelum dan sesudah kompresor.

3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji dan komponen mesin pendingin dan melakukan tes kebocoran. Kemudian melakukan pemvakuman untuk memastikan tidak ada sisa udara di dalam sistem. Kemudian pengisian refrigeran LPG dengan massa 130 gram.

3.5.3 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat melakukan pengujian.

Eksperimen dilakukan untuk 3 kondisi yaitu:

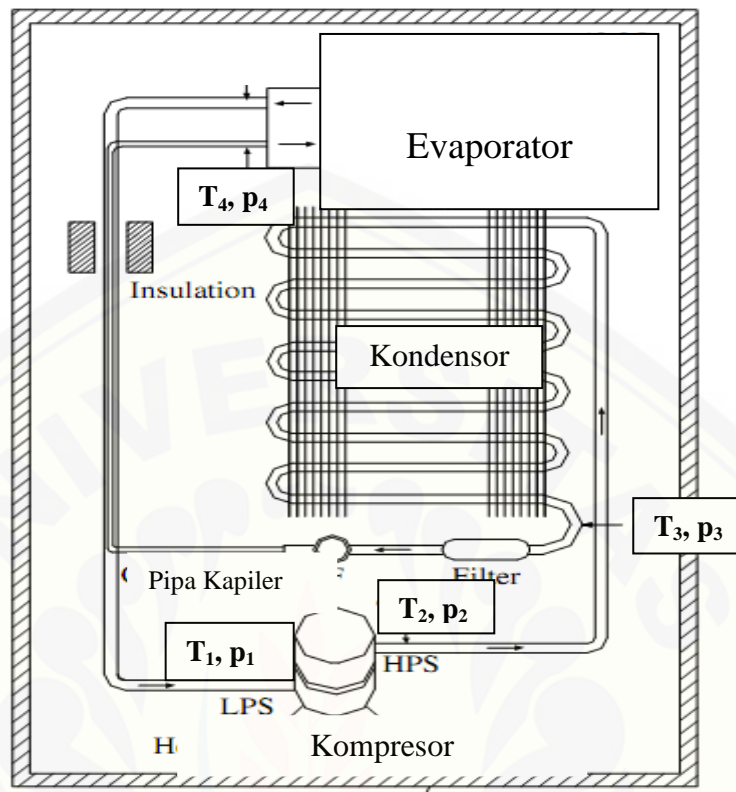
1. Pipa kapiler diameter 0,26 mm dengan panjang 1,5 meter;
2. Pipa kapiler diameter 0,26 mm dengan panjang 1,8 meter;

3. Pipa kapiler diameter 0,26 mm dengan panjang 2,1 meter.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Merangkai komponen-komponen mesin pendingin dengan benar yaitu kondensor, kompresor, evaporator, pipa kapiler dan komponen-komponen yang lain;
2. Pemasangan alat ukur suhu (termokopel), alat ukur tekanan (*pressure gauge*) pada titik-titik yang telah ditentukan;
3. Pemvakuman selama 20 menit;
4. Persiapan termometer digital yang dihubungkan dengan *terminal port* untuk pembacaan suhu pada termokopel;
5. Merangkai sistem secara keseluruhan dengan pemasangan panjang awal pipa kapiler 1,8 meter (panjang standart pada lemari pendingin);
6. Mengisi refrigeran dengan benar, menggunakan refrigeran LPG dengan massa 130 gram;
7. Menjalankan mesin pendingin dan alat uji sampai sistem dan aliran refrigerannya stabil;
8. Mencatat tekanan dan temperatur setiap interval 10 menit pada setiap titik yang ditentukan mulai dari awal penyalaan mesin pendingin sampai mencapai kondisi stabil;
9. Mengulangi prosedur no. 3 s/d no.8 untuk 2 kondisi yang lain yaitu panjang pipa kapiler 1,5 meter dan panjang pipa kapiler 2,1 meter;
10. Pengumpulan data.

3.5.4 Skema Alat Uji dan Pengumpulan Data

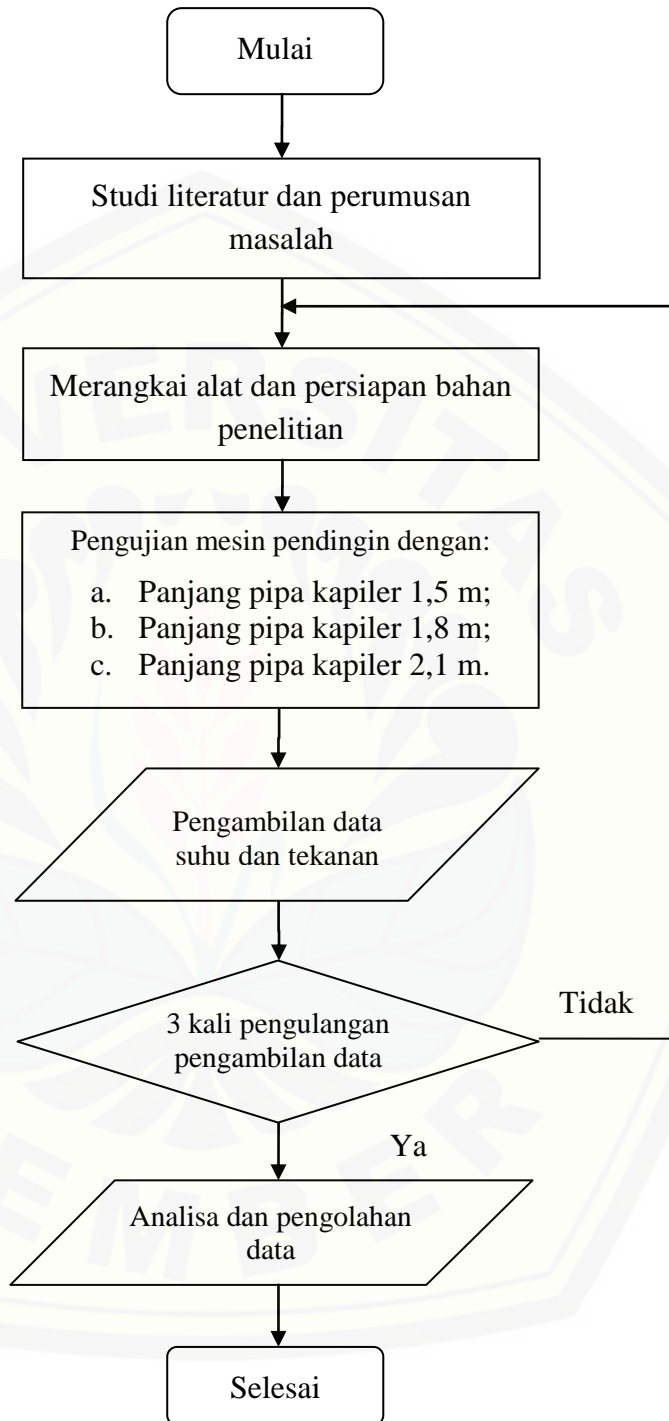


Gambar 3.1 Titik-Titik Pengukuran dalam Eksperimen



Gambar 3.2 Perancangan Alat dan Bahan Pengujian

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.7 Jadwal Kegiatan Penelitian

Tabel 3.2 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan					
		11	12	1	2	3	4
1.	Studi literatur	■					
2.	Penyusunan proposal	■	■				
3.	Seminar proposal		■				
4.	Pelaksanaan penelitian		■	■	■		
5.	Pengolahan dan analisa data				■	■	
6.	Seminar hasil					■	
7.	Ujian akhir						■

3.8 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang menjadi panduan penelitian, maka diajukan hipotesis (jawaban sementara) bahwa penambahan panjang pipa kapiler yang dililitkan pada *line suction* pada mesin pendingin dapat meningkatkan nilai COP (*Coefficient Of Performance*) karena terjadi pendinginan yang lebih cepat. Secara garis besarnya, semakin panjang pipa kapiler maka semakin meningkatkan dampak refrigerasi dan semakin menurunkan kerja kompresi sehingga meningkatkan nilai COP.