

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN PROTOTYPE MESIN PENDINGIN
MULTIREFRIGERASI SISTEM



Disusun oleh :

NOPI SISWANTO

10.121.0331

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK
2015

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Yang bertandatangan dibawah ini, dosen penguji dan pembimbing tugas akhir dengan ini menerangkan bahwa mahasiswa:

NAMA : NOPI SISWANTO

NIM : 101210331

JUDUL : **PERENCANAAN PROYOTYPE MESIN PENDINGIN
MULTI REFREGERASI SISTEM**

Skripsi ini telah di uji dan dipertahankan di depan tim penguji dan dapat di terima dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.

Pembimbing I



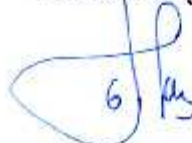
Fuazen, ST., MT
11-2208-7301

Penguji I



Eko Sarwono, ST., MT
00-1810-6901

Pembimbing II



Gunarto, ST., M.Eng
00-0909-7301

Penguji II



Aspiyansyah, ST., M.Eng
00-0307-7601

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Pontianak



Aspiyansyah, ST., M.Eng

ABSTRAKSI

Mesin pendingin pada era sekarang menjadi suatu kebutuhan pokok dalam kehidupan sehari-hari, baik itu alat pengkondisian udara (AC) atau Refrigerator (kulkas). Mesin pendingin sekarang ini sudah mengalami perkembangan yang sangat pesat hingga mengalami perubahan pergeseran pasar terkait dengan penerapan atau inovasi baru untuk mendukung kestabilannya. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi para ahli teknik untuk membuat inovasi baru pada mesin pendingin agar lebih efektif dan efisien dalam penggunaannya.

Pada tugas akhir ini penulis mencoba untuk merancang sebuah prototype mesin pendingin *multirefrigerasi sistem* dengan menggunakan multi evaporator, satu kompresor dan kondensor, dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi dan temperatur yang dihasilkan pada mesin refrigerasi tersebut.

Kata kunci : efisiensi, multi evaporator, mesin refrigerasi.

KATA PENGANTAR

Pengantar ini dimulai dengan mengucapkan *Bismillahirrahmanirrahim* dan senantiasa mengharapkan keridhaan Allah SWT, Serta dengan mengucapkan *Alhamdulillahil'Alamin*, sebagai ungkapan rasa syukur karenapenulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “PERENCANAAN PROTOTYPE MESIN PENDINGIN MULTIREFRIGERASI SISTEM”

Ucapan terima kasih yang sebesar besarnya tak lupa saya ucapkan kepada ;

1. Bapak Aspiyansyah ST,.M.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak.
2. Bapak Fuazen ST,.M.T, selaku Dosen Pembimbing Utama.
3. Bapak Gunarto ST,.M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Pembantu
4. Para Dosen,staf Fakultas dan teman – teman seperjuangan yang tidak b dapat penulis sebutkan satu persatu.
5. Istri dan anak-anakku serta keluarga yang telah banyak memberikan dorongan serta doa kepada penulis.

Saya menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat kekurangan, baik dalam penulisan maupun isi materinya, oleh karena itu saya mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak, untuk penyempurnaan tulisan ini kedepannya.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini semoga dapat

memberikan manfaat bagi kita semua demi bertambahnya pengetahuan dan teknologi, serta nantinya dapat sebagai motivasi untuk kita berkarya.

Pontianak, September 2015

Penulis

NOPI SISWANTO

Nim. 101210331

DAFTAR ISI

ABSTRAKSI	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
LAPIRAN	vii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Pemecahan Masalah	3
1.4. Tujuan	3
1.4.1. Tujuan Umum	3
1.4.2. Tujuan Khusus	4
1.5. Manfaat	5
1.5.1. Bagi Mahasiswa	5
1.5.2. Bagi Program Studi	5
1.6. Sistematika Penulisan	6

BAB II TEORI DASAR

2.1. Study Pustaka	7
2.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap	7
2.3 Prinsip Dasar Multirefrigerasi Sistem	9
2.4 Sistem Refrigerasi Uap	11
2.5 Macam – macam Medium Pendingin (Refrigeran)	11
2.6 Komponen Utama Mesin Pendingin	14
2.6.1 Kompresor	14
2.7.2 Kondensor	16
2.6.3 Evaporator	17
2.6.4 Katup Ekspansi	19
2.6.5 Alat – alat Perlengkapan Tambahan	20
2.7. Beban Pendingin	22
2.7.1. Beban Panas Konduksi	23
2.7.2. Beban Panas Infiltrasi (Perembesan Udara)	23
2.7.3 Beban Panas Radiasi	24
2.1 Analisa Termodinamika	24
2.1.1 Evaporasi (Penguapan)	27
2.1.2 Laju Aliran Refrigeran	27
2.1.3 Kompresi	27
2.1.4 Kondensasi (Pengembunan)	28
2.1.5 Coefficient Of Performance (COP)	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Bahan Dan Alat Penelitian	30
3.1.1	Data Teknis	30
3.1.2	Alat –alat Listrik Yang Digunakan	30
3.1.3	Peralatan-peralatan Yang Digunakan Pada Perakitan Mesin Pendingin	31
3.2	Alur Penelitian	32
3.3	Skema Perencanaan Prototpe Mesin Pendingin Multirefrigerasi sistem	34

BAB IV PEMILIHAN KOMPONEN UTAMA MESIN PENDINGIN

MULTI REFRIGERASI SISTEM

4.1	Perhitungan Beban Pendingin	35
4.2	Analisa Termodinamika Siklus Refrigerasi	36
4.2.1	Efek Pendingin (Refrigeration Effect) RE	36
4.2.2	Laju Aliran Refrigeran	37
4.2.3	Kerja Kompresi Tiap Jam	37
4.2.4	Panas Yang Dibuang Kompresor Tiap Jam	37
4.2.5	Kapasitas Pendingin Tiap Jam	38
4.2.6	Coefisient Of Performance (COP)	38
4.3	Perhitungan Komponen Utama	38
4.3.1	Kompresor	38
4.3.2	Kondensor	39

4.3.3	Evaporator	40
4.4	Pengujian Alat	41

BAB V KESIMPULAN

5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Gambar alat mesin pendingin multirefrigerasi sistem
- Lampiran 2 : Gambar alat mesin pendingin multirefrigerasi sistem (continue)
- Lampiran 3 : Efek dari temperatur di atas konduktivitas termal dari logam dan kuningan
- Lampiran 4 : Thermodynamics saturated refrigeran R134a temperatur table
- Lampiran 5 : Thermodynamics saturated refrigeran R134a Pressure table
- Lampiran 6 : Properties of common liquids, solids, and foods
- Lampiran 7 : Thermodynamics $P-h$ diagram for refrigeran R134a
- Lampiran 8 : Safety data sheet Refrigeran gas R134a

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Refrigerasi adalah suatu usaha untuk mencapai atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur atmosfer lingkungan atau sama dengan memindahkan panas dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan melakukan kerja terhadap sistem . Dalam sistem refrigerasi dikenal dua siklus, yaitu refrigerasi siklus kompresi uap dan refrigerasi absorpsi.” *Komang Metty Negara ,Hendra wijaksana,Nengah suarnadwipa,Made Sucipta (2011) dalam penelitian tentang Analisa Performansi ruangan dan Efisiensi energi listrin pada sistem water Chiler dengan penerapan metode cooled energy Storage”*

Teknologi refrigerasi dibutuhkan untuk meminimalkan, bahkan bisa meniadakan, pertumbuhan mikroorganisme perusak bahan-bahan tertentu; maka teknologi ini dibutuhkan keberadaannya di bidang penyimpanan dan transportasi bahan makanan. Selain meminimalkan atau meniadakan pertumbuhan mikroorganisme, pendinginan yang dihasilkan oleh teknologi refrigerasi juga diperlukan untuk mencegah terjadinya reaksi kimiawi/biologis yang bisa merusak kondisi suatu zat. Maka teknologi ini juga menjadi tuntutan di bidang kedokteran (penyimpanan vaksin, obat-obatan, hingga cadangan darah). Dukungan mesin refrigerasi terhadap

kemajuan iptek jelas terlihat dari keberadaan mesin ini di berbagai instalasi penting berbagai bidang; biologi, kimia, kedokteran, dsb. Teknologi refrigerasi bukan hanya monopoli perusahaan besar ataupun institusi ilmiah, mesin ini, dalam bentuk lemari pendingin (refrigerator) dan pengkondisian udara (AC) umum dijumpai di tengah-tengah masyarakat. Bukan sekedar gaya hidup, karena mesin refrigerasi berfungsi untuk meningkatkan kualitas hidup manusia.

Industri refrigerasi dan pengkondisian udara (AC) memiliki pertumbuhan yang mantap, merupakan industri yang stabil yang di dalamnya terjadi pergeseran pasar yang berkaitan dengan penerapan baru untuk mendukung kestabilannya. Harga energi yang tinggi sejak tahun 1970-an telah menjadi suatu faktor penting yang merangsang timbulnya tantangan keteknikan bagi para ahli teknik secara individu. Langkah pembaharuan untuk meningkatkan efisiensi yang merupakan suatu hal yang sulit dilakukan, sekarang mendapat perhatian serius dan seringkali diukur secara ekonomis

1.2. Permasalahan

Refrigerasi pada umumnya hanya terdiri dari satu kompresor, kondensator, katup ekspansi dan satu evaporator, dan biasa hanya digunakan sebagai refrigerator atau sebagai AC saja.

Berdasarkan dari uraian tersebut maka timbulah masalah, bagaimana cara memanipulasi dengan sebuah mesin refrigerasi dapat menghasilkan dua fungsi sekaligus, yaitu sebagai refrigerator dan AC.

1.3. Pemecahan masalah

Melihat dari permasalahan diatas maka pada tugas akhir ini penulis mencoba merancang prototype mesin pendingin *MULTIREFRIGERASI SISTEM* untuk mendapatkan dua fungsi dari sebuah mesin pendingin dengan menggunakan rangkaian paralel, atau seri.

1.3. Batasan Masalah

Agar masalah yang diangkat tidak terlalu luas dan umum maka penulis menitik beratkan pada perancangan prototype *MULTIREFRIGERASI SISTEM* dengan kapasitas 1 PK :

- untuk mengetahui suhu yang dapat dihasilkan pada masing-masing evaporator
- freon yang digunakan yaitu R134a
- perencanaan yang dilakukan dengan rangkaian yang di paralel

1.4. Tujuan

1.4.1 Tujuan umum

Adapun tujuan umum yang ingin diperoleh dari tugas akhir ini, yaitu :

- 1) Sebagai syarat untuk menyelesaikan perkuliahan dan untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi teknik mesin fakultas teknik universitas muhammadiyah pontianak.
- 2) Mengaplikasikan Ilmu yang telah didapat selama perkuliahan yang digunakan dalam penelitian *PERENCANAAN PROTOTYPE MESIN PENDINGIN MULTIREFRIGERASI SISTEM*.
- 3) Sebagai media untuk mengenal atau memperoleh kesempatan untuk melatih diri dalam melaksanakan berbagai jenis pekerjaan dilapangan.

1.4.2 Tujuan Khusus

Adapun tujuan khusus yang ingin didapat dari penulisan tugas akhir ini,yaitu :

- 1) Untuk menerapkan ilmu yang didapat selama duduk dibangku kuliah
- 2) Untuk mengetahui cara merakit sebuah mesin pendingin *MULTIREFRIGERASI SISTEM*.
- 3) Untuk mengetahui sistim kerja dan komponen – komponen dari alat pendingin *MULTIREFRIGERASI SISTEM* tersebut.
- 4) Sebagai bahan alat praktikum untuk menunjang kegiatan perkuliahan,terutama pada mata kuliah mesin pendingin,di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak.

1.6. Manfaat

1.6.1 Bagi Mahasiswa

- 1) Sebagai media untuk mengenal atau memperoleh kesempatan untuk melatih diri dalam melaksanakan berbagai pekerjaan yang ada dilapangan.
- 2) Sebagai media untuk mengaplikasikan ilmu atau kemampuan yang telah didapat selama duduk dibangku perkuliahan.
- 3) Memperoleh kesempatan untuk melatih keterampilan dalam melakukan kegiatan lapangan.

1.6.2 Bagi Program Studi

- 1) Sebagai sarana untuk memperkenalkan Program Studi Sarjana Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pontianak,pada lingkungan masyarakat dan perusahaan.
- 2) Sebagai masukan dari penerapan disiplin ilmu dari kurikulum tersebut,apakah masih ada relevansinya dengan keadaan dilapangan.
- 3) Sebagai sarana praktikum untuk membantu menunjang perkuliahan di fakultas teknik,terutama pada mata kuliah mesin pendingin.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I Merupakan bab pendahuluan yang berisikan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II Merupakan bab tentang teori dasar untuk mendukung atau menunjang perencanaan yang akan dilakukan.

BAB III Merupakan bab yang berisikan Alur penelitian tentang perakitan prototype mesin pendingin *MULTIREFRIGERASI SISTEM* sebagai alat praktikum.

BAB IV Merupakan bab yang membahas tentang perhitungan – perhitungan dalam perencanaan mesin pendingin *MULTIREFRIGERASI SISTEM*.

BAB V Merupakan bab yang berisikan kesimpulan dan saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN – LAMPIRAN

BAB II

TEORI DASAR

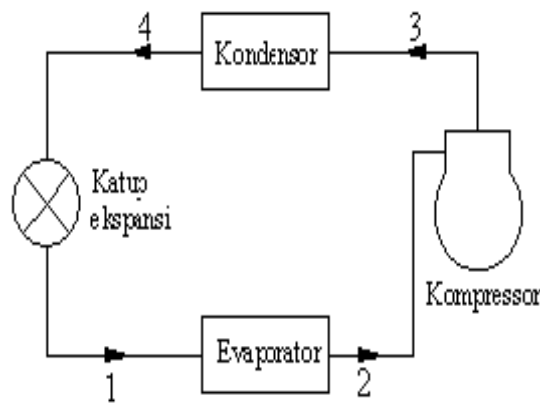
2.1 Study Pustaka

Suatu penggunaan yang luas dari termodinamika adalah refrigerasi yaitu perpindahan panas dari temperatur yang rendah ke temperatur yang lebih tinggi. Sistem yang menghasilkan proses refrigerasi adalah refrigerator (atau pompa panas), dan siklus- nya disebut siklus refrigerasi. Siklus refrigerasi yang banyak digunakan adalah siklus kompresi uap sederhana, dimana refrigeran diuapkan, dan dikondensasikan dengan jalan mengkompresi uap tersebut. Prinsip utama mesin refrigerasi adalah untuk menurunkan temperatur agar materi atau ruangan dapat terjaga temperaturnya sesuai dengan kebutuhan dan kenyamanan yang dikehendaki. *“Bella Tania, dalam jurnalnya tentang, Pengaruh Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Suction Line terhadap Kinerja Mesin Pendingin, 9 may 2013”*.

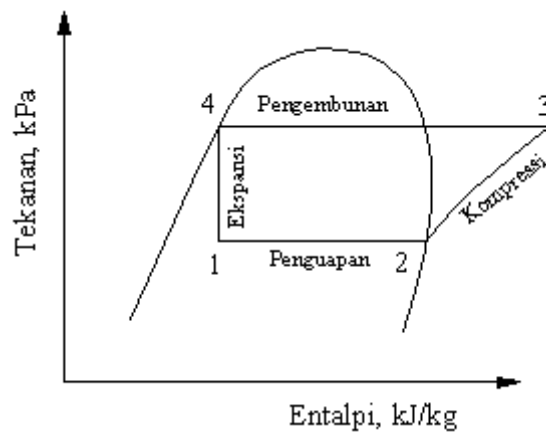
2.2 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan jenis mesin pendingin yang paling sering digunakan saat ini. Mesin pendingin ini terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Dalam siklus ini uap refrigeran bertekanan rendah akan ditekan oleh kompresor sehingga menjadi uap refrigeran bertekanan tinggi, dan kemudian uap refrigeran bertekanan tinggi diembunkan menjadi cairan refrigeran bertekanan tinggi dalam kondensor. Kemudian cairan

refrigeran tekanan tinggi tersebut tekanannya diturunkan oleh katup ekspansi agar cairan refrigeran tekanan rendah tersebut dapat menguap kembali dalam evaporator menjadi uap refrigeran tekanan rendah. Susunan keempat komponen tersebut secara skematik dapat ditunjukkan pada gambar 1. Pada gambar 2 menunjukkan P-h diagram Siklus Kompresi Uap. “I Gusti Agung Pramacakrayuda, Ida Bagus Adinugraha, Hendra Wijaksana, Nengah Suarnadwipa, Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasikan Dengan Water Heater, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M Vol.4.No.1.April 2010 (57-61)”.



Gambar 1. Diagram alir siklus kompresi uap



Gambar 2. Diagram P-h

Proses-proses yang membentuk siklus kompresi uap antara lain :

- 1-2. Penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap di evaporator, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh.
- 2-3. Kompresi adiabatik dan reversibel di kompresor, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- 3-4. Pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan di kondensor, menyebabkan penurunan panas-lanjut (desuperheating) dan pengembunan refrigeran.
- 4-1. Ekspansi tidak reversibel pada entalpi konstan di katup ekspansi, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator.

2.3. Prinsip dasar Multirefrigerasi Sistem

multirefrigerasi merupakan salah satu jenis mesin pendingin yang bekerja berdasarkan prinsip kompresi uap, sehingga dalam sistem tersebut memiliki komponen-komponen dasar utama terdiri dari : kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator yang terangkai dalam bentuk siklus tertutup.

Di dalam siklus yang tertutup tersebut, akan mengalir bahan yang disebut refrigerant yang mampu memberikan efek pendinginan saat bahan tersebut melalui komponen evaporator dengan cara mengambil kalor dari

media sekitar evaporator, selanjutnya Kalor tersebut dibawa refrigerant untuk dilepaskan di komponen kondensor.

Pada multyrefrigerasi sistem, mesin refrigerasi dengan satu kompresor dan beberapa evaporator (multy evaporator system) dirancang untuk menghasilkan temperatur berbeda di antara evaporator tersebut . Pada penelitian ini, mesin refrigerasi dirancang menggunakan dua evaporator yaitu evaporator pada box 1 difungsikan sebagai pengkondisian udara (AC) dan pada evaporator box 2 difungsikan sebagai refrigerator (temperatur rendah).



Gambar 3. Mesin refrigerasi kompresi uap dengan 2 evaporator

2.4 Sistem refrigerasi Uap

Pada refrigerasi uap, refrigerant dipaksa menguap dengan menyerap panas dari lingkungan, kemudian refrigerant yang telah menguap itu dikompresikan hingga tekanan dan temperaturnya naik dan kemudian didinginkan kembali ke fase cair, sehingga refrigerant tersebut dapat digunakan secara berulang-ulang.

2.5 Macam – macam Medium Pendingin (Refrigerant)

Refrigeran adalah bahan pendingin berupa fluida yang digunakan untuk menyerap kalor melalui perubahan fasa cair ke gas (menguap) dan membuang kalor melalui perubahan fasa gas ke cair (mengkondensasi).

Refrigeran yang baik harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Tidak beracun, tidak berwarna, tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak dapat terbakar atau meledak sendiri, juga bila bercampur dengan udara, minyak pelumas dan sebagainya.
3. Tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada sistem refrigerasi dan air conditioning.
4. Dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor, tetapi tidak mempengaruhi atau merusak minyak pelumas tersebut.
5. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali di mampatkan, diembunkan dan diuapkan.

6. Mempunyai titik didih yang rendah. Harus lebih rendah daripada suhu evaporator yang direncanakan.
7. Mempunyai tekanan kondensasi yang rendah. Tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kompresor yang besar dan kuat, juga pipanya harus kuat dan kemungkinan bocor besar.
8. Mempunyai tekanan penguapan yang sedikit lebih tinggi dari 1 atmosfer. Apabila terjadi kebocoran, udara luar tidak dapat masuk ke dalam sistem.
9. Mempunyai kalor laten uap yang besar, agar jumlah kalor yang diambil oleh evaporator dari ruangan jadi besar.
10. Apabila terjadi kebocoran mudah diketahui dengan alat-alat yang sederhana.
11. Harganya murah.

Jenis medium pendingin yang biasa dipakai pada mesin pendingin antara lain :

1. Udara
2. Carbon dioxide (CO_2)
3. Freon dan Genetron (CCL_2F_2)
4. Amonia (NH_3)
5. Methyl Chloride (CH_2CL_2)
6. Air (H_2O)
7. Sulfur dioxide (SO_2)

8. Hydro carbon : Ethane (CH_3CH_3), propane ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) Methane (CH_4)
9. Halogenated hydro carbon : Deiline, Ethyl chloride, Methylene choride (CH_2Cl_2)

Dalam perencanaan mesin pendingin ini refrigeran yang digunakan adalah freon. Selain merupakan refrigeran yang paling banyak dipakai, secara empiris freon terbukti memenuhi beberapa syarat yang diperlukan oleh instalasi mesin pendingin ,antara lain :

1. Tidak mudah terbakar
2. Tidak mudah meledak
3. Tidak beracun
4. Tidak berbau
5. Tidak berwarna
6. Tidak merusak kulit
7. Tidak menimbulkan karat
8. Tidak merusak produk
9. Mempunyai titik didih yang sesuai dengan keperluan, dan
10. Ramah lingkungan dan tidak merusak lapisan ozon.

Komposisi kimia freon stabil, walaupun sudah digunakan berulang-ulang kali dalam proses evaporasi, kompresi dan kondensasi. Freon dapat

mengendalikan berbagai tingkat temperatur atau suhu untuk berbagai jenis keperluan.

Dalam perencanaan ini penulis menggunakan (R134a), berdasarkan karakteristik dan sifat freon diatas. Karakteristik termodinamik dan efisiensi dari sejumlah refrigeran yang umum dapat dilihat pada tabel berikut :

Refrigeran	Titik beku (⁰ C)	Titik didih (⁰ C)	Tekanan Evap (Bar)	Tekanan Cond (Bar)
R-11	-111	23,7	0,4	2,361
R-12	-136	-29,8	3,081	12,17
R-22	-160	-40,8	4,98	19,43
R-502	-36,6	45,9	0,1504	1,097
R-134a	-96,6	-26,25	2,928	13,18

Tabel 1 : Perbandingan titik beku,titik didih,tekanan evaporator dan kondensor pada berbagai refrijeran

2.7 Komponen Utama Mesin Pendingin

2.7.1 Kompresor

Kompresor adalah Kompresor adalah bagian terpenting dari sistem refrigerasi. Pada tubuh manusia kompresor dapat diumpamakan sebagai jantung yang memompa darah keseluruhan tubuh kita. Sedangkan kompresor

menekan refrigeran ke semua bagian dari sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan, sehingga refrigeran dapat mengalir dari satu bagian ke lain bagian dari sistem. Karena adanya perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah, maka refrigeran cair dapat mengalir melalui alat ekspansi ke evaporator. Tekanan gas di dalam evaporator harus lebih tinggi dari tekanan gas di dalam saluran hisap (*suction*), agar gas dingin dari evaporator dapat mengalir melalui saluran hisap ke kompresor.

Ada 3 jenis kompresor yang sering digunakan untuk mesin pendingin :

1. Kompresor torak

Kompresor torak biasanya digunakan untuk spesifik volume yang rendah dan titik didihnya dibawah 30⁰F. Kompresor ini mampu bekerja pada tekanan tinggi antara 50 Psia atau lebih

2. Kompresor rotary

Kompresor ini biasa dipakai untuk mengkompresikan refrigeran dengan perbedaan tekanan sedang. Perbedaan kompresinya kira kira antara 20 Psia – 30 Psia.

3. Kompresor sentrifugal

Biasa digunakan untuk perbedaan tekanan yang rendah yaitu dibawah 22 Psia dan dipergunakan untuk instalasi paling sedikit 50 TR..

Pada penelitian ini kompresor yang akan digunakan adalah kompresor jenis torak.

Adapun rumus untuk mencari daya kompresor yang diperlukan yaitu :

$$P = w \cdot \Delta h_i \quad \dots\dots\dots(\text{stoecker, hal 199})$$

Dimana :

P = Daya kompresor, (kW)

W = laju alir masa. (Kg/det)

Δh_i = Kerja kompresi isentropik, (kJ/kg)

2.7.2 Kondensor

Kondensor adalah suatu alat untuk merubah bahan pendingin dari bentuk gas menjadi cair. Bahan pendingin dari kompresor dengan suhu dan tekanan tinggi, panasnya keluar melalui permukaan rusuk-rusuk kondensor ke udara. Sebagai akibat dari kehilangan panas, bahan pendingin gas mula-mula didinginkan menjadi gas jenuh, kemudian mengembun berubah menjadi cair.

Kondensor ada 3 macam menurut cara pendinginannya, yaitu:

1. Kondensor dengan media pendingin udara (air cooled)
2. Kondensor dengan media pendingin air (water cooled)
3. Kondensor dengan media pendingin campuran udara dan air (evaporative kondensor)

Kondensor yang digunakan dalam perencanaan ini adalah jenis kondensor dengan media pendingin udara (air cooled) dengan sirip-sirip dan udara yang disirkulasikan dengan fan.

Adapun rumus untuk menghitung luas permukaan kondensor dan siripnya yaitu :

$$A_c = \frac{Q_{cond}}{U \cdot LTMD} \dots\dots\dots (D\text{osat hal. 316})$$

Dimana :

A_c = Luas permukaan kondensor, sq ft

Q_{cond} = Beban kondensor, Btu/hr

U = Koefisien perpindahan panas total, Btu/hr.ft².°F

$LTMD$ = Beda temperatur rata – rata, Log.°F

Panjang pipa kondensor dapat dicari dengan rumus :

$$L = \frac{A_c}{A}$$

Dimana :

L = Panjang pipa kondensor, ft

A = Luas keseluruhan pipa kondensor, ft²/hr

Untuk pemeriksaan kekuatan pipa kondensor dapat dicari dengan rumus :

$$X = \frac{P_{cond} \cdot D_o}{2.5 + 0.8 \cdot P_{cond}} + C$$

Dimana :

X = tebal minimum dinding pipa, inci

- P_{cond} = Tekanan kondensor, Psia
 D_o = diameter luar pipa kondensor, inci
 S = tegangan tarik yang diizinkan, Psia
 C = penambahan tebal yang diizinkan

Efisiensi untuk kondensor yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\eta_{cond} = \frac{\text{Panjang kondensor hasil perhitungan}}{\text{Panjang kondensor yang digunakan}} \times 100\%$$

Dimana

$$\eta_{cond} = \text{Efisiensi kondensor, (\%)}$$

2.7.3 Evaporator

Fungsi dari evaporator adalah untuk menyerap panas dari udara, air atau benda yang ada disekitarnya. Evaporator merupakan sebuah ruangan tempat refrigeran cair menguap. Refrigeran gas ditampung di akumulator, kemudian mengalir ke kompresor. Evaporator memberikan panas kepada refrigeran sebagai kalor laten penguapan, sehingga refrigeran menguap.

Berdasarkan konstruksinya, terdapat 3 jenis evaporator antara lain :

a. *Bare tube evaporator*

Evaporator jenis ini, terbuat dari pipa baja atau pipa tembaga. Penggunaan pipa baja biasanya untuk evaporator berkapasitas besar yang menggunakan refrigerant ammonia. Pipa tembaga biasa digunakan untuk evaporator berkapasitas rendah dengan refrigeran selain ammonia.

b. *Plate surface evaporator*

Evaporator permukaan plat atau *plate-surface*, dirancang dengan berbagai jenis. Beberapa diantaranya dibuat dengan menggunakan dua plat tipis yang dipres dan dilas sedemikian sehingga membentuk alur untuk mengalirkan refrigeran. Cara lainnya, menggunakan pipa yang dipasang diantara dua plat tipis kemudian dipress dan dilas.

c. *Fine tube evaporator*

Evaporator jenis *finned tube* adalah *evaporator bare-tube* tetapi dilengkapi dengan sirip-sirip yang terbuat dari plat tipis aluminium yang dipasang disepanjang pipa untuk menambah luas permukaan perpindahan panas. Siripsirip aluminium ini berfungsi sebagai permukaan transfer panas sekunder. Jarak antar sirip disesuaikan dengan kapasitas evaporator, biasanya berkisar antara 40 sampai 500 buah sirip per meter. Evaporator untuk keperluan suhu rendah, jarak siripnya berkisar 80 sampai 200 sirip per meter. Untuk keperluan suhu tinggi, seperti room AC, jarak fin berkisar 1,8 mm.

Dalam perencanaan ini evaporator yang digunakan adalah dengan menggunakan jenis fine tube evaporator, dimana luas permukaan evaporatornya dapat dihitung dengan rumus :

$$A_e = \frac{Q_{evap}}{U(t_2 - t_1)}$$

Dimana :

A = Luas permukaan evaporator, ft²

Q_{evap} = Beban evaporator, (Btu/hr)

U = Koefisien perpindahan panas total, Btu/hr.ft².⁰F

t_2 = temperatur sisi luar evaporator, ⁰F

t_1 = temperatur sisi dalam evaporator, ⁰F

Untuk jumlah udara yang dibutuhkan oleh evaporator menurut Dossat :250 dapat dicari dengan rumus :

$$Cfm = \frac{\text{Total capacity x Sensible Heat Ratio}}{\text{Temperatur droop of Air x 1,08}}$$

Dimana :

Cfm = jumlah aliran udara, cfm

2.7.4 Katup Ekspansi

Katup ekspansi/pipa kapiler gunanya adalah untuk ,Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir di dalam pipa tersebut. Mengontrol atau mengatur jumlah bahan pendingin cair yang mengalir dari sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan rendah.

Komponen ini direncanakan tidak berdasarkan perhitungan, tetapi berdasarkan pemakaian dan kebutuhan jumlahnya ton refrigeran pada unit pendingin yang direncanakan.

Alat ekspansi ada beberapa jenis seperti : pipa kapiler, katup ekspansi berpengendali panas lanjut (super heat expansion valve), katup apung (floating valve), dan katup ekspansi tekanan konstan (constan pressure expansion valve). Yang sering digunakan pada mesin pendingin adalah pipa kapiler dan katup ekspansi kendali panas lanjut.

Dalam perencanaan ini katup ekspansi yang digunakan adalah pipa kapiler yang mana pipa ini menghubungkan sisi tekanan tinggi dengan sisi tekanan rendah.

2.7.5 Alat-alat Perlengkapan tambahan

Alat-alat/perlengkapan tambahan yang akan dipasang pada perencanaan ini adalah:

a. Manometer

Pada perencanaan mini manometer yang digunakan berwarna biru dan merah. Untuk manometer yang berwarna merah berfungsi untuk mengukur tekanan rendah freon keluaran dari pipa kapiler dan pipa balik. Sedangkan untuk manometer yang berwarna merah berfungsi untuk mengukur tekanan hembus freon keluaran dari kompresor.

b. Keran

Pada perencanaan ini, keran yang akan dipasang berfungsi untuk membuka/tutup aliran refrigerant.

c. Auto Reset

Alat ini berfungsi untuk mengatur batas-batas suhu dalam ruangan, menghentikan serta menjalankan kembali kompresor secara otomatis. Alat ini dipasang pada pipa hembus dan pipa balik.

d. Sight Glass

Sight glass berfungsi untuk mengontrol keadaan cairan refrigerandidalam sistem pendingin.

Tanda/perubahan yang mungkin dapat dilihat pada kaca sight glass akan tampak :

- Warna bening berarti cairan refrigeran yang ada pada sistem berjalan dengan baik
- Berbusa atau berbuih berarti cairan refrigerant dalam sistem kurang ,dapat diartikan kemungkinan terdapat kebocoran atau sewaktu pengisian refrigerant kurang.

e. Fan (kipas)

fungsi utama fan ini adalah untuk mensirkulasikan udara di dalam ruangan.fan juga berfungsi sebagai pencegah dari pembekuan yg berkumpul pada evaporator yang dapat mengakibatkan seluruh bagian ruangan tidak dingin. Untuk propeler fan menurut Salisbury J.K dalam bukunya “ Kent’s Mechanical Engineer’s Hand Book” adalah :

- Normal Static Pressure : 0,5-1,5 In Wg
- Maximum Static Eficiency : 50%

Daya masing masing fan evaporator dan kondensor dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Condensor Fan : } H_p = \frac{AQ_{cond.ps}}{6365}$$

$$SH_p = \frac{HP}{Es}$$

Dimana :

HP = Fan Horse Power, (HP)

Aqcond = Jmlah aliran udara kondensor, (ft³/menit)

ps = Statis Pressure (In Wg)

SHp = Horse Power Input, (HP)

Es = Statis Effisiensi (%)

$$\text{Evaporator Fan : } Hp = \frac{AQ_{evap}.ps}{6365}$$

$$SHp = \frac{HP}{Es}$$

Dimana :

AQ_{evap} = Jumlah aliran udara Evaporator,(ft³/menit)

f. Katup EPR (*evaporator pressure regulator*)

Berfungsi sebagai pengatur tekanan masuk refrigeran masuk ke evaporator.

Aplikasi katup EPR (Evaporator Pressure Regulator Valve) dapat mempertahankan tekanan penguapan di evaporator yang minimum pada keadaan beban evaporator yang rendah atau tinggi, tanpa dipengaruhi oleh tekanan saluran isap. Katup tersebut pada sistem pendingin dengan beberapa evaporator juga dapat mempertahankan suhu dan tekanan yang berbeda pada tiap evaporator

2.8 Beban Pendingin

Perhitungan beban pendingin bertujuan untuk menentukan/memilih komponen – komponen refrigerasi agar tidak melebihi dari kapasitas yang

dibutuhkan, atau bahkan kurang dari kapasitas yang dibutuhkan. Beban pendinginan diukur dengan satuan Btu/hr, atau Ton refrigerant.

Ada 2 istilah dalam perhitungan beban pendingin, antara lain :

1. Cooling load

Yaitu banyaknya panas yang harus dikeluarkan dari dalam ruangan untuk mempertahankan kondisi udara dalam ruangan pada harga tertentu.

2. Heat gain (Beban Panas)

Yaitu banyaknya panas yang masuk dalam suatu ruangan yang akan dikondisikan. Beban panas ini berasal dari pancaran radiasi sinar matahari, lampu, perpindahan panas melalui transmisi melalui dinding dan adanya infiltrasi yang terdapat pada ruangan yang berfungsi sebagai penyumbang panas.

Berikut rumus- rumus dasar dalam perhitungan beban pendingin :

2.8.1 Beban panas konduksi

Adalah jumlah panas yang merambat karena perbedaan temperatur ruangan yang didinginkan dengan sekelilingnya, biasa terjadi melalui permukaan ruang pendingin. Besarnya beban panas konduksi dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_k = U_x A_x \Delta t$$

Dimana :

Q_k = Jumlah beban panas konduksi, (Btu/hr)

- U = Koefisien perpindahan panas, (Btu/hr.sq.ft)
 A = Luas dinding, (sq.ft)
 Δt = perbedaan antara kedua sisi dinding, (Btu/hr.sq.ft.⁰F)

2.8.2. Beban panas Infiltrasi (perembesan udara)

Bebann panas infiltrasi terjadi akibat dari udara yang masuk kedalam ruangan pendingin dan sejenisnya. Besarnya beban infiltrasi dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = 1,08 \times Cfm \times (t_o - t_{rm})$$

Dimana :

- Q = beban panas Infiltrasi, (Btu/hr)
 Cfm = jumlah udara infiltrasi, (ft³)
 t_o = suhu permukaan udara luar ruangan, (⁰F)
 t_{rm} = suhu permukaan udara dalam ruangan, (⁰F)

2.8.3. Beban Panas Radiasi

Beban panas karena radiasi melalui dinding dapat dihitung dengan rumus:

$$Q_r = U \times A \Delta t$$

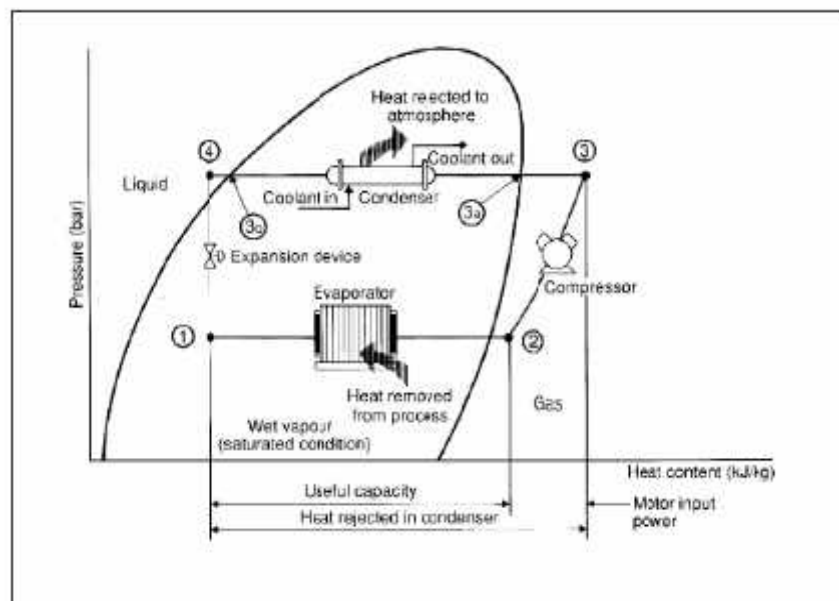
Dimana :

- Q_r = Jumlah beban panas radiasi, (Btu/hr)
 U = Koefisien perpindahan panas, (Btu/hr.sq.ft)
 A = Luas dinding, (sq.ft)
 Δt = perbedaan antara kedua sisi dinding, (Btu/hr.sq.ft.⁰F)

3.1. Analisa termodinamika

Dalam menganalisa termodinamika sistem pendingin ada dua jenis diagram yang digunakan antara lain, diagram (p-h) tekanan entalpi, digunakan untuk menentukan harga yang diperlukan dalam perhitungan termodinamika. Dan diagram (T-s) temperatur entropy, digunakan untuk menganalisa persoalan – persoalan termodinamika dalam sistem pendingin.

Dalam perencanaan ini, penulis menggunakan diagram p-h yang digunakan dalam penulisan dan dapat pula memberikan informasi yang lebih jelas tentang perubahan – perubahan yang terjadi selama proses refrigrasi berlangsung.



Gambar 4. Gambaran skematis siklus refrigrasi

(Biro Efisiensi Uenergi, 2004)

Dengan bantuan diagram entalpi terhadap tekanan, pada (gambar 4) ,besaran yang penting dalam daur kompresi uap dapat diketahui antara lain,

kerja kompresi, laju pengeluaran kalor , dampak refrigerasi ,koefisien prestasi (COP), laju alir massa untuk setiap kWrefrigerasi dan daya perkilowatt refrigerasi.

Siklus refrigerasi ditunjukkan dalam Gambar 3 dan 4 dan dapat dibagi menjadi tahapantahapan berikut:

- 1 – 2.** Cairan refrigeran dalam *evaporator* menyerap panas dari sekitarnya, biasanya udara, air atau cairan proses lain. Selama proses ini cairan merubah bentuknya dari cair menjadi gas, dan pada keluaran *evaporator* gas ini diberi pemanasan berlebih/*superheated gas*.
- 2 – 3.** Uap yang diberi panas berlebih masuk menuju kompresor dimana tekanannya dinaikkan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran.
- 3 – 4.** *Superheated gas* bertekanan tinggi lewat dari kompresor menuju kondenser. Bagi awal proses refrigerasi (3-3a) menurunkan panas *superheated gas* sebelum gas ini dikembalikan menjadi bentuk cairan (3a-3b). Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pekerjaan pipa dan penerima cairan (3b - 4), sehingga cairan refrigeran didinginkan ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju alat ekspansi.
- 4 - 1** Cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi melintas melalui peralatan ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan

mengendalikan aliran menuju Kondenser harus mampu membuang panas gabungan yang masuk *evaporator* dan kondenser. Dengan kata lain: (1 - 2) + (2 - 3) harus sama dengan (3 - 4). Melalui alat ekspansi tidak terdapat panas yang hilang maupun yang diperoleh.

Koefisien prestasi dari daur kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi. Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisiensi prestasi dan suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai daya perkilowattrefrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi.

Dari diagram p-h dan menggunakan tabel refrigerant yang dipilih, maka dapat ditentukan harga – harga tekanan enthalpy untuk masing – masing titik seperti berikut :

Evaporasi (penguapan)

Didalam evaporator , uap refrigerant menguap dan menyerap panas dari ruangan atau produk yang diinginkan. Besarnya panas yang diserap dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_{\text{Evap}} = m \cdot RE \text{ (Btu/hr)}$$

Dimana :

Q_{Evap} = kapasitas pendingin tiap jam

m = laju aliran refrigeran (lb/hr)

RE = Efek pendinginan (Btu/lb)

Sedangkan untuk harga RE dapat dicari dengan rumus :

$$RE = hc-hb \text{ (Btu/lb)} \quad \dots\dots\dots(\text{ Jordan, hal 188})$$

Laju Aliran Refrigerant

Laju aliran refrigeran dapat dicari dengan rumus:

$$m = \frac{q_{Evap}}{RE} \text{ (lb/hr)}$$

Dimana :

q_{Evap} = total beban pendingin

Kompresi

Jumlah panas yang ditimbulkan akibat kompresi dapat dihitung dengan rumus :

$$W_{komp} = m \cdot (h_d - h_c) \text{ (Btu/hr)} \quad \dots\dots\dots(\text{ Jordan, hal 189})$$

Dimana :

W_{komp} = kerja kompresi tiap jam (Btu/hr)

Kondensasi (Pengembunan)

Setelah uap refrigeran meninggalkan kompresor dalam bentuk superheated, panas yang dikeluarkan oleh kondensor dapat ditulis dengan :

$$Q_{Cond} = m \cdot (h_d - h_a) \text{ (Btu/hr)} \quad \dots\dots\dots(\text{ Jordan, hal 189})$$

Dimana :

Q_{Cond} = panas yang dibuang kondensor tiap jam (Btu/hr)

Coefficient Of Performance (COP)

Koefisien performance untuk siklus kompresi uap dapat dicari dengan rumus :

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{Evap}}}{W_{\text{Com1}}}$$

Dimana :

COP = koefisien performance

Theoretical Piston Displacement (TD)

TD dapat dicari dengan rumus :

$$\text{TD} = m \cdot V_{\text{gc}} \text{ (ft}^3\text{/hr)} \dots\dots\dots(\text{Jordan, hal 189})$$

Dimana :

V_{gc} = Volum spesifik uap refrigerant

Volumetric Efficiency (η_v)

Efficienci volumetrik dapat dicari dengan rumus :

$$\eta_v = 1 + C + C \left[\frac{P_d}{P_s} \right]^{1/n} \dots\dots\dots(\text{Jordan Prister ,hal 66})$$

Dimana :

C = presentase Clerence

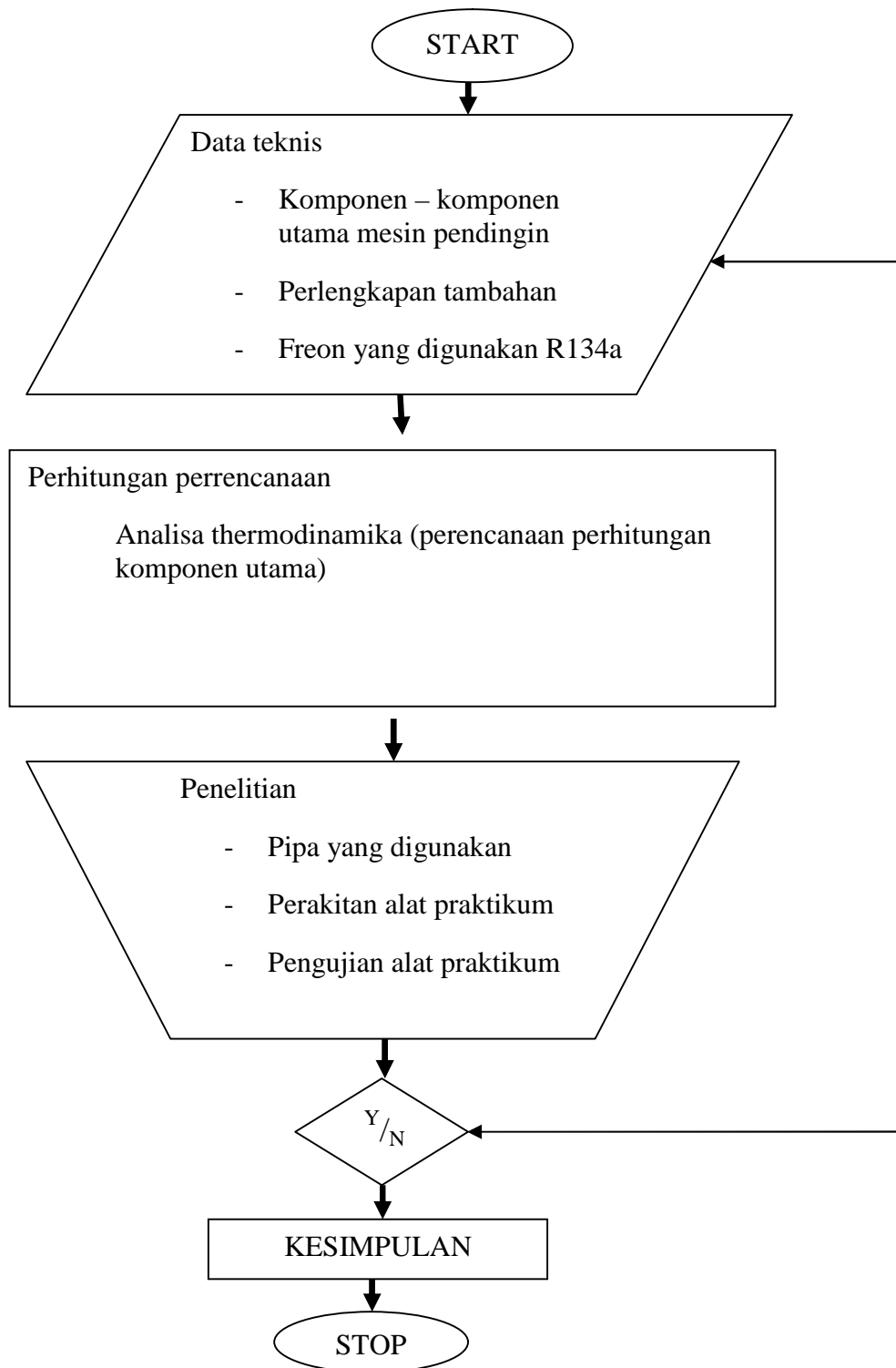
P_d = Pressure discharge / tekanan buang kompresor (Psia)

P_s = Pressure suction / tekanan hisap kompresor (Psia)

n = Rasio of spesifik head

FLOW CHART

PERENCANAAN PROTOTYPE MESIN PENDINGIN MULTIREFRIGERASI SISTEM SEBAGAI ALAT PRAKTIKUM



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan dan Alat Penelitian

3.1.1 Data teknis

Data –data yang digunakan untuk multirefrigerasi ini antara lain sebagai berikut :

- Sistem refrigerasi yang akan digunakan adalah sistem refrigerasi kompresi uap.
- refrigerant yang digunakan untuk perencanaan ini adalah freon (R 134a)
- Kompresor yang digunakan adalah jenis kompresor rotary
- Evaporator yang digunakan adalah multi evaporator dengan jenis finned evaporator
- kondensor dan evaporator yang digunakan terbuat dari pipa tembaga dengan masing – masing berdiameter 0,045 inchi dan 0,328 inchi.

3.1.3 Alat – alat Listrik yang Digunakan

- a). Termostat (Pengatur suhu)
- b). Kontrol Panel
- c). Kapasitor
- d). Strainer (saringan)

e). Overload

3.1.4 Peralatan-peralatan Yang Digunakan Pada Perakitan Mesin Pendingin

Adapun peralatan – peralatan yang akan digunakan dalam perakitan mesin pendingin ini antara lain :

1. Peralatan pipa
 - Pemotong pipa
 - Pembengkok pipa
 - Pengembang dan pelebar pipa
2. Peralatan refrigerant
 - Pompa Vakum digunakan untuk mengosongkan refrigerant dari sistem sehingga dapat menghilangkan gas-gas yang tidak terkondensasi seperti udara dan uap air.
 - Gauge Manifold berfungsi untuk mengukur tekanan refrigeran pada saat pengisian ataupun saat operasi.
3. Peralatan Pengukuran
 - Jangka sorong
 - Thermometer Suhu berfungsi untuk mengukur suhu pada pipa evaporator dan pipa kondensor pada saat sistem bekerja.

3.2 Alur Penelitian

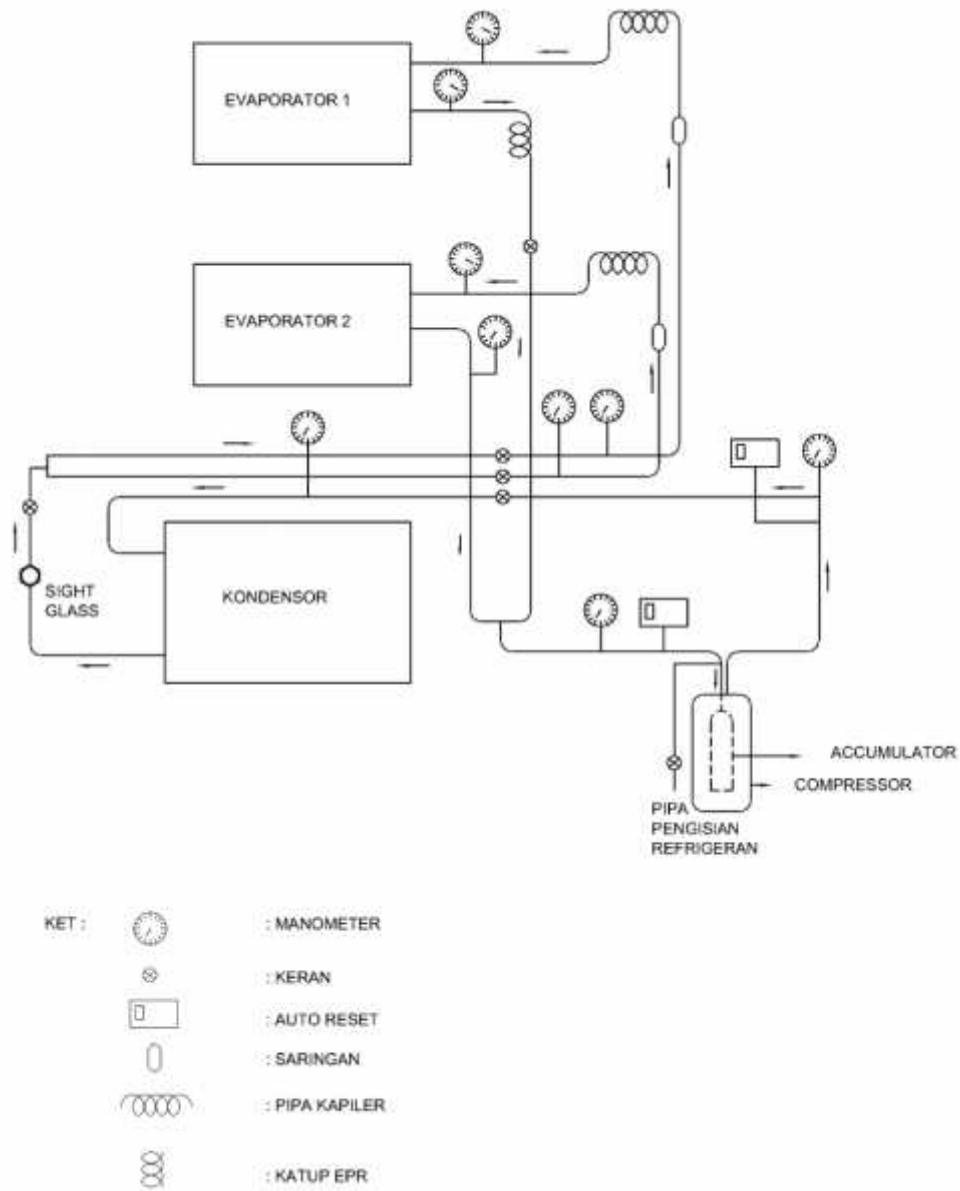
Mesin refrigerasi dengan satu kompresor dan beberapa evaporator (multy evaporator system) dirancang untuk menghasilkan temperatur berbeda di antara evaporator tersebut . Pada penelitian ini, mesin refrigerasi ini dirancang menggunakan dua evaporator yaitu evaporator pada box 1 yang mana difungsikan sebagai refrigerator atau freezer (temperatur rendah), dan pada evaporator box 2 difungsikan sebagai pengkondisian udara Air Conditioner (AC)

Adapun langkah-langkah perakitan dalam perencanaan alat praktikum ini sebagai berikut:

1. Membuat meja sebagai tempat/dudukan alat prototype mesin pendingin *multirefrigerasi sistem*.
2. Merakit komponen-komponen utama *multirefrigerasi sistem* yang terdiri dari kompresor,kondensor,katup ekspansi,dan evaporator pada papan meja panel tersebut.
3. Membuat dan memasang dudukan kipas kondensor,dan kipas evaporator pada pada bagian belakang papan meja panel dibelakan kondensor dan evaporaator.
4. Merakit pemipaan beserta alat-alat ukur dan alat-alat tambahan pada prototype mesin pendingin yang terdiri dari:
 - a. Manometer

- b. Auto reset
 - c. Sight glass
 - d. Keran
 - e. Saringan
5. Memasang rangkaian listrik pada alat prototype mesin pendingin *multirefrigerasi sistem* sebagai alat praktikum.
 6. Melakukan pengujian pada alat prototype mesin pendingin *multirefrigerasi sistem* tersebut.

3.3. Skema Perencanaan Prototype Mesin Pendingin *Multyrefrigerasi Sistem*



Gambar 5. Skema prototype mesin pendingin *multirefrigerasi sistem*

BAB IV

PEMILIHAN KOMPONEN UTAMA MESIN PENDINGIN

MULTIREFRIGERASI SISTEM

4.1 PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN

Pada perencanaan *multi refrigerasi* ini beban pendingin yang dihitung hanya beban panas infiltrasi yang disebabkan karena masuknya udar luar akibat pembukaan pintu oleh manusia. Jumlah udara infiltrasi orang yang keluar masuk adalah 8cfm. Pintu dibuka 1 kali dalam 1jam. Sehingga beban panas infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = 1,08 \times \text{cfm} \times (t_o - t_{rm}) \dots\dots\dots(\text{rev 7hal 45})$$

Dimana :

$$\text{cfm} = 8 \text{ cfm}$$

$$t_o = 90^{\circ}\text{F}$$

$$t_{rm} = 75^{\circ}\text{F}$$

maka :

$$Q = 1,08 \times 8 \times (90 - 75)$$

$$= 129,6 \text{ Btu/hr}$$

Kompresor beroperasi (runing time) selama 1 jam, maka kapasitas pendingin dalam Btu/hr yaitu:

$$= \frac{\text{Total beban pendingin (q evap)}}{\text{Running time}}$$

$$= \frac{129,6}{1}$$

$$= 129,6 \text{ Btu/hr}$$

4.2 ANALISIS TERMODINAMIKA SIKLUS REFRIGRASI

Data tekanan dan entalpi pada mesin pendingin ini adalah sebagai berikut:

- Tekanan penguapan: 10 psi
- Tekanan pengembunan: 190 psi
- Enthalpi refrigerant masuk kompresor dan masuk kondensor 118.30 Btu/lb
- Enthalpi refrigerant keluar kondensor masuk katup ekspansi 65,392 Btu/lb
- Enthalpi refrigerant keluar evaporator masuk ke kompresor 3.156 Btu/lb

Dari data diatas maka dapat dihitung

- **Efek pendingin (*Refrigeration Effect*), RE**

$$RE = h_c - h_b$$

$$= 118.30 - 3.156$$

$$= 115.144 \text{ Btu/lb}$$

- **Laju Aliran Refrigeran**

Laju aliran refrigeran dapat dicari dengan persamaan:

$$m = \frac{q_{\text{Evap}}}{RE}$$

$$= \frac{129.6 \text{ Btu/hr}}{115.144 \text{ Btu/lb}}$$

$$= 1.125 \text{ hr/lb}$$

- **Kerja kompresi tiap jam**

$$W_{\text{kom}} = m.(h_c - h_d)$$

$$= 1.125.(118.30 - 65.392)$$

$$= 59.52$$

- **Panas yang dibuang kompresor tiap jam**

$$Q_{\text{cond}} = m.(h_d - h_b)$$

$$= 1.125.(65.392-3.156)$$

$$= 70.02 \text{ Btu/hr}$$

- **Kapasitas Pendingin tiap jam**

$$Q_{\text{Evap}} = m.RE$$

$$= 1.125 \times 115.144$$

$$= 129.537 \text{ Btu/hr}$$

- **Coefisient of performance (COP)**

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{komp}}}$$

$$= \frac{129.537 \text{ Btu/hr}}{59.52 \text{ Btu/hr}}$$

$$= 2.176$$

4.3 PERHITUNGAN KOMPONEN UTAMA

4.3.1 Kompresor

Daya kompresor dapat dicari dengan rumus

$P = \text{kerja kompresi} \times \text{laju aliran refrigeran}$

$$= 59.52 \times 1.125$$

$$= 66.96 \text{ btu/hr}$$

$$= 19.624 \text{ W}$$

4.3.2 Kondensor

Kondensor yang digunakan dalam perencanaan ini adalah jenis Air Cooled Condensor, dimana pipa – pipanya dilengkapi dengan sirip.

Data – data kondensor adalah sebagai berikut :

- Temperatur kondensor (trc) = 94⁰F
- Temperatur udara masuk kondensor (Tic) = 86⁰F
- Temperatur keluar kondensor (Toc) = 90⁰F
- Tekanan kondensor = 190 Psi
- Diameter luar pipa (Do) 0,382” = 0,0318 ft
- Diameter dalam pipa (Di) 0,32” = 0,0266 ft
- Tebal pipa (Xt) 0,031” = 0,0025 ft

Luas permukaan kondensor berikut siripnya dapat dihitung dengan rumus :

$$A_c = \frac{Q_{cond}}{U \cdot LTMD}$$

Dimana :

$$LTMD = \text{Beda temperatur log...}^0\text{F}$$

A_c = Luas permukaan kondensor berikut siripnya

Q_{cond} = Beban kondensor 70.02 Btu/hr

U = Koefisien perpindahan panas total Btu/hr.ft².°F

LTMD dapat dicari dengan :

$$LTMD = \frac{(TRC - Tic) - (TRC - Toc)}{\ln \frac{(TRC - Tic)}{(TRC - Toc)}}$$

$$= \frac{(94 - 86) - (94 - 92)}{\ln \frac{(94 - 86)}{(94 - 92)}}$$

$$= 4.32^{\circ}\text{F}$$

Sedangkan U dapat dicari dengan persamaan :

$$U = \frac{1}{\frac{D_o}{D_i h_i} + \frac{D_o \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right)}{2k} + \frac{1}{h_o} + \frac{1}{HS}} \quad \dots\dots\dots(\text{JP.holfman : 417})$$

Dimana :

U = koefisien perpindahan panas total

D_o = diameter luar pipa

D_i = diameter dalam pipa

h_i = konduktifitas film sebelah dalam

4.3.3 Evaporator

Evaporator yang digunakan adalah jenis pipa dengan sirip – sirip dengan data perhitungan sebagai berikut :

- Beban evaporator (Q_{evap}) = 129.6 Btu/hr
- Temperatur refrigeran R134a = 19⁰F
- Tekanan evaporator = 10 psi
- Temperatur ruang 1 yang dikondisikan = 23⁰F
- Temperatur ruang 2 yang dikondisikan = 64⁰F
- Diameter luar pipa (D_o). 0.405” = 0,0337ft
- Diameter dalam pipa (D_1). 0.343” = 0.0285ft
- tebal pipa (X_t), 0.031” = 0.0025ft

4.3.3.1 Perhitungan Evaporator

Evaporator 1

Luas permukaan evaporator dapat dicari dengan rumus:

$$A_e = \frac{Q_{evap}}{U \cdot (t_2 - t_1)}$$

Dimana :

A_e = Luas permukaan evaporator (ft^2)

Q_{evap} = Beban evaporator = 129.6 Btu/hr

U = Faktor konduktansi pipa Alumunium = 117 Btu/hr.ft².⁰F

t_2 = temperatur sisi luar evaporator 1 dan 2 = 23⁰F dan 64⁰F

t_1 =temperatur sisi dalam evaporator 1 dan 2 = 19⁰F dan 62⁰F

maka luas permukaan evaporator adalah

$$A_e = \frac{129.6}{117.(23-19)}$$
$$= 0.276ft^2$$

Evaporator 2

$$A_e = \frac{129.6}{117.(64-62)}$$
$$= 0.553ft^2$$

DAFTAR PUSTAKA

- Bella Tania,(2013).*Pengaruh Pipa Kapiler yang Dililitkan pada Suction Line terhadap Kinerja Mesin Pendingin.*
- Drs.Sumanto,MA,(2004).Dasar dasar Mesin Pendingin,Penerbit Andi.
- Dossat R.J,(1978).*Principle of Refrigeran*,John Willy And Sans,New York
- Drajat amyono,Analisa Kinerja Instalasi Sistem Pengkondisian Udara Bangunan Komersial,
- E.Karyanto.(2004) Penuntun Praktikum Teknik Mesin Pendingin. Volume 2
- Ega T.Berman,Spd.,M,Eng.*Multirefrigerasi Sistem*.Bahan kuliah RTU
- Hadi Ismanto.Tugas akhir, (2006), 9Perencanaan Prototype Mesin Pendingin *AC (Air Condisioner).*
- I Made Rasta,(2011), Kaji eksprimental aplikasi kstup EPR terhadap temperatur mesin *refrigerasi multi evaporator*,Jurnal Logic.Vol.11.No.2
- I Gusti Agung Pramacakrayuda,Ida Bagus Adinugraha,Hendra Wijaksana,Nengah Suarnadwipa,(2010),Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasikan Dengan *Water Heater*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M Vol.4.No.1
- J.P.Holman. E.Jasjfi,(1997).Perpindahan Kalor.Penerbit Erlangga.

Komang Metty Negara ,Hendra wijaksan,Nengah suarnadwipa,Made Sucipta,(2010).Analisa Performansi ruangan dan Efisiensi energi listrik pada sistem *water Chiler* dengan penerapan *metode cooled energy*,Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M Vol.4 No.1

Wilbert F.Stochecker, Jerold W. Jones, Supratman Hara ,(1996), *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*,Edisi Kedua, Penerbit Erlangga

William C.Reynolds, Henry C.Perkins. Filino Harahap. Termodinamika Teknik. Penerbit Erlangga,(1996)

Tabel.6. Efek dari temperatur diatas konduktivitas termal dari logam dan kuningan

	t, deg F.....	212	392	572	752	932	1112	Melt- ing point, deg F
	t, deg C.....	100	200	300	400	500	600	
✓ Aluminum.....	117	119	124	133	144	155	...	1220
Brass (70 copper, 30 zinc).....	36	60	63	66	67	...	...	1724
Cast iron.....	32	30	28	26	25	...	...	2102
Copper, pure.....	224	218	215	212	210	207	204	1976
Graphite (longitudinal).....	97	87	76	66	58	53	48	None
Lead.....	30	19	18	18	...	...	...	621
Nickel.....	36	34	33	32	...	...	...	2642
Silver.....	242	238	...	...	...	...	...	1760
Steel, mild.....	...	25	25	25	23	22	21	2607
Tin.....	36	34	33	...	...	...	...	450
Wrought iron, Swedish.....	...	32	30	28	26	24	...	2774
Zinc.....	65	64	62	59	54	...	...	786

* From "International Critical Tables," McGraw-Hill, New York, 1928, and other sources.





TABLE A-3E

Properties of common liquids, solids, and foods (*Continued*)
 (b) Solids (values are for room temperature unless indicated otherwise)

Substance	Density, ρ lbm/ft ³	Specific heat, c_p Btu/lbm · R	Substance	Density, ρ lbm/ft ³	Specific heat, c_p Btu/lbm · R
Metals			Nonmetals		
Aluminum			Asphalt	132	0.220
-100°F		0.192	Brick, common	120	0.189
32°F		0.212	Brick, fireclay (500°C)	144	0.229
100°F	170	0.218	Concrete	144	0.156
200°F		0.224	Clay	62.4	0.220
300°F		0.229	Diamond	151	0.147
400°F		0.235	Glass, window	169	0.191
500°F		0.240	Glass, pyrex	139	0.200
Bronze (76% Cu, 2% Zn, 2% Al)	517	0.0955	Graphite	156	0.170
Brass, yellow (65% Cu, 35% Zn)	519	0.0955	Granite	169	0.243
Copper			Gypsum or plaster board	50	0.260
-60°F		0.0862	Ice		
0°F		0.0893	-50°F		0.424
100°F	555	0.0925	0°F		0.471
200°F		0.0938	20°F		0.491
390°F		0.0963	32°F	57.5	0.502
Iron	490	0.107	Limestone	103	0.217
Lead	705	0.030	Marble	162	0.210
Magnesium	108	0.239	Plywood (Douglas fir)	34.0	
Nickel	555	0.105	Rubber (soft)	68.7	
Silver	655	0.056	Rubber (hard)	71.8	
Steel, mild	489	0.119	Sand	94.9	
Tungsten	1211	0.031	Stone	93.6	
			Woods, hard (maple, oak, etc.)	45.0	
			Woods, soft (fir, pine, etc.)	32.0	

(c) Foods

Food	Water content, % (mass)	Freezing point, °F	Specific heat, Btu/lbm · R		Latent heat of fusion, Btu/lbm	Food	Water content, % (mass)	Freezing point, °F	Specific heat, Btu/lbm · R		Latent heat of fusion, Btu/lbm
			Above freezing	Below freezing					Above freezing	Below freezing	
Apples	84	30	0.873	0.453	121	Lettuce	95	32	0.961	0.487	136
Bananas	75	31	0.801	0.426	108	Milk, whole	88	31	0.905	0.465	126
Beef round	67	—	0.737	0.402	96	Oranges	87	31	0.897	0.462	125
Broccoli	90	31	0.921	0.471	129	Potatoes	78	31	0.825	0.435	112
Butter	16	—	—	0.249	23	Salmon fish	64	28	0.713	0.393	92
Cheese, Swiss	39	14	0.513	0.318	56	Shrimp	83	28	0.865	0.450	119
Cherries	80	29	0.841	0.441	115	Spinach	93	31	0.945	0.481	134
Chicken	74	27	0.793	0.423	106	Strawberries	90	31	0.921	0.471	129
Corn, sweet	74	31	0.793	0.423	106	Tomatoes, ripe	94	31	0.953	0.484	135
Eggs, whole	74	31	0.793	0.423	106	Turkey	64	—	0.713	0.393	92
Ice cream	63	22	0.705	0.390	90	Watermelon	93	31	0.945	0.481	134

Source: Values are obtained from various handbooks and other sources or are calculated. Water content and freezing-point data of foods are from ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, I-P version (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Chap. 30, Table 1. Freezing point is the temperature at which freezing starts for fruits and vegetables, and the average freezing temperature for other foods.

TABLE A-11E

Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp., T °F	Sat. press., P_{sat} psia	Specific volume, ft^3/lbm		Internal energy, Btu/lbm		Enthalpy, Btu/lbm				Entropy, Btu/lbm · R		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
-40	7.432	0.01130	5.7796	-0.016	89.167	89.15	0.000	97.100	97.10	0.00000	0.23135	0.23135
-35	8.581	0.01136	5.0509	1.484	88.352	89.84	1.502	96.354	97.86	0.00355	0.22687	0.23043
-30	9.869	0.01143	4.4300	2.990	87.532	90.52	3.011	95.601	98.61	0.00708	0.22248	0.22956
-25	11.306	0.01150	3.8988	4.502	86.706	91.21	4.526	94.839	99.36	0.01058	0.21817	0.22875
-20	12.906	0.01156	3.4426	6.019	85.874	91.89	6.047	94.068	100.12	0.01405	0.21394	0.22798
-15	14.680	0.01163	3.0494	7.543	85.036	92.58	7.574	93.288	100.86	0.01749	0.20978	0.22727
-10	16.642	0.01171	2.7091	9.073	84.191	93.26	9.109	92.498	101.61	0.02092	0.20569	0.22660
-5	18.806	0.01178	2.4137	10.609	83.339	93.95	10.650	91.698	102.35	0.02431	0.20166	0.22598
0	21.185	0.01185	2.1564	12.152	82.479	94.63	12.199	90.886	103.08	0.02769	0.19770	0.22539
5	23.793	0.01193	1.9316	13.702	81.610	95.31	13.755	90.062	103.82	0.03104	0.19380	0.22485
10	26.646	0.01201	1.7345	15.259	80.733	95.99	15.318	89.226	104.54	0.03438	0.18996	0.22434
15	29.759	0.01209	1.5612	16.823	79.846	96.67	16.889	88.377	105.27	0.03769	0.18617	0.22386
20	33.147	0.01217	1.4084	18.394	78.950	97.34	18.469	87.514	105.98	0.04098	0.18243	0.22341
25	36.826	0.01225	1.2732	19.973	78.043	98.02	20.056	86.636	106.69	0.04426	0.17874	0.22300
30	40.813	0.01234	1.1534	21.560	77.124	98.68	21.653	85.742	107.40	0.04752	0.17509	0.22260
35	45.124	0.01242	1.0470	23.154	76.195	99.35	23.258	84.833	108.09	0.05076	0.17148	0.22224
40	49.776	0.01251	0.95205	24.757	75.253	100.01	24.873	83.907	108.78	0.05398	0.16791	0.22189
45	54.787	0.01261	0.86727	26.369	74.298	100.67	26.497	82.963	109.46	0.05720	0.16437	0.22157
50	60.175	0.01270	0.79136	27.990	73.329	101.32	28.131	82.000	110.13	0.06039	0.16087	0.22127
55	65.957	0.01280	0.72323	29.619	72.346	101.97	29.775	81.017	110.79	0.06358	0.15740	0.22098
60	72.152	0.01290	0.66195	31.258	71.347	102.61	31.431	80.013	111.44	0.06675	0.15396	0.22070
65	78.780	0.01301	0.60671	32.908	70.333	103.24	33.097	78.988	112.09	0.06991	0.15053	0.22044
70	85.858	0.01312	0.55681	34.567	69.301	103.87	34.776	77.939	112.71	0.07306	0.14713	0.22019
75	93.408	0.01323	0.51165	36.237	68.251	104.49	36.466	76.866	113.33	0.07620	0.14375	0.21995
80	101.45	0.01334	0.47069	37.919	67.181	105.10	38.169	75.767	113.94	0.07934	0.14038	0.21972
85	110.00	0.01347	0.43348	39.612	66.091	105.70	39.886	74.641	114.53	0.08246	0.13703	0.21949
90	119.08	0.01359	0.39959	41.317	64.979	106.30	41.617	73.485	115.10	0.08559	0.13368	0.21926
95	128.72	0.01372	0.36869	43.036	63.844	106.88	43.363	72.299	115.66	0.08870	0.13033	0.21904
100	138.93	0.01386	0.34045	44.768	62.683	107.45	45.124	71.080	116.20	0.09182	0.12699	0.21881
105	149.73	0.01400	0.31460	46.514	61.496	108.01	46.902	69.825	116.73	0.09493	0.12365	0.21858
110	161.16	0.01415	0.29090	48.276	60.279	108.56	48.698	68.533	117.23	0.09804	0.12029	0.21834
115	173.23	0.01430	0.26913	50.054	59.031	109.08	50.512	67.200	117.71	0.10116	0.11693	0.21809
120	185.96	0.01446	0.24909	51.849	57.749	109.60	52.346	65.823	118.17	0.10428	0.11354	0.21782
130	213.53	0.01482	0.21356	55.495	55.071	110.57	56.080	62.924	119.00	0.11054	0.10670	0.21724
140	244.06	0.01521	0.18315	59.226	52.216	111.44	59.913	59.801	119.71	0.11684	0.09971	0.21655
150	277.79	0.01567	0.15692	63.059	49.144	112.20	63.864	56.405	120.27	0.12321	0.09251	0.21572
160	314.94	0.01619	0.13410	67.014	45.799	112.81	67.958	52.671	120.63	0.12970	0.08499	0.21469
170	355.80	0.01681	0.11405	71.126	42.097	113.22	72.233	48.499	120.73	0.13634	0.07701	0.21335
180	400.66	0.01759	0.09618	75.448	37.899	113.35	76.752	43.726	120.48	0.14323	0.06835	0.21158
190	449.90	0.01860	0.07990	80.082	32.950	113.03	81.631	38.053	119.68	0.15055	0.05857	0.20911
200	504.00	0.02009	0.06441	85.267	26.651	111.92	87.140	30.785	117.93	0.15867	0.04666	0.20533
210	563.76	0.02309	0.04722	91.986	16.498	108.48	94.395	19.015	113.41	0.16922	0.02839	0.19761

Source: Tables A-11E through A-13E are generated using the Engineering Equation Solver (EES) software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. The routine used in calculations is the R134a, which is based on the fundamental equation of state developed by R. Tillner-Roth and H.D. Baehr, "An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 K to 455 K and Pressures up to 70 MPa," *J. Phys. Chem. Ref. Data*, Vol. 23, No. 5, 1994. The enthalpy and entropy values of saturated liquid are set to zero at -40°C (and -40°F).

TABLE A-12E

Saturated refrigerant-134a—Pressure table

Press., <i>P</i> psia	Sat. temp., <i>T</i> °F	Specific volume, ft ³ /lbm		Internal energy, Btu/lbm			Enthalpy, Btu/lbm			Entropy, Btu/lbm · R		
		Sat. liquid, <i>v_f</i>	Sat. vapor, <i>v_g</i>	Sat. liquid, <i>u_f</i>	Evap., <i>u_{fg}</i>	Sat. vapor, <i>u_g</i>	Sat. liquid, <i>h_f</i>	Evap., <i>h_{fg}</i>	Sat. vapor, <i>h_g</i>	Sat. liquid, <i>s_f</i>	Evap., <i>s_{fg}</i>	Sat. vapor, <i>s_g</i>
5	-53.09	0.01113	8.3785	-3.918	91.280	87.36	-3.907	99.022	95.11	-0.00945	0.24353	0.23408
10	-29.52	0.01144	4.3753	3.135	87.453	90.59	3.156	95.528	98.68	0.00742	0.22206	0.22948
15	-14.15	0.01165	2.9880	7.803	84.893	92.70	7.835	93.155	100.99	0.01808	0.20908	0.22715
20	-2.43	0.01182	2.2772	11.401	82.898	94.30	11.445	91.282	102.73	0.02605	0.19962	0.22567
25	7.17	0.01196	1.8429	14.377	81.231	95.61	14.432	89.701	104.13	0.03249	0.19213	0.22462
30	15.37	0.01209	1.5492	16.939	79.780	96.72	17.006	88.313	105.32	0.03793	0.18589	0.22383
35	22.57	0.01221	1.3369	19.205	78.485	97.69	19.284	87.064	106.35	0.04267	0.18053	0.22319
40	29.01	0.01232	1.1760	21.246	77.307	98.55	21.337	85.920	107.26	0.04688	0.17580	0.22268
45	34.86	0.01242	1.0497	23.110	76.221	99.33	23.214	84.858	108.07	0.05067	0.17158	0.22225
50	40.23	0.01252	0.94791	24.832	75.209	100.04	24.948	83.863	108.81	0.05413	0.16774	0.22188
55	45.20	0.01261	0.86400	26.435	74.258	100.69	26.564	82.924	109.49	0.05733	0.16423	0.22156
60	49.84	0.01270	0.79361	27.939	73.360	101.30	28.080	82.030	110.11	0.06029	0.16098	0.22127
65	54.20	0.01279	0.73370	29.357	72.505	101.86	29.510	81.176	110.69	0.06307	0.15796	0.22102
70	58.30	0.01287	0.68205	30.700	71.688	102.39	30.867	80.357	111.22	0.06567	0.15512	0.22080
75	62.19	0.01295	0.63706	31.979	70.905	102.88	32.159	79.567	111.73	0.06813	0.15245	0.22059
80	65.89	0.01303	0.59750	33.201	70.151	103.35	33.394	78.804	112.20	0.07047	0.14993	0.22040
85	69.41	0.01310	0.56244	34.371	69.424	103.79	34.577	78.064	112.64	0.07269	0.14753	0.22022
90	72.78	0.01318	0.53113	35.495	68.719	104.21	35.715	77.345	113.06	0.07481	0.14525	0.22006
95	76.02	0.01325	0.50301	36.578	68.035	104.61	36.811	76.645	113.46	0.07684	0.14307	0.21991
100	79.12	0.01332	0.47760	37.623	67.371	104.99	37.869	75.962	113.83	0.07879	0.14097	0.21976
110	85.00	0.01347	0.43347	39.612	66.091	105.70	39.886	74.641	114.53	0.08246	0.13703	0.21949
120	90.49	0.01360	0.39644	41.485	64.869	106.35	41.787	73.371	115.16	0.08589	0.13335	0.21924
130	95.64	0.01374	0.36491	43.258	63.696	106.95	43.589	72.144	115.73	0.08911	0.12990	0.21901
140	100.51	0.01387	0.33771	44.945	62.564	107.51	45.304	70.954	116.26	0.09214	0.12665	0.21879
150	105.12	0.01400	0.31401	46.556	61.467	108.02	46.945	69.795	116.74	0.09501	0.12357	0.21857
160	109.50	0.01413	0.29316	48.101	60.401	108.50	48.519	68.662	117.18	0.09774	0.12062	0.21836
170	113.69	0.01426	0.27466	49.586	59.362	108.95	50.035	67.553	117.59	0.10034	0.11781	0.21815
180	117.69	0.01439	0.25813	51.018	58.345	109.36	51.497	66.464	117.96	0.10284	0.11511	0.21795
190	121.53	0.01452	0.24327	52.402	57.349	109.75	52.912	65.392	118.30	0.10524	0.11250	0.21774
200	125.22	0.01464	0.22983	53.743	56.371	110.11	54.285	64.335	118.62	0.10754	0.10998	0.21753
220	132.21	0.01490	0.20645	56.310	54.458	110.77	56.917	62.256	119.17	0.11192	0.10517	0.21710
240	138.73	0.01516	0.18677	58.746	52.591	111.34	59.419	60.213	119.63	0.11603	0.10061	0.21665
260	144.85	0.01543	0.16996	61.071	50.757	111.83	61.813	58.192	120.00	0.11992	0.09625	0.21617
280	150.62	0.01570	0.15541	63.301	48.945	112.25	64.115	56.184	120.30	0.12362	0.09205	0.21567
300	156.09	0.01598	0.14266	65.452	47.143	112.60	66.339	54.176	120.52	0.12715	0.08797	0.21512
350	168.64	0.01672	0.11664	70.554	42.627	113.18	71.638	49.099	120.74	0.13542	0.07814	0.21356
400	179.86	0.01757	0.09642	75.385	37.963	113.35	76.686	43.798	120.48	0.14314	0.06848	0.21161
450	190.02	0.01860	0.07987	80.092	32.939	113.03	81.641	38.041	119.68	0.15056	0.05854	0.20911
500	199.29	0.01995	0.06551	84.871	27.168	112.04	86.718	31.382	118.10	0.15805	0.04762	0.20566

956 | Thermodynamics

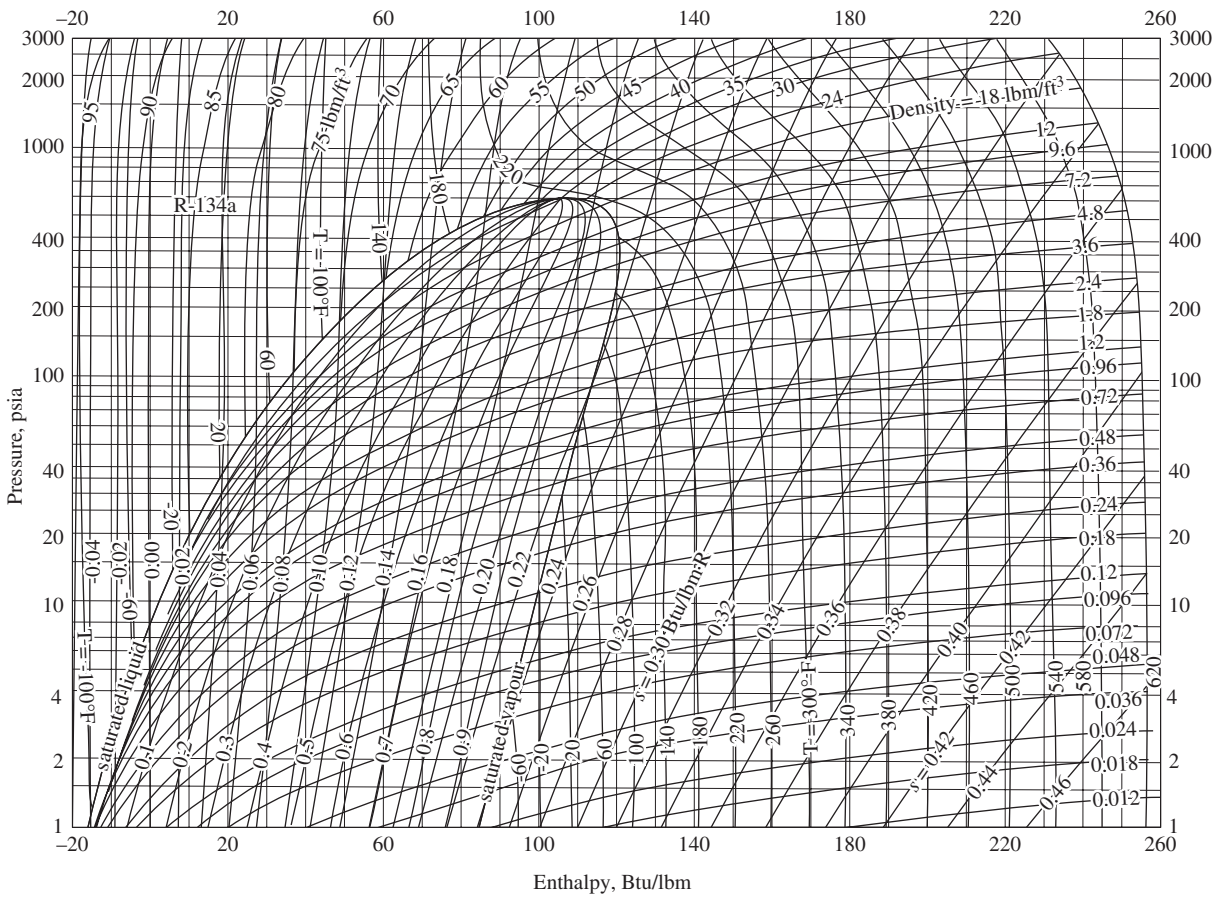


FIGURE A-14E

P-h diagram for refrigerant-134a.

Reprinted by permission of American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.

SAFETY DATA SHEET

Refrigerant Gas R134a

Version 2

Revision Date: 20.02.12



Flash Point:	Non-flammable
Ignition Temperature:	n/a Non flammable
Upper explosive limit/upper flammability limit:	n/a Non flammable
Vapour pressure:	4.909 Bar (4909 hPa) at 21°C
Liquid Density:	1200 kg/m ³ at 25°C
Vapour Density:	5.368 kg/m ³ at 21°C
Water solubility:	1.5 g/l
Vapour Density (Air = 1)	3.5

SECTION 10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1. Reactivity

Reactivity: Stable under recommended storage and transport conditions.

10.2. Chemical stability

Chemical stability: Stable under normal conditions.

10.3. Possibility of hazardous reactions

Hazardous reactions: Hazardous reactions will not occur under recommended storage and transport conditions. May react with aluminium.

10.4. Conditions to avoid

Conditions to avoid: Heat, hot surfaces, flames.

10.5. Incompatible material

Materials to avoid: Alkali metals, alkaline earth metals, powdered metals, powdered metal salts.

10.6. Hazardous decomposition products

Hazardous decomposition products: Thermal decomposition yields toxic products which can be corrosive in the presence of moisture.

SECTION 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on Toxicological effects

Acute Oral Toxicity: 1,1,2-Tetrafluoroethane
Not Applicable.

Acute inhalation toxicity: 1,1,1,2-Tetrafluoroethane
LC₅₀/rat: 567000 ppm
/dog: Cardiac sensitization.

Acute Dermal toxicity: 1,1,1,2-Tetrafluoroethane
Not Applicable

Skin Irritation: 1,1,1,2-Tetrafluoroethane
Rabbit
Classification: Not classified as irritant.
Result: Slight irritation.

Eye Irritation: 1,1,1,2-Tetrafluoroethane
Rabbit
Classification: Not classified as an irritant.
Result: Slight irritation
Not expected to cause eye irritation based on expert review of the properties of the substance.