

BAB II

LANDASAN TEORI

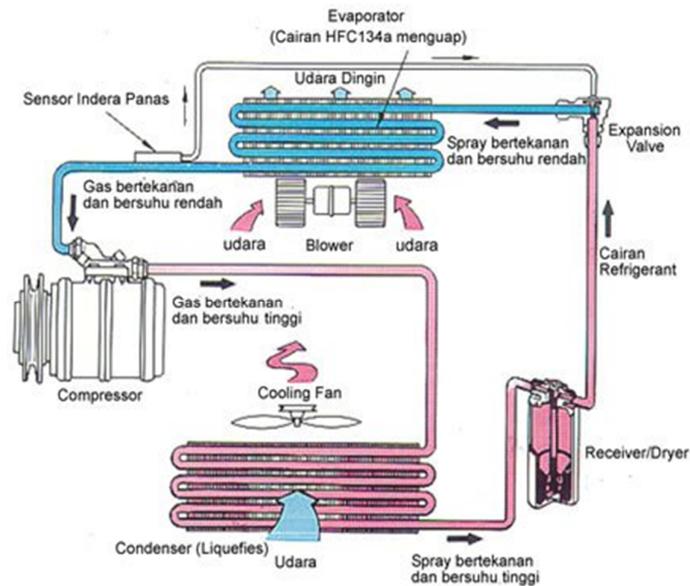
2.1. Mesin Pendingin

Mesin pendingin atau refrigerasi pada dasarnya merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang bertemperatur lebih rendah sehingga didapatkan tercapainya suatu temperatur dan dipertahankannya temperatur tersebut dibawah temperatur lingkungan. Penyerapan serta pemindahan kalor ini menggunakan kemampuan *heat transfer* dari suatu medium yang disebut refrigeran.

Prinsip dasar kerja dari alat pendingin udara ruangan ini dapat didefinisikan sebagai merelokasi atau memindahkan panas. Jadi prinsip kerja sebuah AC ialah mendinginkan udara didalam suatu ruangan dengan cara memindahkan suhu panas dari ruangan in door ke udara luar ruangan out door.

Untuk mempertahankan temperatur pada suatu ruangan, penyerapan kalor oleh suatu sistem refrigerasi harus dilakukan secara terus menerus atau continue dan kemudian dilepaskan keluar sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan melalui beberapa proses yang disebut dengan siklus refrigerasi. Karena proses penyerapan dan pemindahan kalor harus dilakukan terus menerus maka siklus ini haruslah tertutup dan dapat beroperasi secara *continue*.

2.2. Siklus dan Sistem Mesin Pendingin



Gambar 2.1 Siklus kerja mesin pendingin

Kompresor yang ada pada sistem pendingin dipergunakan sebagai alat untuk memampatkan fluida kerja (refrigeran), jadi refrigeran yang masuk kedalam kompresor dialirkan ke kondenser yang kemudian dimampatkan di kondenser. Dibagian kondenser ini refrigeran yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigeran fase uap menjadi refrigeran fase cair, maka refrigeran mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung didalam refrigeran. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondenser adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan.

Pada kondensor tekanan refrigeran yang berada dalam pipa-pipa kondenser relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigeran yang berada pada pipa-pipa evaporator. Setelah refrigeran lewat kondenser dan melepaskan kalor penguapan dari fase uap ke fase cair maka refrigeran dilewatkan

melalui katup ekspansi, pada katup ekspansi ini refrigeran tekanannya diturunkan sehingga refrigeran berubah kondisi dari fase cair ke fase uap yang kemudian dialirkan ke evaporator, didalam evaporator ini refrigeran akan berubah keadaannya dari fase cair ke fase uap, perubahan fase ini disebabkan karena tekanan refrigeran dibuat sedemikian rupa sehingga refrigeran setelah melewati katup ekspansi dan melalui evaporator tekanannya menjadi sangat turun.

Hal ini secara praktis dapat dilakukan dengan jalan diameter pipa yang ada di evaporator relatif lebih besar jika dibandingkan dengan diameter pipa yang ada pada kondenser.

Dengan adanya perubahan kondisi refrigeran dari fase cair ke fase uap maka untuk merubahnya dari fase cair ke refrigeran fase uap maka proses ini membutuhkan energi yaitu energi penguapan., dalam hal ini energi yang dipergunakan adalah energi yang berada didalam substansi yang akan didinginkan.

Dengan diambilnya energi yang diambil dari dalam sistem yang akan didinginkan menjadi turun, dengan turunnya entalpi maka temperatur dari sistem yang akan didinginkan akan menjadi turun. Proses ini akan terus-menerus sampai terjadi pendinginan yang sesuai dengan keinginan.

Komponen-komponen utama mesin pendingin adalah:

1. Evaporator

Evaporator adalah jenis dari penukar kalor (*heat exchanger*) sebagai media pemindahan kalor melalui permukaan evaporator agar refrigeran cair menguap dan menyerap panas dari suatu ruangan. Refrigeran yang berada dalam fase campuran cair jenuh dan uap menyerap kalor sehingga berubah menjadi uap.

Heat transfer terjadi karena temperatur refrigeran yang lebih rendah daripada temperatur disekitar evaporator.

2. Kompresor

Kompresor merupakan salah satu komponen penting dalam mesin pendingin. Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dan temperatur refrigeran dari tekanan dan temperatur rendah menjadi tekanan dan temperatur tinggi, refrigeran dalam fase uap dikompresikan pada alat ini. Dengan adanya kompresi ini, maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (*discharge*) dengan sisi masuk (*suction*) yang menyebabkan refrigeran dapat mengalir dalam sistem mesin pendingin. Tingkat suhu yang harus dicapai tergantung pada jenis refrigeran dan suhu lingkungannya.

3. Kondenser

Kondenser adalah salah satu alat penukar kalor dimana refrigeran melepas atau membuang kalor ke media pendingin seperti udara atau air. Refrigeran didalam kondenser berada pada keadaan uap super panas melepas kalor sehingga berubah fase menjadi cair. Untuk membuang kalor yang terkandung dalam refrigeran yang berada didalam kondenser diperlukan *cooling medium*. Sebuah kondenser harus mampu membuang kalor tersebut ke cooling medium yang digunakan oleh kondensernya. Sesuai dengan jenis *cooling medium* yang digunakan maka kondenser dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu:

- a. *air cooled condenser*, menggunakan media udara sebagai pendinginnya.
- b. *water cooled condenser*, menggunakan media air sebagai pendinginnya.
- c. *evaporative condenser*, menggunakan media campuran air dan udara sebagai pendinginnya.

4. Ekspansi

Refrigeran pada fase cair dari kondenser yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh alat ekspansi. Refrigeran berbentuk cair diekspansi yang menyebabkan fasenya berubah menjadi campuran cair jenuh dan uap (*a saturated liquid-vapor mixture*) dan tekanannya turun. Fungsi katup ekspansi adalah:

- a. Untuk menakar refrigeran cair dari saluran liquid line ke evaporator pada jumlah yang tepat sesuai kapasitas evaporator.
- b. Untuk menjaga perbedaan tekanan antara tekanan kondensasi dan tekanan evaporasi tetap konstan, agar refrigeran cair yang diuapkan di evaporator selalu berada pada tekanan rendah sesuai yang diinginkan dan sekaligus menjadi tekanan tinggi di sisi kondenser.

Ada 6 (enam) macam alat ekspansi, yaitu:

1. *Manual expansion valve*

Beban pendinginan yang diinginkan diatur melalui katup ekspansi yang diatur secara manual.

2. *Capillary Tubes (Pipa kapiler)*

Pipa kapiler adalah pipa panjang dengan diameter kecil dan konstan, berfungsi untuk menurunkan tekanan.

3. *Automatic Expansion Valve (AEV)*

Disebut juga katup ekspansi tekanan konstan, dimana katup digerakkan oleh tekanan didalam evaporator, supaya menjaga tekanan didalam evaporator konstan.

4. *Thermostatic Expansion Valve (TEV)*

Jumlah aliran refrigeran diatur secara otomatis yang menyesuaikan dengan beban pendinginannya. Dengan sensor temperatur yang dipasang setelah evaporator maka jumlah aliran refrigeran dapat diatur secara otomatis.

5. *Float Type Expansion Valve*

a) *High side float valve*

Pelampung yang diletakkan pada bagian sisi tekanan tinggi dari sistem, yaitu pada saluran cairan (*liquid line*).

b) *Low side float valve*

Pelampung diletakkan pada bagian sisi tekanan rendah dari sistem, yaitu didalam tabung evaporator.

6. *Electronic Expansion Valve*

Jumlah aliran refrigeran diatur secara otomatis menyesuaikan beban pendinginannya dengan menggunakan arus listrik dan sensor yang dipasang setelah evaporator.

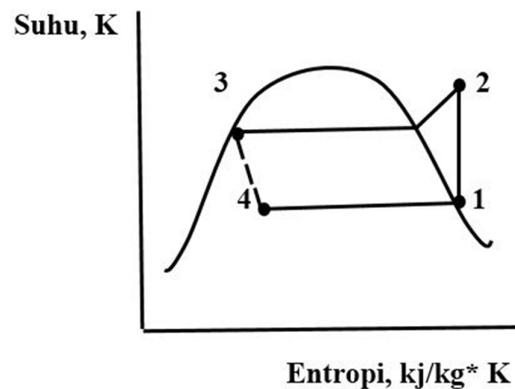
2.3. Siklus Kompresi Uap

Siklus (daur) kompresi uap merupakan daur yang terbanyak digunakan dalam refrigerasi. Pada daur ini uap ditekan kemudian diembunkan menjadi cairan, lalu tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali.

2.3.1. Siklus Kompresi Uap Ideal

Siklus kompresi uap ideal dapat dilihat pada gambar 2.2. Proses-proses yang membentuk siklus tersebut adalah:

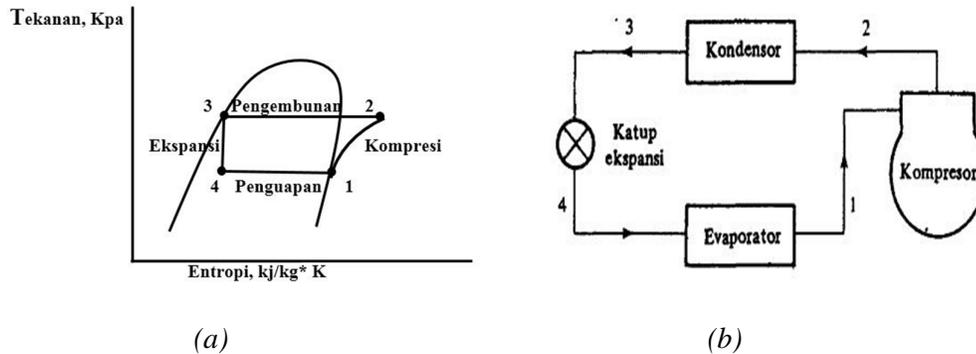
- 1-2. Kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- 2-3. Pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (desuperheating) dan pengembunan refrigeran.
- 3-4. Ekspansi tidak reversibel pada entalpi konstan, dan cairan jenuh menuju tekanan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



Gambar 2.2 Siklus kompresi uap ideal

Untuk mengetahui prestasi siklus kompresi uap ideal terlebih dahulu harus diketahui beberapa besaran seperti: kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi, coefficient of performance (COP). Istilah prestasi di dalam siklus refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi. Yang didefinisikan sebagai perbandingan antara refrigerasi yang bermanfaat terhadap

kerja bersih, yang identik dengan jumlah hasil yang diinginkan terhadap jumlah pengeluaran.



Gambar 2.3 (a) Siklus kompresi uap ideal dalam diagram tekanan-entalpi;
(b) Diagram aliran

Kerja kompresi (kj/kg) merupakan perubahan entalpi pada proses 1-2 atau $h_1 - h_2$. Dengan perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, karena dalam kompresi adiabatik perpindahan kalor q nilainya nol, kerja w sama dengan $h_1 - h_2$. Perbedaan entalpi merupakan besaran negatif, yang menunjukkan bahwa kerja diberikan pada sistem. Walaupun kompresor tersebut dari jenis torak, dimana lairannya terputus-putus, tidak mantap, tetapi proses 1-2 masih menyatakan kerja kompresor. Pada jarak yang tak jauh dari kompresor aliran menjadi mulus dan mendekati mantap. Pengetahuan tentang kerja kompresi memang sangat diperlukan karena merupakan bagian dari operasi sistem yang terbesar. Pelepasan kalor dalam kj/kg adalah perpindahan kalor dari refrigeran pada proses 2-3, yaitu $h_3 - h_2$. Pengetahuan ini juga berasal dari persamaan aliran energi yang mantap, dimana energi kinetik, energi potensial dan kerja dilakukan. Harga $h_3 - h_2$ negatif menunjukkan bahwa kalor dikeluarkan dari refrigeran. Nilai pelepasan kalor

diperlukan untuk merancang kondensor, dan untuk menghitung besarnya aliran pendinginan kondensor.

Dampak refrigerasi dalam kJ/kg adalah kalor yang dipindahkan pada proses 4-1, atau $h_1 - h_4$. Besarnya harga bagian ini sangat penting diketahui karena proses ini merupakan tujuan utama dari seluruh sistem.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Efek refrigerasi (q_e)

Efek refrigerasi merupakan besarnya kalor yang dipindahkan:

$$q_e = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

q_e = efek refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = entalpi awal kompresi (kJ/kg)

h_4 = entalpi akhir ekspansi (kJ/kg)

2. Kerja kompresi (W_k)

Kerja kompresi merupakan perubahan enthalpy. Hubungan ini diturunkan dari persamaan energi umum untuk analisa volume atur (control volume):

$$W_k = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

W_k = kerja kompresor (kJ/kg)

h_1 = entalpi awal kompresi (kJ/kg)

h_2 = entalpi akhir kompresi (kJ/kg)

3. Kalor yang dilepas refrigeran di dalam kondensor (q_{kond})

$$q_{\text{kond}} = h_2 - h_3 \text{ (kj/kg)} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

q_{kond} = kalor yang dilepas kan di dalam kondensor (kj/kg)

h_2 = entalpi masuk kondensor (kj/kg)

h_3 = entalpi keluar kondensor (kj/kg)

4. Daya yang masuk ke kompresor (\dot{W}_{in})

Konsumsi energi adalah konsumsi energi yang dibutuhkan selama pengoperasian sistem berlangsung.

$$\dot{W}_{in} = V \cdot I \cdot \cos\phi \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

\dot{W}_{in} = Daya kompresor (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat arus kompresor (Ampere)

$\cos \phi$ = 0,8 (diperoleh dari pengalaman lapangan)

Sehingga konsumsi keseluruhan untuk metode tanpa CES adalah kerja kompresor dijumlahkan dengan kerja pompa dikalikan dengan waktu pengoprasian :

$$\text{Konsumsi energi} = (\dot{W}_{\text{com}} + \dot{W}_{\text{pompa}}) \cdot t \dots\dots\dots (5)$$

Dan konsumsi keseluruhan untuk metode CES (*Cooled Energi Stroge*) adalah kerja kompresor dijumlahkan dengan kerja pompa dikalikan dengan setengah waktu pengoprasian karena sistem berjalan secara bertahap :

$$\text{Konsumsi energi} = \dot{W}_{\text{com}} \cdot t_{(\text{com})} + \dot{W}_{\text{pompa}} \cdot t_{(\text{pompa})} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

t = waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur yang diinginkan (detik).

5. Laju aliran massa refrigeran (G)

$$G = \frac{\dot{W}_{in}}{W_k} \quad (kg/s) \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

\dot{W}_{in} = Daya masuk kompresor

W_k = Kerja kompresi

6. 1 Ton refrigerasi = 12000 Btu/jam = 3.51 kW (Wiranto arismunandar dan Heizo saito 1986). Maka kapasitas pendinginan per 1 Ton refrigerasi:

$$Q_{Tor} = \left(\frac{Q_e}{3.51 \text{ kW/Tor}} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

Q_e = kapasitas pendinginan (kW)

7. Coefisient of performance (COP)

COP adalah dampak refrigerasi dibagi kerja kompresi, yaitu:

$$COP = \frac{q_e}{W_k} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad \dots\dots\dots (9)$$

2.3.2. Siklus Kompresi Uap Nyata (Aktual)

Siklus ini mengalami pengurangan efesiensi dibanding dengan siklus standar (ideal). Perbedaan penting antara siklus nyata dengan siklus standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondensor dan evaporator, dalam pembawahdinginan cairan yang meninggalkan kondensor, dan dalam pemanasan lanjut uap yang meninggalkan evaporator. Siklus standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigerant dengan

dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibanding dengan siklus standar.



Gambar 2.4 Siklus kompresi uap ideal dibandingkan dengan siklus uap Aktual

2.4. Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigeran merupakan komponen terpenting siklus refrigerasi yang menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. 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 yang lain, biasanya melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi.

Sifat yang dipertimbangkan dalam memilih refrigeran, adalah: *sifat kimia, sifat fisik dan sifat termodinamik*. Berdasarkan sifat-sifat kimianya refrigeran yang baik : tidak beracun, tidak bereaksi dengan komponen refrigerasi, dan tidak mudah terbakar, serta tidak berpotensi menimbulkan pemanasan global GWP rendah (*Global Warming Potential*) dan tidak merusak lapisan ozon ODP rendah (*Ozone Depleting Potential*). Hal ini diperlukan agar kelestarian lingkungan

terjaga, karena lapisan ozon di stratosfir berfungsi melindungi bumi dari radiasi sinar ultra violet yang berbahaya (antara lain dapat menimbulkan kanker kulit, dapat membunuh phytoplankton yang merupakan bagian dari rantai kehidupan laut). Berdasarkan sifat fisik dan termodinamikanya refrigeran yang baik mampu menghasilkan kapasitas refrigerasi per satuan daya kompresi yang tinggi.

Syarat karakteristik refrigeran yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Tekanan Penguapan

Karakteristik refrigeran sebaiknya menguap pada tekanan lebih tinggi dari tekanan atmosfer, sehingga dapat dicegah terjadinya kebocoran udara luar masuk pada sistem refrigeran.

2. Tekanan Pengembunan

Refrigeran sebaiknya memiliki tekanan pengembunan rendah karena perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan.

3. Kalor Laten Penguapan

Refrigeran yang memiliki kalor laten penguapan lebih tinggi akan lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigeran yang sama dapat menghasilkan efek refrigerasi yang lebih besar.

4. Volume spesifik

Volume spesifik gas refrigeran yang kecil akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil sehingga untuk kapasitas refrigeran yang sama ukuran unit refrigerasi yang digunakan menjadi semakin kecil.

5. Konduktifitas Thermal

Refrigeran yang baik memiliki konduktivitas yang besar sehingga bisa lebih efisien dalam pemakaian kondensor dan evaporator.

6. Viskositas

Viskositas refrigeran dalam fase gas maupun cair sebaiknya rendah agar tahanan aliran refrigerasi dalam pipa menjadi sekecil mungkin.

7. Susunan Kimia

Refrigeran yang memiliki susunan kimia yang stabil, tidak terurai setiap kali diembunkan dan diuapkan.

8. Tidak mudah terbakar atau meledak bila bercampur dengan udara.

9. Tidak berbau merangsang dan tidak beracun.

10. Tidak menyebabkan korosi pada mesin dan mudah terdeteksi bila terjadi kebocoran.

11. Mempunyai titik beku rendah.

12. Perbedaan antara tekanan penguapan dan tekanan pengembunan harus sekecil mungkin.

13. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.

Titik didih refrigeran merupakan indikator yang menyatakan apakah refrigeran dapat menguap pada temperatur rendah yang diinginkan, tetapi pada tekanan yang tidak terlalu rendah. Dari segi termodinamika R12, R22, R500, R502, ammonia dapat dipakai untuk daerah suhu yang luas, dari keperluan pendinginan udara sampai ke refrigerasi. Sifat termodinamika dari beberapa refrigeran disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat termodinamika beberapa refrigeran

Parameter	R-12	R-22	R-114	R-500	R-502	R-717	R-718
Simbol kimia	CCl ₂ F ₂	CHClF ₂	CClF ₂	-	-	NH ₃	H ₂ O
Berat molekul	120.9	86.5	170.9	99.29	112	17	18
Titik didih (0C, 1 atm)	-29.8	-40.8	3.6	-33.3	-45.6	-33.3	100
Titik beku (0C, 1 atm)	-157.8	-160.0				-77.8	
C _p /C _v (g)	1.13	1.18				1.31	1.40
Suhu kritik (0C)	112.2	96.1				132.8	
Tekanan kritik (kPa)	4115.7	4936.1				1423.4	
Panas laten penguapan (kJ/kg)	161.7	217.7				1314.2	

Refrigeran yang digunakan dalam sistem kompresi uap dikelompokkan menjadi refrigeran primer. Sedangkan jika fluida digunakan untuk memindahkan panas, maka fluida ini disebut sebagai refrigeran sekunder. Penggunaan refrigeran saat ini merupakan isu penting menyangkut pemanasan global.

2.4.1. Refrigeran Primer

Refrigeran primer adalah refrigeran yang digunakan pada sistem kompresi uap. Refrigeran yang digunakan pada sistem pendinginan kompresi uap harus mempunyai mempunyai sifat-sifat kimia, fisika, termodinamika tertentu yang sesuai dengan kondisi penggunaan.

Beberapa jenis refrigeran sebagai berikut:

a. Golongan Halokarbon

Refrigeran golongan halokarbon adalah jenis refrigeran yang umum digunakan. Refrigeran jenis ini meliputi refrigeran yang terdiri dari satu atau lebih

dari tiga jenis ion golongan halogen (klorin, fluorin, dan bromin). Beberapa jenis refrigeran halokarbon yang umum digunakan disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Jenis Refrigeran Halokarbon

Nomor refrigeran	Nama kimia	Rumus kimia
11	Trikloromonofluorometan	CCl ₃ F
12	Diklorodifluorometan	CCl ₂ F ₂
13	Monoklorotrifluorometan	CClF ₃
22	Monoklorodifluorometan	CHClF ₂
40	Metil Klorida	CH ₃ Cl
113	Triklorotrifluoroetan	CCl ₂ FCClF ₂
115	Diklorotetrafluoroetan	CClF ₂ CClF ₂
134	Tetrafluoroethane	CF ₃ CH ₂ F

Sistem penomoran golongan halokarbon adalah sebagai berikut: nomor pertama dari sebelah kanan menunjukkan jumlah atom fluorin pada senyawa, nomor kedua dari kanan menunjukkan satu nilai lebih banyak dari jumlah atau, hidrogen pada senyawa dan tiga digit dari kanan menunjukkan satu nilai lebih sedikit dari jumlah atom karbon.

b. Senyawa Inorganik.

Awalnya, saat pendinginan hanya digunakan untuk tujuan khusus, hanya amoniak dan karbon dioksida yang dapat digunakan sebagai refrigeran. Saat pendinginan mulai dikenalkan pada masyarakat, sulfur dioksida, metil klorida dan metilen klorida digunakan karena sesuai dengan kompresor sentrifugal. Metilrn klorida dan karbon dioksida, karena faktor keamanannya digunakan untuk sistem pengkondisian udara (AC). Semua refrigeran ini, selain amonia, tidak digunakan

lagi, kecuali pada sistem yang lama. Amonia mempunyai sifat termal yang baik, dan masih digunakan pada lapangan es skating.

c. Senyawa Hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai refrigeran, umumnya digunakan pada industri minyak bumi, seperti metana, etana, propana, etilen, dan isobutilen. Kesemuanya *flammable* dan eksplosif. Digolongkan sedikit beracun karena mengandung efek bius pada tingkat tertentu. Etana, metana, dan etilen digunakan pada pendinginan suhu ekstra rendah.

d. Azeotrop

Senyawa azeotrop adalah suatu campuran yang tak dapat dipisahkan menjadi senyawa penyusunnya dengan cara distilasi. Senyawa ini menguap dan mengembun sebagai satu zat, tidak seperti campuran lainnya. Azeotrop yang paling dikenal adalah R502 yang merupakan campuran 48.8% R22 dan 51.2% R115. Azeotrop lainnya adalah R-500, campuran dari 73.8% R-12 dan 26.2% R-152a.

2.4.2. Refrigeran Sekunder

Seperti dijelaskan sebelumnya, refrigeran sekunder merupakan fluida yang membawa panas dari benda yang didinginkan ke evaporator suatu sistem pendinginan. Suhu refrigeran sekunder akan berubah saat refrigeran mengambil panas namun tidak berubah fasa. Air dapat digunakan sebagai refrigeran sekunder, namun hanya untuk kondisi operasi di atas titik beku air. Refrigeran yang umum digunakan adalah campuran garam dan air (brine) atau anti beku yang mempunyai titik beku di bawah 0°C. Beberapa anti beku yang umum digunakan adalah

campuran air dengan etilen glikol, propiln glikol atau kalsium klorida. Etilen glikol dapat digunakan dalam industri makanan karena tidak beracun.

2.4.3. Refrigeran yang digunakan di Indonesia

Berdasarkan pembahasan di atas, pada dasarnya, refrigeran dapat dikelompokkan menjadi kelompok refrigeran sintetis dan refrigeran alami. Refrigeran sintetis tidak terdapat di alam dan dibuat oleh manusia dari unsur-unsur kimia. Sedangkan refrigeran alami adalah refrigeran yang dapat ditemui di alam, namun demikian masih diperlukan pabrik untuk penambangan dan pemurniannya.

Refrigeran yang dikenal dengan sebutan CFC, HCFC, dan HFC adalah contoh-contoh refrigeran sintetis. Sedangkan hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), udara dan ammonia (NH_3) adalah contoh refrigeran alami yang sering digunakan.

CFC adalah singkatan dari chlorofluorocarbon. Seperti namanya refrigeran ini terdiri dari unsur khlor (Cl), fluor (F) dan karbon (C).

Contoh dari refrigeran ini adalah R-11 (CFC-11), R-12 (CFC-12).

Karena tidak mengandung hydrogen CFC adalah senyawa yang sangat stabil dan tidak mudah bereaksi dengan zat lain meskipun terlepas ke atmosfer. Karena mengandung khlor, CFC merusak ozon di atmosfer (stratosfer) jauh di atas muka bumi. Zat ini mempunyai nilai potensi merusak ozon (Ozone Depletion Potential = ODP) yang tinggi (ODP =1). Lapisan ozon melindungi makhluk hidup dari pancaran sinar ultra violet intensitas tinggi.

HCFC merupakan singkatan dari hydrochloro-fluorocarbon. Meskipun mengandung khlor (Cl), yang merusak lapisan ozon, zat ini juga mengandung

hidrogen (H), yang membuat zat ini menjadi kurang stabil jika berada di atmosfer. Refrigeran ini sebagian besar akan terurai pada lapisan atmosfer bawah dan hanya sedikit yang mencapai lapisan ozon. Oleh sebab itu HCFC mempunyai ODP yang rendah. Contoh refrigeran ini adalah R-22 (HCFC-22).

Refrigeran HFC (hydrofluorocarbon) tidak mempunyai unsur khlor. Oleh sebab itu refrigeran ini tidak merusak lapisan ozon dan nilai ODPnya sama dengan nol. Contoh dari refrigeran ini adalah R-134a (HFC-14a), R-152a (HFC-152a), R-123 (HFC-123).

Refrigeran alami (HC, CO₂, NH₃) tidak mengandung khlor oleh sebab itu, refrigeran ini tidak merusak lapisan ozon, ODP = 0.

Refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini dan yang akan di analisa adalah refrigeran R-22 dan R-134a. Untuk refrigeran R-22 mempunyai sifat utama sebagai berikut:

- Titik didih pada tekanan atmosfer -40, 8°C.
- Tekanan penguapan pada -15°C ada 28,3 psig.
- Tekanan kondensasi pada 30°C adalah 158,2 psig.
- Kalor laten uap 100, 6 Btu/lb pada titik didih.
- Mempunyai kekuatan dielektrik yang besar.
- Tidak korosif terhadap logam seperti besi, tembaga, aluminium, kuningan, baja dan lain-lain.
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas pada tekanan rendah terutama di evaporator.

- Mempunyai kemampuan menyerap air sebesar tiga kali lebih besar dari R-12.
- Tidak beracun, tidak berbau dan mudah dideteksi.

Sedangkan untuk R-134a mempunyai sifat utama sebagai berikut:

- Titik didih pada tekanan 1 atmosfer - 26,1°C.
- Suhu kritis 101°C.
- Tekanan kritis 4060 Kpa.
- Tekanan penguapan pada 25°C adalah 668 Kpa.
- Tidak korosif.
- Tidak berbau.
- Tidak dapat terbakar dan tak dapat meledak.
- Struktur kimianya stabil.
- Tidak beracun.
- Mempunyai kekuatan dielektrik yang besar.
- Dapat bercampur dengan minyak pelumas.
- Tidak dapat merusak ozon.

Tabel 2.3. Perbandingan karakteristik R-22 dan R-134a.

No	Properties	R-22	R-134a
1	Nama kimia yang terkandung	Chlorodiflouromethane	Tetraflouroethane
2	Rumus Kimia	CHCLF ₂	CF ₃ CH ₂ F
3	Berat Molekul	86.48	102.3
4	Titik didih pada 1 atm	-40.76	-96.6
5	Titik beku	-160	-96.6
6	Temp.Kritis °C	96	101
7	Tekanan Kritis	4974	4067
8	Volume Kritis L/kg	1.904	1.81
9	Panas Laten dari Uap kj/kg.mol	20.207	22.16
10	Perbandingan Tekanan	4.03	4.81
11	Tekanan Mutlak 0 °C.Mpa	0.498	0.292
12	Density at 0°C.kg/m ³ (liquid)	1281.8	1293.7
13	Volume at 0°C.m ³ /kg (Vapour)	0.047	0.069