

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Refrigerasi

Refrigerasi adalah suatu proses penyerapan panas dari suatu zat atau produk sehingga temperaturnya berada di bawah temperature lingkungan. Mesin refrigerasi atau disebut juga mesin pendingin adalah mesin yang dapat menimbulkan efek refrigerasi tersebut, sedangkan refrigerant adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam proses penyerapan panas. Refrigerasi merupakan suatu media pendingin yang dapat berfungsi untuk menyerap kalor dari lingkungan atau untuk melepaskan kalor ke lingkungan. Sistem pendingin didefinisikan sebagai proses menetraksi panas dari sumber panas dengan temperatur yang lebih rendah atau media pendingin dan mentransfernya ke temperatur yang lebih tinggi (Wang 2000:9.2).

Refrigerant 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 (mengembun). Refrigerant merupakan media utama yang digunakan untuk menyerap dan mentransmisikan panas pada sebuah sistem refrigerasi. Refrigerant menyerap panas pada temperature dan tekanan yang lebih rendah dan melepas panas pada temperatur dan tekanan yang lebih tinggi (Wang, 2000:9.3).

Standar keamanan untuk refrigerant berdasarkan standar ANSI/ASHRE 34-1997, adalah sebagai berikut :

1. A1 kandungan racun rendah dan tidak terbakar
2. A2 kandungan racun rendah dan tingkat keterbakaran yang rendah

3. A3 kandungan racun rendah dan tingkat keterbakaran yang tinggi
4. B1 kandungan racun tinggi dan tidak terbakar
5. B2 kandungan racun tinggi dan tingkat keterbakaran yang rendah
6. B3 kandungan racun tinggi dan tingkat keterbakaran yang tinggi

Berdasarkan MSDS (Material Safety Data Sheet) FE-36 [HFC-236fa], klasifikasi tingkat keamanannya masuk dalam rating A1. Syarat refrigerant yang baik memiliki sifat-sifat antara lain (Berban, 2013:57) :

1. Tidak beracun, tidak berwarna, tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak dapat terbakar atau meledak sendiri, juga bila tercampur dengan udara, minyak pelumas dsb.
3. Tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai system refrigerasi dan pengkondisian udara.
4. Dapat bercampur dengan minyak kompresor, tetapi tidak merusak minyak tersebut.
5. Struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan dan diuapkan.
6. Titik didih rendah, harus lebih rendah dari suhu evaporator yang direncanakan.
7. Tekanan kondensasi rendah.
8. Tekanan penguapan >1 atm. Jika terjadi kebocoran, udara luar tidak dapat masuk ke dalam system.
9. Mempunyai kalor laten uap yang besar, agar jumlah kalor yang diambil evaporator dari ruangan jadi besar. Kalor laten merupakan jumlah energi panas yang diperlukan untuk merubah wujud atau fasa zat.

10. Apabila terjadi kebocoran mudah diketahui dengan alat-alat yang sederhana.

Sifat-sifat fisik termodinamika refrigerant yang digunakan dalam system refrigerasi perlu diperhatikan agar system dapat bekerja dengan aman dan ekonomis, adapun sifat refrigerant yang baik adalah :

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi, untuk menghindari kemungkinan terjadi vakum pada evaporator dan turunnya efisiensi volumetric karena naiknya perbandingan kompresi.
2. Tekanan pengembunan yang rendah sehingga perbandingan kompresinya rendah dan penurunan prestasi kompresor dapat dihindari.
3. Kalor laten penguapan harus tinggi agar panas yang di serap oleh evaporator lebih besar jumlahnya, sehingga untuk kapasitas yang sama jumlah refrigerant yang dibutuhkan semakin sedikit.
4. Konduktifitas Thermal yang tinggi untuk menentukan karakteristik perpindahan panas.
5. Viskositas yang rendah dalam fase cair atau gas, dengan turunnya tahanan aliran refrigerant dalam pipa kerugian tekanannya akan berkurang.
6. Konstanta dielektri yang kecil, tahanan listrik yang besar sehingga tidak menyebabkan korosi pada material isolasi listrik.
7. Refrigerant hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang di gunakan sehingga tidak menyebabkan korosi.
8. Refrigerant tidak boleh beracun atau bau.
9. Refrigerant tidak boleh terbakar atau meledak.

10. Dapat tercampur dengan minyak pelumas tetapi tidak merusak dan mempengaruhinya.
11. Harganya murah dan dapat terdeteksi jika terjadi kebocoran.
12. Volume spesifik (terutama dalam fasa gas) yang cukup kecil.

Refrigerant dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil (berat jenis yang besar) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian untuk kapasitas refrigerant yang sama ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil. Namun, untuk unit pendingin air sentrifugal yang kecil lebih dikehendaki refrigerant dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah gas yang bersirkulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor sentrifugal.

R134a sebagai salah satu alternative memiliki beberapa property yang baik, tidak beracun, tidak mudah terbakar dan relative stabil. R134a juga memiliki kelemahan diantaranya, tidak bias di jadikan pengganti R-12 secara langsung tanpa melakukan modifikasi system refrigerasi (drop in subtitude), relative mahal dan masih memiliki potensi sebagai zat yang dapat menyebabkan efek pemanasan global karena memiliki Global Warning Potensial (GWP) yang signifikan. Selain itu R134a sangat bergantung kepada pelumas sinetik yang sering menyebabkan masalah dengan sifatnya yang higroskopis.

2.2 Definisi Mesin Pendingin

Mesin pendingin atau refrigerator bekerja untuk memindahkan panas dari suatu ruangan yang memiliki temperature rendah ke suatu tempat yang memiliki temperature yang lebih tinggi. Mesin pendinginn yang banyak dipakai

manusia umumnya menggunakan siklus kompresi uap. Siklus ini terdiri dari beberapa proses yaitu kompresi, kondensasi (pengembunan), penurunan tekanan, dan evaporasi (penguapan). Proses tersebut berlangsung secara terus-menerus dan berulang-ulang sehingga didapat temperature yang diinginkan. Adapun proses kerja mesin pendingin sebagai berikut :

a. Proses Kompresi

Proses kerja mesin pendingin dimulai dari kompresor, dengan adanya aliran listrik, motor kompresor akan bekerja dan menghisap gas refrigerant yang bersuhu rendah. Kemudian kompresor memampatkan gas refrigerant sehingga menjadi uap atau gas bertekanan tinggi yang langsung mengalir ke kondensor.

b. Proses Kondensasi (Pengembunan)

Gas bertekanan tinggi yang sampai di kondensor akan didinginkan. Proses pendinginan refrigerant di dalam kondensor dapat terjadi karena suhu refrigerant lebih tinggi dari suhu udara diluar, maka panas pada refrigerant dapat mengalir ke udara luar. Sehingga suhu refrigerant turun dan wujud refrigerant berubah menjadi cairan, dan memasuki pipa kapiler.

c. Proses Penurunan Tekanan

Refrigerant kemudian memasuki pipa kapiler, untuk proses penurunan tekanan. Penurunan tekanan refrigerant diakibatkan karena diameter pipa kapiler lebih kecil dari diameter pipa lainnya, sehingga terjadi hambatan pada tekanan refrigerant. Dengan adanya penurunan tekanan maka suhu refrigerant menjadi lebih rendah. Selanjutnya refrigerant memasuki ruang evaporator untuk proses penguapan.

d. Proses Evaporasi (penguapan)

Saat refrigerant sampai di evaporator, refrigerant tersebut akan menguap atau berubah fasa dari air menjadi gas. Karena adanya perbedaan suhu dimana suhu refrigerant lebih rendah dari suhu lingkungan evaporator sehingga panas dari lingkungan evaporator dapat mengalir ke refrigerant, akibatnya ruangan di dalam evaporator menjadi dingin.

2.3 Komponen Utama Mesin Pendingin

Pada mesin pendingin terdapat komponen-komponen utama yang mempunyai peranannya masing-masing, komponen-komponen tersebut diantaranya adalah :

a. Kompresor

Kompresor adalah alat yang digunakan untuk menaikkan tekanan fluida gas. Kompresor merupakan inti dari system kompresi uap. Kompresor yang sering digunakan adalah kompresor hermatik (*Hermatic Compresor*). Kompresor ini berada dalam satu wadah yang tertutup rapat, dan digerakkan oleh motor listrik dengan komponen mekanik. Ini dapat bekerja dengan prinsip reciprocating ataupun rotary dimana posisi poros atau toraknya bias vertical maupun horizontal.

b. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk melepas panas pada refrigerant. Pelepasan panas dapat terjadi karena adanya perbedaan suhu refrigerant yang tinggi dengan suhu udara di lingkungan yang rendah. Dimana akan terjadi perpindahan panas secara alami dari refrigerant ke udara lingkungan. Saat proses pelepasan panas terjadi,

Refrigerant akan mengalami proses kondensasi. Proses ini pada mesin pendingin merupakan perubahan fasa refrigerant dari gas menjadi cair.

c. Filter

Filter pada mesin pendingin terbuat dari bahan tembaga. Filter berfungsi untuk menyaring kotoran yang ikut terbawa oleh refrigerant. Kotoran disaring dengan tujuan agar tidak terjadi penyumbatan di dalam pipa kapiler saat refrigerant mengalir, karena diameter pipa refrigerant lebih kecil dari pipa-pipa yang lain. Kotoran yang disaring dapat berupa sisa-sisa debu pada saat proses pengelasan, uap air yang masih terjebak di dalam system, dan korosi pada pipa.

d. Pipa Kapiler

Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigerant, dengan tujuan agar suhu refrigerant menjadi sangat rendah sehingga panas yang akan di serap oleh evaporator dapat lebih optimal. Penyebab turunnya tekanan pada refrigerant karena diameter pipa kapiler yang sangat kecil yang menyebabkan adanya hambatan yang dapat menurunkan tekanan refrigerant sebelum masuk ke dalam evaporator.

e. Evaporator

Evaporator berasal dari kata evaporasi yang berarti penguapan. Evaporator adalah ruang atau tempat refrigerant menyerap panas. Ketika refrigerant melewati evaporator, akan terjadi perubahan fasa dari air menjadi gas. Proses ini terjadi karena perbedaan suhu refrigerant lebih rendah dari suhu lingkungan sekitar.

f. Kipas

Kipas adalah alat untuk menghembuskan udara dingin dari evaporator. Dalam mesin penyejuk udara fungsi *Fan* atau kipas angin adalah mengalirkan udara untuk

membantu menurunkan suhu *casing* kompresor agar kompresor tidak *overheating*. Kipas menghisap udara luar untuk diteruskan menuju evaporator, udara yang terkena evaporator akan mengalami penurunan suhu menjadi dingin. Udara dingin akan dikeluarkan melalui lubang output yang telah tersedia.

g. Heater

Heater merupakan alat yang berfungsi untuk membantu mempercepat pencairan bunga es pada evaporator kulkas dua pintu dengan menggunakan elemen panas. Heater bekerja secara bergantian dengan kompresor yang diatur oleh timer, setelah kontak pada timer memutuskan aliran listrik yang masuk ke kompresor dan mengalihkannya ke heater maka elemen panas akan bekerja, kemudian temperature disekitar evaporator akan naik sampai seluruh bunga es mencair, *heater* akan mati setelah thermostat menerima suhu yang dihasilkan oleh heater.

h. Bahan Pendingin (Refrigerant)

Refrigerant adalah bagian yang penting dalam *fluida* yang digunakan. *Refrigerant* berfungsi sebagai cairan untuk menyerap kalor di evaporator dan melepas kalor di kondensor *Refrigerant* yang biasa digunakan pada mesin pendingin buah adalah R134a, *Refrigerant* R134a memiliki beberapa karakteristik yang baik yaitu tidak beracun dan tidak mudah terbakar dan relative stabil.

Refrigerant yang dipergunakan dalam mesin pendingi siklus kompresi uap sebaiknya memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- Mempunyai titik didih $-26,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Tidak merusak lapisan ozon.

- Tekanan kritis : 4,06 Mpa.
- Tidak dapat terbakar atau meledak jika bercampur dengan minyak pelumas, udara dan sebagainya
- Tidak beracun
- Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh
- Beberapa merek bahan pendingin sejenis refrigerant 134a yang dijumpai di pasaran antara lain refrigerant 134a, SUV A 134a, HFC, 134a, dan KLEA Forane 134a.

2.4 Daur Refrigerant Carnot

Daur refrigerant carnot merupakan suatu pembatas yang tak dapat dilebihi jika melakukan kerja diantara dua suhu tertentu. Daur ini merupakan kebalikan dari mesin kalor, dimana energi disalurkan dari suhu rendah menuju suhu yang lebih tinggi. Dengan kata lain daur refrigerasi membutuhkan kerja luar untuk dapat bekerja. Dari kajian termodinamika, daur ulang carnot dikenal terjadi pada mesin-mesin kalor. Secara sistematis, daur carnot diperlihatkan dalam diagram suhu entropi yang bersangkutan pada Mesin Carnot menerima energi kalor pada suhu tinggi, merubah sebagian menjadi kerja, dan kemudian mengeluarkan sisanya sebagai kalor pada suhu yang lebih rendah. Proses-proses yang membantu daur tersebut adalah :

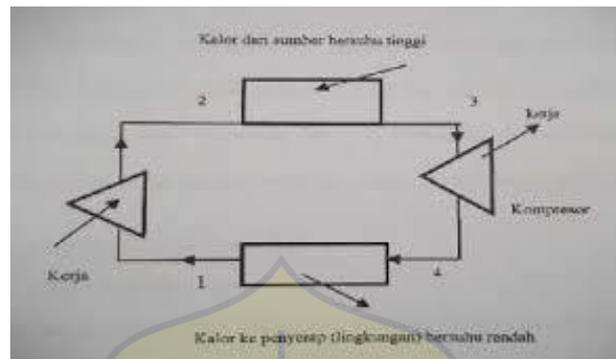
1-2 : Kompresi Adiabatic

2-3 : Pelepasan Kalor Isothermal

3-4 : Ekspansi Adiabatic

4-1 : Pemasukan Kalor Isothermal

Diagram peralatan dan diagram entropi suhu dari luar refrigerant diperlihatkan dalam Gambar 2.1 dan Gambar 2.2



Gambar 2.1 Mesin Kalor Carnot
(Sumber : id.lambdageeks.com)



Gambar 2.2 Diagram Suhu Entropi Mesin Kalor Carnot
(Sumber : id.lambdageeks.com)

Seluruh proses pada daur Carnot secara termodinamika bersifat reversibel (dapat di balik). Oleh karenanya proses 1-2 dan 3-4 bersifat isotropik. Penyerapan kalor dari sumber bersuhu rendah pada proses 4-1 merupakan tujuan utama dari

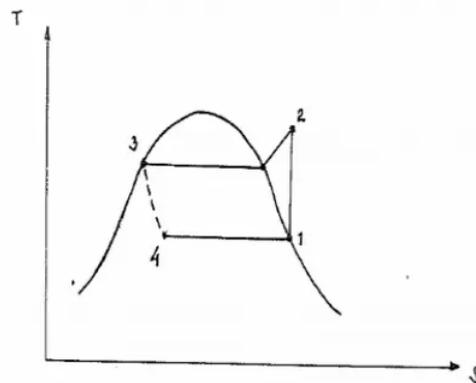
daur ini. Seluruh proses lainnya pada daur berfungsi sedemikian rupa sehingga energi bersuhu rendah dapat dikeluarkan ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

Daur carnot terdiri dari proses-proses reversible yang menjadikan efisiensinya lebih tinggi dari yang dapat dicapai oleh daur nyata. Hal yang penting dari daur Carnot adalah daur ini merupakan pembanding yang standar dan dengan daur tersebut memberikan pedoman tentang suhu-suhu yang harus dipertahankan sehingga diperoleh keefektifan yang maksimum. Siklus Carnot merupakan siklus termal yang paling ideal maksimal, digunakan sebagai pembanding yang standar, dan menjadi pedoman yang akan digunakan.

2.5 Daur Kompresi Uap Ideal

Apabila daur carnot diterapkan pada kompresi uap, maka seluruh proses akan terjadi dalam fasa campuran. Untuk itu fluida kerja yang masuk kompresor diusahakan tidak berupa campuran, yang tujuannya mencegah kerusakan.

Pada daur carnot ekspansi isentropic terjadi pada turbin, daya yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan kompresor. Dalam hal ini mengalami suatu kesulitan teknis, maka untuk memperbaikinya digunakan katup ekspansi atau pipa kapiler dengan demikian proses berlangsung pada entalpi konstan. Daur kompresi uap ideal di tunjukan pada Gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Daur Kompresi Uap Ideal
(Sumber : ASHRAE. (2012).)

Dimana :

1 – 2 : kompresi adiabatic dan reversible, dari uap jenuh menuju tekana konstan

2 - 3 : pelepasan kalor reverseibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut dan pengembunan refrigerant.

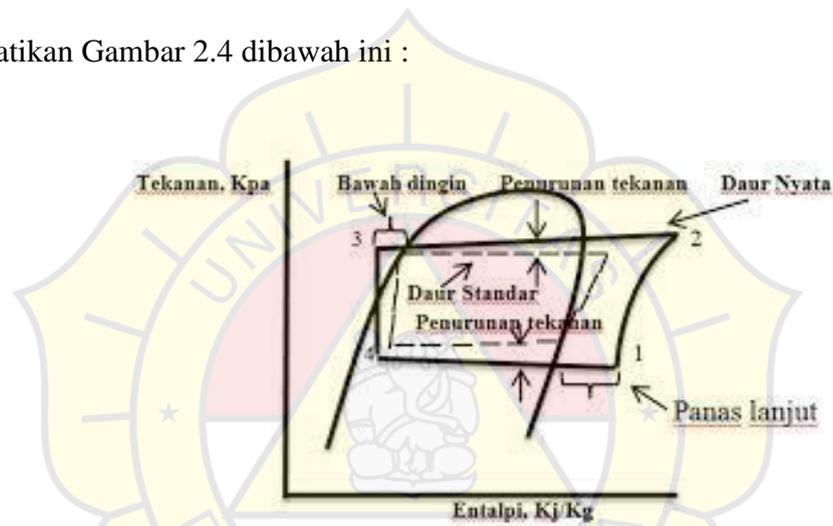
3 – 4 : ekspansi irreversible pada entalpi konstan,dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator.

3 - 1: penambahan kalor reversible pada tekanan tetap yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh.

Prestasi daur kompresi uap standar untuk mengetahui prestasi DKUS terlebih dahulu harus diketahui beberapa besaran seperti : kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi, Coefficient of Performance (COP). Istilah prestasi di dalam daur refrigerasi disebut dengan Koefisien Prestasi. Yang didefinisikan sebagai perbandingan antara refrigerasi yang bermanfaat terhadap kerja bersih, yang identic dengan jumlah hasil yang diinginkan terhadap jumlah pengeluaran.

2.6 Daur Kompresi Uap Nyata

Daur kompresi uap nyata mengalami pengurangan efisiensi dibandingkan dengan daur uap standart. Pada daur kompresi uap nyata proses kompresi berlangsung tidak isentropic, selama fluida berkerja melewati evaporator dan kondensor akan mengalami penurunan tekanan. Fluida kerja mendinginkan kondensor dalam keadaan sub dingin dan meninggalkan evaporator dalam keadaan panas lanjut. Penyimpangan daur kompresi uap nyata dari daur uap ideal dapat diperhatikan Gambar 2.4 dibawah ini :



Gambar 2.4 Perbandingan Siklus Kompresi Uap Standart Dan Nyata
(Sumber : R. Bagus Suryasa Majanasastra. 2015.)

Pada daur kompresi uap nyata proses kompresi berlangsung tidak isentropic, hal ini disebabkan adanya kerugian mekanis dan pengaruh suhu lingkungan selama proses kompresi. Gesekan dan belokan pipa menyebabkan penurunan tekanan di dalam alat penukar panas sebagai akibatnya kompresi pada titik 1 menuju titik 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur ideal (standart). Untuk menjamin seluruh refrigerant dalam keadaan cair dalam sewaktu memasuki alat ekspansi diusahakan refrigerant meninggalkan kondensor dalam keadaan sub dingin.

Kondisi panas lanjut yang meninggalkan evaporator disarankan untuk mencegah kerusakan kompresor akibat terisap cairan.

2.6 Sistem Refrigerant Kompresi Uap

Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang di tekan akan menjadi lebih panas dari pada sumber dingin diluar (udara di luar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin dari pada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi.

Siklus refrigerasi uap memiliki dua keuntungan : pertama, sejumlah besar energi panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang di sejukan. Kedua, sifat-sifat isothermal penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu beberapa pun di dinginkan. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya. Siklus refrigerasi ditunjukkan dalam Gambar 2.5 dan dapat mejadi tahapantahapan berikutnya :

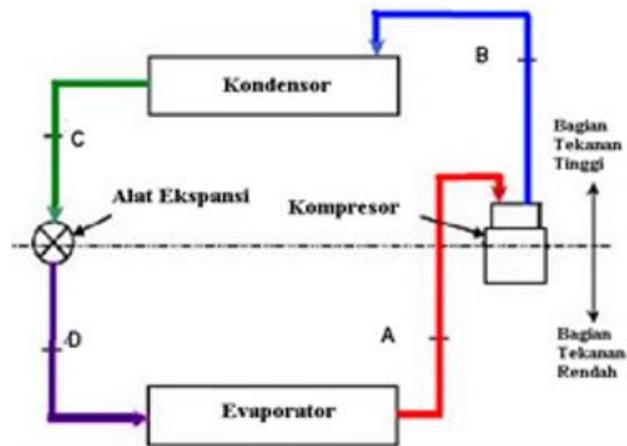
1-2. cairan refrigerasi dalam evaporator menyerap panas dan sekitarnya, biasanya udara, air dan cairan proses lain. Selama proses ini cairan merubah bentuknya dai cair menjadi gas, dan pada keluaran evaporator gas ini diberi pemanasan berlebihan/superheated gas.

2-3. Uap yang diberi panas berlebih masuk kompresor dimana tekanannya dinaikan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigerant.

3-4. Superheated gas bertekanan tinggi lewat kompresor menuju kondensor. Bagian awal proses refrigerasi (3-3a) menurunkan panas superheated gas, sebelum gas ini dikembalikan menjadi bentuk cairan (3a-3b). 12 Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pengerjaan pipa dan penerimaan cairan (3a-4), sehingga cairan refrigerant 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 evaporator.

Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pengerjaan pipa dan penerimaan cairan (3a-4), sehingga cairan refrigerant didinginkan ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju ke alat ekspansi. Skematis siklus Refrigerasi Kompresi Uap di tunjukan pada Gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Gambaran Skematis Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

(Sumber : Gunawan, 1998.)

Kondensor harus mampu membuang panas gabungan yang masuk evaporator dan kondensor. Dengan kata lain $(1 - 2) + (2 - 3)$ harus sama dengan $(3 - 4)$. Melalui alat ekspansi tidak terdapat panas yang hilang maupun yang diperoleh.

2.7 Penukar Kalor

Beberapa system refrigerant dengan penukar kalor jalur cair ke hisap (*liquid to suction*) yang menurunkan suhu (*sub cools*) cairan dari kondensor dengan uap hisap (*suction vapor*) yang datang dari evaporator. Airan jenuh pada titik 3 yang berasal dari kondensor didinginkan hingga titik 4 dengan cara bertukar kalor dengan uap pada titik 6 yang dipanaskan hingga mencapai titik 1. Dari keseimbangan kalor $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$. Dampak refrigerasinya dapat penukar kalor jalur cair-hisap (*liquid to suction heat exchanger*).

Dibandingkan dengan daur kompresi uap standart, system yang menggunakan penukar kalor nampaknya lebih memiliki keuntungan yang jelas

karena naiknya dampak refrigerasi. Kapasitas dan koefisien prestasi tampaknya dapat ditingkatkan. Tetapi hal ini tidak sepenuhnya benar. Walaupun dampak daerah panas-lanjut, sehingga kerja kompresi akan lebih besar dibandingkan dengan yang dekat dengan garis uap-jenuh. Dari hal kapasitas, titik 1 mempunyai rapat massa lebih tinggi dibandingkan dengan titik 6, sehingga volume yang dapat dipompa dari titik 6 tersebut lebih sedikit. Sehingga perbaikan potensial pada prestasi mendapat reaksi yang berlawanan.

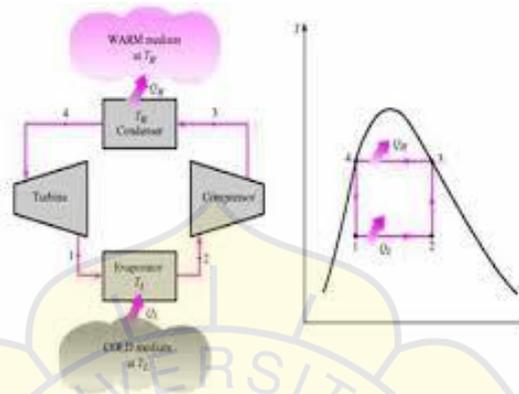
Tetapi sampai batas tertentu, penukar kalor dapat di terima dalam situasi dimana uap yang masuk ke kompresor harus di panaskan lebih lanjut, untuk menjaga agar tidak ada cairan yang terbawa. Alasan praktis lain penggunaan penukar kalor adalah untuk membawah-dinginkan cairan dari kondensor untuk mencegah terbentuknya gelembung uap yang mengganggu aliran refrigerant melewati katup ekspansi.

2.8 Prinsip Kerja

Mesin Refrigerasi dan pompa kalor adalah mesin yang bekerja menyerap kalor dari lingkungan bersuhu rendah kemudian dipindahkan ke lingkungan bersuhu tinggi.

Refrigerator atau mesin pendingin bekerja dengan menyerap kalor pada suhu rendah (didalam ruangan) kemudian dibuang ke suhu yang lebih tinggi (diluar ruangan). Pompa kalor bekerja dengan menyerap kalor pada suhu rendah (diluar ruangan) kemudian dibuang ke suhu yang lebih tinggi (didalam ruangan). Jadi perbedaan dari kedua sistem tersebut adalah pemanfaatan kalornya. Untuk refrigerator, kalor harus dibuang ke lingkungan, tetapi untuk pompa kalor, kalor

harus diambil dari lingkungan untuk pemanasan. Mesin refrigerasi ini bekerja menggunakan siklus atau daur kompresi uap, dimana fluida kerjanya disebut dengan refrigerant. Dasar dari daur ini dikembangkan dari daur refrigerant carnot. Secara skematik daur ulang refrigerant carnot ini dapat dilihat dari gambar 2.7



Gambar 2.7 Daur Refrigerant Carnot dan Diagram Daur Refrigerant Carnot
(sumber : id.lambdageeks.com)

Proses kerjanya adalah sebagai berikut :

- 1-2 Proses penyerapan kalor Q_L isothermal oleh refrigerant dari suhu rendah T_L .
- 2-3 Proses kompresi adiabatik dan temperatur menjadi T_H .
- 3-4 Proses pengeluaran kalor Q_H isothermal oleh refrigerant pada suhu tinggi. T_H . refrigerant merubah fasa dari uap jenuh menjadi cairan jenuh.
- 4-1 Proses ekspansi adiabatik sehingga temperatur turun menjadi T_L .

2.9 Peralatan Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Peralatan utama yang mendukung sistem daur refrigerasi dapat dijelaskan dengan gambar diagram siklus refrigerasi pada Air Conditioning (AC). Adapun komponen-komponen utama dari daur kompresi uap pada AC yaitu :

2.9.1 Kompresor

Kompresor adalah unit mesin pendingin yang berfungsi untuk mensirkulasi refrigerant yang mengalir dalam unit mesin pendingin. Jika dilihat dari cara kerja mensirkulasi refrigerant, maka kompresor dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Kompresor Open Unit (Open Type Compresor)

Jenis kompresor ini terpisah dari tenaga penggeraknya masing-masing bergerak sendiri dalam keadaan terpisah. Tenaga penggerak kompresor umumnya motor listrik. Salah satu ujung poros engkol dari kompresor menonjol keluar sebuah puli dari luar di pasang pada poros tersebut. Melalui tali kipas puli di hubungkan dengan tenaga penggeraknya. Puli pada kompresor berfungsi sebagai roda gaya yang di gunakan sebagai daun kipas yang diinginkan kondensor dan kompresor sendiri. Karena ujung poros engkol keluar dari rumah kompresor, maka harus di beri pelapis agar refrigerant tidak bocor keluar.

2. Kompresor Sentrifugal

Prinsip dari kompresor sentrifugal adalah menggunakan gaya sentrifugal untuk mendapatkan energi kinetik pada impeller sudu dan energi kinetik ini diubah menjadi tekanan potensial. Tekanan dan kecepatan uap yang rendah dari saluran suction dihisap kedalam lubang masuk atau mata roda impeller oleh aksi dari shaft rotor, dan kemudian diarahkan dari ujung-ujung pisau kerumah kompresor untuk diubah menjadi tekanan yang bertambah.

3. Kompresor Scroll

Prinsip kerja dari kompresor scroll adalah menggunakan dua buah scroll (pusaran). Satu scroll dipasang tetap dan salah satu scroll lainnya berputar pada orbit. Refrigerant dengan tekanan rendah dihisap dari saluran hisap oleh scroll dan dikeluarkan melalui saluran tekan yang letaknya pada pusat orbit dari scroll tersebut.

4. Kompresor Sekrup

Uap refrigerant memasukin salah satu ujung kompresor dan meninggalkan kompresor dari ujung yang lain. Pada posisi langkah hisap terbentuk ruang hampa. Sehingga uap mengalir kedalamnya. Bila putaran terus berlanjut refrigerant yang terkurung digerakkan mengelilingi rumah kompresor. Pada putaran selanjutnya terjadi penangkapan kipring rotor jantan oleh lekuk rotor betina, sehingga memperkecil rongga dan menekan refrigerant tersebut keluar melalui saluran buang.

2.9.2 Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar kalor. Karena zat pendingin meninggalkan kompresor dalam bentuk uap bertekanan tinggi, maka perlu suatu cara untuk mengubah uap menjadi cairan kembali.

Jadi kondensor adalah suatu alat untuk mengembun uap (bahan pendingin) menjadi cairan sehingga dapat dipakai kembali dalam siklus pendingin.

2.9.3 Katup Ekspansi

Katup ekspansi adalah alat untuk mengatur jumlah refrigerant yang masuk pada evaporator dalam batas yang sama dengan kapasitas hisap kompresor. Selama

sistem sedang bekerja, katup tersebut mempertahankan tekanan kompresor dan tekanan hisap harus konstan, sehingga beban kompresor juga menjadi konstan.

2.9.4 Evaporator

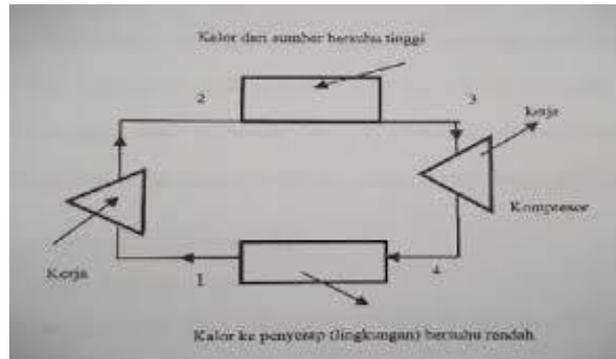
Evaporator merupakan bagian berfungsi menguapkan bahan pendingin cair menjadi gas dengan mengambil udara panas dari ruangan. Refrigerant cair bertekanan tinggi masuk katup ekspansi, kemudian tekanannya diturunkan sebelum masuk evaporator.

Pada evaporator refrigerant cair bertekanan rendah menguap dengan menyerap panas dari lingkungan. Uap refrigerant bertekanan rendah kemudian masuk kompresor, pada kompresor uap refrigerant dimampatkan sehingga energinya bertambah. Uap dengan tekanan tinggi masuk kondensor untuk diembunkan dengan melepaskan panas ke lingkungan dan dari sini prosesnya berulang.

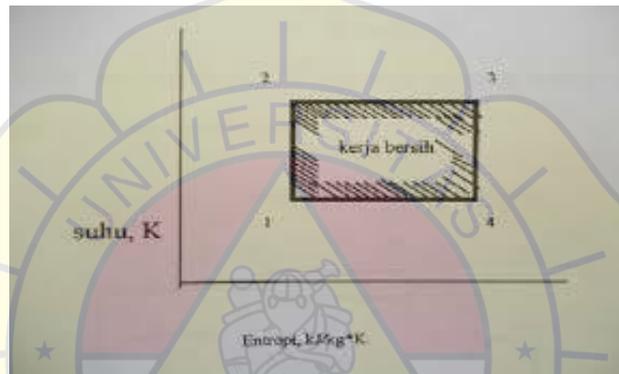
Secara alamiah semua proses alir terjadi karena ada beda tekan, yaitu dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan lebih rendah. Jadi tidak mungkin selama refrigerant mengalir tanpa ada penurunan tekanan (pressure drop), hal ini terjadi karena selama mengalir refrigerant banyak kehilangan energi untuk mengatasi hambatan aliran.

2.10 Teori Perhitungan

Untuk menyederhanakan perhitungan diagram maka digunakan siklus ideal kompresi uap seperti dalam gambar 2.8 dan 2.9



Gambar 2.1 Mesin Kalor Carnot
(Sumber : id.lamdageeks.com)



Gambar 2.2 Diagram Suhu Entropi Mesin Kalor Carnot
(Sumber : id.lamdageeks.com)

2.11 Efek Refrigerasi (Refrigeration Effect)

Efek Refrigerasi (ER) merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigerant, terjadi pada proses 4 ke 1. Satuan efek refrigerant (ER) adalah BTU/lbm. Jadi dengan demikian maka besarnya efek refrigerant (ER) adalah :

$$ER = h_1 - h_4 \text{ (BTU/lbm)}$$

Dimana :

h_1 = enthalpy refrigerant pada titik 4 (sesi masuk evaporator, BTU/lbm)

h_4 = enthalpy refrigerant pada titik 1 (sisi keluar evaporator, BTU/lbm)

Harga ER dari suatu system refrigerasi sangat penting artinya karena menunjukkan banyaknya kalor yang di serap oleh refrigerant di dalam evaporator setiap pound (lbm) penguapan refrigerant. Dengan mengetahui harga ER dan besarnya massa refrigerant yang dapat di uapkan tiap satu satuan waktu pada evaporator maka dapat ditentukan besarnya kapasitas pendingin (*Cooling Capacity*) dari system refrigerant tersebut, kemudian pula sebaliknya.

2.11.1 Dampak Refrigerasi

Dampak refrigerasi dapat dicari dengan entalpi pada titik 1 (suhu keluar evaporator) di kurangi entalpi pada titik 4 (suhu masuk evaporator) :

$$\text{Dampak refrigerasi} = h_1 - h_4$$

Dimana :

h_1 = entalpi suhu keluar evaporator

h_4 = entalpi suhu masuk evaporator

2.11.2 Laju Alir Refrigerasi

Laju alir refrigeran dapat ditentukan dengan cara membagi kapasitas refrigerasi dengan dampak refrigerasi :

$$\text{Laju alir refrigeran} = \frac{\text{Kapasitas Refrigerasi}}{\text{Dampak Refrigerasi}}$$

2.11.3 Daya Kompresor

Daya yang dibutuhkan kompresor dapat dihitung dengan cara mengalihkan antara kerja kompresi per-kilogram dengan laju aliran refrigeran :

Daya kompresor = kerja kompresi per-kilogram X laju aliran refrigeran

2.11.4 Koefisien Prestasi

Koefisien prestasi dapat ditentukan dengan cara membagi kapasitas refrigerasi dengan gaya kompresor :

$$\text{Koefisien prestasi} = \frac{\text{Kapasitas Refrigerasi}}{\text{Daya Kompresor}}$$

Sebelum melakukan penilaian atas prestasi suatu sistem refrigerasi, terlebih dahulu harus ditetapkan ukuran efektifan. Indeks prestasi ini tidak sama dengan efisiensi, karena ukuran tersebut biasanya hanya menggambarkan perbandingan keluaran dan masukan. Perbandingan keluaran terhadap masukan ini akan menyedatkan jika digunakan pada sistem refrigerasi, karena keluaran pada proses 2-3 biasanya percuma atau terbuang. Namun demikian, konsep indeks prestasi pada daur refrigerasi sama dengan efisiensi yang menyatakan perbandingan :

$$\frac{\text{Jumlah hasil yang digunakan}}{\text{Jumlah Pengeluaran}}$$

Istilah prestasi di dalam refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi atau COP atau (*Coefficient of Performance*), yang didefinisikan sebagai :

$$\text{Koefisien prestasi (COP)} = \frac{\text{Refrigerasi bermanfaat}}{\text{Jumlah Pengeluaran}}$$

Kedua suku yang menghasilkan COP tersebut haruslah mempunyai satuan yang sama sehingga COP tidak berdimensi.

2.11.5 Laju Aliran Volume

Laju aliran pada seksi masuk kompresor memerlukan data volume spesifik refrigeran pada titik 1. Volume spesifik refrigeran dapat ditentukan dari tabel A-6

atau gambar A-4.

Laju aliran volume = laju alir refrigeran X volume spesifik pada titik 1.

2.11.6 Daya Refrigerasi

Daya refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi sehingga daya refrigerasi dapat ditentukan dengan membagi daya kompresor dengan kapasitas refrigerasi :

$$\text{Daya Refrigerasi} = \frac{\text{Daya Kompresor}}{\text{Kapasitas Refrigerasi}}$$

