

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Refrigerasi dan sistem refrigerasi

Refrigerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan yang bertemperatur tinggi dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang memiliki temperatur lebih rendah serta menjaga kondisi tersebut sesuai dengan yang dibutuhkan. Pada sistem ini, sebuah kompresor akan mengkompres refrigeran sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Refrigeran yang telah terkompres kemudian dikondensasikan dengan kondenser menjadi cairan dengan melepaskan kalor latennya. Memasuki alat ekspansi, cairan tersebut diturunkan tekanannya sehingga temperaturnya menurun dan kemudian dilanjutkan ke dalam evaporator menghasilkan efek refrigerasi dengan menyerap kalor dari suatu ruangan.

Sistem refrigerasi adalah suatu sistem yang terdiri dari kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator yang terhubung satu dengan lainnya dengan sistem pemipaan tertentu yang didukung oleh alat bantu lainnya. Jika dibutuhkan performa suatu sistem dapat diidentifikasi dari beberapa nilai diantaranya COP, kapasitas pendinginan volumetric, kapasitas pendinginan, kapasitas kondensor, daya kompresor, temperatur *discharge*, rasio tekanan dan aliran massa refrigeran.

2.2 Klasifikasi Penerapan Teknik Refrigerasi

Di bidang refrigerasi dan pengkondisian udara saling berkaitan satu sama lainnya. Tetapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda. Penerapan teknik refrigerasi yang

terbanyak adalah pada refrigerasi industri yang meliputi pemerosesan, pengawetan makanan, penyerapan kalor dari bahan-bahan kimia, industri perminyakan. Dan pada penggunaan khusus yaitu pada industri manufaktur dan konstruksi.

Aplikasi teknik pendingin dan pengkondisian udara meliputi :

- 1) Pengkondisian udara berukuran sedang dan besar.
- 2) Pengkondisian udara untuk kebutuhan industri :
 - a) Penghangatan setempat (spot heating)
 - b) Pendinginan setempat (spot cooling)
 - c) Laboratorium lingkungan
 - d) Tekstil
 - e) Instalasi tenaga (power plant)
 - f) Ruang komputer dan lain-lain
- 3) Pengkondisian udara untuk tempat tinggal.
- 4) Pengkondisian udara untuk kendaraan.
- 5) Penyimpanan dan pendistribusian bahan makanan :
 - a) Pembekuan
 - b) Ruang penyimpanan
 - c) Distribusi
- 6) Pemrosesan makanan :
 - a) Produk susu
 - b) Bahan minuman
- 7) Industri kimia dan proses :

- a) Pemisah gas
 - b) Pengembunan gas
 - c) Penghilangan kalor reaksi, dan lain-lain.
- 8) Penggunaan khusus refrigerasi :
- a) Wadah minuman
 - b) Penurunan kelembaban
 - c) Pembuat batu es
 - d) Penawar air laut

Sedangkan aplikasi refrigerasi pada teknik kriogenik seperti memproduksi gas industri (dengan memisahkan udara menjadi Nitrogen dan Oksigen), gas alam cair. Aplikasi kriogenik banyak dipergunakan pada bidang kedokteran, pesawat antariksa, material, elektronik dan lain-lain.

2.3 Klasifikasi Siklus Refrigeran

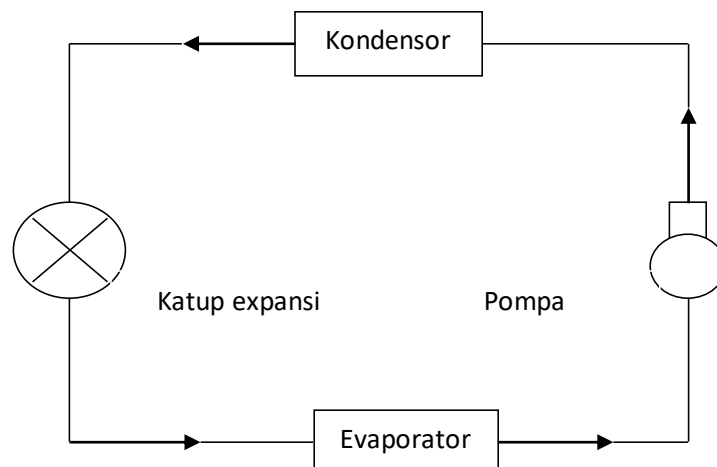
Seperti yang dijelaskan bahwa refrigerasi itu merupakan suatu proses penyerapan panas. Di dalam sistem refrigerasi menggunakan fluida kerja yang dinamakan refrigerant. Refrigerant inilah yang kemudian disirkulasikan ke dalam sistem refrigerasi menggunakan siklus tertutup. Sehingga panas yang diserap oleh media pendingin akan dibuang melalui peralatan yang ada di dalam sistem dan refrigerant akan bersirkulasi melalui peralatan pendukung sistem ini.

Berdasarkan proses yang dialami refrigeran dapat dibedakan atas :

2.3.1 Siklus Kompresi Uap

Siklus kompresi uap ini merupakan daur model bagi sebagian besar sistem refrigerasi yang dipakai. Secara umum sistem refrigerasi dengan siklus kompresi uap dilengkapi dengan komponen-komponen sebagai berikut :

- Kompresor, yang berfungsi untuk menaikkan tekanan refrigerant pada fasa gas yang diserap dari evaporator, sehingga menghasilkan tekanan yang tinggi.
- Kondensor, yang berfungsi untuk merubah fasa refrigerant dari gas menjadi cair secara perlahan akibat pendinginan luar. Biasanya kondensor ini didinginkan oleh udara atau air.
- Reservoir Tank yang berfungsi untuk menampung cairan refrigerant yang bertekanan tinggi dari kondensor.
- Katup Ekspansi untuk menurunkan tekanan refrigerant, penurunan diikuti dengan temperature, sehingga temperature refrigerant lebih rendah dari pada temperature lingkungan.
- Evaporator, dengan alat ini refrigerant menyerap panas yang diserap ini akan menyebabkan penguapan (evaporasi), secara diagram siklus kompresi uap dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Siklus kompresi uap

Keterangan gambar :

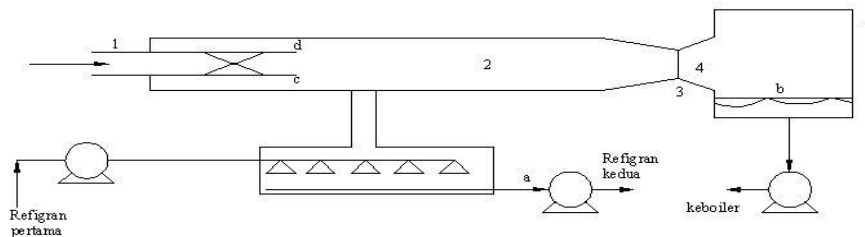
- 1-2 Proses ini terjadi dalam kompresor, refrigerant dihisap oleh kompresor pada fasa uap jenuh. Akibat kerja yang diberikan kompresor, tekanan refrigerant akan naik dan berubah fasa uap lanjut. Pada proses ini refrigerant berada pada fasa gas.
- 2-2 Proses pelepasan panas refrigerant di kondensor dari keadaan uap kering menjadi uap jenuh.
- 2-3 Proses ini terjadi pada kondensor, gas yang dari kompresor dialiri ke kondensor. Pada kondensor terjadi pelepasan panas laten yang dikandungnya. Sehingga dari uap lanjut perlahan refrigerant akan berubah menjadi fasa cair jenuh. Proses ini terjadi pada tekanan konstan (isobar)
- 3-4 Proses ini terjadi pada katup ekspansi. Pada alat ini refrigerant mengalami penurunan tekanan. Setelah melalui katup ekspansi refrigerant berada pada fasa cair jenuh.
- 4-1 Proses ini terjadi pada evaporator, refrigerant akan menyerap panas dari sekelilingnya. Panas yang diserap ini menimbulkan perubahan fasa pada refrigerant. Sehingga pada akhir evaporator refrigerant sudah berada pada fasa uap jenuh.

2.3.2 Siklus Pancaran Uap (Steam Jet Refrigeration Cycle)

Siklus pancaran uap ini diterapkan apabila temperatur pendingin berada sedikit lebih tinggi 32 °F atau 0 °C. Batasan ini ditetapkan oleh titik beku air yang merupakan fluida kerja pada sistem ini.

Pada sistem ini digunakan sebuah boiler yang akan menghasilkan uap. Uap ini akan dialiri sebuah nozzle, sehingga energi potensial uap berubah menjadi energi kinetis. Energi kinetis ini akan digunakan untuk menarik kabut air dari *flash chamber*.

Nozzle ini akan mempertahankan ruang *flash chamber* pada tekanan dan temperature rendah. Air ini akan dialiri melalui suatu sistem yang akan didinginkan. Sementara itu uap dari *nozzle* dialirkan pada kondensor. Bagian sistem dan pernyataan proses ditunjukkan pada gambar 2.2 di bawah ini.

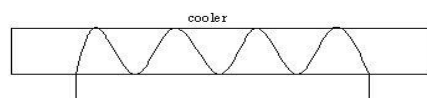


Gambar 2.2 Bagan Proses dan Pernyataan Proses.

Nozzle ini akan mempertahankan ruang flash chamber pada tekanan dan temperature rendah. Air ini akan dialirkan melalui suatu sistem yang akan didinginkan, sementara itu uap nozzle dialirkan pada kondensor.

2.3.3 Siklus udara (Air Cycle Refrigeration)

Pada sistem pendingin ini yang digunakan adalah udara. Dalam siklus ini udara tetap berada pada fasa gas. Dalam siklus udara ini cooler dan refrigerator merupakan pengganti fungsi kondensor dan evaporator. Dapat kita lihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Siklus udara

Selama proses berlangsung refrigeran mengalami kompresi di kompresor. Pendingin (cooler) dan pengembangan volume yang diiringi tekanan dan katup ekspansi.

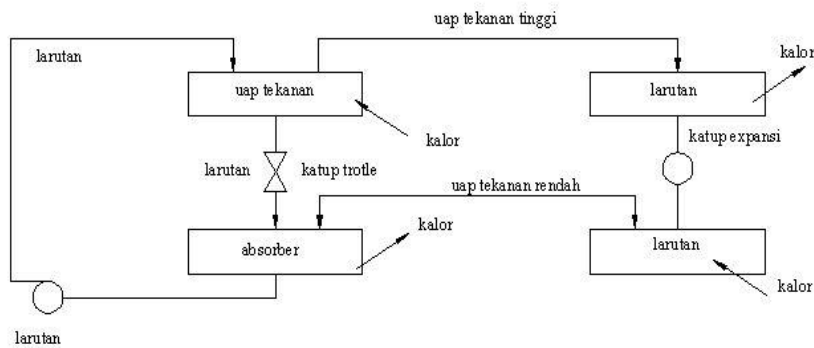
2.3.4 Siklus absorpsi penyerapan

Siklus ini hampir sama dengan siklus kompresi uap sebuah daur refrigeran beroperasi dengan kondensor, katup ekspansi dan evaporator, seperti tampak pada gambar 2.4.

Jika uap tekanan rendah dari evaporator dapat ditransformasikan menjadi uap tekanan tinggi dan dialirkan ke kondensor. Sistem kompresi uap menggunakan kompresor untuk keperluan tersebut. Pertama-tama sistem absorpsi menyerap uap tekanan rendah ke dalam suatu zat cair penyerap (absorbing liquid) yang cocok. Yang terkandung dalam absorpsi adalah konversi (perubahan) dari uap menjadi cair. Karena proses ini sama dengan prinsip kondensasi, maka selama proses berjalan kalor dilepas. Tahap berikutnya yaitu menaikkan tekanan zat cair penyerap dengan memberikan kalor.

Daur kompresi uap disebut juga daur yang dioperasikan oleh kerja (work operate cycle), karena kenaikan tekanan refrigeran dilakukan oleh kompresor yang melakukan kerja. Sedangkan

daur absorpsi disebut daur yang dioperasikan oleh kalor (head operate cycle) karena sebagian besar biaya operasi berkaitan dengan pemberian kalor yang diperlukan untuk melepaskan uap (refrigerant) dari zat cair bertekanan tinggi. Dalam daur absorpsi dibutuhkan kerja untuk menggerakkan pompa tetapi jumlah kerja itu sangat kecil



Gambar 2.4 Unit Absorpsi Dasar

Dalam gambar 2.4 ditunjukkan daur dasar absorpsi, kondensor dan evaporator dan kerja kompresi yang dilakukan oleh sistem berada sebelah kanan diagram. Uap dari tekanan rendah dari evaporator diserap oleh larutan cair (liquid solution) dalam absorber. Jika proses absorber ini dilakukan secara adiabatic, suhu larutan naik dan akhirnya absorber uap akan berhenti. Untuk mengekalkan proses absorpsi didinginkan dengan air atau udara yang kemudian akan dilepaskan kalor ini ke udara bebas. Pompa menerima zat cair tekanan rendah dari absorber, meninggikan tekanan zat cair dan menerima zat cair ke generator. Dalam generator, kalor dari suatu sumber suhu tinggi mendorong melepas uap yang diserap oleh larutan. Larutan cairan yang dikembalikan ke absorber melalui katup trotel yang maksudnya adalah untuk memberikan penurunan tekanan guna menjaga tekanan antara absorber dengan generator.

Dalam perencanaan ini sistem kompresi uap yang dipilih sebagai siklus dengan mempertimbangkan bahwa komponen-komponennya yang dibutuhkan tidak rumit sehingga tidak memerlukan tempat yang luas, dapat menggunakan semua jenis refrigerant sesuai dengan kebutuhan.

2.4 Komponen utama siklus Refrigerasi

2.4.1. Kompresor

Kompresor atau pompa isap mempunyai fungsi yang vital. Dengan adanya kompresor, bahan pendingin bisa mengalir ke seluruh sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah dengan mengubah tekanan, sehingga terjadi perbedaan tekanan yang memungkinkan bahan pendingin mengalir (berpindah) dari sisi bertekanan tinggi kesisi bertekanan rendah. Ketika bekerja, bahan pendingin yang dihisap dari evaporator, dengan suhu dan tekanan rendah, dimampatkan sehingga suhu dan tekanannya tinggi. Gas yang dimampatkan ini ditekan keluar dari kompresor lalu dialirkan ke kondensor. Kompresor bisa berhenti secara otomatis bila ruang pendingin telah mencapai titik beku atau tegangan listrik terlalu tinggi. Tinggi rendahnya suhu terkontrol oleh pengontrol suhu. Jenis kompresor yang banyak digunakan adalah kompresor torak, kompresor rotary, kompresor sudu, dan kompresor sentrifugal.

a) Kompresor torak (reciprocating compressor)

Pada saat langkah hisap piston, gas refrigeran yang bertekanan rendah ditarik masuk melalui katup hisap yang terletak pada piston atau di kepala kompresor. Pada saat langkah buang, piston menekan refrigeran dan mendorongnya keluar melalui katup buang, yang biasanya terletak pada kepala silinder.

b) Kompresor rotary

Refrigeran memasuki satu ujung kompresor dan meninggalkan kompresor dari ujung yang lain. Pada posisi hisap, terbentuk ruang hampa sehingga uap mengalir ke dalamnya. Sesaat sebelum ruang *interlobe* tersebut meninggalkan lubang pemasukan, rongga tersebut telah dipenuhi oleh gas. Bila putaran terus berlanjut, gas yang terkurung digerakan mengelilingi rumah kompresor.

c) Kompresor sudu

Kompresor jenis ini kebanyakan digunakan untuk lemari es, *freezer*, dan pengkondisian udara rumah tangga, juga digunakan sebagai kompresor pembantu pada bagian tekanan rendah sistem kompresi bertingkat besar.

d) Kompresor sentrifugal

Fluida memasuki mata *impeller* yang berputar dan kemudian dilemparkan ke arah lingkaran luar impeller dengan gaya sentrifugal. Sudu-sudu *impeller* meninggikan putaran gas tersebut dan membangkitkan tekanan. Dari impeller ini, gas mengalir ke sudut-sudut penghambur atau ke ruang spiral, dimana sejumlah energi kinetik diubah menjadi tekanan. Kompresor yang digunakan adalah jenis kompresor torak, karena pada saat bekerja putaran torak dapat lebih kuat untuk menghisap dan memampatkan gas refrigeran sehingga suhu dan tekanan akan lebih mudah dinaikan.

Sedangkan berdasarkan penempatan motornya kompresor ini terbagi menjadi tiga macam, yaitu :

- Kompresor hermetik
- Kompresor semi hermetik
- Kompresor open type

2.4.2. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, serta mengubah wujud gas menjadi cair. Banyak jenis kondensor yang dipakai. Untuk kulkas rumah tangga digunakan kondensor dengan pendingin air. Jenis lain kondensor berpendingin air memiliki pipa-pipa yang dapat dibersihkan. Kondensor dibedakan menjadi 3 jenis, yakni *Air-cooled Condensor*, *Water-cooled Condensor* dan *Evaporative-cooled Condensor*.

a) Air-cooled condensor

Dalam *Air-cooled condensor*, kalor dipindahkan dari refrigeran ke udara dengan menggunakan sirkulasi alamiah atau paksa. Kondensor dibuat dari pipa baja, tembaga dengan diberi sirip untuk memperbaiki transfer kalor pada sisi udara. Refrigeran mengalir didalam pipa dan udara mengalir diluarnya. *Air-cooled condensor* hanya digunakan untuk kapasitas kecil seperti refrigerator dan *small water cooler*

b) Water-cooled condenser

Water-cooled condensor dibedakan menjadi 3 jenis yakni *shell and tube*, *shell and coil*, *double tube*.

- Shell and tube

Dimana refrigeran mengalir didalam pipa, sedangkan cairan yang akan didinginkan dialirkan didalam tabung dengan melintasi bundelan pipa-pipa tersebut.

- Shell and coil

Terdiri dari sebuah cangkang yang dilas elektrik dan berisi koil air, kadang-kadang juga dengan pipa bersirip.

- Double tube

Refrigeran mengembun diluar pipa dan air mengalir dibagian dalam pipa pada arah yang berlawanan. *Double tube* digunakan dalam hubungan dengan *cooling tower* dan *spray pond*.

c) Evaporativ condensor

Refrigeran pertama kali melepaskan kalornya ke air kemudian air melepaskan kalornya ke udara dalam bentuk uap air. Udara meninggalkan uap air dengan kelembaban yang tinggi seperti dalam *cooling tower*. Oleh karena itu kondensor evaporative menggabungkan fungsi dari sebuah kondensor dan *cooling tower*. Evaporative condensor banyak digunakan dipabrik-pabrik amoniak. Kondensor yang digunakan disini adalah jenis *water-cooled condensor* tipe *shell and tube*, karena lebih mudah dalam menganalisa temperatur jika dibandingkan dengan *Air-cooled*.

Condensor yang sering terjadi fluktuasi pada temperturnya. *Water-cooled condensor* ini ditempatkan diantara kompresor dan alat pengatur bahan pendingin (pipa kapiler). Posisinya ditempatkan berhubungan langsung dengan udara luar agar gas di dalam kondensor juga didinginkan oleh suhu ruangan. Gas yang berasal dari kompresor memiliki suhu dan tekanan tinggi. Ketika mengalir di dalam pipa kondensor, gas mengalami penurunan suhu hingga mencapai suhu kondensasi, kemudian mengembun. Wujud gas berubah menjadi cair dengan suhu rendah sedangkan tekanannya tetap tinggi.

2.4.3. Katup ekspansi

Katup ekspansi dipergunakan untuk mengekspansi secara adiabatik cairan refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat keadaan tekanan dan temperature rendah. Jadi, melaksanakan proses trotel atau proses ekspansi entalpi konstan. Selain itu, katup ekspansi mengatur pemasukan refrigerant sesuai dengan proses pendinginan yang harus dilayani oleh evaporator. Katup ekspansi yang banyak digunakan adalah :

1) Katup ekspansi otomatis termostatik

Katup ekspansi otomatis termostatik berfungsi mengatur pembukaan katup, yaitu mengatur pemasukan refrigerant ke dalam evaporator, sesuai dengan beban pendinginan yang harus dilayani. Tetapi bukan berarti bahwa katup ekspansi tersebut harus mengusahkan agar evaporator bekerja pada suatu temperature penguapan yang konstan. Dalam hal tersebut perbedaan antara temperature penguapan dan temperature media yang akan didinginkan, dipertahankan supaya konstan. Pembukaan katup ekspansi diatur sedemikian rupa sehingga derajat super panas dari refrigerant kira-kira 3 sampai 80 °C.

2) Katup ekspansi manual

Katup ekspansi manual adalah katup ekspansi dengan trodel yang diatur secara manual, yaitu menggunakan katup jarum yang berbeda dari katup stop yang biasa.

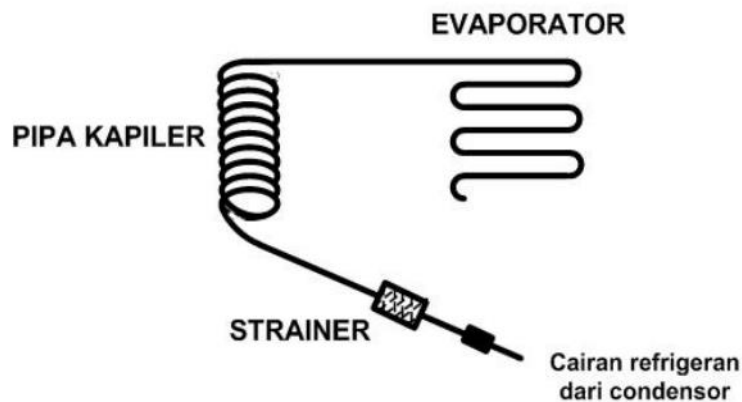
3) Katup ekspansi tekanan konstan

Katup ekspansi tekanan konstan adalah katup ekspansi, dimana katup digerakan oleh tekanan didalam evaporator, untuk mempertahankan supaya tekanan didalam evaporator konstan.

4) Pipa kapiler

Pipa kapiler melayani hampir semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil, dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10kW. Pipa kapiler umumnya mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 m, dengan diameter-dalam 0,5 hingga 2mm. penamaan pipa kapiler sebenarnya kurang tepat, karena lubangnya terlalu besar untuk

terjadinya aksi kapiler. Cairan refrigeran memasuki pipa kapiler tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang disebabkan oleh gesekan dan percepatan refrigeran. Sejumlah cairan berubah menjadi uap ketika refrigeran mengalir melalui pipa ini. Konstruksi pipa kapiler sangat sederhana, sehingga jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti bekerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian tekanan rendah, sehingga menyamakan tekanannya dan memudahkan start berikutnya. Pipa kapiler ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Pipa kapiler

2.4.4. Evaporator (Penguap)

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta bertugas menguapkan refrigeran dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Panas udara sekeliling diserap evaporator yang menyebabkan suhu udara disekeliling evaporator turun. Suhu udara yang rendah ini dipindahkan ketempat lain dengan jalan dihembus oleh kipas, yang menyebabkan terjadinya aliran udara.

Ada beberapa macam evaporator sesuai tujuan penggunaannya dan bentuknya dapat berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena media yang hendak didinginkan dapat

berupa gas, cairan atau padat. Maka evaporator dapat dibagi menjadi beberapa golongan, sesuai dengan refrigeran yang ada di dalamnya, yaitu : jenis ekspansi kering, jenis setengah basah, jenis basah, dan sistem pompa cairan.

1) Jenis ekspansi kering

Dalam jenis ekspansi kering, cairan refrigerant yang diekspansikan melalui katup ekspansi pada waktu masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap air.

2) Evaporator jenis setengah basah

Evaporator jenis setengah basah adalah evaporator dengan kondisi refrigeran diantara evaporator jenis ekspansi kering dan evaporator jenis basah. Dalam evaporator jenis ini, selalu terdapat refrigeran cair dalam pipa penguapnya.

3) Evaporator jenis basah

Dalam evaporator jenis basah, sebagian besar dari evaporator terisi oleh cairan refrigerant.

2.4.5. Refrigeran

2.4.5.1. Refrigeran primer

Refrigeran adalah zat yang berfungsi sebagai media pendingin dengan menyerap kalor dari benda atau bahan lain seperti air atau udara ruangan, sehingga refrigeran tersebut dapat dengan mudah merubah fhasanya dari cair menjadi gas. Sedangkan pada saat terjadi pelepasan kalor oleh refrigeran terjadi perubahan phasa dari gas bertekanan tinggi jenuh menjadi cair. Refrigeran yang digunakan pada sistem kompresi uap atau dikenal sebagai refrigeran primer dapat digolongkan sebagai berikut :

1) Senyawa Halokarbon

Refrigeran yang termasuk dalam kelompok halokarbon ialah refrigeran yang memiliki satu atau lebih atom dari salah satu halogen yang tiga (klirin, fluorin, bromine). Ketentuan bilangan, nama kimia dan rumus kimia sejumlah anggota kelompok ini yang ditemukan di perdagangan, dimuat dalam table berikut :

Tabel 2.1. Beberapa refrigeran halokarbon

Jenis-jenis Refrigeran	Nama kimia	Rumus kimia
R-11	Trikloromonofluorometana	CCl_3F
R-12	Diklorodifluorometana	CCl_2F_2
R-13	Monoklorotrifluorometana	CClF_3
R-22	Monoklorodifluorometana	CHClF_2
R-40	Menilklorida	CH_3Cl
R113	Triklorotrifluoroetana	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
R114	Diklorotetrafluoroetana	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

2) Senyawa anorganik

Banyak refrigeran terdahulu merupakan senyawa anorganik, dan masih ada yang digunakan sampai saat ini. Senyawa anorganik sering digunakan pada masa awal perkembangan bidang refrigerasi dan pengkondisian udara.

Tabel 2.2. Beberapa refrigeran anorganik

Jenis-jenis Refrigeran	Nama kimia	Rumus kimia
R-717	Ammonia	NH ₃
R-718	Air	H ₂ O
R-729	Udara	-
R-744	Karbon dioksida	CO ₂
R-764	Sulfur dioksida	SO ₂

3) Senyawa hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang cocok digunakan sebagai refrigerant, khususnya untuk dipakai pada industry perminyakan dan petrokimia.

Tabel 2.3. Beberapa refrigeran hidrokarbon

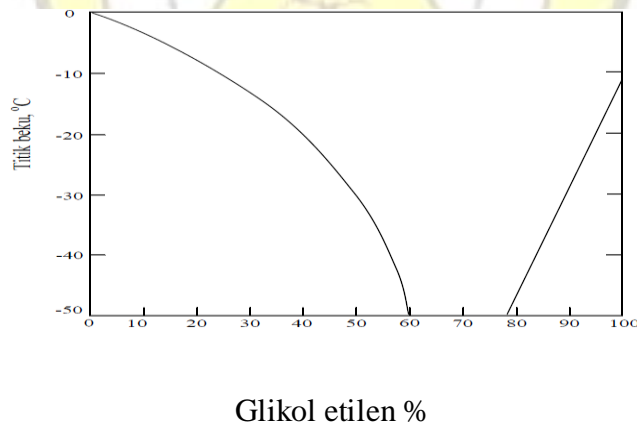
Jenis-jenis Refrigeran	Nama kimia	Rumus kimia
R-50	Metana	CH ₄
R-170	Etana	C ₂ H ₆
R-290	Propana	C ₃ H ₈

4) Azeotrop

Campuran Azeotrop dua substansi adalah campuran yang tidak bisa dipisahkan menjadi komponen-komponennya dengan cara distilasi. Azeotrop menguap dan mengembun sebagai substansi tunggal yang sifatnya berbeda dengan sifat pembentuknya. Azeotrop yang paling banyak dikenal adalah refrigeran R-502 yang merupakan campuran 48,8 % R-22 dan 51,2 % R-115.

2.4.5.2. Refrigeran sekunder

Refrigeran sekunder adalah fluida yang mengangkut kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator pada sistem refrigerasi. Refrigeran sekunder mengalami perubahan temperatur bila menyerap kalor dan membebaskannya pada evaporator, tetapi tidak mengalami perubahan fasa. Anti beku yang banyak digunakan adalah larutan air dan glikol etelin, glikol propelin, ataupun kalsium klorida. Salah satu sifat anti beku yang penting adalah titik pembekuannya yang tampak pada gambar 2.5.



Gambar 2.6. titik beku larutan glikol etilen

2.4.5.3. Refrigeran hidrokarbon

Pada tahun 1930-an hidrokarbon telah banyak digunakan sebagai refrigeran pada unit-unit pendingin. Beberapa tahun kemudian diperkenalkan refrigeran sintetis yang

berkarakteristik dan sifat yang baik, antara lain, tidak berbau, tidak beracun, dan mudah diperoleh sehingga harganya murah. Refrigeran sintetis yang langsung mendominasi pasaran baru-baru ini diketahui memiliki sifat yang merusak lingkungan terutama yang mengandung CFC. Kesadaran akan kelestarian lingkungan inilah yang membuat refrigeran hidrokarbon kembali digunakan. Refrigeran hidrokarbon memiliki sifat yang ramah lingkungan, dan juga banyak kelebihan lainnya, begitu pula hidrokarbon juga memiliki kekurangan karena hidrokarbon adalah refrigeran yang mudah terbakar, namun dengan perkembangan teknologi saat ini hal itu dapat diatasi.

2.4.5.4. Keuntungan refrigeran hidrokarbon

Perbandingan kinerja hidrokarbon sudah seringkali dipublikasikan dalam berbagai makalah maupun seminar. Dalam beberapa perbandingan yang telah dilakukan, refrigeran hidrokarbon memiliki kinerja (COP) yang lebih baik secara umum, keuntungan penggunaan refrigeran hidrokarbon adalah :

- a) Penggantian refrigeran hidrokarbon tidak memerlukan penggantian perangkat yang ada.
- b) Memiliki unjuk kerja (COP) yang baik.
- c) Penggunaan refrigeran hidrokarbon lebih hemat sekitar 40% dari refrigeran biasa (R-12).

2.4.5.5. Sifat-Sifat refrigeran ideal

Pada refrigerator, refrigeran yang ideal sekurang-kurangnya mengikuti sifat-sifat sebagai berikut :

- 1) Tekanan penguapan positif

Tekanan penguapan positif mencegah kemungkinan terjadinya kebocoran udara ke dalam sistem selama operasi.

- 2) Tekanan pembekuan yang cukup rendah.
- 3) Suhu pembekuan harus cukup rendah, agar pemadatan refrigeran tidak terjadi selama operasi normal.
- 4) Daya larut minyak pelumas

Minyak yang digunakan sebagai pelumas dalam refrigerator, terutama pada sistem, harus mudah larut, karena bersentuhan langsung dengan refrigeran.

- 5) Refrigeran yang murah
- 6) Tidak mudah terbakar

Uap refrigeran tidak boleh terbakar atau mengakibatkan kebakaran pada setiap konsentrasi dengan udara.

- 7) Mempunyai tekanan kondensasi yang tidak terlalu tinggi, karena dengan tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kompresor yang besar dan kuat, dan juga pipa-pipa harus kuat dan kemungkinan terjadinya kebocoran sangat besar.
- 8) Kekuatan delektrik yang tinggi

Sifat ini penting untuk kompresor hermetic, karena uap refrigeran berhubungan langsung dengan motor.

- 9) Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan, diembunkan, dan diuapkan.

Sifat-sifat diatas jarang sekali dijumpai pada refrigeran yang mempunyai sifat secara mutlak memuaskan untuk semua sistem pendingin.

2.4.5.6. Karakteristik Refrigeran 22

Refrigeran yang diinginkan adalah yang memiliki sifat kimia, fisik, dan termodinamik yang dapat memberikan aplikasi yang efisien dan servis dalam praktek desain peralatan refrigerasi. Karakteristik refrigeran seperti toksisitas, kemudahan terbakar, harga, sifat korosi, ataupun tekanan uapnya sangat penting dalam pemilihan refrigeran. Namun belum ada satu pun refrigeran yang terbukti memberikan kinerja yang ideal dibawah berbagai kondisi operasi.

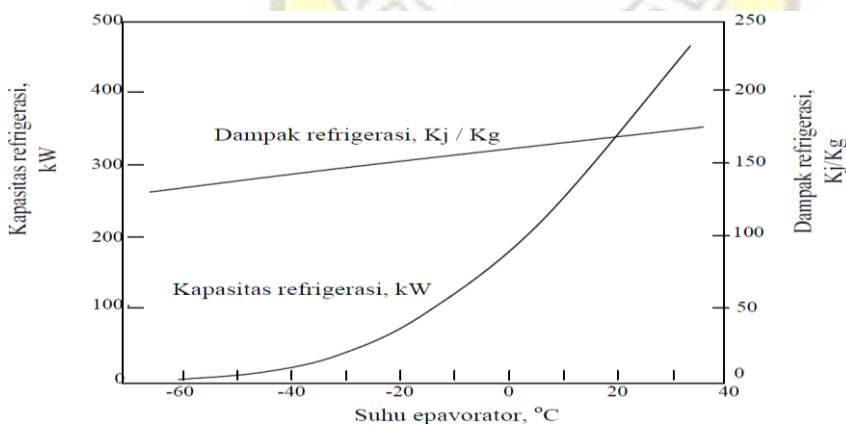
Refrigeran yang sering dipakai untuk suatu percobaan sederhana tentang refrigerasi adalah refrigerant 22, selain itu adalah udara, amonia, karbon dioksida, metil klorida, sulfur dioksida, hidrokarbon, dan lain-lain. Refrigeran-22 (R-22) atau CHClF_2 atau Chlorodifluoromethane tidak mudah terbakar pada temperatur ruang dan tekanan atmosferik. Walaupun refrigeran ini akan mudah terbakar saat bercampur dengan udara bertekanan rendah dan saat berada didekat sumber api. Refrigeran-22 memiliki sifat fisik dan sifat kimia yang khusus, yang memberikan kelebihan dan kekurangan pada penggunaannya. Selain sifat-sifat yang telah disebut sebelumnya, sifat fisik dan kimia R-22 lainnya adalah :

- Tampilan : Jernih, cairan dan uap yang tak berwarna
- Kondisi fisik : Gas pada temperatur ruang
- Formula kimia : CHClF_2
- Spesifik gravity (air=1.0) : 1.21 @ 21.1°C (70°F)
- Kelarutan dalam air (%-berat) : 0.3 wt% @ 25°C dan 1 atmosfer
- pH : Netral
- Titik didih : -40.8°C (-41.40°F)
- Titik beku : -160°C (-256°F)

- Tekanan uap : 136.1 psia @ 70°F dan 311.4 psia @ 130°F
- Densitas uap (udara=1.0) : 3.0
- Laju evaporasi : lebih besar dari 1 (>1) dibandingkan CCl4 (=1)
- Persen Volatilitas : 100

2.5. Kinerja mesin refrigerasi

2.5.1. Kapasitas refrigerasi



Gambar 2.7 Dampak refrigerasi dan kapasitas refrigerasi

Dengan h_1 dan h_4 masing-masing adalah enthalpy dalam kilojoule per kilogram refrigeran yang meninggalkan dan yang memasuki evaporator. Dampak refrigerasi; dalam kilojoule per kilogram adalah kalor yang dipindahkan pada proses 4-1 atau h_1-h_4 , akan naik

sedikit dengan naiknya tekanan isap, seperti terlihat pada gambar 2.9, asalkan enthalpy yang memasuki alat ekspansi tetap konstan. Kenaikan ini disebabkan oleh enthalpy uap jenuh yang sedikit lebih tinggi pada temperatur evaporator yang lebih tinggi. Kapasitas refrigerasi akan berharga nol pada titik dimana laju aliran massa berharga nol.

$$\text{Kapasitas refrigerasi } (q) \text{ adalah: } q = w(h_1 - h_4) \text{ KW}$$

2.5.2. Laju penyerapan kalor evaporator

Refrigeran yang mempunyai tekanan tinggi mengalir melewati katup ekspansi sehingga tekanannya menjadi rendah. Selama melewati evaporator, refrigeran menyerap panas dari air didalam ruangan yang didinginkan, kemudian membuang atau melapaskan kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan.

Kalor yang dilepaskan oleh evaporator (Q_e)

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \longrightarrow \text{(KW)}$$

$$\text{atau } Q_e = U \times A \times \Delta t_m$$

$$\text{dimana } \Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \log_{10} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Q_e = jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran dalam evaporator (kcal/jam)

U = koefisien perpindahan kalor total (kcal/m²jam °C)

A = luas bidang perpindahan kalor (m²)

Δt_m = perbedaan temperatur rata-rata (°C)

Δt_1 = selisih temperatur antara refrigeran masuk dan temperatur air pendingin pada seksi keluar (°C).

Δt_2 = selisih temperatur refrigeran super dingin dan temperatur air pendingin pada seksi keluar ($^{\circ}\text{C}$).

Karena perubahan temperatur berpengaruh pada besarnya Q_e maka:

$$Q_e = f(t)$$

$$\dot{m} = f(t)$$

2.5.3. Laju pelepasan kalor kondensor

Refrigeran dari kompresor yang memiliki suhu dan tekanan tinggi melewati kondensor. Selama melewati kondensor refrigeran membuang atau melepaskan kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, sehingga refrigeran mengalami penurunan suhu hingga mencapai suhu kondensasi lalu mengembun. Wujud refrigeran berubah menjadi cair dengan suhu rendah sedangkan tekanannya tetap tinggi.

Kalor yang dilepaskan oleh kondensor (Q_c)

$$Q_c = \dot{m} (h_2 - h_3) \longrightarrow \text{(KW)}$$

$$\text{atau } Q_c = U \times A \times \Delta t_m$$

$$\text{dimana } \Delta t_m = 0,43 \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log_{10} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Q_c = jumlah kalor yang dilepas oleh refrigeran dalam evaporator (kcal/jam)

U = koefisien perpindahan kalor total (kcal/m²jam⁰C)

A = luas bidang perpindahan kalor (m²)

Δt_m = perbedaan temperatur rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

Δt_1 = selisih temperatur antara refrigeran masuk dan temperatur air pendingin pada seksi keluar ($^{\circ}\text{C}$).

Δt_2 = selisih temperatur refrigeran super panas dan temperatur air pendingin pada seksi keluar ($^{\circ}\text{C}$).

Karena perubahan temperatur berpengaruh pada besarnya Q_e maka :

$$Q_c = f(t)$$

$$\dot{m} = f(t)$$

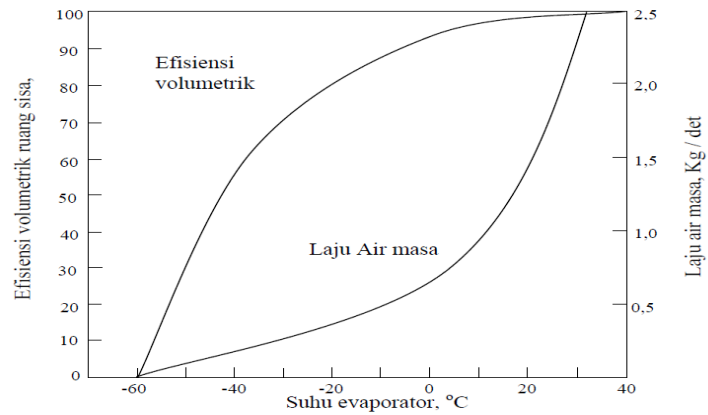
2.5.4. Laju aliran massa refrigeran

Laju aliran massa mengendalikan kapasitas dan daya yang diperlukan kompresor lebih langsung daripada laju alir volume. Laju aliran massa \dot{m} (kg/det) melewati kompresor sebanding dengan laju volume langkah (L/det) dan efisiensi volumetric (η_{vc}) dan berbanding terbalik dengan volume spesifik (v_{hisap}) gas yang memasuki kompresor. Dalam bentuk persamaan :

$$\dot{m} = \text{laju volume langkah} \times \frac{\eta_{vc} / 100}{V_{\text{hisap}}}$$

atau menggunakan persamaan :

$$\text{laju aliran massa } (\dot{m}) = \frac{Q_e}{(h_1 - h_4)}$$



Gambar 2.8 laju aliran massa refrigeran

Dengan turunnya tekanan hisap, volume spesifik gas yang masuk ke kompresor akan naik, yang bersama efisiensi volumetrik, sehingga akan menurunkan laju alir massa ketika temperatur evaporator rendah.

2.5.5. Daya kompresor

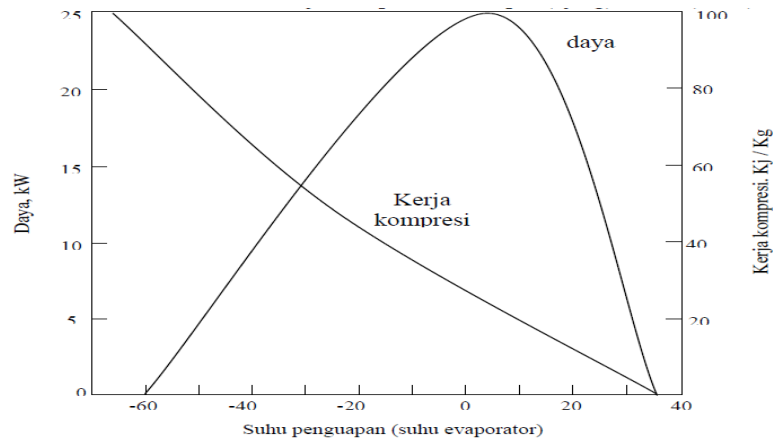
Daya yang dibutuhkan oleh suatu kompresor ideal adalah hasil kali antara laju aliran massa dan kenaikan enthalpy selama proses kompresi isentropik.

$$P = \dot{m} \Delta h_i$$

dengan P = daya kompresor (KW)

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

Δh_i = kerja kompresi isentropik (kj/kg), $\Delta h_i = (h_2 - h_1)$



Gambar 2.9 kerja kompresi dan daya kompresor

Gambar 2.8 dapat ditunjukkan bermacam-macam harga Δh_i , seiring dengan berubahnya temperatur evaporator. Harga Δh_i besar pada temperatur-temperatur evaporator yang rendah dan akan menurun menjadi nol bila tekanan hisap menyamai tekanan buangnya (bila temperatur penguapan menyamai temperatur pengembunan). Karena itu kurva kebutuhan daya dalam gambar 2.8 menunjukkan harga nol didua titik, yaitu saat suhu evaporator menyamai suhu kondensor, dan pada saat laju aliran massa menjadi nol. Diantara kedua titik ekstrim tersebut, terdapat puncak kebutuhan daya. Kurva daya selayaknya menjadi perhatian karena kurva ini memiliki arti yang penting. Kebanyakan sistem refrigerasi bekerja di daerah puncak daya. Selama masa penghentian, dan selanjutnya dijalankan kembali dengan temperatur evaporator yang hangat, diperlukan daya yang lebih banyak untuk melewati puncak kurva daya dibandingkan dengan daya motor yang diperlukan untuk memenuhi kondisi rancangan secara mantap. Selama kerja yang teratur (reguler), dengan beban-beban refrigerasi yang berat, temperatur evaporator naik, sehingga kebutuhan daya kompresor akan naik sehingga menyebabkan motor kelebihan beban (overload).

2.5.6. Koefisien prestasi refrigerasi (Coeficien of performance)

Coefficient of Performance (COP) dari siklus kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi :

$$\text{COP}_R = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

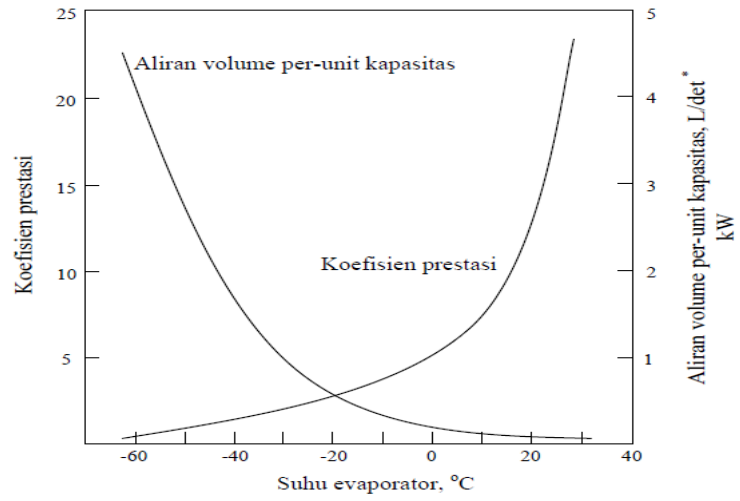
atau menggunakan persamaan :

$$\text{COP}_R = \frac{\text{output yang di inginkan}}{\text{Input yang diperlukan}} = \frac{Q_H}{W_{\text{bersih}}}$$

$$\text{COPR} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_L}{Q_H} - 1}$$

Koefisien prestasi dapat diturunkan dari kapasitas refrigerasi dan daya kompresor, hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 2.8. dapat dilihat kenaikan COP tersebut karena kenaikan temperatur evaporator. Kadangkala laju aliran volume dihitung pada seksi masuk kompresor, atau titik keadaan 1. Laju aliran volume per satuan kapasitas refrigerasi merupakan petunjuk kasar ukuran fisik kompresor yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kW refrigerasi.

Semakin besar laju tersebut, semakin besar volume langkah kompresor, dalam ukuran meter kubik per detik. Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi, dan suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai daya per kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi. Untuk suatu kapasitas tertentu dengan temperatur evaporator yang rendah, harus dipompakan aliran volume yang besar karena volume spesifik yang tinggi.



Gambar 2.10. koefisien prestasi (COP) dan aliran volume per KW refrigerasi

