

BAB II

DASAR TEORI

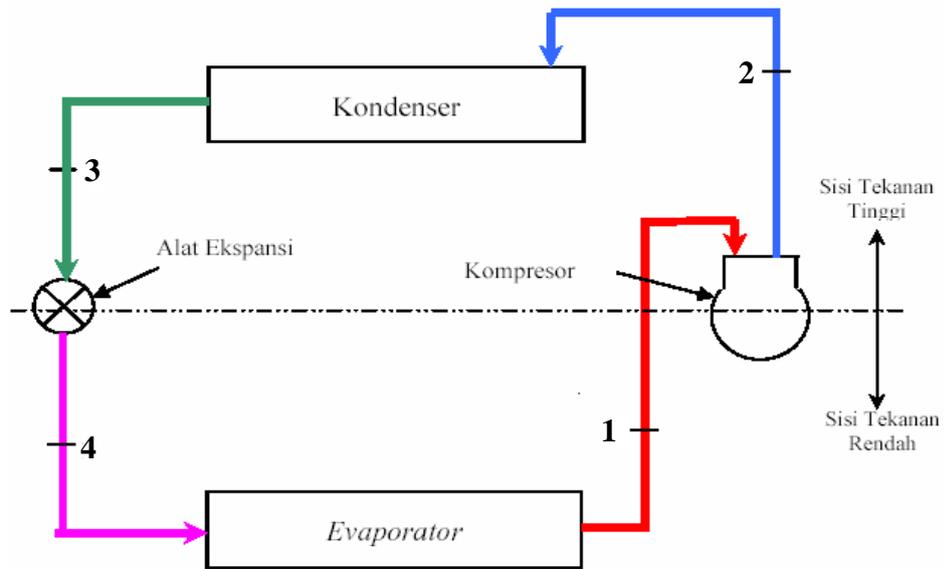
2.1 Klasifikasi Sistem Refrigerasi

Ditinjau dari prinsip kerjanya, sistem refrigerasi di bagi menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Sistem refrigerasi kompresi uap
2. Sistem refrigeasi absorpsi
3. Sistem refrigerasi udara

2.1.1. Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

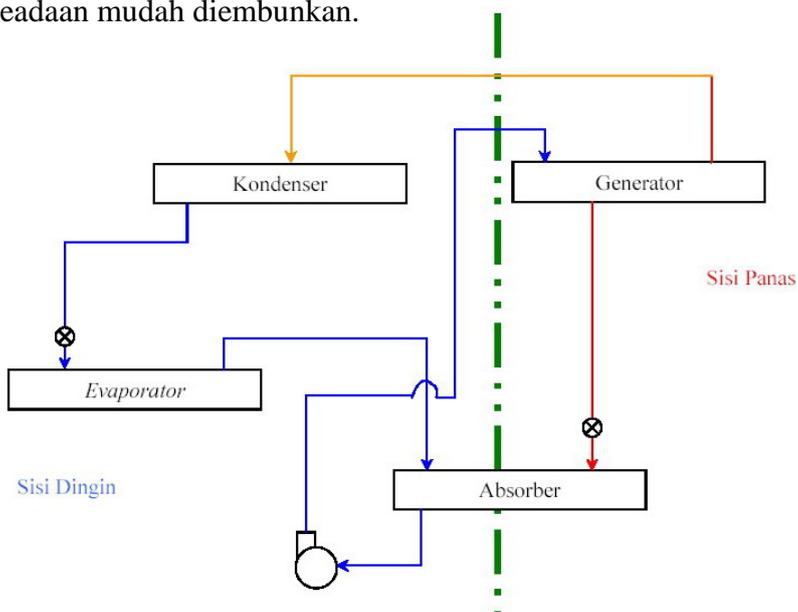
Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas dari pada sumber dingin di luar (contoh 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.



Gambar 2.1. Sistem refrigerasi kompresi uap

2.1.2. Sistem Refrigerasi Absorpsi

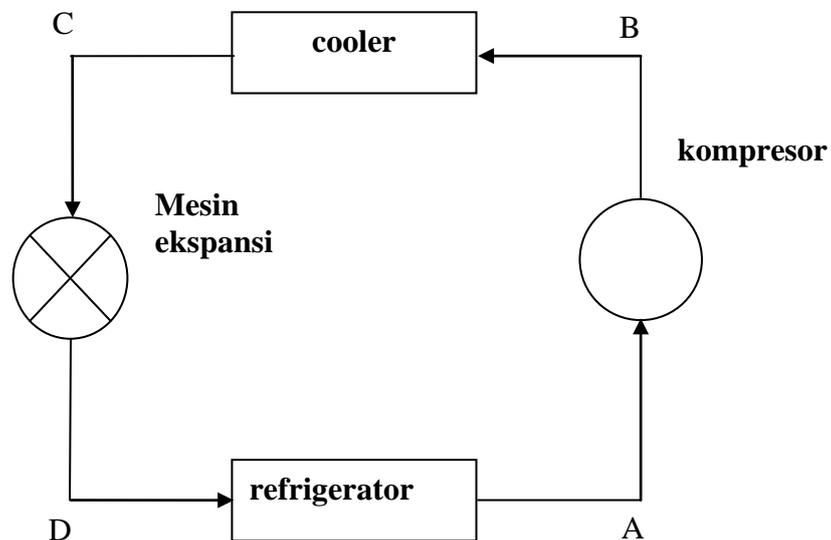
Dalam siklus refrigerasi absorpsi, dipergunakan penyerap untuk menyerap refrigeran yang diuapkan di dalam evaporator sehingga menjadi suatu larutan absorpsi. Kemudian, larutan absorpsi tersebut dimasukan ke dalam sebuah generator untuk memisahkan refrigeran dari larutan absorpsi tersebut dengan cara memanasi, yang sekaligus akan menaikkan tekanannya sampai mencapai tingkat keadaan mudah diembunkan.



Gambar 2.2. Sistem refrigerasi absorpsi

2.1.3. Sistem Refrigerasi Udara

Pada siklus ini, udara bertindak sebagai refrigerant, yang menyerap panas pada tekanan konstan P_1 , di dalam refrigerator. Udara panas keluar refrigerator, dikompresi untuk dibuang panasnya ke lingkungan melalui *cooler* pada tekanan konstan P_2 ($P_2 > P_1$). Udara keluar cooler dikembalikan ke keadaan awal oleh mesin ekspansi untuk dapat melakukan langkah awal pada siklus berikutnya



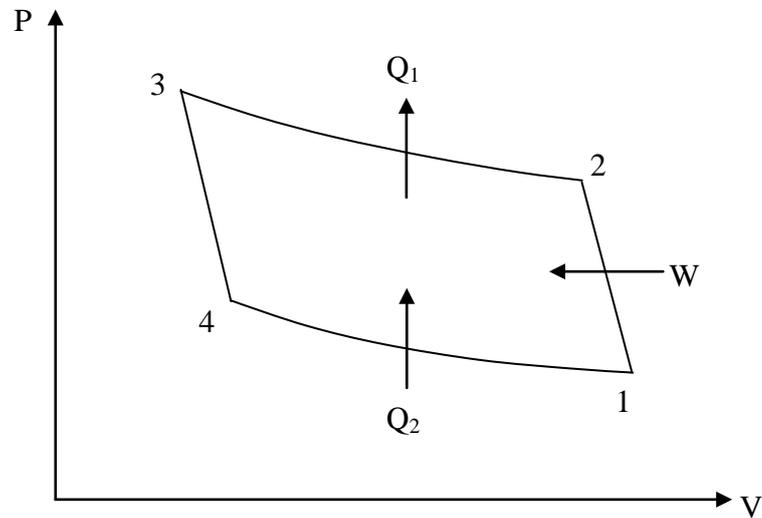
Gambar 2.3. Sistem refrigerasi udara

2.2. Termodinamika Sistem Refrigerasi

2.2.1 Siklus Refrigerasi Carnot

Siklus refrigerasi carnot merupakan kebalikan dari mesin carnot. Mesin carnot menerima energi kalor dari temperatur tinggi, energi kemudian diubah menjadi suatu kerja dan sisa energi tersebut dibuang ke sumber panas pada temperatur rendah. Sedangkan siklus refrigerasi carnot menerima energi pada temperatur rendah dan

mengeluarkan energi pada temperatur tinggi. Oleh sebab itu pada siklus pendingin diperlukan penambahan kerja dari luar.



Gambar 2.4. Daur refrigerasi carnot

Proses-proses yang membentuk daur refrigerasi carnot :

- Proses kompresi adiabatik (1-2)
- Proses pelepasan kalor isothermal (2-3)
- Proses ekspansi adiabatik (3-4)
- Proses penyerapan kalor isothermal (4-1)

Tujuan utama dari daur ini adalah penyerapan kalor dari sumber bersuhu rendah pada proses 4-1 yaitu penyerapan kalor *isothermal*.

2.2.2 Siklus Kompresi Uap Standar (Teoritis)

Siklus kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, dimana pada siklus tersebut mengasumsikan beberapa proses sebagai berikut :

1. Proses Kompresi

Proses kompresi berlangsung dari titik 1 ke titik 2. Pada siklus sederhana diasumsikan refrigeran tidak mengalami perubahan kondisi selama mengalir di jalur hisap. Proses kompresi diasumsikan *isentropik* sehingga pada diagram tekanan dan enthalpy berada pada satu garis entropi konstan, dan titik 2 berada pada kondisi super panas. Proses kompresi memerlukan kerja dari luar dan enthalpy uap naik dari h_1 ke h_2 , besarnya kenaikan ini sama dengan besarnya kerja kompresi yang dilakukan pada uap refrigeran.

2. Proses Kondensasi

Proses 2-3 merupakan proses kondensasi yang terjadi pada kondensor, uap panas refrigeran dari kompresor didinginkan oleh air sampai pada temperatur kondensasi, kemudian uap tersebut dikondensasikan. Pada titik 2 refrigeran pada kondisi uap jenuh pada tekanan dan temperatur kondensasi. Proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah panas yang dipindahkan selama proses ini adalah beda *enthalpy* antara titik 2 dan 3.

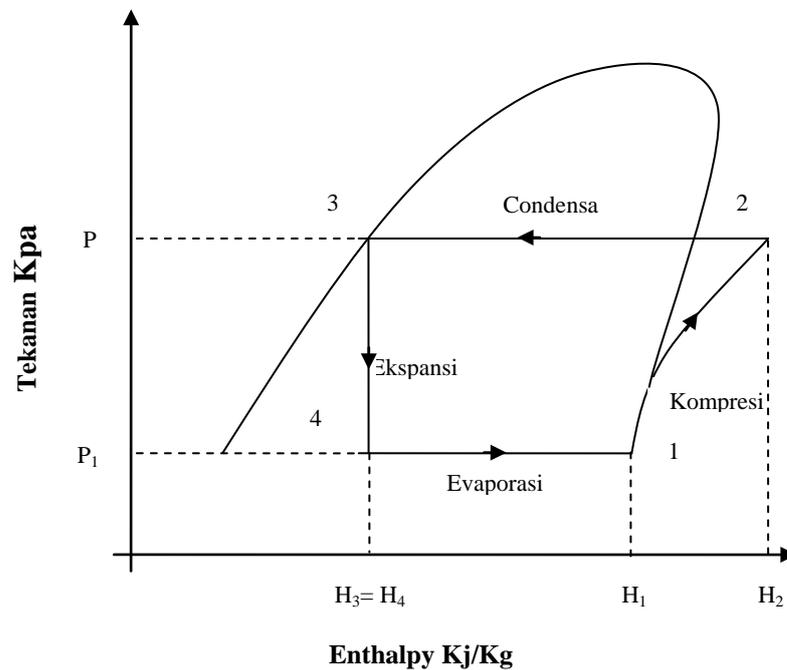
3. Proses Ekspansi

Proses ekspansi berlangsung dari titik 3 ke titik 4. Pada proses ini terjadi proses penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi (titik 3) menjadi tekanan evaporasi (titik 4). Pada waktu cairan di ekspansi melalui katup ekspansi atau pipa kapiler ke evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur

kondensasi ke temperatur evaporasi. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik dimana *enthalpy fluida* tidak berubah disepanjang proses. Refrigeran pada titik 4 berada pada kondisi campuran-uap.

4. Proses Evaporasi

Proses 4-1 adalah proses penguapan yang terjadi pada evaporator dan berlangsung pada tekanan konstan. Pada titik 1 seluruh refrigeran berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses 4-1 *enthalpy* refrigeran naik akibat penyerapan kalori dari ruang refrigerasi. Besarnya kalor yang diserap adalah beda *enthalpy* titik 1 dan titik 4 biasa disebut dengan efek pendinginan.

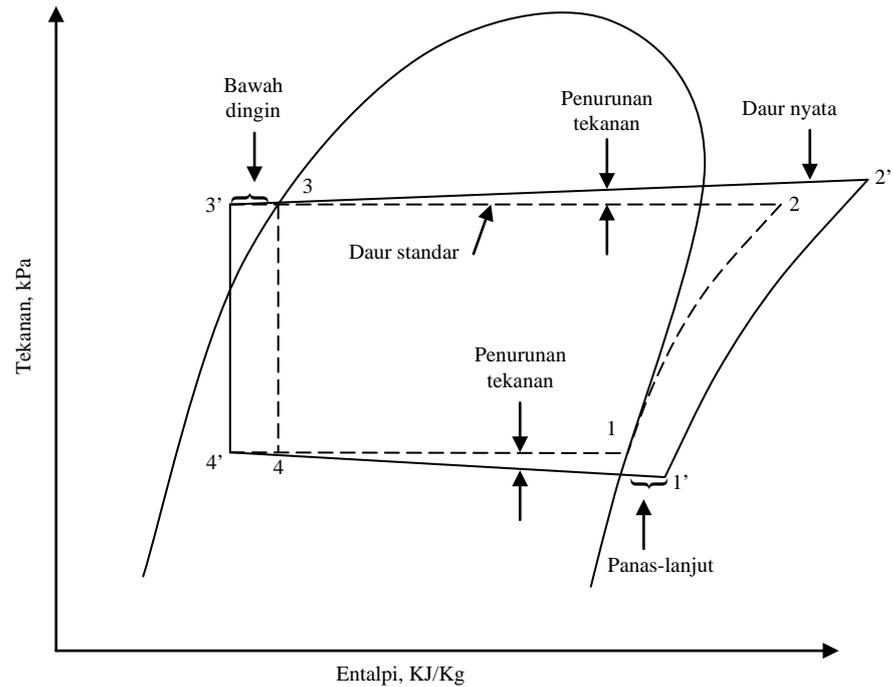


Gambar 2.5. Diagram tekanan enthalpy siklus kompresi uap standar

2.2.3 Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) barbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi-asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang di gunakan atau dapat juga karena penyerapan panas dijalur masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Demikian juga pada refrigeran cair mengalami pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler. Keadaan diatas adalah peristiwa normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki kompresor atau alat ekspansi dalam keadaan 100 % uap atau cair.

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan dalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresor pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar.



Gambar 2.6. Perbandingan siklus aktual dan siklus standar

Garis 4-1' diperlihatkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran pada saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1' diperlihatkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1'-2' adalah proses kompresi uap refrigeran didalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropic, yang berarti tidak ada perpindahan kalor diantara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropic maupun politropic. Garis 2'-3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor. Sedangkan pada garis 3-3' menunjukkan tekanan yang terjadi dijalur cair.

2.3. Komponen Utama Siklus Refrigerasi

2.3.1. 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 ke sisi 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* meningkatkan putaran gas tersebut dan membangkitkan tekanan. Dari *impeller* ini, gas mengalir ke sudu-sudu penghambur atau keruang 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.

2.3.2. 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 Condensor

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. Evaporative 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 temperaturnya. *Water-cooled condensor* ini ditempatkan di antara 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.

2.3.3. 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 trostel 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 kapilar

Pipa kapiler adalah pipa kecil berdiameter dalam 0,8 sampai 2,0 mm, dan panjangnya kurang dari 1 meter. Pipa kapiler dipasang sebagai pengganti katup ekspansi. Tahanan dari pipa kapiler ini yang digunakan untuk mentrostel dan menurunkan tekanan.

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.

2.3.4. Evaporator (Penguap)

Evaporator juga disebut: *boiler, freezer, froster, cooling coil, chilling unit* dan lain-lain. Fungsi evaporator adalah untuk menyerap panas dari udara atau air di dalam ruangan yang didinginkan. Kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap bahan pendingin gas dari evaporator, sehingga tekanan di dalam evaporator menjadi rendah dan vakum.

Evaporator mempunyai fungsi berkebalikan dengan kondensor. Evaporator terletak diantara pipa kapiler dan kompresor, yang merupakan daerah sisi tekanan rendah dari sistem. Evaporator dibuat dari bermacam-macam logam, tergantung dari bahan pendingin yang dipakai dan pemakaian dari evaporator sendiri. Logam yang banyak dipakai : besi, baja, tembaga, kuningan dan aluminium.

2.3.5. Refrigeran

2.3.5.1. 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 fasa 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 memiliki satu atau lebih atom dari salah satu halogen yang tiga (klorin, 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 senyawa halokarbon

Ketentuan Penomoran	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	Monoklorida	CCH_3Cl
R-113	Triklorotrifluoroetana	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$
R-114	Diklorotetrafluoroetana	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$

(Sumber : Stoecker W.F, *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*, Erlangga 1992, p. 279)

2. Senyawa Anorganik

Senyawa anorganik sering digunakan pada masa awal perkembangan bidang refrigerasi dan pengkondisian udara.

Tabel 2.2. Beberapa senyawa anorganik

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
717	Ammonia	NH ₃
718	Air	H ₂ O
729	Udara	-
744	Karbon dioksida	CO ₂
764	Sulfur dioksida	SO ₂

(Sumber : Stoecker W.F, *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*, Erlangga 1992, p. 280)

3. Senyawa Hidrokarbon

Banyak senyawa hidrokarbon yang digunakan sebagai refrigeran khususnya dipakai untuk industri perminyakan dan petrokimia.

Tabel 2. 3. Beberapa senyawa hidrokarbon

Ketentuan Penomoran	Nama Kimia	Rumus Kimia
50	Metana	CH ₃
170	Etana	C ₂ H ₆
290	Propana	C ₃ H ₈

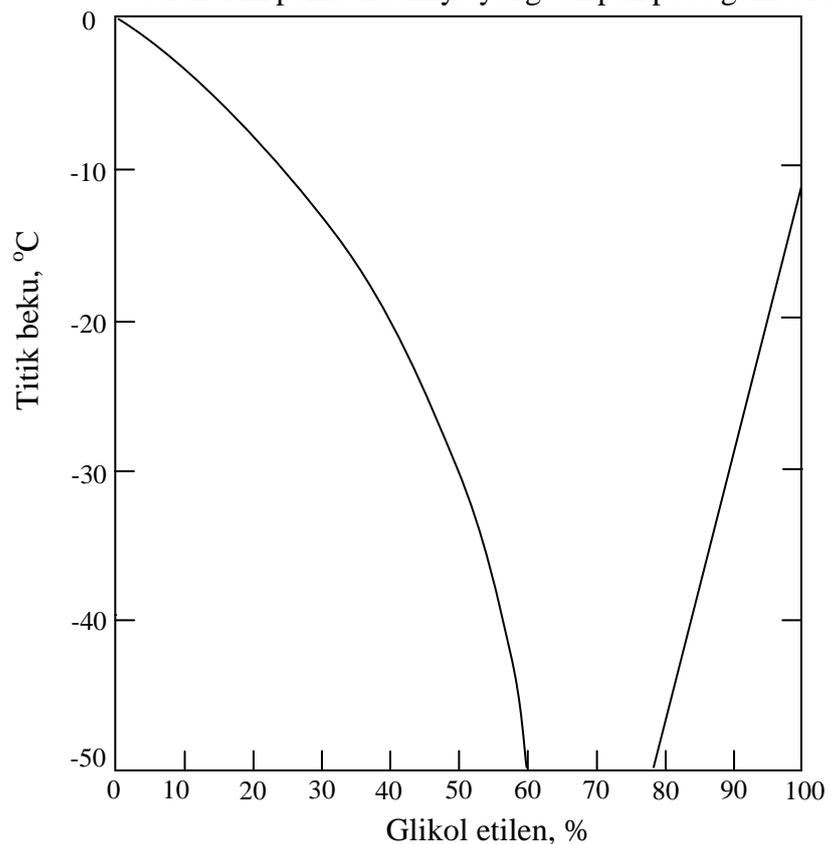
(Sumber : Stoecker W.F, *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*, Erlangga 1992, p. 280)

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.

2.3.5.1. 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 2.8.



Gambar 2.7. Titik beku larutan-larutan glikol etilen

2.3.5.1. Refrigeran Hidrokarbon

Pada tahun 1930-an hidrokarbon telah banyak digunakan sebagai refrigeran pada unit-unit pendingin. Beberapa tahun kemudian diperkenalkan refrigeran sintetik yang berkarakteristik dan sifat yang baik, antara lain, tidak berbau, tidak beracun, dan mudah diperoleh sehingga harganya murah. Refrigeran sintetik 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.

2.3.5.1. 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 lebih baik.
- c. Penggunaan refrigeran hidrokarbon lebih hemat sekitar 40 % dari refrigeran biasa (R-12).

2.3.5.1. Aspek Keamanan Penggunaan Refrigeran hidrokarbon

Penggunaan bahan hidro karbon harus memperhatikan petunjuk dan prosedur yang benar, khususnya pada saat pengisian dan perbaikan. Syarat untuk terjadinya penyalaan harus melengkapi ketiga unsur yakni adanya udara yang terdiri dari campuran yang tepat, bahan bakar, sumber api. Bila salah satu dari ketiga unsur itu tidak terpenuhi maka penyalaan pun tidak akan terjadi.

Konsentrasi isobutene dalam udara untuk dapat menyala :

- Batas bawah 1,7 % volume udara atau setara dengan $\pm 43 \text{ gr/m}^3$
- Batas atas 9,75 % volume udara atau setara dengan $\pm 202 \text{ gr/m}^3$

Yang perlu diperhatikan adalah pada lemari es yang menggunakan refrigeran hidrokarbon harus menggunakan komponen listrik yang tertutup atau memindahkan pada lokasi yang aman.

2.3.5.1. 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.

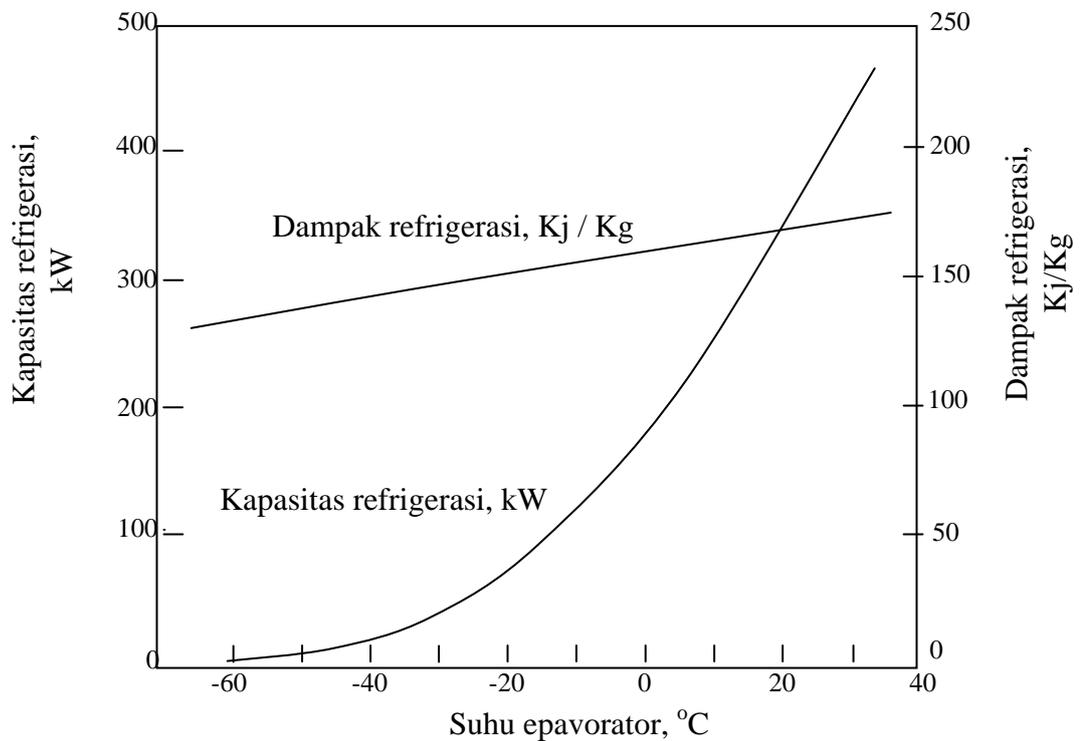
Sifat ini penting untuk kompresor hermetic, karena uap refrigeran berhubungan langsung dengan motor.

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. Kinerja Mesin Refrigerasi

2.4.1. Kapasitas Refrigerasi



Gambar 2.8. 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.

Kapasitas refrigerasi (q) adalah; $q = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$ ¹

2.4.2. 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)

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \longrightarrow \text{(KW)} \quad \text{.....}^2$$

$$\text{atau} \quad Q_e = U \times A \times \Delta t_m \quad \text{.....}^3$$

$$\text{dimana} \quad \Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{2,3 \log_{10} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad \text{.....}^4$$

¹ Stoecker W.F, Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara, Erlangga 1992, p. 200

² Ibid, p. 200

³ Aris Munandar W, Penyegaran Udara, PT.Pradya Paramit, 1981, p. 155

⁴ Ibid, p. 156

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

U = koefisien perpindahan kalor total (kcal/m²·jam⁰C)

A = luas bidang perpindahan kalor (m²)

Δt_m = perbedaan temperatur rata-rata (⁰C)

Δt_1 = selisih temperatur antara refrigeran masuk dan temperatur air pendingin pada seksi keluar (⁰C).

Δt_2 = selisih temperatur refrigeran super dingin dan temperatur air pendingin pada seksi keluar (⁰C).

Karena perubahan temperatur berpengaruh pada besarnya Q_e maka:

$$Q_e = f(t)$$

$$m^* = f(t)$$

2.4.3. 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)

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

$$\text{atau } Q_c = U \times A \times \Delta t_m \quad \dots\dots\dots 5$$

$$\text{dimana } \Delta t_m = 0,43 \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log_{10} \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad \dots\dots\dots 6$$

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 (⁰C)

Δt_1 = selisih temperatur antara refrigeran masuk dan temperatur air pendingin pada seksi keluar (⁰C).

Δt_2 = selisih temperatur refrigeran super panas dan temperatur air pendingin pada seksi keluar (⁰C).

Karena perubahan temperatur berpengaruh pada besarnya Q_c maka:

$$Q_c = f(t)$$

$$m^* = f(t)$$

⁵ Aris Munandar W, Opcit, 1981, p. 144

⁶ Ibid, p. 146

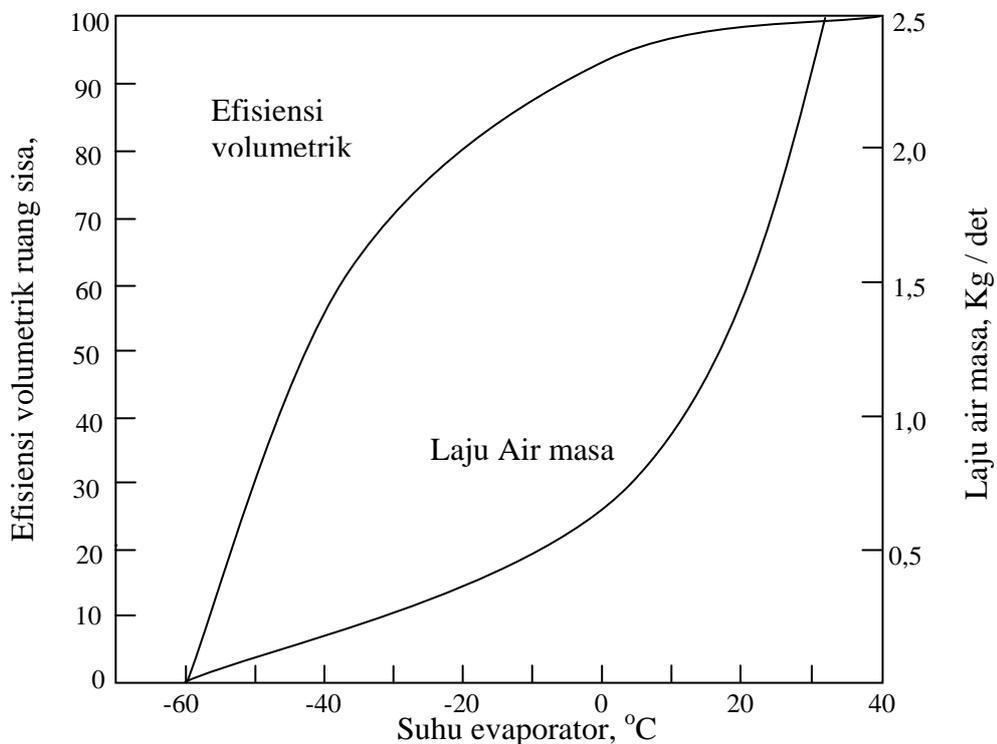
2.4.4. Laju Aliran Massa Refrigeran

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 :

$$\dot{m} = \text{laju volume langkah} \times \frac{\eta_{vc}/100}{v_{hisap}} \dots\dots\dots 7$$

Atau menggunakan perasamaan :

$$\text{Laju aliran masa } (\dot{m}) = \frac{Q_e}{(h_1 - h_4)} \dots\dots\dots 8$$



Gambar 2.9. Laju aliran massa refrigeran

⁷ Stoecker W.F, op. cit. p. 199

⁸ Ibid, p. 200

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.

2.4.5. Daya Kompresor

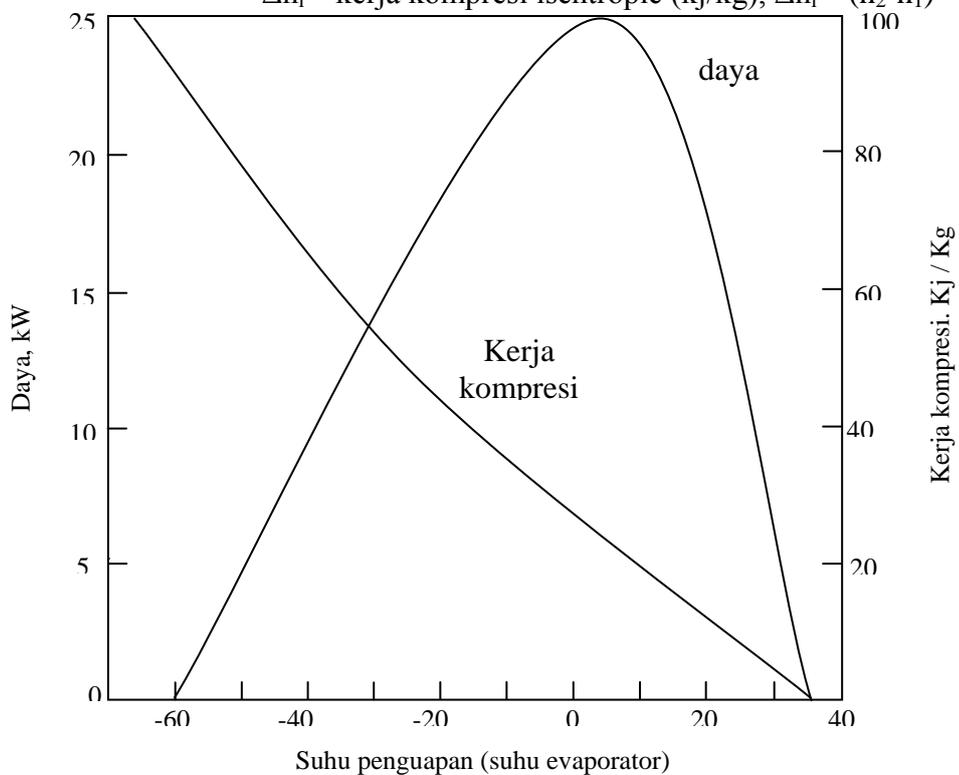
Daya yang dibutuhkan oleh suatu kompresor ideal adalah hasil kali antara laju aliran massa dan kenaikan *enthalpy* selama proses kompresi isentropik.

$$P = \dot{m} \Delta h_i \tag{9}$$

dengan P = daya kompresor (kW)

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

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



Gambar 2.10. Kerja kompresi dan daya kompresor

⁹ Ibid, p. 199

Gambar 2.11 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 2.11 menunjukkan harga nol di dua 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 (*regular*), dengan beban-beban refrigerasi yang berat, temperatur evaporator naik, sehingga kebutuhan daya kompresor akan naik sehingga menyebabkan motor kelebihan beban (*overload*).

2.4.6. Koefisien Prestasi Refrigerasi (Coefficient Of Performance)

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

$$\text{COP}_R = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \dots\dots\dots^{10}$$

Atau menggunakan persamaan:

$$\text{COP}_R = \frac{\text{output yang diinginkan}}{\text{input yang diperlukan}} = \frac{Q_H}{W_{bersih}}$$

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

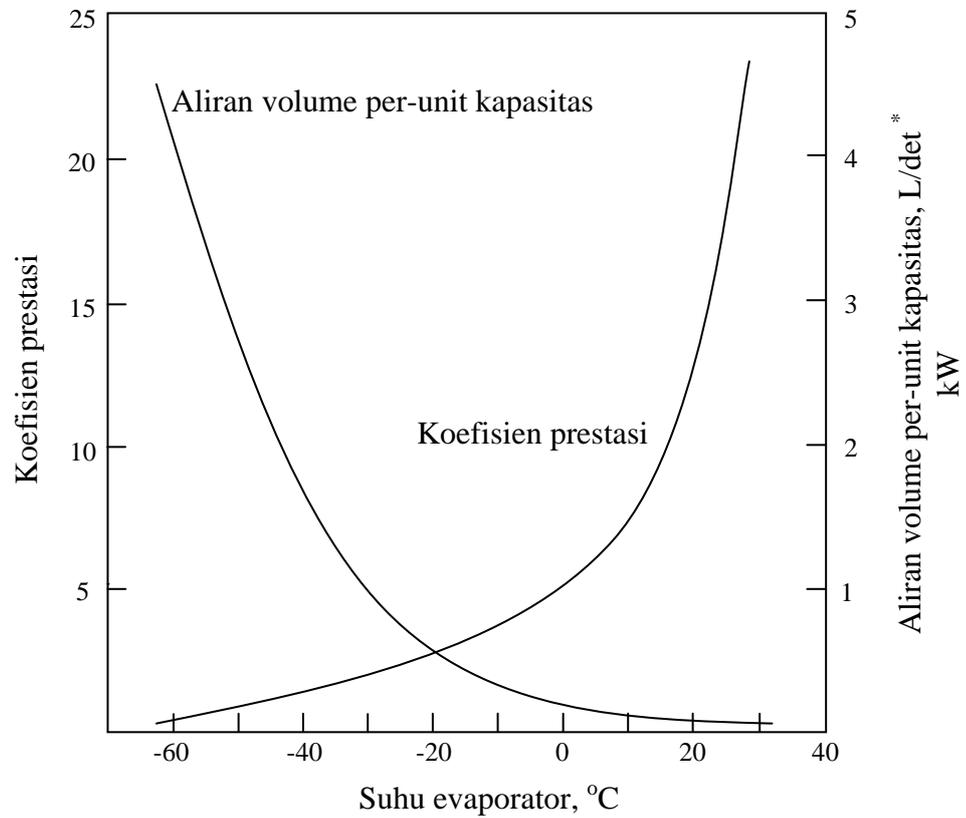
Koefisien prestasi dapat diturunkan dari kapasitas refrigerasi dan daya kompresor, hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 2.12, dapat dilihat kenaikan COP tersebut karena kenaikan temperatur evaporator.

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.

¹⁰ Ibid, p. 187

Untuk suatu kapasitas tertentu dengan temperatur evaporator yang rendah, harus dipompakan aliran volume yang besar karena volume spesifik yang tinggi.



Gambar 2.11. Koefisien prestasi (COP) dan aliran volume per KW refrigerasi