

BAB II

LANDASAN TEORI

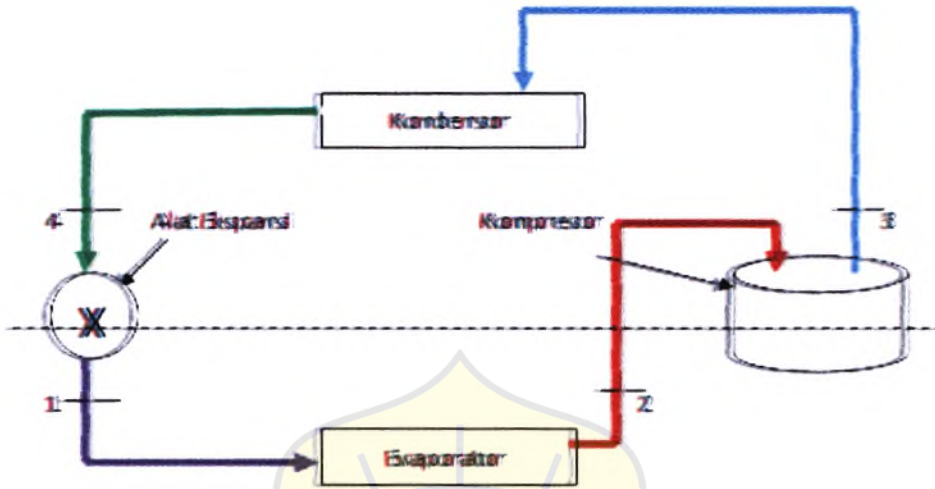
2.1 Sistem Kompresi Uap

2.1.1 Siklus refrigerasi sistem kompresi uap

Siklus refrigerasi ditunjukkan dalam Gambar 2.1 dan dapat dibagi menjadi tahapan-tahapan berikut :

- a) 1 – 2 (Gambar 2.1). Cairan refrigeran dalam evaporator menyerap panas dari sekitarnya, biasanya udara, air atau cairan proses lain. Selama proses ini cairan merubah bentuknya dari cair menjadi gas, dan pada keluaran evaporator gas ini diberi pemanasan berlebih/ superheated gas
- b) 2 – 3 (Gambar 2.1), Uap yang diberi panas berlebih masuk menuju kompresor dimana tekanannya dinaikkan. Suhu juga akan meningkat, sebab bagian energi yang menuju proses kompresi dipindahkan ke refrigeran.
- c) 3 – 4 (Gambar 2.1), Superheated gas bertekanan tinggi lewat dari kompresor menuju kondenser. Bagian awal proses refrigerasi menurunkan panas superheated gas sebelum gas ini dikembalikan menjadi bentuk cairan Refrigerasi untuk proses ini biasanya dicapai dengan menggunakan udara atau air. Penurunan suhu lebih lanjut terjadi pada pekerjaan pipa dan penerima cairan, sehingga cairan refrigeran didinginkan ke tingkat lebih rendah ketika cairan ini menuju alat ekspansi.
- d) 4 – 1 (Gambar 2.1) Cairan yang sudah didinginkan dan bertekanan tinggi melintas melalui peralatan ekspansi, yang mana akan mengurangi tekanan dan mengendalikan aliran menuju Kondenser harus mampu membuang panas gabungan yang masuk evaporator dan kondensor.

Dengan kata lain: $(1 - 2) + (2 - 3)$ harus sama dengan $(3 - 4)$. Melalui alat ekspansi tidak terdapat panas yang hilang maupun yang diperoleh.^[6]



Gambar 2.1 Gambaran skematis siklus refrigerasi kompresi uap

2.1.2 Macam – macam siklus kompresi uap

1. Daur Refrigerasi *Carnot*

Daur refrigerasi yang terpenting daur kompresi uap merupakan daur yang terbanyak digunakan dalam daur refrigerasi. Pada daur ini uap ditekan, dan kemudian diembunkan menjadi cairan, lalu ditekannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Pada bab ini studi akan berkisar dari daur *Carnot* ini ditemukakan dengan pertimbangan yang praktis.^[6]

Daur refrigerasi *Carnot* merupakan suatu pembatas yang tak dapat dilebihi jika melakukan kerja diantara dua suhu tertentu. Dari kajian termodinmika, daur *Carnot* dikenal terjadi pada mesin-mesin kalor. Mesin *Carnot* menerima energi kalor pada suhu tinggi, merubah sebagian menjadi kerja, dan kemudian mengeluarkan sisanya sebagai kalor pada suhu yang lebih rendah.^[6]

Daur refrigerasi *Carnot* merupakan keballikan dari mesin kalor tersebut, karena menyalurkan energi dari suhu rendah menuju suhu yang lebih tinggi. Daur refrigerasi membutuhkan kerja dari luar untuk dapat kerja.^[6]

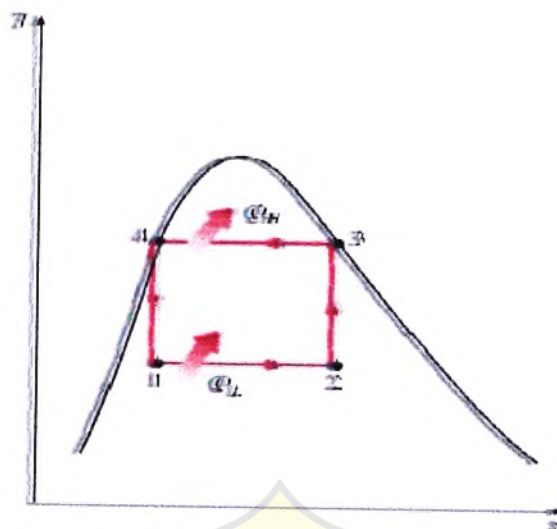
Proses-proses yang membentuk daur tersebut adalah :

- a) 1-2 Kompresi adiabatik
- b) 2-3 Pelepasan kalor isothermal
- c) 3-4 Ekspansi adiabatik
- d) 4-5 Pemasukan kalor isothermal

Daur refrigerasi *carnot* menghasilkan efisiensi sistem paling tinggi sehingga daur ini sering menjadi acuan. Tetapi proses kerja yang menggunakan daur refrigerasi *carnot* dalam aplikasinya tidak praktis dan sulit untuk diwujudkan. Seperti telah dibahas sebelumnya untuk proses penyerapan kalor dan pembuangan kalor secara isothermal tidak ada masalah [proses 1-2 dan 3-4], kondisi ini dapat dibuat tanpa mengalami kesukaran. Penyerapan kalor dengan evaporator dan pembuangan kalor dengan kondensor. Kesulitan muncul apabila kita mengkompresi fluida dengan kondisi dua fasa antara cairan dan uap [proses 2-3]. Kemudian kesulitan terjadi juga apabila kita mengekspansi fluida dalam keadaan cairan [proses 4-1].^[6]

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibuat solusi sebagai berikut;

- 2 Proses kompresi 2-3 (Gambar 2.2) harus berlangsung pada kondisi uap semua pada kompresor.
- 2 Proses ekspansi 4-1 (Gambar 2.2) fluida pada turbin diganti diekspansikan pada katup ekspansi.

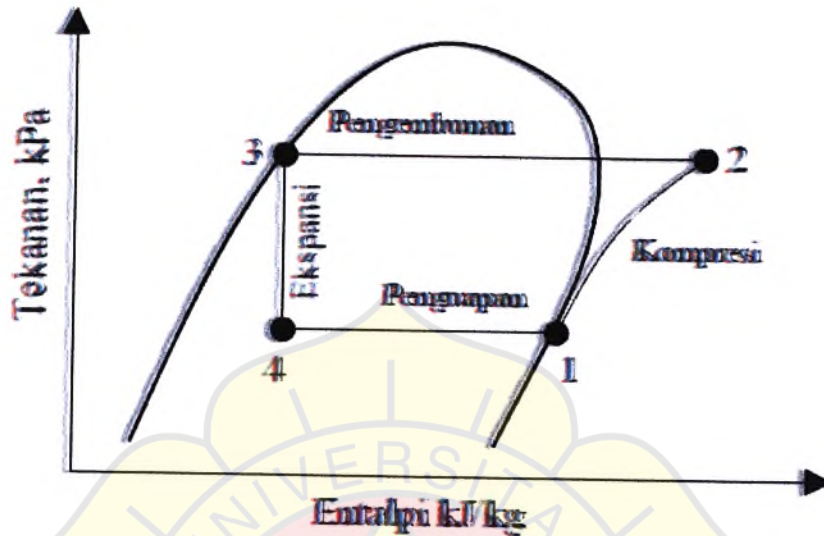


Gambar 2.2 Diagram daur refrigerasi *Carnot*

Daur *Carnot* ini terdiri dari proses – proses reversibal yang menjadikan efisiensinya menjadi lebih tinggi dari yang dapat dicapai oleh daur nyata. Hal yang penting dari Daur *Carnot* adalah daur ini merupakan pembandingan yang standar dan dengan daur tersebut memberikan pedoman tentang suhu-suhu yang harus dipertahankan sehingga diperoleh keefektifan yang maksimum.^[6]

Fluida kerja yang dipakai pada sistem refrigerasi kompresi uap adalah fluida kerja dengan karakteristik khusus yaitu mampu mengembun dengan baik, mampu menguap dengan baik dan mempunyai daya serap kalor yang baik. Sifat-sifat ini sangat dibutuhkan karena pas dengan jalannya proses sistem daur kompresi uap. Refrigen yang mudah mengembun akan melepas panas yang baik kelingkungan di kondensor Pada gambar terlihat refrigen akan melepas panas dalam proses pengembunan sebesar Q_H , pada akhir proses pengembunan refrigen sepenuhnya menjadi cair (titik 3) (gambar 2.4) . Sifat penguapan yang baik berpengaruh terhadap kemampuan yang sering dinamakan “efek pendinginan” atau “dampak refrigerasi”, sifat inilah yang paling penting untuk pemilihan refrigeran. Pada proses penguapan pada evaporator adalah proses penyerapan

kalor pada “ daerah pendinginan”, pada akhir proses semua refrigeran harus dalam kondisi uap semua (jenuh), jika masih terdapat cairan akan sangat merugikan pada proses kompresi.



Gambar 2.3 Diagram p-h daur kompresi uap.

2. Daur Kompresi Uap Standar (DKUS)

Proses – proses yang membentuk daur ini adalah :

- 1–2 kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- 2–3 pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigeran.
- 3–4 ekspansi tidak reversibel pada entalpi konstan, dan cairan jenuh menuju tekanan evaporator.
- 4-1 penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh.

3. Daur Kompresi Uap Nyata

Daur ini mengalami pengurangan efisiensi dibanding dengan daur standar. Perbedaan penting daur nyata dengan daur standar terletak pada penurunan tekanan di

dalam kondensor dan evaporator dalam pembawa pendinginan cairan yang meninggalkan kondensor dan dalam pemanasan lanjut uap yang meninggalkan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondenser dan evaporator. Tetapi pada daur nyata, terjadi memerlukan lebih banyak kerja dibanding dengan daur standar.

2.1.3 Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Komponen utama yang mendukung sistem daur refrigerasi dapat dijelaskan dengan gambar diagram siklus refrigerasi. Adapun komponen-komponen utama dari daur kompresi uap yaitu :

a. Kompresor

Kompresor adalah alat untuk memompa bahan pendingin (refrigeran) agar tetap bersirkulasi di dalam sistem. Fungsi dari kompresor adalah untuk menaikkan tekanan dari uap refrigeran sehingga tekanan pada kondensor lebih tinggi dari evaporator yang menyebabkan kenaikan temperatur dari refrigeran. Kompresor dirancang dan diproduksi untuk dapat dipakai dalam jangka waktu yang lama, karena kompresor merupakan jantung utama dari sistem refrigerasi kompresi uap dan juga kapasitas refrigerasi. Suatu mesin refrigerasi tergantung pada kemampuan kompresor untuk memenuhi jumlah gas refrigeran yang perlu disirkulasikan. Kompresor berfungsi untuk menghisap uap refrigeran yang berasal dari evaporator dan menekannya ke kondensor sehingga tekanan dan temperaturnya akan meningkat ke suatu titik dimana uap akan mengembun.^[2]

Berdasarkan cara kompresi, ada 5 jenis kompresor yang biasa digunakan pada sistem refrigerasi kompresi uap, yaitu :^[2]

1. Kompresor Torak (*Reciprocating Compressor*)
2. Kompresor Rotari (*Rotary Compressor*)
3. Kompresor Sentrifugal (*Centrifugal Compressor*)

4. Kompresor Screw
5. Kompresor Scroll

Sedangkan berdasarkan konstruksinya, ada 3 jenis kompresor yang biasa digunakan pada sistem refrigerasi kompresi uap, yaitu :

1. Kompresor *Hermetik*
2. Kompresor *SemiHermetik*
3. Kompresor *Open Type*

b. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor dari refrigeran dan Kondenser adalah komponen di mana terjadi proses perubahan fasa refrigeran, dari fasa uap menjadi fasa cair. Dari proses kondensasi (pengembunan) yang terjadi di dalamnya itulah maka komponen ini mendapatkan namanya. Proses kondensasi akan berlangsung apabila refrigeran dapat melepaskan kalor yang dikandungnya. Kalor tersebut dilepaskan dan dibuang ke lingkungan. Agar kalor dapat lepas ke lingkungan, maka suhu kondensasi (T_{kd}) harus lebih tinggi dari suhu lingkungan (T_{ling}). Karena refrigeran adalah zat yang sangat mudah menguap, maka agar dapat dia dikondensasikan haruslah dibuat bertekanan tinggi. Maka, kondensor adalah bagian di mana refrigeran bertekanan tinggi.^[2]

Berdasarkan jenis media pendingin yang digunakan kondenser dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Kondensor berpendingin air (*water cooled condenser*)
2. Kondensor berpendingin udara (*air cooled condenser*)
3. Kondensor evaporatif (*evaporative condenser*)

c. Evaporator

Evaporator adalah Suatu alat penukar kalor dimana cairan yang mudah menguap (refrigeran) digunakan sebagai media pemindah kalor dari ruang atau permukaan suatu produk yang sedang didinginkan. Proses penguapan (*evaporation*) itu terjadi karena cairan refrigeran menyerap kalor, yaitu yang merupakan beban refrigerasi sistem.^[2]

2.2 Refrigeran

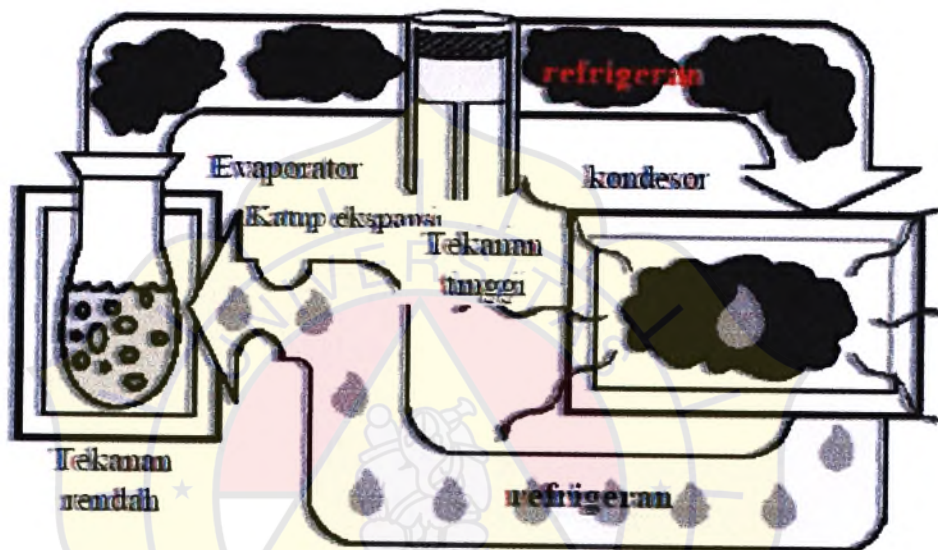
Refrigeran adalah suatu zat yang mudah diubah wujudnya dari gas menjadi cair atau sebaliknya. Fungsi refrigeran pada daur mesin refrigerasi adalah sebagai media pembawa kalor, yaitu refrigeran pada kondisi tekanan rendah akan menyerap kalor pada evaporator, kemudian kalor yang diserap akan dilepaskan pada kondensor (Gambar 2.4).^[2]

Refrigeran mempunyai syarat-syarat untuk keperluan proses pendinginan antara lain :

1. Tidak beracun dan tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak dapat terbakar atau meledak bila bercampur dengan udara, minyak pelumas dan sebagainya.
3. Tidak menyebabkan korosi terhadap bahan logam yang dipakai pada sistem pendingin.
4. Bila terjadi kebocoran mudah diketahui dengan alat-alat yang sederhana maupun dengan alat pendeteksi kebocoran.
5. Mempunyai titik didih dan tekanan kondensasi yang rendah.
6. Mempunyai laten penguapan yang besar, agar panas yang diserap evaporator sebesar-besarnya.

7. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.
8. Tidak merusak tubuh manusia.

Sifat paling penting dari pemilihan refrigeran adalah dampak refrigerasinya yaitu jumlah kalor yang dapat diserap pada evaporator per kg nya. Sifat yang lainnya adalah laju aliran uap hisap per kilowattnya, sifat ini akan menentukan pemilihan alat kompresinya.^[5]



Gambar 2.4 Aliran Refrigeran di dalam saluran pipa

2.2.1 Perpipaan air dan perpipaan refrigeran

a. Perpipaan air

Persyaratan untuk sistem distribusi air adalah pengaliran air ke seluruh sistem penukar kalor secara aman, dan dengan biaya (pemasangan dan pengoperasian) yang murah. Dalam memilih ukuran pipa refrigeran ada beberapa standar yang disarankan, yang sangat dipengaruhi oleh penurunan tekanan refrigeran (*refrigerant pressure drop*). Beberapa penurunan tekanan memang diharapkan, tetapi ukuran pipa harus menjamin bahwa hal tersebut tidak berlebihan sehingga mengakibatkan biaya operasi yang mahal.^[2]

Keuntungan penggunaan air dibanding udara, yaitu :

- Ukuran sumber kalor lebih kecil
- Diperlukan ruang lebih sedikit untuk pipa air dibanding untuk saluran udara
- Untuk suhu yang sangat tinggi, air lebih praktis daripada udara, karena ukuran pipa air yang kecil akan lebih mudah disekat daripada saluran udara.^[2]

b. Perpipaian refrigeran

Jalur buang (discharge line) Penurunan tekanan pada jalur ini terjadi akibat daya kompresor, karena untuk tekanan kondensor tertentu, setiap penambahan penurunan tekanan jalur memerlukan tekanan buang (*discharge pressure*) dari kompresor yang lebih tinggi. Tetapi, di luar batas ukuran optimum pipa, penambahan pembesaran (*enlargement*) akan menaikkan biaya awal melebihi dari yang dapat dihemat dengan umur pemompaan pada kompresor lebih panjang.^[2]

Jalur cair (liquid line) karena pipa ini mengalirkan cairan yang lebih tinggi rapat massanya dibandingkan uap pada bagian lain, maka diameternya akan lebih kecil. Penurunan tekanan pada jalur ini tidak mengganggu efisiensi daur, karena walaupun penurunan tekanan tidak terjadi pada jalur cair akan terjadi pada alat ekspansi. Penurunan tekanan pada jalur cair dibatasi karena berbagai alasan, apabila penurunan tekanan terlalu besar sebagian cairan berubah menjadi uap, sehingga alat ekspansi tidak bekerja dengan wajar.^[2]

Jalur isap (suction line) Sebagaimana dengan jalur buang, penurunan tekanan pada jalur ini menentukan efisiensi karena menurunkan tekanan yang memasuki kompresor. Tetapi ada batas berupa ukuran terbesar pipa jalur isap dapat dipilih, berdasarkan jumlah pelumas yang harus dialirkan oleh sistem refrigerasi dari evaporator

kembali ke kompresor. Kecepatan pada jakur isap tegak (*vertical suction line*) biasanya dipertahankan sekitar 6 m/det atau lebih tinggi, untuk memungkinkan minyak mengalir kembali.^[2]

2.2.2 Refrigeran Primer dan Sekunder

Refrigeran Primer yaitu refrigeran yang digunakan dalam sistem kompresi uap dan Refrigeran Sekunder adalah fluida yang mengangkut kalor dari bahan yang sedang didinginkan ke evaporator pada sistem refrigerasi. Refrigerasi sekunder mengalami perubahan suhu bila menyerap kalor dan membebaskannya pada evaporator, tetapi tidak mengalami perubahan fasa. Sifat-sifat refrigeran sekunder yaitu cairan-cairan yang digunakan untuk membawa energi kalor bersuhu rendah dari satu lokasi ke tempat lain. Secara teknik, air dapat berfungsi sebagai refrigeran sekunder, tetapi substansi yang ingin kita jajaki secara khusus adalah brine (larutan garam) dan larutan anti beku (*antifreezes*), yang merupakan larutan dengan suhu pembekuan di bawah 0° C. Antibeku yang paling banyak digunakan adalah larutan air dan glikol etilen, glikol propilen, atau kalsium klorida. Glikol-propilen mempunyai keistimewaan tidak berbahaya bila terkena bahan makanan.^[2]

Refrigeran yang paling banyak dipakai adalah hidrokarbon-fluorine (*fluorinated hydrocarbons*), tetapi ada sejumlah substansi lain yang dapat berfungsi baik sebagai refrigeran, termasuk di dalamnya ikatan-ikatan organik dan hidrokarbon.^[6]

2.2.3 Sifat-sifat refrigeran

Sifat-sifat refrigeran yang telah dibahas adalah karakteristik hubungan suhu-entropi cairan dan uap jenuh. Kelangkaan untuk kegiatan refrigerasi diperlukan sifat-sifat termodinamika lainnya. Semua refrigeran yang biasa dipakai untuk sistem kompresi uap

menunjukkan sifat yang hampir sama, walau nilai numerik dari masing-masing sifat berbeda dari satu refrigeran ke refrigeran lainnya.^[7]

Diagram tekanan-entalpi merupakan alat grafis yang biasa digunakan untuk menyatakan sifat refrigeran. Pada termodinamik lain, diagram-diagram entropi-suhu, tekanan-volume, atau entalpi-entropi memang cukup populer. Pada prakteknya, entalpi merupakan salah satu sifat terpenting yang harus diketahui, sehingga tekanan akan mudah ditentukan.

Terdapat berbagai jenis refrigeran yang digunakan dalam sistim kompresi uap. Suhu refrigerasi yang dibutuhkan sangat menentukan dalam pemilihan fluida. Refrigeran yang umum digunakan adalah yang termasuk kedalam keluarga *chlorinated fluorocarbons* (CFCs, disebut juga Freons): R-11, R-12, R-21, R-22 dan R-502.^[7]

Table 2.1 Sifat-sifat refrigeran yang biasa digunakan ^[7]

Refrigeran	Titik Didih (°C)	Titik Beku (°C)	Tekanan Uap (kpa)	Volume Uap (m ³ /kg)	Entalpi	
					Cair (kj/kg)	Uap (kj/kg)
R – 11	-23,82	-111	25,73	0,6117	191,4	385,43
R – 12	-29,79	-158	219,28	0,07702	190,72	347,96
R – 22	-40,76	-160	354,74	0,06513	185,55	400,83
R – 7	-33,3	-77,7	285,93	0,41949	808,71	487,76

Pemilihan refrigeran dan suhu pendingin dan beban yang diperlukan menentukan pemilihan kompresor, juga perancangan kondenser, evaporator, dan alat pembantu lainnya. Faktor tambahan seperti kemudahan dalam perawatan, persyaratan fisik ruang dan

ketersediaan utilitas untuk peralatan pembantu (air, daya, dll.) juga mempengaruhi pemilihan komponen.^[6]

Reaksi refrigeran dengan bahan yang digunakan untuk perpipaan, tangki-tangki, dan kompresor tidak selalu mempengaruhi pemilihan refrigeran, tetapi refrigeran yang digunakan seringkali menentukan bahan yang digunakan di dalam sistem. Logam-logam tertentu dapat dirusakkan oleh refrigeran. Amonia misalnya, bereaksi dengan tembaga, kuningan, atau paduan-paduan tembaga lainnya jika terdapat kandungan air. Karena bereaksi dengan seng (*zinc*), tetapi tidak dengan tembaga, aluminium, besi, atau baja. Akan tetapi bila terdapat sedikit air, halokarbon menyerang karet alam; oleh karena itu harus digunakan bahan sintetik untuk gasket dan untuk keperluan perapat lainnya^[6]

2.3 Penukar Kalor

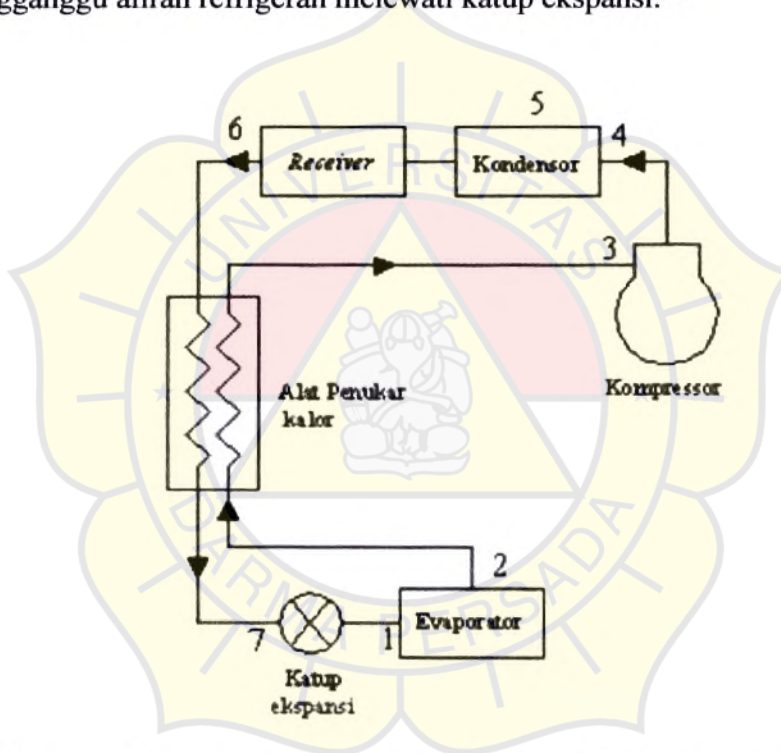
Beberapa sistem refrigerasi dilengkapi dengan penukar kalor jalur cair-ke-hisap (*liquid-to-suction*), yang menurunkan suhu (*sub cools*) cairan dari kondensor dengan uap hisap (*suction vapor*) yang datang dari evaporator.

Cairan 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*).^[3]

Dibandingkan dengan daur kompresi uap standar, sistem 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 refrigerasi dapat ditingkatkan, tetapi kompresi terdorong jauh masuk ke dalam daerah panas-lanjut, sehingga kerja kompresi akan lebih besar dibandingkan dengan yang dekat dengan garis uap-jenuh. Dari hal kapasitas, titik 1

(Gambar 2.6) mempunyai rapat massa lebih tinggi dibanding titik 6, sehingga volume yang dapat dipompa dari titik 6 (Gambar 2.6) tersebut lebih sedikit. Sehingga perbaikan potensial pada prestasi mendapat reaksi yang berlawanan.^[3]

Tetapi sampai batas tertentu, penukar kalor dapat diterima dalam situasi dimana uap yang masuk ke kompresor harus dipanaskan lebih lanjut, untuk menjaga agar tidak ada cairan yang terbawa. Alasan praktis lain penggunaan penukar kalor adalah untuk membawahkan cairan dari kondensator untuk mencegah terbentuknya gelembung uap yang mengganggu aliran refrigeran melewati katup ekspansi.^[4]



Gambar 2.5 Sistem refrigerasi dengan penukar kalor untuk membawahkan cairan dari kondensator.

2.4 Coefficient of Performance (COP)

Prestasi dari mesin biasanya dinyatakan dalam Coefficient of Performance (COP). COP digunakan untuk melihat kemampuan dari refrigeran yang digunakan untuk evaporasi dengan modal kerja kompresor.^[2]

$$\text{COP} = \frac{\text{Panas yang diserap oleh evaporator}}{\text{Kerja kompresor}}$$

2.4.1 Koefisien prestasi (coefficient of performance) dan laju air volume per-kilowatt refrigerasi.

Koefisien prestasi dapat diturunkan dari kapasitas refrigerasi dan daya. Hasil yang memperlihatkan kenaikan koefisien tersebut karena naiknya suhu evaporator. Laju air volume per-satuan kapasitas refrigerasi merupakan pertanda ukuran fisik atau kecepatan kompresor yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kW refrigerasi. Untuk suatu kapasitas tertentu dengan suhu evaporator yang rendah, harus dipompakan aliran volume yang besar karena volume spesifik yang tinggi.^[2]

Kualitas unjuk kerja suatu sistem refrigerasi dapat dinyatakan dengan suatu angka hasil perbandingan antara energi yang diserap dari udara ruang dan energi yang digunakan untuk mengkompresi gas di kompresor. Perbandingan kedua energi tersebut lazim disebut sebagai Koefisien unjuk kerja dari siklus refrigerasi atau *Coefficient of performance (COP)*.^[2]

2.5 Teori Perhitungan

Dengan bantuan diagram entalpi-tekanan, besaran yang penting dalam daur kompresi uap dapat diketahui. Besar-besaran ini adalah kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi (*COP*), laju alir massa untuk setiap kilowatt refrigerasi, dan daya per kilowatt refrigerasi.^[2]

Kerja kompresi (kilojoule per kilogram) merupakan perubahan entalpi pada proses 1-2 atau $h_1 - h_2$. Hubungan ini diturunkan dari persamaan aliran energi yang mantap.^[2]

$$h_1 + q = h_2 + w \dots\dots\dots (2.1)^{[2]}$$

Dengan perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, karena dalam kompresi diabatik perpindahan kalor q nilainya nol, kerja w sama dengan $h_1 - h_2$. Perbedaan entalpi merupakan besaran negatif, yang menunjukkan bahwa kerja diberikan pada sistem. Walaupun kompresor tersebut dari jenis torak, dimana alirannya terputus-putus, tetapi proses 1-2 masih menyatakan kerja kompresor. Pada jarak yang tak jauh dari kompresor aliran menjadi mulus dan mendekati mantap.^[2]

Pelepasan kalor dalam kilojoule per kilogram adalah perpindahan kalor dari refrigeran pada proses 2-3, yaitu $h_3 - h_2$. Pengetahuan ini juga berasal dari persamaan aliran energi yang mantap, dimana energi kinetik, energi potensial, dan kerja dikeluarkan. Harga $h_3 - h_2$ negatif menunjukkan bahwa kalor dikeluarkan dari refrigeran. Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk merancang kondensor, dan untuk menghitung besarnya aliran cairan pendingin kondensor.^[2]

Dampak refrigerasi dalam kilojoule per kilogram adalah kalor yang dipindahkan pada proses 4-1, atau $h_1 - h_4$. Besarnya harga bagian ini sangat penting diketahui karena proses ini merupakan tujuan utama dari seluruh sistem.^[2]

Koefisien prestasi dari daur kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi :

$$\text{Koefisien prestasi} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots (2.2)^{[2]}$$

Kadangkala laju aliran volume dihitung pada seksi masuk kompresor, atau titik keadaan 1 kw. Laju alir volume merupakan petunjuk kasar ukuran fisik kompresor.

Daya untuk setiap kilowatt refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi, dan suatu sistem refrigerasi yang efisien memiliki nilai daya per kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi.^[1]

2.5.2 Prestasi evaporator

Untuk mensimulasikan sistem, kita menaruh perhatian pada prestasi total evaporator. Untuk suatu evaporator tertentu, salah satu bentuk kelakuan atau sifatnya dapat dilihat dalam gambar 2.7 kecenderungan umum yang terlihat dalam gambar 2.7 adalah (1) bahwa kapasitas naik dengan menurunnya suhu evaporator dan atau naiknya suhu air masuk, dan (2) bahwa kapasitas menurun bila laju alir air meurun dengan suhu-masuk tertentu.^[2]

Bila harga U evaporator tetap konstan diseluruh daerah kerja yang tampak dalam gambar 2.8, garis-garis yang menunjukkan suhu tertentu air yang masuk akan berupa garis lurus. jika tidak, garis tersebut akan sedikit membengkok keatas yang menandakan bahwa harga U naik seiring dengan naiknya kapasitas refrigeran.^[2]

Untuk simulasi matematik berikut diperlukan suatu persamaan yang menyatakan kapasitas evaporator yang terdapat dalam gambar 2.7 Persamaan dapat dimulai :^[1]

$$Q_{\text{cair}} = \dot{m}_{\text{air}} \cdot C_{p\text{air}} (T_{\text{cairin}} - T_{\text{cairout}}) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q_e = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(2.4)$$

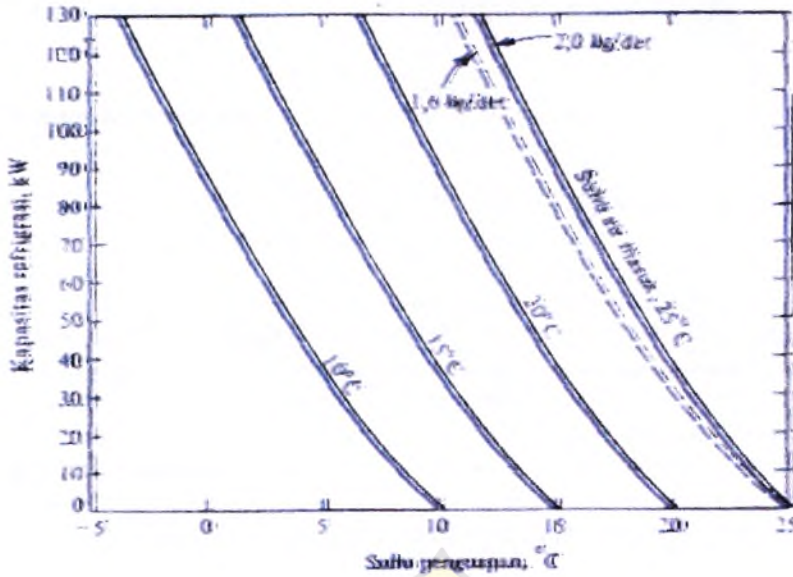
Dimana : Q_{cair} = Laju perpindahan kalor air di evaporator

Q_e = Laju perpindahan kalor di evaporator

\dot{m}_{air} = Laju air

\dot{m}_{ref} = Laju refrigeran

$C_{p\text{air}}$ = Kalor spesifik



Gambar 2.6 Kapasitas refrigerasi sebuah pendingin air dengan refrigeran 22

2.5.3 Prestasi kondensor

Pengungkapan yang tepat tentang prestasi pemindahan kalor suatu kondensor cukup rumit, karena uap refrigeran yang memasuki kondensor berada dalam keadaan panas lanjut dan seiring dengan pengembunan yang terjadi didalam pipa, fraksi cairan dan uap selalu berubah disepanjang pipa kondensor. Persamaan dapat dimulai :^[1]

$$Q_{\text{cair}} = \dot{m}_{\text{air}} \cdot c_{p\text{air}} (T_{\text{cairin}} - T_{\text{cairout}}) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Q_c = \dot{m}_{\text{ref}} \cdot (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana : Q_{cair} = Laju perpindahan kalor air di evaporator

Q_c = Laju perpindahan kalor di evaporator

\dot{m}_{air} = Laju air

\dot{m}_{ref} = Laju refrigeran

$C_{p\text{air}}$ = Kalor spesifik

2.5.4 Laju aliran Refrigeran

Perhitungan laju aliran refrigeran ini didapat dari daya kompresor dibagi nilai-nilai *enthalpy*.

$$\frac{\text{Daya kompresor}}{(h_2 - h_1)} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.5.5 Kapasitas Refrigeran

Kapasitas refrigeran menggunakan persamaan rumus laju aliran refrigeran dikali nilai-nilai *enthalpy*.

$$\text{Laju aliran refrigeran} \cdot (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (2.8)$$

