

**HAND OUT**

**MATA KULIAH  
TEKNIK REFRIGERASI  
(RT 441)**



**Disusun oleh:**

**Drs. Ricky Gunawan, MT.  
Ega Taqwali Berman, S.Pd., M.Eng.**

**JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA  
2010**

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran **Ilahi Robbi** yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Berkat taufik dan hidayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga bahan ajar mata kuliah Teknik Refrigerasi ini dapat terselesaikan.

Bahan ajar ini disusun untuk digunakan sebagai pedoman bagi Dosen maupun mahasiswa dalam melaksanakan proses pembelajaran mata kuliah Teknik Refrigerasi di Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI. Materi yang ada di dalam bahan ajar ini berisi ringkasan dan pokok-pokok bahasan yang penting, sedangkan penjelasan dan materi lainnya akan diberikan dalam kegiatan tatap muka di kelas dan dapat pula dibaca pada buku-buku literatur yang diacu. Selain itu, mahasiswa juga dituntut untuk mengkaitkan mata kuliah ini dengan mata kuliah lain yang mendasarinya terutama Termodinamika, Perpindahan Kalor dan Mekanika Fluida. Guna mendukung proses pembelajaran mata kuliah ini, mahasiswa juga wajib mengikuti praktikum Teknik Refrigerasi yang dilaksanakan dalam jadwal terpisah.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu sehingga bahan ajar ini dapat terselesaikan. Penulis berharap adanya saran yang membangun dari semua pembaca sehingga bahan ajar ini dapat menjadi sempurna sesuai yang diharapkan.

Bandung, 11 Januari 2010

Ttd

Penulis

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Sejarah refrigerasi**

Refrigerasi adalah proses pengambilan kalor atau pemindahan kalor dari tempat yang tidak diinginkan ke tempat lain melalui perubahan fase (wujud) suatu cairan. Dengan kata lain refrigerasi adalah proses untuk menghasilkan kondisi dingin atau menjaga sesuatu tetap dingin. Sudah sejak 1000 tahun sebelum Masehi, berbagai bangsa di beberapa negara telah berusaha untuk mendinginkan ruangan atau makanan. Orang Mesir menguapkan air di atas rumah, sehingga suhu di dalam rumah menjadi dingin. Orang India mengipasi air agar lebih cepat menguap. Udara disekitarnya akan menjadi dingin karena air yang menguap mengambil kalor dari sekitarnya. Bangsa Yunani mengambil salju dari puncak gunung untuk mendinginkan makanan, minuman, dan ruangan. Pada tahun 1850 mulai dipakai mesin pendingin yang memakai kompresor dengan bahan pendingin udara. Karena kapasitas mendinginkan dari udara rendah, kemudian dipakai jenis bahan pendingin yang lain yaitu amonia. Keburukan amonia yaitu beracun, maka penggunaannya untuk lemari es masih sangat terbatas. Manusia masih mencari bahan pendingin lain yang lebih aman dan sempurna. Sekarang hampir semua lemari es memakai kompresor dengan bahan pendingin R-12 atau R-134a (yang lebih dikenal dengan sebutan freon).

### **B. Aplikasi Teknik refrigerasi**

#### **1. Pengawetan bahan makanan**

Hal utama dalam industri makanan adalah persiapan, penyimpanan dan distribusi. Beberapa jenis makanan dapat disimpan dalam keadaan mentah seperti misalnya buah-buahan dan sayuran tertentu dan ada juga jenis makanan yang harus diolah dulu sebelumnya. Pendinginan seringkali merupakan satu faktor tertentu dalam proses ini, misalnya untuk:

##### **a. Produk harian**

Produk harian yang utama adalah susu, es krim dan mentega. Ditempat pemerahan susu, susu harus segera didinginkan dalam tangki pendingin, temperaturnya sekitar 50<sup>0</sup> sampai 60<sup>0</sup> F. Setelah mengalami pasteurisasi, susu itu

didinginkan lagi pada temperatur antara  $36^{\circ}$  sampai  $38^{\circ}$  F. Dalam pembuatan es krim bumbu-bumbunya dipasteurisasi dulu, kemudian dicampur dengan susu, didinginkan pada temperatur antara  $20^{\circ}$  sampai  $25^{\circ}$  F. Pada temperatur itu campuran tadi jadi mengental, lalu dimasukkan ke dalam wadah kemasan. Wadah itu ditaruh di dalam ruang pendingin dengan temperatur antara  $-10^{\circ}$  F sampai  $-20^{\circ}$  F. Pada penyimpanan mentega dan keju pendinginan dapat mempertahankan kualitas bahkan memperpanjang umurnya.

b. Kemasan daging

Segera setelah disembelih hewan potong dibawa masuk ke dalam ruangan yang didinginkan untuk dipotong-potong. Untuk penyimpanan jangka panjang, daging tetap diruang pendingin yang bertemperatur  $32^{\circ}$  sampai  $34^{\circ}$  F. Daging mungkin juga dikemas dulu dalam ukuran tertentu untuk dibekukan dan dipasarkan. Setelah beku temperatur daging dipertahankan antara  $0^{\circ}$  F sampai  $-10^{\circ}$  F.

c. Produk ikan

Ikan segera didinginkan begitu ditangkap sampai perahu penangkap ikan kembali ke pelabuhan, untuk penanganan selanjutnya. Sebelum ditemukannya teknik pendingin, ikan-ikan hasil tangkapan hanya ditaburi es. Membekukan ikan di atas kapal hasilnya lebih baik dibandingkan dengan cara ditaburi es atau dengan cara mendinginkannya setelah tiba di pelabuhan. Cara lain yang sedang dikembangkan adalah dengan mencelupkan ikan itu ke dalam larutan air garam dan membekukannya pada temperatur  $5^{\circ}$  F.

d. Produk minuman

Pendinginan benar-benar diperlukan untuk memproduksi minuman seperti sari buah, soft drink, dan lain-lain. Rasa lezat minuman dapat ditingkatkan bila disajikan dalam keadaan dingin. Sari buah jadi populer karena selain harganya murah juga berkualitas tinggi jika dibandingkan dengan membuatnya sendiri. Sari buah yang banyak didapat dipasaran adalah sari buah apel, jeruk, anggur dan nanas. Temperatur pendinginan sari buah dipertahankan pada temperatur  $0^{\circ}$  F selama pengangkutan dan penyimpanan. Selain buah-buahan, telur, kacang-kacangan juga sayuran dapat diperpanjang usianya bila disimpan pada temperatur sedikit di atas  $32^{\circ}$  F.

e. Lemari es dan freezer

Makin sibuknya kegiatan harian orang-orang di kota besar, maka mereka berbelanja sekaligus keperluan dapur untuk jangka waktu tertentu. Oleh karena itu mereka menggunakan lemari es dan atau freezer sebagai tempat penyimpanannya.

## 2. Pabrik kimia

Fungsi utama pendinginan di sini adalah:

- a. Untuk pemisahan gas di pabrik petrokimia dengan temperatur sangat rendah yaitu  $-250^{\circ}\text{F}$ .
- b. Untuk pendinginan gas di pabrik amonia buatan temperatur antara  $0^{\circ}$  dan  $50^{\circ}\text{F}$ .
- c. Untuk pengeringan udara di pabrik obat-obatan.
- d. Untuk pembekuan larutan di industri minyak.
- e. Untuk penyimpanan gas bertekanan rendah dalam bentuk cair, misalnya LPG didinginkan pada temperatur  $-250^{\circ}\text{F}$  dan disimpan pada tekanan 10 psig.
- f. Untuk proses pendinginan pada pelapisan kertas lilin dengan temperatur  $10^{\circ}\text{F}$ .
- g. Untuk mengeluarkan panas dari suatu reaksi di pabrik karet tiruan.
- h. Untuk penyeimbang larutan di pabrik tekstil dan karet.
- i. Untuk fermentasi/proses peragian di pabrik alkohol; dan penisilin.
- j. Untuk pendinginan dan pengawetan di pabrik-pabrik obat-obatan dan bahan peledak.

## 3. Pemakaian khusus

Dengan semakin luasnya penerapan teknik pendinginan, maka kita akan menjumpainya dalam bidang:

- a. Perlakuan dingin terhadap logam

Untuk membantu mendapatkan dimensi ukuran suatu alat diperlukan perlakuan dingin dengan temperatur  $-145^{\circ}\text{F}$ . Merendam baja karbon selama 30 menit pada temperatur  $-125^{\circ}\text{F}$  akan meningkatkan kekerasannya dan umur pemakaiannya. Umur alat potong akan dapat diperpanjang dengan cara mendinginkannya pada temperatur  $-150^{\circ}\text{F}$  selama 15 menit. Kekuatan daya magnet dan kestabilannya dapat ditingkatkan dengan cara perlakuan dingin pada temperatur  $-120^{\circ}\text{F}$  selama 8 jam. Pada teknik pengecoran, model merkuri padat (*frozen mercury pattern*) dapat menghasilkan hasil akhir dengan toleransi kecil dan akurat. Model merkuri padat dibuat dengan cara menuang merkuri ke dalam cetakan pada saat merkuri membeku pada temperatur  $-10^{\circ}\text{F}$ . Lempengan merkuri padat itu yang jadi model untuk cetakan.

b. Kedokteran

Pabrik obat-obatan dan farmasi memerlukan teknik pendinginan, juga pada pembiusan pada saat operasi (*surgical anesthesia*). Keuntungan dipakainya teknik pendinginan saat operasi adalah semua protoplasma dibius untuk mencegah adanya kejutan akibat operasi. Plasma darah dan antibiotik dibuat dengan menggunakan suatu metoda yang disebut "*freeze drying*". *Freeze drying* adalah mengeluarkan air dengan cara menyublim pada temperatur dan tekanan rendah, dengan maksud untuk mengurangi kerusakan yang mungkin terjadi pada jaringan-jaringan darah jika dibandingkan dengan mengeluarkan air pada temperatur yang tinggi.

c. Arena es skating

Pemain es skating memerlukan arena/lapangan es luas, lapangannya itu berlantaikan air yang dibekukan. Di bawah lantai es itu terdapat pipa aliran refrigeran dingin atau pipa *brine* (air garam).

d. Konstruksi

Pada lapangan kerja ini pendinginan digunakan untuk mendinginkan beton agar tidak retak-retak dan juga untuk membekukan tanah yang akan dievakuasi. Hal ini dilakukan untuk pekerjaan besar seperti untuk bendungan-bendungan karena besi beton akan mengeluarkan panas pada saat beton mengeras, jika panasnya tidak dikeluarkan beton akan mengembang dan terjadi retak-retak. Betonan dapat saja didinginkan dengan cara mendinginkan semua bahan-bahan beton sebelum dicampur jadi satu atau dengan jalan menanam pipa-pipa air dingin di dalam betonan tersebut.

e. Penawaran air laut

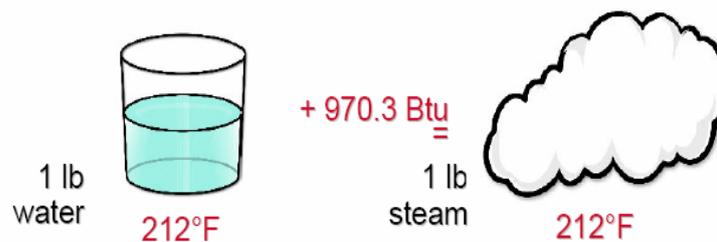
Penyediaan air tawar di masa mendatang akan merupakan masalah nasional, oleh karena itu dicari cara untuk membuat air laut menjadi air tawar. Penawaran air laut itu dengan jalan membekukan es yang relatif bebas garam diambil dari air laut, memisahkan dari air garamnya dan mencairkannya kembali agar menjadi tawar (*fresh water*).

## BAB 2

### DASAR – DASAR REFRIGERASI

#### A. Zat (Benda)

Wujud (fase) benda yang ada dipermukaan bumi terdiri atas tiga keadaan yaitu padat, cair dan gas. Diantara ketiganya itu terdapat perbedaan sebagai berikut: (1) benda dalam keadaan padat memiliki bentuk dan isi yang tetap karena molekul-molekulnya saling merapat satu sama lain. (2) benda dalam keadaan cair isinya tetap dan bentuknya berubah-ubah menyesuaikan dengan tempatnya. (3) benda dalam keadaan gas bentuk dan isinya selalu berubah-ubah. Walaupun ketiga benda tersebut memiliki fase yang berbeda-beda, tetapi salah satu fase benda itu bisa berubah ke fase benda yang lainnya. Sebagai contoh air (cair) dapat berubah menjadi uap air (gas).



Gambar 2.1 Perubahan wujud benda

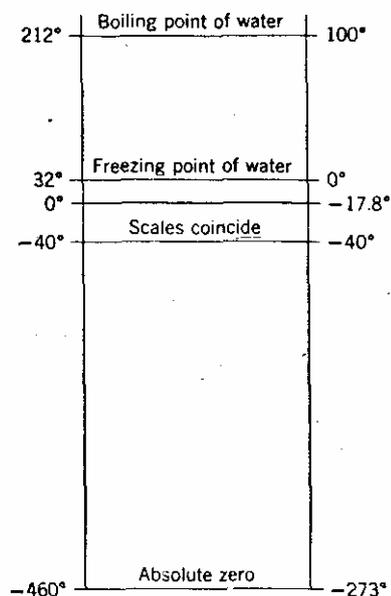
Proses perubahan fase suatu benda bergantung pada temperatur dan tekanan disekitarnya. Beberapa proses perubahan fase benda adalah sebagai berikut :

1. Membeku, yaitu perubahan dari cair ke padat
2. Mencair, yaitu perubahan dari padat ke cair
3. Menguap, yaitu perubahan dari cair ke gas (uap)
4. Mengembun, yaitu perubahan dari uap ke cair
5. Menyublim, yaitu perubahan dari padat ke uap tanpa melalui proses perubahan ke cair.

Pada sistem refrigerasi proses perubahan fase benda sangat berperan besar, secara khusus dilakukan oleh refrigeran. Refrigeran adalah bahan pendingin berupa fluida yang digunakan untuk menyerap kalor melalui perubahan fase cair ke gas (menguap) dan membuang kalor melalui perubahan fase gas ke cair (mengembun).

## B. Kalor

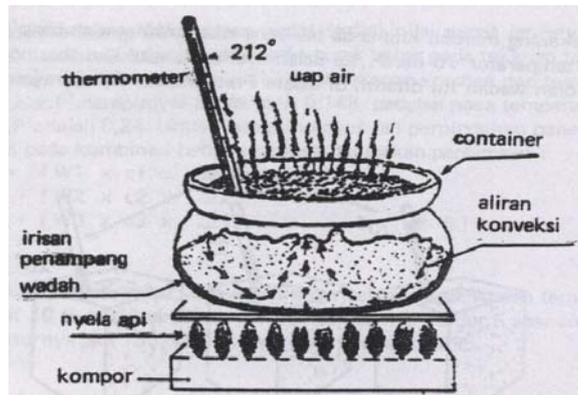
Kalor adalah salah satu bentuk energi yang tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Kalor dapat diubah bentuknya menjadi energi lain. Kalor hanya dapat dipindahkan jika terdapat perbedaan temperatur atau perbedaan tekanan. Kalor akan mengalir dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah. Kejadian ini akan terus berlangsung sampai diperoleh keseimbangan temperatur. Temperatur adalah tingkatan atau derajat panas dari suatu benda yang umumnya diukur dalam satuan derajat Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) atau Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Jika kalor ditambahkan pada suatu benda maka temperatur benda itu akan naik. Begitu pula sebaliknya jika kalor dikurangi/dipindahkan dari suatu benda maka temperatur benda itu akan turun atau menjadi rendah. Temperatur rendah itulah yang disebut dingin.



Gambar 2.2 Perbandingan skala temperatur Fahrenheit da Celcius.  
(Sumber: Dossat, 1961:13)

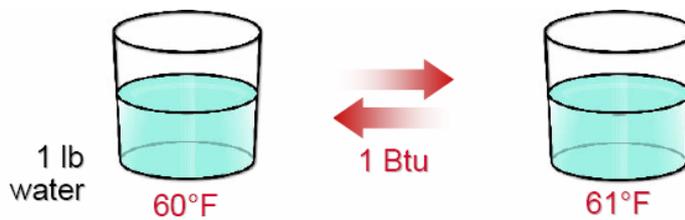
Proses perpindahan kalor pada suatu benda terjadi dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan kalor melalui suatu zat yang sama tanpa disertai perpindahan bagian-bagian dari zat itu. Contoh: besi yang dipanaskan. Konveksi adalah perpindahan kalor melalui media gas atau cairan, sebagai contoh udara di dalam lemari es dan air yang dipanaskan di dalam cerek. Radiasi adalah perpindahan kalor dari suatu bagian yang lebih tinggi suhunya ke bagian lain yang lebih rendah suhunya tanpa melalui zat perantara. Contoh: cahaya matahari, panas lampu dan tungku api. Perpindahan kalor

secara radiasi hanya dapat terjadi melalui gas, benda yang transparan, dan ruang yang hampa udara (vakum).



Gambar 2.3 Proses perpindahan kalor  
(Sumber: Gunawan, 1988:22)

Dalam penggunaannya dikenal dua istilah kalor yaitu kalor sensibel dan kalor laten. Kalor sensibel adalah kalor yang dapat diukur, kalor yang menyebabkan terjadinya kenaikan/penurunan temperatur, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.4. Kalor laten adalah kalor yang diperlukan untuk merubah fase benda, mulai dari titik lelehnya atau titik didihnya atau titik bekunya sampai benda itu berubah fase secara sempurna, tetapi temperaturnya tetap, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.5.



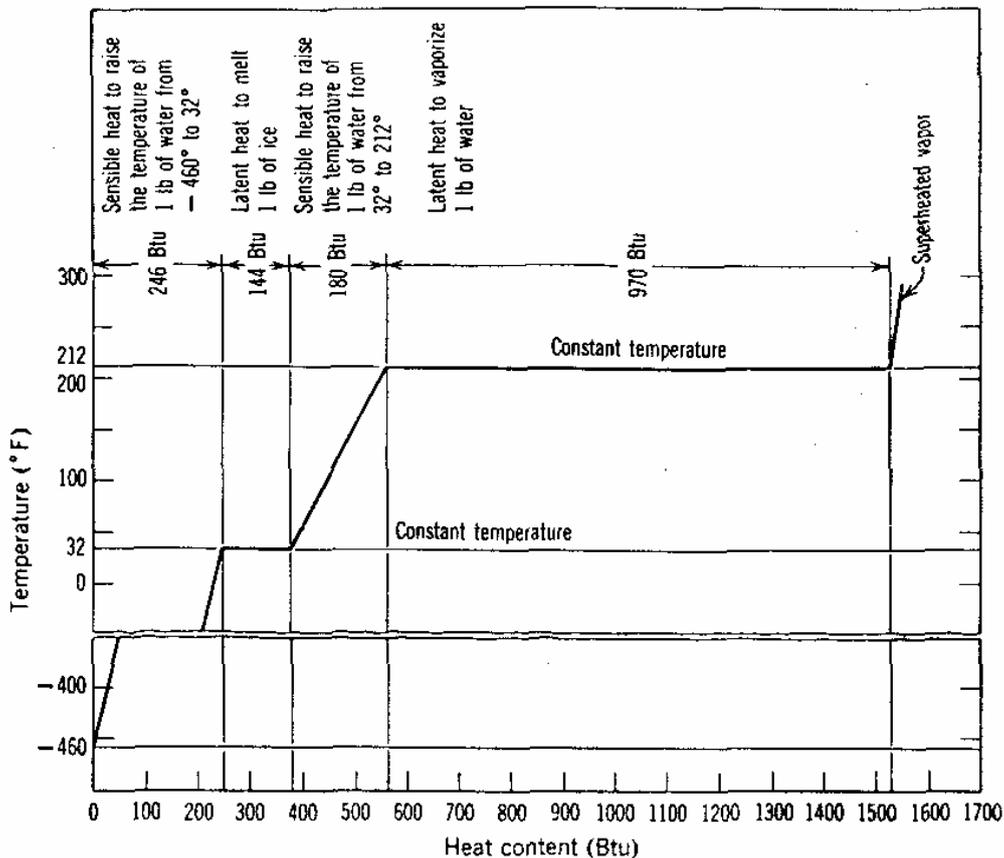
Gambar 2.4 Kalor sensibel



Gambar 2.5 Kalor laten

Kalor laten yang diperlukan untuk merubah fase padat ke cair disebut kalor laten fusi (*latent heat of fusion*). Kalor laten yang diperlukan untuk merubah fase cair ke padat disebut kalor laten pembekuan (*latent heat of freezing*). Kalor laten yang

diperlukan untuk merubah fase cair ke gas (uap) disebut kalor laten penguapan (*latent heat of vaporization*) dan kalor laten yang diperlukan untuk merubah fase gas ke cair disebut kalor laten pengembunan (*latent heat of condensation*), seperti ditunjukkan oleh gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik nilai kalor sensible dan kalor laten untuk air (Sumber: Dossat, 1961:22)

### C. Tekanan

Untuk memahami refrigerasi terlebih dahulu harus memahami tekanan. Tekanan adalah gaya per satuan luas. Semua benda padat, cair dan gas mempunyai tekanan. Benda padat memberikan tekanan kepada benda lain yang menunjangnya. Misalnya kaki lemari es memberikan tekanan kepada lantai. Cairan di dalam bejana memberikan tekanan kepada dinding dan alas bejana itu. Gas di dalam tabung memberikan tekanan kepada tabung. Tekanan gas di dalam tabung dipengaruhi oleh suhu dan jumlah gasnya. Kerja suatu sistem refrigerasi sebagian besar tergantung dari perbedaan tekanan di dalam sistem. Kita harus mengerti arti macam-macam tekanan

yang berhubungan dengan refrigerasi. Tekanan tersebut ada tiga macam yaitu tekanan atmosfer, tekanan manometer (pengukuran) dan tekanan absolut (mutlak).

### 1. Tekanan Atmosfir

Bumi kita diselimuti udara (21% oksigen, 78% nitrogen dan 1% unsur lain) yang disebut atmosfer, yang tebalnya diperkirakan lebih dari 600 mil (965,6 km) diukur dari permukaan bumi. Udara itu mempunyai berat dan berat itulah yang dikenal sebagai tekanan atmosfer. Besarnya tekanan atmosfer diukur mulai dari permukaan air laut, besarnya kira-kira 14,7 psi.

### 2. Tekanan Manometer (Pengukuran)

Manometer adalah alat untuk mengukur tekanan uap air dalam ketel atau tekanan gas dalam suatu tabung. Tekanan yang ditunjukkan oleh jarum manometer disebut tekanan manometer (pengukuran). Sebagai standar tekanan manometer, tekanan atmosfer pada permukaan air laut diambil sebagai 0, dengan satuan psig atau  $\text{kg/cm}^2$ . jadi pada permukaan air laut tekanan atmosfer 14,7 psi = 0 psig tekanan manometer.



Gambar 2.7 Skala pengukuran tekanan manometer

### 3. Tekanan Absolut

Tekanan absolut adalah tekanan yang sesungguhnya. Jumlah tekanan manometer dan tekanan atmosfer pada setiap saat disebut tekanan absolut. Titik nol (0) pada tekanan absolut adalah vakum 100% atau tidak ada tekanan sama sekali = 0 psia. Tekanan 1 atmosfer pada tekanan absolut adalah 14,7 psia. Tekanan absolut = tekanan manometer + tekanan atmosfer.



Gambar 2.8 Skala pengukuran tekanan absolut

#### 4. Daya

Daya adalah jumlah kerja yang dilakukan. Daya adalah kerja yang dilakukan yang didapat dari waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kerja. Satuan daya adalah tenaga kuda (Horsepower, Hp). Satu tenaga kuda didefinisikan daya yang diperlukan untuk melakukan kerja sejumlah 33.000 ft-lb per menit atau 33.000/60 sama dengan 550 ft-lb per detik. Daya yang dibutuhkan dalam tenaga kuda dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini :

$$Hp = \frac{W}{33.000 \cdot t} \quad (2-1)$$

dimana :

Hp = Tenaga kuda

W = Kerja yang dilakukan (foot-pound)

T = Waktu (menit)

#### 5. Hukum konservasi energi

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, tapi dapat diubah bentuknya menjadi bentuk energi lain. Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa perpindahan energi panas berlangsung jika terdapat perbedaan-perbedaan temperatur. Panas itu akan mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur rendah, kejadian ini akan berlangsung sampai dicapai keseimbangan temperatur.

## 6. Jumlah panas

Ukuran jumlah panas dinyatakan dalam *British thermal unit* (Btu). Air digunakan sebagai standar untuk menghitung jumlah panas, karena untuk menaikkan temperatur  $1^{\circ}\text{F}$  untuk tiap 1 lb air diperlukan panas 1 Btu (pada permukaan air laut). Dua Btu artinya menaikkan temperatur air sebanyak 1 lb untuk  $2^{\circ}\text{F}$  atau menaikkan temperatur air sebanyak 2 lb sebesar  $1^{\circ}\text{F}$ . Oleh karenanya untuk menghitung jumlah panas yang dibutuhkan/dibuang digunakan persamaan:

$$\text{Btu} = W \times \Delta t \quad (2-2)$$

Di mana:

W : jumlah air (lb)

$\Delta t$  : perbedaan temperatur ( $^{\circ}\text{F}$ )

## 7. Panas jenis

Panas jenis suatu benda artinya jumlah panas yang diperlukan benda itu agar temperaturnya naik  $1^{\circ}\text{F}$ . Panas jenis air adalah 1, untuk mendapatkan panas jenis benda lain panas jenis air dijadikan sebagai pembanding. Harga panas jenis benda tentu saja tergantung pada perubahan temperaturnya. Berdasarkan hal itu maka jumlah panas yang diberikan/dibuang dari suatu benda dapat dihitung dari persamaan:

$$\text{Btu} = W \times c \times \Delta t \quad (2-3)$$

Di mana  $c$  = panas jenis benda.

Panas jenis benda akan berubah jika fase benda itu berubah. Air adalah salah satu contoh yang baik dimana kita dapat lihat perubahan panas jenisnya pada fase yang lain. Air pada fase cair panas jenisnya 1, tetapi pada fase gas dan padat nilai panas jenisnya hampir 0,5. udara bila dipanaskan dan bergerak bebas pada tekanan tetap panas jenisnya 0,24. Uap refrigeran R-12 pada tekanan konstan dan temperatur  $70^{\circ}\text{F}$  mempunyai panas jenis 0,148, padahal pada temperatur  $86^{\circ}\text{F}$  adalah 0,24. Untuk menghitung jumlah perpindahan panas yang terjadi pada kombinasi beberapa benda digunakan persamaan:

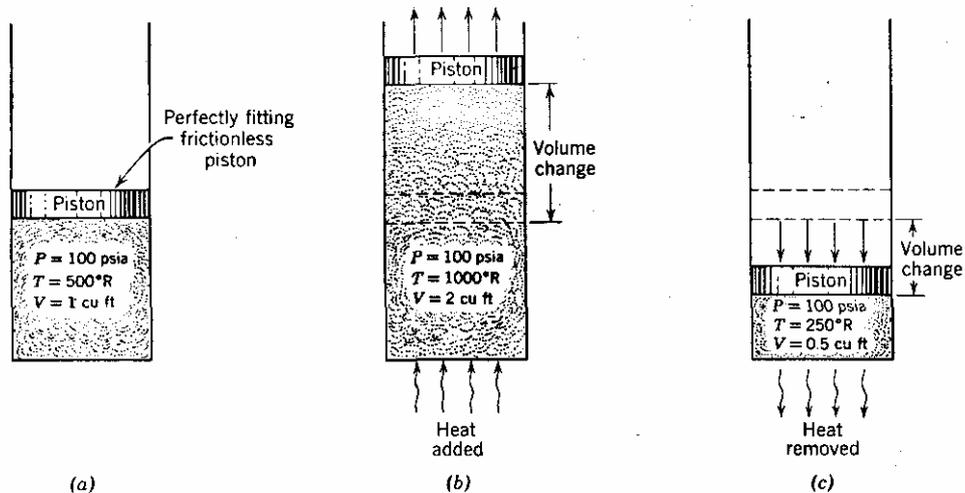
$$\text{Btu} = (W_1 \times c_1 \times \Delta t_1) + (W_2 \times c_2 \times \Delta t_2) + (W_3 \times c_3 \times \Delta t_3) + \dots \quad (2-4)$$

### BAB 3

## PROSES TERMODINAMIKA

#### A. Hubungan temperatur-volume pada tekanan konstan

Jika gas dipanaskan di bawah satu kondisi dimana tekanan dijaga agar tetap, maka volume akan meningkat  $1/492$  dari volume semula pada temperatur  $32^{\circ}\text{F}$  untuk setiap peningkatan temperatur  $1^{\circ}\text{F}$ . Demikian juga, jika suatu gas didinginkan pada tekanan konstan, maka volume akan menurun  $1/492$  dari volume semula pada temperatur  $32^{\circ}\text{F}$  untuk setiap penurunan temperatur  $1^{\circ}\text{F}$ . Supaya penggambaran perubahan kondisi pada tekanan konstan lebih baik, diasumsikan bahwa gas disimpan dalam silinder dilengkapi dengan alat yang benar-benar pas, seperti ditunjukkan Gambar 3.1a. Tekanan gas adalah tekanan yang dihasilkan oleh berat piston dan oleh berat atmosfer pada bagian atas piston. Karena piston bebas bergerak ke atas dan ke bawah dalam silinder, maka gas dapat mengembang atau mengkerut, yaitu mengubah volume dengan cara temperatur gas tetap konstan. Pada waktu gas dipanaskan, temperatur dan volume meningkat dan piston bergerak naik dalam silinder. Pada waktu gas didinginkan, temperatur dan volume menurun dan piston bergerak turun dalam silinder. Pada kasus lain, tekanan gas tetap sama atau berubah selama proses pemanasan atau pendinginan.



Gambar 3.1 Proses tekanan konstan. (a) Gas di dalam selinder. (b) Gas dipanaskan sehingga temperatur dan volumenya naik. (c) Gas didinginkan sehingga temperatur dan volumenya turun.

## B. Hukum Charles untuk proses tekanan konstan

Hukum Charles untuk proses tekanan konstan mempunyai pengaruh, yaitu ketika tekanan gas tetap konstan, volume gas langsung berubah dengan temperatur absolut. Kemudian, jika temperatur absolut gas digandakan pada waktu tekanan dijaga tetap konstan, maka volume juga akan digandakan. Demikian juga, jika temperatur absolut gas dikurangi setengah kali pada waktu tekanan konstan, maka volume juga akan berkurang setengah kali. Persamaan ini diilustrasikan dalam gambar 3.1b dan 3.1c. Hukum Charles untuk proses tekanan konstan ditulis pada persamaan seperti di bawah ini:

$$T_1 V_2 = T_2 V_1 \quad (3-1)$$

Dimana :

$T_1$  = Temperatur awal gas ( $^{\circ}$  Rankine)

$T_2$  = Temperatur akhir gas ( $^{\circ}$  Rankine)

$V_1$  = Volume awal gas ( $\text{ft}^3$ )

$V_2$  = Volume akhir gas ( $\text{ft}^3$ )

Jika tiga macam nilai lebih dahulu diketahui, maka yang keempat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3-1.

### Contoh:

Sebuah gas mempunyai temperatur awal  $520^{\circ}\text{R}$  dan volume awal  $5 \text{ ft}^3$ , melakukan ekspansi pada tekanan konstan sampai volumenya  $10 \text{ ft}^3$ . Tentukan temperatur akhir gas pada derajat Rankine.

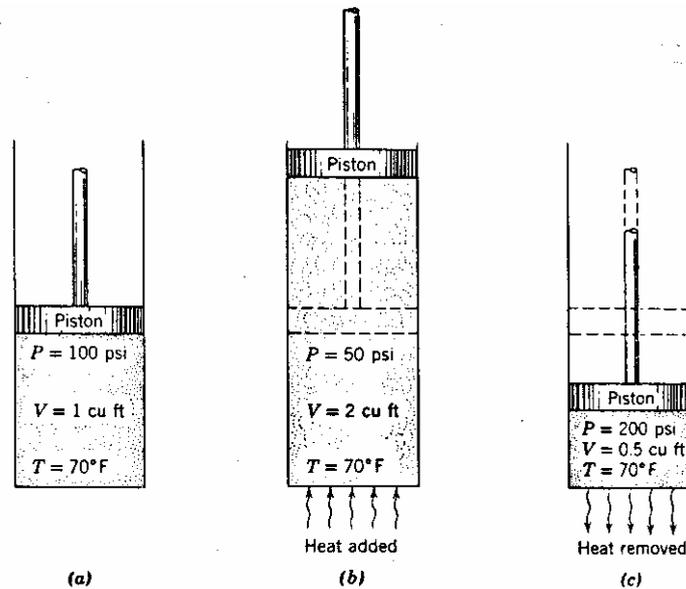
*Jawab :* Gunakan persamaan 3-1

$$\text{Temperatur akhir gas, } T_2 = \frac{T_1 V_2}{V_1} = \frac{520 \times 10}{5} = 1040^{\circ}\text{R}$$

## C. Hubungan tekanan-volume pada temperatur konstan

Ketika volume gas meningkat atau menurun di bawah suatu kondisi, maka temperatur gas tidak akan berubah, tekanan absolut akan terbalik dengan volume. Kemudian, ketika gas ditekan (volume menurun), maka temperatur tetap tidak berubah, tekanan absolut akan meningkat yang sebanding dengan penurunan volume. Secara bersamaan, ketika gas mengembang pada temperatur konstan, tekanan absolut akan menurun yang sebanding dengan peningkatan volume. Pernyataan tersebut

adalah hukum Boyle untuk proses tekanan konstan dan digambarkan pada Gambar 3.2a, 3.2b, dan 3.2c.



Gambar 3.2 Proses temperatur konstan. (a) kondisi awal. (b) Proses ekspansi pada temperatur konstan. (c) Proses kompresi pada temperatur konstan.

Ketika gas ditekan pada temperatur konstan, kecepatan molekul tetap tidak berubah. Peningkatan tekanan terjadi disebabkan oleh volume gas yang berkurang dan mempunyai jumlah molekul gas yang ditahan pada ruang yang kecil sehingga frekuensi tumbukan menjadi besar. Sebaliknya keadaan akan terjadi ketika gas mengembang pada temperatur konstan. Pada beberapa proses termodinamika yang terjadi seperti hal di atas yaitu temperatur tidak berubah selama proses disebut proses isothermal (temperatur konstan).

Hukum Boyle untuk proses temperatur konstan ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (3-2)$$

dimana :

$P_1$  = Tekanan absolut awal

$P_2$  = Tekanan absolut akhir

$V_1$  = Volume awal ( $\text{ft}^3$ )

$V_2$  = Volume akhir ( $\text{ft}^3$ )

Contoh :

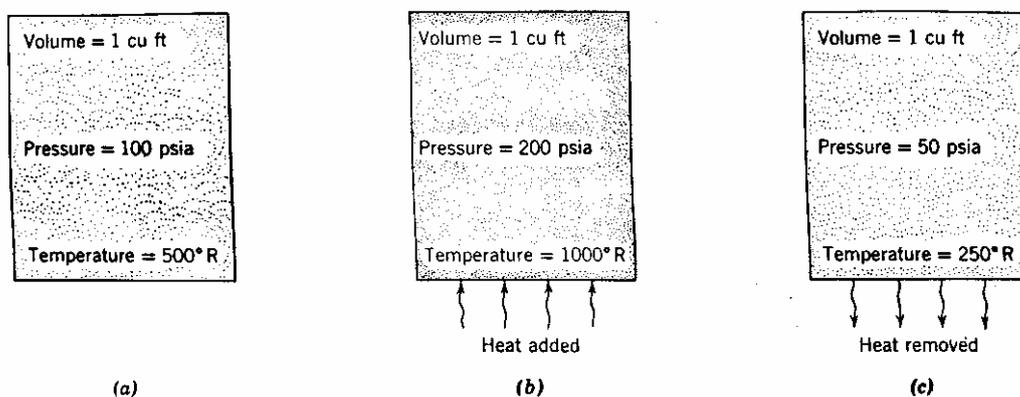
5 lb udara mengembang pada temperatur konstan dan volume awal 4  $\text{ft}^3$  sampai volume akhir 10  $\text{ft}^3$ . Jika tekanan awal udara 20 psia, berapa tekanan akhir dalam psia ?

Jawab : Gunakan persamaan 3-2

$$\text{Tekanan akhir } P_2 = \frac{P_1 \times V_1}{V_2} = \frac{20 \times 5}{10} = 10 \text{ psia}$$

#### D. Hubungan tekanan-temperatur pada volume konstan

Diasumsikan bahwa suatu gas disimpan dalam silinder tertutup sehingga volumenya tidak akan berubah pada waktu dipanaskan atau didinginkan (Gambar 3-3a). Ketika temperatur gas meningkat oleh penambahan kalor, tekanan absolut akan naik berbanding lurus dengan kenaikan temperatur absolut (Gambar 3-3b). Jika gas didinginkan, tekanan absolut gas akan menurun berbanding lurus dengan penurunan temperatur absolut (Gambar 3-3c).



Gambar 3.3 Proses volume konstan. (a) Kondisi awal. (b) Tekanan absolut naik berbanding lurus dengan kenaikan temperatur absolut. (c) Tekanan absolut turun berbanding lurus dengan penurunan temperatur absolut.

Pada saat temperatur (kecepatan molekul) gas ditingkatkan sedangkan volume gas (ruang pada molekul terbatas) tetap sama, besarnya tekanan (gaya dan frekuensi molekul menubruk dinding silinder) meningkat. Sedangkan, ketika gas didinginkan pada volume konstan, gaya dan frekuensi molekul menimpa dinding wadah berkurang dan tekanan gas akan berkurang dari sebelumnya. Penurunan gaya dan frekuensi tumbukan molekul disebabkan oleh penurunan kecepatan molekul.

#### E. Hukum Charles untuk proses volume konstan

Hukum Charles menguraikan bahwa ketika gas didinginkan atau dipanaskan di bawah satu kondisi dimana volume gas tetap tidak berubah atau konstan, tekanan absolut berbanding lurus dengan temperatur absolut. Hukum Charles dapat ditulis pada persamaan berikut: jika volumenya sama :

$$T_1 P_2 = T_2 P_1 \quad (3-3)$$

Dimana :

$T_1$  = Temperatur awal ( $^{\circ}$  Rankine)

$T_2$  = Temperatur akhir ( $^{\circ}$  Rankine)

$P_1$  = Tekanan awal (psia)

$P_2$  = Tekanan akhir (psia)

Contoh :

Sejumlah berat suatu gas disimpan dalam tangki yang mempunyai temperatur awal  $80^{\circ}\text{F}$  dan tekanan awal 30 psig. Jika gas dipanaskan sampai akhir tekanan ukur yaitu 50 psi, berapakah temperatur akhir dalam derajat Fahrenheit ?

*Jawab :* Gunakan persamaan 3-3.

$$T_2 = \frac{T_1 \times P_2}{P_1} = \frac{(80 + 460) \times (50 + 14,7)}{30 + 14,7} = 782^{\circ}\text{R}$$

$$\text{Konversi } ^{\circ}\text{R ke } ^{\circ}\text{F} = 782 - 460 = 322^{\circ}\text{F}$$

## F. Hukum Gas Umum

Kombinasi dari Hukum Charles dan Boyle menghasilkan persamaan berikut :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (3-$$

4)

Persamaan 3-4 adalah pernyataan bahwa untuk beberapa berat suatu gas dihasilkan tekanan psfa dan volume dalam  $\text{ft}^3$  dibagi oleh temperatur absolut dalam derajat Rankine akan selalu konstan. Konstan di sini akan berbeda untuk setiap gas yang berbeda dan untuk gas yang lain akan memberikan berat yang berbeda-beda pada setiap gas. Jika suatu gas digunakan berat pound, kemudian V akan menjadi volume spesifik  $v$ , dan persamaan 3-4 dapat ditulis :

$$\frac{Pv}{T} = R \quad (3-5)$$

Di mana : R = konstanta gas (berbeda untuk setiap gas).

Jika kedua ruas pada persamaan 3-5 dikalikan dengan M, maka :

$$PMv = MRT$$

Tetapi karena :  $Mv = V$

$$\text{Maka} \quad PV = MRT \quad (3-6)$$

Di mana :

P = Tekanan (psfa)

V = Volume (ft<sup>3</sup>)

M = Massa (lb)

R = Konstanta gas

T = Temperatur (°R)

Persamaan 3-6 disebut **Hukum Gas Umum** dan sering digambarkan dalam menyelesaikan beberapa persoalan menyangkut gas. Karena nilai R untuk beberapa gas dapat dicari dalam tabel, jika tiga variabel dari empat variabel P, V, M dan T diketahui, maka bentuk keempat dapat ditentukan oleh persamaan 3-6. Catatan bahwa tekanan harus dalam *pound per square foot absolut* (psfa).

Contoh:

Tangki udara kompresor mempunyai volume 5 ft<sup>3</sup> dan diisi oleh udara pada temperatur 100 °F. Jika alat ukur pada tangki terbaca 151,1 psia, berapakah berat udara dalam tangki ?

*Jawab :*

Dari tabel 3-1 (Dossat, 1961: 430) didapat nilai R udara = 53,3

Gunakan persamaan 3-6.

$$\text{Berat udara, } M = \frac{(151,1+14,7) \times 144 \times 5}{53,3 \times (100+460)} = \frac{165,3 \times 144 \times 5}{53,3 \times 560} = 4 \text{ lb}$$

Contoh:

2 lb udara mempunyai volume 3 ft<sup>3</sup>. Jika tekanan udara 135,3 psig, berapakah temperatur dalam derajat Fahrenheit ?

*Jawab :* Gunakan persamaan 3-6

Dari tabel 3-1 (Dossat, 1961: 430) didapat nilai R udara = 53,3

$$\text{Temperatur udara dalam } ^\circ\text{R}; \quad T = \frac{PV}{MR} = \frac{(135,3+14,7) \times 144 \times 3}{2 \times 53,3} = \frac{150 \times 144 \times 3}{2 \times 53,3}$$

$$T = 607,9 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$\text{Konversi ke } ^\circ\text{F} = 607,9 - 460 = 147,9 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

## G. Gas ideal atau gas sempurna

Berbagai macam hukum yang menentukan hubungan tekanan-volume-temperatur gas yang akan didiskusikan dalam bab ini dengan menggunakan ketelitian

absolut pada hipotesis gas ideal atau sempurna. Gas sempurna digambarkan sebagai suatu kondisi dimana tidak ada interaksi antara molekul gas. Molekul gas tersebut seluruhnya bebas dan independen dari gaya tarik molekul lain. Karena itu, tidak ada energi yang dipindahkan ke atau dari suatu gas ideal yang mempunyai pengaruh pada energi potensial internal. Konsep gas ideal atau gas sempurna sangat sederhana dalam menyelesaikan soal perubahan dalam kondisi suatu gas. Beberapa permasalahan yang rumit dalam mekanika elemen dibuat sederhana dengan mengasumsikan tidak ada gesekan yang terjadi, pengaruh gesekan dapat dianggap terpisah. Fungsi dari gas ideal adalah sama dengan kehilangan gesekan permukaan. Suatu gas ideal diasumsikan melewati perubahan kondisi tanpa gesekan internal, yaitu tanpa performansi kerja internal dalam mengatasi gaya internal molekul.

#### **H. Proses-proses untuk gas ideal**

Suatu gas dikatakan mengalami proses ketika melewati beberapa keadaan awal atau kondisi awal sampai beberapa keadaan akhir atau kondisi akhir. Perubahan kondisi gas dapat terjadi dengan cara yang tidak terbatas, tetapi hanya ada 5 cara yang dibahas. Cara tersebut antara lain:

1. Volume konstan (isometerik)
2. Tekanan konstan (isobar)
3. Temperatur konstan (isothermal)
4. Adiabatik
5. Proses politropik.

Dalam menggambarkan gas ideal dapat dikatakan bahwa molekul gas selalu terpisah dan molekul tersebut tidak mempunyai gaya tarik satu sama lain, dan tidak ada energi yang diserap oleh gas ideal dan tidak mempunyai pengaruh pada energi potensial internal. Jelaslah bahwa, ketika panas diserap oleh gas ideal akan menaikkan energi kinetik internal (temperatur) gas atau akan meninggalkan gas sebagai kerja eksternal atau keduanya. Karena perubahan pada energi potensial internal,  $\Delta P$ , akan selalu menjadi nol, persamaan umum energi untuk gas ideal dapat ditulis :

$$\Delta Q = \Delta K + \Delta W \quad (3-7)$$

Supaya dapat dimengerti lebih baik, perubahan energi terjadi selama berbagai proses harus selalu diingat bahwa perubahan pada temperatur gas menunjukkan perubahan

pada energi kinetik internal gas, sebaliknya, perubahan pada volume gas menunjukkan kerja telah dilakukan oleh atau pada gas.

### 1. Proses volume konstan

Ketika gas dipanaskan pada saat itu juga gas ditahan dan volume tidak berubah, tekanan dan temperatur akan merujuk pada hukum Charles (Gambar 3-3). Karena volume gas tidak berubah, maka tidak ada kerja eksternal yang dilakukan dan  $\Delta W$  sama dengan nol. Karena itu, untuk proses volume konstan ditunjukkan oleh huruf  $v$  kecil.

$$\Delta Q_v = \Delta K_v \quad (3-8)$$

Persamaan 3-8 dapat dinyatakan selama proses volume konstan semua energi dipindahkan pada gas sehingga energi kinetik internal gas meningkat. Tidak ada energi yang hilang pada waktu gas sedang bekerja. Ketika gas didinginkan (kalor dibuang) pada waktu volume konstan, semua energi dibuang secara efektif pada pengurangan energi kinetik internal gas. Telah ditulis pada persamaan 3-7,  $\Delta Q$  menunjukkan panas dipindahkan pada gas,  $\Delta K$  menunjukkan meningkatnya energi kinetik internal, dan  $\Delta W$  menunjukkan kerja yang dilakukan oleh gas. Karena itu, jika panas diberikan oleh gas, maka  $\Delta Q$  positif. Sebaliknya, jika energi kinetik internal gas menurun, maka  $\Delta K$  negatif, dan jika kerja dilakukan pada gas, maka  $\Delta W$  negatif. Sebab itu, dalam persamaan 3-8, ketika gas didinginkan  $\Delta Q$  dan  $\Delta K$  negatif.

### 2. Proses tekanan konstan

Jika temperatur gas meningkat oleh penambahan panas pada waktu gas mulai mengembang dan tekanan dijaga tetap konstan, volume gas akan meningkat sesuai dengan hukum Charles (Gambar 3-1). Karena volume gas meningkat selama proses, maka kerja dilakukan oleh gas pada waktu yang sama sehingga energi internal meningkat. Sebab itu, pada waktu satu bagian dipindahkan, energi meningkat dan disimpan sebagai energi kinetik internal. Untuk proses tekanan konstan, ditunjukkan oleh huruf  $p$  kecil, persamaan energi dapat ditulis:

$$\Delta Q_p = \Delta K_p + \Delta W_p \quad (3-9)$$

### 3. Proses temperatur konstan

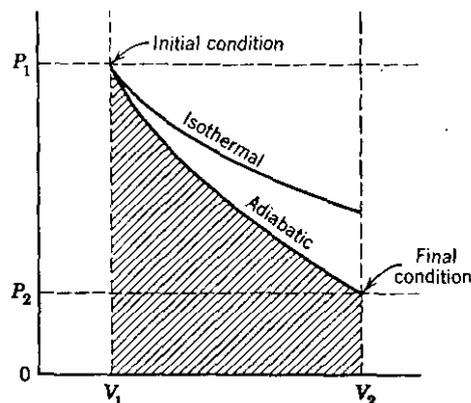
Menurut hukum Boyle, ketika gas ditekan atau mengembang pada temperatur konstan, tekanan akan berbanding terbalik dengan volume. Tekanan meningkat pada

waktu gas ditekan dan tekanan akan menurun pada waktu gas mengembang. Karena gas akan melakukan kerja pada waktu mengembang, jika temperatur tetap konstan, energi akan melakukan kerja yang harus diserap dari sumber luar (Gambar 3-2b). karena temperatur gas tetap konstan, semua energi diserap oleh gas, selama proses gas ke luar sebagai kerja, tidak ada yang disimpan oleh gas yang akan meningkatkan energi internal. Ketika gas ditekan, kerja dilakukan pada gas, dan jika gas tidak didinginkan selama kompresi, energi internal gas akan meningkat oleh sejumlah yang sama dengan kerja kompresi. Oleh karena itu, jika temperatur gas tetap konstan selama kompresi, gas harus membuang panas ke luar (lingkungan), sejumlah panas yang sama dengan jumlah kerja yang dilakukan pada gas selama kompresi (Gambar 3-2c). Tidak ada perubahan pada energi kinetik internal selama proses temperatur konstan. Oleh karena itu, dalam persamaan 3-7,  $\Delta K$  sama dengan nol dan persamaan umum energi untuk proses temperatur konstan dapat ditulis:

$$\Delta Q_t = \Delta W_t \quad (3-10)$$

#### 4. Proses adiabatik

Proses adiabatik digambarkan sebagai satu perubahan gas pada kondisi di mana tidak ada penyerapan atau pembuangan panas, seperti dari atau ke luar benda selama proses. Selanjutnya, tekanan, volume dan temperatur gas semuanya selama proses adiabatik tidak ada yang konstan. Ketika mengembang secara adiabatik, gas melakukan kerja eksternal dan energi dibutuhkan untuk melakukan kerja. Pada proses sebelumnya digambarkan, gas menyerap energi untuk melakukan kerja dari sumber luar. Karena selama proses adiabatik tidak ada panas yang diserap dari sumber luar, maka gas harus melakukan kerja eksternal pada energinya sendiri. Ekspansi adiabatik selalu disertai oleh penurunan temperatur gas pada waktu gas memberikan energi internalnya untuk melakukan kerja (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Hubungan tekanan-volume pada proses adiabatik

Ketika gas ditekan secara adiabatik, kerja dilakukan pada gas oleh benda luar. Energi gas meningkat yang jumlahnya sama dengan yang diberikan oleh gas pada benda luar selama kompresi, energi panas ekivalen dengan kerja yang dilakukan pada gas sehingga meningkatkan energi internal dan temperatur gas meningkat.

Karena tidak ada panas, seperti yang dipindahkan ke atau dari gas selama proses adiabatik,  $\Delta Q_a$  selalu nol dan persamaan energi untuk proses adiabatik dapat ditulis:

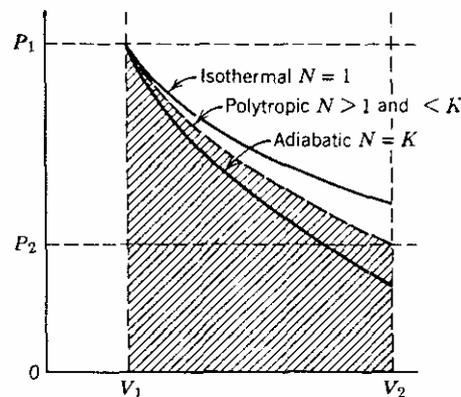
$$\Delta K_a + \Delta W_a = 0 \quad (3-11)$$

Oleh karena itu ;

$$\Delta W_a = - \Delta K_a \quad \text{dan} \quad \Delta K_a = - \Delta W_a$$

## 5. Proses politropik

Mungkin ada cara sederhana untuk mendefinisikan proses politropik oleh perbandingan proses adiabatik dengan isothermal. Ekspansi isothermal, merupakan energi untuk melakukan kerja ekspansi yang disuplai seluruhnya dari sumber luar, dan ekspansi adiabatik merupakan energi untuk melakukan kerja ekspansi yang disuplai seluruhnya dari gas itu sendiri, dapat dijadikan sebagai batas ekstrim antara semua proses ekspansi yang terjadi. Kemudian, proses ekspansi lain merupakan energi untuk melakukan kerja ekspansi yang disuplai sebagian dari sumber luar dan sebagian dari gas itu sendiri yang dapat masuk melalui garis antara proses adiabatik dan isothermal (Gambar 3.5). Proses tersebut sebagai proses politropik.



Gambar 3.5 Hubungan tekanan-volume pada proses politropik

Jika selama ekspansi politropik lebih banyak energi untuk melakukan kerja yang diambil dari sumber luar, proses politropik akan lebih mendekati isothermal. Sebaliknya, jika sebagian besar energi yang digunakan untuk melakukan kerja eksternal yang diambil dari gas itu sendiri, proses lebih mendekati adiabatik. Hal ini juga berlaku untuk proses kompresi. Ketika gas kehilangan panas selama proses kompresi, kehilangan panas yang besar, proses politropik akan mendekati isothermal. Pada waktu kehilangan sedikit panas, proses politropik akan mendekati adiabatik. Jelas, ketika tidak ada kehilangan panas, proses menjadi adiabatik. Penekanan gas yang sebenarnya pada kompresor biasanya akan mendekati kompresi adiabatik. Hal tersebut disebabkan waktu kompresi biasanya sangat pendek dan tidak mempunyai waktu cukup untuk memindahkan jumlah panas yang banyak dari gas melewati dinding silinder ke sekelilingnya. Pemberian *water jacket* pada silinder biasanya akan meningkatkan jumlah panas yang dibuang keluar dari kompresi mendekati isothermal.

### I. Hubungan P,V,T selama proses adiabatik

Karena tekanan, volume dan temperatur semuanya berubah selama proses adiabatik, semuanya tidak akan sesuai dengan hukum Charles dan hukum Boyle. Hubungan antara tekanan, temperatur dan volume selama proses adiabatik dapat dihitung oleh persamaan berikut:

$$T_2 = T_1 \times \frac{V_1^{(k-1)}}{V_2^{(k-1)}} \quad (3-12)$$

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} \quad (3-13)$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \quad (3-14)$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{k/(k-1)} \quad (3-15)$$

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{1/(k-1)} \quad (3-16)$$

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{1/k} \quad (3-17)$$

## **BAB 4**

### **UAP JENUH DAN UAP PANAS LANJUT**

#### **A. Titik didih**

Hal yang paling penting pada sistem pendingin adalah pengertian tentang titik didih cairan refrigeran dalam sistem. Dengan menurunkan titik didih, refrigeran mengambil panas sambil berubah wujud dan sebaliknya dengan menaikkan titik pengembunannya, uap refrigeran menyerahkan panas yang dikandungnya sambil berubah wujud pula. Pada dasarnya teknik pendingin bekerja hanya dengan menyetel titik didih dari refrigeran. Titik didih dinyatakan sebagai temperatur di mana cairan berubah jadi uap atau uap air jadi air kembali, tergantung pada arah mana energi panas itu mengalir.

#### **B. Temperatur jenuh**

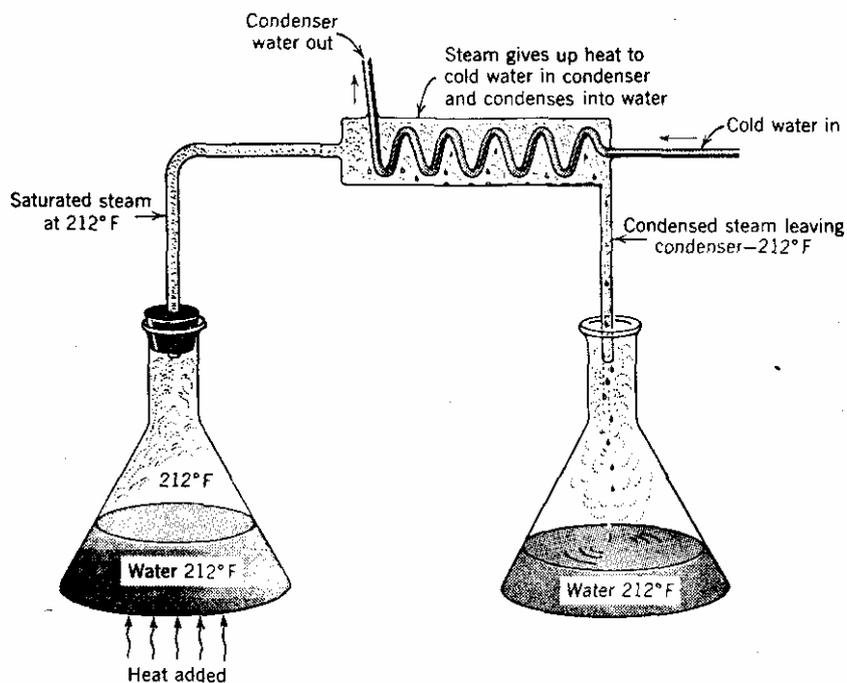
Pada bagian yang lalu telah dibahas bahwa titik didih dan temperatur pengembunan suatu cairan pada tekanan kerja tertentu adalah sama. Ini berarti bahwa cairan itu telah mencapai suatu titik di mana ia akan mulai berubah wujudnya menjadi uap, temperatur inilah yang disebut temperatur jenuh cairan (*saturated liquid*) atau temperatur didih atau temperatur penguapan. Sebaliknya jika uap didinginkan sampai dicapai suatu keadaan uap jadi semakin rapat, akhirnya jadi tetes air, temperatur inilah yang disebut temperatur jenuh uap (*saturated vapor*).

#### **C. Uap Jenuh**

Uap lanjut dari penguapan cairan disebut uap jenuh sepanjang temperatur dan tekanan uap sama seperti cairan jenuh yang terjadi. Uap jenuh dapat digambarkan juga sebagai uap pada temperatur dimana pendinginan uap lanjut disebabkan oleh sebagian uap mengembun dan dengan cara tersebut struktur molekul cairan kembali lagi. Hal tersebut penting untuk dipahami bahwa temperatur jenuh benda cair (temperatur pada waktu cairan akan menguap jika panas ditambahkan) dan temperatur jenuh uap (temperatur pada saat uap akan mengembun jika panas dibuang) akan

memberikan tekanan yang sama dan cairan tidak akan cair lagi pada temperatur di atas temperatur jenuh, sedangkan uap tidak akan tetap uap pada temperatur di bawah temperatur jenuh.

Contoh, dalam Gambar 4.1, air dalam bejana yang dipanaskan akan jenuh dan menguap pada  $212^{\circ}\text{F}$  sebagai panas laten penguapan yang disuplai oleh pemanas. Uap (steam) meningkat dari air jenuh dan tetap pada temperatur jenuh ( $212^{\circ}\text{F}$ ) sampai mencapai kondenser. Uap jenuh memberikan panas pada air yang dingin dalam kondenser, air tersebut mengembun kembali menjadi cairan. Karena pengembunan terjadi pada temperatur konstan, maka air dihasilkan dari pengembunan uap juga pada  $212^{\circ}\text{F}$ . Panas laten penguapan menyerap penguapan air ke dalam uap air (steam) yang diberikan oleh uap air sebagai uap air pengembunan yang kembali menjadi air.

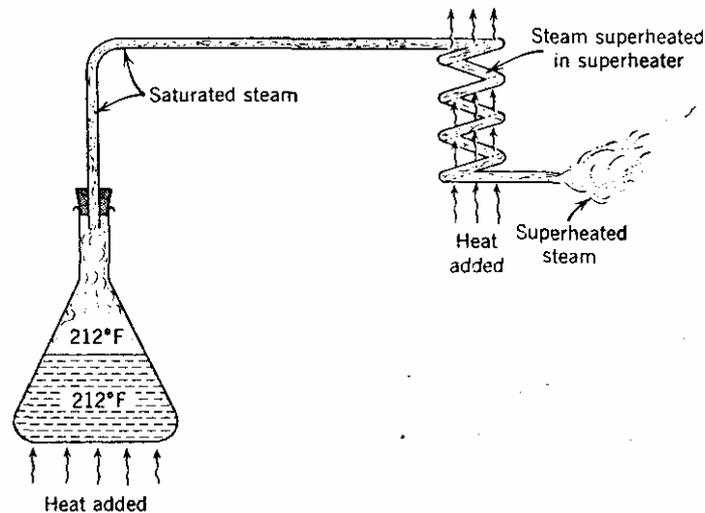


Gambar 4.1 Uap jenuh (*saturated vapor*)

#### D. Uap panas lanjut

Uap pada temperatur di atas temperatur jenuh adalah uap panas lanjut. Jika setelah penguapan, uap dipanaskan sehingga temperatur naik di atas penguapan cairan, uap dikatakan panas lanjut (*superheated*). Uap panas lanjut diperlukan untuk memisahkan uap dari penguapan cairan ditunjukkan dalam Gambar 4.2. Sepanjang uap tetap berhubungan dengan cairan, maka akan tetap jenuh. Hal tersebut disebabkan adanya penambahan panas pada campuran uap-cairan yang hanya akan menguap lebih lanjut adalah cairan dan tidak ada *superheating* yang terjadi.

Sebelum uap panas lanjut dapat mengembun, uap harus di *desuperheated*, yaitu uap harus didinginkan sampai temperatur jenuh. Panas dibuang dari uap panas lanjut yang akan menyebabkan temperatur uap menurun sampai temperatur jenuh tercapai. Pada titik ini, pembuangan panas terus-menerus akan menyebabkan bagian dari uap akan mengembun.



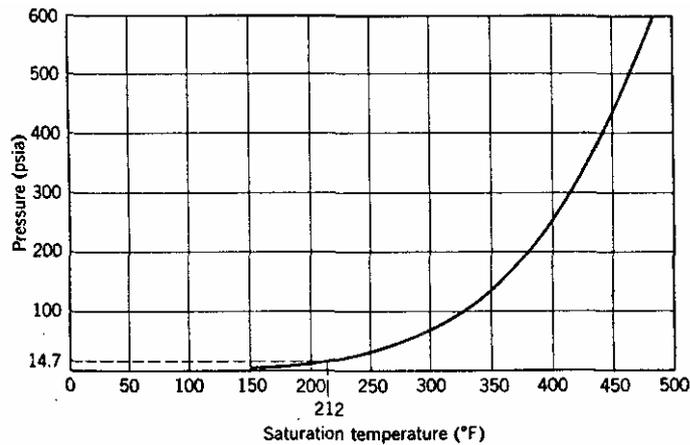
Gambar 4.2 Uap panas lanjut (*superheated vapor*)

### E. Cairan dingin lanjut

Jika setelah kondensasi, cairan didinginkan sehingga temperatur turun di bawah temperatur jenuh, cairan disebut dingin lanjut (*subcooled*). Kemudian cairan pada temperatur di bawah temperatur jenuh dan di atas titik peleburan adalah cairan dingin lanjut (*subcooled*).

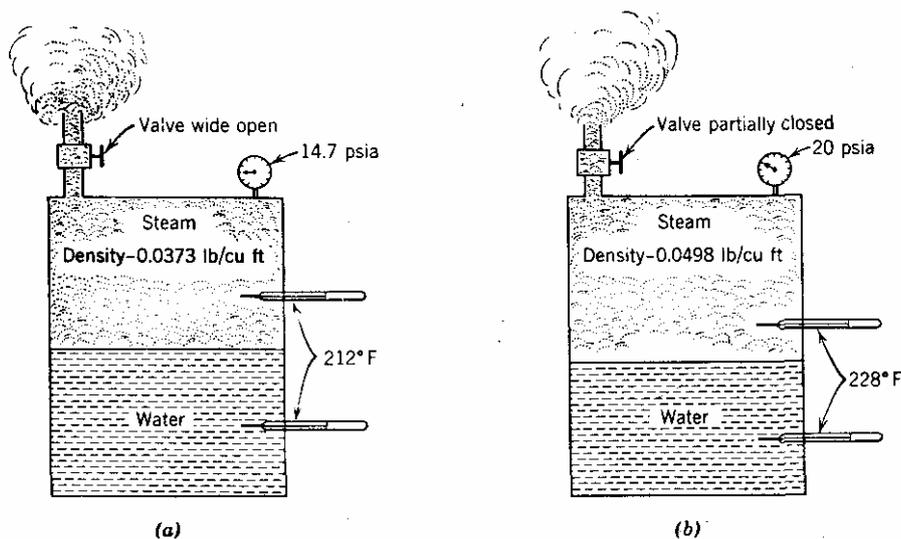
### F. Pengaruh tekanan pada temperatur jenuh

Temperatur jenuh cairan atau uap berbeda tekanannya. Meningkatnya tekanan akan menaikkan temperatur jenuh dan penurunan tekanan akan menurunkan temperatur di bawah temperatur jenuh. Contoh : temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer (0 psig atau 14,7 psia) adalah 212<sup>0</sup> F. Jika tekanan di atas air meningkat dari 0 psig sampai 5,3 psig (20 psia), temperatur jenuh air meningkat dari 212<sup>0</sup> F sampai 228<sup>0</sup> F. dilain pihak, jika tekanan di atas air berkurang dari 14,7 psia menjadi 10 psia, maka temperatur jenuh air yang baru akan menjadi 193,2<sup>0</sup> F. Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara tekanan dan temperatur uap jenuh air.



Gambar 4.3 Grafik hubungan tekanan dan temperatur uap jenuh air

Untuk menggambarkan pengaruh tekanan pada temperatur jenuh cairan, diasumsikan bahwa air disimpan dalam bejana tertutup yang dilengkapi dengan katup penutup pada bagian atas (Gambar 4-4a).



Gambar 4.4 Pengaruh tekanan pada temperatur jenuh cairan

Alat ukur *compound* digunakan untuk menentukan tekanan yang terjadi dalam bejana dan dua termometer dipasang untuk mencatat temperatur air dan temperatur uap di atas air. Dengan katup penutup membuka, tekanan terjadi di atas air yaitu pada tekanan atmosfer (0 psig atau 14,7 psia). Karena temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer 212<sup>0</sup> F, maka temperatur air akan meningkat pada waktu air dipanaskan sampai mencapai 212<sup>0</sup> F. Pada titik ini, jika dipanaskan lebih lanjut, air akan mulai menguap. Segera ruang di atas air akan terisi oleh milyaran molekul uap air dengan cepat pada kecepatan tinggi. Beberapa uap air akan jatuh lagi ke dalam air menjadi

molekul cairan kembali, sedangkan yang lain akan keluar melalui sisi yang terbuka dan dibawa oleh aliran udara. Jika pembukaan bagian atas bejana mempunyai ukuran yang cukup untuk memungkinkan uap bebas keluar, uap akan meninggalkan bejana jumlahnya sama dengan jumlah air yang menguap. Jumlah molekul yang meninggalkan cairan menjadi molekul uap akan sama dengan jumlah molekul uap yang meninggalkan ruangan, ada yang keluar ruangan atau yang kembali menjadi cairan. Kemudian jumlah molekul uap dan berat jenis uap (density) di atas air akan tetap konstan dan tekanan terjadi oleh uap akan sama dengan tekanan luar bejana. Di bawah kondisi ini, uap air yang lain dari penguapan cairan akan menjadi jenuh, yaitu temperatur dan tekanan akan menjadi sama dengan air  $212^{\circ}$  F dan 14,7 psia. Berat jenis uap air pada temperatur dan tekanan tersebut akan menjadi  $0,0373 \text{ lb/ft}^3$  dan volume spesifik akan menjadi  $1/0,0373$  atau  $26,8 \text{ ft}^3/\text{lb}$ . Sejumlah uap diabaikan pada waktu cairan menguap, sepanjang uap tersebut dapat meninggalkan ke udara luar sehingga tekanan dan berat jenis uap di atas cairan tidak berubah, cairan akan menguap lebih lanjut pada  $212^{\circ}$  F. Andaikata katup penutup ditutup sebagian sehingga gas yang keluar dari bejana agak terhalang, kadang-kadang kesetimbangan agak terganggu oleh uap yang tidak keluar dari bejana sesuai dengan jumlah cairan yang menguap. Jumlah molekul uap dalam ruangan di atas cairan akan meningkat, dengan meningkatnya berat jenis dan tekanan uap di atas cairan, maka temperatur jenuh akan meningkat. Jika diasumsikan bahwa temperatur uap meningkat sampai 5,3 psig (20 psia) sebelum kesetimbangan tercapai, maka jumlah yang menjadi uap yang keluar sama dengan jumlah cairan yang menguap, temperatur jenuh akan  $228^{\circ}$  F, berat jenis uap menjadi  $0,0498 \text{ lb/ft}^3$  dan 1 lb uap akan mencapai volume  $20,080 \text{ ft}^3$ . Kondisi tersebut diilustrasikan pada Gambar 4-4b.

Dengan membandingkan kondisi uap pada Gambar 4-4b dengan uap dalam Gambar 4-4a, maka akan didapatkan berat jenis uap sangat besar pada tekanan tinggi dan temperatur jenuh. Lebih lanjut, jelaslah bahwa tekanan dan temperatur jenuh cairan atau uap dapat dikontrol oleh pengaturan jumlah uap yang keluar dari atas cairan. Dalam Gambar 4-4a, jumlah penguapan akan kecil/sedikit atau tidak berpengaruh pada tekanan dan temperatur jenuh karena uap keluar bebas sehingga berat jenis dan tekanan uap di atas cairan akan meningkat atau menurun pada waktu penguapan berubah. Sebaliknya, pada Gambar 4-4b, meningkatnya jumlah penguapan akan menyebabkan peningkatan temperatur jenuh. Alasannya bahwa meningkatnya jumlah penguapan mengharuskan dikeluarkannya uap sangat besar dan memerlukan

waktu yang lama. Karena ukuran pipa keluar uap ditentukan oleh pembukaan katup, maka tekanan uap dalam bejana akan meningkat sampai tekanan berbeda antara di dalam dan di luar bejana sehingga cukup untuk uap dapat keluar yang jumlahnya sama dengan jumlah cairan yang menguap. Peningkatan tekanan dihasilkan oleh meningkatnya temperatur jenuh dan berat jenis uap. Sebaliknya, menurunnya jumlah penguapan akan mempunyai pengaruh yang berlawanan. Tekanan dan berat jenis uap di atas cairan akan menurun dan temperatur jenuh akan menjadi rendah.

Sekarang diasumsikan bahwa pembukaan katup pada wadah dibuka secara penuh, seperti pada Gambar 4-4a, sehingga uap dapat keluar bebas dan tanpa halangan dari permukaan cairan. Berat jenis dan tekanan uap akan menurun sampai tekanan uap akan sama dengan udara luar wadah. Karena temperatur jenuh air pada tekanan atmosfer adalah  $212^{\circ}$  F dan karena cairan tidak dapat tetap menjadi cairan pada temperatur di atas temperatur jenuh sama seperti tekanan. Jelaslah bahwa air harus didinginkan dari  $228^{\circ}$  F sampai  $212^{\circ}$  F dengan segera sehingga tekanan turun dari 20 psia menjadi tekanan atmosfer. Pendinginan dilanjutkan pada bagian cairan yang cepat menjadi uap. Panas laten dibutuhkan untuk menguapkan bagian cairan yang cepat menjadi uap yang disuplai oleh massa cairan dan hasil penguapan panas yang disuplai pada temperatur massa cairan akan berkurang dan menjadi temperatur jenuh baru. Cairan yang telah cukup akan menguap dapat menentukan jumlah pendinginan yang dibutuhkan.

## BAB 5

### KOMPONEN UTAMA SISTEM REFRIGERASI

#### A. Kompresor

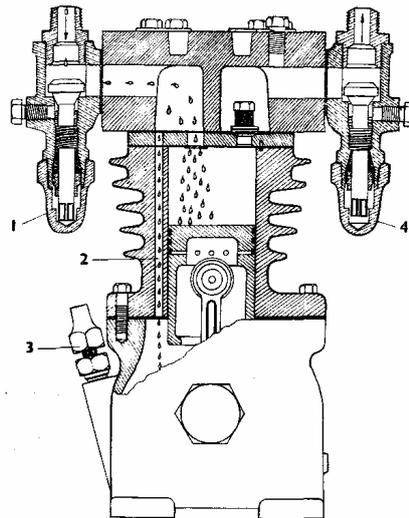
Kompresor adalah bagian terpenting dari sistem refrigerasi. Pada tubuh manusia kompresor dapat diumpamakan sebagai jantung yang memompa darah keseluruh tubuh kita. Sedangkan kompresor menekan refrigeran ke semua bagian dari sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan, sehingga refrigeran dapat mengalir dari satu bagian ke lain bagian dari sistem. Karena adanya perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah, maka refrigeran cair dapat mengalir melalui alat ekspansi ke evaporator. Tekanan gas di dalam evaporator harus lebih tinggi dari tekanan gas di dalam saluran hisap (*suction*), agar gas dingin dari evaporator dapat mengalir melalui saluran hisap ke kompresor. Gas dingin tersebut di dalam kompresor hermetik berguna untuk mendinginkan kumparan motor listrik dan minyak pelumas kompresor. Kompresor pada sistem refrigerasi gunanya untuk:

1. Menurunkan tekanan di dalam evaporator, sehingga refrigeran cair di dalam evaporator dapat mendidih/menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruang di dekat evaporator.
2. Menghisap refrigeran gas dari evaporator dengan suhu rendah dan tekanan rendah lalu memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kemudian mengalirkannya ke kondensor, sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada media pendingin kondensor lalu mengembun.

Untuk menentukan berapa rendah suhu yang harus dicapai oleh evaporator, antara lain ditentukan oleh berapa rendah suhu penguapan di evaporator. Hal ini tergantung dari refrigeran dan jenis kompresor yang dipakai. Kompresor yang banyak dipakai untuk lemari es ada dua macam, yaitu: kompresor torak (*reciprocating*) dan kompresor rotari (*rotary*). Kompresor torak dan kompresor rotari mempunyai gerakan positif. Kompresor torak kompresinya dikerjakan oleh torak, sedangkan kompresor rotari oleh *blade* atau *vane* dan *roller*. Kedua macam kompresor mempunyai keunggulan pada bidangnya masing-masing.

## 1. Kompresor torak

Kompresor torak sampai saat ini yang terbanyak dipakai untuk keperluan refrigerasi. Terutama dipakai dengan refrigeran yang memerlukan pergerakan torak (*piston displacement*) yang kecil dan mengembun pada tekanan yang tinggi. Juga dapat dipakai pada sistem yang memerlukan tekanan evaporator di atas satu atmosfer. Refrigeran yang banyak dipakai dengan kompresor torak: R-12, R-22, R-500, R-502 dan R-717 (Amonia). Kompresor torak mempunyai lubang yang sempit pada kedudukan katupnya, maka tidak dapat dipakai secara ekonomis untuk refrigeran dengan tekanan rendah yang memerlukan jumlah volume yang besar. Kompresor torak dibuat mulai 1/12 DK untuk lemari es sampai 100 DK bahkan lebih pada instalasi untuk keperluan industri yang besar. Bekerjanya kompresor torak seperti motor bakar dua langkah. Pada kompresor torak juga terdapat silinder di mana torak bergerak bolak-balik di dalamnya. Gerak bolak-balik ini disebabkan oleh gerak putar poros engkol yang digerakkan oleh motor listrik.



Gambar 5.1 Kompresor torak untuk open unit

1. Keran suction, 2. Saluran minyak pelumas kembali, 3. Tempat memeriksa minyak pelumas, 4. Keran discharge. (Sumber: Handoko, 1981: 76).

Pada waktu langkah hisap, torak bergerak ke bawah. Terjadi penurunan tekanan atau vakum di dalam selinder antara torak dan tutup selinder, sehingga katup hisap (*suction valve*) terbuka. Refrigeran gas dapat dihisap masuk melalui katup hisap ke dalam silinder. Pada langkah tekan (kompresi atau pemampatan) torak bergerak ke atas memampatkan gas dan mendorongnya ke luar melalui katup tekan (*discharge valve*) ke kondensor. Kemudian torak bergerak ke bawah dan kembali lagi ke atas.

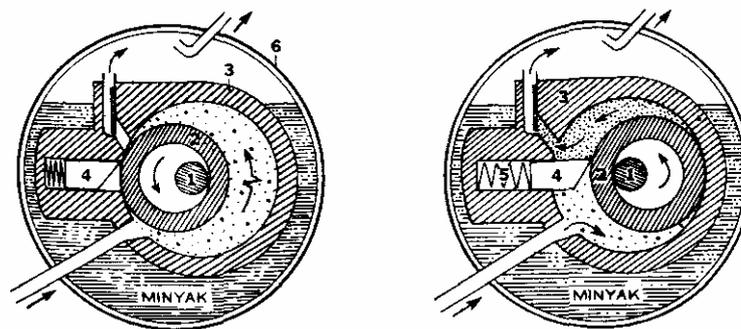
Demikianlah kerja torak bolak-balik ke atas dan ke bawah, sehingga kompresor torak juga disebut kompresor bolak-balik.

## 2. Kompresor rotari

Kompresor rotari ada dua macam:

### a. Kompresor rotari dengan daun pisau tetap (*Statory blade atau Roller type*)

Komponen pada kompresor ini terdiri dari: roller sebuah besi baja berbentuk silinder yang berputar pada ujung poros rotor yang tidak sepusat (eksentrik). Keduanya, roller dan ujung poros berputar dalam rumah yang bentuknya silindris yang selanjutnya akan disebut silinder. Oleh karena ujung poros tidak sepusat, maka roller juga berputar tidak sepusat dan menyinggung bagian dalam dinding silinder pada satu garis. Jika poros berputar, roller juga ikut berputar pada bagian dalam dari silinder tersebut. Sebuah pisau (blade) yang ditekan oleh pegas dari belakang melalui alur pada silender selalu menekan roller pada satu garis. Daun pisau bergerak maju mundur pada alur dari silinder mengikuti roller selama roller berputar pada bagian dalam silinder. Kedua ujung silinder, atas dan bawah mempunyai dinding penutup dan satu dari padanya berfungsi sebagai penunjang poros. Roller dan pisau mempunyai tinggi yang sama dengan tinggi silinder. Hanya memiliki sedikit kelonggaran dengan kedua dinding penutup rumah silinder tersebut. Saluran hisap dan tekan berpangkal dari silinder tersebut, pada bagianj kanan dan kiri di dekat alur dari daun pisau.



Gambar 5.2 Kompresor rotari dengan daun pisau tetap

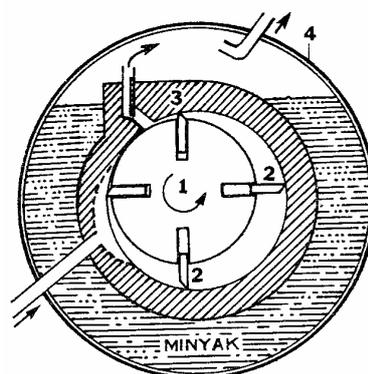
1. Poros, 2. Roller, 3. silinder/rumah, 4. blade/pisau, 5. pegas, 6. tabung.
- (Sumber: Handoko, 1981: 77).

Saluran hisap tidak mempunyai katup hisap (*suction valve*), tetapi mempunyai saringan untuk menyaring kotoran agar tidak masuk ke dalm silinder. Saluran tekan mempunyai katup tekan (*discharge valve*) untuk menghindarkan gas tekanan tinggi

pada waktu kompresor sedang berhenti agar tidak mengalir kembali ke dalam silinder. Di dalam silinder pada umumnya ada dua buah ruangan, yaitu: ruang tekanan rendah dan ruang tekanan tinggi. Pada waktu roller menutup lubang saluran hisap dan tekan pada saat yang bersamaan, maka di dalam silinder hanya ada satu ruang tekanan rendah saja. Semua bagian kompresor: roller, silinder, daun pisau, poros dan kedua dinding penutup atas dan bawah silinder dibuat daripada baja khusus yang dipoles dengan ukuran yang sangat teliti (presisi). Seluruh rumah kompresor ditempatkan dalam sebuah tabung dan direndam dalam minyak pelumas kompresor. Di dalam tabung, saluran pipa tekan ujungnya keluar di atas permukaan minyak pelumas. Minyak pelumas yang bercampur dengan refrigeran gas, karena berat jenisnya lebih besar akan jatuh ke bawah bercampur dengan minyak pelumas di dalam tabung. Refrigeran gas akan terus mengalir melalui pipa tekan keluar dari tabung kompresor lalu masuk ke kondensor.

b. Kompresor rotari dengan daun pisau berputar (*Rotary blade atau vane type*)

Komponen kompresor ini terdiri dari satu silinder yang di dalamnya terdapat roller yang dilengkapi dengan dua atau empat buah daun pisau (*blade atau vane*). Ujung poros yang tidak sepusat dapat memutar roller di dalam silinder dengan satu sisi roller selalu menyinggung dinding silinder bagian dalam. Jarak dari roller dan silinder hanya dipisahkan oleh lapisan minyak yang sangat tipis. Kedua dinding penutup silinder menutup bagian bawah dan atas silinder sambil memegang poros yang berputar. Pisau-pisau bergerak maju dan mundur pada alurnya.



Gambar 5.3 Kompresor rotari dengan daun pisau berputar  
 1. Roller, 2. daun pisau, 3. silinder/rumah, 4. tabung  
 (Sumber: Handoko, 1981: 79).

Waktu poros berputar ujung pisau selalu menempel pada dinding silinder bagian dalam. Ujung pisau ini dapat menempel pada dinding silinder, karena

dorongan gaya sentrifugal dari poros yang sedang berputar. Ada juga yang diberi pegas di belakang pisau agar dapat menekan lebih kuat dan rapat. Gas masuk melalui saluran hisap dan dimampatkan oleh pisau-pisau yang berputar lalu mendorongnya ke luar melalui saluran tekan. Kompresor ini mempunyai sebuah katup tekan pada saluran tekan, untuk menghindarkan gas tekanan tinggi mengalir kembali ke kompresor pada kompresor sedang berhenti. Silinder, reller dan pisau semuanya direndam dalam minyak pelumas kompresor, hanya saluran hisap dan tekan yang keluar dari minyak pelumas tersebut.

Keuntungan kompresor rotari:

- Pemakaian energi listrik lebih hemat
- Bentuknya kompak, kecil dan sederhana
- Tekanannya rata, suaranya tenang
- Getarannya kecil

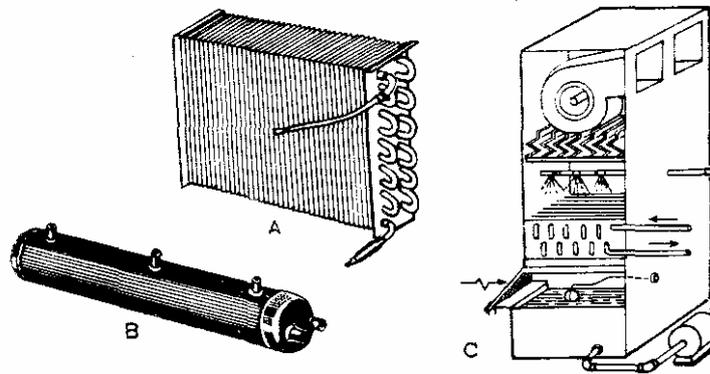
Kerugian kompresor rotari:

- Jika terjadi kerusakan sukar diperbaiki
- Pembuatannya lebih sukar
- Harganya lebih mahal

## **B. Kondensor**

Kondensor gunanya untuk membuang kalor dan mengubah wujud refrigeran dari gas menjadi cair. Kondensor seperti namanya adalah alat untuk membuat kondensasi refrigeran gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Refrigeran di dalam kondensor dapat mengeluarkan kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang ditambahkan oleh kompresor. Kondensor ditempatkan antara kompresor dan alat ekspansi, jadi pada sisi tekanan tinggi dari sistem. Kondensor ditempatkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, agar dapat membuang panasnya ke luar kepada media pendinginnya. Pemilihan jenis dan ukuran kondensor untuk suatu sistem, terutama didasarkan pada yang paling ekonomis, seperti: harga dari kondensor, jumlah energi yang diperlukan, harga dan keadaan media pendingin yang akan dipakai untuk mendinginkan kondensor. Selain itu tempat atau ruangan yang diperlukan oleh kondensor juga harus diperhitungkan. Kondensor dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan pada media pendinginnya: (1). Kondensor

dengan pendingin udara (*air cooled*); (2). Kondensor dengan pendingin air (*water cooled*). (3). Kondensor dengan pendingin campuran udara dan air (*evaporative*).



Gambar 5.4 Kondensor dengan pendingin:  
A. udara, B. Air, C. Campuran udara dan air.  
(Sumber: Handoko, 1981: 88).

Kondensor dengan pendingin udara biasanya digunakan untuk sistem yang berkapasitas kecil dan sedang. Kondensor dengan pendingin air, campuran udara dan air digunakan untuk sistem yang berkapasitas besar.

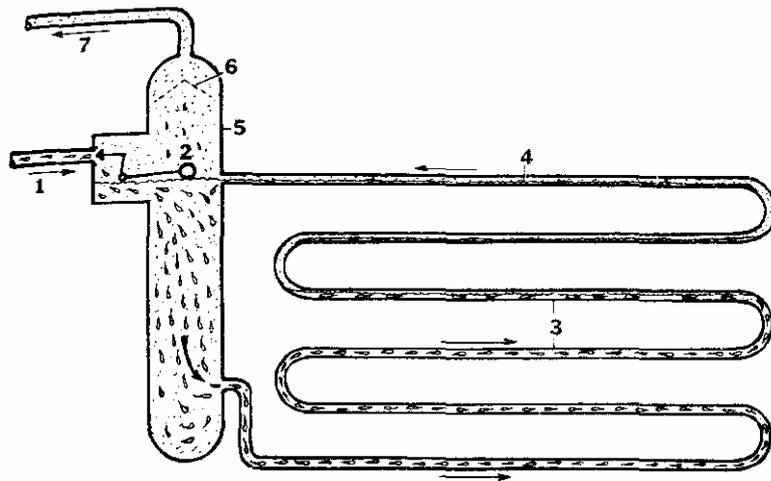
### C. Evaporator

Evaporator juga disebut: Boiler, freezing unit, low side, cooling unit atau nama lainnya yang menggambarkan fungsinya atau lokasinya. Fungsi dari evaporator adalah untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam ruangan yang didinginkan. Kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor di ruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap refrigeran gas dari evaporator, sehingga tekanan di dalam evaporator menjadi rendah. Evaporator fungsinya kebalikan dari kondensor. Tidak untuk membuang panas ke udara di sekitarnya, tetapi untuk mengambil panas dari udara di dekatnya. Kondensor ditempatkan di luar ruangan yang sedang didinginkan, sedangkan evaporator ditempatkan di dalam ruangan yang sedang didinginkan. Kondensor tempatnya diantara kompresor dan alat ekspansi, jadi pada sisi tekanan tinggi dari sistem. Evaporator tempatnya diantara alat ekspansi dan kompresor, jadi pada sisi tekanan rendah dari sistem. Evaporator dibuat dari bermacam-macam logam, tergantung dari refrigeran yang dipakai dan pemakaian dari evaporator sendiri. Logam yang banyak dipakai: besi, baja, tembaga, kuningan dan aluminium. Berdasarkan prinsip kerjanya

evaporator dapat dibagi menjadi dua macam: 1) Evaporator banjir (*Flooded evaporator*) dan 2) Evaporator kering (*Dry or Direct-expansion evaporator*).

### 1. Evaporator banjir (*Flooded evaporator*)

Evaporator banjir mempunyai sebuah tabung untuk menampung refrigeran cair dan gas. Dari tabung tersebut refrigeran cair mengalir ke evaporator lalu menguap. Sisa refrigeran yang tidak sempat menguap di evaporator kembali ke dalam tabung, di mana bahan pendingin cair dan gas memisah. Refrigeran gas pada bagian atas dihisap melalui saluran hisap oleh kompresor, sedangkan cairan mengalir kembali ke evaporator. Tabung di sini juga berfungsi sebagai akumulator. Tinggi permukaan cairan di dalam evaporator diatur oleh keran pelampung agar tinggi permukaannya tetap. Tinggi permukaan refrigeran cair dibuat agar selalu hampir mengisi penuh evaporator. Evaporator hampir selalu terisi dengan refrigeran cair, maka evaporator semacam ini dinamakan evaporator banjir.



Gambar 5.5 Evaporator banjir

1. saluran masuk, 2. pelampung, 3. campuran cair dan gas, 4. permukaan cairan, 5. akumulator, 6. penahan cairan, 7. saluran keluar.

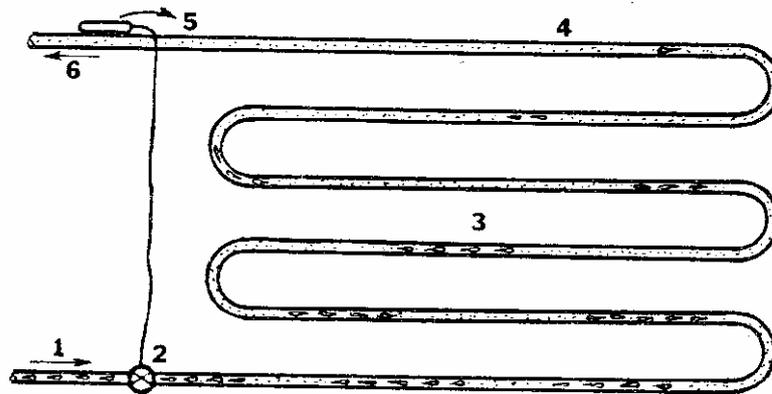
(Sumber: Handoko, 1981:97)

Keuntungan evaporator banjir yaitu dapat membuat permukaan bagian dalam evaporator selalu dalam keadaan basah pada semua keadaan beban, sehingga efisiensi perpindahan kalor sangat besar. Melalui dinding-dinding evaporator terjadi perpindahan kalor secara konduksi, sehingga refrigeran menguap. Evaporator banjir memerlukan jumlah refrigeran yang lebih banyak daripada evaporator kering. Untuk mengembalikan minyak pelumas bersama refrigeran gas dari evaporator banjir ke kompresor sangat sukar. Pada kenyataannya refrigeran gas harus mengalir dengan

kecepatan rendah agar tidak membawa cairan yang sedang mendidih ikut terbawa kembali ke kompresor. Kerugian lain dari evaporator banjir adalah bentuknya yang besar, memerlukan banyak tempat di dalam ruangan yang sedang didinginkan.

## 2. Evaporator kering (*Dry or Direct-expansion evaporator*)

Hanya terdiri dari sebuah pipa tembaga yang panjang. Refrigeran masuk dari salah satu ujungnya, sambil menguap wujudnya berubah dari cair menjadi gas dan mengambil panas dari sekitarnya, lalu keluar dari ujung yang lain sebagai gas dingin atau gas panas lanjut.



Gambar 5.6 Evaporator kering

1. saluran masuk, 2. keran ekspansi, 3. campuran cair dan gas, 4. cairan telah menguap semuanya menjadi gas panas lanjut, 5. bulb, 6. saluran keluar.

(Sumber: Handoko, 1981:98)

Di dalam evaporator selalu terisi campuran refrigeran dalam wujud cair dan gas. Tidak ada kemungkinan dari refrigeran gas atau cair untuk bersirkulasi kembali di dalam evaporator, atau untuk menambah refrigeran di dalam evaporator seperti pada evaporator banjir. Waktu refrigeran mengalir sepanjang pipa, aliran yang cepat dapat menambah kapasitas perpindahan kalor. Tetapi aliran yang cepat dapat membuat penurunan tekanan (*pressure drop*) yang besar dan dapat mengurangi jumlah refrigeran yang mengalir. Evaporator untuk suatu beban yang tertentu harus mempunyai panjang pipa dan diameter pipa yang tertentu. Evaporator dengan pipa yang panjang, jumlah penurunan tekanannya menjadi bertambah besar, sehingga jumlah beban maksimum berkurang. Beban maksimum dari evaporator dipengaruhi oleh suhu refrigeran di dalam evaporator juga oleh perbedaan suhu antara refrigeran dan zat yang sedang didinginkan. Evaporator untuk lemari es biasanya dibuat dari bahan: aluminium, tembaga, baja tahan karat, besi yang dilapisi seng atau plastik dan lain-lain. Bentuk atau konstruksi evaporator kering untuk lemari es ada tiga macam:

1) permukaan datar (*plate surface*); 2) pipa (*bare tube*); 3) pipa dengan sirip-sirip (*finned tube*).

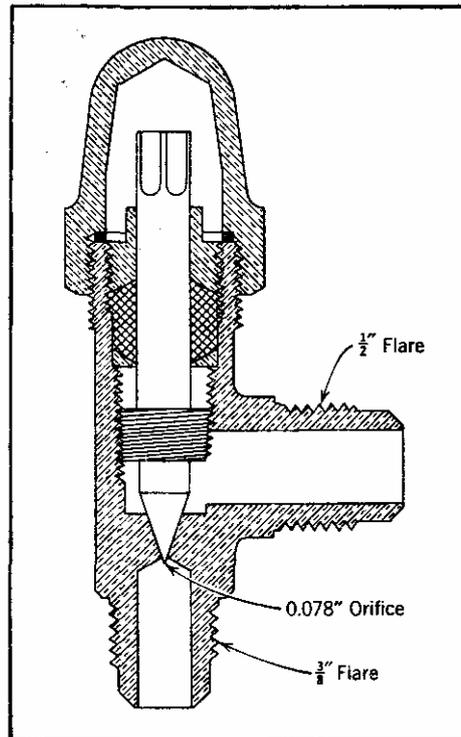
#### **D. Alat ekspansi**

Alat ekspansi (*metering device*) pada sistem refrigerasi merupakan suatu tahanan yang tempatnya diantara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah. Refrigeran cair yang mengalir melalui alat ekspansi, tekanannya diturunkan dan jumlahnya diatur sesuai dengan keperluan evaporator. Alat ekspansi harus memberikan kapasitas yang maksimum kepada evaporator, tetapi tidak membuat beban lebih kepada evaporator. Alat ekspansi bekerjanya atas dasar: 1) perubahan tekanan, 2) perubahan suhu, 3) perubahan jumlah atau volume refrigeran, 4) gabungan dari perubahan tekanan, suhu dan volume refrigeran. Kompresor harus mempunyai kapasitas yang cukup besar untuk menghisap refrigeran dari evaporator. Refrigeran yang dihisap harus lebih besar jumlahnya daripada yang dialirkan keluar dari alat ekspansi. Kompresor yang dapat melaksanakan hal ini, dapat mempertahankan tekanan yang rendah atau vakum di evaporator. Hal ini perlu untuk membuat refrigeran di evaporator menguap pada suhu yang rendah. Untuk mengatur jumlah aliran refrigeran dan membuat perbedaan tekanan pada sistem, dahulu sistem refrigerasi memakai alat ekspansi yang harus selalu diawasi dan dapat diputar dengan tangan. Sekarang setelah mendapat banyak kemajuan dalam bidang: perencanaan, pelaksanaan dan perawatan, telah dapat dibuat alat ekspansi pada sistem refrigerasi yang bekerjanya: efisien, ekonomis dan otomatis.

Alat ekspansi ada enam macam:

##### **1. Keran ekspansi yang diputar dengan tangan**

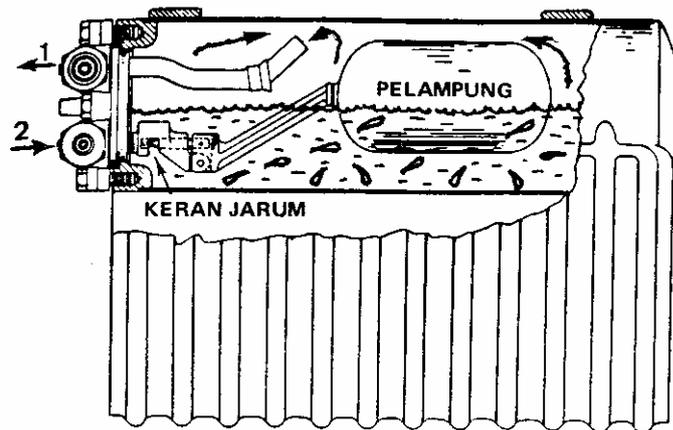
Sistem refrigerasi yang memakai keran ekspansi yang diputar dengan tangan, harus selalu diawasi oleh seorang penjaga agar dapat memberikan jumlah refrigeran yang tertentu, sesuai dengan keperluan dan keadaan sistem. Jumlah refrigeran yang mengalir ke evaporator, dapat ditambah atau dikurangi dengan membuka atau menutup keran ekspansi tersebut. Jumlah refrigeran cair yang mengalir melalui keran ekspansi tergantung dari perbedaan tekanan antara lubang orifice dan besarnya lubang pembukaan keran. Besarnya lubang pembukaan keran dapat diatur dengan tangan oleh penjaga. Misalkan beda tekanan diantara orifice tetap sama, jumlah aliran refrigeran cair yang melalui keran ekspansi setiap saat juga akan tetap sama, tidak dipengaruhi oleh tekanan maupun beban di evaporator.



Gambar 5.7 keran ekspansi yang diputar dengan tangan  
(Sumber: Handoko, 1981:105)

## 2. Keran pelampung sisi tekanan rendah

Alat ini disebut juga dengan istilah *low pressure side float valve* atau *low side float (LSF)*. Pelampung berada di dalam tabung evaporator pada bagian sisi tekanan rendah. Gunanya untuk mengatur dan mempertahankan tinggi permukaan refrigeran cair di dalam evaporator. Banyak dipake dengan jenis refrigeran  $\text{SO}_2$  dan Methyl Chloride dari tahun 1920 sampai tahun 1930. sekarang sudah tidak dipakai lagi karena: 1) Tabung (*float chamber*), 2) jumlah refrigeran yang diperlukan banyak. 3) Banyak minyak yang tertinggal di dalam tabung. Jika evaporator menyerap panas dari sekitarnya, maka refrigeran akan menguap dan permukaan cairan di dalam tabung akan menurun. Pelampung (*float*) di dalam tabung juga akan turun dan membuka lubang jarum. Refrigeran cair dengan tekanan yang lebih tinggi akan mengalir masuk ke dalam tabung, untuk menggantikan cairan yang telah menguap, tanpa dipengaruhi oleh suhu dan tekanan di dalam evaporator.



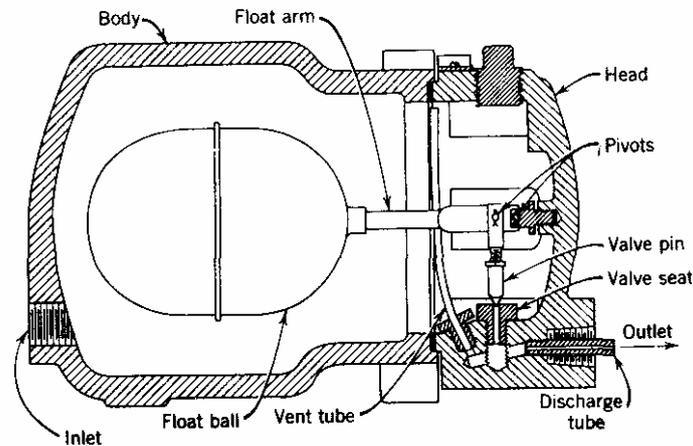
Gambar 5.8 keran pelampung sisi tekanan rendah pada evaporator banjir  
(Sumber: Handoko, 1981:107)

Lubang saluran hisap ditempatkan di dalam tabung pada bagian atas, sehingga pada keadaan normal hanya refrigeran gas saja yang dapat mengalir melalui lubang tersebut. Kedudukan pelampung di dalam tabung dapat diatur, disesuaikan dengan suhu di dalam evaporator yang dikehendaki. Jika pelampung diatur pada kedudukan terlalu rendah, maka suhu di evaporator menjadi sangat rendah. Pada keadaan suhu yang sangat rendah ini, minyak yang terbawa oleh refrigeran ke dalam tabung akan tetap tertinggal di dalam tabung (*chamber*), tidak dapat ikut dengan refrigeran kembali ke kompresor. Sebaliknya jika pelampung diatur pada kedudukan terlalu tinggi, refrigeran cair di dalam tabung akan menjadi penuh dan dapat mengalir melalui saluran hisap ke kompresor. Bagian luar dari saluran hisap akan menjadi es dan refrigeran cair akan masuk ke kompresor. Dapat menyebabkan kerusakan pada kompresor.

### 3. Keran pelampung sisi tekanan tinggi

Alat ini disebut juga dengan istilah *high pressure side float valve* atau *high side float* (HSF). Pelampung dan jarum ditempatkan pada bagian sisi tekanan tinggi dari sistem, yaitu pada saluran liquid. Perbedaan dengan keran pelampung sisi tekanan rendah, yaitu: tabung, pelampung dan keran ditempatkan di luar evaporator, maka dapat diperoleh lebih banyak ruangan kosong di evaporator. Alat ini berguna untuk mengatur atau mempertahankan tinggi permukaan refrigeran cair pada sisi tekanan tinggi dari sistem. Mulai dipakai pada tahun 1925 oleh Servel. Pada tahun 1930 telah menjadi sangat populer dan dianggap sebagai alat ekspansi yang terbaik pada waktu itu. Refrigeran cair dari kondensor mengalir masuk ke dalam tabung

(*float chamber*). Permukaan cairan di dalam tabung akan naik, mengangkat pelampung (*float ball*) dan membuka jarum (*valve pin*), sehingga refrigeran cair mengalir ke luar dari tabung lalu masuk ke evaporator.



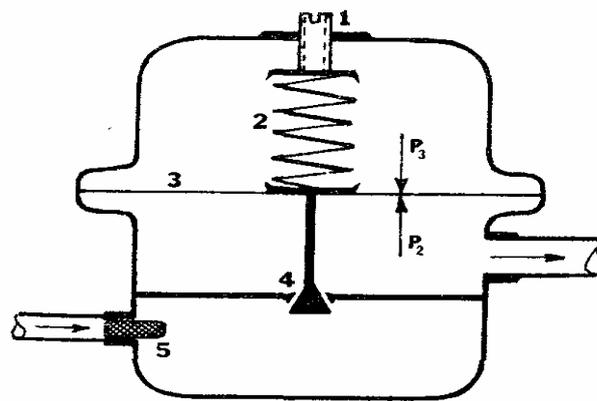
Gambar 5.9 Keran pelampung sisi tekanan tinggi  
(Sumber: Handoko, 1981:108)

Sistem dengan keran pelampung sisi tekanan tinggi tidak boleh memakai penampung cairan (*liquid receiver*), kecuali jika penampung cairan sendiri dipakai sebagai tabung tempat pelampung. Penampung cairan dapat dipakai sebagai tabung (*float chamber*), atau memakai lain tabung sendiri. Keran pelampung sisi tekanan tinggi ini hanya dipakai pada sistem yang mempunyai jumlah isi refrigeran yang kritis atau harus tepat jumlahnya. Pada pengisian refrigeran yang terlalu banyak, akan menyebabkan refrigeran meluap dari evaporator dan mengalir melalui saluran hisap ke kompresor, dapat merusak katup kompresor. Pada sistem yang kurang isi refrigeran, jumlah refrigeran cair yang mengalir masuk ke evaporator terbatas (kurang), sehingga evaporator tidak dingin. Agar penampung dapat bekerja dengan baik, tabung harus pada kedudukan mendatar, jangan miring. Keran pelampung sisi tekanan tinggi dan keran pelampung sisi tekanan rendah sekarang sudah jarang dipakai lagi.

#### 4. Keran ekspansi otomatis

Alat ini disebut juga *automatic expansion valve*, disingkat AEV atau AXV. Suatu keran ekspansi yang tertua dan disebut keran tekanan tetap. Nama ini diperoleh karena keran ekspansi tersebut dapat mempertahankan tekanan yang tetap pada beban evaporator yang berubah-ubah. Keran ekspansi otomatis bekerjanya berdasarkan

tekanan yang seimbang pada bellow atau diaphragm (membran). Tekanan tersebut terdiri dari dua tekanan yang saling mengimbangi, Tekanan evaporator ( $P_2$ ) dan Tekanan dari pegas ( $P_3$ ). Tekanan dari evaporator,  $P_2$  menekan membran ke atas, membuat lubang saluran refrigeran menutup. Tekanan dari pegas yang dapat diatur,  $P_3$ , menekan membran ke arah yang berlawanan membuat lubang saluran refrigeran membuka. Seperti namanya keran ekspansi tersebut bekerjanya otomatis. Yaitu mengatur jumlah refrigeran yang mengalir ke evaporator untuk membuat tekanan dari evaporator dan dari pegas dalam keadaan seimbang atau tetap.



Gambar 5.10 Keran ekspansi otomatis

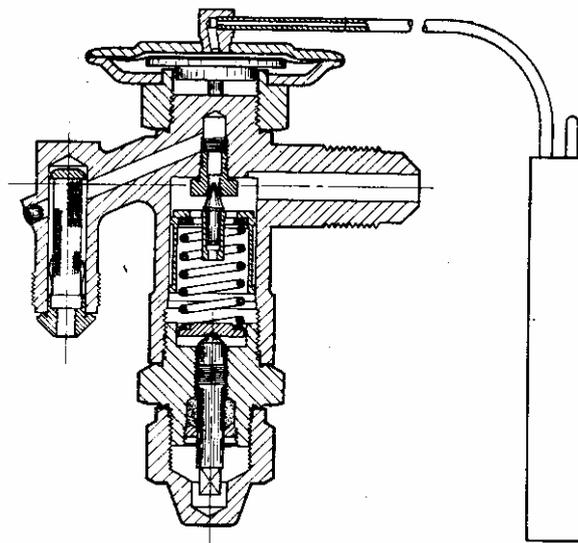
1. Baut pengatur, 2. Pegas, 3. Membran, 4. Jarum dan dudukan, 5. Saringan.  $P_2$ - tekanan evaporator,  $P_3$ -tekanan pegas.

(Sumber: Handoko, 1981:109)

Misalkan tekanan pegas telah disetel untuk mempertahankan tekanan di evaporator 10 psig. Jika hanya sedikit refrigeran yang menguap di evaporator, tekanan di dalam evaporator akan turun, karena terus dihisap oleh kompresor. Keadaan ini akan terus berlangsung sampai tekanan evaporator  $P_2$  menjadi kurang dari 10 psig. Tekanan dari pegas  $P_3$  akan melebihi tekanan evaporator. Jarum akan bergerak ke arah membukanya lubang saluran refrigeran, sehingga refrigeran cair lebih banyak mengalir ke evaporator lalu menguap. Tekanan evaporator akan bertambah sampai mencapai 10 psig dan membuat membran dalam keadaan seimbang lagi dengan tekanan dari pegas. Apabila tekanan evaporator naik sampai lebih dari 10 psig, membran akan mendapat tekanan ke atas, sehingga jarum bergerak ke atas menutup lubang saluran refrigeran ke evaporator. Refrigeran yang menguap berkurang dan membuat tekanan di evaporator menurun, sehingga terjadi keseimbangan lagi pada membran.

## 5. Keran ekspansi thermostatis

Alat ini juga disebut *Thermostatic expansion valve*, disingkat TEV atau TXV. Keran ekspansi thermostatis adalah suatu alat yang secara otomatis mengukur jumlah aliran refrigeran cair yang masuk ke evaporator, sambil mempertahankan gas panas lanjut pada akhir evaporator seperti yang telah direncanakan. Karena tekanan di evaporator rendah, maka sebagian refrigeran cair waktu melalui keran ekspansi masuk ke dalam evaporator wujudnya berubah dari cair menjadi gas dingin. Keran ekspansi thermostatis sampai saat ini merupakan alat ekspansi yang terbanyak dipakai untuk refrigerasi dan air conditioning. Kapasitas keran ekspansi harus tepat. Keran ekspansi dengan kapasitas yang terlalu besar, dapat menyebabkan control yang tidak menentu. Kapasitas yang terlalu kecil, dapat menjadikan kapasitas dari sistem berkurang.



Gambar 5.11 Keran ekspansi thermostatis, Sporlan tipe G  
(Sumber: Handoko, 1981:111)

Perbedaannya dengan keran ekspansi otomatis dari luar keran ekspansi thermostatis mempunyai sebuah thermal bulb yang dihubungkan dengan pipa kapiler kepada keran tersebut.

## 6. Pipa kapiler

Alat ini disebut juga *Impedance tube*, *Restrictor tube* atau *Choke tube*. Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang pipa kapiler dapat mengontrol jumlah refrigeran yang mengalir ke evaporator. Pipa kapiler gunanya untuk :

- a. Menurunkan tekanan refrigeran cair yang mengalir di dalamnya.

- b. Mengatur jumlah refrigeran cair yang mengalir melaluinya.
- c. Membangkitkan tekanan refrigeran di kondensor.

Pipa kapiler banyak sekali macamnya dan ukurannya. Yang diukur diameter dalam (*Inside Diameter = ID*), lain dengan pipa tembaga yang diukur diameter luar (*outside diameter*). Mula-mula dipakai pada tahun 1920 untuk lemari es dengan refrigeran Methyl Chloride. Sekarang telah dipakai untuk semua sistem refrigerasi yang kecil kapasitasnya, terutama lemari es untuk rumah tangga. Pipa kapiler dapat dipakai untuk refrigeran R-12, R-22, R-500, R-502 dan lain-lain. Pipa kapiler tidak boleh dibengkok terlalu tajam, karena dapat menyebabkan lubang pipa kapiler tersebut menjadi buntu. Pipa kapiler menghubungkan saringan dan evaporator, merupakan batas antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah dari sistem. Pada bagian tengahnya sepanjang mungkin dilekakkan dengan saluran hisap dan disolder. Bagian yang disolder ini disebut penukar kalor (*Heat exchanger*).

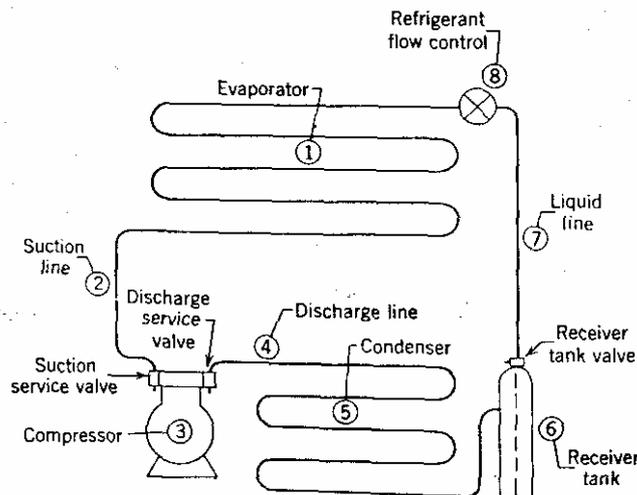
Sistem yang memakai pipa kapiler berbeda dengan yang memakai keran ekspansi atau keran pelampung. Pipa kapiler tidak dapat menahan atau menghentikan aliran refrigeran pada waktu kompresor sedang bekerja maupun waktu kompresor sedang berhenti. Waktu kompresor dihentikan, refrigeran dari sisi tekanan tinggi akan terus mengalir ke sisi tekanan rendah, sampai tekanan pada kedua bagian tersebut menjadi sama disebut waktu penyama tekanan (*Equalization time*). Lemari es memerlukan waktu lima menit untuk menyamakan tekanan tersebut. Keuntungan penggunaan pipa kapiler adalah harganya murah dibandingkan dengan alat ekspansi yang lain. Kerugiannya pipa kapiler tidak sensitif terhadap perubahan beban, seperti pada alat ekspansi yang lain.

## BAB 6

### SISTEM REFRIGERASI KOMPRESI UAP

#### A. Sistem kompresi uap

Siklus diagram dari sistem kompresi uap sederhana ditunjukkan oleh gambar 6.1.



Gambar 6.1 Siklus diagram sistem refrigerasi kompresi uap sederhana

komponen-komponen dari sistem tersebut adalah :

1. Evaporator, yang berfungsi untuk melakukan perpindahan kalor dari ruangan/produk yang didinginkan ke refrigeran yang mengalir di dalamnya melalui permukaan dindingnya.
2. Saluran suction, yang menghubungkan uap refrigeran tekanan rendah dari evaporator ke inlet suction dari kompresor.
3. Kompresor, yang berfungsi untuk memindahkan uap refrigeran dari evaporator dan menaikkan tekanan dan temperatur uap refrigeran ke suatu titik di mana uap tersebut dapat berkondensasi dengan normal sesuai dengan media pendinginnya.
4. Saluran discharge (hot gas), menyalurkan uap refrigeran tekanan tinggi dan temperatur tinggi dari discharge kompresor ke kondensator.
5. Kondensator, yang berfungsi melakukan perpindahan kalor melalui permukaannya dari uap refrigeran ke media pendingin kondensator.

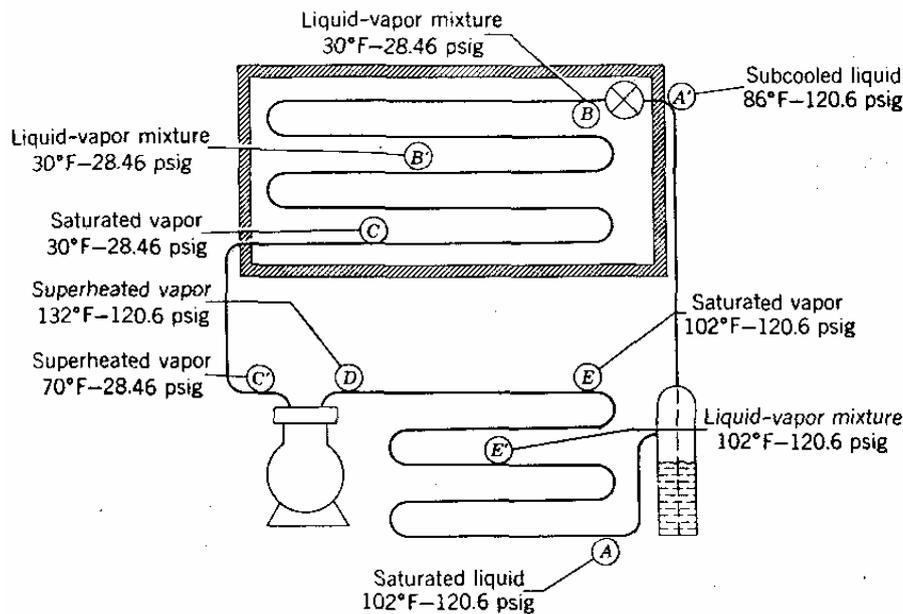
6. Receiver tank, berfungsi untuk menyimpan refrigeran cair dari kondensor sehingga pengiriman refrigeran cair selalu tersedia bilamana evaporator memerlukannya.
7. Saluran liquid, menyalurkan refrigeran cair dari receiver tank ke alat ekspansi.
8. Alat ekspansi, berfungsi untuk mengatur jumlah refrigeran yang mengalir ke evaporator dan menurunkan tekanan refrigeran cair yang masuk ke evaporator sehingga refrigeran cair akan menguap dalam evaporator pada tekanan rendah.

## **B. Pembagian sistem**

Sistem refrigerasi dibagi ke dalam dua bagian berdasarkan pada tekanan kerja refrigeran yang terjadi, yaitu sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah. Pada sisi tekanan rendah, sistem ini terdiri atas alat ekspansi, evaporator dan saluran suction. Tekanan yang digunakan oleh refrigeran pada bagian ini adalah tekanan rendah dimana refrigeran menguap di evaporator. Tekanan ini juga dikenal dengan istilah *low side pressure, evaporator pressure, suction pressure atau back pressure*. Pada sisi tekanan tinggi dari sistem terdiri atas kompresor, saluran discharge, kondensor, receiver tank dan saluran liquid. Tekanan yang dilakukan refrigeran pada bagian ini adalah tekanan tinggi dimana refrigeran mengembun di kondensor. Tekanan ini dinamakan juga *condensing pressure, discharge pressure atau head pressure*. Batas/ titik pembagi antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah adalah alat ekspansi, dimana tekanan refrigeran di turunkan dari tekanan kondensing ke tekanan penguapan.

## **C. Model siklus kompresi uap**

Model siklus kompresi uap ditunjukkan oleh gambar 6.2. dimulai dari receiver tank, refrigeran cair yang bertemperatur tinggi dan tekanan tinggi mengalir dari receiver tank ke alat ekspansi melalui saluran liquid. Tekanan refrigeran cair di turunkan sampai mendekati tekanan evaporator ketika mengalir di alat ekspansi sehingga temperatur jenuh refrigeran ketika masuk evaporator akan lebih rendah dari temperatur ruangan yang didinginkan. Di dalam evaporator, refrigeran cair menguap pada kondisi tekanan dan temperatur konstan, di mana kalor yang diperlukan untuk menguapkan refrigeran cair itu adalah kalor laten yang berasal dari ruangan yang didinginkan yang mengalir melalui dinding-dinding evaporator.



Gambar 6.2 Model siklus kompresi uap

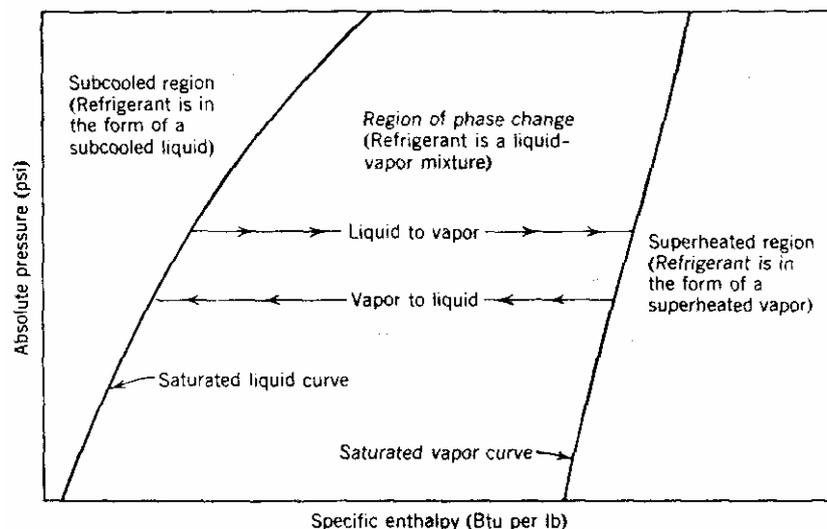
Selanjutnya akibat kerja kompresi yang dilakukan kompresor, uap refrigeran ditarik dari evaporator melalui saluran suction ke dalam inlet suction dari kompresor. Kondisi uap ketika meninggalkan evaporator adalah uap jenuh dan temperatur serta tekanannya sama dengan refrigeran cair ketika akan mulai menguap. Ketika refrigeran mengalir dari evaporator ke kompresor melalui saluran suction, biasanya menyerap kalor dari udara disekitar saluran suction sehingga wujudnya akan berubah menjadi uap panas lanjut. Walaupun temperatur uap refrigeran disaluran suction akan naik sebagai akibat dari panas lanjut tetapi tekanannya tidak mengalami perubahan, sehingga tekanan uap refrigeran ketika masuk ke kompresor adalah sama dengan tekanan penguapan di evaporator. Di dalam kompresor, temperatur dan tekanan uap refrigeran dinaikkan dengan kerja kompresi dan selanjutnya temperatur tinggi dan tekanan tinggi uap refrigeran disalurkan ke saluran hot gas melalui discharge kompresor. Uap refrigeran tekanan tinggi dan temperatur tinggi mengalir dari saluran hot gas ke kondensor, sehingga temperaturnya turun sampai mendekati temperatur saturasi dan tekanannya juga berubah. Di kondensor, uap refrigeran berubah wujud lagi menjadi cair sebagai akibat pelepasan kalor yang dilakukannya. Pada akhirnya semua refrigeran uap berubah menjadi refrigeran cair di bagian akhir kondensor dan selanjutnya mengalir ke receiver tank dan siap untuk disirkulasikan kembali.

## BAB 7

### SIKLUS REFRIGERASI SEDERHANA

#### A. Diagram tekanan-entalpi

Diagram yang sering digunakan dalam menganalisa siklus refrigerasi adalah diagram tekanan-entalpi (P-h) dan diagram temperatur-entropi (T-s). Kondisi refrigeran pada setiap keadaan termodinamika dapat diketahui dengan memberikan *point* (titik) pada Ph diagram. Titik yang diletakkan pada Ph diagram dapat menjelaskan kondisi termodinamika dari refrigeran jika telah diketahui dua properties refrigeran pada kondisi itu. Untuk memudahkan pemahaman kita sebuah sketsa Ph diagram ditunjukkan oleh gambar 7.1.

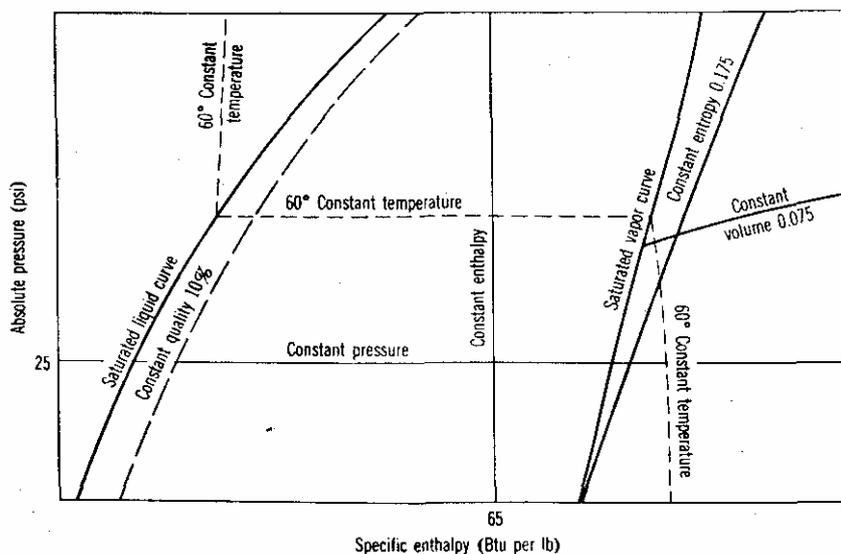


Gambar 7.1 Sketsa diagram tekanan-entalpi  
(Sumber: Dossat, 1961:91)

Diagram tersebut dibagi menjadi tiga bagian dimana setiap bagiannya dipisahkan oleh kurva cairan jenuh (*saturated liquid*) dan uap jenuh (*saturated vapor*). Daerah pada bagian kiri kurva cairan jenuh disebut daerah cairan (*subcooled*). Setiap titik yang ditempatkan pada daerah cairan menunjukkan refrigeran dalam wujud cair dan temperaturnya di bawah temperatur saturasi yang berhubungan dengan tekanannya. Daerah pada bagian kanan kurva uap jenuh disebut daerah panas lanjut (*superheated*) dan refrigeran dalam keadaan uap panas lanjut (*superheated vapor*). Daerah pada bagian tengah dari diagram, diantara kurva cairan jenuh dan uap jenuh adalah daerah yang menunjukkan perubahan fase refrigeran dari cair ke uap. Setiap

titik yang terdapat pada daerah ini menunjukkan refrigeran dalam wujud campuran cair dan uap. Pada diagram dapat dilihat bahwa perubahan fase refrigeran dari wujud cair ke uap bergerak dari kiri ke kanan, begitu juga sebaliknya perubahan fase dari uap ke cair bergerak dari kanan ke kiri. Jika titik data campuran cair dan uap semakin dekat ke kurva cairan jenuh maka fase refrigeran hampir seluruhnya cair begitu juga sebaliknya jika semakin dekat dengan kurva uap jenuh maka fase refrigeran hampir semuanya berwujud uap.

Pada diagram Ph, besaran nilai tekanan terletak pada sumbu vertical dan nilai entalpi pada sumbu horizontal seperti ditunjukkan oleh gambar 7.2. Sehingga, garis horizontal yang memotong luasan diagram sepanjang kurva adalah garis tekanan konstan dan garis vertical yang memotong luasan diagram adalah garis konstan entalpi. Garis temperatur konstan pada daerah *subcooled* hampir tegak lurus dengan diagram dan sejajar dengan garis entalpi konstan. Pada bagian tengah kurva, jika refrigeran berubah wujud pada temperatur dan tekanan konstan maka garis temperatur konstan akan sejajar dengan garis tekanan konstan. Pada daerah kurva uap jenuh, garis temperatur berubah arah lagi menuju ke bagian bawah dari diagram.



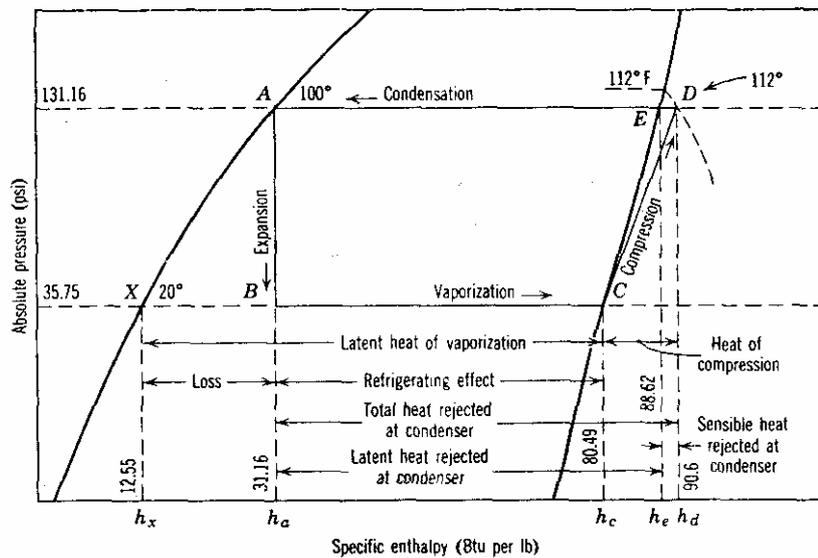
Gambar 7.2 Sketsa Ph diagram yang menunjukkan garis tekanan konstan, temperatur konstan, entalpi konstan, entropi konstan, volume konstan dan kualitas konstan.

(Sumber: Dossat, 1961:92)

## B. Proses pendinginan

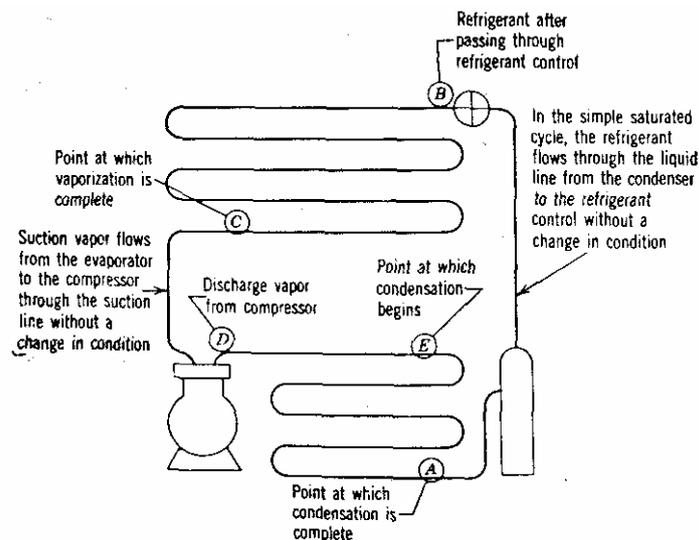
Secara teoritis diasumsikan refrigeran mengalir meninggalkan evaporator dalam wujud uap dan masuk ke kompresor dalam wujud uap jenuh (pada tekanan dan temperatur penguapan) dan refrigeran cair mengalir meninggalkan kondensor lalu masuk ke alat ekspansi dalam wujud cairan jenuh (pada tekanan dan temperatur

kondensasi). Sebuah siklus refrigerasi sederhana untuk sistem yang menggunakan R-12 digambarkan pada sebuah Ph diagram dan ditunjukkan oleh gambar 7.3.



Gambar 7.3 Diagram Ph untuk siklus refrigerasi yang beroperasi pada temperatur penguapan  $20^{\circ}\text{F}$  dan temperatur kondensasi  $100^{\circ}\text{F}$ . (Refrigeran-12). (Sumber: Dossat, 1961:93)

Sistem ini diasumsikan beroperasi pada kondisi tekanan penguapan di evaporator sebesar 35,75 psia dan tekanan kondensasi di kondensor sebesar 131,6 psia. Titik A, B, C, D dan E pada diagram Ph berhubungan dengan titik data pada sistem refrigerasi yang ditunjukkan oleh gambar 7.4. Pada titik A, refrigeran berada dalam wujud cairan jenuh di kondensor dan nilai tekanan, entalpi dan temperatur dapat langsung di ketahui dari Ph diagram.



Gambar 7.4 Diagram alir dari siklus refrigerasi sederhana (Sumber: Dossat, 1961:94)

## 1. Proses ekspansi

Diasumsikan tidak terjadi perubahan kondisi refrigeran cair ketika mengalir melalui saluran liquid dari kondensor ke alat ekspansi dan kondisi refrigeran ketika akan masuk ke alat ekspansi sama dengan kondisi refrigeran di titik A. Pada proses yang ditunjukkan oleh titik A – B terjadi pada alat ekspansi dimana tekanan dari cairan diturunkan dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi. Ketika cairan berekspansi ke dalam evaporator melalui orifice dari alat ekspansi, temperatur cairan turun dari temperatur kondensasi ke temperatur evaporasi dan wujud refrigeran cair berubah menjadi campuran uap dan cair. Titik A dan B mempunyai nilai kandungan panas yang sama karena terletak pada garis komstan entalpi, harganya 31,16 Btu/lb. Nilai 31,16 Btu/lb adalah kandungan panas refrigeran cair R-12 pada temperatur 100<sup>0</sup> F sedangkan kandungan panas refrigeran cair pada temperatur 20<sup>0</sup> F adalah 12,55 Btu/lb (titik X). Selisih B – X inilah yang mesti dibuang sebelum refrigeran masuk ke dalam evaporator.

## 2. Proses evaporasi

Garis horisontal B – C merupakan garis penguapan di dalam evaporator, refrigeran mengambil panas dari luar untuk menguapkan semua refrigeran cair yang ada di dalam evaporator. Titik C merupakan titik akhir penguapan dan titik awal kompresi, nilai hC = 80,49 Btu/lb. Selisih antara hB dengan hC adalah merupakan efek pendinginan (RE), yang besarnya  $80,49 - 31,16 = 49,33$  Btu/lb.

## 3. Proses kompresi

Pada gambar 7.3, Garis C – D menunjukkan proses kompresi, temperatur dan tekanan uap dari evaporator dinaikkan sampai mencapai temperatur dan tekanan kondensor, dengan asumsi tidak ada bocoran atau sisipan panas pada pipa penghubung evaporator dan kompresor. Titik D merupakan awal garis tekanan absolut yang senilai dengan temperatur kondensasi 100<sup>0</sup> F. Titik ini terletak pada daerah panas lanjut (*superheated*). Letak titik D merupakan titik pertemuan antara perpanjangan garis tekanan 131,16 psia dengan konstan entropi dari titik C dan temperatur titik D mendekati 112<sup>0</sup> F. Besarnya hD = 90,6 Btu/lb dan selisih hD dengan hC = 10,11 Btu/lb adalah jumlah panas yang ditambahkan kepada uap akibat kerja kompresi. Temperatur titik D merupakan temperatur teoritis, karena pada kenyataannya temperatur pada titik D lebih tinggi, lebih kurang 20 sampai 35<sup>0</sup> F.

#### 4. Proses kondensasi

Garis D – E merupakan garis superheat yang harus dibuang terlebih dahulu sebelum refrigeran mengalami proses kondensasi, besarnya adalah  $h_D - h_E = 90,6 - 88,62 = 1,98$  Btu/lb. Panas lanjut 1,98 Btu/lb dibuang melalui dinding pipa keluar kompresor atau dari pipa-pipa bagian atas kondensator. Selama terjadi pengeluaran panas ini temperatur refrigeran turun sampai temperatur kondensasi ( $100^{\circ}$  F). Garis E – A adalah garis kondensasi yang terjadi di dalam kondensator. Kondisi titik E = titik A, yaitu  $100^{\circ}$  F/ 131,16 psia, kecuali entalpi dan wujudnya berbeda.

#### C. Koefisien unjuk kerja (*Coefficient of Performance*)

Untuk mencari koefisien kerja dari suatu instalasi pendingin mesti diketahui dulu efek pendinginannya (RE) dan kerja kompresi. Perbandingan efek pendinginan dengan kerja kompresi adalah koefisien kerja (*Coefficient of Performance/CoP*). Kalau dibuat suatu persamaan :

$$\text{CoP} = \text{efek pendinginan} : \text{kerja kompresi} \quad (7-1)$$

Untuk mencari besarnya CoP itu kita mesti kembali ke diagram ph, dimana :

$$\text{CoP} = (h_C - h_A) : (h_D - h_C)$$

$$\text{CoP} = 49,33 : 10,11$$

$$\text{CoP} = 4,88$$

Nilai CoP selalu lebih besar dari 1.

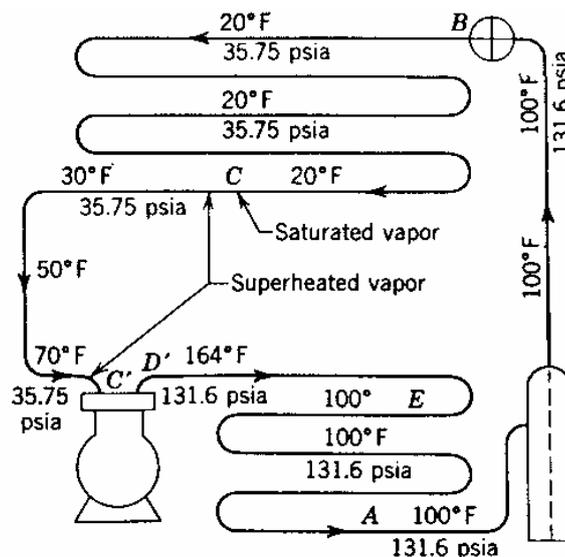
## BAB 8

### SIKLUS REFRIGERASI AKTUAL

#### A. Pengaruh superheating refrigeran uap pada siklus refrigerasi

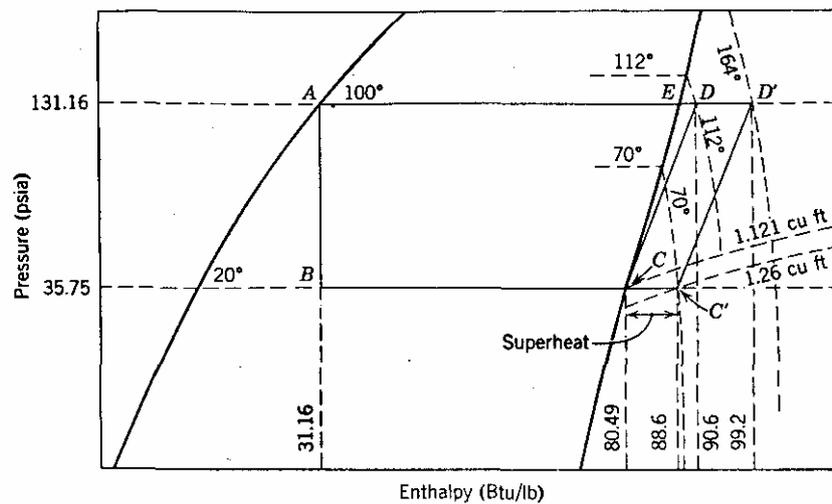
Pada siklus refrigerasi aktual terjadi deviasi dari siklus refrigerasi yang sederhانا. Alasan untuk hal ini karena pada siklus refrigerasi sederhana dibuat beberapa asumsi yang sebenarnya tidak terdapat pada siklus refrigerasi aktual. Sebagai contoh, pada siklus refrigerasi sederhana penurunan tekanan (*pressure drops*) akibat aliran refrigeran yang mengalir pada pipa saluran, evaporator, kondensor dan sebagainya diabaikan. Lebih lanjut pengaruh dari subcooling dan superheating tidak dipertimbangkan. Begitu juga kerja kompresi oleh kompresor diasumsikan sebagai proses isentropik.

Pada siklus refrigerasi sederhana, diasumsikan refrigeran uap yang mengalir ke kompresor berada dalam wujud uap jenuh pada tekanan dan temperatur penguapan. Pada kenyataannya hal ini tidak selalu benar. Setelah refrigeran cair seluruhnya menguap di evaporator, kemudian menjadi dingin, biasanya uap jenuh akan terus menyerap kalor dan akhirnya menjadi uap panas lanjut sebelum ia mencapai kompresor, seperti ditunjukkan oleh gambar 8.1.



Gambar 8.1 Siklus diagram aliran superheated  
(Sumber: Dossat, 1961:107)

Pada diagram Ph dalam gambar 8.2, dilakukan perbandingan antara siklus saturasi dengan siklus superheated sehingga temperatur uap jenuh sebesar  $20^{\circ}$  F berubah menjadi  $70^{\circ}$  F. Titik A, B, C, D dan E menunjukkan siklus saturasi dan titik A, B, C', D' dan E menunjukkan siklus superheated. Jika penurunan tekanan refrigeran pada saluran suction diabaikan, ini berarti dapat diasumsikan bahwa tekanan uap refrigeran konstan selama proses superheating terjadi. Hal ini juga berarti bahwa setelah superheating, tekanan uap refrigeran di saluran hisap kompresor sama dengan tekanan penguapan di evaporator. Berdasarkan asumsi tersebut, titik C' dapat diletakkan pada Ph diagram dengan mengikuti garis tekanan konstan dari titik C di mana garis tekanan konstan tersebut akan berpotongan dengan garis temperatur konstan pada  $70^{\circ}$  F. Titik D' dapat diketahui dengan cara mengikuti garis entropy konstan dari titik C' hingga berpotongan dengan garis tekanan konstan yang menunjukkan garis tekanan kondensing.



Gambar 8.2 Ph diagram untuk perbandingan siklus saturasi dengan siklus superheated. (Sumber: Dossat, 1961:108)

Pada gambar 8.2, *properties* dari uap panas lanjut di titik C' dan D' dapat dilihat dalam Ph diagram yaitu sebagai berikut:

Titik C' :  $P = 35,75$  psia,  $T = 70^{\circ}$  F,  $v = 1,260$  ft<sup>3</sup>/lb,  $h = 88,6$  Btu/lb.

Titik D' :  $P = 131,6$  psia,  $T = 164^{\circ}$  F,  $v = 0,380$  ft<sup>3</sup>/lb,  $h = 99,2$  Btu/lb.

Pada Ph diagram, proses C – C' menunjukkan superheating refrigeran uap dari  $20^{\circ}$  F menjadi  $70^{\circ}$  F pada tekanan penguapan dan perbedaan entalpi pada titik ini adalah jumlah panas yang diperlukan untuk mencapai superheat untuk setiap pon refrigeran. Berdasarkan hasil perbandingan dari kedua siklus tersebut, ada beberapa hal yang menarik untuk diamati, yaitu:

1. Panas kompresi untuk siklus superheated lebih besar daripada untuk siklus saturasi. Untuk siklus superheated panas kompresinya adalah  $hD' - hC' = 99,2 - 88,6 = 10,6$  Btu/lb. Sedangkan untuk siklus saturasi panas kompresinya adalah  $hD - hC = 90,6 - 80,49 = 10,11$  Btu/lb.
2. Untuk temperatur dan tekanan kondensing yang sama, temperatur uap refrigeran yang keluar dari kompresor untuk siklus superheated lebih tinggi daripada untuk siklus saturasi. Pada kasus ini temperaturnya adalah  $164^0$  F untuk siklus superheated dan  $112^0$  F untuk siklus saturasi.
3. Untuk siklus superheated, jumlah panas yang harus dilepaskan oleh kondensor lebih besar daripada untuk siklus saturasi. Hal ini terjadi karena adanya tambahan panas yang diserap oleh uap refrigeran sebelum ia mengalami superheated dan juga karena adanya kenaikan pada panas kompresi. Untuk siklus superheated, panas yang harus dilepaskan kondensor adalah  $hD' - hA = 99,2 - 31,16 = 68,04$  Btu/lb dan untuk siklus saturasi panas yang harus dilepaskan oleh kondensor adalah  $hD - hA = 90,6 - 31,16 = 59,44$  Btu/lb.

Sebagai catatan juga bahwa tambahan panas yang harus dilepaskan kondensor pada siklus superheated adalah semuanya panas laten. Jumlah panas laten yang harus dikeluarkan kondensor adalah sama untuk kedua siklus ini. Ini berarti bahwa pada siklus superheated, sejumlah panas sensibel yang harus dilepaskan kondensor ke media pendinginnya adalah sebelum proses kondensasi dimulai.

### **B. Pengaruh subcooling refrigerant cair pada siklus refrigerasi**

Pada Ph diagram yang ditunjukkan oleh gambar 8.3, dilakukan perbandingan pada siklus saturasi sederhana dengan temperatur kondensing  $100^0$  F dan temperatur kondensing yang mengalami subcooling hingga mencapai temperatur  $80^0$  F, sebelum refrigeran cair mengalir ke alat ekspansi. Titik A, B, C, D dan E menunjukkan siklus saturasi dan titik A', B', C, D dan E menunjukkan siklus subcooled. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa ketika refrigeran cair yang didinginkan sebelum ia mengalir ke alat ekspansi maka efek refrigrasi yang terjadi akan meningkat. Pada gambar 8.3, peningkatan efek refrigrasi hasil dari pendinginan lanjut (subcooling) berbeda antara  $hB'$  dan  $hB$  begitu juga halnya dengan  $hA'$  dan  $hA$ . Panas yang dibuang oleh refrigeran cair selama proses subcooling adalah:

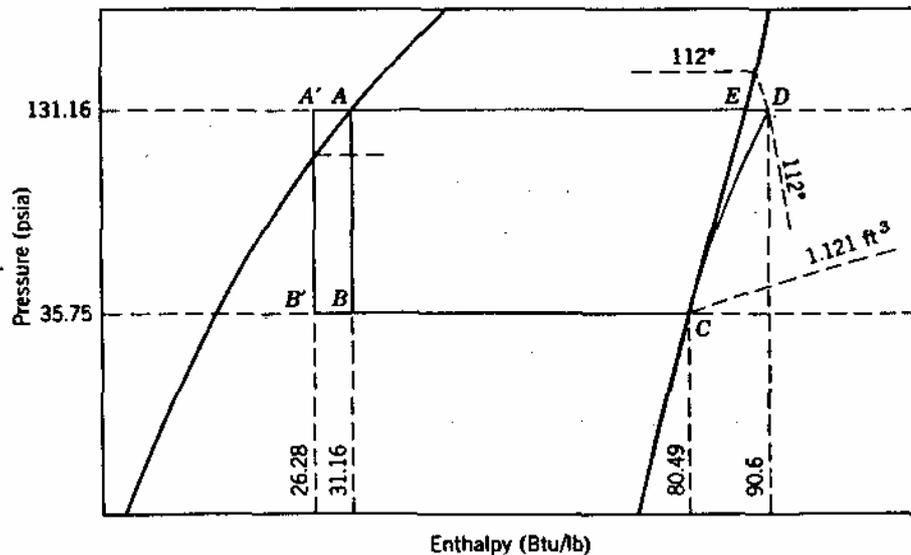
$$\text{Untuk siklus saturasi, } q_1 = hC - hA = 80,49 - 31,16 = 49,33 \text{ Btu/lb.}$$

$$\text{Untuk siklus subcooling, } q_1 = hC - hA' = 80,49 - 26,28 = 54,21 \text{ Btu/lb.}$$

Karena besarnya efek refrigerasi, maka banyaknya refrigeran yang disirkulasikan per menit per ton akan lebih sedikit untuk siklus subcooled daripada untuk siklus saturasi.

Untuk siklus saturasi,  $m = 200/49,33 = 4,05 \text{ lb}$

Untuk siklus subcooling,  $m = 200/54,21 = 3,69 \text{ lb}$ .



Gambar 8.3 Ph diagram untuk perbandingan siklus saturasi dengan siklus subcooled. (Sumber: Dossat, 1961:113)

Kondisi refrigeran uap ketika mengalir ke kompresor adalah sama untuk kedua siklus. Oleh karena itu volume spesifik refrigeran uap ketika masuk ke kompresor juga sama, dan jika jumlah refrigeran yang disirkulasikan per menit per ton untuk siklus subcooled lebih sedikit daripada untuk siklus saturasi, maka besarnya volume refrigeran uap yang harus ditanggulangi oleh kompresor juga akan lebih sedikit untuk siklus subcooled daripada untuk siklus saturasi.

Untuk siklus saturasi:

Volume spesifik refrigeran uap,  $v_c = 1,121 \text{ ft}^3/\text{lb}$ . Volume refrigeran uap yang ditanggulangi kompresor:  $V = m \times v_c = 4,05 \times 1,121 = 4,55 \text{ ft}^3/\text{min}$

Untuk siklus subcooled:

Volume spesifik refrigeran uap,  $v_c = 1,121 \text{ ft}^3/\text{lb}$ . Volume refrigeran uap yang ditanggulangi kompresor:  $V = m \times v_c = 3,69 \times 1,121 = 4,15 \text{ ft}^3/\text{min}$ .

Karena volume refrigeran uap yang ditanggulangi oleh kompresor untuk siklus subcooled lebih sedikit, maka daya yang dibutuhkan oleh kompresor juga akan lebih kecil daripada untuk siklus saturasi. Selain itu koefisien unjuk kerja (CoP) yang dihasilkan pada siklus subcooled lebih besar daripada siklus saturasi.

## **BAB 9**

### **REFRIGERAN DAN MINYAK PELUMAS**

#### **A. Refrigeran**

Refrigeran adalah bahan pendingin berupa fluida yang digunakan untuk menyerap panas melalui perubahan fase cair ke gas (menguap) dan membuang panas melalui perubahan fase gas ke cair (mengkondensasi). Refrigeran yang baik harus memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Tidak beracun, tidak berwarna, tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak dapat terbakar atau meledak sendiri, juga bila bercampur dengan udara, minyak pelumas dan sebagainya.
3. Tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada sistem refrigerasi dan air conditioning.
4. Dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor, tetapi tidak mempengaruhi atau merusak minyak pelumas tersebut.
5. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali di mampatkan, diembunkan dan diuapkan.
6. Mempunyai titik didih yang rendah. Harus lebih rendah daripada suhu evaporator yang direncanakan.
7. Mempunyai tekanan kondensasi yang rendah. Tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kompresor yang besar dan kuat, juga pipanya harus kuat dan kemungkinan bocor besar.
8. Mempunyai tekanan penguapan yang sedikit lebih tinggi dari 1 atmosfer. Apabila terjadi kebocoran, udara luar tidak dapat masuk ke dalam sistem.
9. Mempunyai kalor laten uap yang besar, agar jumlah panas yang diambil oleh evaporator dari ruangan jadi besar.
10. Apabila terjadi kebocoran mudah diketahui dengan alat-alat yang sederhana.
11. Harganya murah.

#### **Refrigeran 12, (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) Dichloro Difluoro Methane**

R-12 adalah refrigeran yang paling banyak dipakai untuk lemari es dan AC mobil. R-12 mempunyai titik didih -21,6<sup>0</sup>F (-29,8<sup>0</sup>C) pada tekanan 1 atmosfer. Tekanan penguapan 11,8 psig pada 5<sup>0</sup>F (15<sup>0</sup>C) dan tekanan kondensasi 93,3 psig pada 86<sup>0</sup>F (30<sup>0</sup>C). Kalor laten uap 71,74 Btu/lb pada titik didih. Bahan pendingin R-12

sangat aman, tidak korosif, tidak beracun, tidak dapat terbakar atau meledak dalam bentuk gas maupun cair, juga bila bercampur dengan udara. R-12 tidak berwarna, bahkan transparan, tidak berbau dan tidak ada rasanya pada konsentrasi di bawah 20% dari volume. R-12 tidak berbahaya bagi hewan atau tumbuhan dan tidak mempengaruhi bau, rasa atau warna dari air atau makanan yang disimpan di dalam ruangan. R-12 akan tetap stabil pada suhu kerja rendah, maupun pada suhu kerja tinggi, tidak bereaksi dan tidak korosif terhadap logam yang banyak dipakai pada sistem refrigerasi dan air conditioning, seperti: aluminium, tembaga, kuningan, seng, timah dan lain-lain. Jika bercampur dengan air pada suhu tinggi dapat menjadi korosif karena ada asam halogen yang terbentuk. Apabila kita memakai sistem dengan R-12, janganlah sampai ada air yang tertinggal di dalam sistem.

Kebaikan R-12 yang dapat bercampur dengan minyak pelumas dalam semua keadaan tidak saja mempermudah mengalirkan minyak pelumas kembali ke kompresor, tetapi juga dapat menaikkan efisiensi dan kapasitas dari sistem. Evaporator dan kondensor akan bebas dari minyak pelumas yang dapat mengurangi kemampuan perpindahan panas dari kedua alat tersebut. R-12 apabila bercampur dengan api yang sedang terbakar atau pemanas listrik yang sedang bekerja, dapat membentuk suatu gas yang sangat beracun. Kebocoran dapat dicari dengan halide detector, electronic detektor, air sabun dan lain-lain. Refrigeran dibuat oleh beberapa negara dari beberapa perusahaan dengan memakai nama dagang (merk) mereka masing-masing. Beberapa diantaranya yang telah beredar di Indonesia adalah :

**Tabel 9.1**  
**Beberapa Merk dagang refrigeran**

<b>Nama</b>	<b>Pabrik</b>	<b>Negara</b>
Freon	E.I. du Pont de Nemours & Company	U.S.A
Genetron	Allied Chemical Corporation	U.S.A
Frigen	Hoechst AG	Jerman
Arcton	Imperial Chemical Industries Ltd.	Inggris
Asahi Fron	Asahi Glass Co., Ltd.	Jepang
Forane	Pacific Chemical Industries Pty.	Australia
Daiflon	Osaka Kinzoku Kogyo Co., Ltd.	Jepang
Ucon	Union Carbide Chemicals Corporation	U.S.A
Isotron	Pennsylvania Salt Manufacturing Co.	U.S.A

Refrigeran disimpan dalam tabung atau silender dan drum. Untuk mengetahui isinya, tabung-tabung tersebut diberi berbagai warna, keterangan pada tabung dan label. Warna tabung bahan pendingin dari Du Pont adalah sebagai berikut:

**Tabel 9.2**  
**Warna tabung Refrigeran merk Du Pont**

Refrigeran	Warna tabung
Freon 11	Jingga (Orange)
Freon 12	Putih
Freon 22	Hijau
Freon 113	Ungu tua (Purple)
Freon 114	Biru tua
Freon 134a	Biru muda (Biru langit)
Freon 500	Kuning
Freon 502	Ungu muda (Orchid)



**Gambar 9.1 Jenis Refrigeran 12**

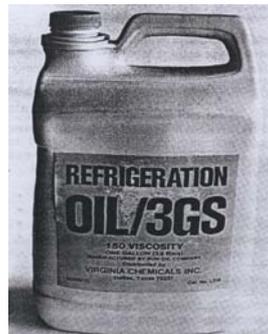
#### B. Minyak pelumas

Minyak pelumas dalam sistem pendingin merupakan bagian yang penting untuk melumasi dan melindungi bagian-bagian yang bergerak dari kompresor. Kompresor mesin pendingin harus terus-menerus mendapat pelumasan. Jika cara pelumasannya kurang sempurna, bagian-bagian yang bergerak dari kompresor akan cepat aus dan rusak. Gunanya minyak pelumas dalam sistem pendingin adalah untuk :

1. Mengurangi gesekan dari bagian-bagian yang bergerak.
2. Mengurangi terjadinya panas pada bus dan bantalan.
3. Membentuk lapisan penyekat antara torak dan dinding silender
4. Membantu mendinginkan kumparan motor listrik di dalam kompresor hermetik.

Di dalam kompresor minyak pelumas selalu berhubungan, bahkan bercampur dengan refrigeran dan mengalir bersama-sama ke semua bagian dari sistem. Minyak pelumas harus tetap stabil pada suhu dan tekanan yang tinggi dari kompresor, juga harus tetap dapat memberikan pelumasan dan melindungi bagian-bagian yang bergerak agar tidak aus dan rusak. Pada suhu rendah minyak pelumas harus tidak menimbulkan kotoran atau endapan yang dapat menyebabkan katup ekspansi menjadi buntu. Minyak pelumas yang ikut terbawa oleh refrigeran harus dapat dikembalikan ke kompresor dengan perencanaan dari sistem, terutama evaporator yang baik. Minyak pelumas dapat dibagi dalam tiga jenis yaitu yang berasal dari hewan, tumbuhan dan mineral.

Minyak pelumas yang berasal dari hewan dan tumbuhan adalah minyak pelumas yang tetap (*fixed oil*), karena tidak dapat dimurnikan tanpa diuraikan. Minyak tersebut tidak stabil, mudah membentuk asam dan endapan, sehingga tidak dapat dipakai untuk mesin pendingin. Minyak pelumas untuk mesin pendingin dibuat dari mineral yang baik dari golongan naphthene.



**Gambar 9.2 Jenis minyak pelumas**

Minyak mineral harus dibersihkan melalui proses penyulingan minyak, untuk diambil kandungan lilin, air, belerang dan lain-lain kotorannya. Umumnya minyak pelumas diberi bahan tambahan untuk menghindarkan terjadinya endapan atau busa. Minyak pelumas harus mempunyai *pour point* (suhu terendah dimana minyak masih dapat mengalir) yang rendah, agar pada suhu rendah lilinnya tidak memisah lalu membeku. Lilin yang membeku dapan membuat buntu alat kontrol refrigeran seperti katup ekspansi. Syarat-syarat minyak pelumas untuk mesin pendingin adalah :

1. Tidak mengandung air, lilin, asam dan lain-lain kotoran.
2. Mempunyai pour point yang rendah yaitu  $-25^{\circ}\text{F}$  sampai dengan  $-40^{\circ}\text{F}$  ( $-32^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $-40^{\circ}\text{C}$ ). Agar pemakaian pada sistem dengan suhu rendah, lilinnya tidak memisah dan membeku.

3. Mempunyai dielektrik (tidak menghantar listrik) yang kuat, minimum 25 kilo volt.
4. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak mudah bereaksi dengan refrigeran atau benda lain yang dipakai pada sistem pendingin.
5. Tidak berbusa, karena jika berbusa minyak pelumas dapat membawa refrigeran cair masuk ke kompresor, dapat merusak katup kompresor.
6. Mempunyai kekentalan (viscosity) pada 100<sup>0</sup>F (37,8<sup>0</sup>C) antara 150 – 300 SUV (Saybolt Universal Viscosity) dan untuk kompresor AC mobil 500 SUV.

### **Kekentalan (Viscosity) Minyak Pelumas**

Minyak pelumas biasanya diukur dengan satuan Saybolt Universal Viscosity (SUV), yaitu satuan waktu dalam detik yang diperlukan untuk mengalirkan minyak dalam jumlah tertentu (60 cm<sup>3</sup>) pada suhu udara 100<sup>0</sup>F (37,8<sup>0</sup>C) melalui sebuah pipa kapiler. Misalnya minyak pelumas pada suhu 100<sup>0</sup>F memerlukan waktu 300 detik untuk melewati pipa kapiler tersebut, maka dinamakan minyak tersebut mempunyai kekentalan 300 SUV pada 100<sup>0</sup>F. Minyak pelumas dengan 300 SUV lebih kental daripada minyak pelumas dengan 200 SUV. Minyak yang terlalu kental akan membuat tahanan minyak tersebut menjadi besar dan tenaga yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor juga bertambah besar. Minyak pelumas yang terlalu kental tidak dapat menembus lapisan permukaan antara bagian-bagian yang bergerak, apalagi pada kelonggaran atau celah yang sempit, minyak tidak dapat menembus ke celah-celah tersebut yang harus dilumasi, sehingga hasil pelumasan tidak merata dan bagian yang bergesekan cepat menjadi aus dan rusak. Sebaliknya minyak pelumas yang terlalu encer, tidak dapat membuat lapisan film dan melumasi permukaan bagian-bagian yang bergerak dengan baik, sehingga bagian-bagian tersebut cepat menjadi aus dan rusak. Berikut ini diberikan sebuah tabel sebagai pedoman kekentalan dari minyak pelumas :

**Tabel 9.3**  
**Pedoman Kekentalan Minyak Pelumas**

<b>Pemakaian</b>	<b>Jenis Refrigeran</b>	<b>Kekentalan (SUV)</b>
Suhu kompresor: Normal Tinggi	Semua	150
	Halogen	150
	Amonia	300
Suhu evaporator: Di atas -18 <sup>0</sup> C  -18 <sup>0</sup> C s/d -40 <sup>0</sup> C  Di bawah -40 <sup>0</sup> C	Halogen	150
	Amonia	300
	Halogen	150
	Amonia	150
	Halogen	150
	Amonia	150
Kompresor AC mobil	Halogen	500

Kekentalan minyak pelumas akan berubah, jika terjadi perubahan suhu. Kekentalannya akan naik jika suhunya turun. Sebaliknya kekentalannya akan turun jika suhunya naik. Misalkan minyak pelumas dengan kekentalan 175 SUV pada 100<sup>0</sup>F akan naik menjadi 1800 SUV jika suhunya turun sampai 40<sup>0</sup>F.

Refrigeran yang dapat larut dalam minyak pelumas dibagi menjadi tiga golongan, yaitu:

1. Dapat bercampur pada suhu tinggi dan suhu rendah.
2. Dapat bercampur pada suhu tinggi, tetapi memisah pada suhu rendah.
3. Tidak dapat bercampur pada suhu tinggi maupun suhu rendah.

Pada suhu yang rendah di evaporator, kemampuan bercampur refrigeran dengan minyak pelumas berkurang, sedangkan pada suhu tinggi di kompresor dan kondensor bertambah. Di evaporator biasanya sebagian minyak pelumas akan memisah dari campuran refrigeran dan minyak pelumas. R-12 adalah refrigeran yang pada suhu tinggi dan suhu rendah dapat bercampur dengan minyak pelumas. Di dalam saluran pipa evaporator yang rendah suhunya, R-12 tetap dapat bercampur dengan minyak pelumas. Kekentalan minyak pelumas di evaporator dan saluran hisap tetap rendah (encer), sehingga minyak pelumas dapat lebih mudah dibawa kembali ke kompresor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Althouse, A.D., Turnquist, C.H., Bracciano, A.F., 1992, *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, The Goodheart & Wilcox Co.Inc., Illinois, USA.
- ARI., 1987, *Refrigeration and Air Conditioning*, 2<sup>nd</sup> Edition, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Dossat, R.J., 1961, *Principles of Refrigeration*, John Wiley & Sons, Inc., New York and London.
- Handoko, 1981, “Teknik Lemari Es”, PT. Ikhtiar Baru, Jakarta.
- Ricky Gunawan., 1988, “Pengantar Teori Teknik Pendingin”, Depdikbud RI, Jakarta.
- Whitman,C.W., 1992, “*Refrigeration and Air Conditioning Technology –Concepts, Procedures and Troubleshooting Techniques*”, Second Edition, Delmar Publ. Inc., New York, USA.