

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Refrigerasi

Refrigerasi merupakan suatu media pendingin yang dapat berfungsi untuk menyerap kalor dari lingkungan atau untuk melepaskan kalor ke lingkungan. Sifat-sifat fisik termodinamika refrigeran yang digunakan dalam sistem refrigerasi perlu diperhatikan agar sistem dapat bekerja dengan aman dan ekonomis <sup>(3)</sup>. adapun sifat refrigeran yang baik adalah :

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi, untuk menghindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.
2. Tekanan pengembunan yang rendah sehingga perbandingan kompresinya rendah dan penurunan prestasi kompresor dapat dihindari.
3. Kalor laten penguapan harus tinggi agar panas yang diserap oleh evaporator lebih besar jumlahnya, sehingga untuk kapasitas yang sama, jumlah refrigeran yang dibutuhkan semakin sedikit.
4. Koefisien prestasi harus tinggi, ini merupakan parameter yang penting untuk menentukan biaya operasi.
5. Konduktivitas thermal yang tinggi untuk menentukan karakteristik perpindahan panas.

6. Viskositas yang rendah dalam fasa cair atau gas. Dengan turunnya tahanan aliran refrigerant dalam pipa kerugian tekanannya akan berkurang.
7. Konstanta dielektrik yang kecil, tahanan listrik yang besar serta tidak menyebabkan korosi pada material isolasi listrik.
8. Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang digunakan sehingga tidak menyebabkan korosi.
9. Refrigeran tidak boleh beracun dan berbau.
10. Refrigeran tidak boleh mudah terbakar dan meledak.
11. Dapat bercampur dengan minyak pelumas tetapi tidak merusak dan mempengaruhinya.
12. Harganya murah dan mudah dideteksi jika terjadi kebocoran.

### **2.1.1 Daur Refrigerasi Carnot**

Daur refrigerasi Carnot merupakan suatu pembatas yang tak dapat dilebihi jika melakukan kerja di antara dua suhu tertentu. Dari kajian termodinamika, daur Carnot dikenal terjadi pada mesin-mesin kalor. Secara skematik, daur Carnot diperlihatkan dalam Gambar 2.1 dengan diagram suhu-entropi yang bersangkutan pada Gambar 2.2. Mesin Carnot menerima energi kalor pada suhu tinggi, merubah sebagian menjadi kerja, dan kemudian mengeluarkan sisanya sebagai kalor pada suhu yang lebih rendah.

Daur refrigerasi Carnot merupakan kebalikan dari mesin kalor tersebut, karena menyalurkan energi dari suhu rendah menuju suhu yang lebih tinggi. Daur refrigerasi membutuhkan kerja dari luar untuk dapat kerja. Diagram peralatan dan

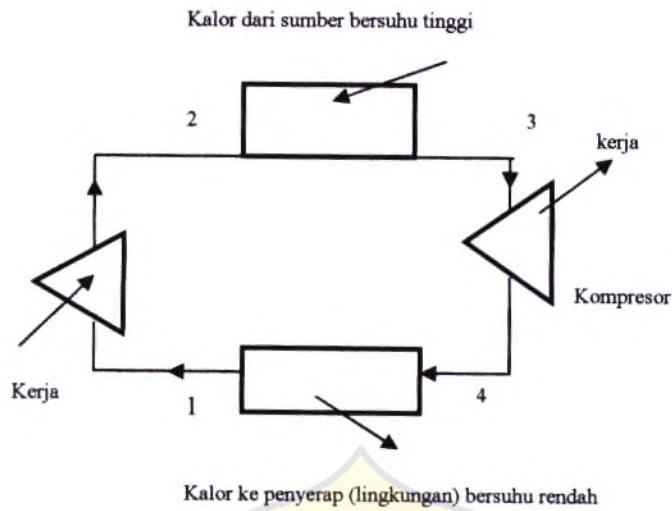
diagram entropi-suhu dari luar refrigerasi diperlihatkan dalam Gambar 2.3 dan 2.4.

Proses-proses yang membentuk daur tersebut adalah :

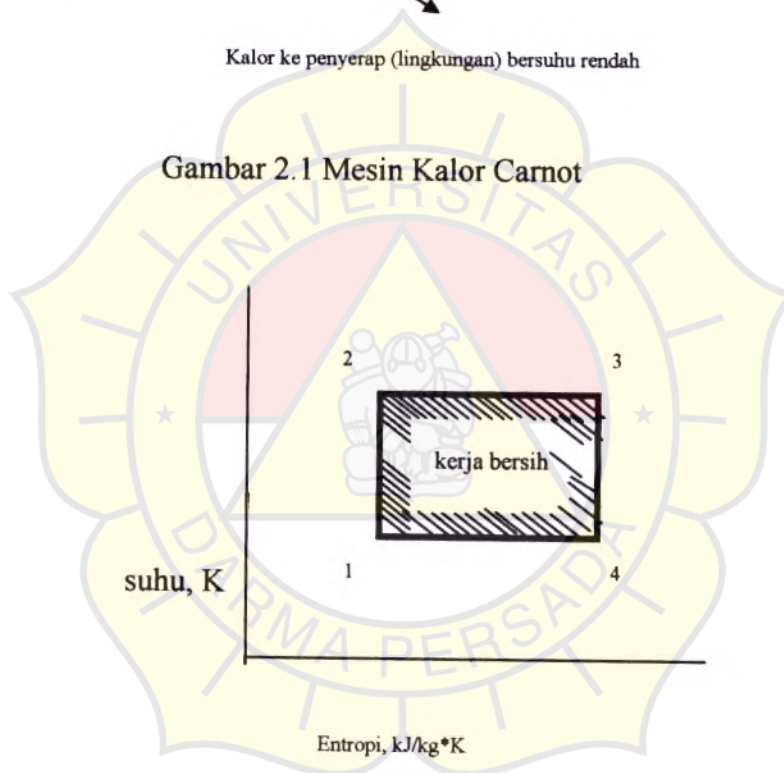
1. Kompresi adiabatic
2. Pelepasan kalor isothermal
3. Ekspansi adiabatic
4. Pemasukan kalor isothermal

Seluruh proses pada daur Carnot secara termodinamika bersifat reversible (dapat di balik). Oleh karenanya proses 1-2 dan 3-4 bersifat isentropik. Penyerapan kalor dari sumber bersuhu rendah pada proses 4-1 merupakan tujuan utama dari daur ini. Seluruh proses lainnya pada daur berfungsi sedemikian rupa sehingga energi bersuhu rendah dapat di keluarkan ke lingkungan yang bersuhu lebih tinggi.

Daur Carnot terdiri dari proses-proses reversible yang menjadikan efisiensinya lebih tinggi dari yang dapat dicapai oleh daur nyata. Satu pertanyaan yang cukup beralasan adalah : Mengapa harus membahas daur Carnot apabila itu bersifat ideal yang tak dapat dicapai? Jawabannya adalah: (1) karena hal tersebut merupakan pembanding yang standar, dan (2) daur tersebut memberikan pedoman tentang suhu-suhu yang harus dipertahankan sehingga diperoleh keefektifan yang maksimum



Gambar 2.1 Mesin Kalor Carnot



Gambar 2.2 Diagram Suhu-Entropi Mesin Kalor Carnot

### 2.1.2 Koefisien Prestasi (*Coefficient of Performance*)

Sebelum melakukan penilaian atas prestasi suatu sistem refrigerasi, terlebih dahulu harus ditetapkan ukuran keefektifan. Indeks prestasi ini tidak sama dengan efisiensi, karena ukuran tersebut biasanya hanya menggambarkan perbandingan

keluaran dan masukan. Perbandingan keluaran terhadap masukan ini akan menyedatkan jika digunakan pada sistem refrigerasi, karena keluaran pada proses 2-3 biasanya percuma atau terbuang. Namun demikian, konsep indeks prestasi pada daur refrigerasi sama dengan efisiensi, yang menyatakan perbandingan :

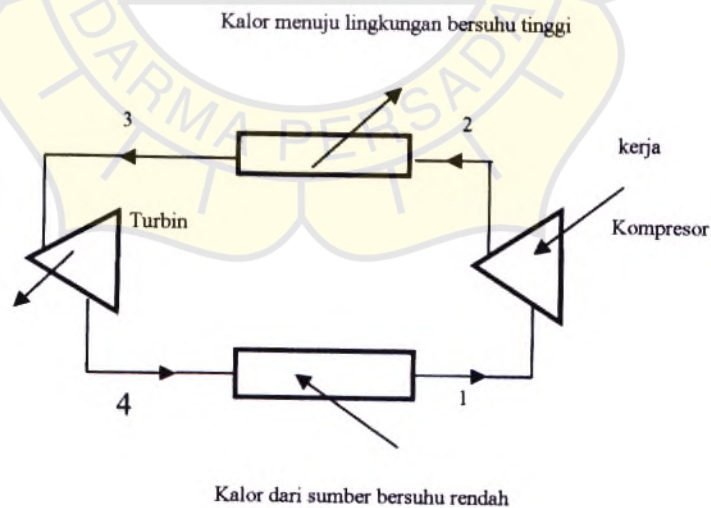
Jumlah hasil yang diinginkan

Jumlah pengeluaran

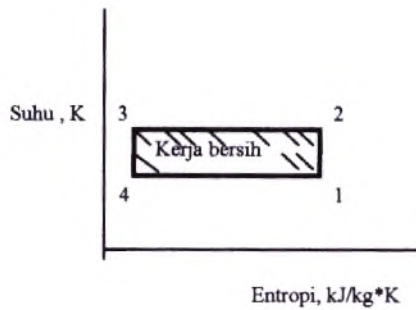
Istilah prestasi di dalam daur refrigerasi disebut dengan koefisien prestasi atau COP (*Coefficient Of Performance*), yang didefinisikan sebagai :

$$\text{Koefisien prestasi (COP)} = \frac{\text{Refrigerasi bermanfaat}}{\text{Kerja bersih}}$$

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



Gambar 2.3 Daur Refrigerasi



Gambar 2.4 Diagram Suhu Entropi Daur Refrigerasi Carnot

### 2.1.3 Kondisi - Kondisi Untuk Menghasilkan Koefisien Prestasi Yang Tinggi

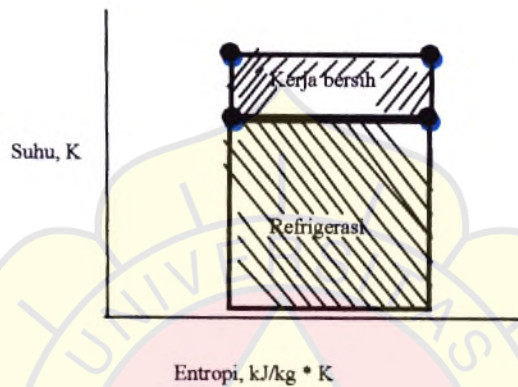
Koefisien prestasi yang tinggi sangat diharapkan karena hal itu menunjukkan bahwa sejumlah tertentu refrigerasi hanya memerlukan sejumlah kecil kerja. Kita dapat melakukan koefisien prestasi dengan daur Carnot agar dihasilkan koefisien prestasi yang tinggi

Pertama kita harus dapat mengemukakan koefisien prestasi pada daur Carnot dalam hal suhu yang terdapat di dalam daur. Kalor yang dipindahkan pada proses reversible adalah  $q_{rev} = Tds$ . Daerah yang ada di bawah garis proses reversibel pada diagram suhu-entropi menyatakan perpindahan kalor. Daerah –daerah yang digambarkan dalam Gambar 2.5 dapat menyatakan jumlah refrigerasi bermanfaat (*useful refrigeration*) dan kerja bersih (*net work*). Refrigerasi bermanfaat sama dengan perpindahan kalor pada proses 4-1, atau daerah dibawah garis 4-1. Daerah di bawah garis 2-3 menyatakan kalor yang dikeluarkan dari daur. Perbedaan antara kalor yang dikeluarkan dari daur dan kalor yang ditambahkan ke dalam daur adalah kalor bersih (*net heat*), yang untuk proses melingkar (*cyclic proces*)

sama dengan kerja bersih. Oleh karenanya koefisien prestasi pada daur refrigerasi

Carnot adalah :

$$\text{Koefisien prestasi} = \frac{T_1(s_1 - s_4)}{(T_2 - T_1)(s_1 - s_4)} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad \text{Persamaan (1-1)}$$



Gambar 2.5 Refrigerasi

Bermanfaat dan Kerja bersih dari daur Carnot yang ditunjukkan dengan bidang-bidang pada diagram suhu-entropi. Koefisien prestasi daur Carnot secara keseluruhan merupakan fungsi batasan-batasan suhu, dan dapat bervariasi dari nol hingga tak terhingga. Harga  $T_2$  yang rendah akan menyebabkan koefisien prestasi lebih tinggi. Harga  $T_1$  yang tinggi akan memperbesar pembilang dan memperkecil penyebut, yang keduanya akan memperbesar koefisien prestasi. Oleh karena itu, harga  $T_1$  mempunyai pengaruh lebih besar terhadap koefisien prestasi dari pada  $T_2$ .

Sebagai ringkasan, untuk mencapai tingkat koefisien prestasi yang tinggi hendaklah (1) bekerja pada suhu  $T_1$  yang tinggi, atau  $T_2$  yang rendah.

#### 2.1.4 Batas - Batas Suhu

Apabila penganalisisan dihentikan maka pengendalian suhu  $T_1$  dan  $T_2$  benar maka dengan mudah  $T_1$  dibuat sama dengan  $T_2$ , sehingga koefisien prestasi akan berharga tak berhingga <sup>(7)</sup>.

Pengkajian yang lebih mendalam menunjukkan bahwa persyaratan suhu selalu ditentukan pada sistem refrigerasi. Misalnya, sistem refrigerasi harus dapat menjaga suhu ruang dingin pada  $-20^{\circ}\text{C}$ , dan melepaskan kalor ke atmosfer pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ . Kedua suhu tersebut merupakan batas - batas yang harus diikuti oleh suatu daur. Kedua suhu tersebut dilukiskan dengan garis putus - putus dalam gambar 2.6, yang dinyatakan dengan suhu Kelvin. Selama pengeluaran kalor, suhu refrigerasi harus lebih tinggi dari  $303,15\text{ K}$ . Sedang selama proses refrigerasi, suhu refrigeran harus lebih rendah dari pada  $253,15\text{ K}$ , agar berlangsung perpindahan kalor dari ruang ke refrigeran. Daur yang dihasilkan seperti tampak pada Gambar 2.6. Ini tidak dapat disebut sebagai daur Carnot karena seluruh proses pada daur Carnot bersifat reversibel, sedangkan perpindahan kalor pada suhu yang berbeda adalah proses yang tidak reversibel. Daur ini kemudian hanya membentuk empat persegi panjang yang terletak di atas bidang suhu-entropi.

Suhu  $T_2$  harus dijaga rendah, tetapi tidak boleh di bawah  $303,15\text{ K}$ . Sedang suhu  $T_1$  harus dijaga tetap tinggi tetapi tidak boleh di bawah  $253,15\text{ K}$ . Kemudian dapat dilakukan terhadap suhu untuk menjaga agar  $t$  sekecil mungkin. Penurunan  $\Delta t$  dapat dilakukan dengan meningkatkan  $A$  atau  $U$  pada persamaan.

$$Q = UA\Delta t$$

Persamaan (1-2)



Dengan  $Q =$  kalor, W

$U =$  koefisien perpindahan kalor total,  $W/m^2 \cdot K$

$A =$  luas bidang perpindahan kalor,  $m^2$

$\Delta t =$  perubahan suhu, K

Pada beberapa keadaan di industri, pendingin mungkin diperlukan di suatu bagian, dan pemanasan di bagian lain. Kedua kebutuhan tersebut dapat dilayani oleh sebuah sistem pompa kalor.

Satu instalasi dapat dirancang untuk bekerja sebagai pompa kalor dan sistem refrigerasi secara bergantian. Unit seperti ini biasanya digunakan untuk mengkondisikan udara, menyejukkan pada musim panas dan menghangatkan pada musim dingin.

Prestasi pompa kalor dinyatakan oleh faktor prestasi (*performance factor*). Bila indeks prestasi didefinisikan sebagai jumlah komoditi (manfaat) yang diinginkan dibagi dengan jumlah pengeluaran, maka faktor prestasi adalah

$$\text{Faktor prestasi} = \frac{\text{Kalor yang dilepaskan dari daur}}{\text{Kerja yang diperlukan}}$$



Gambar 2.6 Daur Pompa kalor Carnot

Jumlah energi yang menghasilkan faktor prestasi dapat dinyatakan dengan luas daerah pada diagram suhu-entropi daur Carnot, seperti yang tampak dalam gambar 2.6. Daerah dibawah garis 2-3 menyatakan kalor yang dikeluarkan dari daur, dan bidang yang dilukiskan pada empat persegi panjang 1-2-3-4 menyatakan kerja bersih (*network*).

Faktor prestasi oleh karenanya sama dengan :

$$\text{Faktor prestasi} = \frac{r_1(s_1 - s_4)}{(r_2 - r_1)(s_1 - s_4)} = \frac{r_1}{r_2 - r_1} \quad \text{Persamaan (1-3)}$$

Daur refrigerasi dengan suhu seperti gambar (2.6) akan memiliki koefisien prestasi sama dengan

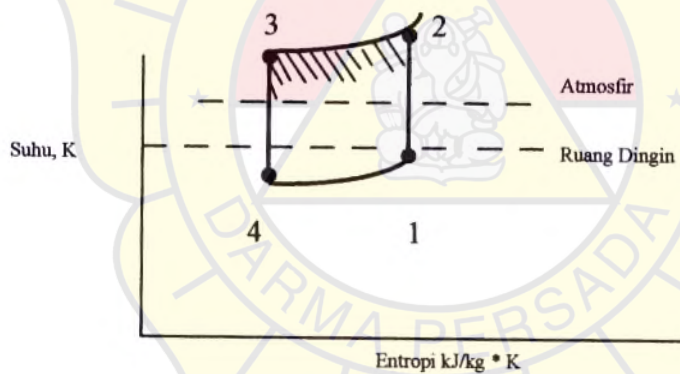
$$\frac{T_1}{(T_2 - T_1)} \quad \text{Oleh karena itu :}$$

$$\text{Faktor prestasi} = \frac{r_2}{r_2 - r_1} = \frac{r_2}{r_2 - r_1} - \frac{r_2 - r_1}{r_2 - r_1} + 1 \quad \text{Persamaan (1-4)}$$

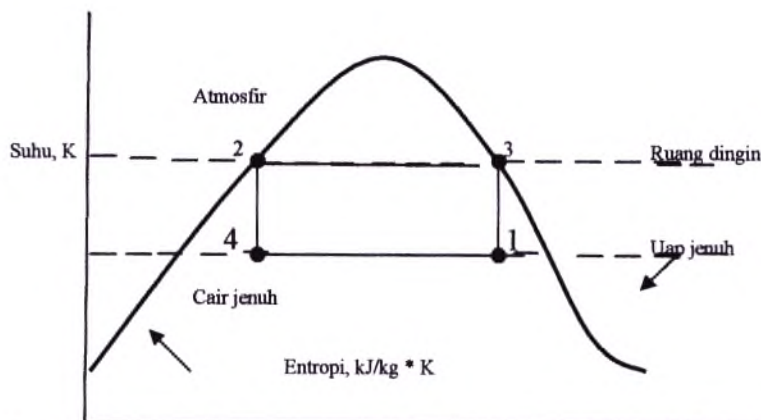
$$= \frac{r_1}{r_2 - r_1} + 1 = \text{koefisien prestasi} + 1$$

Oleh sebab itu faktor prestasi dapat bervariasi dari 1 hingga tak terhingga. Karena daur refrigerasi Carnot merupakan daur yang paling efisien, maka berbagai usaha telah dilakukan untuk mewujudkannya menjadi kenyataan. Sesungguhnya proses - proses reversibel tersebut tidak dapat ditiru, tetapi paling tidak, harus dipertahankan diagram suhu-entropi dalam bentuk daur empat persegi panjang yang berarti bahwa semua kalor dapat diterima pada satu suhu, dan dikeluarkan pada suhu yang lain. Jika suatu gas, seperti udara, digunakan sebagai refrigeran, maka daurnya akan berbentuk seperti gambar 2.7, bukan seperti daur

Carnot yang berbentuk empat persegi panjang. Kompresi dan ekspansi isentropic masing-masing adalah proses pada 1-2 dan 3-4. Sedangkan proses 2-3 dan 4-1 masing-masing adalah pendinginan dan pemanasan pada tekanan tetap. Daur ini berbeda dengan daur Carnot, yang bekerja pada dua suhu ditambah dengan daerah  $x$  dan  $y$ . Pada titik 4, suhu harus lebih rendah dari suhu ruang dingin sehingga gas yang menerima kalor pada tekanan tetap tidak mengalami kenaikan suhu yang melebihi suhu ruang dingin. Dengan alasan yang sama,  $T_2$  harus berada diatas suhu atmosfer. Dampak dari bidang  $x$  adalah naiknya kerja yang dibutuhkan, dan menurunkan koefisien prestasi (COP). Dampak bidang  $y$  adalah kenaikan kerja yang dibutuhkan, dan mengurangi jumlah refrigerasi. Kedua dampak bidang  $y$  ini adalah menurunkan koefisien prestasi.



Gambar 2.7 Daur Refrigerasi bila digunakan gas sebagai refrigeran.



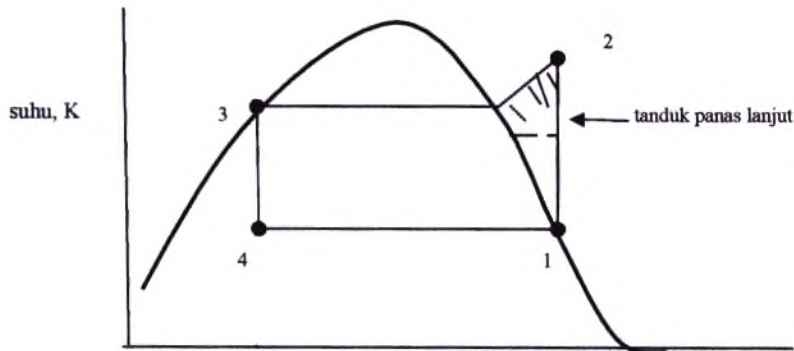
Gambar 2.8 Daur Refrigerasi Carnot Bila Refrigerannya Adalah Cairan Yang Dapat Mencair dan Menguap

Selain dari gas, refrigeran yang mungkin digunakan adalah yang mengembun selama pelepasan kalor, dan mendidih pada saat penambahan kalor, atau proses refrigerasi. Karenanya, refrigeran seperti ini dapat bekerja di antara keadaan cair dan uap. Dengan refrigeran ini daur Carnot dapat tepat berada di antara garis-garis cair-jenuh dan uap jenuh, seperti tampak pada gambar 2.8. Proses 2-3 dan 4-1 berlangsung pada suhu tetap, karena proses tekanan tetap pada daerah campuran berlangsung pada suhu tetap. Proses 2-3 adalah proses pengembunan, dan wadah tempat berlangsungnya proses tersebut disebut kondensator. Proses 4-1 merupakan proses pendidihan, berlangsung di dalam penguap (evaporator).

### 2.1.5 Kompresi Basah dan Kompresi Kering

Proses kompresi 1-2 pada gambar 2.8 disebut kompresi basah karena seluruh prosesnya berlangsung didalam daerah campuran, yang di dalamnya terdapat sejumlah cairan. Bila digunakan kompresor torak, akan ada beberapa faktor yang mengurangi kepraktisan kompresi basah ini. Pertama refrigerant cair tersebut

dapat terjebak di kepala silinder ketika piston dinaikkan, yang dapat merusakkan katup-katup atau kepala silinder tersebut. Walau titik akhir kompresi yang ditunjukkan sebagai titik 2 dalam gambar 2.8 adalah uap jenuh, dan harus bebas dari cairan, namun hal yang demikian bukanlah kasus yang nyata. Selama proses kompresi, seharusnya cairan diuapkan oleh proses perpindahan kalor internal, tetapi memerlukan beberapa saat tertentu. Kompresor berkecepatan tinggi sangat mudah dirusakkan oleh cairan karena singkatnya waktu yang tersedia untuk perpindahan kalor. Pada kompresor yang berkecepatan putar 30 put/det misalnya, kompresi akan berlangsung dalam  $1/60$  detik. Pada akhir kompresi, titik 2 pada garis uap-jenuh hanya menunjukkan kondisi rata-rata campuran uap lanjut-panas dan cairan. Bahaya lain yang mungkin dari kompresi basah yaitu terjadinya pembilasan minyak pelumas dari dinding silinder oleh cairan, sehingga mempercepat keausan. Karena kelemahan tersebut, maka kompresi kering, yang berlangsung tanpa hadirnya cairan, dianggap lebih baik dibandingkan dengan kompresi basah. Jika refrigerant yang masuk ke kompresor adalah uap jenuh, seperti gambar 2.9, maka kompresi dari titik 1 hingga titik 2 disebut kompresi kering.



Gambar 2.9 Perbaikan Daur Refrigerasi Carnot Dengan Menggunakan Kompresi Kering

Dengan kompresi kering, daur akan kehilangan bentuk segi empat daur Carnot, Kompresi uap kering akan menghasilkan suhu pada titik 2 yang lebih tinggi dari pada suhu pengembunan. Oleh karena itu, refrigeran akan meninggalkan kompresor dalam keadaan panas-lanjut (*superheat*). Daerah daur yang terletak di atas suhu pengembunan biasanya disebut tanduk panas-lanjut (*superheat horn*). Pada digram suhu-entropi, hal tersebut menggambarkan tambahan kerja yang dibutuhkan oleh kompresi kering.

### 2.1.6 Proses Ekspansi

Perbaikan lain pada daur Carnot adalah merubah proses ekspansi. Pada daur Carnot ekspansi berlangsung secara isentropik, dan kerja yang dihasilkan digunakan untuk membantu menggerakkan kompresor. Tetapi, kesukaran dalam praktek yang dihadapi oleh mesin ekspansi ini adalah : (1) kemungkinan kerja yang bisa didapatkan dari mesin tersebut hanya merupakan bagian kecil kerja

yang diperlukan oleh kompresor, (2) kesulitan praktek seperti gangguan pada pelumasan jika mesin digerakkan oleh cairan dua fasa, dan (3) nilai ekonomi dari pemanfaatan kembali daya, belum dapat mencapai harga mesin ekspansi. Namun demikian, kemungkinan pemakaian mesin ekspansi harus terus dikaji, seiring dengan semakin naiknya harga energi.

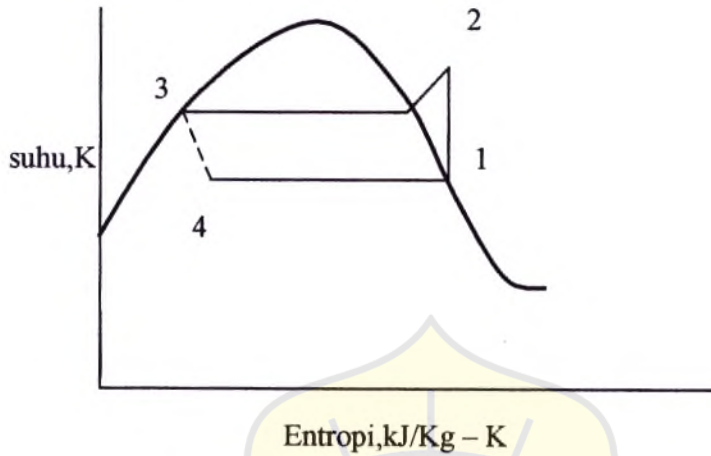
Yang masih diinginkan adalah menurunkan tekanan cairan dalam proses 3-4. Untuk keperluan ini dapat dipergunakan katup trolol atau alat penghambat lainnya, yang biasa dipakai untuk keperluan ini. Dengan perubahan langsung energi potensial dan kinetik, dan tidak adanya perpindahan kalor,  $h_3 = h_4$ ; maka prosesnya menjadi isentalpik (entalpi sama). Proses trolol dengan entalpi tetap, bersifat tidak reversibel, dan selama proses berlangsung, terjadi kenaikan entropi. Proses trolol berlangsung dari 3 dan ke 4 dalam gambar 2.10.

#### **2.1.7 Daur Kompresi Uap Standar**

Daur kompresi uap standar dapat dilihat pada diagram suhu-entropi dalam gambar 2.10. Proses-proses yang membentuk daur kompresi uap standar adalah :

- 1-2 Kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan kondensor.
- 2-3 Pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas-lanjut (*desuperheating*) dan pengembunan refrigeran.
- 3-4 Ekspansi tidak-reversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator.

4-1 Penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh.



Gambar 2.10 Dasar Kompresi Uap Standar

### 2.1.8 Penurunan Panas-Lanjut (*Desuperheating*)

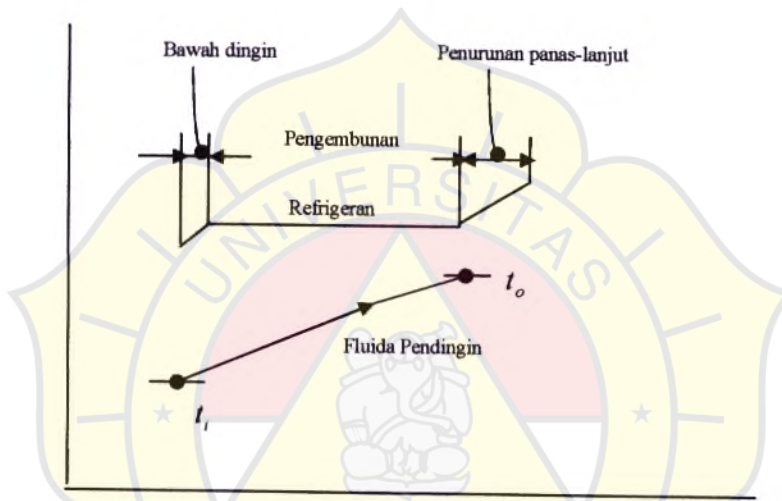
Walaupun refrigeran mengembun pada tekanan konstan, namun suhunya hanya konstan pada daerah pengembunan<sup>(4)</sup>. Karena uap yang berasal dari kompresor biasanya sudah lanjut-panas, distribusi suhunya berlangsung seperti tampak dalam gambar 2.11. Karena terjadi penyimpangan profil suhu yang disebabkan oleh proses penurunan lanjut-panas, maka perbedaan suhu antara refrigeran dan fluida pendingin tidak lagi tepat dinyatakan dengan LMTD.

$$LMTD = \frac{(t_c - t_i) - (t_c - t_o)}{\ln \left[ \frac{t_c - t_i}{t_c - t_o} \right]} \quad \text{Persamaan (1-5)}$$

Penggunaan umum Persamaan (1-5) adalah dengan pembenaran sebagai berikut. Walau perbedaan suhu antara refrigeran dan cairan pendingin lebih besar



pada bagian penurunan panas-lanjut (*desuperheating*) dibandingkan dengan yang dihitung dengan Persamaan (1-5), koefisien konveksi di bagian umumnya lebih rendah dibandingkan dengan koefisien pengembunan. Dua kekurangan (*error*) ini saling mengisi satu sama lain, dan penggunaan Persamaan (1-5) bersama dengan koefisien pengembunan untuk seluruh permukaan kondensor biasanya memberikan hasil yang cukup memadai.



Gambar 2.11 Distribusi Suhu di Dalam Kondensor

## 2.2 Sistem Kondensor

Kondenser berfungsi sebagai untuk membuang kalor ke lingkungan, sehingga uap refrigeran akan mengembun dan berubah fasa dari uap ke cair. Sebelum masuk ke kondenser refrigeran berupa uap yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, sedangkan setelah keluar dari kondenser refrigeran berupa cairan jenuh yang bertemperatur lebih rendah dan bertekanan sama (tinggi) seperti sebelum masuk ke kondenser.

### 2.2.1 Jenis- Jenis Kondensor

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

- 1) Kondensor Berpendingin Air (*Water Cooled Condenser*).



Gambar 2.12 *Water Cooled Condenser*

Kondensor berpendingin air dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu:

- a) Kondensor yang air pendinginnya langsung dibuang.
- b) Kondensor yang air pendinginnya disirkulasikan kembali.

Sesuai dengan namanya, kondensor yang air pendinginnya langsung dibuang, maka air yang berasal dari suplai air dilewatkan ke kondensor akan langsung dibuang atau ditampung di suatu tempat dan tidak digunakan kembali. Sedangkan kondensor yang air pendinginnya digunakan kembali, maka air yang keluar dari kondensor dilewatkan melalui menara pendingin (*cooling tower*) agar temperaturnya turun. Selanjutnya air dialirkan kembali ke dalam kondensor, demikian seterusnya secara berulang - ulang.

## 2) Kondensor Berpendingin Udara (*Air Cooled Condenser*).



Gambar 2.13 *Air Cooled Condenser*

Ada dua metode mengalirkan udara pada jenis ini, yaitu konveksi alamiah dan konveksi paksa dengan bantuan kipas. Konveksi secara alamiah mempunyai laju aliran udara yang melewati kondenser sangat rendah, karena hanya mengandalkan kecepatan angin yang terjadi pada saat itu. Oleh karena itu kondensor jenis ini hanya cocok untuk unit-unit yang kecil seperti kulkas, freezer untuk keperluan rumah tangga, dll. Kondensor berpendingin udara yang menggunakan bantuan kipas dalam mensirkulasikan media pendinginannya dikenal sebagai kondensor berpendingin udara konveksi paksa. Secara garis besar, jenis kondensor dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

- a) Kondensor yang kipasnya dioperasikan dengan pengatur jarak jauh (*remote control*).
- b) Kondensor yang kipasnya dirakit bersama-sama dengan unit kompresor atau condensing unit. Kapasitasnya kondensor jenis ini biasanya cocok untuk beban mulai  $< 1\text{ kW}$  s/d  $500\text{ kW}$ , bahkan kadang dapat lebih dari  $500\text{ kW}$ .

### 3) Kondensor Evaporatif (*Evaporative Condenser*)

Kondensor evaporatif pada dasarnya adalah kombinasi antara kondensor dengan menara pendingin yang dirakit menjadi satu unit atau kondensor yang menggunakan udara dan air sebagai media pendinginnya. Jenis kondensor yang akan digunakan di KPPC Sinar Mulya Cihideung ini adalah jenis water cooled condenser sebanyak 2 buah. Fungsi dari masing – masing kondenser ialah sebagai berikut :

Kondensor yang pertama berfungsi untuk :

- a) Media penukar kalor dan tempat terjadinya proses kondensasi
- b) Sebagai *heat recovery* karena adanya kebutuhan air panas untuk membersihkan tangki – tangki susu.
- c) Menurunkan temperatur *discharge* ke temperatur kondensasi sesuai rancangan yaitu 40°C.

Kondenser yang kedua berfungsi untuk :

- a) Media penukar kalor sisa dari kondenser pertama. Bila kondisi air pada kondenser pertama sudah panas, kalor dari kondensor tidak dapat sepenuhnya diserap oleh air. Maka kondensor yang kedua akan menyerap kalor dari kondensor yang masih tersisa.
- b) Memastikan refrigeran yang masuk ke dalam evaporator berada dalam keadaan cair.

c) Menurunkan temperatur kondensasi dari 75°C sampai 60°C. Untuk membantu kinerja sistem, air untuk mendinginkan kondenser kedua sehingga perpindahan kalor dapat maksimal yaitu berasal dari air sumur sebagai *make up water* dengan menggunakan katup apung sebagai alat kontrolnya.

Keuntungan menggunakan 2 buah kondensor ialah :

- a. Kerja kompresor lebih ringan.
- b. Sangat sesuai dengan kondisi lingkungan yang banyak air dengan temperatur air yang cukup rendah.
- c. Refrigeran yang keluar dari kondenser benar – benar dalam fasa cair, karena apabila pelepasan kalor pada kondenser pertama tidak sempurna maka kondensor kedua yang menyempurnakannya.
- d. Mempertahankan agar tekanan kondensasi tidak terlalu tinggi.
- e. Hemat energi, karena menggunakan air ledeng hanya sebagai pendingin kondensor sehingga secara tidak langsung akan mengurangi kebutuhan energi listrik. Adapun dimensi dari masing – masing kondensor adalah sebagai berikut : Dimensi bak kondensor I: Panjang = 3.4 m Lebar = 1 m Tinggi = 1.5 m Dimensi bak kondensor II: Panjang = 1.5 m Lebar = 1.5 m Tinggi = 1.5 m

## 2.2.2 Penukar Kalor (*Heat Exchangers*)

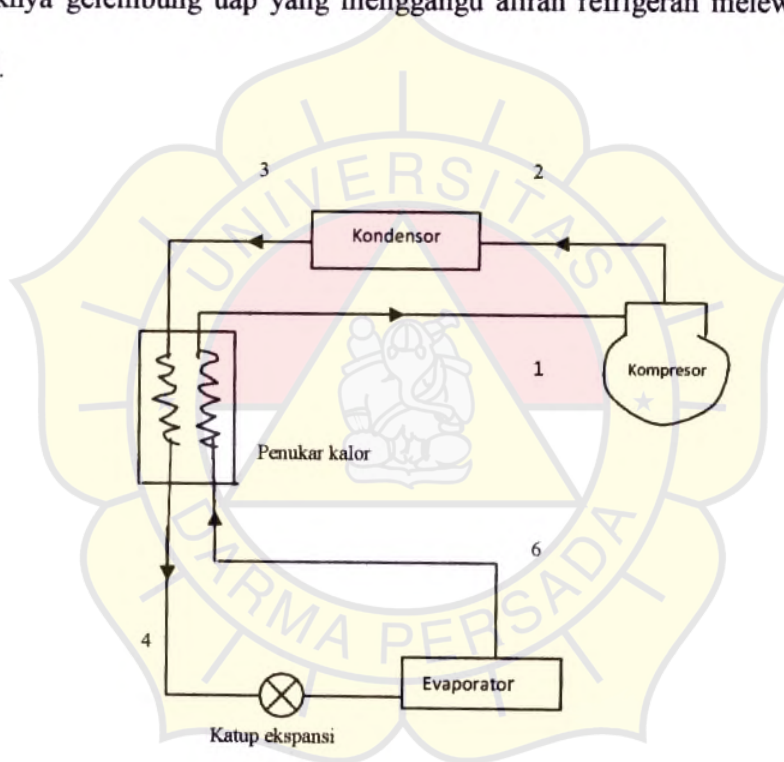
Beberapa sistem refrigerasi dilengkapi dengan penukar kalor jalur cair-ke-hisap (*liquid-to-suction*), yang menurunkan suhu (*sub-cools*) cairan dari kondensor dengan uap isap (*suction vapor*) yang datang dari evaporator. Susunannya diperlihatkan dalam gambar 2.15, dan diagram tekanan-entalpi yang bersangkutan dalam gambar 2.16 .

Cairan jenuh pada titik 3 yang berasal dari kondensor didinginkan hingga titik 4 dengan cara bertukar kalor dengan uap pada titik 6 yang dipanaskan hingga mencapai titik. Dari keseimbangan kalor,  $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$  . Dampak refrigerasinya dapat berbentuk  $h_6 - h_5$  atau  $h_1 - h_3$ . Gambar 2.15 menunjukkan penampang terpotong penukar kalor jalur cair-hisap (*liquid-to-suction heat exchanger*).

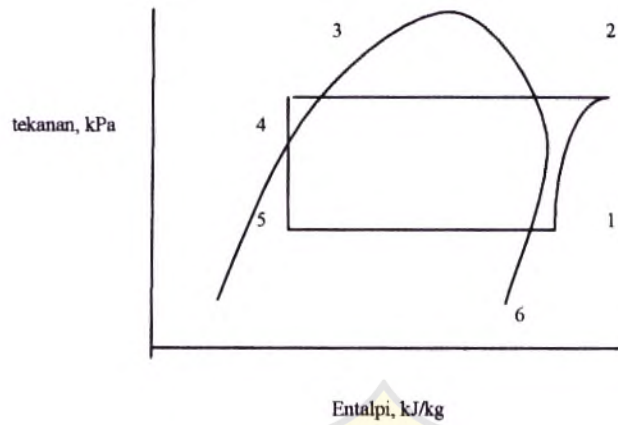
Dibandingkan dengan daur kompresi uap standar, sistem yang menggunakan penukar kalor nampaknya lebih memiliki keuntungan yang jelas karena naiknya dampak refrigerasi. Kapasitas dan koefisien prestasi tampaknya dapat ditingkatkan. Tetapi hal ini tidak sepenuhnya benar. Walaupun dampak refrigerasi dapat ditingkatkan, tetapi kompresi terdorong jauh masuk ke dalam daerah panas-lanjut, sehingga kerja kompresi akan lebih besar dibandingkan dengan yang dekat dengan yang dekat dengan garis uap-jenuh. Dari hal kapasitas, titik 1 mempunyai rapat massa lebih tinggi dibanding titik 6, sehingga volume yang dapat dipompa dari titik 6 tersebut lebih sedikit. Sehingga perbaikan potensial pada prestasi

mendapat reaksi yang berlawanan, dan penukar kalor tersebut mungkin mempunyai keuntungan termodinamik yang dapat diabaikan .

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

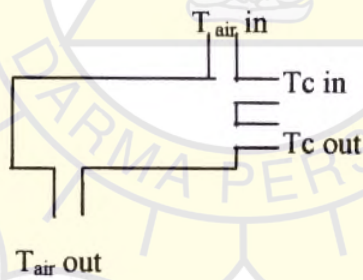


Gambar 2.14 Sistem Refrigerasi Dengan Penukar Kalor Mendinginkan Cairan  
Dari Kondensor



Gambar 2.15 Diagram Tekanan Entalpi Sistem Yang Menggunakan Penukar Kalor

### 2.2.3 Teori Perhitungan Prestasi Kondensor



$$Q_{e_{air}} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p_{air}} (T_{c_{airin}} - T_{c_{airout}})$$

Persamaan (1-6)

Jika tidak ada panas yang hilang keluar kondensor maka,

$$Q_{c_{air}} = Q_c$$

Persamaan (1-7)



Sehingga di dapat kecepatan alir freon untuk mencari  $\Delta tm$ ,

$$\Delta tm = \frac{(Tc_{airin} - Tc_{out}) - (Tc_{airout} - Tc_{in})}{Ln \left[ \frac{Tc_{airin} - Tc_{out}}{Tc_{airin} - Tc_{in}} \right]} \quad \text{Persamaan (1-8)}$$

Koefisien padat panas (*heat exchanger*) kondensor adalah,

$$U = \frac{Qc}{A \cdot \Delta tm} \quad \text{Persamaan (1-9)}$$
$$UA = \frac{Qc}{\Delta tm}$$

Luas bidang perpindahan panas kondensor adalah,

$$A = \frac{Qc}{U \cdot \Delta tm} \quad \text{Persamaan (1-10)}$$

Koefisien perpindahan kalor total  $W/m^2 \cdot K$  adalah,

$$U = \frac{Qc}{A \cdot \Delta tm} \quad \text{Persamaan (1-11)}$$