

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

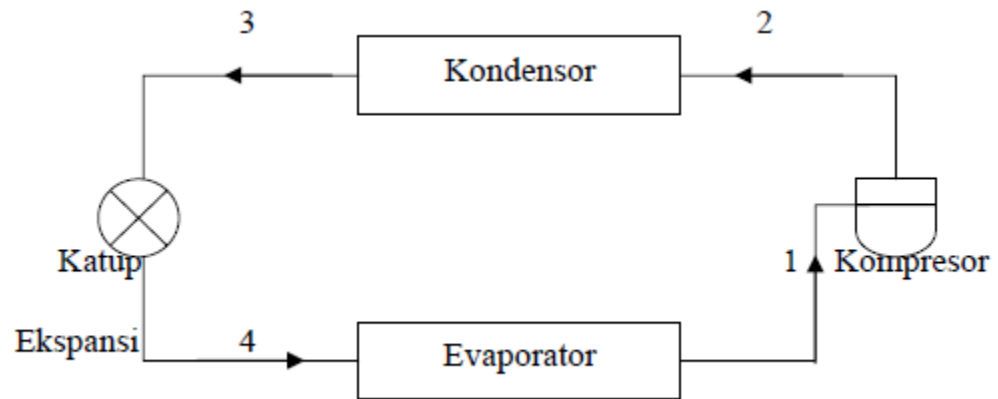
#### **2.1. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**

Refrigerasi dan pengkondisian udara merupakan suatu proses yang saling berkaitan satu sama lain, akan tetapi masing-masing mempunyai ruang lingkup yang berbeda-beda. Refrigerasi merupakan proses penurunan temperatur dan menjaga agar temperatur ruang atau bahan yang ada di ruangan tetap berada dibawah temperatur sekelilingnya. Dengan kata lain ruang lingkup teknik refrigerasi adalah pada proses pendinginan. Bidang penerapannya banyak dijumpai pada industri pengawetan makanan (*cold storage*), industri bahan kimia, dan lain-lain.

Sedangkan teknik pengkondisian udara tidak hanya mendinginkan udara, tetapi penekanannya pada kenyamanan pengguna atau pemakai (*Comfort Air Conditioning*). Menurut definisi pengkondisian udara adalah pengaturan simultan terhadap temperatur, kelembaban, aliran dan kebersihan udara di dalam suatu ruangan. Pengkondisian udara juga mencakup usaha pemanasan atau penghangatan ruangan. Penerapan pengkondisian udara banyak dijumpai pada pusat perbelanjaan, rumah tinggal, perhotelan, dan perkantoran.

#### **2.2. Siklus Kompresi Uap**

Daur kompresi uap merupakan daur yang banyak digunakan dalam refrigerasi. Pada daur ini uap ditekan, dan kemudian diembunkan menjadi cairan, kemudian tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Sistem kompresi uap sederhana terlihat pada gambar dibawah ini :



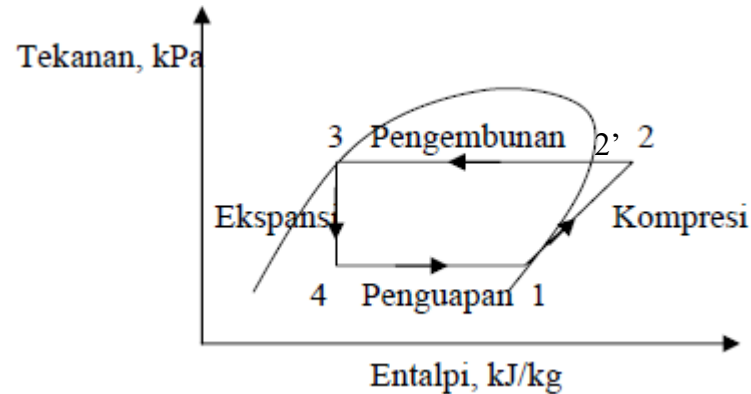
Gambar 2.1. Sistem refrigerasi kompresi uap

Refrigeran yang bertekanan rendah akan menguap didalam pipa-pipa pada evaporator. Penguapan ini membutuhkan energi kalor yang diserap dari sekelilingnya, sehingga ruangan menjadi dingin karena temperaturnya turun. Uap refrigeran yang berasal dari evaporator selanjutnya akan masuk ke jalur hisap (*suction line*) menuju kompresor. Refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur rendah ini di dalam kompresor akan dikompresi sehingga menjadi refrigeran yang bertemperatur dan tekanannya tinggi. Kemudian dari kompresor, refrigeran yang telah berbentuk uap masuk ke dalam kondensor. Refrigeran yang berbentuk uap ini dalam kondensor akan didinginkan oleh udara sehingga berkondensasi menjadi cairan refrigeran. Di dalam kondensor, energi kalor yang dibawa oleh uap refrigeran dilepaskan dan diterima oleh medium pendinginnya (*udara*). Refrigeran cair dari kondensor selanjutnya akan diterima oleh tangki (*receiver tank*) dan dialirkan lagi masuk ke evaporator melalui alat pengatur refrigeran (*refrigerant flow control*). Pada alat ini tekanan refrigeran yang masuk ke evaporator diturunkan. Penurunan tekanan ini disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan, sehingga refrigeran tersebut dapat menyerap cukup banyak kalor dari evaporator.

Alat yang digunakan untuk mengatur aliran ini dapat berupa katup ekspansi atau pipa kapiler.

### 2.2.1. Siklus kompresi uap standar

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



Gambar 2.2. Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap (Stoecker, 1992 : 187)

#### 1. Proses kompresi

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

Adapun rumus untuk mencari besarnya kerja kompresi adalah:

$$W_{\text{comp}} = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots(1)$$

<sup>1</sup> Michael, Howard, Fundamentals of Engineering Thermodynamic, Jakarta, Cetakan ke 5, 2006, hal 458

## 2. Proses kondensasi

Proses 2-3 terjadi pada kondensor, uap panas refrigeran dari kompresor didinginkan oleh udara luar sampai pada temperatur kondensasi dan uap tersebut dikondensasikan. Pada titik 2' merupakan titik refrigeran pada kondisi uap jenuh dengan tekanan dan temperatur kondensasi. Jadi proses 2-2' merupakan proses pendinginan sensibel dari temperatur kompresi menuju temperatur kondensasi, dan proses 2'-3 merupakan proses kondensasi uap dari dalam kondensor. Proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah kalor yang dipindahkan selama proses ini adalah beda entalpi antara titik 2 dan titik 3.

Adapun rumus untuk mencari besarnya kalor yang dipindahkan adalah:

$$Q_{out} = \dot{m} (h_2 - h_3) \dots \dots \dots (2)$$

## 3. Proses ekspansi

Proses ekspansi berlangsung dari titik 3 ke titik 4. Pada proses tersebut terjadi suatu proses penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi (titik 3) menjadi tekanan evaporasi (titik 4). Pada saat cairan diekspansikan melalui katup ekspansi atau pipa kapiler menuju evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur kondensasi ke temperatur evaporasi. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik dimana entalpi fluida tidak berubah sepanjang proses ( $\Delta h = 0$ ). Refrigeran pada titik 4 berada pada kondisi campuran antara cairan dan uap, dan terjadi penurunan tekanan.

## 4. Proses evaporasi

Proses 4-1 adalah proses penguapan refrigerasi pada evaporator serta berlangsung pada tekanan konstan. Pada titik 1 seluruh refrigeran berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses 4-1 entalpi refrigeran naik akibat penyerapan

<sup>2</sup> Michael, Howard, Fundamentals of Engineerings Thermodynamic, Jakarta, Cetakan ke 5, 2006 , hal 458

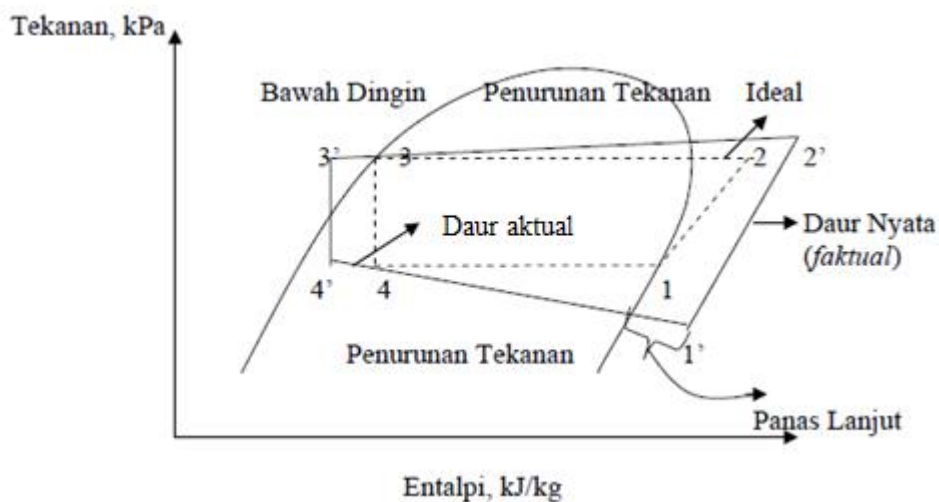
kalor dari ruang refrigerasi. Besarnya kalor yang diserap adalah beda entalpi antara titik 1 dan titik 4 dan biasa disebut efek pendinginan.

Adapun rumus untuk mencari besarnya kalor yang diserap adalah :

$$Q_{in} = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(3)$$

### 2.2.2. Siklus kompresi uap aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena adanya asumsi-asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Perbedaan yang penting antara daur nyata (*aktual*) dan standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondenser dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensator dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa (*friksi*). Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan titik 2 memerlukan kerja lebih banyak dibandingkan dengan daur standar.



Gambar 2.3. Daur kompresi uap nyata dibanding daur standar (Stoecker, 1992 :

191)

<sup>3</sup> Stoecker, W.F, Jones, J.W., dan Supratman, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994, hal 200

Penjelasan gambar di atas adalah sebagai berikut :

Garis 4-1' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1' menunjukkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1'-2' adalah proses kompresi uap refrigeran di dalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropik, yang berarti tidak ada perpindahan kalor antara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropik tetapi politropik. Garis 2'-3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor. Sedangkan pada garis 3-3' menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi di jalur cair (*liquid line*).

### **2.3. Komponen Utama Siklus Kompresi Uap**

#### **2.3.1. Kompresor**

Kompresor mempunyai klasifikasi yang bermacam-macam, akan tetapi pada umumnya dapat dibagi menjadi dua jenis utama yaitu :

- a. Kompresor langkah positif, dimana gas diisap masuk ke dalam silinder dan dikompresikan .
- b. Kompresor dinamis, dimana gas yang dihisap masuk dipercepat alirannya oleh sebuah impeller yang kemudian mengubah energi kinetik untuk menaikkan tekanan.

Fungsi kompresor antara lain :

- a. Mensirkulasikan bahan pendingin (refrigeran)
- b. Menaikkan tekanan agar bahan pendingin dapat berkondensasi pada kondisi ruangan

- c. Mempertahankan tekanan yang konstan pada evaporator
- d. Menghisap gas bertekanan dan bertemperatur rendah dari evaporator, kemudian menekan/memampatkan gas tersebut, sehingga menjadi gas yang bertekanan dan suhu tinggi, lalu dialirkan ke kondensor.

Pada pengujian ini menggunakan AC dengan kompresor jenis hermatik, dimana pada kompresor hermatik, motor dan kompresor dimasukkan bersama dalam rumah kompresor.

### 2.3.2. Kondensor

Kondensor akan mengubah uap tekanan tinggi tersebut menjadi cairan bertekanan tinggi dengan adanya medium pendingin pada kondensor (*udara maupun cair*). Kalor dari ruangan dan panas dari kompresor akan diserap medium pendingin. Seperti halnya dengan kompresor, kondensor juga terdiri dari beberapa jenis diantaranya jenis tabung dan pipa horizontal, jenis tabung dan koil, jenis pipa ganda dan jenis pendingin udara.

### 2.3.3. Alat ekspansi

Pipa kapiler dibuat dari tembaga dengan diameter lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang pipa kapiler dapat mengontrol jumlah bahan pendingin yang masuk evaporator. Karena tekanan dan temperatur cairan dari kondensor terlalu tinggi untuk terjadinya penguapan dalam kondisi ruangan, maka digunakan pipa kapiler (*liquid control device*) yang bekerja sebagai suatu tahanan aliran fluida (*bahan pendingin cair*).

Dengan adanya tahanan tersebut, tekanan fluida akan turun dan sebagian kecil cairan pendingin menguap (*flash gas*). Penguapan ini akan menyerap kalor dari cairan pendingin, sehingga temperatur cairan berkurang sampai temperatur

jenuh pada tekanan yang berkurang tersebut. Pipa kapiler (*capillary tube*) berguna untuk:

- a. Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir didalamnya.
- b. Mengatur jumlah tekanan bahan pendingin cair yang mengalir melaluinya.
- c. Membangkitkan tekanan bahan pendingin dikondensor

#### 2.3.4. Evaporator

Evaporator adalah penukar kalor yang berfungsi untuk mendinginkan media sekitarnya. Berdasarkan konstruksinya evaporator dibedakan atas jenis tabung-koil, tabung-pipa jenis ekspansi kering dan jenis koil pendingin udara.

#### 2.3.5. Refrigeran

Untuk terjadinya proses refrigerasi diperlukan suatu bahan yang mudah diubah bentuknya dari gas menjadi cair atau sebaliknya untuk mengambil panas dari evaporator dan membuangnya di kondenser. Bahan tersebut dikenal dengan nama refrigeran. Karakteristik termodinamika dari refrigeran antara lain meliputi temperatur penguapan, tekanan penguapan, temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan. Untuk keperluan suatu jenis pendinginan diperlukan refrigeran dengan karakteristik termodinamika yang tepat. Adapun syarat-syarat umum untuk refrigeran adalah :

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi

Sebaiknya refrigeran memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator, dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi



Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan, dan sebagainya, menjadi lebih kecil.

### 3. Kalor laten penguapan harus tinggi

Refrigeran yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigeran yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.

### 4. Volume spesifik (terutama dalam fase gas) yang cukup kecil

Refrigeran dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil ( berat jenis yang besar ) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian, untuk kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.

Namun, untuk unit pendingin air setrifugal yang kecil, lebih dikehendaki refrigeran dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah gas yang bersirkulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor setrifugal.

## **2.4. Analisa Grafik Sistem Kompresi Uap**

Dalam aplikasi mesin pendingin ruangan, salah satu faktor yang mempengaruhi unjuk kerja mesin pendingin adalah temperatur keluar evaporator dan temperatur ini akan berubah seiring dengan besarnya beban pendingin yang ada diruangan tersebut.

Dalam beberapa penelitian terlihat pengaruh temperatur keluar evaporator (T1) terhadap dampak refrigerasi, kerja kompresi, laju aliran massa refrigerasi, daya listrik kompresor, kapasitas refrigerasi dan *coeffisien of performance (COP)*, dengan refrigeran 404A.

Adapun rumus untuk COP aktual sebagai berikut:

$$\mathbf{COP\ aktual} = \frac{Q_{in}}{W_{comp}} \dots\dots\dots(4)$$

Sedangkan rumus COP carnot sebagai berikut :

$$\mathbf{COP\ carnot} = \frac{T\ evaporasi}{T\ kondensasi - T\ evaporasi} \dots\dots\dots(5)$$

Setelah itu efisiensi dari suatu mesin refrigerasi dapat dihitung dengan :

$$\mathbf{Efisiensi} = \frac{COP\ aktual}{COP\ carnot} \dots\dots\dots(6)$$

<sup>4</sup> Stoecker, W.F, Jones, J.W., dan Supratman, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994, hal 187

<sup>5</sup> Adam, C., Uji Performansi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Pada *Seed Storage*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, 2012, hal 12

<sup>6</sup> *ibid*, halaman 13

