

## BAB II

### DASAR TEORI

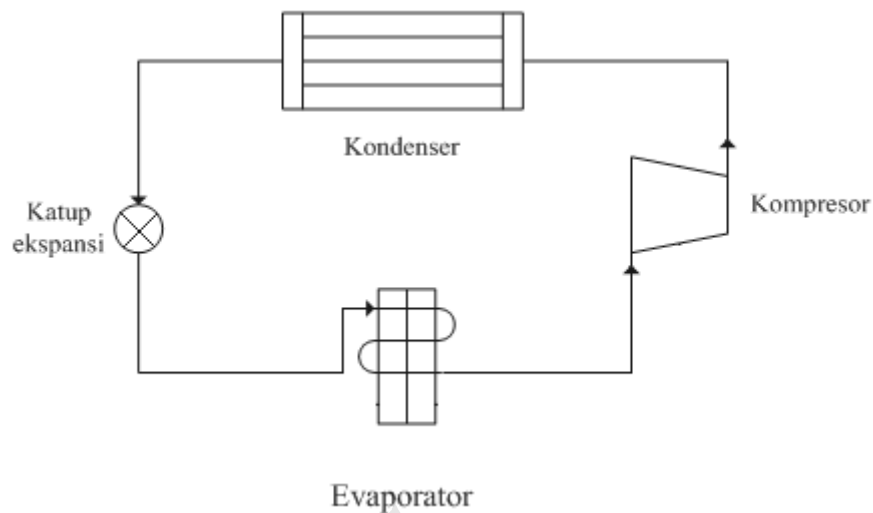
#### 2.1 REFRIGERASI DAN SISTEM REFRIGERASI

Refrigerasi merupakan proses penyerapan kalor dari ruangan bertemperatur tinggi, dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang memiliki temperatur lebih rendah serta menjaga kondisi tersebut sesuai dengan yang dibutuhkan. Pada sistem ini, sebuah kompresor akan mengkompres refrigeran sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat. Refrigeran yang telah terkompres kemudian dikondensasikan dengan kondenser menjadi cairan dengan melepaskan kalor latennya. Memasuki alat ekspansi, cairan tersebut diturunkan tekanannya sehingga temperaturnya menurun dan kemudian dilanjutkan kedalam evaporator menghasilkan efek refrigerasi dengan menyerap kalor dari suatu ruangan.

Sistem refrigerasi adalah suatu sistem yang terdiri dari minimal atas kondenser, alat ekspansi, dan evaporator yang terhubung satu dengan lainnya dengan sistem pemipaan tertentu yang didukung oleh alat bantu lainnya jika dibutuhkan. Performa suatu sistem dapat diidentifikasi dari beberapa nilai diantaranya COP, kapasitas pendinginan volumetrik, kapasitas pendinginan, kapasitas kondenser, daya kompresor, temperatur *discharge*, rasio tekanan dan aliran massa refrigeran. Ada dua jenis sistem refrigerasi yang umum digunakan, yaitu :

- Sistem Kompresi-Uap

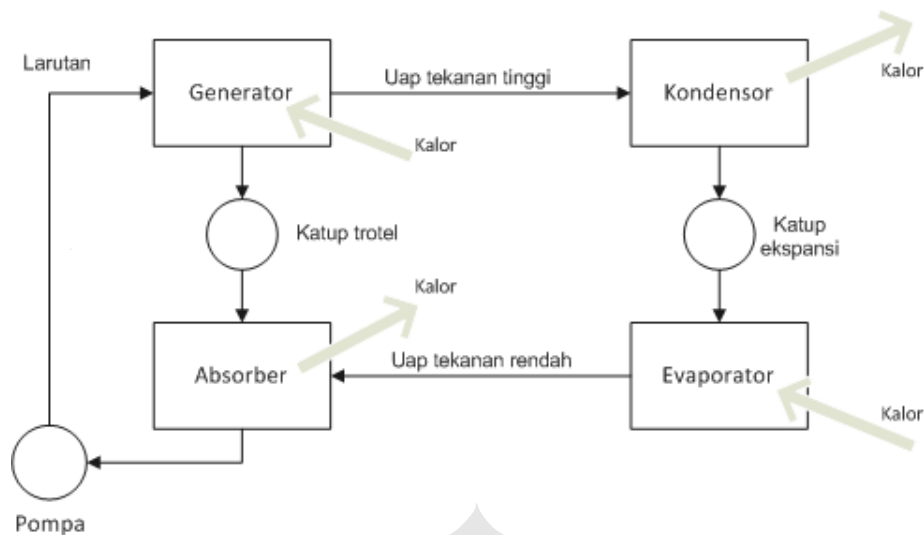
Sistem ini menggunakan daur kompresi uap yang sangat umum digunakan dalam sistem refrigerasi. Pada sistem ini, proses yang terjadi adalah refrigeran mengalami kompresi secara adiabatik hingga tekanan dan temperaturnya naik, lalu melakukan pelepasan kalor secara isothermal, kemudian refrigeran diekspansikan secara adiabatik hingga tekanan dan temperaturnya turun. Terakhir, refrigeran menyerap kalor secara isothermal.



Gambar 2.1 Siklus kompresi uap

- Sistem Absorpsi

Berbeda dengan sistem kompresi uap yang dioperasikan oleh kerja, sistem absorpsi dioperasikan oleh kalor karena sistem memberikan kalor yang diperlukan untuk melepaskan refrigeran dari cairan bertekanan tinggi. Refrigeran bertekanan rendah dari evaporator diserap oleh cairan didalam absorber, proses dilakukan secara adiabatik hingga temperatur cairan naik dan proses absorpsi berhenti. Untuk itu absorber umumnya didinginkan oleh udara atau air yang berfungsi menyerap kalor dan melepasnya ke lingkungan. Kemudian pompa menerima zat cair dari absorber dan menaikkan tekanannya lalu mengirimnya ke generator. Dalam generator, kalor dari sumber tertentu melepas uap yang telah diserap oleh larutan. Cairan dikembalikan ke absorber melalui katup *throttling* untuk menurunkan tekanannya sehingga menjaga perbedaan tekanan antara generator dengan absorber.

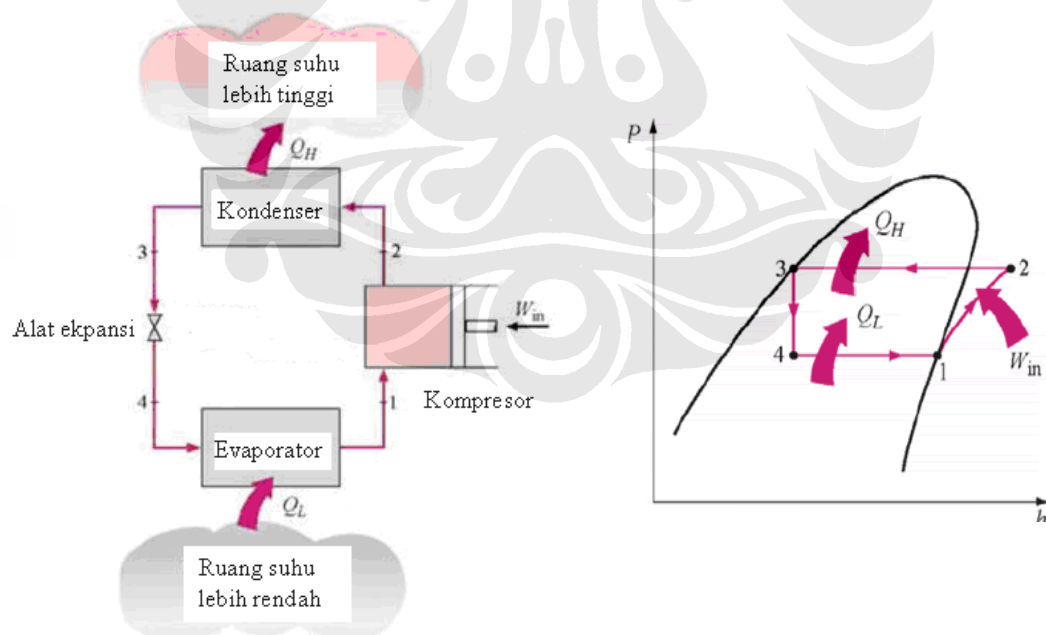


Gambar 2.2 Siklus absorpsi

## 2.2 SIKLUS REFRIGERASI

### 2.2.1 Siklus Refrigerasi Tunggal-Ideal

Siklus refrigerasi tunggal-ideal memiliki satu tingkat kompresi isentropik dan kerugian tekanan yang terjadi pada jaringan pemipaan, katup atau pun komponen lainnya diabaikan.



Gambar 2.3 Siklus refrigerasi tunggal dan p-h diagram [c]

Proses yang terjadi :

1-2 : kompresi adiabatik

2-3 : pelepasan kalor pada tekanan konstan

3-4 : ekspansi pada entalpi konstan

4-1 : penyerapan kalor pada tekanan konstan

### Kompresor

Kompresor merupakan salah satu komponen terpenting dalam sistem refrigerasi. Sesuai dengan namanya, alat ini bermanfaat untuk mengkompresikan fluida (refrigeran) yang berfase uap. Dengan adanya kompresi ini maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (*discharge*) dengan sisi hisap (*suction*) yang menyebabkan refrigeran dapat mengalir dalam sistem refrigerasi.

Kerja kompresi isentropik :

$$w_{is} = (h_{is,comp-out} - h_{comp-in}) \quad (1)$$

Kerja kompresor :

$$w = w_{is} / \eta_{is} \quad (2)$$

Daya kompresor :

$$P = \dot{m} \times w \quad (3)$$

### Kondenser

Memindahkan kalor dari sistem ke lingkungan merupakan fungsi dari sebuah kondenser. Kalor tersebut dipindahkan secara konveksi paksa dengan menggunakan sebuah kipas (*fan*) sehingga refrigeran berfase uap yang memasuki kondenser berubah fasenya menjadi cair.

Jumlah kalor yang dipindahkan oleh kondenser ditunjukkan dengan persamaan:

$$q_{cond} = (h_{cond-out} - h_{cond-in}) \quad (4)$$

### Alat ekspansi

Alat ekspansi merupakan alat yang berfungsi untuk menurunkan tekanan. Refrigeran yang berasal dari kondenser umumnya masih memiliki tekanan yang

cukup tinggi sehingga tekanannya perlu diturunkan. Proses yang terjadi didalam alat ekspansi diasumsikan dalam kondisi adiabatik.

$$h_{xv-in} = h_{xv-out} \quad (5)$$

### Evaporator

Evaporator memiliki fungsi untuk menyerap kalor dari suatu ruangan kedalam sistem refrigerasi. Kalor tersebut diserap oleh refrigeran sehingga berubah fasenya dari cair menjadi uap.

Jumlah kalor yang diserap oleh evaporator ditentukan dengan persamaan :

$$Q_{\text{evap}} = (h_{\text{evap-out}} - h_{\text{evap-in}}) \quad (6)$$

Pada siklus refrigerasi juga perlu diketahui laju aliran massa refrigeran yang mengalir. Laju aliran massa adalah besaran yang menentukan seberapa banyak massa yang mengalir tiap satuan waktu. Laju aliran massa dapat dicari dengan membagi kapasitas refrigerasi dengan dampak refrigerasi:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{Q_{\text{evap}}} \quad (7)$$

Besarnya laju aliran massa juga dapat dicari jika daya kompresor dan kerja kompresor diketahui. Besarnya adalah sama dengan daya kompresor dibagi dengan kerja kompresor.

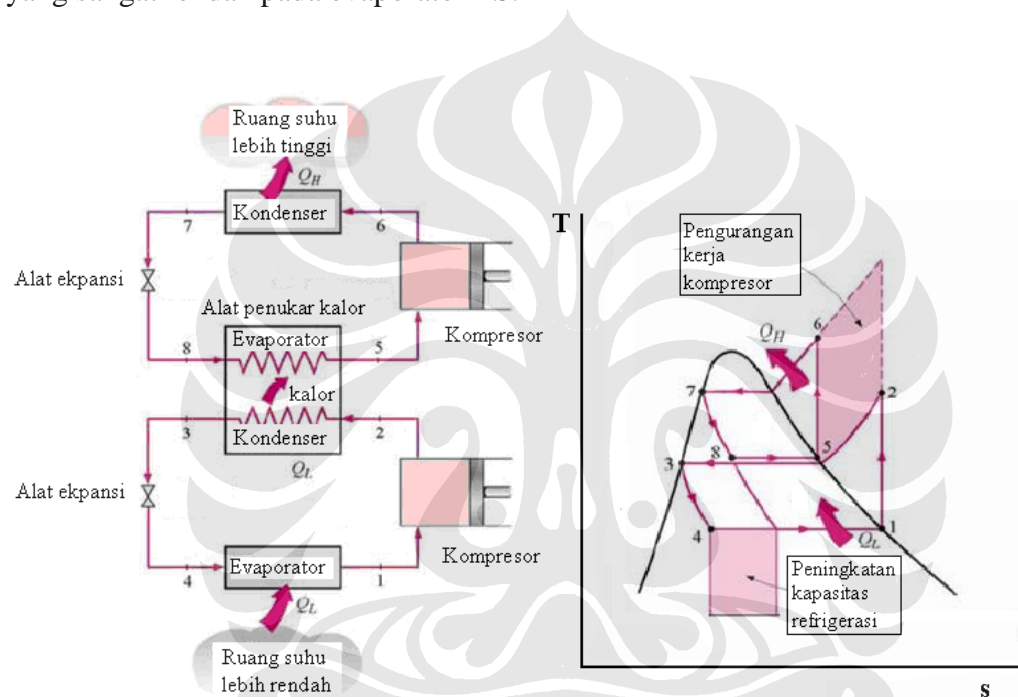
$$\dot{m} = \frac{P}{W} \quad (8)$$

Dari dampak refrigerasi, dapat dihitung besarnya COP dari sistem refrigerasi. COP dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W} \quad (9)$$

### 2.2.2 Siklus Refrigerasi Cascade

Sistem refrigerasi *cascade* terdiri dari dua sistem refrigerasi siklus tunggal. Sistem pertama disebut *high-stage* (HS) dan sistem kedua disebut *low-stage* (LS). Pada prinsipnya efek refrigerasi yang dihasilkan oleh evaporator HS dimanfaatkan untuk menyerap kalor yang dilepas oleh kondenser LS sehingga dihasilkan temperatur yang sangat rendah pada evaporator LS.



Gambar 2.4 Siklus refrigerasi cascade dan T-s diagram [c]

Sistem seperti ini, meskipun akan menghasilkan temperatur yang sangat rendah, namun berdampak pada tingginya daya kompresor yang digunakan karena sistem *cascade* menggunakan dua buah kompresor. Akibatnya, koefisien kinerja yang dihasilkan juga rendah.

Pada sistem refrigerasi *cascade*, besarnya kerja kompresor total didapat dengan menjumlahkan kerja kompresor pada sistem HS dan LS.

$$W_{total} = W_{HS} + W_{LS} \quad (10)$$

Dan nilai koefisien kinerja (COP) didapat dengan :

$$COP = \frac{Q_{evaporator}}{W_{total}} \quad (11)$$

### 2.3 SELEKSI REFRIGERAN

Dalam memilih refrigeran yang akan digunakan, selain mempertimbangkan sistem yang akan dipakai, terdapat beberapa kriteria khusus. Sesuai standar ANSI/ASHRAE 34-1992, terdapat dua faktor penting yang sangat berpengaruh dalam pemilihan refrigeran, meliputi kandungan racun (*toxicity*) dan mampu bakar (*flammability*).

Klasifikasi tingkat keamanan refrigeran dibuat berdasarkan kombinasi kandungan racun dan mampu bakar pada refrigeran tersebut: A1, A2, A3, B1, B2, dan B3. Refrigeran yang memiliki tingkat keamanan terbaik adalah A1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Keamanan Refrigeran

Safety level	Lower Toxicity	Higher Toxicity
Higher Flammability	A3	B3
Lower Flammability	A2	B2
No Flame Propagation	A1	B1

Namun, semenjak disepakatinya protokol Montreal dan Kyoto terdapat dua kriteria lainnya yang harus dipenuhi suatu jenis refrigeran agar dapat digunakan secara aman dan komersial. Dua kriteria tersebut adalah ODP (*Ozone Depletion Potential*) merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrigeran terhadap kerusakan ozon dan GWP (*Global Warming Potential*) merupakan nilai yang menunjukkan potensi suatu jenis refrigeran terhadap pemanasan global.

Dalam hipotesisnya Roland dan Molina mengatakan bahwa CFC (*Chlorofluorocarbon*) akan terurai menjadi unsur penyusunnya oleh karena radiasi sinar ultraviolet pada lapisan stratosfer. Munculnya unsur klorin sebagai katalis pada lapisan tersebut menyebabkan terjadinya dekomposisi atau penguraian dari ozon (O<sub>3</sub>) menjadi oksigen (O<sub>2</sub>). Selanjutnya penguraian lapisan ozon dapat mengakibatkan terjadinya radiasi langsung sinar ultraviolet ke atas permukaan bumi.

Selain menimbulkan dampak negatif pada lapisan ozon, refrigeran yang terlepas ke udara ternyata dapat menimbulkan efek rumah kaca sama seperti yang disebabkan oleh gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Peningkatan temperatur yang cukup besar yang diakibatkan oleh efek rumah kaca dapat mengakibatkan pemanasan global. Hal ini mengakibatkan meningkatnya ketinggian air laut setiap tahunnya serta perubahan iklim.

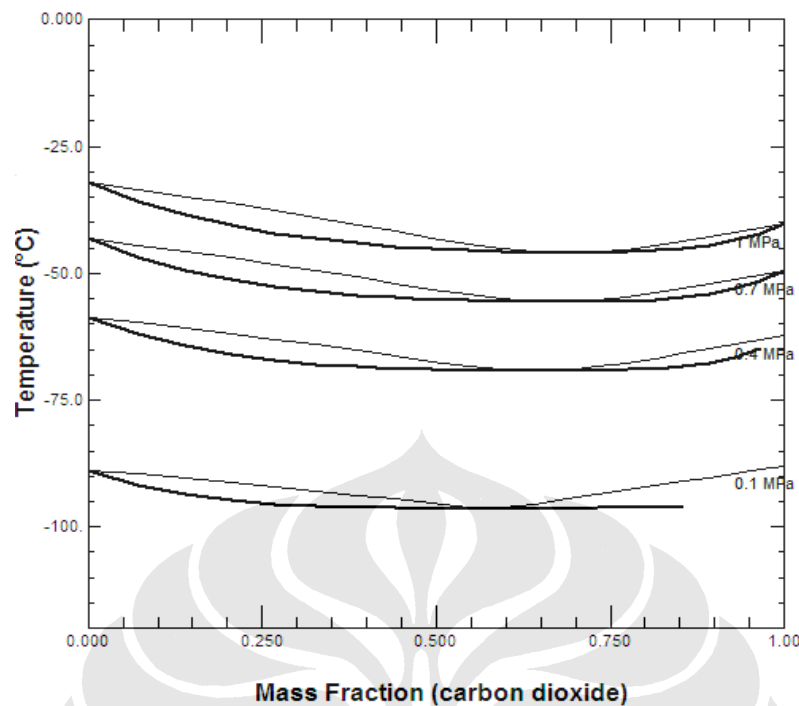
Tabel 2.2 menunjukkan nilai ODP dan GWP yang dimiliki oleh CFC (*Cholorofluorocarbon*), HFC (*Hydrofluorocarbon*) dan *Hydrocarbon*. Sebagai contoh, R170 dan R744 memiliki nilai ODP dan GWP yang kecil sehingga memenuhi syarat sebagai refrigeran alternatif.

Tabel 2.2 Perbandingan Beberapa Refrigeran (ASHRAE Standard 34-1997)

<b>Properties</b>	<b>R13</b>	<b>R744</b>	<b>R170</b>	<b>R744/R170</b>
	<b>CClF<sub>3</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub>/ C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>
Molecular mass	104.46	44.01	30.07	37.039
Normal boiling point	-81.3	-78.4	-88.9	-96.339
Crit. temperature ( <i>T<sub>cr</sub></i> )	28.9	31.1	32.2	18.163
Crit. pressure ( <i>P<sub>cr</sub></i> )	38.8	73.8	48.7	56.496
TLV	1000	5000	1000	n/a
LFL	none	None	2.9	n/a
Heat of combustion	-3		-	
Atmospheric life [yr]	640	>50	-	
ODP	1	0	0	0
GWP	14000	1	~20	<20

Disamping ramah lingkungan, R744 juga tidak mudah terbakar dan tidak mengandung racun serta mudah didapat dipasaran dengan harga yang relatif murah. Akan tetapi, kelemahan dari R744 adalah tekanan kerja yang tinggi serta temperatur triple point yang tinggi (5,11 bar; -56,4°C), sehingga tidak bisa dipakai pada sistem refrigerasi dengan aplikasi temperatur rendah, karena itu R744 digunakan sebagai bahan campuran refrigeran dengan refrigeran hidrocarbon lainnya.





Gambar 2.5 Diagram T-x Campuran R170/R744

Dari diagram T-x, campuran R170/R744, terlihat bahwa refrigeran tersebut bercampur dengan cukup sempurna mendekati campuran azeotrop pada komposisi massa 50:50 pada temperatur  $-30^{\circ}\text{C}$  s/d  $-90^{\circ}\text{C}$ . Azeotrop adalah campuran antara dua atau lebih senyawa pada komposisi tertentu yang tidak bisa dipisahkan dengan metode destilasi biasa. Sehingga dipilih menjadi alternatif campuran refrigeran dalam penelitian ini.