

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam sistem refrigerasi dikenal beberapa siklus, diantaranya adalah siklus kompresi uap dan siklus absorpsi. Siklus kompresi uap merupakan siklus yang paling banyak digunakan dalam siklus refrigerasi. Pada siklus kompresi uap, efek pendinginan diperoleh dengan cara memberikan kerja pada system lalu system menyerap panas dari media yang didinginkan, kemudian sebagian panas dibuang ke lingkungan. (Stoecker W.F, 1994)

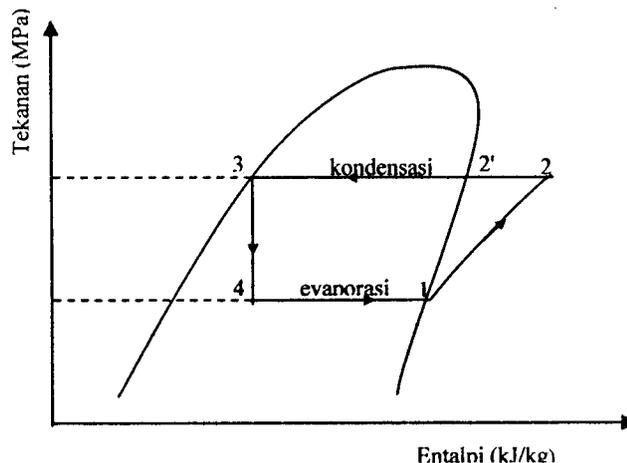
2.1 Siklus Kompresi Uap

Siklus kompresi uap standar untuk mesin refrigerasi ditunjukkan oleh gambar dibawah ini. Proses-proses termodinamik pada siklus kompresi uap standar adalah:

- Proses 1-2 : Kompresi adiabatik dan reversibel dari uap jenuh menuju tekanan kondensasi
- Proses 2-3 : Pelepasan panas reversibel pada tekanan konstan sampai kondisi cair jenuh
- Proses 3-4 : Ekspansi irreversibel pada enthalpy konstan sampai tekanan evaporasi
- Proses 4-1 : Penambahan panas reversibel pada tekanan konstan dari fase campuran ke tingkat keadaan jenuh.

Unjuk kerja mesin refrigerasi siklus kompresi uap ditentukan oleh beberapa parameter, diantaranya adalah kapasitas pendinginan, kapasitas pemanasan, daya kompresi dan koefisien performansi.

Diagram tekanan-enthalpi dapat membantu dalam menentukan parameter-parameter tersebut.



Gambar 2.1 Diagram tekanan-enthalpi

Kerja kompresi merupakan perubahan enthalpy pada proses 1-2

$$W_{\text{komp}} = h_2 - h_1$$

Kalor yang dibuang melalui kondensor dari refrigeran ke lingkungan yang temperaturnya lebih rendah terjadi pada proses 2-3

$$Q_{\text{kond}} = h_2 - h_3$$

Efek refrigerasi atau efek pendinginan adalah kalor yang diterima oleh sistem dari lingkungan melalui evaporator persatuan laju massa refrigeran dan terjadi pada proses 4-1

$$Q_{\text{ref}} = h_1 - h_4$$

Koefisien performansi (COP) adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem,

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

dimana :

h_1 = enthalpi refrigeran ketika meninggalkan evaporator menuju ke kompresor

h_2 = enthalpi refrigeran ketika meninggalkan kompresor menuju kondensor

h_3 = enthalpi refrigeran ketika meninggalkan kondensor menuju katup ekspansi

h_4 = enthalpi refrigeran ketika meninggalkan katup ekspansi menuju evaporator

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa ada 4 komponen dasar yang terdapat pada sistem pengkondisian udara yaitu:

- Evaporator
- Kondensor
- Kompresor
- Katup Ekspansi

2.2 Alat Penukar Kalor

Di dalam bidang pengkondisian udara dan refrigerasi, penukar kalor dipakai secara luas. Penukar kalor adalah suatu piranti yang didalamnya terjadi perpindahan energi dari aliran fluida yang satu ke aliran fluida yang lain.

Jenis- jenis penukar kalor

Alat penukar kalor terdiri atas beberapa jenis, salah satu alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam industri adalah jenis selongsong dan pipa (Shell and Tube). Pada jenis ini suatu fluida mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida lainnya dialirkan melalui selongsong melintasi luar pipa. Untuk menjamin bahwa fluida di sebelah selongsong mengalir melintasi pipa dan dengan demikian menyebabkan terjadi perpindahan kalor lebih tinggi, maka di dalam selongsong itu dipasang sekat-sekat (Baffles).

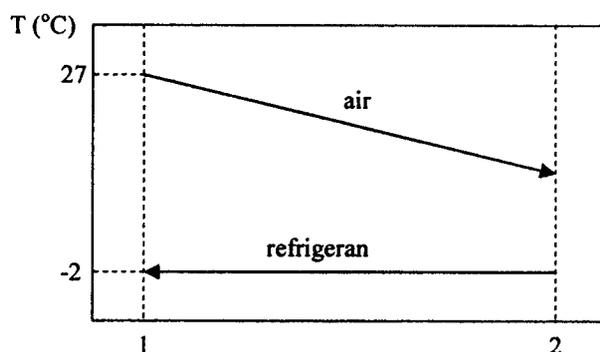
Penukar kalor aliran silang banyak digunakan dalam pemanasan dan pendinginan udara, dimana fluida dalam bentuk cairan atau gas dialirkan menyilang berkas pipa

sedangkan fluida lain digunakan didalam pipa untuk memanaskan atau mendinginkan.

Jenis lain dari alat penukar kalor adalah: jenis penukar kalor kompak (Compact Heat Exchanger). Alat penukar kalor jenis ini memiliki koefisien perpindahan panas menyeluruh yang rendah tetapi mempunyai luas permukaan yang besar dalam volume yang kecil.

Beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD)

Beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) adalah perbandingan antara perbedaan suhu pada satu ujung penukar kalor dengan ujung lainnya dengan logaritma alamiah daripada perbedaan kedua tersebut.



Gambar 2.2 Distribusi temperatur air–refrigeran di evaporator

$\Delta T_{LM} = F \cdot \Delta T_{LMCF}$; dimana: $F =$ faktor koreksi = 1

$$\Delta T_{LMCF} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Efektivitas penukar kalor

Efektivitas penukar kalor (heat exchanger effectiveness) didefinisikan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor nyata}}{\text{Perpindahan kalor maksimum yang mungkin terjadi}} \quad (\text{J.P. Holman, 1994})$$

Perpindahan kalor yang sebenarnya dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin.

Untuk alat penukar kalor dengan pipa ganda dan arah alirannya adalah aliran silang dengan kedua fluida tidak saling bercampur, maka efektivitasnya adalah:

$$\varepsilon = 1 - \exp \left[\frac{\exp(-N.C.n) - 1}{C.n} \right] \quad (\text{J.P. Holman, hal 507})$$

dimana : $N = NTU = \frac{U.A}{C_{\min}}$

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{m_c \cdot c_c}{m_h \cdot c_h}$$

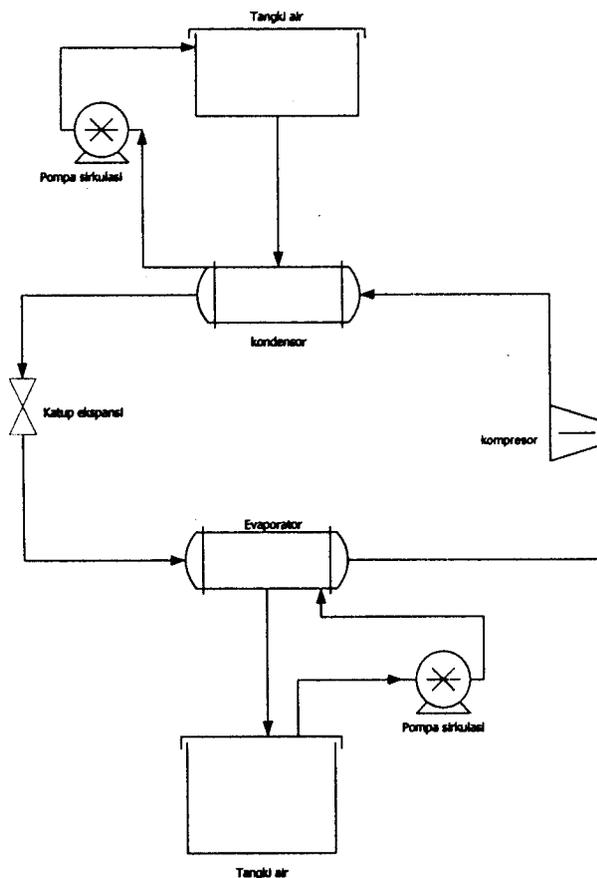
$$n = N^{-0,22}$$

2.3 Mesin Refrigerasi Hibrida

Berbagai pengembangan telah dilakukan pada mesin refrigerasi kompresi uap untuk mendapatkan efisiensi dan prestasi yang lebih baik. Salah satu pengembangan tersebut adalah dengan membuat sistem refrigerasi hibrida. Pada system refrigerasi hibrida ini, mesin dapat berfungsi sebagai mesin pendingin dan pompa panas. Efek pendinginan dilayani oleh evaporator dan efek pemanasan dilayani oleh kondensor (Amrul, 2001). Efek pemanasan yang dihasilkan oleh kondensor dapat digunakan untuk berbagai macam kebutuhan seperti pemanas (heater) atau pengering (dryer).

Pemanfaatan efek pemanasan ini juga akan meningkatkan koefisien performansi (COP) dari mesin refrigerai tersebut, karena koefisien performansi merupakan perbandingan antara energi yang bermanfaat dan kerja yang dibutuhkan oleh sistem.

$$COP = \frac{(h_1 - h_4) + (h_2 - h_3)}{h_2 - h_1}$$



Gambar 2.3 Skema mesin refrigerasi siklus kompresi uap hibrida