

BAB II DASAR TEORI

2.1 Deskripsi Alat Refrijerasi



Gambar 2.1 Air Conditioning (AC)

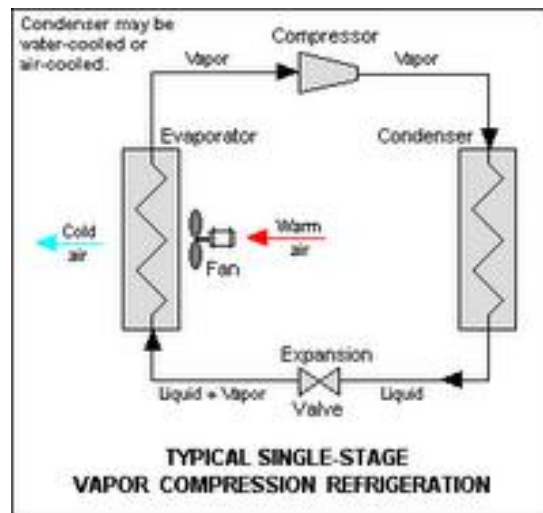
Sistem Pendingin *Air Conditioner* (AC) merupakan suatu komponen/peralatan yang dipergunakan untuk mengatur suhu, sirkulasi, kelembaban dan kebersihan udara didalam ruangan. Saat ini AC sudah banyak digunakan oleh masyarakat sebagai alat rumah tangga yang umum digunakan. Sebagai dampak dari *global warming* yang terus meningkat maka dapat diprediksi di masa yang akan datang semua keluarga akan memiliki AC.

Fungsi Sistem AC Sistem *Air Conditioner* (AC) digunakan untuk membuat temperatur udara di dalam suatu ruangan menjadi nyaman. Apabila suhu pada suatu ruangan terasa panas maka udara panas ini diserap sehingga temperaturnya menurun. Apabila udara dalam ruangan lembab maka kelembaban akan dikurangi sehingga udara dipertahankan pada tingkat yang menyenangkan.

Teknologi mesin pendingin saat ini sangat mempengaruhi kehidupan dunia modern. Teknologi ini dibutuhkan untuk penyiapan bahan makanan, penyimpanan dan distribusi makanan, mendinginkan ruangan di perkantoran, alat transportasi maupun rumah tangga.

Mesin pendingin merupakan sebuah mekanisme berupa siklus yang mengambil energi (termal) dari daerah bertemperatur rendah dan dibuang ke daerah bertemperatur tinggi (lingkungan), maka diperlukan energi untuk menjalankan siklus refrigerasi. Bentuk terbaik pemanfaatan kembali panas terbuang yaitu untuk proses pengeringan kerupuk. Mengingat besarnya energi yang dapat dimanfaatkan secara gratis tersebut, penulis ingin memanfaatkan energi panas tersebut untuk proses pengeringan. karena udara yang dikeluarkan dari sistem AC adalah udara kering. Selain itu udaranya bersih karena sudah melewati sistem penyaringan.

2.2 Sistem refrigerasi



Gambar 2.2 siklus sistem refrigerasi

Refrigerant adalah media pemindah panas, *Refrigerant* dapat dengan mudah berubah bentuk dari cair ke gas dan sebaliknya. Setiap jenis bahan pendingin memiliki karakteristik yang berbeda. Terdapat berbagai jenis *refrigerant* yang digunakan dalam sistem kompresi uap. Suhu refrigerasi yang dibutuhkan sangat menentukan dalam pemilihan fluida. *Refrigeran* yang umum digunakan adalah yang termasuk kedalam keluarga *chlorinated fluorocarbons* (CFCs), disebut juga *Freons*: R-11, R-12, R-21, R-22, R-134a dan R-502.

Siklus refrigerasi kompresi uap mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas daripada sumber dingin diluar (contoh udara diluar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin daripada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bertemperatur tinggi.

Siklus refrigerasi kompresi uap memiliki dua keuntungan. Pertama, sejumlah besar energi panas diperlukan untuk merubah cairan menjadi uap, dan oleh karena itu banyak panas yang dapat dibuang dari ruang yang disejukkan. Kedua, sifat-sifat isothermal penguapan membolehkan pengambilan panas tanpa menaikkan suhu fluida kerja ke suhu berapapun didinginkan. Hal ini berarti bahwa laju perpindahan panas menjadi tinggi, sebab semakin dekat suhu fluida kerja mendekati suhu sekitarnya akan semakin rendah laju perpindahan panasnya.

Sebuah siklus, menurut definisi, adalah *interval* atau jalannya peristiwa dalam urutan yang sama atau seri. Kata Siklus, sebagaimana yang diterapkan di sini, berarti serangkaian operasi di mana panas pertama diserap oleh bahan pendingin, perubahan dari cair ke gas, dan kemudian gas dikompresi dan dipaksa masuk ke kondensor, dimana panas diserap oleh udara yang

beredar, sehingga membawa *refrigerant* kembali ke bentuk awal (atau cair). Dengan mengacu pada Gambar di atas, siklus operasi terdiri dari langkah-langkah berikut :

Langkah 1

Kompresor memompa bahan pendingin melalui seluruh sistem. Kompresor menarik gas *refrigerant* dingin melalui jalur isap (*suction line*) dari evaporator *freezer*. Pada saat yang sama, mengompres gas dan memompa ke *discharge line* (jalur tekanan tinggi). Gas yang terkompresi temperatur nya meningkat tajam dan memasuki kondensor.

Langkah 2

Kondensor ini melakukan fungsi yang mirip dengan radiator di sebuah mobil dalam kondensor adalah koil pendingin untuk gas *refrigerant* panas. Dalam kondensor, panas tersebut dikeluarkan ke ruang udara di luar kabinet. Selama proses ini, gas *refrigerant* melepas panas dalam kabin dan merubah ke bentuk cair. Lalu cairan pendingin panas meninggalkan kondensor dan memasuki tabung (pipa) kapiler, Dan *filter dryer* atau saringan menghapus segala uap air atau kotoran.

Langkah 3

Tabung kapiler diukur dengan seksama panjang dan diameter dalam untuk mengukur arus *refrigerant* cair dengan jumlah yang tepat untuk alirkan sesuai yang dibutuhkan untuk setiap unit. Sebuah panjang yang telah ditetapkan tabung kapiler biasanya disolder di sepanjang bagian luar *suction line*, membentuk penukar panas, yang membantu untuk mendinginkan *refrigerant* cair panas dalam tabung kapiler. Pipa Kapiler kemudian dihubungkan ke pipa yang lebih besar yaitu evaporator.

Langkah 4

Refrigeran keluar dari tabung kapiler dan memasuki tabung yang lebih besar atau evaporator. Peningkatan mendadak dalam bentuk diameter pipa membentuk daerah tekanan rendah dan suhu *refrigerant* turun secara drastis karena perubahan dari cair ke campuran cair dan gas. Dalam proses melewati evaporator, *refrigerant* menyerap panas dari area sekelilingnya. *Refrigerant* kemudian secara bertahap berubah dari cair ke- campuran cair dan gas ke gas.

Langkah 5

Gas *refrigerant* bertekanan rendah meninggalkan koil evaporator sekarang memasuki akumulator, yang dirancang berbentuk silinder besar untuk menjebak cairan *refrigeran* yang tidak atau belum berubah menjadi gas di evaporator. Karena tidak mungkin untuk kompres cairan, akumulator mencegah *refrigerant* dalam bentuk cairan kembali ke kompresor

Langkah 6

Lalu gas *refrigerant* meninggalkan akumulator, kembali ke kompresor melalui garis isap, yang merupakan bagian dari panas exchanger, sehingga menyelesaikan siklus. pengaruh penambahan pelat datar vertikal pada tube penukar panas dengan tambahan aluminium foil yang mengelilingi tube, dan pengaruh besar ruang yang terbentuk disisi bagian dalam penukar panas dimana tube nya memiliki

jarak tertentu dengan styrofoam (ada rongga). Diperkirakan besar rongga yang ada akan berpengaruh pada besar laju perpindahan panas yang terjadi, demikian pula dengan efisiensi penukar panas menyeluruh.

Pada konveksi bebas, koefisien perpindahan panas konveksinya relatif kecil. Sehingga dengan tambahan aluminium foil yang dilekatkan pada tube, diharapkan dapat meningkatkan laju perpindahan panas dengan cara konduksi. Penukar panas jenis ini berada dalam kondisi tertutup dengan pelat datar vertikal yang kontak langsung dengan udara bebas. Unjuk kerja Penukar panas ini ditunjukkan dalam efisiensi sirip dan efisiensi menyeluruh penukar panas terhadap hubungannya dengan perubahan *gap ratio* dan *mass flow rate* fluida (oli).

2.3 Komponen Pada Sistem Pendingin Central

1. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk memberikan kompresi atau tekanan pada refrigerant yang berasal dari *section line* sehingga temperatur dan tekanannya naik dan selanjutnya dialirkan ke *discharge line*.



Gambar 2.3 Kondensor AC

Menurut jenisnya kompresor dibagi menjadi 5 macam, yaitu :

1. Kompresor Torak.
2. Kompresor Sudu / vane kompressor.
3. Kompresor Sekrup atau Heliks.
4. Kompresor Sentrifugal.

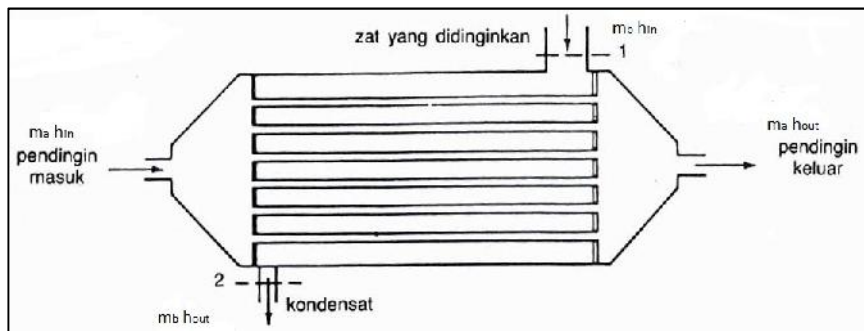
Menurut peletakan motornya, kompresor dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. Kompresor Hermetik
2. Kompresor Semi Hermetik.
3. Kompresor Open Type.

2. Kondensor

Kondensor adalah alat penukar kalor untuk mengubah wujud gas bahan pendingin pada suhu dan tekanan tinggi menjadi wujud cair. Tujuan utama Kondenser adalah sebagai media

pemindah kalor dari refrigerant ke lingkungan untuk mencairkan uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi dari kompresor. Disini kalor dilepaskan ke lingkungan. Uap yang mengalir melalui satu susunan pipa-pipa, diembunkan sewaktu bersentuhan dengan permukaan pipa-pipa yang dialiri cairan pendingin. Pipa-pipa ini permukaannya dijaga agar tetap bertemperatur rendah dengan mengalirkan cairan pendingin. Misalkan m_A kecepatan massa fluida yang didinginkan dan m_B kecepatan massa fluida pendingin. Dengan mengabaikan perbedaan ketinggian dan kecepatan, persamaan energi aliran stationer menghasilkan:



Gambar 2.4 Skema kondensor

$$m_a h_{ain} + m_b h_{bin} = m_a h_{aout} + m_b h_{bout} \dots \dots \dots (2.1)$$

atau :

$$m_a (h_{ain} - h_{aout}) = m_b (h_{bin} - h_{bout}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Berdasarkan media pendinginannya kondensor dibagi menjadi 3, yaitu:

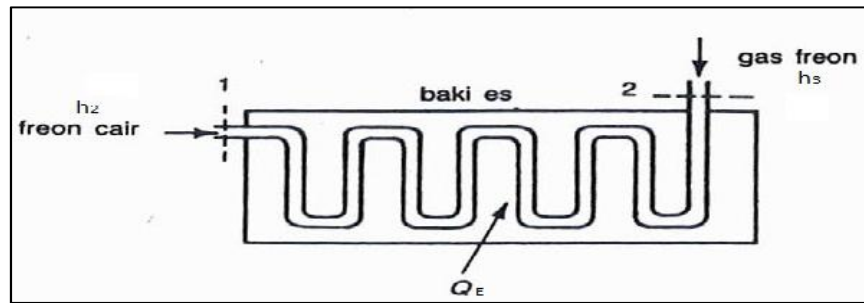
1. Kondensor berpendingin air (*Water Cooled Condenser*).
2. Kondensor berpendingin udara (*Air Cooled Condenser*).
3. Kondensor berpendingin udara dan air (*Air and Water Cooled Condenser*).



Gambar 2.5 Kondensor AC LG

3. Evaporator

Evaporator berfungsi sebagai alat penyerap kalor dari lingkungan ke refrigerant sehingga *refrigerant* akan mengalami perubahan fasa dari cair menjadi uap. Proses yang terjadi pada pada evaporator merupakan kebalikan dari proses yang terjadi dalam kondensor. Kecepatan masuk dan keluar dapat dianggap kecil (diabaikan), tidak ada kerja poros, dan tidak ada perubahan ketinggian.



Gambar 2.6 Skema Evaporator

Persamaan energi aliran stationer menjadi :

$$q = h_3 - h_2 \dots \dots \dots (2.3)$$

Bila entalpi jenis dari freon pada pipa masuk dan pipa keluar diketahui maka dari persamaan ini kapasitas pendinginan dapat dihitung.

Berdasarkan bentuk dan permukaan koilnya, evaporator dibagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. Evaporator Pipa Telanjang (*Bare Tube Evaporator*).
2. Evaporator Pelat (*Plate Surface Evaporator*).
3. Evaporator Bersirip (*Finned Evaporator*).

Dilihat dari cara kerjanya secara ekspansi langsung, evaporator dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

1. *Flooded Evaporator*.
2. *Dry Expntion Evaporator*.

Dilihat dari konstruksinya evaporator dibagi menjadi :

1. *Shell and Tube Evaporator*.
2. *Shell and Coil Evaporator*.



Gambar 2.7 Evaporator AC

Dalam proses pendinginan, pada umumnya temperatur permukaan bidang evaporator lebih rendah daripada titik embun dari udara masuk. Apabila udara ruangan menyentuh permukaan koil pendingin, uap air dalam udara akan mengembun sehingga koil menjadi basah. Pada umumnya temperatur bola kering (T_{db}) udara keluar evaporator adalah $15^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}$ dan temperatur bola basah (T_{wb}) $13^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$ untuk evaporator dengan penguapan $2^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}$, kecepatan udara sekitar 2 m/s sebagai kondisi standard menggunakan koil dengan 3 atau 4

baris. Sesuai fungsinya evaporator adalah alat penguap bahan pendingin agar efektif dalam menyerap panas dan menguapkan bahan pendingin, evaporator di buat dari bahan logam anti karat, yaitu tembaga dan almunium.

5. Katup Ekspansi

Katup Ekspansi berfungsi untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai tingkat keadaan tekanan dan temperatur rendah.

Ada bermacam-macam jenis katup ekspansi, antara lain :

1. *Automatic Expantion Valve.*
2. *Thermostatic Expantion Valve.*
3. Katup Apung Sisi Tekanan Tinggi.
4. Katup Apung Sisi Tekanan Rendah.
5. *Manual Expantion Valve.*
6. Pipa Kapiler.
7. *Thermoelectric Expantion Valve.*
8. *Electronic Expantion Valve.*



Gambar 2.8 Katup Exspansi

Dari banyak jenis katup ekspansi tersebut yang paling banyak digunakan untuk sistem pendingin komersial adalah pipa kapiler karena beban yang didinginkan relatif konstan dan mempunyai harga yang relatif murah.

6. Refrigerant

Refrigerant merupakan suatu media pendingin yang dapat berfungsi untuk menyerap kalor dari lingkungan atau untuk melepaskan kalor ke lingkungan. Sifat-sifat fisik termodinamika refrigerant yang digunakan dalam sistem refrigerasi perlu diperhatikan agar sistem dapat bekerja dengan aman dan ekonomis, adapun sifat refrigerant yang baik adalah :

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi, untuk menghindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator dan turunya 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 refrigerant yang dibutuhkan semakin sedikit.
4. Koefisien prestasi harus tinggi, ini merupakan parameter yang penting untuk menentukan biaya operasi.
5. Konduktifitas 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. Konstata dielektrik yang kecil, tahanan listrik yang besar serta tidak menyebabkan korosi pada material isolasi listrik.
8. *Refrigerant* hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang digunakan sehingga tidak menyebabkan korosi.
9. *Refrigerant* tidak boleh beracun dan berbau.
10. *Refrigerant* 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.

2.4 Dasar-Dasar Psikometrik

Psikometrik merupakan suatu bahasan tentang sifat-sifat campuran udara dengan uap air, dan ini mempunyai arti yang sangat penting dalam pengkondisian udara karena udara pada atmosfer merupakan percampuran antara udara dan uap air, jadi tidak benar-benar kering. Kandungan uap air dalam udara pada untuk suatu keperluan harus dibuang atau malah ditambahkan.

Pada bagan psikometrik ada dua hal yang penting, yaitu penguasaan akan dasar-dasar bagan dan kemampuan menentukan sifat-sifat pada kelompok-kelompok keadaan lain, misalnya tekanan barometrik yang tidak standar.

Untuk memahami proses-proses yang terjadi pada karta psikometrik perlu adanya pemahaman tentang hukum Dalton dan sifat-sifat yang ada dalam karta psikometrik, yaitu :

1. Temperatur bola kering.

Temperatur bola kering merupakan temperatur yang terbaca pada termometer sensor kering dan terbuka, namun penunjukan dari temperatur ini tidak tepat karena adanya pengaruh radiasi panas.

2. Temperatur bola basah.

Temperatur bola basah merupakan temperatur yang terbaca pada termometer dengan sensor yang dibalut dengan kain basah. Untuk mengukur temperatur ini diperlukan aliran udara sekurangnya adalah 5 m/s. Temperatur bola basah sering disebut dengan temperatur jenuh adiabatik.

3. Kelembaban relatif.

Kelembaban relatif didefinisikan sebagai perbandingan fraksi molekul uap air di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan yang sama, atau perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di dalam udara dengan tekanan jenuh uap air yang ada pada temperatur yang sama. Kelembaban relatif dapat dikatakan sebagai kemampuan udara untuk menerima kandungan uap air, jadi semakin besar RH semakin kecil kemampuan udara tersebut untuk menyerap uap air.

Kelembaban ini dapat dirumuskan :

$$RH = \frac{P_w}{P_{ws}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

4. Kelembaban spesifik (rasio kelembaban)

Kelembaban spesifik (w) adalah berat atau massa air yang terkandung didalam setiap kilogram udara kering, atau perbandingan antara massa uap air dengan massa udara kering yang ada didalam atmosfer.

Kelembaban spesifik dapat dirumuskan :

$$w = \frac{M_w}{M_a} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : w = Kelembaban spesifik

M_w = Massa uap air

M_a = Massa udara kering

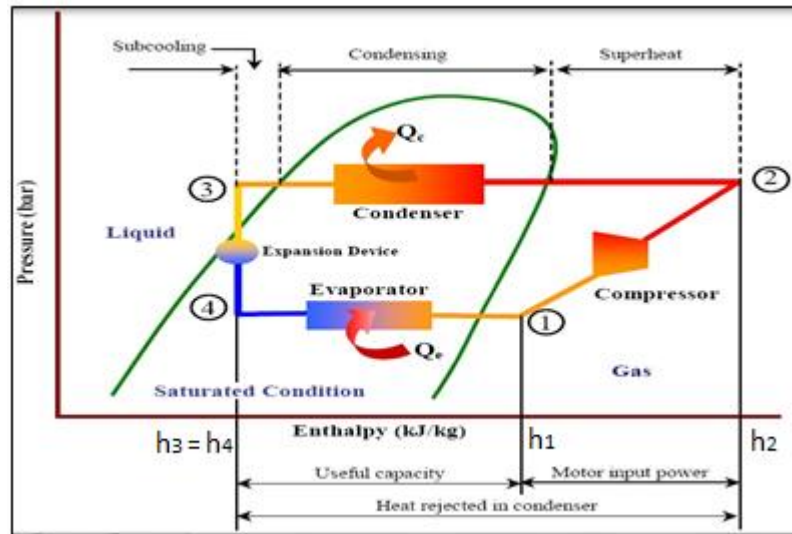
5. Entalpi.

Entalpi merupakan energi kalor yang dimiliki oleh suatu zat pada temperatur tertentu, atau jumlah energi kalor yang diperlukan untuk memanaskan 1 kg udara kering dan x kg air (dalam fasa cair) dari 0°C sampai mencapai T°C dan menguapkannya menjadi uap air (fasa gas). Walaupun entalpi adalah suatu sifat dan mempunyai satuan enegi, ia dapat atau tidak dapat diperlakukan sebagai energi. Ini disebabkan karena kadang-kadang suku pn tidak menyatakan energi, kecuali untuk suatu fluida yang masuk atau keluar dari volume kontrol.

7. Volume spesifik.

Volume spesifik merupakan volume udara campuran dengan satuan meter-kubik per kilogram udara kering, dan dinyatakan dalam simbol v dan merupakan kebalikan dari massa jenis. Volume jenis merupakan sifat intensif dari suatu sistem.

2.5 Diagram P- h Siklus Refrigerasi



Gambar 2.9 diagram P-h siklus refrigerasi

Pada proses 1-2, kompresor menaikkan tekanan uap refrigeran. Kenaikan tekanan ini diikuti dengan kenaikan temperatur uap refrigeran. Pada tingkat keadaan (TK) 2, uap refrigeran berada pada kondisi uap super-panas.

Pada proses 2-3, uap refrigeran sebelum memasuki kondensor untuk mendapatkan pendinginan. Pendinginan pada kondensor terjadi akibat pertukaran panas antara uap refrigeran dengan udara lingkungan.

Refrigeran keluar dari kondensor pada TK 3 dalam kondisi cair jenuh, atau bisa juga pada kondisi cair sub-dingin. Refrigeran kemudian memasuki katup ekspansi. Katup ekspansi ini pada prinsipnya berupa penyempitan daerah aliranyang berakibat pada penurunan tekanan fluida secara drastis. Idealnya, refrigeran melalui katup ekspansi (proses 3-4) secara iso-enthalpi (isenthalpi).

Pada TK 4, refrigeran berada dalam kondisi campuran cair dan uap. Karena refrigeran berada pada tekanan jenuhnya (tekanan penguapan), maka dia akan mengalami penguapan; hukum alam menyatakan bahwa penguapan membutuhkan energi, terjadilah penyerapan energi termal dari luar evaporator yang menyebabkan efek refrigerasi oleh mesin pendingin.

Dasar-dasar perhitungan unjuk kerja mesin pendingin siklus kompresi uap standar berlandaskan pada diagram hubungan temperatur (T) dengan entropi (s) dan tekanan (P) dengan enthalpi (h) untuk siklus kompresi uap standar.

1. Efek Refrigerasi (ER)

efek refrigerasi (ER) adalah kalor yang diterima oleh sistem dari lingkungan melalui evaporator per satuan laju massa refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dan diinginkan dari suatu sistem mesin pendingin. Dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa efek refrigerasi ini berlangsung pada proses dari 4 ke 1. Makin

besar efek refrigerasi suatu sistem refrigerasi, maka kinerja sistem makin baik. Besarnya efek refrigerasi tersebut adalah.

$$ER = h_4 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

h_1 = enthalpi refrigeran yang keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = enthalpi refrigeran yang masuk evaporator (kJ/kg)

2. Kerja kompresi (W_k)

Besarnya kerja kompresi (W_k) sama dengan selisih enthalpi uap refrigeran yang keluar kompresor dengan enthalpi uap refrigeran yang masuk ke kompresor pada proses 1–2.

$$W_k = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

h_1 = entalpi uap refrigeran pada sisi isap dan keluar kompresor (kJ/kg)

h_2 = entalpi uap refrigeran pada sisi isap dan keluar kompresor (kJ/kg)

Hubungan tersebut diturunkan dari persamaan energi dalam keadaan tunak (steady flow energy equation) yaitu : $q + h_1 = h_2 + W_k$ pada proses kompresi adiabatik reversibel dengan perubahan energi kinetik dan energi potensial diabaikan. Perbedaan entalpinya merupakan besaran negatif yang menunjukkan bahwa kerja diberikan kepada sistem.

3. Unjuk Kerja (COP)

Unjuk kerja atau yang lebih dikenal dengan koefisien performansi (COP = Coefficient Of Performance) merupakan perbandingan antara kapasitas refrigerasi (KR) dengan daya (P_k) yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor. Untuk satu-satuan massa refrigeran maka unjuk kerja dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara efek refrigerasi (ER) sistem dengan kerja (W_k) yang dibutuhkan untuk mengkompresi refrigeran di kompresor. Makin besar nilai unjuk kerja (COP) makin baik kinerja sistim refrigerasi itu. Unjuk kerja (COP) merupakan besaran tanpa dimensi.

$$COP = ER / W_k \dots\dots\dots(2.8)$$

Unjuk kerja (COP) adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem (kerja kompresi).

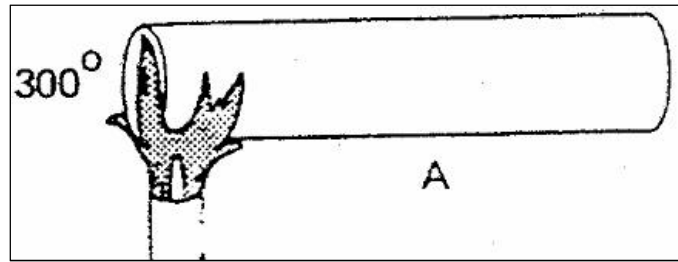
$$\text{Unjuk kerja} = \frac{\text{Efek refrigrasi}}{\text{Kerja Kompresor}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$COP = \frac{h_4 - h_1}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots(2.10)$$

Unjuk kerja merupakan parameter yang sangat penting, karena semakin besar harga unjuk kerja (COP) maka semakin baik kerja dari sistem pendingin tersebut. Unjuk kerja ini identik dengan efisiensi pada motor bakar. Kalau efisiensi biasanya nilainya lebih kecil dari 1 sedangkan unjuk kerja biasanya lebih besar dari 1.

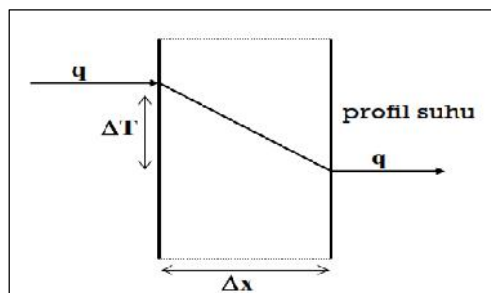
2.6 Mekanisme perpindahan panas

1. Konduksi (Hantaran)



Gambar 2.10 contoh perpindahan panas konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dari tempat yang temperaturnya tinggi ketempat yang temperaturnya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap.



Gambar 2.11 skema perpindahan panas konduksi

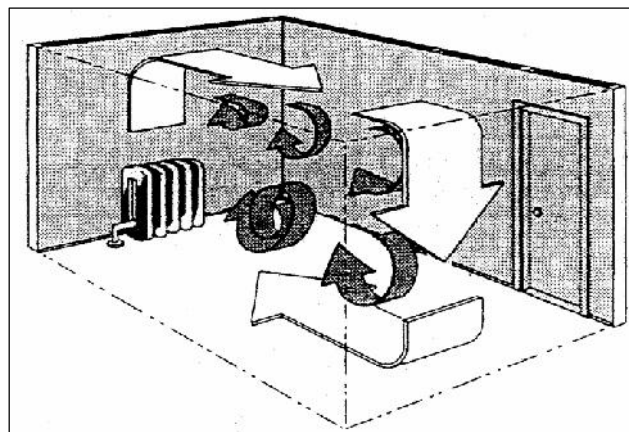
Dasar : Hukum Fourier

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

- q = laju perpindahan panas konduksi
- k = konduktifitas termal bahan
- A = luas penampang
- dT = perbedaan temperatur
- dx = tebal bahan

2. Konveksi



Gambar 2.12 Contoh perpindahan panas konveksi dengan salah satu sumber panas pada salah satu sudutnya.

Konveksi yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas).

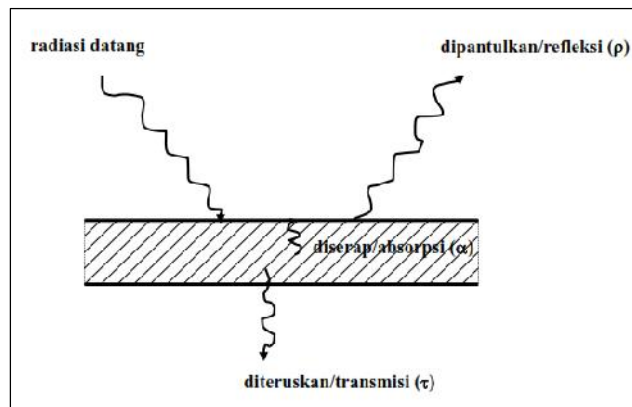
Dasar : Hukum Newton

$$q_c = h_c A (T_w - T_s) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- q_c = laju perpindahan panas konveksi
- h_c = koefisien perpindahan kalor konveksi
- A = luas penampang
- T_w = Temperatur dinding
- T_s = Temperatur lingkungan

3. Radiasi



Gambar 13 skema perpindahan panas radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik, tanpa memerlukan media perantara.

Dasar: Hukum Stefan-Boltzman

$$q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

- Q_r = laju perpindahan panas radiasi
- ε = emisivitas suatu benda
- σ = konstanta Boltzman
- A = luas penampang
- T = Temperatur absolut