

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Umum

Air Conditioning (AC) atau alat pengkondisi udara merupakan modifikasi pengembangan dari teknologi mesin pendingin. Alat ini dipakai bertujuan untuk memberikan udara yang sejuk dan mengontrol uap air yang dibutuhkan bagi tubuh. Penggunaan AC ini sering ditemui di daerah tropis yang terkenal dengan iklim panas. Suhu udara pada saat musim panas yang sedemikian tinggi dapat mengakibatkan dehidrasi cairan tubuh. Selain itu, AC dimanfaatkan sebagai pemberi kenyamanan. Di lingkungan tempat kerja AC juga dimanfaatkan sebagai salah satu cara dalam upaya peningkatan produktivitas kerja. Karena dalam beberapa hal manusia membutuhkan lingkungan udara yang nyaman untuk dapat bekerja secara optimal yaitu 20-25°C dan kelembaban 40-60 %. Tingkat kenyamanan suatu ruang juga ditentukan oleh temperatur, kelembapan, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara (<http://www.sumbarsehat.com>)

Rancang bangun air conditioning ini menggunakan AC Split untuk dimodifikasi sehingga dapat digunakan untuk menghitung setiap variabel (baik masuk maupun keluar). Beban Air Conditioning (AC) dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu beban kalor laten dan beban kalor sensibel. Beban berasal dari berbagai sumber (manusia, produk makanan, peralatan, struktur bangunan, dsb) melalui proses perpindahan kalor konveksi, konduksi, maupun radiasi sehingga

udara mengalami kenaikan suhu dan kelembaban. Beban kalor yang menyebabkan kenaikan suhu udara ruang disebut beban kalor sensibel.

Sedangkan yang berakibat terjadinya kenaikan kelembaban disebut beban kalor laten. Beban kalor sensibel dan beban kalor laten dapat diketahui dengan cara mengukur perubahan keadaan udara antara sebelum dan sesudah melewati cooling coil. Dalam pembuatan desain ulang Air Conditioning (AC) ini, perubahan pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban buatan berupa kalor listrik (lampu) yang nilai bebannya dapat dirubah baik secara acak maupun teratur. Beban AC dan parameter udara lainnya dapat ditentukan, setelah dilakukan pengukuran terhadap suhu bola kering/ Dry Bulb Temperature (DBT), suhu bola basah/Wet Bulb Temperature (WBT), serta laju aliran udara.

1. Komposisi Udara

Udara atmosfer merupakan campuran tiga material penting yaitu udara kering (dry air), uap air (water vapour) dan polutan seperti asap rokok, debu dan gas-gas berbahaya lainnya. Setiap material yang terkandung di dalam udara atmosfer mempunyai kontribusi langsung terhadap permasalahan proses pengkondisian udara.

Udara kering merupakan campuran dari beberapa gas. Yang paling penting adalah gas oksigen dan gas nitrogen. Selebihnya berupa gas karbondioksida dan gas-gas ringan lain, yaitu argon, neon, helium dan krypton. Carbon monoksida dapat muncul ke atmosfer bila terjadi pembakaran karbon yang tidak sempurna, misalnya dari tungku atau dapur api dan motor bakar. Kandungan

gas ini di udara sebesar 1% saja sudah dapat berakibat fatal bagi kehidupan manusia.

Komposisi campuran udara kering tersebut dapat dinyatakan menurut beratnya, seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1. Komposisi Udara Kering

Gas	Prosentase
Nitrogen	77 %
Oksigen	22 %
Karbon-dioksida	0,04 %
Gas lain	0,96 %

Sumber : <http://www.chem-is-try.org/>

Dalam sistem tata udara, semua faktor yang berkaitan dengan komposisi udara menjadi pertimbangan utama. Debu, kotoran, asap rokok, dan bau tak sedap harus dapat dieliminasi atau dikurangi hingga mencapai titik aman dan nyaman bagi manusia. Pengontrolan jumlah kandungan uap air atau tingkat kelembaban udara ruang, merupakan satu hal yang sangat penting karena hal tersebut langsung berkaitan dengan kenyamanan atau dalam proses produksi di industri.

Udara yang terlalu kering, akan berakibat langsung pada dehidrasi, yaitu hilangnya sebagian besar cairan tubuh manusia, maka kulit akan menjadi kering dan bersisik. Disamping itu, juga dapat merusak material lain seperti sayuran dan buah-buahan. Sedangkan udara yang terlalu basah, akan menyebabkan kurang nyaman, tidak bagus untuk kesehatan. Pada industri manufaktur tertentu, diperlukan ruang yang sangat bersih, bebas polutan dengan mengontrol suhu, kelembaban dan polutan udara. Aktivitas ini disebut sebagai ruang bersih atau clean room.

2. Kandungan Uap Air Maksimum

Kandungan uap air yang dapat bercampur dengan udara kering yaitu tergantung pada suhu udara. Karena jumlah uap air di udara menentukan tekanan parsial. Pada uap air, udara yang mengandung uap air maksimum akan menerima tekanan parsial maksimum. Karena tekanan parsial maksimum yang dapat diterima oleh uap air merupakan tekanan saturasi yang berhubungan langsung dengan suhu saturasi, maka udara akan mengandung uap air maksimum (mempunyai berat jenis uap air maksimum) saat tekanan yang diterima uap air sama dengan tekanan saturasi pada suhu udara tersebut. Pada kondisi ini, suhu udara dan suhu bola kering menjadi sama dan udara dikatakan menjadi saturasi. Sebagai catatan semakin tinggi suhu udara, semakin tinggi pula tekanan parsial maksimum dan semakin tinggi pula kandungan uap air di udara.

3. Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif (RH) dinyatakan dalam persen (%), merupakan perbandingan antara tekanan parsial aktual yang diterima uap air dalam suatu volume udara tertentu (tekanan uap moist) dengan tekanan parsial yang diterima uap air pada kondisi saturasi pada suhu udara saat itu (P_{sat}). Dapat dirumuskan dengan persamaan (Stoecker,1994) :

$$RH = \frac{P_v}{P_{sat}}$$

Seringkali RH sebagai suatu perbandingan yang dinyatakan dalam persen (%) antara berat jenis uap air aktual dengan berat jenis uap air pada keadaan saturasi.

4. Kelembaban Spesifik

Kelembaban spesifik atau ratio kelembaban (w), dinyatakan dalam besaran massa uap air yang terkandung di udara per satuan massa udara kering yang diukur dalam gram per kilogram dari udara kering (gr/kg) atau (kg/kg). Pada tekanan barometer tertentu, kelembaban spesifik merupakan fungsi dari suhu titik embun. Tetapi karena penurunan tekanan barometer menyebabkan volume per satuan massa udara naik, maka kenaikan tekanan barometer akan menyebabkan kelembaban spesifik menjadi turun. Hal ini dinyatakan dengan persamaan (Stoecker,1994) :

$$W = 0,622 \frac{P_v}{P_t - P_v}$$

5. Kalor

Kalor adalah energi yang diterima suatu benda sehingga dapat menyebabkan suhu atau wujud benda berubah. Kalor merupakan suatu bentuk energi yang dapat dipindahkan, tetapi tidak dapat dihilangkan. British Thermal Unit (BTU) adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk memanaskan atau mendinginkan 1 pound air sampai suhunya naik atau turun 1° F dinamakan 1 BTU.

$$1 \text{ BTU} = 0,252 \text{ K Cal} = 1,055 \text{ K J} = 1055 \text{ Joule}$$

2.2 Daur Kompresi Uap

Mesin refrigerasi dengan kompresi uap merupakan sistem yang paling banyak digunakan dalam daur refrigerasi. Prinsip dasar uap ini adalah uap ditekan kemudian diembunkan setelah itu tekanannya diturunkan agar cairan itu menguap

kembali karena menyerap panas pada lingkungan. Dalam sistem kompresi diperlukan 4 komponen yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Fungsi dari masing-masing alat tersebut adalah sebagai berikut:

Sistem refrigerasi kompresi uap terdiri dari empat komponen utama yaitu :

a) Kompresor

Kompresor menghisap uap refrigerant untuk dinaikan tekanannya, dengan naiknya tekanan maka temperatur refrigerant juga naik. Sehingga setelah keluar dari kompresor, refrigerant tadi berbentuk uap panas lanjut. Energi yang diperlukan untuk kompresi diberikan oleh motor listrik untuk menggerakkan kompresor. Jadi dalam proses kompresi, energi diberikan kepada uap refrigerant.

b) Kondensor

Uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dengan mudah dicairkan dengan menggunakan fluida pendingin seperti udara atau air. Dengan kata lain, uap refrigerant melepaskan kalor laten pengembunan kepada fluida pendingin ,sehingga refrigerant tadi mengembun dan menjadi cair. Pada siklus ideal tidak terjadi penurunan tekanan dan temperatur dikondensor. Sedangkan pada siklus aktual terjadi penurunan tekanan yang diikuti penurunan temperatur yang terjadi karena gesekan antara refrigerant dengan pipa kondensor.

c) Katup Ekspansi (pipa kapiler)

Setelah uap refrigerant dicairkan di dalam kondensor, kemudian refrigerant cair yang bertekanan tinggi tersebut diekspansikan melalui pipa kapiler

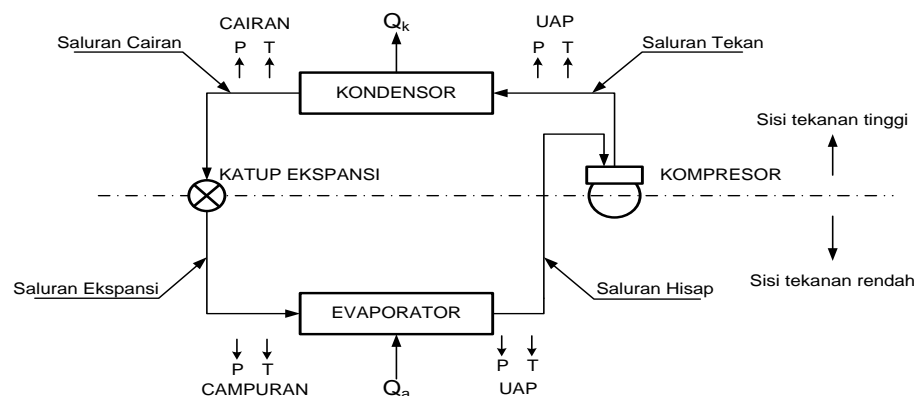
(katup ekspansi). Pada saat melewati pipa kapiler tekanan refrigeran mulai turun dan diikuti dengan turunnya temperatur refrigeran secara drastis.

d) Evaporator

Cairan refrigerant yang telah diekspansikan di dalam katup ekspansi (pipa kapiler) maka tekanannya menjadi turun serta temperaturnya kemudian masuk ke dalam pipa evaporator. Di dalam pipa evaporator, cairan refrigerant menguap secara berangsur-angsur karena menerima kalor laten penguapan dari ruangan yang didinginkan. Selama proses penguapan, didalam pipa akan terjadi campuran refrigerant-refrigerant dalam fasa cair dan fasa uap. Pada siklus ideal, temperatur dan tekanan di dalam pipa dianggap konstan. Tetapi pada kondisi aktualnya terjadi penurunan tekanan dan temperatur yang diakibatkan karena adanya kerugian gesek antara refrigerant dan pipa-pipa evaporator.

2.2.1 Daur Kompresi Uap Standar

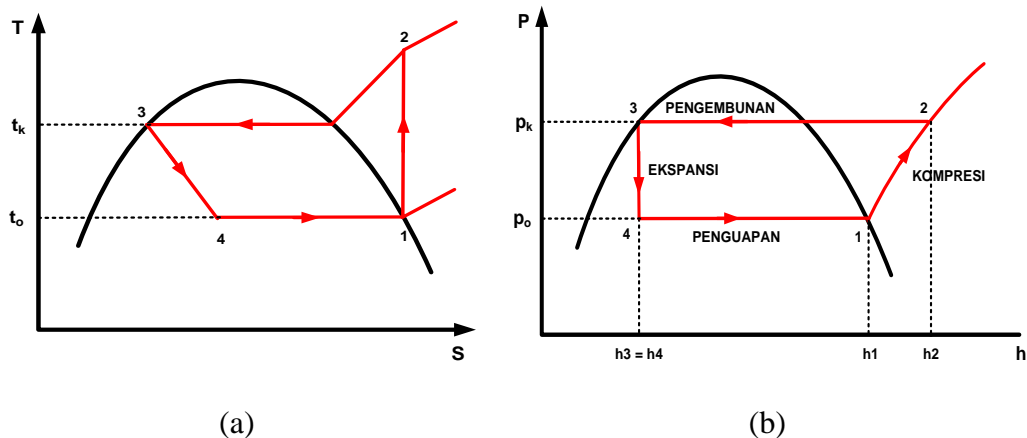
Daur kompresi uap standar dapat dilihat pada diagram suhu-entropi dalam gambar 2.2. Dan gambar 2.1 berikut merupakan diagram alir refrigerant yang terjadi pada daur kompresi uap standar :



Gambar 2.1 Sistem kompresi uap standar

Keterangan :

- 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 refrigerant.
- 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 2.2 Diagram T-S (a) dan Diagram P-H (b)

Prestasi Daur Kompresi Uap Standar

Dengan bantuan diagram entalpi-tekanan, besaran yang penting dalam daur kompresi uap dapat diketahui. Besaran-besaran ini adalah kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, dampak refrigerasi, koefisien prestasi (COP), laju alir massa untuk setiap kilowatt refrigerasi, dan daya per kilowatt refrigerasi.

Kerja kompresi Kj/Kg (kilojoule per kilogram) merupakan perubahan entalpi pada proses 1-2 dalam gambar 2.2 (b) atau $h_1 - h_2$. Hubungan ini diturunkan dari persamaan aliran energi yang tepat (steady flow energy). Dapat dirumuskan dengan persamaan (Stoecker, 1994) :

$$h_1 - q = h_2 + w$$

dengan perubahan energi kinetik dan potensial diabaikan, maka dalam kompresi diabatik pada perpindahan kalor q nilainya, kerja w sama dengan $h_1 - h_2$. Perbedaan entalpi merupakan besaran negatif, yang menunjukkan bahwa kerja diberikan pada sistem.

Dampak refrigerasi dalam Kj/Kg (kilojoule per-kilogram) adalah kalor yang dipindahkan pada proses 4-1 atau $h_4 - h_1$. Besarnya bagian ini sangat penting diketahui karena proses ini merupakan tujuan utama dari seluruh sistem.

Koefisien prestasi dari daur kompresi uap standar adalah dampak refrigerasi dibagi dengan kerja kompresi (Stoecker, 1994) :

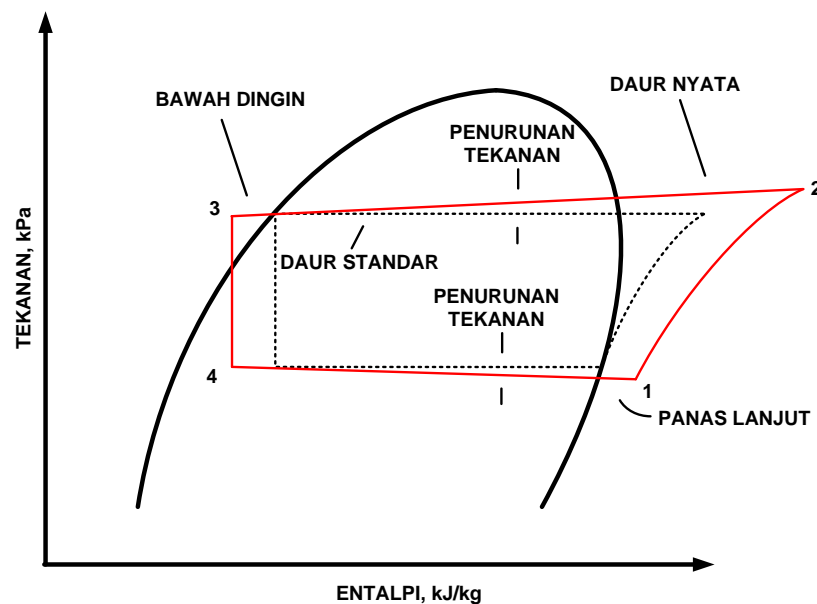
$$\text{Koefisien Prestasi} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_4}$$

Daya untuk setiap Kw (kilowatt) refrigerasi merupakan kebalikan dari koefisien prestasi dengan suatu sistem refrigerasi yang efisien akan memiliki nilai daya per-kilowatt refrigerasi yang rendah, tetapi mempunyai koefisien prestasi yang tinggi.

2.2.2 Daur Kompresi Uap Nyata

Daur kompresi uap nyata mengalami pengurangan efisien dibandingkan dengan daur standar. Ada juga perubahan lain dari daur standar yang mungkin cukup berarti atau tidak dapat diabaikan. Perbandingan dapat dicari dengan menempelkan diagram daur nyata pada diagram tekanan-entalpi daur standar.

Perbedaan antara daur nyata dengan daur nyata standar terletak pada penurunan tekanan di dalam kondensor dan evaporator. Dalam pendinginan (*subcooling*) cairan yang meninggalkan kondensor dalam pemanasan lanjut uap yang meninggalkan evaporator. Tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresi pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standart.



Gambar 2.3 Daur kompresi uap nyata dibanding dengan daur uap standart

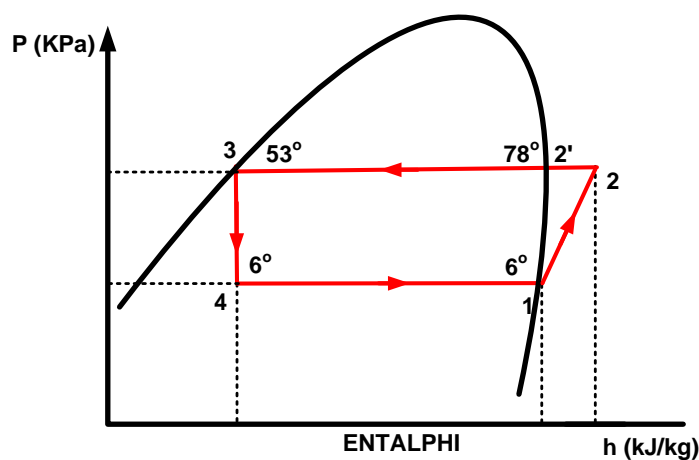
2.3 Termodinamika dan Proses Kompresi Uap

Komponen utama dari sistem pengkondisian udara adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi, evaporator dan receive-driver. Minimal dengan empat komponen alat ini suatu sistem pengkondisian udara bisa dapat beroperasi.

Sistem pendinginan menggunakan aliran zat yang berupa cairan atau uap yang berubah-ubah keadaannya saat menjalani siklus. Hal ini disebabkan oleh tekanan, suhu, entalpi dan entropi adalah sifat penentu selama perubahan. Maka hubungan antara sifat-sifat ini dapat digambarkan dengan diagram (P-h), seperti terlihat pada gambar 2.4

2.3.1 Dampak Refrigerasi

Jumlah kalor yang diserap oleh evaporator per satuan massa pada saat terjadi penguapan disebut dampak refrigerasi, pada perancangan ini menggunakan R-22. Dari hasil pengukuran pada mesin AC, keadaan tersebut dapat digambarkan pada diagram P-h.



Gambar 2.4 Diagram P-h

Besarnya dapat dihitung menggunakan persamaan (Stoecker,1994) :

$$qe = h_1 - h_4$$

dengan : h_1 = entalpi pada awal proses kompresi, kJ/kg

h_4 = entalpi pada awal proses penguapan, kJ/kg

2.3.2 Daya Spesifik dan Daya Total Kompresor

Kerja spesifik adalah kerja yang setara dengan perubahan entalpi selama proses kompresi dan dirumuskan sebagai berikut (Stoecker,1994) :

$$W = h_1 - h_2(2.6)$$

Dengan : w = kerja spesifik kompresor kJ/kg

h_1 = entalpi pada awal proses kompresi, kJ/kg

h_2 = entalpi pada akhir proses kompresi, kJ/kg

Kebutuhan daya total kompresor adalah laju aliran massa kerja spesifik kompresor selama proses kompresi isentropik (Stoecker,1994) :

$$W = m(h_1 - h_2)$$

Dengan : W = daya total, W

2.3.3 Laju Aliran Massa

➤ Pada sisi refrigerant

Laju aliran massa ini menggambarkan besarnya massa tiap satuan waktu (Stoecker,1994) :

$$m = \frac{Qe}{qe}$$

Dengan : Q_e = beban pendinginan, W

q_e = efek refrigerasi, kJ/kg

m = laju aliran massa kg/s

➤ Pada sisi udara

$$m_{ud} = v \cdot A \cdot \rho$$

Dengan : v = kecepatan udara, m/s

A = Luas permukaan, m²

ρ = massa jenis udara , kg/m³

2.3.4 Panas Buang Kondensor

Panas refrigerant yang dibuang kondensor disebut panas buang kondensor, besarnya adalah (Stoecker,1994) :

$$q_k = h_2 - h_3$$

Dengan : q_k = panas buang kondensor, kJ/kg

h_2 = entalpi pada awal desuperheating, kJ/kg

h_3 = entalpi pada akhir kondensasi, kJ/kg

2.3.5 Kalor Buang Total Kondensor

Kalor buang total kondensor adalah kalor yang dibuang kondensor dikalikan dengan laju aliran massa refrigerant. Besarnya adalah (Stoecker,1994) :

$$Q_k = m \cdot q_k$$

Dengan : Q_k = kalor buang total kondensor, W

2.3.6 Coefficient Of Performance

COP dipergunakan untuk menyatakan performa (unjuk kerja) dari siklus refrigerasi. Semakin tinggi COP yang dimiliki oleh suatu mesin refrigerasi maka akan semakin baik mesin refrigerasi tersebut. COP tidak mempunyai satuan karena merupakan perbandingan antara dampak refrigerasi dengan kerja spesifik kompresor (Stoecker,1994) :

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

Dengan : COP = prestasi kerja mesin refrigerasi

h_1 = entalpi masuk kompresor, kJ/kg

h_2 = entalpi keluar kompresor, kJ/kg

h_4 = entalpi masuk evaporator, kJ/kg

2.3.7 Perpindahan Kalor

Perpindahan panas adalah proses pertukaran energi dari suatu benda ke benda lain yang mempunyai perbedaan temperatur. Perpindahan panas dapat dibedakan dalam perpindahan panas dengan cara konduksi, konveksi, radiasi. Perpindahan panas yang terjadi secara umum pada sistem tata udara ini terdiri dari perpindahan panas pada sisi refrigerant dan perpindahan panas pada sisi udara serta perhitungan panas menyeluruh pada sistem.

- **Perpindahan Kalor Sisi Refrigerant**

Perpindahan panas sisi refrigerant merupakan perpindahan panas yang terjadi pada cairan di dalam pipa (refrigerant). Persamaan untuk koefisien perpindahan kalor (konveksi paksa) bagi fluida yang mengalir di dalam pipa-pipa dengan aliran turbulen adalah sebagai berikut (Stoecker,1994) :

$$Nu = C Re^n Pr^m$$

Dengan m dan n adalah pangkat. Tetapan C dan pangkat-pangkat dalam persamaan tersebut adalah (Stoecker,1994) :

$$\frac{hD}{k} = 0,023 \left(\frac{VD\rho}{\mu} \right)^{0,8} \left(\frac{C_p\mu}{k} \right)^{0,4}$$

Dengan : h = koefisien konveksi, $W/m^2.K$

D = diameter dalam pipa, m

k = daya hantar termal fluida, $W/m.K$

V = kecepatan rata-rata fluida, m/det

ρ = rapat massa fluida, kg/m^3

μ = viskositas fluida, Pa.det

C_p = kalor spesifik fluida, $J/Kg.K$

Persamaan diatas berlaku untuk aliran turbulen, yang umumnya terjadi dengan kecepatan dan sifat-sifat fluida didalam evaporator dan kondensor komersial.

- **Perpindahan Kalor Sisi Udara**

Perkiraan yang tepat dari koefisien perpindahan kalor sisi udara pada aliran udara disekeliling pipa bersirip sulit dilakukan, karena nilainya merupakan fungsi dari faktor geometrik, misalaya lebar sirip, jarak, diameter pipa-pipa, dan jumlah

jajaran (rows) tabung. Biasanya koefisien tersebut bervariasi sekitar akar dari kecepatan. Perkiraan kasar untuk koefisien sisi udara h_f dapat dihitung dari persamaan yang didapat dari data ilustratif didalam standard ARI (Stoecker, 1994)

$$h_f = 38\sqrt{V}nb$$

Dengan V adalah kecepatan udara (permukaan).

- **Koefisien Perpindahan Kalor Total**

Koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah penjumlahan semua tahanan termal bahan antara udara atau fluida lainnya pada dua sisi permukaan (Stoecker, 1994).

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

dengan, U = koefisien perpindahan panas menyeluruh, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A = luas permukaan perpindahan kalor, m^2

Δt = Perbedaan temperatur, $^\circ C$

Koefisien perpindahan kalor total berdasarkan pada permukaan dalam dan permukaan luar, dihitung menggunakan persamaan berikut (Stoecker, 1994) :

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x}{k} \left(\frac{A_o}{A_m} \right) + \frac{1}{h_i} \left(\frac{A_o}{A_i} \right)}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} \left(\frac{A_i}{A_m} \right) + \frac{1}{h_o} \left(\frac{A_i}{A_o} \right)}$$

Dengan : U_o = perpindahan kalor total berdasarkan permukaan luar, $W/m^2 \cdot K$

U_i = perpindahan kalor total berdasarkan permukaan dalam. $W/m^2 \cdot K$

h_o = koefisien perpindahan kalor diluar pipa, $W/m^2.K$

h_i = koefisien perpindahan kalor dalam pipa, $W/m^2.K$

x = ketebalan pipa, m

k = daya hantar logam pipa, $W/m.K$

A_o = luas permukaan luar pipa, m^2

A_m = luas permukaan rata-rata sekeliling pipa, m^2

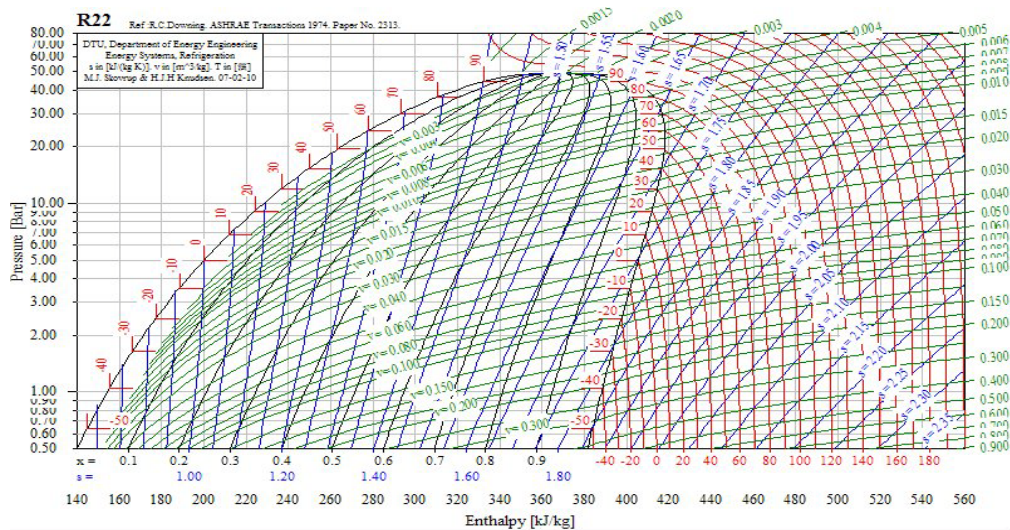
A_i = luas permukaan dalam pipa, m^2

2.4 Komponen-komponen Utama

2.4.1 Refrigerant

Refrigerant adalah fluida kerja yang dipakai pada mesin refrigerasi yang dapat menyerap panas melalui penguapan. Sebagai media perpindahan panas dalam sistem pendinginan, refrigerant sangat penting untuk diperhatikan sifat-sifatnya, selain itu refrigerant juga perlu dipertimbangkan segi ekonomisnya untuk pendinginan yang berkapasitas besar. Dalam pemakaiannya refrigerant dibedakan menjadi refrigerant primer dan refrigerant sekunder.

Refrigerant primer adalah refrigerant yang dipakai dalam sistem kompresi uap. Refrigerant sekunder adalah cairan yang digunakan untuk mengangkut energi kalor suhu rendah dari suatu tempat ke tempat lain. Pemilihan refrigerant hendaknya dapat dipilih jenis refrigerant yang sesuai dengan jenis kompresor dan pemilihan refrigerant harus memperhatikan syarat-syarat termodinamika, kimiawi, fisika.



Gambar 2.5 Diagram P-H Refrigeran R-22

Pada perancangan ini penulis memilih menggunakan R-22 hal ini disesuaikan dengan kondisi eksisting yang menggunakan R-22 sebagai refrigerant. Persyaratan refrigerant untuk unit refrigerasi adalah sebagai berikut :

- **Syarat-syarat Refrigerant**

Syarat Termodinamika

1) Titik didih

Titik didih refrigerant merupakan indikator yang menyatakan tentang refrigerant yang dipakai dapat menguap pada temperatur rendah yang diinginkan, tetapi pada tekanan yang tidak terlalu rendah.

2) Tekanan pengembunan yang tidak terlampau tinggi

Dengan tekanan pengembunan yang rendah maka perbandingan kompresinya lebih rendah sehingga penurunan performa mesin dapat dihindarkan. Selain itu dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin

dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya ledakan, kebocoran rendah.

3) Tekanan penguapan harus cukup tinggi

Sebaiknya refrigerant memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer karena kerusakan dan sebagainya, akan menjadi lebih kecil.

4) Kalor laten penguapan

Panas laten (panas penguapan) refrigerant yang tinggi sangat dikehendaki, sebab akan menghasilkan "*refrigerating effect*" yang besar. Aliran refrigerant yang disirkulasikan akan lebih rendah bila *refrigerating effect* tinggi dan akan lebih ekonomis.

5) Titik beku

Refrigerant yang dipakai sedemikian rupa sehingga titik beku fluida ini jauh berada di bawah temperatur kerja evaporator. Jika titik beku refrigerant ini ternyata lebih dekat dengan temperatur kerja evaporator, maka waktu pendinginan akan berlangsung lebih lama dari semestinya.

Syarat Kimia Refrigerant

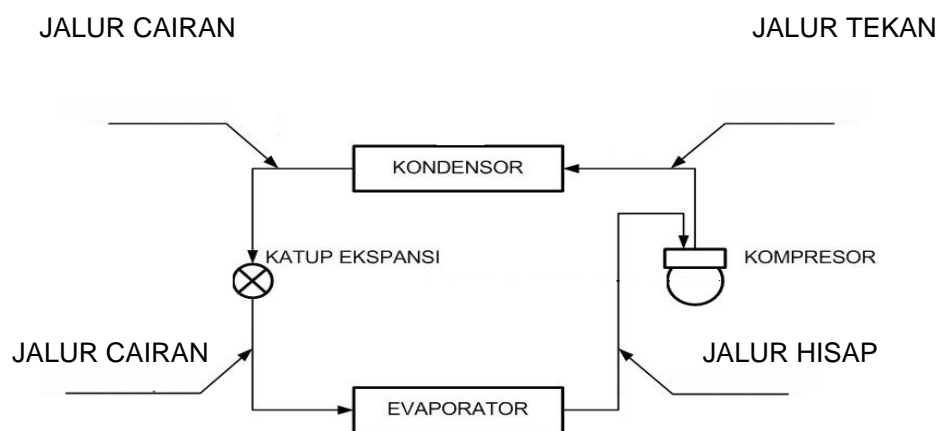
1. Tidak mudah terbakar dan mudah meledak
2. Tidak boleh beracun dan berbau merangsang.
3. Tidak menyebabkan terjadinya korosi.
4. Stabil dan bereaksi dengan material yang dipakai.
5. Tidak mengganggu lingkungan.

Syarat Fisik Refrigerant

1. Konduktivitas termal yang tinggi akan menyebabkan terjadinya efek perpindahan panas yang baik.
2. Viskositas yang rendah akan memberikan kerugian tekanan.
3. Mempunyai sifat insulator yang baik.

- **Pipa Refrigerant**

Pipa refrigerant menghubungkan komponen yang satu dengan komponen yang lain dalam mesin refrigerasi. Ada tiga bagian utama dalam sistem perpipaan refrigerasi dasar. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini, ada perpipaan untuk jalur tekan, jalur cairan dan jalur hisap.



Gambar 2.6 Perpipaan pada sistem refrigerasi

➤ Jalur cair

Jalur ini terletak antara kondensor dan evaporator. Pipa ini mengalirkan cairan yang lebih tinggi massanya dibandingkan uap pada bagian lain, maka diameternya akan lebih kecil. Pada jalur ini terjadi penurunan tekanan karena adanya katup ekspansi

Pipa refrigerant juga dipakai pada evaporator dan kondensor.

- Untuk refrigerant *fluorocarbon* menggunakan pipa tembaga pipa tanpa sambungan (*seamless*). Ukuran biasa memakai OD (*outside diameter*).
- Untuk amonia memakai pipa besi. Ukuran memakai IPS (*iron pipe size*).

➤ Jalur hisap

Jalur ini terletak antara evaporator dan kompresor. Jalur hisap ini cukup kritis dalam desain dan konstruksi karena berpengaruh pada penurunan tekanan saat masuk kompresor.

➤ Jalur tekan

Jalur ini terletak antara kompresor dan kondensor. Pada jalur ini harus dicegah aliran balik dari kondensor ke kompresor.

2.4.2 Evaporator

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta bertugas menguapkan refrigerant dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Panas udara sekeliling dihisap oleh kipas yang terdapat pada evaporator kemudian udara tersebut bersentuhan dengan pipa/*coil* evaporator yang didalamnya terdapat gas pendingin (refrigerant) kemudian udara tersebut kembali dialirkan keluar evaporator, sehingga suhu udara disekeliling evaporator turun.(Stoecker, 1996).

- **Penggolongan Evaporator**

Ada beberapa macam evaporator, sesuai dengan tujuan penggunaannya dan bentuknya dapat berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena media yang hendak didinginkan dapat berupa gas, cairan atau padat. Maka evaporator dapat dibagi menjadi beberapa golongan, sesuai dengan refrigeran yang ada di dalamnya, yaitu : jenis ekspansi kering, jenis setengah basah, jenis basah, dan sistem pompa cairan.

- 1) Jenis ekspansi kering

Dalam jenis ekspansi kering, cairan refrigerant yang diekspansikan melalui katup ekspansi pada waktu masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap air.

- 2) Evaporator jenis setengah basah

Evaporator jenis setengah basah adalah evaporator dengan kondisi refrigerant diantara evaporator jenis ekspansi kering dan evaporator jenis basah. Dalam evaporator jenis ini, selalu terdapat refrigerant cair dalam pipa penguapnya.

- 3) Evaporator jenis basah

Dalam evaporator jenis basah, sebagian besar dari evaporator terisi oleh cairan refrigerant.

- **Perpindahan Kalor di dalam Evaporator**

Koefisien perpindahan kalor

Perpindahan panas yang terjadi pada evaporator adalah konveksi paksa yang terjadi di dalam dan di luar tube serta konduksi pada tubenya. Perpindahan panas total yang terjadi merupakan kombinasi dari ketiganya. Harga koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung koefisien perpindahan kalor pada sisi refrigerant dan sisi udara yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya koefisien perpindahan panas total dihitung berdasarkan luas permukaan dalam pipa dan berdasarkan luas permukaan luar pipa.

Kapasitas pendinginan dari evaporator

Jumlah kalor yang diserap oleh refrigerant dari benda atau fluida yang hendak didinginkan, dapat dituliskan sebagai berikut (Stoecker,1994) :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t_m$$

Sehingga,

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta t_m}$$

Dengan : U = koefisien perpindahan panas menyeluruh $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Q = Jumlah kalor yang diserap oleh refrigerant dalam evaporator, W

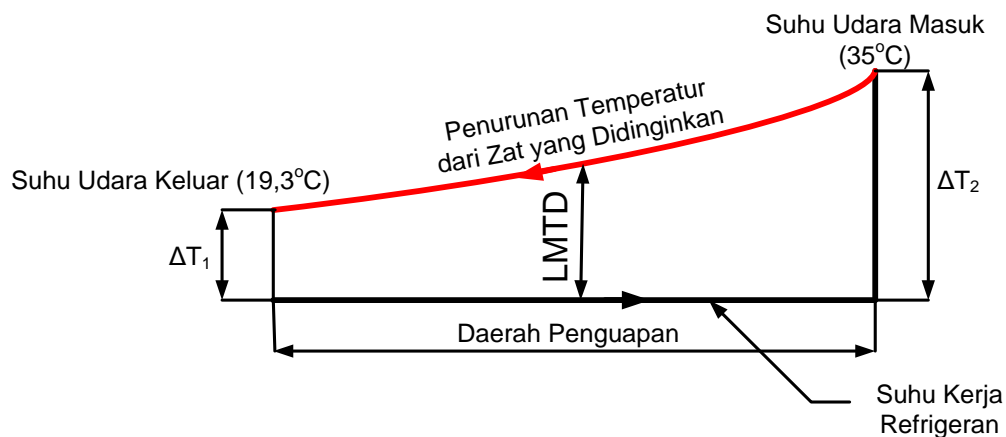
Δt_m = perbedaan temperatur rata-rata, $^\circ C$

- **Perbedaan Temperatur Rata-Rata Log (LMTD)**

Didalam evaporator, banyaknya perpindahan kalor dihitung berdasarkan perbedaan temperatur logaritmik. Hal tersebut dilukiskan pada gambar di bawah.

Makin besar perbedaan temperatur rata-rata, makin kecil ukuran penukar kalor (luas bidang perpindahan kalor) yang bersangkutan.

Namun, dalam hal tersebut jadi temperatur penguapannya menjadi lebih rendah, sehingga kemampuan kompresor akan berkurang dan kerugian biaya operasinya makin besar.



Gambar 2.7 Selisih temperatur rata-rata evaporator

Beda suhu rata-rata dapat dicari dengan persamaan

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)}$$

Atau dengan kata-kata, ialah beda suhu pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung yang satunya lagi dibagi logaritma alamiah dari pada perbandingan kedua suhu tersebut (Holman,1996).

2.4.3 Kondensor

Kondensor merupakan bagian dari mesin pendingin yang berfungsi untuk membuang panas dari uap refrigerant. Proses pembuangan panas dari kondensor terjadi karena adanya penurunan refrigerant dari kondisi uap lewat jenuh menuju ke uap jenuh, kemudian terjadi proses perubahan fasa refrigerant yaitu dari fasa uap menjadi fasa cair. Untuk mencairkan uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, diperlukan usaha melepaskan panas sebanyak panas laten pengembunan dengan cara mendinginkan uap refrigerant pada media pendingin. Jumlah panas yang dilepas di dalam kondensor sama dengan jumlah panas yang diserap refrigerant di dalam evaporator dan panas ekivalen dengan energi yang diperlukan untuk melakukan kerja kompresi.

- **Penggolongan Kondensor**

- Kondensor Tabung dan Pipa Horisontal

Kondensor tabung dan pipa banyak digunakan pada unit kondensor berukuran kecil sampai besar, unit pendingin air dan penyegar udara sangat baik untuk amonia maupun untuk freon.

Seperti pada gambar 2.8 di dalam kondensor tabung dan pipa terdapat banyak pipa pendingin, dimana air pendingin mengalir dalam pipa tersebut. Ujung dan pangkal pipa tersebut terkait dengan plat pipa, sedangkan diantara plat pipa dan tutup tabung dipasang sekat-sekat, untuk membagi aliran yang melewati pipa-pipa tersebut tetapi juga untuk mengatur agar kecepatannya cukup tinggi antara 1 sampai 2 m/detik (Aris munandar, 1981).



Gambar 2.8 Kondensor tabung dan pipa bersirip horisontal

Keterangan :

1. Lubang Air Pendingin Masuk dan Keluar
2. Pelat Pipa
3. Pelat Distribusi
4. Pipa Bersirip
5. Pengukur Muka Cairan
6. Lubang Refrigerant Masuk
7. Lubang Refrigerant Keluar
8. Penyumbat
9. Tabung

Air pendingin masuk kondensor dari bagian bawah, kemudian masuk ke dalam pipa pendingin dan keluar pada bagian atas. Jumlah saluran air yang terbentuk oleh sekat-sekat itu disebut jumlah saluran. Saluran maksimum yang dipakai berjumlah 12. Tahanan aliaran air pendingin dalam pipa bertambah besar dengan banyaknya jumlah saluran.

Ciri-ciri kondensor tabung dan pipa adalah sebagai berikut:

1. Pipa air dapat dibuat dengan lebih mudah.
2. Bentuknya sederhana (horisontal) dan mudah pemasangannya.
3. Pipa pendingin mudah dibersihkan.
4. Dapat dibuat dengan pipa pendingin bersirip, sehingga relatif berukuran lebih kecil dan ringan.

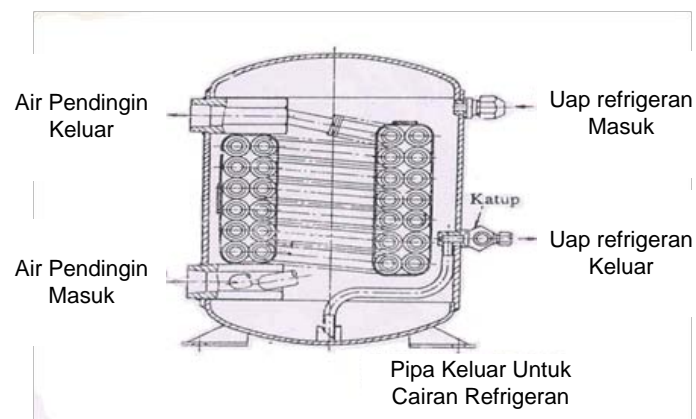
Kondensor Tabung dan Koil

Kondensor tabung dan koil banyak digunakan pada unit dengan freon sebagai refrigerant berkapasitas relatif kecil, misalnya pada penyegar udara jenis paket, pendingin air dan sebagainya. Pada gambar 2.9, digambarkan kondensor tabung dan koil dengan koil pipa pendingin didalam tabung yang dipasang pada posisi vertikal, koil pipa pendingin tersebut biasanya terbuat dari tembaga, tanpa sirip atau dengan sirip, pipa tersebut mudah dibuat dan murah harganya.

Pada kondensor tabung dan koil, air mengalir di dalam pipa pendingin. Endapan dan kerak yang terbentuk di dalam pipa harus dibersihkan dengan menggunakan zat kimia (deterjen).

Ciri-ciri kondensor tabung dan koil adalah sebagai berikut :

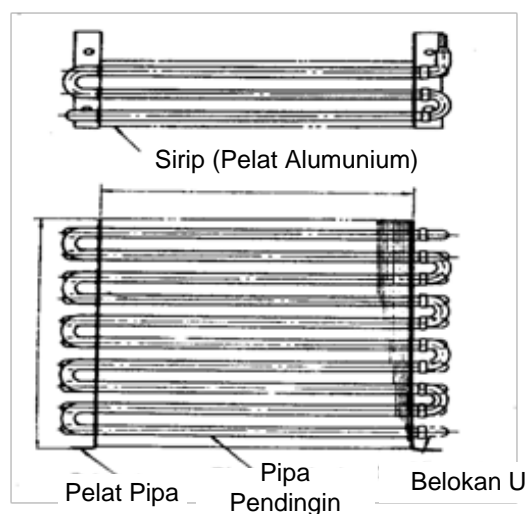
1. Harganya murah karena mudah pembuatannya.
2. Kompak karena posisi yang vertikal dan pemasangannya yang mudah.
3. Tidak mungkin diganti dengan pipa pendingin, sedangkan pembersihannya harus dihilangkan dengan deterjen.



Gambar 2.9 Kondensor tabung dan koil

Kondensor Dengan Pendingin Udara

Kondensor pendingin udara terdiri dari koil pipa pendingin bersirip pelat (pipa tembaga dan sirip aluminium atau pipa tembaga dengan sirip tembaga). Udara mengalir dengan arah yang tegak lurus pada bidang pendingin. Gas refrigerant yang bertemperatur tinggi masuk ke bagian atas dari koil dan secara berangsur-angsur mencair kedalam aliran bagian bawah koil.



Gambar 2.10 Kondensor dengan pendingin udara

Ciri-ciri kondensor pendingin udara adalah sebagai berikut:

1. Tidak memerlukan pipa air pendingin, pompa air dan penampung air, karena tidak menggunakan air.
2. Dapat dipasang dimana saja asal terdapat udara bebas.
3. Tidak mudah terjadi korosi karena permukaan koil kering.
4. Memerlukan pipa refrigerant bertekanan tinggi yang panjang karena kondensor biasanya diletakan diluar rumah.

5. Pada musim dingin, tekanan pengembunan perlu dikontrol untuk mengatasi gangguan yang dapat terjadi karena turunnya tekanan pengembunan yang terlalu besar, yang disebabkan oleh temperatur udara atmosfer yang rendah.

- **Perhitungan Panas pada Kondensor**

Secara umum prinsip perhitungan panas pada kondensor sama dengan perhitungan panas pada evaporator. Hanya saja terdapat perbedaan dalam perhitungan bilangan reynold, yaitu menggunakan perhitungan bilangan reynold pada fasa campuran, dengan menggunakan persamaan empiris yang diberikan Arkers, Deans, dan Crosser. Bilangan reynold dinyatakan dalam persamaan berikut (Holman,1997) :

$$Re_m = \frac{D_i}{\mu_f} \left[G_f + G_v \left(\frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0,5} \right]$$

Dengan D_i = diameter dalam pipa,m

G_f = kecepatan fluida, m/s

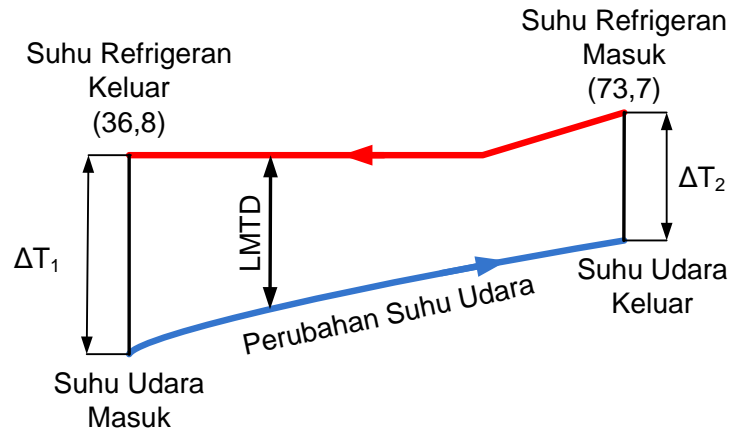
G_v = kecepatan uap,m/s

μ_f = viskositas fluida, pa.det

ρ_f dan ρ_g merupakan rapat massa fluida dan uap, kg/m³

- **Perbedaan Temperatur Rata-Rata (LMTD)**

Di dalam kondensor, banyaknya perpindahan kalor dihitung berdasarkan perbedaan temperatur logaritmik. Hal tersebut dilukiskan pada gambar 2.11 di bawah ini. Makin besar perbedaan temperatur rata-rata, makin kecil ukuran penukar kalor (luas bidang perpindahan kalor) yang bersangkutan.



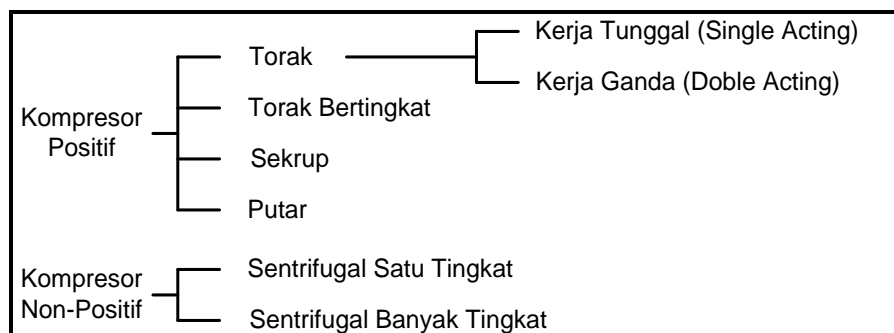
Gambar 2.11 Selisih rata-rata temperatur kondensor

2.4.4 Kompresor

Kompresor dibagi dua jenis utama yaitu, kompresor positif dimana gas dihisap masuk kedalam silinder dan dikompresikan dan jenis kompresor non positif dimana gas yang dihisap masuk dipercepat alirannya oleh impeller sehingga mengubah energi refrigerant menjadi energi tekanan. Secara umum kompresor digolongkan dalam beberapa jenis berdasarkan metode kompresinya, diantaranya akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

- **Penggolongan Kompresor**

- 1) Penggolongan berdasarkan metode kompresi



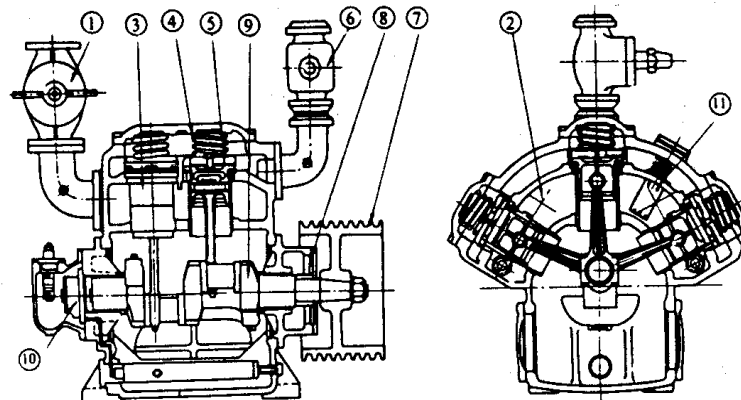
Gambar 2.12 Penggolongan kompresor berdasarkan metode kompresi

- 2) Menurut bentuk
 - Kompresor horisontal
 - Kompresor vertikal
 - Silinder banyak (jenis V, jenis W, jenis V-V)
- 3) Menurut kecepatan
 - Kecepatan tinggi
 - Kecepatan rendah
- 4) Menurut refrigerant
 - Kompresor amonia
 - Kompresor freon
 - Kompresor CO₂
- 5) Menurut konstruksi
 - Jenis terbuka
 - Jenis semi hermatik (semi kedap)
 - Jenis hermatik

- **Kompresor yang Sering Digunakan**

1. Kompresor Torak Kecepatan Tinggi Bersilinder Banyak

Kecepatan yang tinggi digunakan apabila kapasitas lebih besar. Tetapi kecepatan yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya getaran besar yang diakibatkan oleh gerakan bolak-balik dari torak. Kecepatan putar kompresor berkisar 900-1800 rpm. Dan daya penggerak kompresor berkisar 3,7 sampai 200 Kw (Arismunandar, 2002)



Gambar 2.13 Konstruksi kompresor torak (silinder ganda) kecepatan tinggi

Keterangan :

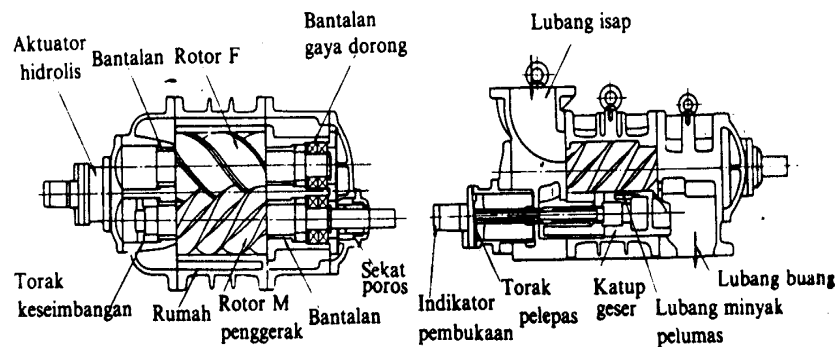
1. Katup penutup pada pipa hisap
2. Saringan hisap
3. Silinder
4. Pegas keamanan
5. Torak
6. Katup penutup pada pipa buang
7. Puli alur V
8. Sekat poros
9. Poros engkol
10. Pompa minyak
11. Katup pengaman

2. Kompresor Putar

Dibandingkan dengan kompresor torak, konstruksi kompresor berputar lebih sederhana dan komponen-komponennya lebih sedikit. Di samping ini, untuk kapasitas kompresor yang lebih besar, pembuatannya lebih mudah dan getarannya lebih kecil. Hal ini disebabkan karena pada kompresor putar tidak terdapat bagian yang bergerak bolak-balik.

3. Kompresor Sekrup

Kompresor sekrup mempunyai dua rotor yang berpasangan. Kompresor sekrup mempunyai beberapa keuntungan yaitu bagian yang bergesekan lebih sedikit, perbandingan kompresi tinggi dalam satu tingkat, relatif stabil terhadap pengaruh cairan (kotoran) yang terserap dalam refrigerant. Mekanisme kompresi dari kompresor sekrup melakukan tiga langkah yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah buang. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini.

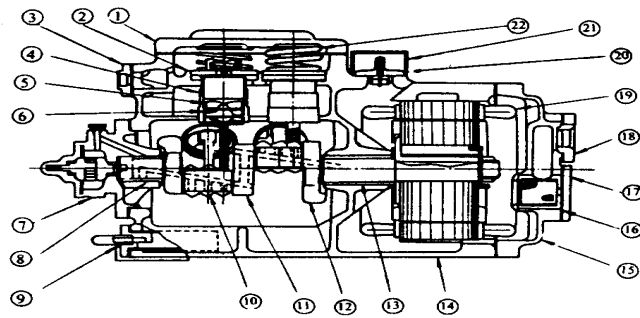


Gambar 2.14 Mekanisme kompresor sekrup

4. Kompresor Semi Hermetik

Pada kompresor semi hermetik listrik dibuat menjadi satu dengan kompresor. Jadi, rotor motor listrik terletak di ruang engkol dari kompresor tersebut, dengan demikian tidak diperlukan lagi penyekat sehingga dapat dicegah bocornya refrigerant. Di samping itu konstruksinya lebih kompak dan bunyi mesin lebih halus.

Kompresor ini memerlukan insulator listrik yang baik, yaitu yang tahan terhadap gas refrigerant. Jadi gas refrigerant sangat cocok untuk itu, sebab selain tidak merusak insulator listrik, gas refrigerant juga mempunyai sifat mengisolasi. Pada waktu ini kompresor semi hermetik untuk gas refrigerant dibuat kira-kira sampai 40 kW



Gambar 2.15 Penampang kompresor semi hermatik

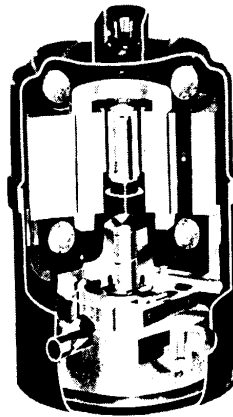
Keterangan :

K

No.	Nama Komponen	Bahan
1.	Tutup kepala silinder	Besi tuang
2.	Kepala silinder	Baja khusus
3.	Flens dari pipa buang	Baja
4.	Silinder	Besi tuang
5.	Torak	Besi tuang
6.	Pena torak	Baja khusus
7.	Pompa roda gigi	Besi tuang
8.	Logam bantalan	Logam putih
9.	Saringan minyak pelumas	Kawat kuningan
10.	Batang penghubung	Baja khusus
11.	Poros engkol	Baja
12.	Beban keseimbangan	Besi tuang
13.	Bantalan utama	Logam putih
14.	Rumah engkol	Besi tuang
15.	Tutup motor	Besi tuang
16.	Saringan gas masuk	Kawat kuningan
17.	Tutup	Baja
18.	Flens dari pipa isap	Baja
19.	Motor	-
20.	Terminal listrik	-
21.	Tutup terminal	Baja
22.	Kepala pengaman	Baja

5. Kompresor Hermatik

Hampir sama dengan kompresor semi hermatik. Perbedaannya hanya terletak pada penyambungan rumah (baja) kompresor dengan stator motor penggerakannya. Pada kompresor hermatik digunakan sambungan las sehingga udara tertutup rapat seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Sedangkan pada kompresor semi hermatik rumah terbuat dari besi tuang, bagian-bagian penutup dan penyambungannya masih bisa dibuka. Kompresor hermatik dibuat untuk unit kapasitas rendah, sampai 7,5 kW (Aris Munandar, 1992)



Gambar 2.16 Kompresor putar hermatik

- **Perhitungan Pada Kompresor**

- Kapasitas Kompresor dan Rasio Kompresi

Kapasitas kompresor atau laju alir volume yang memasuki kompresor diperoleh dari hasil perkalian antara laju aliran massa refrigerant dengan volume spesifik refrigerant dalam keadaan tertentu, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = m_r \cdot \dot{V}$$

Dengan : m_r = laju alir massa refrigerant, Kg/s

\dot{V} = volume spesifik, m^3/Kg

Rasio kompresi merupakan perbandingan antara tekanan buang kompresor dibanding dengan tekanan hisap kompresor, melalui persamaan :

$$Rc = \frac{P_2}{P_1}$$

Dengan : P_1 = tekanan hisap kompresor, Pa

P_2 = tekanan buang kompresor, Pa

Efisiensi Kompresi (η_c)

Gas yang ada didalam kompresor, dikompresikan dan mengalami hambatan, terutama pada waktu melalui katup ekspansi dan katup buang. Oleh karena itu, tekanan gas pada awal langkah kompresi sedikit lebih rendah daripada tekanan gas di dalam pipa hisap. Selain itu, tekanan gas keluar kompresor sedikit lebih tinggi daripada tekanan gas didalam pipa buang. Efisiensi kompresi dari kompresor dapat diperoleh dari grafik efisiensi kompresi pada kompresor.

Efisiensi Mekanik (η_m)

Pada kompresor selalu terjadi gesekan antara bagian yang bergerak, misalnya antara torak dan bagian silinder, antara poros dan bantalan serta gesekan-gesekan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan daya tambahan untuk mengatasi gesekan tersebut.

2.4.5 Katup Exspansi

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini digunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat tekanan dan temperatur rendah, atau mengekspansikan refrigerant cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi.

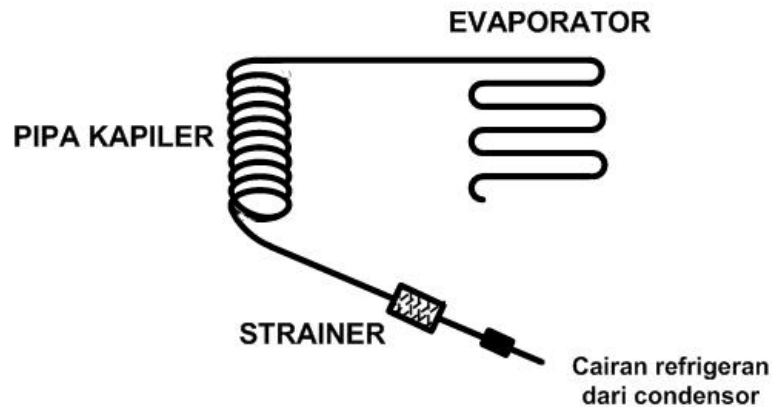
Refrigerant cair diinjeksikan keluar melalui *orifice*, refrigerant segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperaturnya rendah. Selain itu, katup ini juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi :

1. Mengatur jumlah refrigerant yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
2. Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.

- **Pipa Kapiler**

Pipa kapiler adalah salah satu alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan yaitu untuk menurunkan tekanan refrigerant cair dan untuk mengatur aliran refrigerant ke evaporator. Cairan refrigerant memasuki pipa kapiler tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang akibat dari gesekan dan percepatan refrigerant. Pipa kapiler hampir melayani semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil, dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10kW. Pipa kapiler mempunyai ukuran panjang 1 hingga 6 meter, dengan diameter dalam 0,5 sampai 2 mm (Stoecker, 1996). Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan kapasitas pendinginan, kondisi operasi dan jumlah refrigerant dari mesin refrigerasi yang bersangkutan.

Konstruksi pipa kapilar sangat sederhana, sehingga jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti bekerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian tekanan rendah, sehingga menyamakan tekanannya dan memudahkan start berikutnya.



Gambar 2.17 Pipa Kapiler

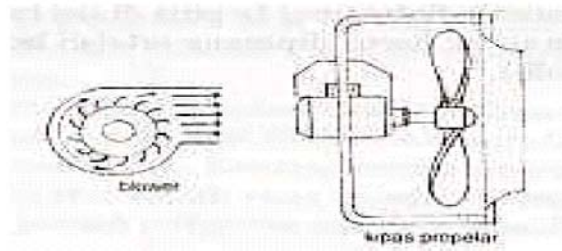
Keuntungan sistem refrigerasi menggunakan pipa kapiler :

- 1) Harga pipa kapiler murah.
- 2) Saat refrigerant masuk ke dalam sistem pipa kapiler, maka tekanan refrigerant akan menjadi kritis, sehingga tidak memerlukan receiver.
- 3) Jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti bekerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian tekanan rendah, sehingga tekanannya sama.

2.4.6 Instrument Pendukung

a. Kipas Dan Motor Listrik

Fungsi kipas pada AC digunakan untuk mengalirkan udara dalam sistem. Kipas yang sering digunakan dalam sistem AC yaitu kipas sentrifugal (blower) dan kipas propelar. Kipas sentrifugal atau blower diletakkan di dalam ruangan. Fungsi blower adalah meniup udara dingin di dalam ruangan. Sedangkan kipas propelar diletakkan di luar ruangan tugasnya membuang udara panas pada sisi belakang atau aplikasi kondensor



Gambar 2.18 Kipas blower dan kipas kondensor

Pada AC, motor listrik dipakai sebagai penggerak kompresor, pompa dan kipas. Pengubahan energi listrik menjadi energi mekanik dilakukan dengan memanfaatkan sifat-sifat gaya magnetik.

b. Receiver

Receiver atau tangki penampung berfungsi sebagai penampung atau penyimpan refrigerant dalam system pendingin. Letak receiver terdapat antara *drier strainer* dan kondensor.

c. Drier Strainer

Terdiri atas silika gel dan screen. Silika gel berfungsi untuk menyerap kotoran, dan screen untuk menyaring kotoran berupa karat dan yang lainnya. Apabila refrigerant terdapat kotoran maka refrigerant tersebut akan tersaring *drier strainer* terlebih dahulu sebelum masuk ke expansion valve, sehingga katup ekspansi tidak rusak dan mengalami kebuntuan. Apabila kran ekspansi buntu maka tidak akan terjadi proses pendinginan.