

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 menyediakan uap air yang dibutuhkan bagi tubuh. Penggunaan AC ini sering ditemui di daerah tropis yang terkenal dengan musim 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. Tingkat kenyamanan suatu ruang juga ditentukan oleh temperatur, kelembapan, sirkulasi dan tingkat kebersihan udara.

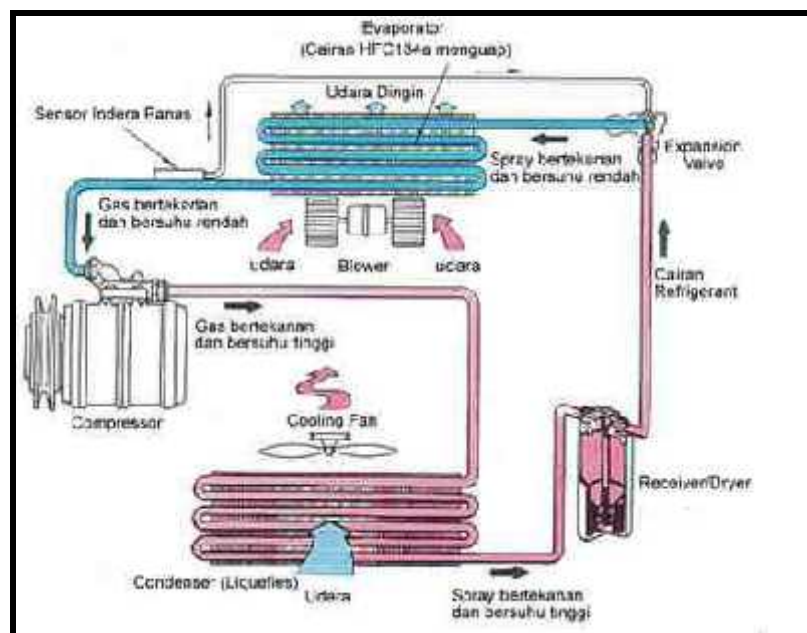
Untuk dapat menghasilkan udara dengan kondisi yang diinginkan, maka peralatan yang dipasang harus mempunyai kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dimiliki ruangan tersebut. Untuk itu diperlukan survei dan menentukan besarnya beban pendinginan.

Secara garis besar beban pendinginan terbagi atas dua kelompok, yaitu beban pendinginan sensibel dan beban pendinginan laten. Beban pendinginan sensibel adalah beban panas yang dipengaruhi oleh perbedaan suhu, seperti beban panas yang lewat konstruksi bangunan, peralatan elektronik, lampu, dll. Sedangkan

beban pendinginan laten adalah beban yang dipengaruhi oleh adanya perbedaan kelembaban udara.

Di dalam ruang kuliah C2, untuk merencanakan penggunaan *Air Conditioning* (AC) perubahan pembebanan terjadi pada peralatan yang menghasilkan kalor seperti: lampu, komputer, LCD. Selain itu faktor manusia dan kecepatan udara yang masuk kedalam ruangan juga mempengaruhi perubahan pembebanan, yang nilai bebannya dapat berubah-ubah baik secara acak maupun teratur.

2.2 Prinsip Kerja Pendingin Ruangan



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Mesin Pendingin Ruangan

Kompresor AC yang ada pada sistem pendingin dipergunakan sebagai alat untuk memampatkan fluida kerja (refrigeran), jadi refrigeran yang masuk ke

dalam kompresor AC dialirkan ke kondensor yang kemudian dimampatkan di kondensor. Di bagian kondensor ini refrigeran yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigeran fase uap menjadi refrigeran fase cair, maka refrigeran mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung di dalam refrigeran. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondensor tekanan refrigeran yang berada dalam pipa-pipa kondensor relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigeran yang berada pada pipi-pipa evaporator.

Prinsip pendinginan udara pada AC melibatkan siklus refrigerasi, yakni udara didinginkan oleh refrigeran/pendingin (*freon*), lalu *freon* ditekan menggunakan kompresor sampai tekanan tertentu dan suhunya naik, kemudian didinginkan oleh udara lingkungan sehingga mencair. Proses tersebut diatas berjalan berulang-ulang sehingga menjadi suatu siklus yang disebut siklus pendinginan pada udara yang berfungsi mengambil kalor dari udara dan membebaskan kalor ini ke luar ruangan.

2.3 Jenis-Jenis Pendingin Ruangan

Berdasarkan jenisnya ada 4 jenis AC yang sering dipergunakan pada rumah tangga yaitu AC *Split*, AC *Window*, AC *Central* dan *Standing*AC.

a. AC *Split*

Pada AC jenis split komponen AC dibagi menjadi dua unit yaitu unit indoor yang terdiri dari filter udara, evaporator dan evaporator blower, *ekspansion valve* dan *controll unit*, serta *unit outdoor* yang terdiri dari kompresor, kondenser,

kondenser blower dan refrigeran filter. Selanjutnya antara *unit indoor* dengan *unit outdoor* dihubungkan dengan 2 buah saluran refrigeran, satu buah untuk menghubungkan evaporator dengan kompresor dan satu buah untuk menghubungkan refrigeran filter dengan *ekspansi valve* serta kabel power untuk memasok arus listrik untuk kompresor dan kondenser blower. *AC Split* cocok untuk ruangan yang membutuhkan ketenangan, seperti ruang tidur, ruang kerja atau perpustakaan.

Kelebihan *AC Split* :

- Bisa dipasang pada ruangan yang tidak berhubungan dengan udara luar.
- Suara didalam ruangan tidak berisik.

Kekurangan *AC Split* :

- Pemasangan pertama maupun pembongkaran apabila akan dipindahkan membutuhkan tenaga yang terlatih.
- Pemeliharaan atau perawatan membutuhkan peralatan khusus dan tenaga yang terlatih.
- Harganya lebih mahal.

b. *AC Window*

Pada *AC* jenis *window*, semua komponen *AC* seperti filter udara, evaporator, blower, kompresor, kondenser, refrigeran filter, *ekspansi valve* dan *control unit* terpasang pada satu *base plate*, kemudian *base plate* beserta semua komponen *AC* tersebut dimasukkan kedalam kotak plat sehingga menjadi satu unit yang kompak. Biasanya dipilih karena pertimbangan keterbatasan ruangan

seperti pada rumah susun. Dan oleh karena bentuknya yang biasanya besar, jenis AC ini relatif lebih aman dari pencurian.

Kelebihan AC *window*:

- Pemasangannya pertama maupun pembongkaran kembali apabila akan dipindahkan mudah dilaksanakan.
- Pemeliharaan/perawatan mudah dilaksanakan.
- Harga murah.

Kekurangan AC *window*:

- Karena semua komponen AC terpasang pada base plate yang posisinya dekat dengan ruangan yang didinginkan, maka cenderung menimbulkan suara berisik (terutama akibat suara dari kompresor).
- Tidak semua ruangan dapat dipasang AC *window*, karena AC *window* harus dipasang dengan cara bagian kondenser menghadap ketempat terbuka supaya udara panas dapat dibuang kealam bebas.

c. AC Central

Pada AC jenis ini udara dari ruangan didinginkan pada cooling plant diluar ruangan tersebut, kemudian udara yang telah dingin dialirkan kembali kedalam ruangan tersebut. Biasanya cocok untuk dipasang di sebuah gedung bertingkat (berlantai banyak), seperti di hotel atau mall.

Kelebihan AC Sentral :

- Suara didalam ruangan tidak berisik sama sekali.
- Estetika ruangan terjaga, karena tidak ada unit indoor.

Kekurangan AC sentral :

- Perencanaan, instalasi, operasi dan pemeliharaan membutuhkan tenaga yang betul-betul terlatih.
- Apabila terjadi kerusakan pada waktu beroperasi, maka dampaknya dirasakan pada seluruh ruangan.
- Pengaturan temperatur udara hanya dapat dilakukan pada sentral cooling plant.
- Biaya investasi awal serta biaya operasi dan pemeliharaan tinggi.

d. *Standing AC*

Jenis AC ini cocok dipergunakan untuk kegiatan-kegiatan situasional dan mobil karena fungsinya yang mudah dipindahkan, seperti seminar, pengajian outdoor dsb.

2.4 Komponen Utama Sitem Pendingin

2.4.1 Kompresor

Kompresor atau pompa isap mempunyai fungsi yang vital. Dengan adanya kompresor, refrigeran bisa mengalir ke seluruh sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah dengan mengubah tekanan, sehingga terjadi perbedaan tekanan yang memungkinkan refrigeran mengalir (berpindah) dari sisi bertekanan rendah ke sisi bertekanan tinggi.

Ketika bekerja, refrigerant yang dihisap dari evaporator dengan suhu dan tekanan rendah dimampatkan sehingga suhu dan tekanannya naik. Gas yang dimampatkan ini ditekan keluar dari kompresor lalu dialirkan ke kondensor, tinggi

rendahnya suhu dikontrol dengan thermostat. Jenis kompresor yang banyak digunakan adalah kompresor torak, kompresor rotary, kompresor sudu, dan kompresor sentrifugal.

a. Kompresor torak (*Reciprocating compressor*)

Pada saat langkah hisap piston, gas refrigeran yang bertekanan rendah ditarik masuk melalui katup hisap yang terletak pada piston atau di kepala kompresor. Pada saat langkah buang, piston menekan refrigeran dan mendorongnya keluar melalui katup buang, yang biasanya terletak pada kepala silinder.

b. Kompresor *rotary*

Rotor adalah bagian yang berputar didalam stator, rotor terdiri dari dua baling-baling. Langkah hisap terjadi saat katup mulai terbuka dan berakhir setelah katup tertutup. Pada waktu katup sudah tertutup dimulai langkah tekan sampai katup pengeluaran membuka, sedangkan pada katup secara bersamaan sudah terjadi langkah hisap, demikian seterusnya.

c. Kompresor sudu

Kompresor jenis ini kebanyakan digunakan untuk lemari es, freezer, dan pengkondisian udara rumah tangga, juga digunakan sebagai kompresor pembantu pada bagian tekanan rendah sistem kompresi bertingkat besar.

2.4.2 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor yang diserap dari evaporator dan panas yang diperoleh dari kompresor, serta mengubah wujud gas menjadi cair. Banyak jenis kondensor yang dipakai, untuk kulkas rumah tangga digunakan kondensor dengan pendingin air. Jenis lain kondensor berpendingin air memiliki pipa-pipa yang dapat dibersihkan.

Kondensor dibedakan menjadi tiga jenis, yakni *Air Cooled Condensor*, *Water Cooled Condensor* dan *Evaporative Cooled Condensor*.

a. *Air Cooled Condensor*

Dalam *Air cooled condensor*, kalor dipindahkan dari refrigeran ke udara dengan menggunakan sirkulasi alamiah atau paksa. Kondensor dibuat dari pipa baja, tembaga dengan diberi sirip untuk memperbaiki transfer kalor pada sisi udara. Refrigeran mengalir didalam pipa dan udara mengalir diluarnya. *Air cooled condensor* hanya digunakan untuk kapasitas kecil seperti refrigerator dan small water cooler.

b. *Water Cooled Condensor*

Water cooled condensor dibedakan menjadi 3 jenis yakni *shell and tube*, *shell and coil*, dan *double tube*.

- *Shell and Tube*

Salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan oleh adanya sekumpulan pipa (tabung) yang dipasangkan didalam shell (pipa galvanis) yang berbentuk silinder dimana 2 jenis fluida saling bertukar kalor yang mengalir secara terpisah (air dan *freon*).

- *Shell and Coil*

Terdiri dari sebuah cangkang yang dilas elektrik dan berisi koil air, kadang-kadang juga dengan pipa bersirip.

- *Double Tube*

Refrigeran mengembun di luar pipa dan air mengalir dibagian dalam pipa pada arah yang berlawanan. *Double tube* digunakan dalam hubungan dengan *cooling tower* dan *spray pond*.

c. *Evaporative Cooled Condensor*

Refrigeran pertama kali melepaskan kalornya ke air kemudian air melepaskan kalornya ke udara dalam bentuk uap air. Udara meninggalkan uap air dengan kelembaban yang tinggi seperti dalam *cooling tower*. Oleh karena itu kondensor evaporative menggabungkan fungsi dari sebuah kondensor dan *cooling tower*. *Evaporative condensor* banyak digunakan dipabrik amoniak.

Kondensor yang digunakan di sini adalah jenis water cooled kondensor tipe *shell and tube*, karena lebih mudah dalam menganalisa temperatur jika dibandingkan dengan *Air cooled condensor* yang sering terjadi fluktuasi pada temperaturnya. *Watercooled condensor* ini ditempatkan di antara kompresor dan alat pengatur bahan pendingin (pipa kapiler). Posisinya ditempatkan berhubungan langsung dengan udara luar agar gas di dalam kondensor juga didinginkan oleh suhu ruangan.

Gas yang berasal dari kompresor memiliki suhu dan tekanan tinggi, ketika mengalir di dalam pipa kondensor, gas mengalami penurunan suhu hingga

mencapai suhu kondensasi kemudian mengembun. Wujud gas berubah menjadi cair dengan suhu rendah sedangkan tekanannya tetap tinggi.

2.4.3 Katup Ekspansi

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini dipergunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat tekanan dan temperatur rendah, atau mengekspansikan refrigeran cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi, refrigeran cair diinjeksikan keluar melalui *orifice*, refrigeran segera berubah menjadi kabut yang tekanannya dan temperaturnya rendah.

Selain itu, katup ekspansi juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi :

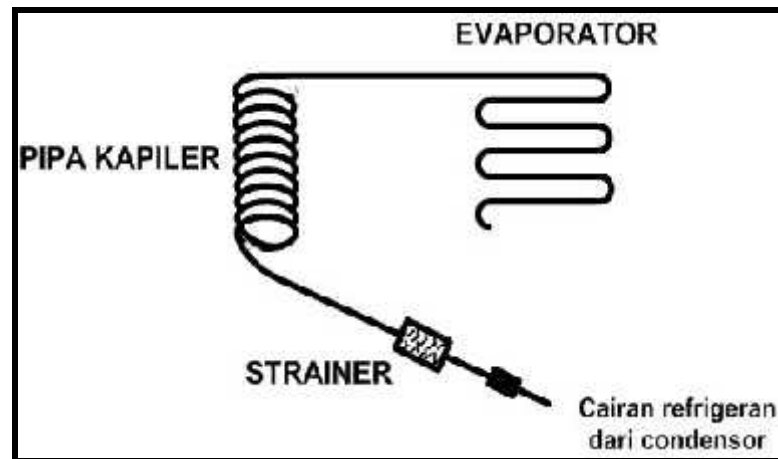
- 1) Mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
- 2) Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.

2.4.4 Pipa Kapiler

Pipa kapiler adalah salah satu alat ekspansi. Alat ekspansi ini mempunyai dua kegunaan yaitu untuk menurunkan tekanan refrigeran cair dan untuk mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Cairan refrigeran memasuki pipa kapiler tersebut dan mengalir sehingga tekanannya berkurang akibat dari gesekan dan percepatan refrigeran. Pipa kapiler hampir melayani semua sistem refrigerasi yang berukuran kecil, dan penggunaannya meluas hingga pada kapasitas refrigerasi 10

kw. 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 refrigeran 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 2.2. Pipa Kapiler

2.4.5 Evaporator (Penguap)

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta bertugas menguapkan refrigeran dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Panas udara sekeliling diserap evaporator yang menyebabkan suhu udara di sekeliling evaporator turun. Suhu udara yang rendah

ini dipindahkan ketempat lain dengan jalan dihembus oleh kipas, yang menyebabkan terjadinya aliran udara.

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 refrigeran yang diekspansikan melalui katup ekspansi pada saat masuk ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap kering.

2) Evaporator jenis setengah basah

Evaporator jenis setengah basah adalah evaporator dengan kondisi refrigeran di antara evaporator jenis ekspansi kering dan evaporator jenis basah. Dalam evaporator jenis ini selalu terdapat refrigeran cair dalam pipa penguapnya.

3) Evaporator jenis basah

Dalam evaporator jenis basah, sebagian besar dari evaporator terisi oleh cairan refrigeran. Proses penguapannya terjadi seperti pada ketel uap.

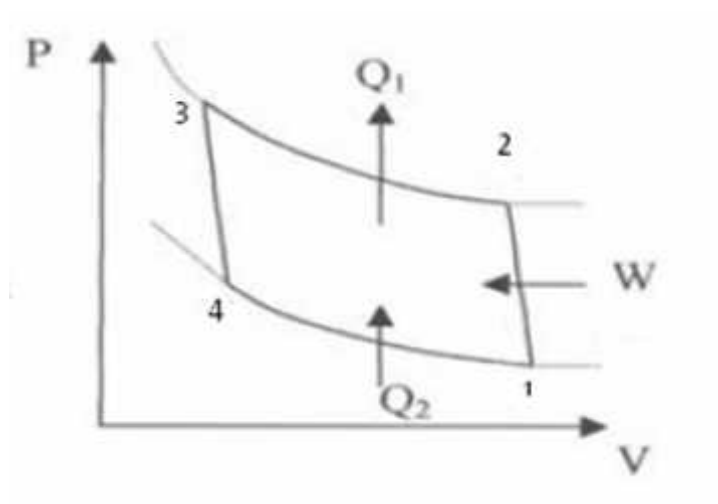
Perpindahan panas yang terjadi pada evaporator adalah konveksi paksa yang terjadi di dalam dan di luar tabung serta konduksi pada tabungnya. Perpindahan panas total yang terjadi merupakan kombinasi dari ketiganya. Harga koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat ditentukan dengan terlebih dahulu

menghitung koefisien perpindahan kalor pada sisi refrigeran dan sisi udara yang telah dijelaskan sebelumnya. Selanjutnya koefisien perpindahan panas total dihitung berdasarkan luas permukaan dalam pipa dan berdasarkan luas permukaan luar pipa.

2.5 Termodinamika Sistem Refrigerasi

2.5.1 Siklus Refrigerasi Carnot

Siklus refrigerasi carnot merupakan kebalikan dari mesin carnot. Mesin carnot menerima energi kalor dari temperatur tinggi, energi kemudian diubah menjadi suatu kerja dan sisa energi tersebut dibuang ke sumber panas pada temperatur rendah. Sedangkan siklus refrigerasi carnot menerima energi pada temperatur rendah dan mengeluarkan energi pada temperatur tinggi. Oleh sebab itu pada siklus pendingin diperlukan penambahan kerja dari luar. Dan untuk daur refrigerasi carnot ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3. Daur refrigerasi carnot

Proses-proses yang membentuk daur refrigerasi carnot :

Proses kompresi adiabatik (1-2)

Proses pelepasan kalor isothermal (2-3)

Proses ekspansi adiabatik (3-4)

Proses penyerapan kalor isothermal (4-1)

Tujuan utama dari daur ini adalah penyerapan kalor dari sumber bersuhu rendah pada proses 4-1 yaitu penyerapan kalor isothermal.

2.5.2 *Coefficient of Performance (COP) dan Refrigeration Effect (RE)*

Coefficient of Performance atau yang disebut koefisiensi prestasi dipergunakan untuk menyatakan efisiensi dari siklus refrigerasi. Pada umumnya, efisiensi mesin kalor selalu lebih kecil dari satu. Dengan kata lain, energy yang dimasukkan ke dalam mesin tidak semuanya dapat diubah menjadi kerja.

Berbeda dengan mesin kalor, mesin refrigrasi bekerja sebagai pompa untuk memindahkan kalor. Oleh karena itu jika kerja yang dilakukan (dalam satuan kalor) untuk menggerakkan kompresor dibandingkan dengan kapasitas refrigerasi, maka akan terlihat bahwa kapasitas refrigerasi lebih besar dari besaran yang pertama.

$$COP = \frac{Q_e}{A_l} \dots^1$$

Dimana :

Q_e = Efek Refrigerasi, kcal/kg

A_l = Kalor ekivalen dari kerja yang diperlukan untuk kompresi, kcal/kg

¹ Wianto A. & Heizo Saito, 1980. Penyebaran Udara. Pradya Paramita: Jakarta. Halaman 114

$$Q_e = I_a - I_b \dots^2$$

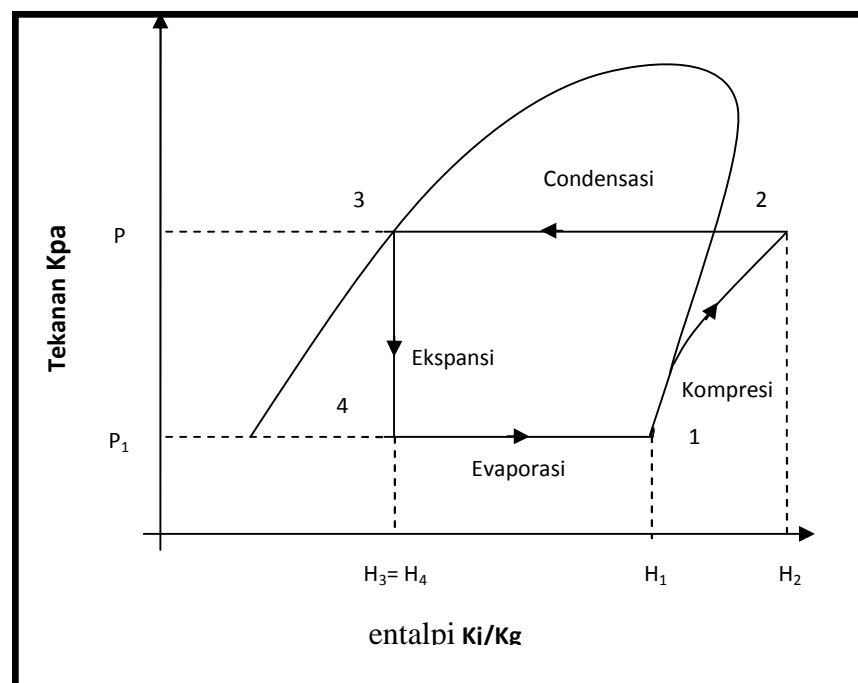
Dimana :

I_a = Entalpi a, kcal/kg

I_b = Entalpi b, kcal/kg

2.5.3 Siklus Kompresi Uap Standar (Teoritis)

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



Gambar 2.4. Diagram tekanan entalpi siklus kompresi uap standar

1) Proses Kompresi

Proses kompresi berlangsung dari titik 1 ke titik 2. Pada siklus sederhana diasumsikan refrigerant tidak mengalami perubahan kondisi selama mengalir

² Ibid halaman 114

dijalur hisap. Proses kompresi diasumsikan isentropik sehingga pada diagram tekanan dan entalpi 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 , besarnya kenaikan ini sama dengan besarnya kerja kompresi yang dilakukan pada uap refrigeran.

2) Proses Kondensasi

Proses 2-3 merupakan proses kondensasi yang terjadi pada kondensor, uap panas refrigeran dari kompresor didinginkan oleh air sampai pada temperatur kondensasi, kemudian uap tersebut dikondensasikan. Pada titik 2 refrigeran pada kondisi uap jenuh pada tekanan dan temperatur kondensasi. Proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah panas yang dipindahkan selama proses ini adalah beda entalpi antara titik 2 dan 3.

3) Proses Ekspansi

Proses ekspansi berlangsung dari titik 3 ke titik 4. Pada proses ini terjadi proses penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi (titik 3) menjadi tekanan evaporasi (titik 4). Pada saat cairan di ekspansi melalui katup ekspansi atau pipa kapiler ke evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur kondensat ke temperatur evaporasi. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik di mana entalpi fluida tidak berubah disepanjang proses. Refrigeran pada titik 4 berada pada kondisi campuran-uap.

4) Proses Evaporasi

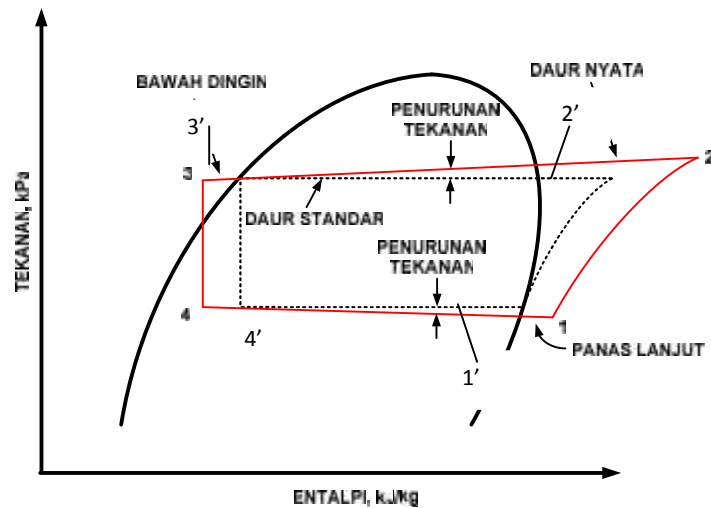
Proses 4-1 adalah proses penguapan yang terjadi pada evaporator dan berlangsung pada tekanan konstan. Pada titik 1 seluruh refrigeran berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses 4-1 entalpi refrigeran naik akibat penyerapan

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

2.5.4 Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) barbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang di gunakan atau dapat juga karena penyerapan panas dijalur masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Demikian juga pada refrigeran cair mengalami pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler. Keadaan di atas adalah peristiwa normal dan melakukan fungsi yang diinginkan untuk menjamin bahwa seluruh refrigeran yang memasuki kompresor atau alat ekspansi dalam keadaan 100 % uap atau cair.

Perbedaan yang penting antara daur nyata (aktual) dan standar terletak pada penurunan tekanan dalam kondensor dan evaporator. Daur standar dianggap tidak mengalami penurunan tekanan pada kondensor dan evaporator, tetapi pada daur nyata terjadi penurunan tekanan karena adanya gesekan antara refrigeran dengan dinding pipa. Akibat dari penurunan tekanan ini, kompresor pada titik 1 dan 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan daur standar. Untuk Siklus aktual dan siklus standar ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Perbandingan siklus aktual dan siklus standar

Garis 4-1' diperlihatkan penurunan tekanan yang terjadi pada refrigeran pada saat melewati *suction line* dari evaporator ke kompresor. Garis 1-1' diperlihatkan terjadinya panas lanjut pada uap refrigeran yang ditunjukkan dengan garis yang melewati garis uap jenuh. Proses 1'-2' adalah proses kompresi uap refrigeran didalam kompresor. Pada siklus teoritis proses kompresi diasumsikan isentropik, yang berarti tidak ada perpindahan kalor diantara refrigeran dan dinding silinder. Pada kenyataannya proses yang terjadi bukan isentropik maupun politropik. Garis 2'-3 menunjukkan adanya penurunan tekanan yang terjadi pada pipa-pipa kondensor, sedangkan pada garis 3-3' menunjukkan tekanan yang terjadi dijalur cair.

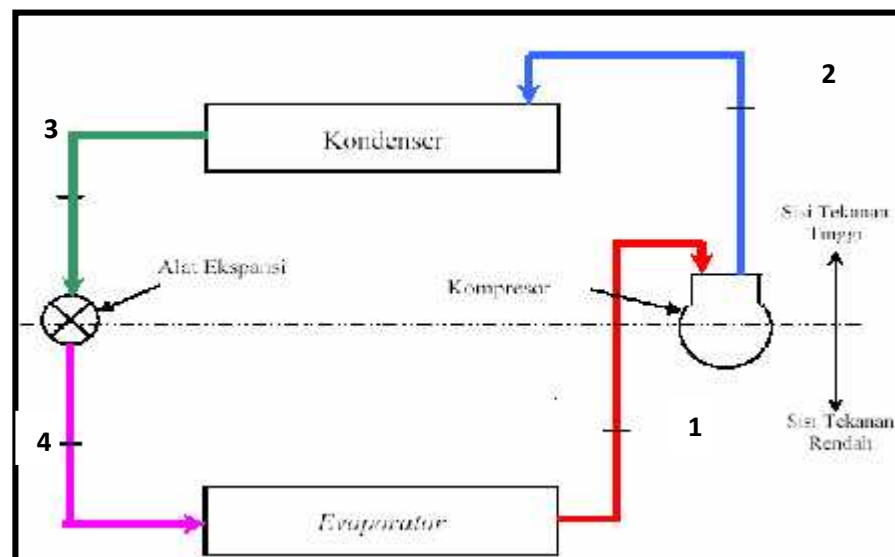
2.6 Klasifikasi Sistem Refrigerasi

Ditinjau dari prinsip kerjanya, sistem refrigerasi di bagi menjadi 3 jenis, yaitu:

- 1) Sistem refrigerasi kompresi uap
- 2) Sistem refrigerasi absorpsi
- 3) Sistem refrigerasi udara

2.6.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

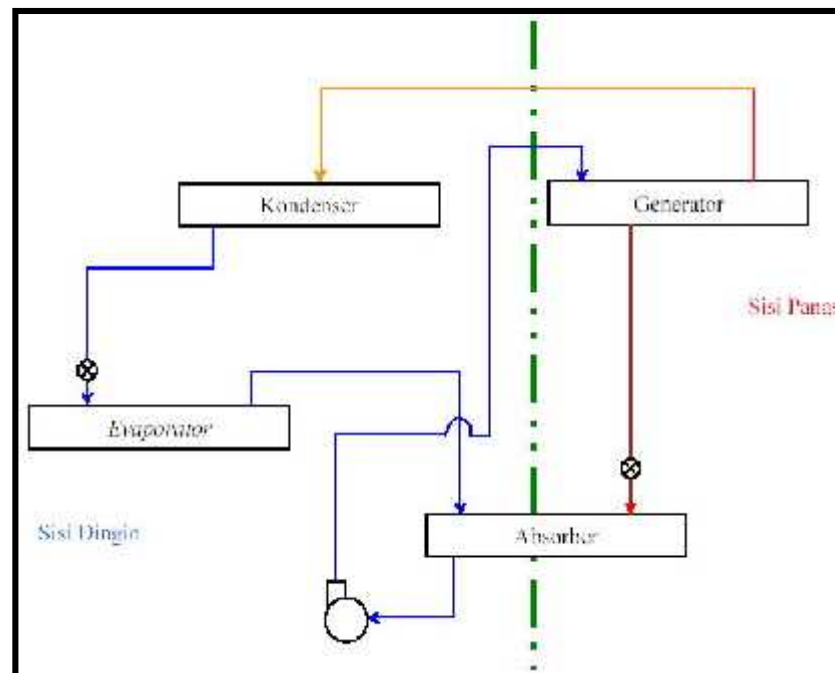
Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas dari pada sumber dingin di luar (contoh udara di luar) dan gas yang mengembang akan menjadi lebih dingin dari pada suhu dingin yang dikehendaki. Dalam kasus ini, fluida digunakan untuk mendinginkan lingkungan bersuhu rendah dan membuang panas ke lingkungan yang bersuhu tinggi. Untuk Sistem refrigerasi kompresi uap di tunjukan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Sistem refrigerasi kompresi uap

2.6.2 Sistem Refrigerasi Absorpsi

Dalam siklus refrigerasi absorpsi, dipergunakan penyerap untuk menyerap refrigeran yang diuapkan di dalam evaporator sehingga menjadi suatu larutan absorpsi. Kemudian, larutan absorpsi tersebut dimasukan ke dalam sebuah generator untuk memisahkan refrigeran dari larutan absorpsi tersebut dengan cara memanasi, yang sekaligus akan menaikkan tekanannya sampai mencapai tingkat keadaan mudah diembunkan. Untuk Sistem refrigerasi absorpsi di tunjukan pada Gambar 2.7.

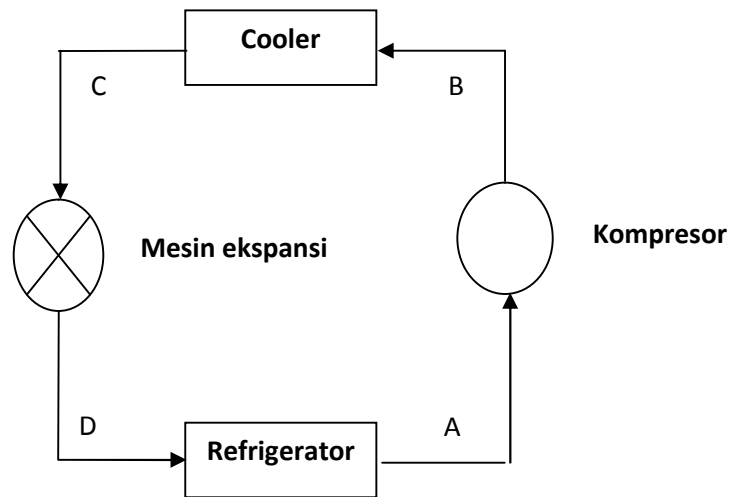


Gambar 2.7. Sistem refrigerasi absorpsi

2.6.3 Sistem Refrigerasi Udara

Pada siklus ini, udara bertindak sebagai refrigerant, yang menyerap panas pada tekanan konstan P , di dalam refrigerator. Udara panas keluar refrigerator,

dikompresi untuk dibuang panasnya ke lingkungan melalui cooler pada tekanan konstan P_2 ($P_2 > P_1$). Udara keluar *cooler* dikembalikan ke keadaan awal oleh mesin ekspansi untuk dapat melakukan langkah awal pada siklus berikutnya. Sistem refrigerasi di tunjukan pada Gambar 2.8.

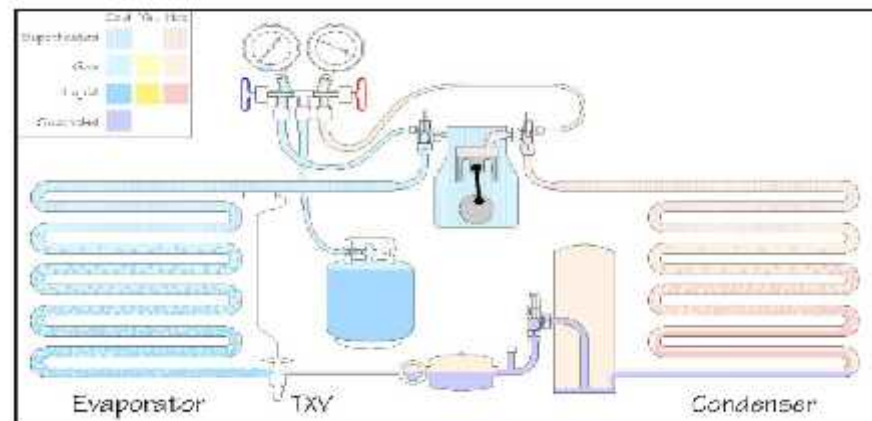


Gambar 2.8. Sistem refrigerasi udara

2.6.4 Pengisian Refrigeran

Pengisian refrigeran ke dalam sistem harus dilakukan dengan baik dan jumlah refrigeran yang diisi sesuai atau tepat dengan takaran. Kelebihan refrigeran dalam sistem dapat menyebabkan temperatur evaporasi yang tinggi akibat dari refrigeran tekanan yang tinggi. Selain itu dapat menyebabkan kompresor rusak akibat kerja kompresor yang terlalu berat dan adanya kemungkinan *liquid suction*. Sebaliknya bila jumlah refrigeran yang diisi sedikit, dengan kata lain kurang dari yang ditentukan maka sistem akan mengalami kekurangan pendinginan. Proses pengisian refrigeran ke dalam sistem ada beberapa cara, di antaranya :

- a) Mengisi sistem berdasarkan berat refrigeran.
- b) Mengisi sistem berdasarkan banyaknya bunga es yang terjadi di evaporator.
- c) Mengisi sistem berdasarkan temperatur dan tekanan.



Gambar 2.9. Pemasangan Manifold untuk pengisian

Refrigeran yang digunakan adalah Refrigeran 22, sebab Refrigeran 22 dapat digunakan pada kompresor Torak, *Rotary* dan Sentrifugal. R22 digunakan untuk *Air Conditioning* yang sedang dan kecil. Pemakaian ($50 \text{ s/d} + 10^\circ\text{C}$), pemakaiannya pada suhu sedang dan rendah. Titik didih $-41,4^\circ\text{F}$ ($-40,8^\circ\text{C}$) pada tekanan 1 atmosfer, tekanan penguapan 28,3 psig pada 5°F dan tekanan kondensasi 158,2 psig pada 86°F , kalor laten uap 100,6 Btu/lb pada titik didih. Keunggulan R22 dibanding R12 adalah sebagai berikut.

- 1) Untuk pergerakan torak yang sama, kapasitasnya 60% lebih besar.
- 2) Untuk kapasitas yang sama, bentuk kompresor lebih kecil, pipa-pipa yang dipakai juga lebih kecil ukurannya.

- 3) Pada suhu evaporator antara -30 s/d -40°C , tekanan R22 lebih dari 1 atmosfer, sedangkan R12 kurang dari 1 atmosfer.

R22 tidak korosif terhadap logam yang banyak digunakan pada sistem refrigerasi dan air conditioning seperti besi, tembaga, aluminium, kuningan, baja tak berkarat, las perak, timah solder, dan babbit. R22 mempunyai kemampuan menyerap air tiga kali lebih besar daripada R12, jarang sekali terjadi pembekuan air di evaporator pada sistem yang memakai R22. Hal ini bukan suatu keuntungan, karena di dalam sistem harus bersih dari uap air dan air. Kebocoran dapat dicari dengan *halide leak detector* dan air sabun.

2.7 Beban Pendinginan

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada waktu melakukan perhitungan beban pendinginan dan penentuan perlengkapan sistem tata udara serta sistem control, antara lain penggunaan atau fungsi ruang, jenis konstruksi bangunan, pola beban pengkondisian, kondisi dalam ruangan.

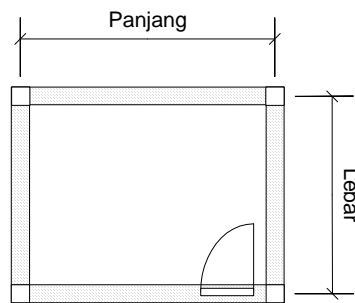
Pada tahap perencanaan, perhitungan beban pendinginan yang tepat harus dilakukan karena hasil perhitungan beban pendinginan yang tepat akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan.

Di dalam ruang C2 beban pendinginan ada 2 macam yaitu beban sensibel dan beban laten. Beban sensibel antara lain beban kalor melalui dinding, atap, langit-langit, lantai, peralatan listrik (komputer, LCD dan lampu) karena beban infiltrasi ruangan, sedangkan beban kalor laten antara lain penghuni (orang) dan beban kalor pada infiltrasi ruangan.

2.7.1 Kondisi Dasar

2.7.1.1 Luas Lantai

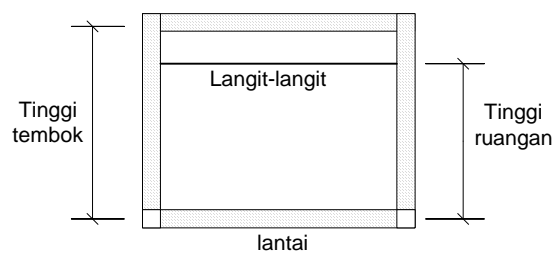
Luas lantai adalah jarak panjang dikalikan lebar ruangan seperti pada gambar dimana jarak antara garis-garis teras tembok digunakan dalam perhitungan ini.



Gambar 2.10. Ukuran Lantai

2.7.1.2 Volume ruangan

Volume ruangan adalah luas lantai dikali jarak antara titik tengah lantai dan titik tengah langit-langit.



Gambar 2.11. Tinggi Bangunan

2.7.1.3 Nama bulan perancangan.

Dalam hal ini harus diberikan bulan terpanas seperti yang terlihat pada lampiran 1 Data cuaca di beberapa Negara asia.

2.7.1.4 Kondisi udara dalam ruang

Tabel 2.1 Kondisi Udara Dalam Ruangan

	Temperatur bola kering	Perubahan temperatur harian	Temperatur bola basah	Kelembaban relative	Perbandingan kelembaban rata-rata sepanjang hari
Di dalam ruangan					
Di luar ruangan					

Data kondisi udara didalam ruangan tersebut, kelembaban rata-rata sepanjang hari, dan perbandingan kelembaban rata-rata sepanjang hari di dalam ruangan untuk rancangan (Wiranto A. & Heizo Saito “Penyegaran Udara”, halaman 33, Tabel 3.2 Temperatur ruang, kelembaban dan perbandingan).

Data kondisi udara diluar tersebut, perubahan temperatur harian dan perbandingan kelembaban rata-rata sepanjang hari di luar ruangan untuk rancangan (Wiranto A. & Heizo Saito “Penyegaran Udara”, tabel 3.3 data cuaca di beberapa negara asia).

2.7.1.5 Temperatur Udara Luar dan Jumlah Radiasi Matahari.

Tabel 2.2 Temperatur Udara dan Jumlah Radiasi Matahari

Waktu, pukul	11	12	13	14	15
Temperatu luar (°C)					
Radiasi matahari (kcal/m ² h)					

Temperatur udara pada suatu saat tertentu dapat diperkirakan dengan formula :

$$t_o = t_{o, \text{rancangan}} - \frac{\Delta t}{2} + \frac{\Delta t}{2} \cos 15 \left(\frac{t}{15} - x \right) \dots^3$$

dimana :

t_o = temperatur udara luar sesaat, ($^{\circ}\text{C}$)

$t_{o \text{ rancangan}}$ = temperatur udara luar untuk perancangan, ($^{\circ}\text{C}$)

t = perubahan temperatur harian, ($^{\circ}\text{C}$)

15 = perubahan waktu sudut ($\frac{360^{\circ}}{24 \text{ jam}}$)

= waktu penyinaran matahari

= saat terjadinya temperatur maksimum (+ 2)

Untuk (waktu penyinaran matahari), pukul 12.00 siang adalah 0, pagi hari (A.M) adalah negatif (-) dan siang hari (P.M) adalah positif, dengan besarnya dinyatakan sampai satu angka desimal, misalnya pukul setengah sepuluh pagi dinyatakan dengan -2.5.

Radiasi matahari dapat dibagi dalam golongan radiasi langsung dan radiasi tidak langsung.

2.7.2 Beban Kalor Sensibel Daerah Perimeter (tepi)

2.7.2.1 Tambahan kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui jendela

Dapat dirumuskan :

Luas jendela (m^2) x jml radiasi matahari ($kcal/m^2 \text{ jam}$) x faktor transmisi jendela x faktor bayangan....⁴

³ Wiranto A. & Heizo Saito, 1980. Penyegaran Udara. Pradya Paramita: Jakarta. halaman 34

Jumlah radiasi matahari melalui jendela adalah adalah sama dengan jumlah radiasi matahari total yang diperoleh dari tabel 2.2 temperatur udara dan jumlah radiasi matahari.

Faktor transmisi radiasi matahari melalui “*window pane*” dapat dicari dengan melihat Penyegaran Udara, hal. 43, tabel 3.5 faktor transmisi dari jendela. Faktor bayangan (*shading faktor*) dari jendela, apabila sebuah jendela dibayangi oleh suatu gedung sebelah atau tepi atapnya sendiri, maka tidak semua panas matahari masuk ke dalam ruangan, jadi jumlah radiasi matahari yang masuk ke dalam menjadi lebih kecil. Sebaliknya apabila jendela ruangan berhadapan dengan benda lain yang memantulkan cahaya (misalnya kaca jendela dari gedung sebelah atau lantai serambi rumah), maka dipandang perlu menambahkan sebanyak 10% sampai 30% dari radiasi matahari langsung dalam perhitungan beban kalor pada siang hari yang panas.

2.7.2.2 Beban transmisi kalor melalui jendela

Dapat dirumuskan :

Luas jendela (m²) x koefisien transmisi kalor melalui jendela, K (kcal/ m²jam °C) x t ruangan (°C)....⁵

Untuk nilai K dapat dilihat pada lampiran 2 koefisien transmisi kalor dari jendela.

t ruangan adalah beda temperatur luar dan dalam.

⁴ Ibid, halaman 30

⁵ Ibid, halaman 30

2.7.2.3 Infiltrasi beban kalor sensibel

Dapat dirumuskan :

$$\{(Volume\ ruangan\ (m^3) \times jumlah\ penggantian\ ventilasi\ alamiah,\ Nn) + jml\ udara\ luar\} \times \frac{0,24}{volume\ Spesifik} \times t\ ruangan(^{\circ}C)....^6$$

Jumlah penggantian udara dalam ventilasi alamiah dapat ditentukan dengan tabel jumlah penggantian lihat lampiran 3 Jumlah penggantian.

t ruangan adalah beda temperatur luar dan dalam.

2.7.2.4 Beban transmisi kalor melalui dinding dan atap

Dapat dirumuskan :

$$Luas\ dinding\ (m^2) \times koefisien\ transmisi\ kalor\ dari\ (dinding\ atau\ atap),\ K\ (kcal/m^2 \cdot jam.\ ^{\circ}C) \times (selisih\ temperatur\ ekivalen\ dari\ radiasi\ matahari + selisih\ temperatur\ dalam\ dan\ luar\ ruangan, (^{\circ}C))....^7$$

Koefisien perpindahan kalor dari dinding, dapat ditunjukkan pada Penyegaran Udara, halaman 45, tabel 3.8 koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor dari dinding. Sedangkan koefisien perpindahan kalor dari atap dapat dilihat Penyegaran Udara, halaman 45, tabel 3.8 koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor atap.

2.7.2.5 Beban kalor tersimpan dari ruangan dari penyegaran udara

$$Perhitungan\ (2.7.2.1 + 2.7.2.2 + 2.7.2.3 + 2.7.2.4) \times faktor\ beban\ kalor\ tersimpan....^8$$

⁶ Ibid, halaman 31

⁷ Ibid, halaman 31

Faktor beban kalor tersimpan. Dalam perhitungan beban kalor dari suatu ruangan yang didinginkan, tetapi sebelumnya mengalami pemanasan oleh matahari, beban kalor sensibel dari ruangan bagian tepi gedung haruslah ditambah dengan 10% - 20%.

2.7.3 Beban Kalor Laten Daerah Parimeter (tepi)

Beban kalor laten oleh infiltrasi dapat dirumuskan :

$$\text{Vol ruang (m}^3\text{)} \times \text{jml ventilasi alamiah, } Nn \times 597,3 \text{ kcal/kg} \times w \text{ (kg/kg')} \dots^9$$

Jumlah ventilasi alamiah dapat dilihat pada lampiran 3 Jumlah penggantian 597,3 kcal/kg merupakan kalor laten penguapan.

w (kg/kg') Selisih kelembaban di dalam dan di luar ruangan.

2.7.4 Beban Kalor Sensibel Daerah Interior

2.7.4.1 Beban kalor dari partisi langit-langit dan lantai

Dapat dirumuskan :

$$\text{Luas kompartemen langit-langit atau lantai (m}^2\text{)} \times \text{koefisien transmisi kalor dari kompartemen langit-langit atau lantai, } K \text{ (kcal/ m}^2\text{jam. } ^\circ\text{C)} \times \text{selisih temperatur dalam dan luar ruangan, (} ^\circ\text{C)} \dots^{10}$$

2.7.4.2 Beban kalor sensibel karena adanya sumber kalor interior

a) Beban Orang

Dapat dirumuskan :

$$\text{Jml orang} \times \text{kalor sensibel manusia (kcal/ jam.orang)} \times \text{faktor kelompok} \dots^{11}$$

⁸ Ibid, halaman 31

⁹ Ibid, halaman 31

¹⁰ Ibid, halaman 31

Jika tidak diketahui jumlah orang dalam ruangan dapat dilihat pada Penyegaran Udara, halaman 63, tabel 3.18. sedangkan kalor sensibel dari orang dapat dilihat pada Penyegaran Udara, halaman 64, table 3.19 jumlah kalor sensibel, kalor laten dari orang dan faktor kelompok. Untuk faktor kelompok wanita haruslah dipakai faktor kelompok laki-laki dewasa dikali 0,82, sedang untuk anak - anak dikali 0,75.

b) Beban peralatan

Dapat dirumuskan :

*Peralatan, Kw x kalor sensibel peralatan, kcal / Kw x faktor penggunaan peralatan....*¹²

2.7.5 Beban Kalor Laten Daerah Interior

2.7.5.1 Beban kalor laten oleh sumber penguapan (orang)

Dapat dirumuskan :

*Jml orang x kalor laten manusia (kcal/ jam.orang) x faktor kelompok....*¹³

Kalor laten dari orang dapat dilihat Penyegaran Udara, halaman 64, table 3.19 jumlah kalor sensibel, kalor laten dari orang dan faktor kelompok. Untuk faktor kelompok wanita haruslah dipakai faktor kelompok laki-laki dewasa dikali 0,82, sedang untuk anak-anak dikali 0,75.

¹¹ Ibid, halaman 31

¹² Ibid, halaman 31

¹³ Ibid, halaman 32

2.7.6 Beban Kalor Sensibel Mesin

2.7.6.1 Beban kalor sensibel udara oleh udara luar masuk

Dapat dirumuskan :

Jml udara (m^2/jam) : volume spesifik udara luar (m^3/kg') \times 0,24 kcal/kg' $^{\circ}C$ \times selisih temperatur dalam dan luar ($^{\circ}C$)¹⁴

Jumlah pemasukan udara luar yang diperlukan tergantung pada jenis kegiatan yang ada, dan ini dapat dilihat pada Wiranto A. & Heizo Saito Penyegaran Udara, halaman 65, tabel 3.23 (lampiran 4 Udara luar masuk ruang penyegaran). Volume spesifik udara luar dapat dilihat pada diagram psikometrik.

2.7.6.2 Tambahan kalor sensibel udara oleh motor kipas udara

Dapat dirumuskan :

Daya kipas (Kw) \times 0,860 kcal/Kw \times efisiensi kipas....¹⁵

Efisiensi kipas dari penyegar udara biasanya adalah 0,8.

2.7.6.3 Beban kalor sensibel ruangan total

Dapat dirumuskan :

Total Perhitungan 2.7.2 + total perhitungan 2.7.4....¹⁶

Merupakan jumlah dari total kalor sensible daerah parimeter dan total kalor sensibel daerah interior.

¹⁴ Ibid, halaman 32

¹⁵ Ibid, halaman 32

¹⁶ Ibid, halaman 32

2.7.6.4 Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara

Dapat dirumuskan :

Perhitungan (2.7.6.1 + 2.7.6.2 + 2.7.6.3) x faktor kebocoran saluran udara....¹⁷

Faktor kebocoran saluran udara pada saluran lingkaran dapat dianggap 0, sedangkan faktor kebocoran saluran udara untuk saluran segi empat kira-kira 0,1 dan 0,2.

2.7.7 Beban Kalor Laten Mesin

2.7.7.1 Beban kalor laten oleh udara luar masuk

Dapat dirumuskan :

$$Jml\ udara\ luar\ masuk\ (m^3/jam) \times \frac{597,3\ kcal / kg}{vol\ spesifik\ (m^3/kg')} \times w\ (kg/kg') \dots^{18}$$

Jumlah pemasukan udara luar dapat dilihat pada Wiranto A. & Heizo Saito Penyegaran Udara, halaman 65, tabel 3.23 (lampiran 4 Udara luar masuk ruang penyegaran).

Selisih Perbandingan kelembaban rata-rata sepanjang hari (w) yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 Kondisi Udara Dalam Ruangan.

2.7.7.2 Beban kalor laten ruangan total

Dapat dirumuskan :

$$Total\ perhitungan\ 2.7.3 + perhitungan\ 2.7.5 \dots^{19}$$

¹⁷ Ibid, halaman 32

¹⁸ Ibid, halaman 32

¹⁹ Ibid, halaman 32

Merupakan jumlah dari total kalor laten daerah parimeter dan total kalor laten daerah interior.

2.7.7.3 Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara

Dapat dirumuskan :

*Total perhitungan (2.6.7.1 + 2.6.7.2) x faktor kebocoran saluran udara*²⁰

Faktor kebocoran saluran udara untuk saluran segi empat kira-kira 0,1 dan 0,2.

2.7.8 Beban Pendinginan Keseluruhan

Dapat dirumuskan :

Jumlah beban kalor sensibel mesin (2.7.6) + Jumlah kalor laten mesin (2.7.7)

*.....*²¹

2.8 Proses Psikometri

Psikometri merupakan kajian tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air, yang mempunyai arti penting di dalam bidang teknik pengkondisian udara karena udara atmosfer tidak kering betul tetapi merupakan campuran antara udara dan uap air. Pada beberapa proses pengkondisian udara, kandungan air sengaja disingkirkan dari udara, tetapi pada proses yang lain, air ditambahkan.

Pada beberapa alat terdapat proses perpindahan kalor dan massa antara udara dan permukaan bagian yang basah. Sebagai contohnya adalah beberapa jenis alat pelembab udara (*humidifier*), penurunan kelembaban (*dehumidifying*) dan oil pendingin serta peralatan penyemprot air (*water spray*), seperti menara

²⁰ Ibid, halaman 32

²¹ Ibid, halaman 32

pendingin dan kondensor penguapan. Dengan menggunakan potensial entalpi, yang akan dibahas dalam bab ini, beberapa hubungan yang mudah untuk menentukan laju perpindahan kalor dapat dikembangkan. Pertama-tama akan dibahas tentang bahan bagan psikometrik, pengkajian sifat demi sifat, yang kemudian diikuti dengan pembahasan tentang proses pengkondisian udara secara umum. Untuk dapat menghitung jumlah udara yang diperlukan dan temperatur udara pada setiap sisi dan menggambarkan proses pengkondisian udara secara umum.

Untuk dapat menghitung jumlah udara yang diperlukan dan temperatur udara pada setiap sisi dan menggambarkan proses pengkondisian udara pada grafik psikometrik, setelah mengetahui besarnya beban pendingin diketahui adalah dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

Faktor Panas Sensibel Ruangan :

$$RSHF = \frac{RSH}{RTH} \dots^{22}$$

Faktor Panas Sensibel Efektif:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERTH} \dots^{23}$$

Faktor Panas Sensibel Total :

$$GSHF = \frac{TSH}{GTH} \dots^{24}$$

Jumlah udara yang dikondisikan di peralatan (cfmda)

$$cfmda = \frac{TSH}{1.08 \times (T_{edb} - T_{ldb})} \dots^{25}$$

²² Carrier Air Conditioning Company, 1965. Hand Book of Air Conditioning System Design, Mcgraw Hill, Inc: USA. halaman 150

²³ Ibid halaman 150

²⁴ Ibid halaman 150

Jika diasumsikan $c_{fmsa} = c_{fmda}$ maka temperatur udara supply,

T_{sa} adalah:

$$T_{sa} = T_{rm} - \frac{RSH}{1.08 \times C_{fmsa}} \dots^{26}$$

2.8.1 Diagram Psikometrik dan Sifat Udara Basah

Sifat termal dari udara basah pada umumnya ditunjukkan dengan menggunakan diagram psikometrik. Seperti pada gambar 2.10. dalam hal tersebut dipakai beberapa istilah dan symbol antara lain sebagai berikut:

a) Temperatur bola kering (DB)

Temperatur tersebut dapat dibaca pada thermometer dengan sensor kering dan terbuka. Namun, penunjukan tidaklah tepat karena adanya pengaruh radiasi panas, kecuali jika sensornya memperoleh ventilasi yang cukup baik.

b) Temperatur bola basah (WB)

Dalam hal ini digunakan thermometer dengan sensor yang dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas. Namun perlu diperhatikan bahwa melalui sensor harus terjadi aliran udara sekurang-kurangnya 5 m/s.

c) Perbandingan Kelembaban (W)

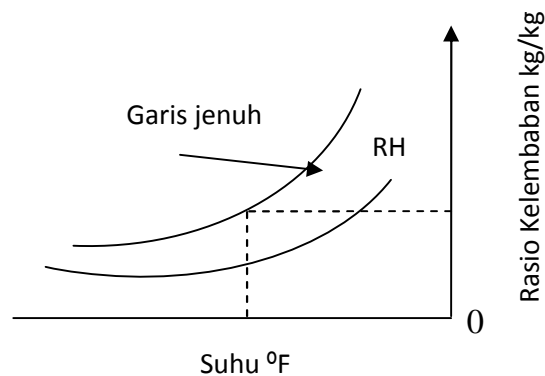
Kelembaban spesifik atau ratio kelembaban (W), dinyatakan dalam besaran masa uap air yang terkandung di udara per satuan masa udara kering yang diukur dalam gram per kilogram dari udara kering (gr/kg) atau **grain/Lb**. Pada tekanan barometer tertentu, kelembaban spesifik merupakan fungsi dari suhu titik embun. Tetapi karena penurunan tekanan barometer menyebabkan volume per

²⁵ Ibid, halaman 151

²⁶ Ibid, halaman 150

satuan masa udara naik, maka kenaikan tekanan barometer akan menyebabkan kelembaban spesifik menjadi turun. Hal ini dinyatakan dengan persamaan:

$$W = 0,622 \frac{P_v}{P_t - P_v} \dots^{27}$$



Gambar 2.12 Rasio Kelembaban (W.F.Stoecker.at.all.1996)

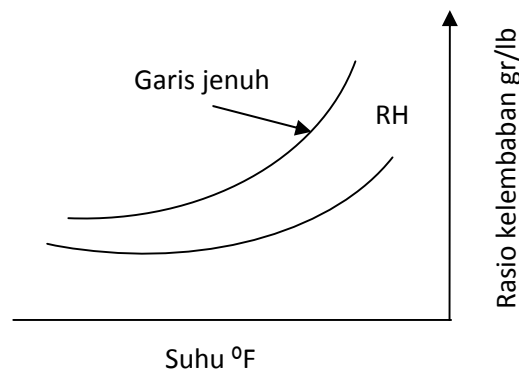
d) Kelembaban Relatif (RH)

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:

$$RH = \frac{P_v}{P_{sat}} \dots^{28}$$

²⁷ W. F. Stoecker, 1996, *Refrigrasi dan Pengkondisian Udara*, Edisi kedua, Erlangga: Jakarta. Halaman 41.

²⁸ *Ibid*, halaman 40

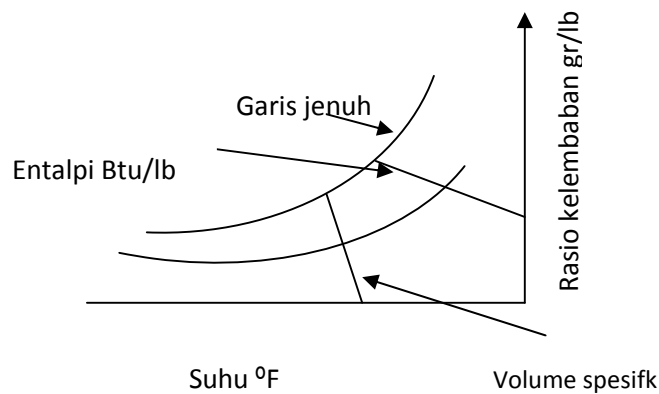


Gambar 2.13 Kelembaban Relatif (W.F.Stoecker.at.all.1996)

e) Volume Spesifik (v)

Volume spesifik adalah volume udara campur dengan satuan meterkubik perkilogram udara kering. Dapat juga dikatakan sebagai meterkubik campuran udara kering, karena volume yang diisi oleh masing-masing substansi, sama. Hal ini dinyatakan dengan persamaan:

$$v = \frac{R_a T}{P_a} \dots \dots \dots^{29}$$

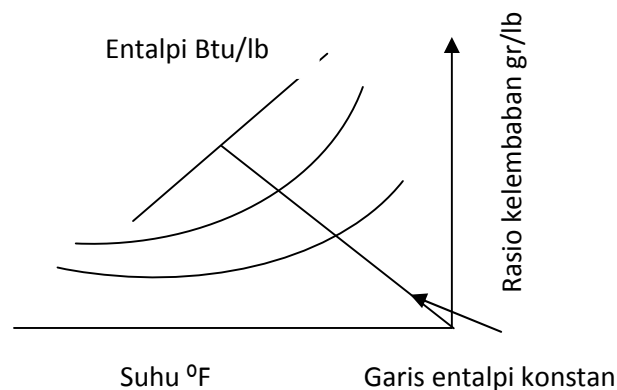


Gambar 2.14 Garis Volume Spesifik Konstan (W.F.Stoecker.at.all.1996)

²⁹ Ibid, halaman 43

f) Entalpi (h)

Entalpi adalah energi kalor yang dimiliki oleh suatu zat pada suatu temperatur tertentu. Apabila proses dengan tekanan tetap diatas ditambahkan batasan dengan meniadakan kerja yang dilakukan terhadap bahan, misalnya pada sebuah kompresor maka jumlah kalor yang diberikan atau dilepaskan persatuan massa *adalah* perubahan entalpi dari bahan itu. Tabel dan grafik untuk berbagai bahan sudah tersedia. Nilai entalpi ini didasarkan pada sejumlah bidang datar data yang dipilih secara bebas. Sebagai contoh, bidang datar data untuk air dan uap air (steam) adalah suatu nilai entalpi bagi air pada suhu 0 °C . Berdasarkan pada bidang datar tersebut entalpi air pada suhu 100 °C adalah 419,06 kJ/kg dan uap air pada (steam) pada 100 °C adalah 2676 kJ/kg. Berikut gambar 2.5.

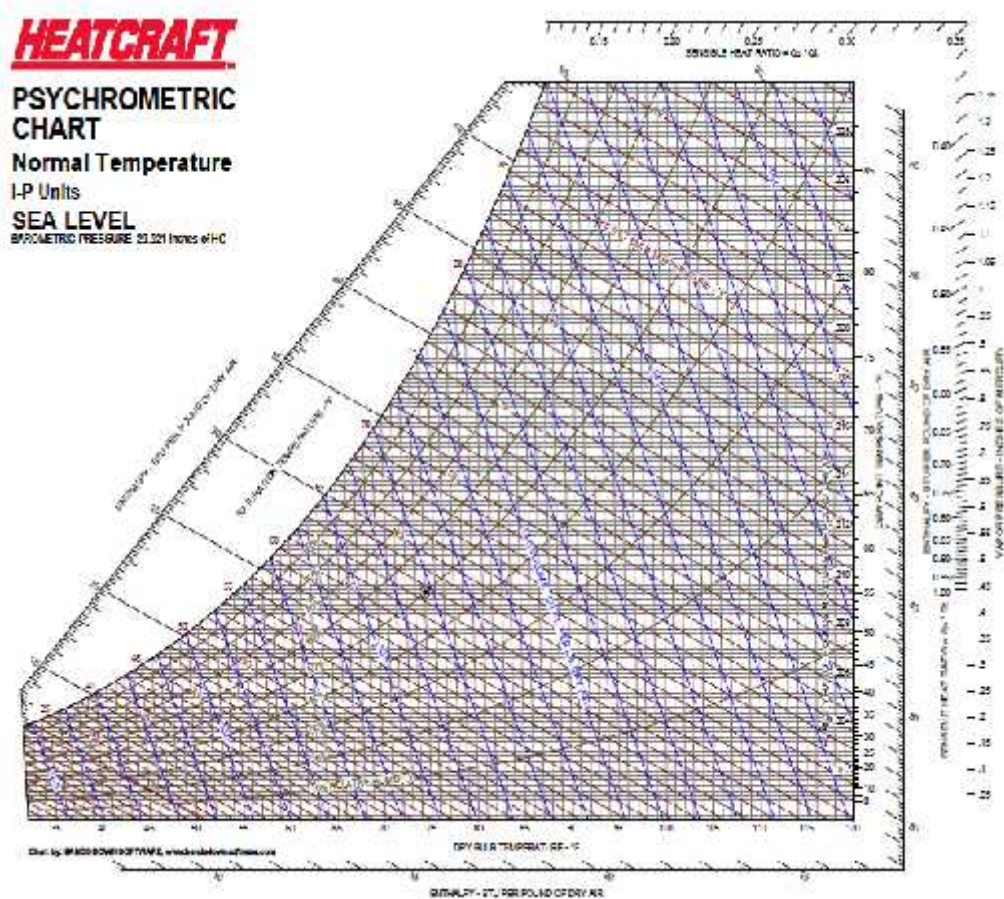


Gambar 2.15 Garis Entalpi Konstan (W.F.Stoecker.at.all.1996)

g) Tekanan (p)

Tekanan adalah gaya normal (tegak lurus) yang diberikan oleh suatu fluida persatuan luas benda yang terkena gaya tersebut. Tekanan absolut adalah tekanan diatas nol (tekanan yang sebenarnya yang berada diatas nol) tekanan pengukuran

(*gauge pressure*) diukur atas tekanan atmosfer suatu tempat (nol tekanan pengukuran = tekanan atmosfer ditempat atmosfer tersebut). Satuan yang dipakai untuk tekanan adalah newton per meter kuadrat (N/m), juga disebut pascal (Pa). Newton adalah satuan gaya. Tekanan atmosfer standart adalah $1,01325 \times 10^5$ N/m². Tekanan dapat diukur dengan dengan instrument seperti teraukur tekanan (*pressure gauges*) atau manometer yang diperlihatkan secara skematik, dipasang pada suatu saluran udara. Oleh karena salah satu ujung manometer terbuka ke atmosfer maka, pergeseran muka air dalam manometer hanya menunjukkan tekanan pengukuran.



Gambar 2.16 Diagram Psikometrik