

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Umum

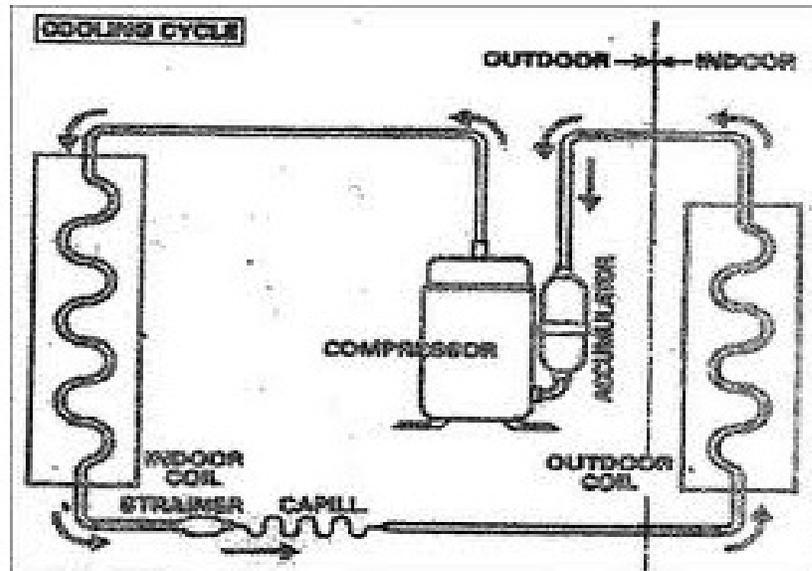
Air Conditioning (AC) atau alat pengkondisi udara merupakan modifikasi pengembangan dari teknologi mesin pendingin. Alat ini dipakai bertujuan untuk memberikan udara yang sejuk dan menyediakan uap air yang dibutuhkan bagi tubuh. Untuk negara beriklim tropis yang terdiri dari musim hujan dan musim panas, pada saat musim panas suhu ruangan tinggi sehingga penghuni tidak nyaman. 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 survey 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 kelembapan udara.

Di dalam ruang Pengajaran Umum, untuk merencanakan penggunaan Air Conditioning (AC) perubahan pembebanan terjadi pada peralatan yang menghasilkan kalor seperti: lampu, komputer. Selain itu faktor manusia dan kecepatan udara yang masuk ke dalam 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 (refrigerant), jadi refrigerant yang masuk ke dalam kompresor AC dialirkan ke kondensator yang kemudian dimampatkan di kondensator. Di bagian kondensator ini refrigerant yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigerant fase uap menjadi refrigerant fase cair, maka refrigerant mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung di dalam refrigerant. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondensator adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondensator tekanan refrigerant yang berada dalam pipa-pipa kondensator relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigerant yang berada pada pipa-pipa evaporator.

Prinsip pendinginan udara pada AC melibatkan siklus refrigerasi, yakni udara didinginkan oleh refrigerant / 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. Prinsip kerja mesin pendingin ruangan ditunjukkan pada Gambar 2.1.

2.3 Jenis-Jenis Pendingin Ruangan

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

1) AC Split

Pada AC jenis split komponen AC dibagi menjadi dua unit yaitu unit indoor yang terdiri dari filter udara, evaporator dan evaporator blower, ekspansi valve dan control 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 refrigerant, 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 di dalam ruangan tidak berisik.

Kekurangan AC Split :

- Pemasangan pertama maupun pembongkaran apabila akan dipindahkan membutuhkan tenaga yang terlatih.

- Pemeliharaan / perawatan membutuhkan peralatan khusus dan tenaga yang terlatih.
- Harganya lebih mahal.

2) AC Window

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

Kelebihan AC window :

- Pemasangan 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 ke tempat terbuka supaya udara panas dapat dibuang ke alam bebas.

3) AC Sentral

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

Kelebihan AC sentral :

- Suara di dalam 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.

4) 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, refrigerant 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 refrigerant yang bertekanan rendah ditarik masuk melalui katup hisap yang terletak

pada piston atau di kepala kompresor. Pada saat langkah buang, piston menekan refrigerant 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 3 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, 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 diluar pipa dan air mengalir dibagian dalam pipa pada arah yang berlawanan. Double tube digunakan dalam hubungan dengan cooling tower dan spray pond.

c. Evaporative Condensor

Refrigeran pertama kali melepaskan kalorya 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 dipabrikamoniak.

Kondensor yang digunakan disini adalah jenis water cooled kondensor tipe shell and tube, karena lebih mudah dalam menganalisa temperatur jika dibandingkan dengan Air cooled

Kondensor 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, refrigerant cair diinjeksikan keluar melalui *orifice*, refrigerant segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperaturnya rendah.

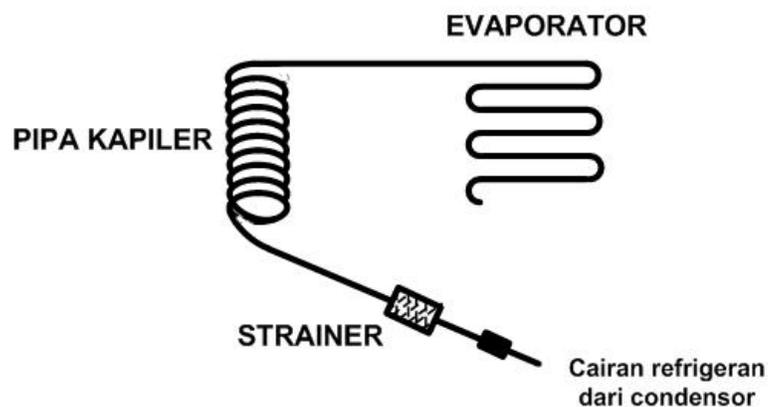
Selain itu, katup ekspansi juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi :

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.

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 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 refrigeran dari mesin refrigerasi yang bersangkutan.

Konstruksi pipa kapiler 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. Pipa kapiler ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pipa Kapiler(Sunyoto,2010)

2.4.4 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 disekeliling 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 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 refrigeran diantara 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 refrigerant.

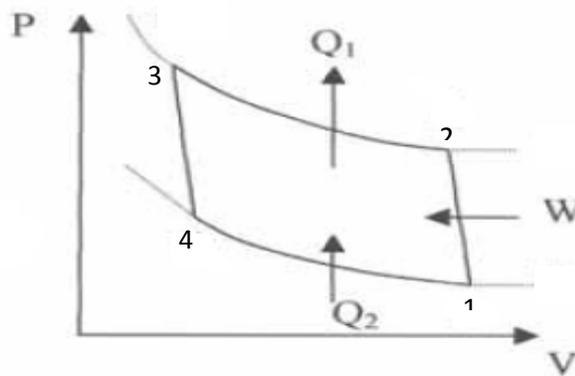
Perpindahan Kalor di dalam Evaporator

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 2.3.



Gambar 2.3. Daur refrigerasi carnot(Sunyoto,2010)

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 Siklus Kompresi Uap Standar (Teoritis)

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

1. Proses Kompresi

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

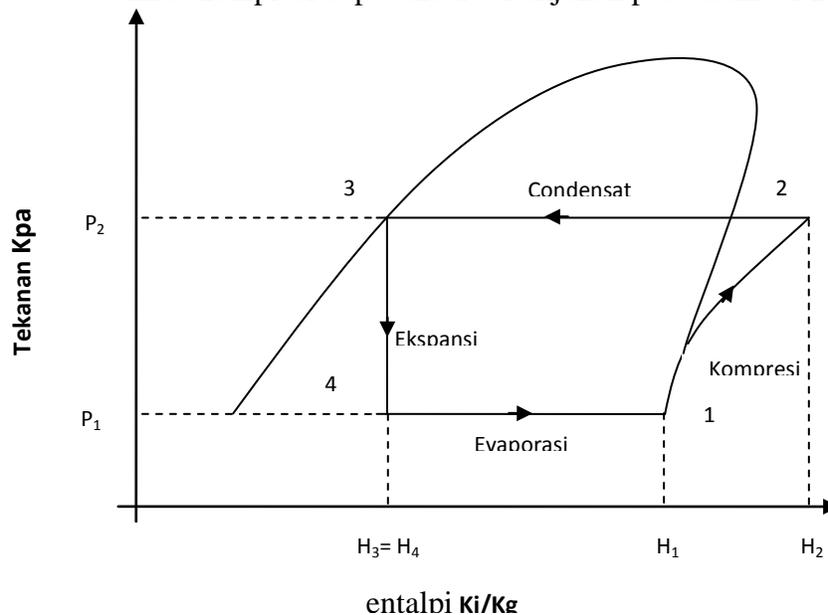
Proses 2-3 merupakan proses kondensasi yang terjadi pada kondensor, uap panas refrigeran dari kompresor didinginkan oleh air sampai pada temperatur kondensasi, kemudian uap tersebut dikondensasikan. Pada titik 2 refrigeran pada kondisi uap jenuh pada tekanan dan temperatur kondensasi. Proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah panas yang dipindahkan selama proses ini adalah bedaentalpi 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 waktu 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 dimana 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 bedaentalpi titik 1 dan titik 4 biasa disebut dengan efek pendinginan. Tekanan entalpi siklus kompresi uap standart ditunjukkan pada Gambar 2.4.

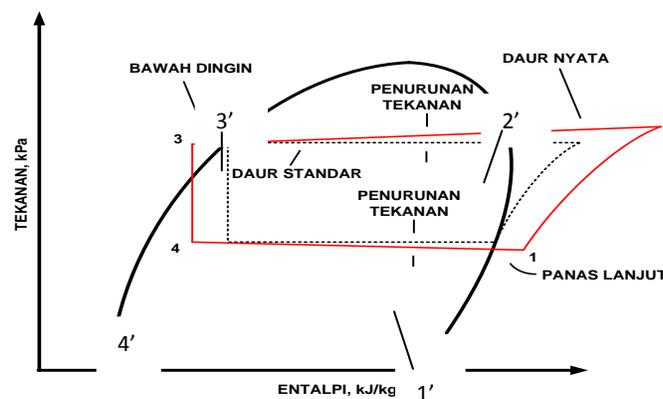


Gambar 2.4. Diagram tekanan entalpi siklus kompresi uap standar
(Sunyoto,2010)

2.5.3 Siklus Kompresi Uap Aktual

Siklus kompresi uap yang sebenarnya (aktual) berbeda 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 digunakan atau dapat juga karena penyerapan panas di jalur 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 (Sunnyoto,2010)

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.

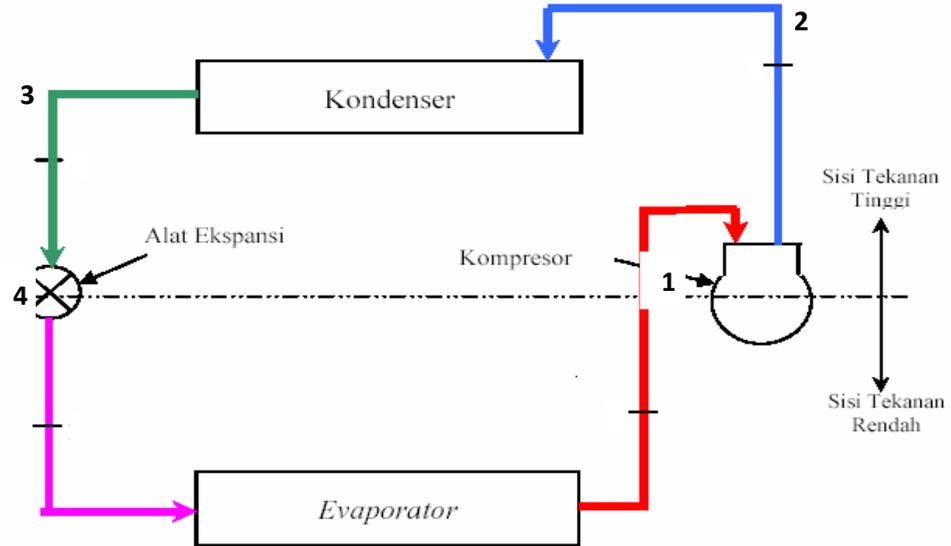
2.6 Klasifikasi Sistem Refrigerasi

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

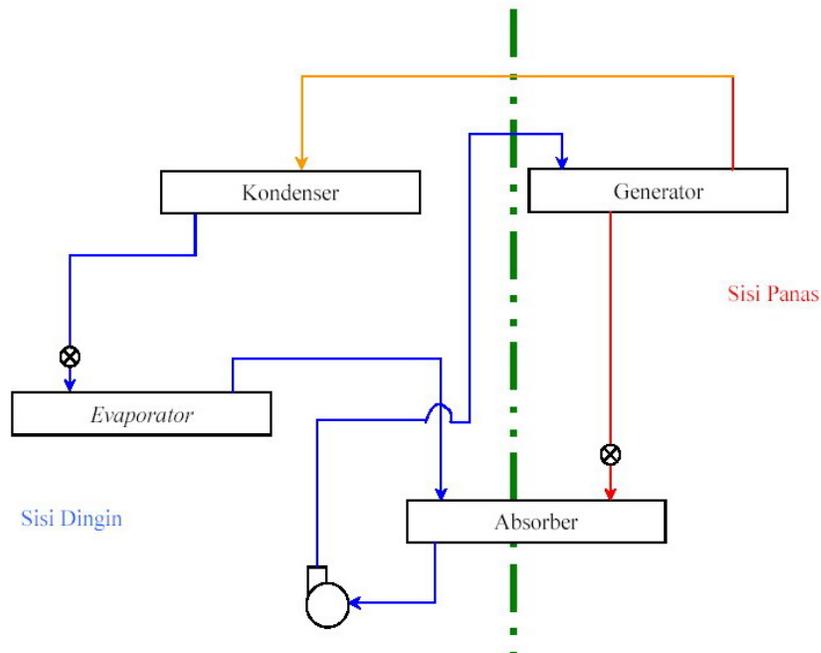
Siklus refrigerasi kompresi mengambil keuntungan dari kenyataan bahwa fluida yang bertekanan tinggi pada suhu tertentu cenderung menjadi lebih dingin jika dibiarkan mengembang. Jika perubahan tekanan cukup tinggi, maka gas yang ditekan akan menjadi lebih panas dari pada sumber dingin di luar (contoh 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(Sunyoto,2010)

2.6.2 Sistem Refrigerasi Absorpsi

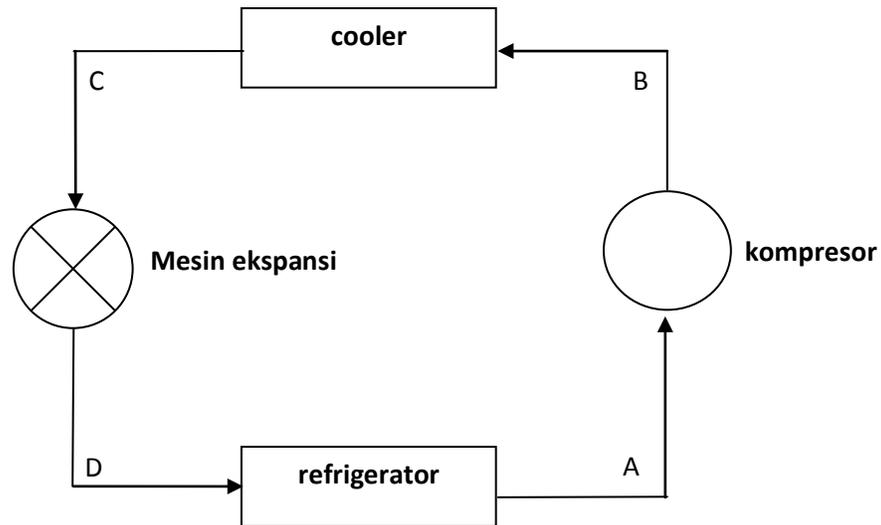
Dalam siklus refrigerasi absorpsi, dipergunakan penyerap untuk menyerap refrigeran yang diuapkan di dalam evaporator sehingga menjadi suatu larutan absorpsi. Kemudian, larutan absorpsi tersebut dimasukkan ke dalam sebuah generator untuk memisahkan refrigeran dari larutan absorpsi tersebut dengan cara 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 absorbs (Sunyoto,2010)

2.6.3 Sistem Refrigerasi Udara

Pada siklus ini, udara bertindak sebagai refrigerant, yang menyerap panas pada tekanan konstan P_1 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.



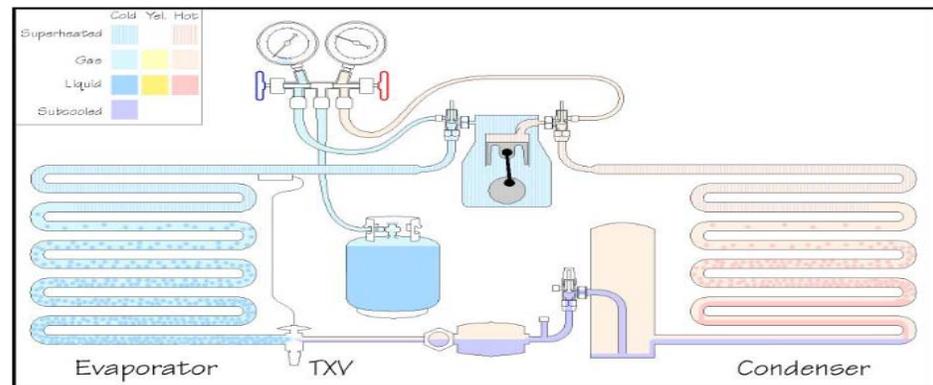
Gambar 2.8. Sistem refrigerasi udara (Sunyoto,2010)

2.6.4 Pengisian Refrigeran

Pengisian refrigeran kedalam sistem harus dilakukan dengan baik dan jumlah refrigeran yang diisikan 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 diisikan sedikit, dengan kata lain kurang dari yang ditentukan, maka sistem akan mengalami kekurangan pendinginan. Pemasangan Manifold untuk pengisian refrigeran ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Sebaik mungkin dan karena proses pengisian refrigeran ke dalam sistem ada beberapa cara, diantaranya yaitu:

- 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 s/d + 10°C), pemakaiannya pada suhu sedang dan rendah, Titik didih -41,4 °F (-40,8°C) pada tekanan 1 atmosfer, tekanan penguapan 28,3 psig pada 5 °F dan tekana kondensasi 158,2 psig pada 86 °F, kalor laten uap 100,6 Btu/lb pada titik didih.Keunggulan R22 dibanding R12 adalah :

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 ukuranya.
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 dipakai pada sistem refrigerasi dan air conditioning seperti: Besi, Tembaga, Aluminium, Kuningan, Baja tak berkarat, las perak, timah solder, babbit.R22 mempunyai kemampuan menyerap air tiga kali lebih besar daripada R12, jarang sekali terjadi pembekuan air di evaporator pada sistem yang memakai R22. Ini bukan merupakan keuntungan karena

didalam 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.

Didalam ruang Pengajaran Umum 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 dan lampu) karena beban infiltrasi ruangan. Dinding yang terbuat dari bahan triplek dan kaca tidak terdapat beban kalor karena tidak terkena panas radiasi matahari. Sedangkan beban kalor laten antara lain: penghuni (orang) dan beban kalor pada infiltrasi ruangan.

Sebelumnya ditentukan dulu kondisi ruangan perancangan sebelum melakukan perhitungan beban kalor dari ruangan tersebut.

2.7.1 Kondisi perancangan

Luas lantai	: 9,38 m ²
Volume ruangan	: 28 m ³
Nama bulan Perancangan	: Juni

Tabel 2,1 Kondisi Ruangan

	Temperatur bola kering	Perubahan temperature	Temperatur bola basah	Kelembaban relatif (RH)	Perbandingan kelembaban rata - rata sepanjang hari
Temperatur di dalam ruangan	26°C	-	-	50%	0,0105Kg/kg
Temperatur di luar ruangan	32°C	8°C	-	-	0,020Kg/kg

Tabel 2.2 Temperatur udara luar dan jumlah radiasi matahari sepanjang hari

Waktu pukul	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Temperatur luar (°C)				-	-	-	-	-	-	-
Radiasi matahari (kcal/m ² h)				-	-	-	-	-	-	-

Dalam perhitungan berikut ini hanya dipergunakan harga pada waktu dalam ruangan terjadi beban maximum. Dalam hal tersebut, biasanya dipakai harga-harga seperti dibawah ini.

Bagian Timur –Pukul 9 sampai 11

Bagian Selatan –Pukul 12 sampai 14

Bagian Barat –Pukul 16 sampai 18

Tetapi untuk ruangan dengan atap 2 sampai dengan 3 jam lebih lambat

Untuk menentukan harga-harga temperatur bola kering, perubahan temperatur harian, tempertur bola basah, kelembaban relatif, perbandingan kelembaban rata-rata dapat dilihat pada lampiran A.1.

Untuk menentukan temperatur udara luar dapat menggunakan rumus

$$t_o = \text{torancangan} - \frac{\Delta t}{2} + \frac{\Delta t}{2} \cos 15 (\tau - \gamma) \dots (1)^1$$

t_o = temperatur udara luar sesaat °C

$t_{o \text{ rancangan}}$ = temperatur udara luar untuk perancangan °C

Δt = perubahan temperatur harian °C

τ = waktu penyinaran matahari. (dalam persamaan ini, pukul 12 siang adalah 0, pagi hari A.M adalah negatif, dan siang hari P.M adalah positif; sedangkan besarnya dinyatakan sampai satu angka desimal, misalnya pukul setengah sepuluh pagi dinyatakan sebagai -2,5).

γ = saat terjadinya temperatur maksimal (± 2)

sedangkan untuk menentukan harga besarnya radiasi matahari dapat dicari dengan rumus berikut

$$\sin h = \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos 15 \tau \dots (2)$$

$$\cos A = \frac{\sin h \sin \psi - \sin \delta}{\cos h \cos \psi} \dots (3)$$

(1)Penyegaran Udara Wiranto Arismunandar,halaman 34

(2) Ibid, halaman 39

(3) Ibid, halaman 39

h = ketinggian matahari

ψ = kedudukan garis lintang (lintang utara adalah positif, dan lintang selatan adalah negatif)

δ = deklinasi matahari, lihat lampiran B.1.

τ = waktu penyinaran matahari. (dalam persamaan ini, pukul 12 siang adalah 0, pagi hari A.M adalah negatif, dan siang hari P.M adalah positif, sedangkan besarnya dinyatakan sampai satu angka desimal, misalnya pukul setengah sepuluh pagi dinyatakan sebagai -2,5). Setelah nilai h atau ketinggian matahari didapat maka besarnya nilai radiasi matahari tak langsung dapat dicari pada gambar lampiran J.2.

$$J_B = 1164 \quad P^{\text{cosec } h} \cos h \cos B \quad \dots(4)$$

dengan nilai h tersebut dan $P = 0,6$. Untuk dinding sebelah timur, radiasi matahari total yang diterima adalah $J_B +$ (radiasi matahari tak langsung $\div 2$) ($\text{kcal/m}^2 \text{ h}$) $\dots(5)$

2.7.2 Beban Kalor Sensibel Daerah Tepi

a. Beban kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui jendela

Dengan rumus (Luas jendela $/\text{m}^2$) x (Jumlah radiasi matahari $/\text{Kcal/m.h}$) x (Faktor transmisi jendela) x (Faktor bayangan) = Kcal/h $\dots(6)^2$

Jumlah radiasi melalui jendela adalah hasil jumlah radiasi total yang diperoleh dalam kondisi perancangan. Faktor transmisi radiasi matahari melalui jendela dapat dilihat pada lampiran B.2.

(4) Ibid, halaman 37

(5) Ibid, halaman 42

(6) Ibid, halaman 30

Faktor bayangan dari jendela. Apabila sebuah jendela atau jendela-jendela dibayangi oleh gedung atau tepi atapnya sendiri, maka tidak semua panas matahari masuk ke dalam ruangan, jadi jumlah radiasi yang masuk ke dalam menjadi lebih kecil. Sebaliknya apabila jendela ruangan berhadapan dengan benda lain yang memantulkan cahaya, maka perlu menambahkan 10-30% dari radiasi langsung dalam perhitungan beban kalor.

b. *Beban transmisi kalor melalui jendela*

Dengan rumus (Luas jendela m²) x (Koefisien transmisi kalor melalui jendela K, kcal/m² h °C) x (selisih temperatur interior dan exterior °C)
= kcal/h(7)³

Koefisien transmisi melalui jendela dapat dilihat pada lampiran C.1.

Selisih temperatur interior dan exterior adalah selisih temperatur interior rancangan dengan temperatur exterior rancangan.

c. *Beban Infiltrasi Kalor Sensibel*

Dengan rumus { (Volume ruangan x Jumlah penggantian ventilasi alamiah) – Jumlah udara luar } x $\frac{0,24}{\text{volume spesifik}}$ x (Selisih temperature exterior dan interior ,°C) = kcal/h (8)

Jumlah penggantian udara ventilasi alamiah dapat diperoleh dengan membagi jumlah udara yang masuk karena adanya gaya alamiah misalnya angin oleh volume ruangan. Jumlah penggantian udara dalam ventilasi alamiah dapat ditunjukkan padalampiran C.2.

(7) Ibid, halaman 30

(8) Ibid, halaman 31

$\frac{0,24}{\text{volume spesifik}}$, oleh karena 0,24 adalah kalor spesifik dari 1 kg udara, maka jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 m³ udara ruangan sebesar 1 °C dapat diperoleh dengan membagi 0,24 oleh volume spesifik udara luar tersebut.

d. *Beban Transmisi Kalor Melalui Dinding dan Atap*

Dengan rumus (luas dinding m²) x (Koefisien mission transmisi kalor dari dinding K, (kcal/m² h °C) x (Selisih temperatur ekivalen dari radiasi matahari + Selisih temperatur ekivalen dari temperatur atmosfer °C) = kcal/h(9)⁴

Dan (Luas atap m²) x (Koefisien transmisi kalor K dari atap kcal/m² h °C) x (Selisih temperatur ekivalen dari radiasi matahari + Selisih temperatur ekivalen dari temperatur atmosfer °C) = kcal/h(10)

Koefisien transmisi kalor dari dinding dan atap dapat dilihat dari lampiran C.3 dan D.1.

Harga-harga selisih temperatur ekivalen (ETD_{matahari}) dari radiasi matahari pada dinding atau atap dapat dilihat pada lampiran E.1.

Selisih temperatur ekivalen dari temperatur atmosfer (ETD udara) dapat dihitung dengan rumus

$$\text{ETD udara} = t_{\text{r ranc}} - \frac{\Delta t}{2} - t_{\text{r ranc}} + k \frac{\Delta t}{2} \cos 15 (-\gamma - \Gamma) \dots(11)$$

t_{r ranc}, t_{o ranc} dan Δt dapat diperoleh dari lampiran A.1 dan J.1.

k = faktor amplitudo, dapat dicari dari gambar lampiran F.1.

(9) Ibid, halaman 31
 (10) Ibid, halaman 31
 (11) Ibid, halaman 61

Γ = waktu kelambatan, dapat dicari dari gambar lampiran F.1.

γ = selisih waktu antara saat terjadinya kulminasi dan saat dimana terjadi temperatur maximum (± 2)

τ = lama waktu matahari bersinar dinyatakan dalam jam (saat terjadinya kulminasi adalah 0; p.m dinyatakan negatif, dihitung dalam beberapa jam sebelum kulminasi, dan P.M dinyatakan dengan tanda positif)

15 = kecepatan sudut

- e. *Beban kalor tersimpan dari ruangan penyegaran udara (pendinginan) terputus-putus. Untuk keadaan dimana penyegaran udara dimulai 2 atau 3 jam sebelum waktu terjadinya beban kalor maximum yaitu $(a + b + c + d) \times$ faktor beban kalor tersimpan. ...⁽¹²⁾*

Dalam perhitungan beban kalor dari suatu ruangan yang akan didinginkan, tetapi yang 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)

- a. *Beban kalor laten oleh infiltrasi*

dapat dihitung dengan rumus $(\text{Volume ruangan m}^3) \times (\text{Jumlah ventilasi alamiah}) \times 597,3 \text{ kcal/kg} \times (\text{Selisih perbandingan kelembaban di dalam dan di luar ruangan kg/kg}')$ ⁽¹³⁾

Selisih antara perbandingan kelembaban udara di dalam dan di luar ruangan adalah selisih perbandingan kelembaban udara di dalam ruangan dan di luar ruangan terancang yang disebutkan di atas.

(12) Ibid, halaman 31

(13) Ibid, halaman 31

2.7.4 Beban Kalor Sensibel Daerah Interior

- a. *Beban dari koefisien transmisi kalor dari partisi lantai dan langit-langit*

$$(\text{Luas kompartemen } m^2) \times (\text{Koefisien transmisi kalor } K \text{ dari kompartemen } kcal/m^2 \text{ h } ^\circ C) \times (\text{Selisih temperatur dalam dan luar ruangan } ^\circ C) = kcal/h \quad \dots(14)$$

$$(\text{Luas langit-langit } m^2) \times (\text{Koefisien transmisi kalor } K \text{ langit-langit } kcal/m^2 \text{ h } ^\circ C) \times (\text{Selisih temperatur di dalam dan di luar ruangan } ^\circ C) = kcal/h \quad \dots(15)$$

Koefisien perpindahan kalor dan partisi, langit-langit, dan lantai koefisien perpindahan kalor dari dinding partisi, langit-langit, dan lantai dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$K=1/R_{total} \text{ (kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ C) \quad \dots(16)^6$$

R= tahanan perpindahan kalor dari lapisan material dinding ($m^2 \text{ h } ^\circ C$)

Namun, karena untuk R_{so} hendaknya tidak digunakan 0,05 seperti pada lampiran 10, melainkan 0,125, yaitu tahanan permukaan dalam ruangan. Pada umumnya, beban kalor dari lantai tanah diabaikan dalam perhitungan beban kalor. Nilai tahanan perpindahan kalor R untuk setiap bahan bangunan, dilihat pada lampiran G.1.

- b. *Beban kalor sensibel karena adanya sumber kalor interior*

$$(\text{Jumlah orang}) \times (\text{Kalor sensibel dari manusia } kcal/h \cdot \text{orang}) \times (\text{Koreksi faktor kelompok}) \quad \dots (17)^7$$

(14) Ibid, halaman 31

(15) Ibid, halaman 31

(16) Ibid, halaman 46

(17) Ibid, halaman 31

(Komputer kW) x 0,860 kcal/kW x Faktor penggunaan peralatan(18)

(Lampu neon kW) x 1,080 kcal/kW (19)

Harga-harga kalor sensibel dari manusia dalam ruangan dapat dilihat padalampiran H.1. (untuk orang amerika) dapat dipergunakan dalam perhitungan beban. Harga-harga tersebut berbeda sesuai dengan temperatur ruangan. Harga-harga tersebut dalam tabel harus dikalikan dengan faktor kelompok. Koreksi faktor kelompok, bagi wanita haruslah dipakai faktor kelompok pria dewasa kali 0,82; sedangkan bagi anak-anak, haruslah dipakai faktor kelompok pria dewasa kali 0,75. Faktor kelompok pria dewasa dapat diperoleh dengan membaginya dengan faktor kelompok tersebut pada lampiran H.1.

Faktor penggunaan peralatan haruslah diperhitungkan dengan seksama, sesuai dengan fungsinya masing-masing. Untuk peralatan berupa komputer dapat diambil nilai 1.

2.7.5 Beban Kalor Laten Daerah Interior

Tambahan kalor laten oleh sumber penguapan interior

(Jumlah orang) x (Kalor laten manusia kcal/h/orang) x (Koreksi faktor kelompok)(20)

Kalor laten dari orang yang ada dalam ruangan dapat dilihat pada lampiran H.1. perhatikan bahwa besarnya kalor laten tersebut juga tergantung dari temperatur. Demikian juga halnya dengan penggunaan jumlah orang dan faktor kelompok. Hendaknya memperhatikan petunjuk yang sama dengan penggunaan pada perhitungan kalor sensibel.

(18) Ibid, halaman 31

(19) Ibid, halaman 31

(20) Ibid, halaman 32

2.7.6 Beban Kalor Sensibel Mesin

a. *Tambahan kalor sensibel oleh udara luar masuk*

$$(\text{Jumlah pemasukan udara luar } m^3/h) \div (\text{Volume spesifik udara luar } m^3/h) \times (24 \text{ kcal/kg}) \times (\text{Selisih temperatur udara luar dan dalam } ^\circ\text{C}) \dots(21)^s$$

Jumlah pemasukan udara luar diperlukan tergantung pada jenis kegiatan yang ada, seperti ditunjukkan padalampiran H.2.

b. *Tambahan kalor sensibel oleh motor kipas udara*

$$(\text{Daya motor kipas udara kW}) \times 0,860 \text{ kcal/kW} \times (\text{Efisiensi kipas udara}) \dots(22)$$

Efisiensi kipas udara dari penyegar udara biasanya 0,80. Hubungan antara daya masuk,efisiensi kipas udara dan daya poros motor dapat dilihat pada lampiran I.1.

c. *Beban kalor sensibel ruangan total*

Adalah hasil penjumlahan antara beban kalor sensibel daerah perimeter total dan beban kalor sensibel daerah interior total(23)

d. *Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara*

$$(a + b + c) \times \text{Faktor kebocoran saluran udara} \dots(24)$$

Faktor kebocoran saluran udara dipergunakan apabila saluran udara, dari mesin penyegar udara ke ruangan yang akan disegarkan , melalui udara atmosfer. Faktor kebocoran tersebut tergantung cara dan kualitas pekerjaan pemasangannya. Faktor kebocoran dari saluran

(21) Ibid, halaman 32

(22) Ibid, halaman 32

(23) Ibid, halaman 32

(24) Ibid, halaman 32

lingkaran boleh dikatakan samadengan nol, sedangkan saluran segi empat kira-kira antara 0,1-0,2.

2.7.7 Beban Kalor Laten Mesin

a. *Beban kalor laten oleh udara luar masuk*

(Jumlah udara luar masuk quantity m^3/h) \div (Volume spesifik udara luar m^3/kg) \times (Selisih faktor pencampuran uap di dalam dan luar ruangan kg/kg) (25)⁹

b. *Beban kalor laten ruangan total*

Adalah hasil penjumlahan antara beban kalor laten daerah perimeter dan beban kalor laten daerah interior.(26)

c. *Kenaikan beban oleh kebocoran saluran udara*

(a + b) \times Faktor kebocoran saluran udara(27)

Jumlah antara beban kalor sensibel mesin total dan beban kalor laten mesin total adalah beban yang harus dipenuhi oleh mesin penyegar udara pada ruangan tersebut.

2.8 Perhitungan Jumlah Udara Penyegar Yang Diperlukan

Apabila temperatur dalam ruangan adalah t_r °C dan temperatur udara penyegar masuk adalah t_a °C, maka jumlah udara penyegar yang diperlukan

dapat dihitung dengan menggunakan rumus $G = \frac{Hs}{(tr-ta) \times 0,24}$ (kg/h)...(28)

(25) Ibid, halaman 32

(26) Ibid, halaman 32

(27) Ibid, halaman 32

(28) Ibid, halaman 21

G = jumlah aliran udara penyegar (kg/h)

H_s = beban kalor sensibel (kcal/h)

t_a = temperatur udara penyegar ($^{\circ}\text{C}$)

t_r = temperatur udara di dalam ruangan ($^{\circ}\text{C}$)

0,24 adalah volume spesifik udara (m^3/kg)

Temperatur udara penyegar atau temperatur udara keluar dari koil pendingin dapat dicari dari diagram psikrometrik dengan menggunakan nilai temperatur ruangan, temperatur luar ruangan, GSHF (*grand sensibel heat factor*) dan RSHF (*room sensible heat factor*). GSHF adalah perbandingan antara jumlah total kalor sensibel dengan jumlah kalor total (kalor sensibel mesin total + kalor laten mesin total), RSHF adalah perbandingan antara jumlah kalor sensibel ruangan dengan jumlah kalor ruangan (kalor sensibel ruangan + kalor laten ruangan). Grafik atau diagram seperti pada lampiran I.2.

2.9 Perhitungan Titik Embun Alat Penyegar Udara (Temperatur Koil)

Titik embun alat penyegar udara dapat dicari menggunakan diagram psycometrik dengan menggunakan nilai perbandingan kelembaban, nilai perbandingan kelembaban dapat dicari dengan rumus $X_a = X_r - \frac{H_L}{597,3 \times G}$

(kg/kg')(29)¹⁰

X_a = perbandingan kelembaban udara masuk koil atau perbandingan kelembaban percampuran udara luar dengan udara luar ruangan (kg/kg')

X_r = perbandingan kelembaban udara ruangan (kg/kg')

H_L = beban kalor laten (kcal/h)

G = jumlah aliran udara penyegar (kg/h)

(29) Ibid, halaman 22

Selanjutnya, dengan menggunakan nilai perbandingan kelembaban yang diperoleh dari rumus di atas, maka titik embun alat penyegar udara dapat dicari dengan diagram psycometrik. Seperti pada lampiran K.1.

Nilai temperatur udara masuk koil dapat dicari dengan diagram psikrometrik dengan menggunakan nilai GSHF, temperatur dalam dan luar ruangan seperti gambar pada lampiran L.1.