

MARKAS BESAR ANGKATAN LAUT
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI



BAHAN AJAR MESIN PENDINGIN

SURABAYA, JUNI 2017

DAFTAR ISI

BAB	HALAMAN
LEMBAR JUDUL..	1
DAFTAR ISI.....	2
RENCANA PEMBELAJARAN.....	4
BAB I PENDAHULUAN.....	5
1. Aplikasi Mesin pendingin.....	7
2. Pengertian Dasar.....	11
3. Mengenal Sistem Refrigerasi Kompresi Uap.....	13
4. Kompresi.....	13
5. Kondensasi.....	14
6. Ekspansi.....	14
7. Evaporasi...../.....	14
8. Jenis - jenis Mesin Pendingin.....	14
9. Refrigerator.....	15
10. Freezer.....	15
11. Air Conditioner (AC).....	15
BAB II DASAR TEORI MESIN PENDINGIN.....	16
1. Pendahuluan.....	16
2. Gaya dan Energi yang Terkandung dalam Benda.....	17
3. Massa dan Berat Jenis.....	17
4. Gravitasi Spesifik atau Berat Jenis Relatif.....	18
5. Massa dan Volume Zat yang Mengalir.....	18
6. Hukum Konservasi Energi.....	18
7. Energi Panas, Daya dan Perubahan Wujud Zat.....	18
8. Energi Panas dan Daya.....	19
9. Metode Pemindahan Panas.....	20
10. Satuan Panas.....	21
11. Panas Jenis.....	22
12. Panas Sensibel (Sensible Heat).....	22
13. Panas Laten (Latent Heat).....	23
14. Panas Laten Penguapan (Latent Heat of Vaporization).....	24
15. Panas Laten Pengembunan atau Kondensasi (Latent Heat of Condensation) ..	24

16. Panas Laten Pencairan atau Peleburan (Latent Heat of Fusion).....	24
17. Panas Laten Pembekuan (Latent Heat of Solidification).....	24
18. Suhu.....	24
19. Thermometer.....	25
20. Suhu Absolut.....	26
21. Tekanan.....	27

RENCANA PEMBELAJARAN

1. **Judul** : Mesin Pendingin.
2. **Tujuan Pelajaran** : Memberikan pengetahuan kepada para siswa tentang Mesin Pendingin dengan baik dan benar.
3. **Sasaran Pelajaran** : Selesai pelajaran ini diharapkan para siswa:
 - a. Mengetahui tentang teori dasar Mesin Pendingin secara umum
 - b. Memahami dasar-dasar mekanisme Mesin Pendingin kapal sehingga dapat melaksanakan SPT terhadap peralatan dan pesawat sesuai dengan buku panduan maintenance dan operasional dari pesawat
4. **Lama Pelajaran** :
 - a. Teori : 42 Jam Pelajaran.
 - b. Praktek : -
5. **Kepustakaan** :
 - a. ASHRAE Handbook.
 - b. Harington Roy L, (1991), *Marine Engineering*
 - c. ISO 8861, (1998), "*Shipbuilding – Engine-Room Ventilation in Diesel-Engined Ships – Design Requirements and Basis of Calculations*".
 - d. Stoker, (1995), *Refrigerasi dan Pendkondisian udara*

B A B I

PENDAHULUAN

1. Aplikasi Mesin Pendingin

Refrigerasi (pendinginan) adalah suatu sistem yang mengambil panas dari suatu benda atau ruangan yang bersuhu lebih rendah dari lingkungan alamiahnya. Bangsa Romawi dan Cina mengambil es dan salju untuk digunakan sebagai penyejuk udara saat musim panas. Bangsa Mesir meletakkan bejana air di atap rumah pada malam hari untuk mendinginkannya. Terlihat bahwa usaha untuk mendinginkan bahan atau udara telah ada sejak dahulu. Peradaban yang maju membuat teknik pendinginan semakin berkembang.

Terdapat dua bidang utama pendinginan yang saling terkait dalam pendinginan yaitu bidang refrigerasi dan pengkondisian udara. Aplikasi teknik pendinginan dapat dijumpai di berbagai bidang. Di bidang industri, pengkondisian udara digunakan untuk mendapatkan suhu dan kelembaban yang nyaman bagi pekerja.

Beberapa sistem dirancang untuk mendapatkan kondisi udara dimana debu hampir tidak ada (ruang steril) seperti pada industri elektronika. Industri percetakan perlu udara dengan tingkat kelembaban tertentu sehingga kertas tidak menggumpal dan tinta cepat kering. Kelembaban yang tinggi juga dapat menyebabkan terjadinya korsleting. Perkantoran dan perumahan saat ini umum menggunakan AC untuk menambah kenyamanan ruangan.



Gb.1.1. Contoh posisi part AC mobil

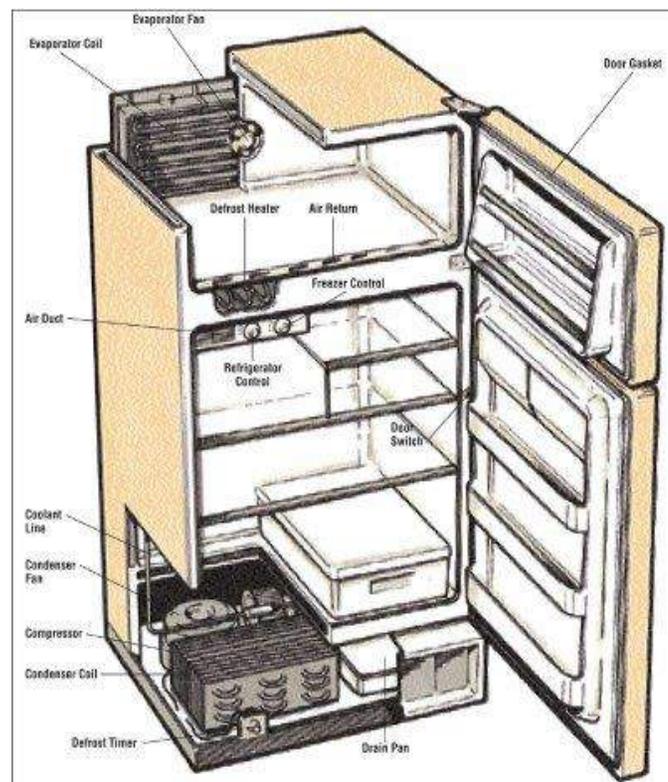
Di negara tropis (beriklim panas) pengkondisian udara terutama meliputi pendinginan ruangan, sedangkan di negara sub-tropis, pengkondisian juga meliputi pemanasan ruangan saat musim dingin. Keinginan manusia untuk berkendara

dengan nyaman membuat sistem pendinginan juga dijumpai di mobil (gb.1.1.), kapal, pesawat dan kendaraan angkutan lainnya.

Industri pertanian saat ini umum menggunakan sistem *cold chain* untuk menjaga mutu produk. Sistem pendinginan ini biasanya digunakan untuk produk yang mudah busuk dan banyak mengandung air, seperti daging, sayur dan buah. Untuk mendapatkan umur simpan yang lebih lama, pembekuan digunakan untuk membekukan produk.

Produk yang dibekukan dapat kembali ke keadaan semula umumnya dengan perlakuan panas. Di toko-toko, bahan pertanian ini juga ditampilkan pada rak berpendingin. Pendinginan juga dikenal dalam proses pengolahan makanan. Es krim, dibuat dengan membekukan susu setelah proses pasteurisasi dan pencampuran dilakukan.

Pasteurisasi adalah sebuah proses pemanasan makanan dengan tujuan membunuh organisme merugikan seperti bakteri, virus, protozoa, kapang, dan khamir. Proses ini diberi nama atas penemunya Louis Pasteur seorang ilmuwan Perancis. Tes pasteurisasi pertama diselesaikan oleh Pasteur dan Claude Bernard pada 20 April 1862.



Gb.1.2. Contoh mesin pendingin makanan (kulkas)

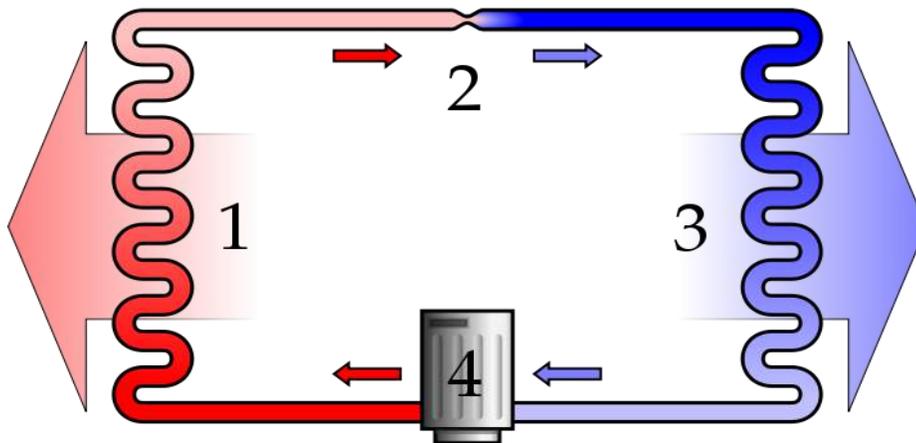
Produk pangan lain yang membutuhkan pendinginan antara lain susu, keju, jus buah (gb.1.2.). Industri roti juga menggunakan pendinginan untuk menyimpan adonan roti, sehingga roti lebih cepat disajikan dan mengurangi kerugian toko roti karena adanya adonan yang tidak dibakar. Industri kimia menggunakan teknik pendinginan untuk memisahkan gas, pengembunan gas, penghilangan kalor reaksi, pemisahan zat dari campurannya dan untuk menjaga tekanan. Teknik pendinginan juga digunakan pada bidang lainnya seperti konstruksi, pembuatan es batu, dan arena olahraga.

2. Pengertian Dasar

Mesin adalah alat mekanik atau elektrik yang mengirim atau mengubah energi untuk melakukan atau membantu pelaksanaan tugas manusia. Umumnya membutuhkan sebuah masukan sebagai pelatuk, mengirim energi yang telah diubah menjadi sebuah keluaran, yang melakukan tugas yang telah disetel. Mesin dalam bahasa Indonesia sering pula disebut dengan sebutan pesawat.

Mesin telah mengembangkan kemampuan manusia sejak sebelum adanya catatan tertulis. Perbedaan utama dari alat sederhana dan mekanisme atau pesawat sederhana adalah sumber tenaga dan mungkin pengoperasian yang bebas. Istilah mesin umumnya menunjuk ke bagian yang bekerja bersama untuk melakukan kerja. Umumnya alat-alat ini mengurangi intensitas gaya yang dilakukan, mengubah arah gaya, atau mengubah suatu bentuk gerak atau energi ke bentuk lainnya.

Teknik atau rekayasa adalah penerapan ilmu dan teknologi untuk menyelesaikan permasalahan manusia. Hal ini diselesaikan lewat pengetahuan, matematika dan pengalaman praktis yang diterapkan untuk mendesain objek atau proses yang berguna.



Gb. 1.3. Gambaran sederhana siklus dingin. 1: kondensator, 2: katup ekspansi, 3: evaporator, 4: kompresor.

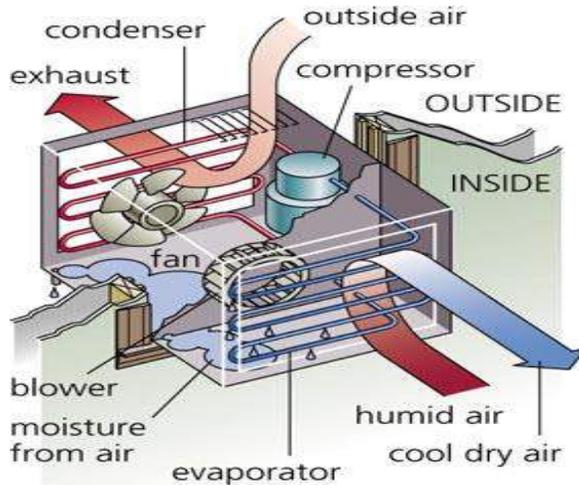
Refrigerasi adalah suatu sistem yang memungkinkan untuk mengatur suhu sampai mencapai suhu di bawah suhu lingkungan. Penggunaan refrigerasi sangat dikenal pada sistem pendingin udara pada bangunan, transportasi, dan pengawetan suatu bahan makanan dan minuman.

Suhu kamar (room temperature) atau suhu ruangan, dalam penggunaan ilmiah, dianggap kurang lebih antara 20 sampai 25 derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (68 sampai 77 derajat Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), 528 sampai 537 derajat Rankine ($^{\circ}\text{R}$), atau 293 sampai 298 Kelvin (K)), walaupun nilai tersebut bukanlah suatu nilai yang ditentukan dengan persis. Untuk kemudahan penghitungan, sering digunakan angka 20 $^{\circ}\text{C}$ atau 300 K.

Refrigasi dicapai dengan melakukan penyerapan panas pada suhu rendah secara terus menerus, yang umumnya bisa dicapai dengan menguapkan suatu cairan secara kontinu. Uap yang terbentuk dapat kembali ke bentuk asalnya kembali, cairan, biasanya dengan dua cara. yang paling umum, uap itu hanya akan ditekan lalu diembunkan (memakai fin seperti pada kulkas). Cara lain, bisa diserap dengan cairan lain yang mudah menguap yang setelah itu diuapkan pada tekanan tinggi.

Hingga tahun 1990, refrigeran yang biasa digunakan adalah jenis klorofluorokarbon (CFC) yang memakai nama dagang Freon. Pembuatan CFC dihentikan pada tahun 1995 karena kerusakan lapisan ozon yang disebabkan CFC. Setelah CFC dilarang digunakan, penggunaan amonia meluas, lalu diikuti dengan propana dan butana yang kurang korosif, juga isobutana yang saat ini digunakan secara luas. Jenis fluida lainnya yang dapat digunakan sebagai refrigeran adalah

karbon dioksida, hidrogen, helium, dan nitrogen. Penggunaan mereka pada umumnya dalam industri yang menyediakan teknologi pendingin yang menggunakan gas-gas tersebut.



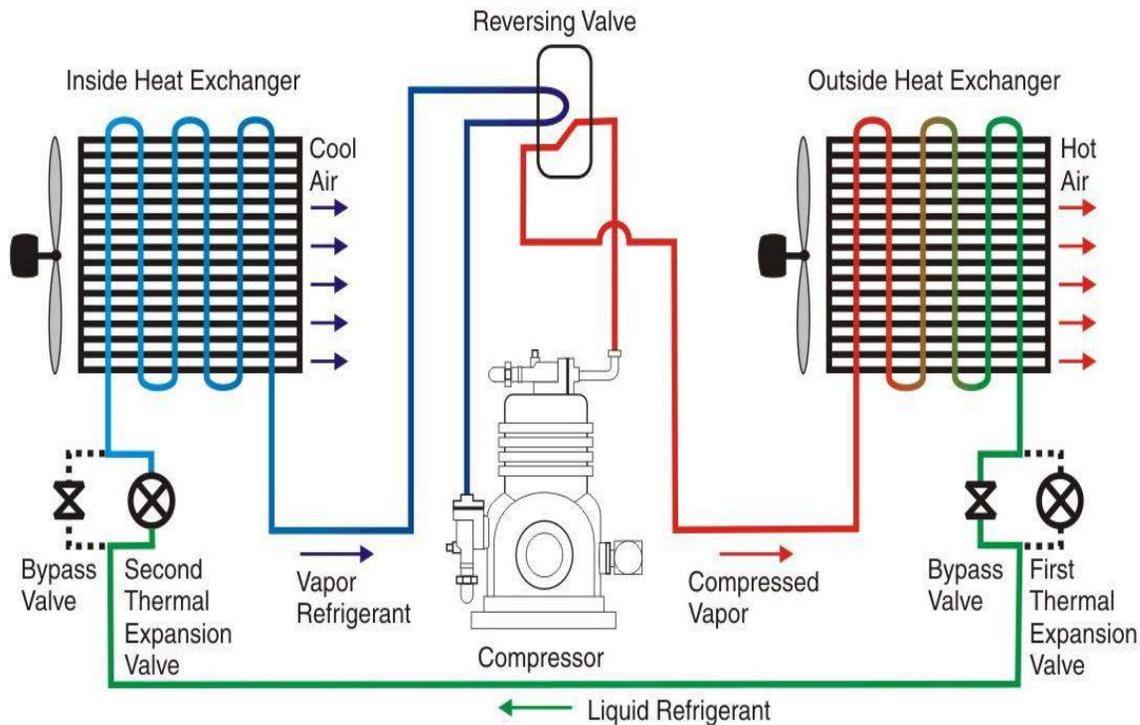
Gb. 1.4. Contoh air conditioner

Pendingin udara atau disebut juga sebagai penyejuk udara atau populer dengan sebutan A/C (Air Conditioner) adalah alat, sistem, atau mekanisme yang dirancang untuk mengalihkan panas dari suatu tempat menggunakan siklus pendinginan (gb.1.3.). Pendingin udara berfungsi sama seperti kulkas dan pompa panas. Alat ini berguna untuk menyediakan kenyamanan selama hari yang panas di ruangan ataupun kendaraan (gb.1.4).

Penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, heat exchanger (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin (gb.1.5.). Umumnya, medium pemanas dipakai uap lewat panas (super heated steam) dan air biasa sebagai air pendingin (cooling water).

Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung begitu saja.

Penukar panas sangat luas dipakai dalam industri seperti kilang minyak, pabrik kimia maupun petrokimia, industri gas alam, refrigerasi, pembangkit listrik. Salah satu contoh sederhana dari alat penukar panas adalah radiator mobil di mana cairan pendingin memindahkan panas mesin ke udara sekitar.



Gb. 1.5. Heat pump cooling mode

Pompa kalor adalah mesin yang memindahkan panas dari satu lokasi (atau sumber) ke lokasi lainnya menggunakan kerja mekanis (gb.1.5). Sebagian besar teknologi pompa kalor memindahkan panas dari sumber panas yang bertemperatur rendah ke lokasi bertemperatur lebih tinggi. Contoh yang paling umum adalah lemari es, freezer, pendingin ruangan, dan sebagainya.

Pompa kalor bisa disamakan dengan mesin kalor yang beroperasi dengan cara terbalik. Pompa kalor merubah kerja menjadi kalor, sedangkan mesin kalor merubah kalor menjadi kerja. Satu tipe yang paling umum dari pompa kalor dengan menggunakan sifat fisik penguapan dan pengembunan suatu fluida yang disebut refrigeran. Pada aplikasi sistem pemanasan, ventilasi, dan pendingin ruangan, pompa kalor merujuk pada alat pendinginan kompresi-uap yang mencakup saluran pembalik dan penukar panas sehingga arah aliran panas bisa dibalik. Secara umum, pompa kalor mengambil panas dari udara atau dari permukaan.

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperature dan kelembaban yang sesuai dengan persyaratan kondisi udara dari suatu ruangan tertentu yang dapat mengatur aliran udara dan kebersihannya. Sistem penyegaran udara pada umumnya di bedakan menjadi 2 (dua) jenis golongan, yaitu :

a. Penyejukan udara untuk kenyamanan.

Penyejukan yang fungsi utamanya mengatur suhu dalam ruangan yang memberikan kenyamanan bagi penghuni atau pemakainya dalam melakukan aktifitas tertentu.

b. Penyejukan udara untuk Industri.

Penyejukan udara dari ruangan yang di fungsikan untuk mengontrol suhu suatu perangkat yang ada di dalamnya. Biasanya peralatan – peralatan tersebut tidak kuat akan suhu yang terlalu tinggi.

3. Mengenal Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

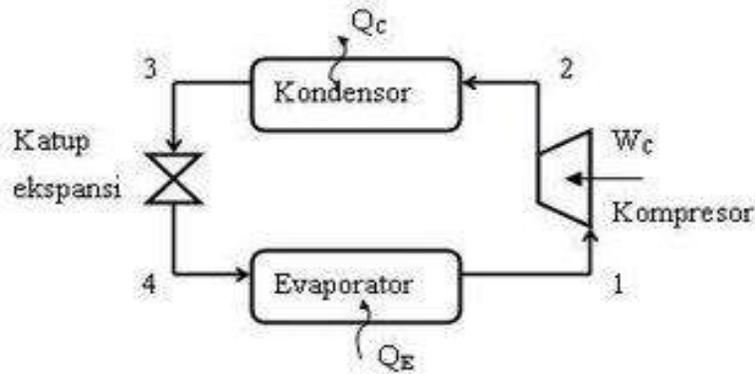
Refrigerasi merupakan metode pengkondisian temperatur ruangan agar tetap berada di bawah temperatur lingkungan. Karena temperatur ruangan yang terkondisi tersebut selalu berada di bawah temperatur lingkungan, maka ruangan akan menjadi dingin, sehingga refrigerasi dapat juga disebut dengan metode pendinginan.

Metode pendinginan (refrigerasi) ini akan berhasil dengan menggunakan bantuan zat refrigerant. Refrigerant akan bertindak sebagai media penyerap dan pemindah panas dengan cara merubah fasanya. Refrigerant adalah suatu zat yang mudah berubah fasanya dari cair menjadi uap dan sebaliknya apabila kondisi tekanan dan temperaturnya diubah.

Saat ini mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan di dunia adalah dari jenis siklus kompresi uap. Sistem lain, seperti sistem magneto-kalorik, absorpsi, adsorpsi, dan efek Siebeck hingga saat ini masih terbatas penggunaannya.

Mesin refrigerasi siklus kompresi uap memiliki fleksibilitas penggunaan, yakni bisa berfungsi sebagai mesin pendingin (AC) ataupun pompa kalor (heat pump) dengan mengubah arah aliran refrigerannya. Mesin refrigerasi jenis ini juga berukuran cukup kompak, sehingga tidak memerlukan ruang yang besar. Di bawah ini akan dijelaskan prinsip kerja mesin refrigerasi siklus kompresi uap.

Mesin refrigerasi kompresi uap terdiri atas empat komponen utama, yakni kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kondensor dan evaporator sesungguhnya merupakan penukar kalor (heat exchanger) yang berfungsi mempertukarkan kalor diantara dua fluida, yakni antara refrigerant dengan fluida luar (bisa berupa air ataupun udara). Skema mesin refrigerasi ini dapat dilihat pada Gb.1.6. dibawah ini.



Gb. 1.6. Skema mesin refrigerasi siklus kompresi uap

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

Pada proses 2–3, uap refrigerant memasuki kondensor dan mendapatkan pendinginan dari kondensor. Pendinginan ini terjadi akibat pertukaran panas antara uap refrigerant dengan fluida luar (misalnya udara lingkungan ataupun air pendingin). Refrigerant keluar dari kondensor pada TK 3 dalam kondisi cair jenuh, atau bisa juga pada kondisi cair sub-dingin. Refrigerant kemudian memasuki katup ekspansi. Katup ekspansi ini pada prinsipnya berupa penyempitan daerah aliran yang berakibat pada penurunan tekanan fluida secara drastis.

Pada proses 3–4, refrigerant melalui katup ekspansi. Pada TK 4, refrigerant berada dalam kondisi campuran cair dan uap. Karena refrigerant berada pada tekanan jenuhnya (tekanan penguapan), maka dia akan mengalami penguapan; hukum alam menyatakan bahwa penguapan membutuhkan energi, terjadilah penyerapan energi termal dari luar evaporator yang menyebabkan efek pendinginan oleh mesin refrigerasi.

Pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap, fungsi kondensor dan evaporator bisa dibalik dengan mengubah arah aliran refrigerant. Dengan demikian, mesin ini bisa berfungsi sebagai pendingin di musim panas dan pemanas di musim dingin.

Pada saat berfungsi sebagai mesin pendingin, umumnya mesin ini disebut sebagai mesin AC (Air Conditioning) dan saat berfungsi sebagai mesin pemanas, mesin ini disebut sebagai heat pump (pompa kalor). Prestasi AC dapat dinyatakan

dengan:

$$COP = \frac{Q_E}{W_c} \quad (1)$$

COP (tak bersatuan) singkatan dari Coefficient of Performance, QE adalah perpindahan panas pada evaporator, dan WC adalah kerja kompresor. Persamaan (1) menyatakan prestasi AC pada satu saat tertentu. Prestasi AC dalam kurun waktu yang lama, misalnya selama musim panas, dinyatakan dalam SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio). SEER memiliki bentuk yang sama dengan Persamaan (1), hanya berbeda pada satuan SEER, yakni Btu.h/Watt. Sedangkan untuk pompa kalor, prestasi mesin refrigerasi dapat dinyatakan dengan:

$$PF = \frac{Q_k}{W_c} \quad (2)$$

PF (besaran tak bersatuan) singkatan dari Performance Factor dan QK adalah perpindahan panas pada kondensor. Sama halnya dengan AC, untuk menunjukkan prestasi pompa kalor pada waktu yang lama, misalnya dalam satu kurun musim dingin, orang bisa menggunakan HSPF (Heating Seasonal Performance Factor). HSPF memiliki satuan yang sama dengan SEER.

4. Kompresi

Kompresi merupakan proses yang terjadi pada kompresor yang menekan refrigeran atau freon secara reversibel (dapat terbalik) dan isentropic (entropi konstan). Kerja atau usaha yang diberikan pada refrigeran akan menyebabkan kenaikan pada tekanan sehingga temperatur refrigeran akan lebih besar dari temperatur lingkungan atau refrigeran mengalami fasa superheat. Kompresor memompa refrigeran ke seluruh komponen melalui sistem pemipaan.

5. Kondensasi

Kondensasi merupakan proses pelepasan kalor refrigeran superheat ke lingkungan sehingga fasanya berubah dari uap menjadi cair jenuh tetapi tekanan dan temperaturnya masih tetap tinggi. Media pengembun refrigeran pada kondensor bisa berupa udara (air cooled condenser), air (water-cooled condenser) atau campuran udara dan air (evaporative condenser). Untuk media pendingin udara bisa terjadi secara konveksi alami maupun konveksi paksa (forced konvection). Pada sistem AC split, kondensor dan kompresor tergabung dalam condensing unit.

6. Ekspansi

Ekspansi merupakan proses penurunan secara adiabatik (kalor konstan) pada tekanan dan temperatur sehingga nilainya lebih rendah dari temperatur lingkungan.

7. Evaporasi

Setelah refrigeran diekspansikan secara irreversibel adiabatik menjadi cairan jenuh, refrigeran akan memiliki tekanan dan temperatur rendah sehingga akan menerima sejumlah kalor dari lingkungan yang didinginkan dan refrigeran berubah seluruhnya menjadi uap jenuh yang kemudian masuk ke kompresor untuk disirkulasikan kembali. Komponen evaporator ini yang secara langsung berhubungan dengan produk yang akan didinginkan.

8. Jenis - jenis Mesin Pendingin

Jenis dan tipe mesin pendingin disesuaikan dengan kegunaan dan daya yang dimilikinya. Misalnya AC untuk kantor-kantor besar berbeda dengan AC untuk rumah tangga. Begitu juga untuk jenis kulkas. Karena di pasaran sudah tersedia berbagai jenis dan tipe mesin pendingin. Dari berbagai mesin pendingin yang ada, serta ditinjau dari segi kegunaan dan fungsinya, pada dasarnya yang umum kita kenal ada 3 macam mesin pendingin, yaitu : refrigerator, freezer dan air conditioner.

9. Refrigerator

Jenis ini lebih dikenal dengan sebutan kulkas atau lemari es. Tipe dan kapasitasnya bermacam-macam, dan umumnya digunakan untuk rumah tangga. Fungsinya untuk mendinginkan minuman, mengawetkan bahan makanan, menghasilkan es. Suhu untuk lemari es umumnya dipertahankan 3° - 10° C

10. Freezer

Jenis yang satu ini tidak berbeda dengan kulkas, hanya saja kapasitas lebih besar, dan suhunya lebih rendah. Mesin ini umumnya banyak digunakan sebagai lemari pendingin di restoran dan kapal laut.

11. Air Conditioner (AC)

Manusia selalu berusaha untuk membuat keadaan disekelilingnya menjadi lebih baik dan suasana lebih nyaman. Air Conditioner adalah salah satu yang dapat memenuhi kebutuhan itu. Dengan membuat keadaan menjadi lebih sejuk. Mesin pendingin jenis ini umumnya dipakai untuk menyejukan hawa atau udara di dalam ruangan dan dalam kendaraan seperti kantor, rumah, mobil, kapal laut, dsb.

TUGAS.

Isilah pertanyaan dibawah ini dengan jawaban yang benar.

1. Coba jelaskan apa yang dimaksud dengan Refrigerasi ?
2. Jelaskan Sistem penyegaran udara pada umumnya dan sebutkan ?

B A B II

DASAR TEORI MESIN PENDINGIN

1. Pendahuluan

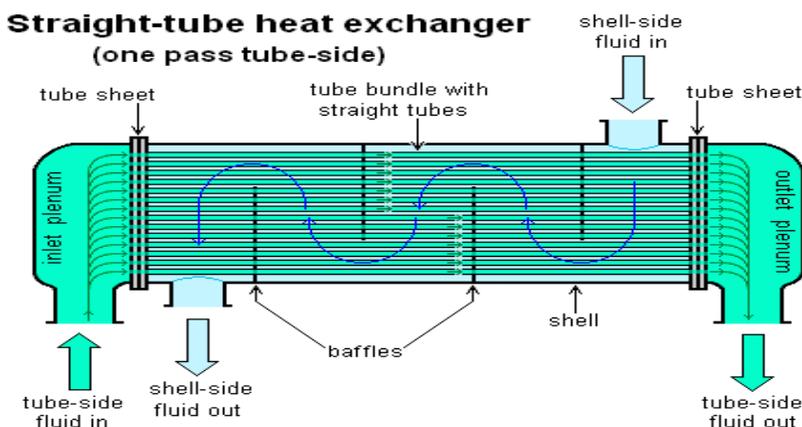
Pada dasarnya ilmu pendingin adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang perubahan panas yang lebih rendah dari pada temperatur atmosfer. Sedangkan mesin pendingin adalah mesin yang didalamnya terjadi siklus dari bahan pendingin dalam sistem sehingga terjadi perubahan panas dan tekanan.

Perubahan panas dan tekanan terjadi pada siklus dari kerja mesin pendingin dimana mesin pendingin menggunakan bahan pendingin (refrigerant) yang bersirkulasi menyerap panas dan melepaskan panas serta terjadinya perubahan tekanan di dalam sistem dari tekanan rendah menjadi tekanan tinggi dan begitu selanjutnya selalu bersirkulasi secara terus menerus.

Dalam perkembangan selanjutnya mesin pendingin dewasa ini telah banyak digunakan untuk mempertahankan suhu rendah sehingga produk tetap dalam keadaan segar seperti di cold storage, supermarket, restoran dan juga digunakan untuk mendinginkan ruangan.

2. Gaya dan Energi yang Terkandung dalam Benda

Pada prinsipnya Sistem Refrijerasi/Refrigerasi dan Tata Udara berbasis kepada prinsip-prinsip keilmuan dan rekayasa. Dimana keilmuan dan rekayasa itu sendiri mengakar pada ilmu fisika dan matematika terapan. Proses pendinginan udara ruang (cooling process) dan proses pemanasan udara ruang (heating process) berdasar kepada hukum Penukaran Kalor (heat exchanger) yang berlangsung pada elemen-elemen fisis.



Gb.2.1. Heat exchanger

Desain dan operasi peralatan pendingin dan pemanas ruangan berbasis pada salah satu cabang ilmu fisika yaitu thermodynamics. Sedangkan proses aktual pada pengkondisian ruangan, yakni pengontrolan suhu udara dan kandungan uap air atau kelembaban udara tergantung kepada pengetahuan dari salah satu cabang ilmu fisika yang lazim disebut sebagai psikrometri (psychrometry).

Pendistribusian udara yang sudah dikondisi ke ruang-ruang yang memerlukannya, dan pengaturan udara segar dari luar ruangan berhubungan erat dengan masalah ventilasi (ventilation). Proses aliran fluida dalam suatu siklus menyangkut aliran fluida dan energi kinetik (kinetic energy). Pemeliharaan suhu ruangan agar selalu konstan pada titik yang diinginkan akan berkaitan dengan masalah pemindahan panas (heat transfer).

Setiap aspek yang ada di dalam sistem refrijerasi dan tata udara berkaitan dengan satu atau lebih prinsip-prinsip di dalam ilmu fisika. Konsekuensinya, prinsip-prinsip dasar pada ilmu fisika, seperti panas atau kalor, suhu, berat jenis, grafitasi spesifik, tekanan, energi, usaha dan daya harus dapat dipahami dan dihayati.

Energi dapat dinyatakan sebagai kemampuan untuk melakukan suatu usaha. Energi diperlukan untuk melaksanakan suatu usaha, dan suatu benda dikatakan memiliki energi ketika ia memiliki kapasitas untuk melakukan suatu usaha. Jumlah energi yang diperlukan untuk melakukan suatu usaha selalu sama dengan jumlah usaha yang dilakukan. Sama halnya, jumlah energi yang dimiliki suatu benda selalu sama dengan jumlah usaha yang dikenakan pada benda tersebut. Usaha dan energi diukur dalam satuan Joule.

3. Massa dan Berat Jenis

Dalam bidang Refrijerasi dan Tata Udara, ukuran utama untuk menentukan kuantitas suatu benda adalah massa, biasanya dinyatakan dalam gram (g) atau kilogram (kg), volume (v), biasanya diekspresikan dalam centimeter kubik (cm^3) atau meter kubik (m^3). Satu meter kubik sama dengan 1.000.000 centimeter kubik. Ukuran lain dari volume fluida adalah liter. Satu liter sama dengan 1/1000 meter kubik.

4. Grafitasi Spesifik atau Berat Jenis Relatif

Grafitasi spesifik dari suatu benda merupakan nilai perbandingan antara berat jenis benda tersebut dengan berat jenis benda yang dijadikan standar acuan. Pada kasus cairan, maka yang dijadikan standar acuan adalah air yang memiliki berat jenis maksimum 1000 kg/m^3 .

5. Massa dan Volume Zat yang Mengalir

Bila massa benda diukur dalam satuan gram (g) atau kilogram (kg), maka massa suatu zat cair yang mengalir diukur dalam satuan gram per detik (g/s) atau dalam kilogram per detik (kg/s). Satuan lain yang dapat dipakai untuk mengukur aliran suatu zat cair adalah kilogram per menit (kg/m) dan kilogram per jam (kg/h). Sama seperti masa, volume diukur dalam meter kubik (m^3) atau dalam liter (l), volume suatu zat cair yang mengalir diukur dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s) atau dalam liter per detik (l/s) atau dalam meter kubik per jam (m^3/h).

6. Hukum Konservasi Energi

Hukum Thermodinamika pertama menyatakan, bahwa jumlah energi di dalam system thermodinamik adalah konstan. Tidak ada satupun kekuatan yang dapat meningkatkan atau mengembangkannya kecuali hanya mengubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya.

Energi merupakan usaha yang tersimpan. Sebelum suatu benda memiliki energi, maka suatu usaha harus dilakukan pada benda tersebut. Usaha yang dikenakan pada benda tersebut akan mengubah gerakan, posisi, atau konfigurasi benda dan disimpan sebagai energi. Dalam banyak kasus, energi yang tersimpan sama dengan usaha yang dilakukan.

Di dalam ilmu fisika, disamping diklasifikasikan dalam bentuk energi kinetic dan potensial, maka energi dapat juga muncul dalam bentuk lain yang berbeda-beda, seperti energi mekanik, energi listrik, energi panas, energi kimiawi dan keseluruhannya siap diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya.

7. Energi Panas, Daya dan Perubahan Wujud Zat

Pada Sistem Refrijerasi dan Tata Udara, terjadi proses penambahan atau pengurangan energi panas terhadap refrijeran sebagai fluida penukar kalor dan

udara ruang yang dikondisikan. Selama proses perubahan energi itu berlangsung maka akan terjadi pula perubahan wujud pada refrijeran dan udara.

8. Energi Panas dan Daya

Panas adalah salah satu bentuk energi. Panas memiliki kaitan erat dengan getaran atau gerakan molekul. Molekul adalah bagian atau partikel dari suatu benda. Apabila benda dipanaskan molekul akan bergerak cepat sedangkan apabila didinginkan molekul akan bergerak lemah.

Jika panas diambil dari suatu benda maka temperatur benda itu akan turun. Makin banyak panas yang diambil temperatur benda menjadi makin rendah, tetapi setelah mencapai $-273,15^{\circ}\text{C}$ panas itu tidak dapat lagi dikeluarkan dengan perkataan lain temperatur tersebut adalah yang terendah yang tidak dapat dicapai dengan cara apapun. Karena itu maka temperatur $-273,15^{\circ}\text{C}$ dikatakan sebagai nol absolut dan didalam dunia ilmiah dikenal sebagai 0°Kelvin .

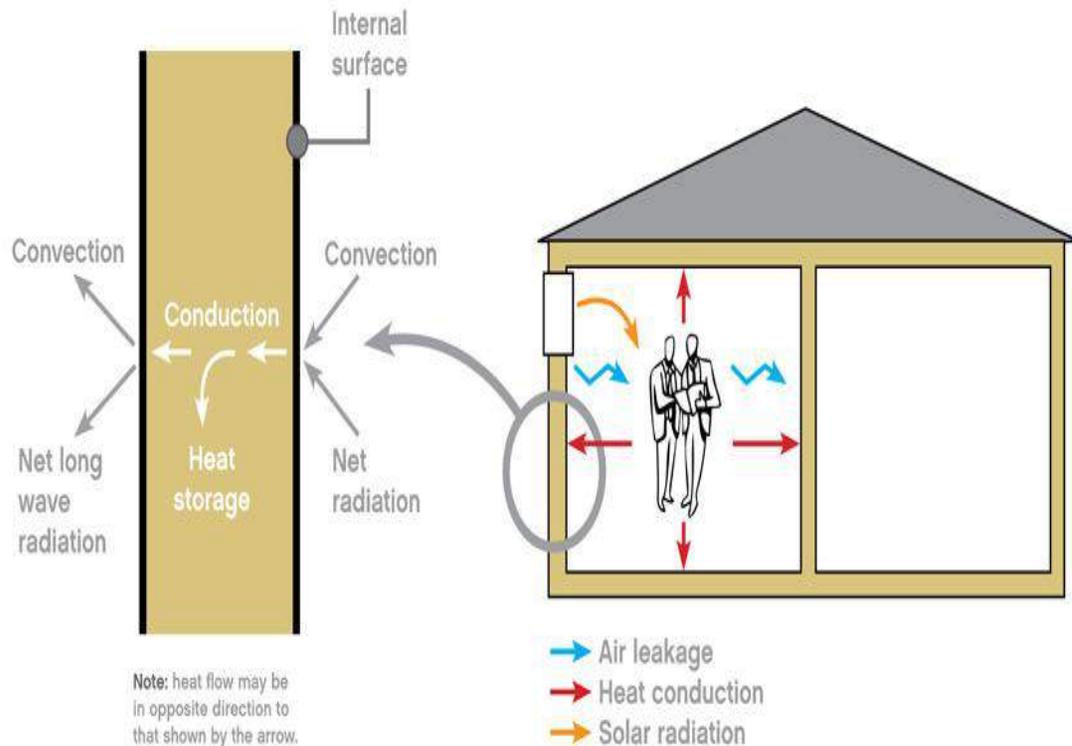
Daya (P) atau Power didefinisikan sebagai laju aliran energi per satuan waktu di mana pekerjaan sedang berlangsung atau kerja yang dilakukan per satuan waktu. Menurut standar Amerika (US standard), daya dinyatakan dalam satuan Hourse Power (HP), atau $(\text{ft})(\text{lb})/(\text{sec})$, di mana :

$$1 \text{ Hp} = 550 \frac{(\text{ft})(\text{lb})}{\text{sec}} = 33.000 \frac{(\text{ft})(\text{lb})}{\text{sec}}$$

Dalam satuan internasional, satuan daya adalah watt (W) atau setara Joule per detik (J/sec). Daya listrik juga diekspresikan dalam watt (W) atau kilowatt (kW). Konversi antara satuan HP dan watt, dinyatakan dengan formula sebagai berikut :

$$1 \text{ Hp} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,34 \text{ Hp}$$



Gb.2.2. Metode pemindahan panas

9. Metode Pemindahan Panas

Energi panas dapat dipindahkan dari satu benda atau substansi ke benda lainnya. Pemindahan energi panas dapat berlangsung dalam tiga cara, yaitu :

1) Radiasi atau Pancaran (Radiation)

Metode perpindahan panas radiasi, adalah perpindahan panas melalui gerakan gelombang cahaya, panas dipancarkan secara langsung dan berjalan lurus kepada benda yang menerimanya.

2) Konduksi atau Hantaran (Conduction)

Metode perpindahan panas konduksi adalah panas berpindah melalui benda padat. Perpindahan panas secara konduksi ini juga berlaku untuk panas yang berpindah dari satu benda padat ke benda padat lainnya dengan syarat kedua benda padat tersebut berhubungan (kontak) langsung. Dalam kasus ini, molekul yang mempunyai suhu lebih tinggi karena proses pemanasan akan memberikan energi panasnya kepada molekul yang ada di dekatnya, begitu seterusnya.

3) Konveksi atau Aliran (Convection)

Metode perpindahan konveksi adalah perpindahan panas dengan cara mengalir dari bagian yang temperaturnya tinggi ke bagian yang lebih rendah temperaturnya. Oleh karena perpindahan panas secara konveksi sehingga terjadi udara dingin yang berada di sekeliling evaporator yang mempunyai berat jenis lebih besar, karena beratnya sendiri udara dingin tersebut akan turun ke bawah dan udara panas yang ada di bawah karena di desak oleh udara dingin juga karena berat jenisnya lebih ringan akan naik ke atas.



Gb.2.3. Contoh konveksi

10. Satuan Panas

Dalam dunia teknis komersial dewasa ini dijumpai satuan jumlah panas kilo-kalori (kkal) dan British Thermal Unit (Btu). Kilo-kalori merupakan satuan metrik yang nilainya sama dengan jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 kg air sebesar 1°C, misalnya 5 kg air temperatur awal 25°C naik menjadi 26°C maka panas yang diperlukan sebanyak 5 kkal.

Dalam satuan imperial dipakai satuan Btu, dimana 1 Btu adalah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 lb air sebanyak 1°F, misalnya dari 50°F menjadi 51°F. Selain satuan-satuan tersebut diatas dalam dunia ilmiah dipergunakan satuan Joule (J) atau kilo-Joule. 1 Joule yaitu panas yang timbul akibat kerja 1 Watt selama 1 detik. Korelasi dari satuan-satuan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$1 \text{ kkal} = 3,97 \text{ Btu} = 4,18 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ Btu} = 0,252 \text{ kkal} = 1,053 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 0,2388 \text{ kkal} = 0,9478 \text{ Btu}$$

11. Panas Jenis

Panas jenis ialah panas yang diberikan kepada suatu benda seberat 1 kg hingga menyebabkan temperatur benda itu naik 1°C. Untuk menaikkan temperatur dari 30°C menjadi 31°C, 1 kg air memerlukan 1 kkal panas, dengan demikian maka air mempunyai panas jenis 1 kkal/kg.

12. Panas Sensibel (Sensible Heat)

Panas Sensibel adalah jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan atau menurunkan temperatur suatu benda. Jika panas ditambahkan pada suatu benda (dipanasi) temperatur benda akan naik, hal ini karena molekul-molekul pada benda tersebut menerima panas dan bergerak lebih cepat. Jika panas sensible diambil dari suatu benda temperaturnya akan turun, karena gerakan molekulnya menjadi lemah. Perubahan ini dapat dilihat dan diukur dari perubahan temperatur pada thermometer.

Satuan panas sensibel : joule, kalori atau Btu. Jumlah panas sensibel dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = M \times c \times t$$

Dimana :

Q_s = Jumlah panas sensibel dalam joule, kkal atau Btu;

M = Massa zat dalam kg atau pound;

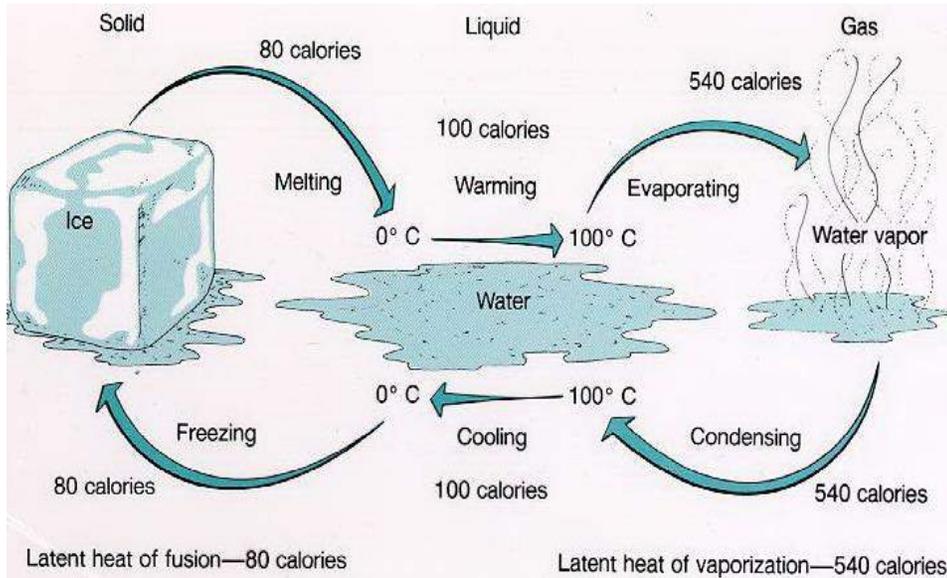
c = Panas jenis dalam : J/kg.K, Kkal/kg °C atau Btu/lb°F;

t = Perubahan suhu dalam : Kelvin (K), °C atau °F.

13. Panas Laten (Latent Heat)

Laten artinya tidak nampak atau tersembunyi (hidden). Panas laten adalah panas yang diperlukan untuk mengubah wujud zat dari padat menjadi cair, dari cair menjadi gas atau sebaliknya, tanpa mengubah temperaturnya. Tiap zat mempunyai dua panas laten yaitu padat menjadi cair atau sebaliknya (peleburan dan pembekuan) dan cair menjadi gas atau sebaliknya (penguapan dan pengembunan).

Perubahan panas laten tidak dapat dilihat pada thermometer. Panas laten diperlukan untuk mengubah energi potensial dari molekul agar tingkat wujud zat berubah. Satuan panas laten : joule, kalori atau Btu.



Gb.2.4. Laten heat

14. Panas Laten Penguapan (Latent Heat of Vaporization)

Panas laten penguapan adalah jumlah panas yang harus ditambahkan kepada 1 kilo zat cair pada titik didihnya sampai wujudnya berubah menjadi uap seluruhnya pada suhu yang sama.

Bahan pendingin dalam salah satu jenis mesin pendingin di dalam evaporator berubah wujudnya dari cair menjadi gas. Pada perubahan tersebut panas latennya diambil dari panas yang ada di dekat evaporator. Bahan pendingin mempunyai energi kalor yang lebih besar dari pada bahan pendingin cair, walaupun temperatur dari kedua zat tersebut adalah sama.

Refrigeration effect adalah kemampuan membawa panas dari bahan pendingin atau jumlah panas yang dapat diserap oleh 1 pound bahan pendingin waktu melalui evaporator. Satuan refrigeration effect dalam kkal/kg atau Btu/lb.

15. Panas Laten Pengembunan atau Kondensasi (Latent Heat of Condensation)

Panas laten pengembunan adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kilo zat pada titik embunnya untuk mengubah zat dari gas menjadi cair pada suhu yang sama. Pada suhu dan tekanan yang sama : panas embun = panas uap. Pada tekanan yang sama : titik embun = titik uap.

16. Panas Laten Pencairan atau Peleburan (Latent Heat of Fusion)

Panas laten pencairan atau Peleburan adalah jumlah panas yang harus ditambahkan kepada 1 kilo zat padat pada titik leburnya sampai wujudnya berubah menjadi cair semuanya pada suhu yang sama. Waktu mencair zat padat memerlukan panas untuk memperbesar jarak antara molekul-molekulnya. Panas ini tersimpan sebagai energi potensial molekul-molekul zat itu.

17. Panas Laten Pembekuan (Latent Heat of Solidification)

Panas laten pembekuan adalah jumlah panas yang harus diambil dari 1 kilo zat cair pada titik bekunya untuk mengubah wujudnya dari zat cair menjadi padat pada suhu yang sama. Pada suhu dan tekanan yang sama : panas beku = panas lebur. Pada tekanan yang sama : titik beku = titik leburnya.

18. Suhu

Suhu termasuk salah satu sifat yang dimiliki oleh suatu zat atau benda. Suhu merupakan ukuran intensitas atau level dari tekanan termis yang dimiliki oleh suatu benda. Suhu tinggi menunjukkan adanya tekanan termis pada level yang tinggi pula. Sebaliknya, suhu rendah menunjukkan adanya tekanan termis yang rendah pada benda tersebut. Pada kondisi itu, kita menyebut benda itu mengalami pendinginan.



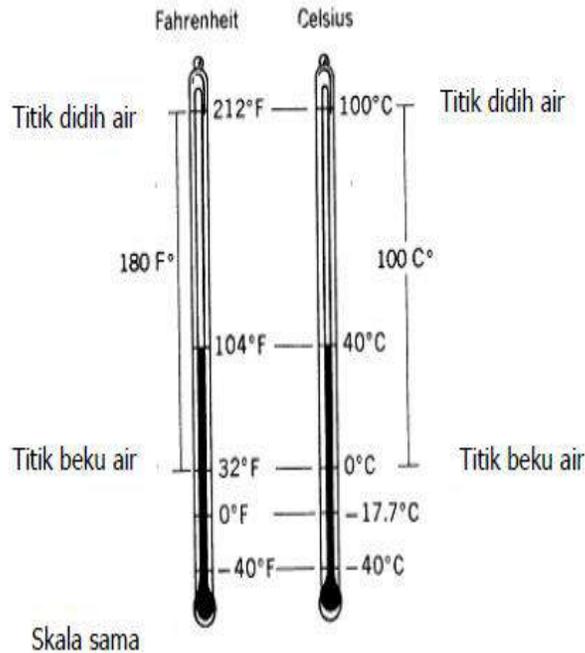
Gb.2.5. Thermometer mercury

19. Thermometer

Instrumen untuk mengukur suhu disebut Thermometer. Pada umumnya thermometer beroperasi dengan memanfaatkan sifat fisik yang dimiliki oleh zat cair, yaitu akan mengembang atau menyusut jika suhunya naik atau turun. Karena suhu titik bekunya rendah dan memiliki koefisien muai konstan, maka alcohol dan mercury sering digunakan pada pembuatan thermometer. Thermometer mercury lebih akurat dibandingkan dengan thermometer alcohol, karena mercury memiliki koefisien muai yang lebih konstan pada rentang yang lebih besar dibandingkan alcohol.

Skala suhu yang lazim digunakan hingga saat ini adalah skala Celcius dan Skala Fahrenheit. Titik suhu di mana air membeku pada tekanan barometer standar atau tekanan atmosfer digunakan sebagai titik nol pada skala Celcius. Dan titik suhu di mana air menguap pada tekanan atmosfer digunakan sebagai titik 100 pada skala Celcius. Kemudian jarak antara titik nol dan titik 100 dibagi menjadi 100 bagian yang sama dan disebut sebagai derajat. Sehingga perbedaan antara titik beku dan titik uap air pada skala Celcius adalah 100 derajat.

Sama seperti pada skala Celcius, Skala Fahrenheit juga menggunakan dua titik pengukuran sebagai ukuran standar, yaitu titik beku dan titik uap air pada tekanan atmosfer standar. Pada skala Fahrenheit, titik beku air ditetapkan pada titik 32 dan titik uap air ditetapkan pada titik 212. Kemudian jarak antara kedua titik tersebut rata menjadi 180 bagian yang sama.



Gb.2.6. Perbandingan Skala Celcius dan Fahrenheit

Gambar 2.6 memperlihatkan dua skala suhu yang bersisihan untuk memudahkan membandingkannya. Harap dicatat, bahwa 100 derajat Celcius sama dengan 180 derajat Fahrenheit. Jadi $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$. Kadangkala, pada prakteknya diperlukan konversi atau perubahan dari satu skala ke skala lainnya. Konversinya :

$$C = \frac{F-32}{1,8}$$

$$F = 1,8C + 32$$

20. Suhu Absolut

Secara praktis, Suhu Celcius dapat dikonversi ke suhu absolut dengan menambahkan 273 pada pembacaan skala celcius. Hasil pembacaan suhunya dinyatakan dalam kelvin (K). Interval suhu sebesar 1 K sama dengan interval suhu 1 $^{\circ}\text{C}$. Konversi dari dan ke suhu absolut, dapat menggunakan formula sebagai berikut :

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{C} = K - 273$$



Gb.2.7. Perbandingan Skala Celcius dan Kelvin

21. Tekanan

Tekanan dapat dinyatakan sebagai ukuran intensitas gaya pada setiap titik permukaan yang terkena oleh gaya tersebut. Bila gaya didistribusikan ke seluruh permukaan maka besarnya tekanan pada setiap titik di permukaan yang terkena gaya tersebut adalah sama. Besarnya tekanan dapat dihitung dengan membagi gaya total dengan luas permukaan. Hubungan ini diformulasikan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dimana :

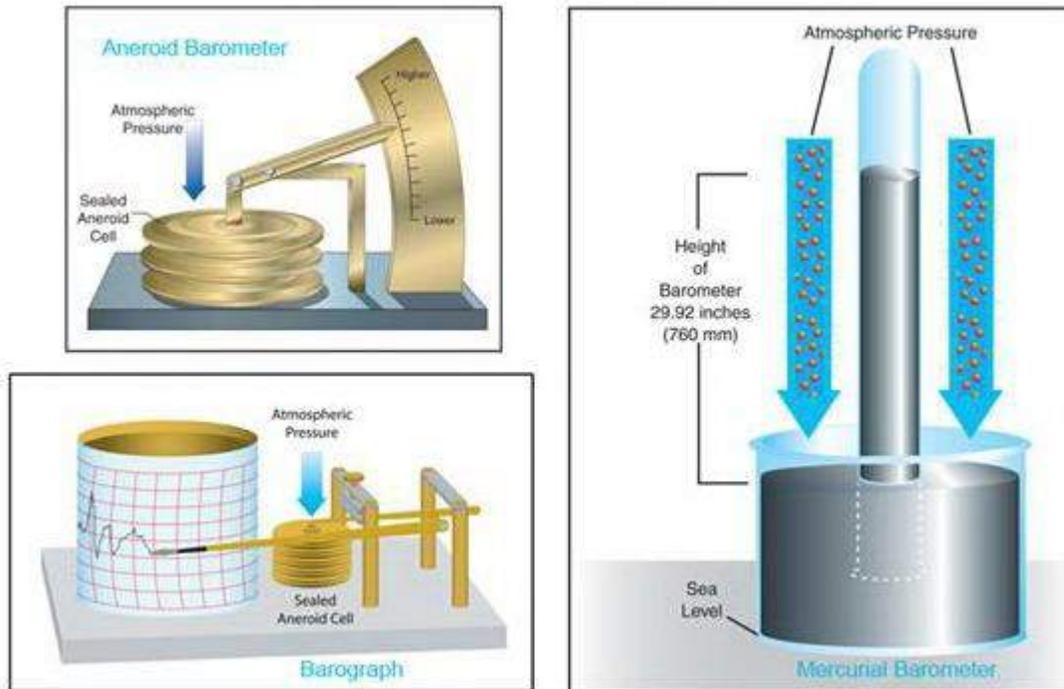
P = Tekanan dlm satuan newton per meter persegi (N/m²) atau pascal (Pa)

F = Gaya dalam satuan newton (N)

A = Luas permukaan dalam meter persegi (m²)

Bekerjanya suatu mesin pendingin sebagian besar tergantung dari perbedaan tekanan di dalam sistem. Macam-macam tekanan yang berhubungan dengan sistem pendingin terdapat tiga macam antara lain :

- Tekanan atmosfer
- Tekanan manometer
- Tekanan absolut atau mutlak



Gb.2.8. Measuring atmospheric pressure

1) Tekanan Atmosfir (Atmospheric Pressure)

Udara mempunyai berat karena ditarik oleh gaya tarik bumi. Berat ini menyebabkan suatu tekanan yang menuju ke segala arah. Makin tinggi dari permukaan bumi lapisan udara makin tipis dan tekanan udara makin rendah, hal ini disebabkan karena gaya tarik bumi makin tinggi makin berkurang.

Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan udara adalah barometer, sebagai standar tekanan atmosfer diambil tekanan pada permukaan air laut, yaitu :

$$\begin{aligned}
 1 \text{ atmosfer (atm)} &= 76 \text{ cm Hg pada } 0^{\circ}\text{C} &&= 14,7 \text{ Psi} \\
 &= 1,033 \text{ kg/cm}^2 &&= 101,3 \text{ k Pa} \\
 &= 29,92 \text{ in.Hg (30 in.Hg)} \\
 1 \text{ kg/cm}^2 &= 14,5 \text{ Psi (Pound Per square inch)} \\
 1 \text{ Bar} &= 14,2 \text{ Psi} \\
 1 \text{ Psi} &= 0,07031 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Pada setiap ketinggian tertentu tekanan atmosfer tidak sama besarnya. Setiap kenaikan 10 meter dari permukaan air laut, air raksa dalam tabung barometer akan turun rata-rata 1 mm, makin tinggi kita naik maka makin berkurang tekanan

atmosfirnya dan sebaliknya makin dalam kita menyelam ke dalam laut maka makin besar tekanan yang dialaminya (tekanan atmosfer ditambah tekanan air).

2) Tekanan Manometer (Gauge Pressure)

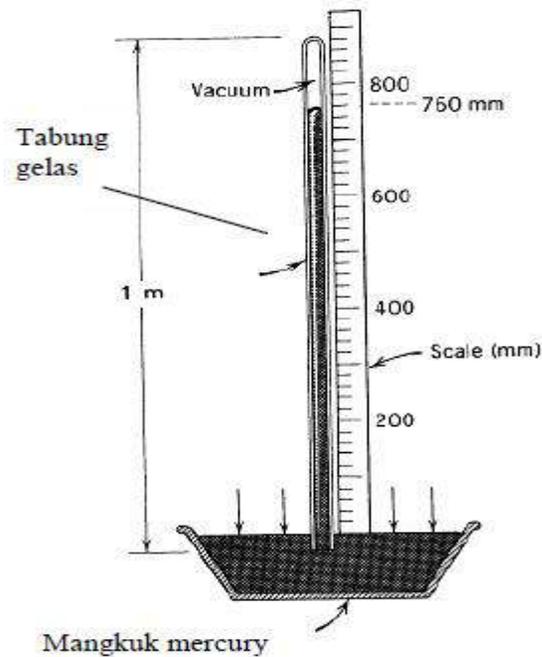
Manometer adalah alat untuk mengukur tekanan uap air dalam ketel uap atau tekanan gas dalam suatu tabung. Tekanan yang ditunjukkan oleh jarum manometer disebut tekanan manometer. Sebagai standar tekanan manometer adalah tekanan atmosfer pada permukaan air laut diambil sebagai 0, dengan satuan kg/cm^2 atau psig. Jadi pada permukaan air laut tekanan atmosfer $1,033 \text{ kg/cm}^2 = 0 \text{ kg/cm}^2$ tekanan manometer.

3) Tekanan Absolut (Absolute Pressure)

Tekanan absolut adalah tekanan yang sesungguhnya atau jumlah kedua tekanan yaitu tekanan manometer ditambah tekanan atmosfer pada setiap saat. Titik 0 pada tekanan absolut adalah 100 % atau tidak ada tekanan sama sekali = 0 pascal = 0 Psi. Tekanan 1 atmosfer pada tekanan absolut adalah $1,033 \text{ kg/cm}^2 = 14,696 \text{ Psia} = 101,3 \text{ kPa}$.

4) Barometer

Barometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur tekanan pada atmosfer bumi. Barometer sederhana untuk mengukur tekanan dalam istilah ketinggian kolom mercury dapat dibuat dengan mengisikan mercury ke dalam tabung gelas sepanjang satu meter atau 100 milimeter yang salah satu ujungnya tertutup. Kemudian tabung berisi mercury diletakkan ke dalam mangkuk yang berisi mercury seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.9.



Gb.2.9. Barometer mercury

Tekanan yang bekerja pada permukaan mercury akibat tekanan atmosfer menyebabkan mercury yang ada di dalam tabung tetap terjaga pada level tertentu. Besarnya tekanan atmosfer akan menentukan tinggi kolom mercury.

Tinggi kolom mercury di dalam tabung merupakan ukuran tekanan yang dihasilkan oleh gaya tekan udara atmosfer pada permukaan mercury (air raksa), dan dibaca dengan menggunakan skala kolom mercury (mm Hg). Tekanan normal atmosfer di atas permukaan laut sebesar 101.325 pascal yang bekerja pada permukaan mercuri, akan menyebabkan tinggi kolom mercury tetap pada tinggi 760 mm.

Bila 760 mm Hg setara dengan 101.325 Pa, maka untuk setiap mm Hg akan setara dengan 133,32 Pa. Dari sini kita dapat membuat hubungan lain sebagai berikut:

$$1 \text{ cm Hg} = (\text{Pa})/(1333,2)$$

$$1 \text{ mm Hg} = (\text{Pa})/(133,32)$$

$$1 \text{ Pa} = (\text{cm Hg})(1333,2)$$

$$1 \text{ Pa} = (\text{mm Hg})(133,32)$$

5) Manometer

Manometer adalah salah satu jenis meter tekanan (pressure gauge) yang menggunakan kolom mercury untuk mengukur tekanan suatu zat (cair atau gas) yang ada di dalam suatu tabung. Konstruksi manometer mercury yang sederhana diperlihatkan dalam Gambar 2.10.

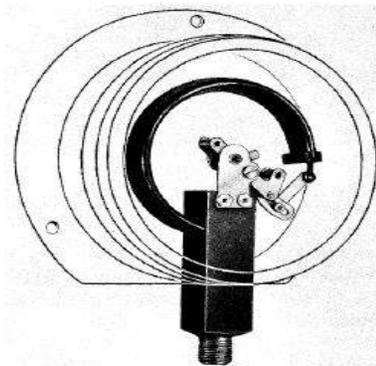


Gb.2.10. Manometer Tabung-U

6) Tabung Bourdon

Karena konstruksi manometer yang tidak praktis, memerlukan tabung panjang, untuk alasan praktis manometer tidak digunakan untuk mengukur tekanan yang lebih besar dari satu atmosfer. Sebagai gantinya, untuk mengukur tekanan yang lebih besar dari satu atmosfer digunakan Tabung Bourdon.

Seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.11. Tipikal Tabung Bourdon adalah melengkung cenderung melingkar, bentuk elip, terbuat dari metal yang cenderung bergerak lurus bila tekanan di dalam tabung naik dan kembali melengkung bila tekanan di dalam tabung turun kembali. Kemudian gerakan tabung yang mengembang dan menyusut kembali tersebut ditransmisikan secara mekanik ke jarum penunjuk.



Gb.2.11. Tipikal Tabung Bourdon

Meter tekanan yang terbuat dari tabung Bourdon sangat kuat dan dapat mengukur tekanan di atas dan di bawah tekanan atmosfer. Tabung Bourdon yang digunakan untuk mengukur tekanan di atas tekanan atmosfer lazim disebut sebagai pressure gauge. (Gb. 2.12). Tabung Bourdon yang didesain untuk mengukur tekanan di bawah tekanan atmosfer disebut vacuum gauge. (Gb. 2.12). Dan bila digunakan untuk dapat mengukur kedua jenis skala, disebut compound gauge (Gb 2.12).

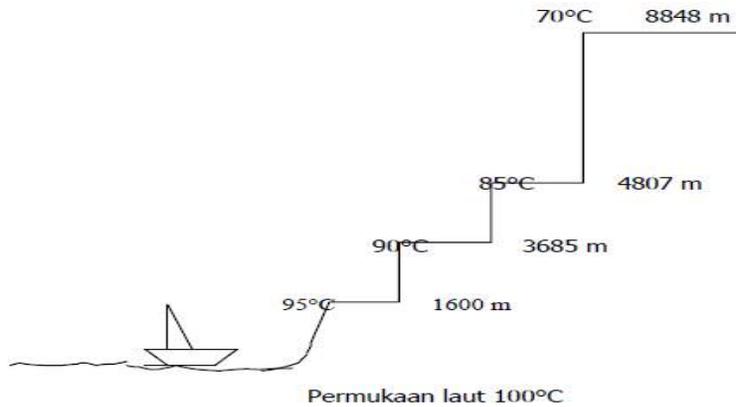


Gb.2.12. Pressure gauge, vacuum gauge, compound gauge

22. Pengaruh Tekanan Terhadap Titik Didih

Setiap cairan mempunyai titik didih yang dapat berubah apabila tekanannya berubah. Air mendidih pada temperatur 100°C jika tekanannya 1 atmosfer. Titik didih ini juga merupakan titik kondensasi uap air pada tekanan yang sama. Akan tetapi air juga dapat mendidih pada 38°C bila tekanannya 0,5 cm.Hg pada 170°C bila tekanannya 8 kg/cm^2 , dengan kata lain bahwa bila tekanan suatu cairan dinaikkan titik didihnya akan naik dan sebaliknya bila tekanannya diturunkan maka titik didihnya juga turun. Gambar 2.13. memperlihatkan makin tinggi suatu tempat makin rendah tekanan udaranya sehingga titik didih air lebih rendah.

Setiap cairan mempunyai titik didih tersendiri. Pada tekanan 1 atmosfer alkohol menguap pada 78°C , ammonia -32°C dan Freon 12 pada 30°C . Di dalam mesin pendingin dipergunakan cairan yang titik didihnya sangat rendah seperti halnya ammonia dan Freon 12.



Gb.2.13. Makin tinggi suatu tempat, makin rendah tekanan udaranya, sehingga titik air lebih rendah

23. Isolasi Panas

Pendinginan suatu benda tidak akan banyak berarti apabila panas tidak diupayakan untuk dicegah. Isolasi panas merupakan cara yang efisien di dalam pendinginan untuk mengurangi panas yang akan kembali.

Jadi fungsi isolasi adalah menghambat arus panas ke dalam ruangan yang direfrigerasi, dengan demikian ruangan tersebut akan cepat turun temperaturnya ke arah temperatur operasi yang diinginkan, sehingga akan lebih efisien usaha penyimpanan produk yang didinginkan. Agar penggunaan isolasi dalam ruangan yang direfrigerasi dapat memenuhi sesuai yang dikehendaki, maka sifat-sifat isolasi yang baik adalah:

- Konduktivitas thermal rendah.
- Penyerapan uap air dan permeabilitas (sifat dapat tembus) terhadap air rendah.
- Pemindahan uap air rendah dan awet walaupun basah.
- Tahan terhadap api.
- Tahan terhadap penyebab kebusukan dan kerusakan lapuk.
- Sifat-sifat mekanik yang dimiliki cukup baik.
- Tahan terhadap bahan-bahan kimia.
- Tidak membahayakan kesehatan, tidak berbau dan mudah ditangani.

Sifat-sifat yang diinginkan tersebut umumnya dimiliki oleh polyurethane dan polystyrene, misalnya polyurethane tahan terhadap bahan kimia, pelumas dan pelarut namun dapat terbakar, sedangkan polystyrene tahan asam encer dan alkali

pekat tetapi tidak tahan terhadap pelumas, bensin, hidrokarbon diklorinasi dan alifatik, aromatik, terbakar dengan lambat, bersih, mudah dikeringkan dan tahan lama. Terdapat beberapa bahan isolasi yang bersifat insulatif diantaranya :

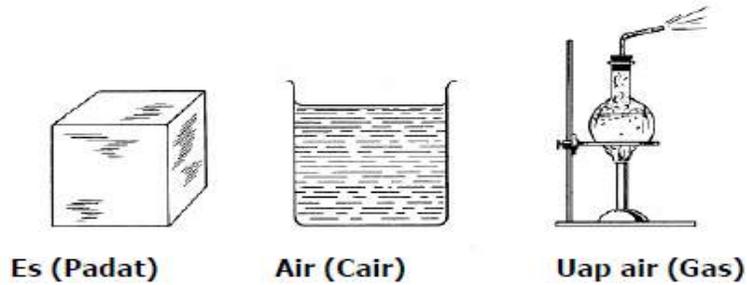
- a. Udara tidak bergerak atau udara yang mati terkurung antara dinding rangkap sejajar.
- b. Gabus dalam bentuk butiran atau lembaran.
- c. Kayu yang sangat kering dengan pengeringan mekanik dan tidak menyerap air.
- d. Glasswool atau fiberglass.
- e. Mineralwool.
- f. Polystyrene.
- g. Foamglass.
- h. Polyurethane.

24. Perubahan Wujud Benda

Status benda dapat berwujud dalam tiga fasa yang berbeda, yaitu sebagai zat padat, zat cair dan gas. Misalnya, air berbentuk zat cair, tetapi dapat muncul pula berupa zat padat, yaitu es, dan dapat muncul pula berupa uap air atau gas. (Gambar 2.14.). Semua benda atau materi, di bawah kondisi suhu dan tekanan tertentu, dapat muncul dalam salah satu dari ketiga fase tersebut di atas. Penambahan dan penurunan energi yang dikenakan pada suatu benda dapat berpengaruh terhadap suhu dan wujud benda.

Untuk membantu memahai konsep ini, marilah kita tinjau kembali teori molekul. Katakanlah, air pada suhu ruang dan tekanan atmosfer berwujud cair atau likuid. Molekul air bergerak secara random, jarak antar molekul agak jauh, sering terjadi tumbukan elektron. Bila suhu air naik sampai 100°C (212°F), dan tekanan dijaga tetap 1 atmosfer, maka air akan mendidih dan mengeluarkan uap. Ini adalah proses perubahan wujud dari cair ke gas.

Uap air atau steam, adalah air dalam wujud gas. Sifat molekul uap air dalam wujud gas berbeda dengan sifat molekul air dalam wujud cair. Jarak antar molekul uap menjadi lebih jauh, dan kecepatan gerak molekul menjadi lebih besar dari pada molekul air. Uap juga mudah dipampatkan atau memiliki tingkat kompresibel yang tinggi. Air dalam bentuk cair hampir tidak dapat dipampatkan. Uap air memiliki sifat seperti gas murni.



Gb.2.14. Wujud benda tergantung pada suhu dan tekanannya, es ($\leq 0^{\circ}\text{C}$), air ($0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$), uap air ($\geq 100^{\circ}\text{C}$)

Dalam kasus berikutnya, bila air dalam wujud cair tersebut, suhunya turun hingga mencapai 0°C (32°F), tekanan tetap konstan 1 atmosfer, maka air akan membeku dan berubah wujud menjadi es yaitu wujud padat dari air. Sifat molekul es seperti sifat molekul zat padat lain, yakni jarak molekul relatif lebih dekat, gerakan molekul menjadi tertahan sehingga energi molekul menjadi lebih rendah dan tidak dapat dipampatkan. Proses perubahan wujud untuk benda lain, sama seperti air tetapi dalam kondisi suhu dan tekanan yang berbeda.

1) Fasa Padat

Benda dalam fasa padat atau solid, memiliki energi potensial internal relative kecil. Molekul benda tersebut agak sedikit rapat akibat adanya gaya tarik dan gaya grafitasi. Struktur molekulnya menjadi kaku sehingga pergerakan molekul menjadi terbatas. Karena struktur molekulnya kaku (rigid) maka pada fasa padat ini ukuran dan bentuk benda cenderung tetap dan tidak dapat dimampatkan (non compressible).

2) Fasa Cair

Molekul pada benda yang berada pada fasa cair memiliki energi yang lebih besar daripada ketika berada pada fasa padat. Energi yang lebih besar ini, dapat mengatasi adanya gaya tarik-menarik molekul sehingga dapat lebih bebas bergerak. Molekulnya bebas bergerak kemana saja sehingga zatnya mudah mengalir mengikuti bentuk bejana yang ditempatinya.

3) Fasa Gas

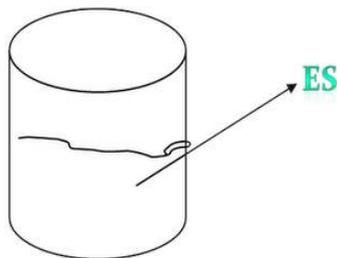
Molekul benda dalam fasa gas memiliki energi yang lebih besar daripada energi yang dimiliki ketika berada dalam fasa cair. Ia mempunyai energi yang lebih dari

cukup untuk mengatasi adanya gaya yang dapat menekannya. Konsekuensinya, mereka dapat terbang dengan kecepatan tinggi. Selalu bertubrukan dengan sesamanya dan juga dinding kontainernya. Oleh karena itu gas akan tetap berada pada ukurannya tetapi tidak pada bentuknya. Gas mudah dikompresi tetapi juga mudah bocor bila kontainernya tidak bagus.

25. Proses Dasar Terjadinya Dingin

Dingin yang dimaksudkan adalah merupakan hasil yang diciptakan oleh mesin pendingin terutama kulkas dan freezer, sedangkan AC lebih ke keadaan sejuk. Proses terjadinya pendinginan yang di ciptakan oleh mesin pendingin sebenarnya merupakan tiruan atau meniru terjadinya dingin yang di sebabkan oleh alam.

Dingin sebenarnya merupakan suatu proses penguapan karena adanya panas, atau ada pula dikatakan bahwa penguapan dari suatu cairan karena adanya panas akan menimbulkan udara dingin di sekitarnya. Untuk lebih memudahkan pengertian dalam memahami masalah ini, kita dapat mengambil beberapa contoh proses terjadinya dingin yang di sebabkan oleh alam. Pada dasarnya udara yang ada di sekeliling kita mengandung air. Contoh yang paling sederhana untuk membuktikan hal ini di perlihatkan pada gambar 2.15.



Gb.2.15. Pembuktian bahwa udara mengandung air

Bila sebuah gelas kosong di sini di isi es batu, bagian luar dinding gelas akan mengembun karena adanya dingin yang berasal dari es. Ini membuktikan bahwa udara yang berada di sekeliling kita mengandung air. Besar kecilnya kadar air yang ada di dalam udara tergantung dari keadaan cuaca.

Pada waktu malam hari, lebih-lebih udara dini hari menjelang fajar, kadar air terdapat di dalam udara lebih besar sebanding siang hari. Hal tersebut karena udara yang berhembus pada dini hari tidak mengalami proses penguapan lebih cepat

sehingga menimbulkan titik embun pada daun. Tetapi pada siang hari, di mana sinar matahari begitu menyengat, kadar air yang ada di dalam lebih cepat menguap, sehingga tidak menghasilkan embun.

Proses penguapan dari suatu cairan sebagaimana di jelaskan di atas masih mengandung suhu panas tertentu sehingga tidak mampu membekukan air menjadi es. Karena itu untuk mendapatkan suatu cairan yang penguapannya mampu membekukan air menjadi es, harus di cari cairan yang penguapannya sangat cepat dan singkat. Dari hasil penelitian telah di temukan beberapa cairan gas yang mampu melakukan hal itu, antara lain gas freon 12, freon 22, dan freon 114.

26. Terjadinya Dingin Pada Ruang Mesin Pendingin

Proses dingin di dalam mesin pendingin karena adanya pemindahan panas. Setiap mesin pendingin mampu menghasilkan suhu dingin dengan cara menyerap panas dari udara yang ada dalam ruang pada mesin pendingin itu sendiri. Bahan yang digunakan untuk menghasilkan penguapan yang begitu cepat sehingga mampu menghasilkan udara dingin. Umumnya untuk keperluan ini digunakan gas freon.

Gas Freon ini dalam sistem pendinginan memiliki bentuk yang berubah-ubah, yaitu dari bentuk cairan menjadi bentuk gas (uap). Pada kompresor, gas yang telah berubah menjadi uap tadi tekanan dan panasnya dinaikkan untuk selanjutnya uap panas yan berasal dari gas itu diturunkan atau didinginkan pada bagian kondensor sampai membentuk cairan. Kemudian sesampainya pada evaporator cairan itu diturunkan tekanannya sehingga menguap dan menyerap panas yang ada di sekitarnya. Kemudian dalam bentuk uap refrigerant tadi dihisap kembali oleh bagian kompresor dan dikeluarkan lagi seperti semula. Proses seperti ini berlangsung secara berulang. Dalam sistem mesin pendingin jumlah refrigerant yang digunakan adalah tetap, yang berubah adalah bentuknya karena adanya proses seperti diatas.

27. Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal Orang

Temperatur Udara Kering

Temperatur udara kering sangat besar pengaruhnya terhadap besar kecilnya kalor yang dilepas melalui penguapan (evaporasi) dan melalui konveksi. Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi :

- (1) Sejuk nyaman, antara temperatur efektif 20,5°C - 22,8°C.
- (2) Nyaman optimal, antara temperatur efektif 22,8°C - 25,8°C.
- (3) Hangat nyaman, antara temperatur efektif 25,8°C - 27,1°C.

28. Kelembaban Udara Relatif

Kelembaban udara relatif dalam ruangan adalah perbandingan antara jumlah uap air yang dikandung oleh udara tersebut dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur udara ruangan tersebut. Untuk daerah tropis, kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40% - 50%, tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif masih diperbolehkan berkisar antara 55% - 60%.

29. Pergerakan Udara (Kecepatan Udara)

Untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik dan sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/detik.

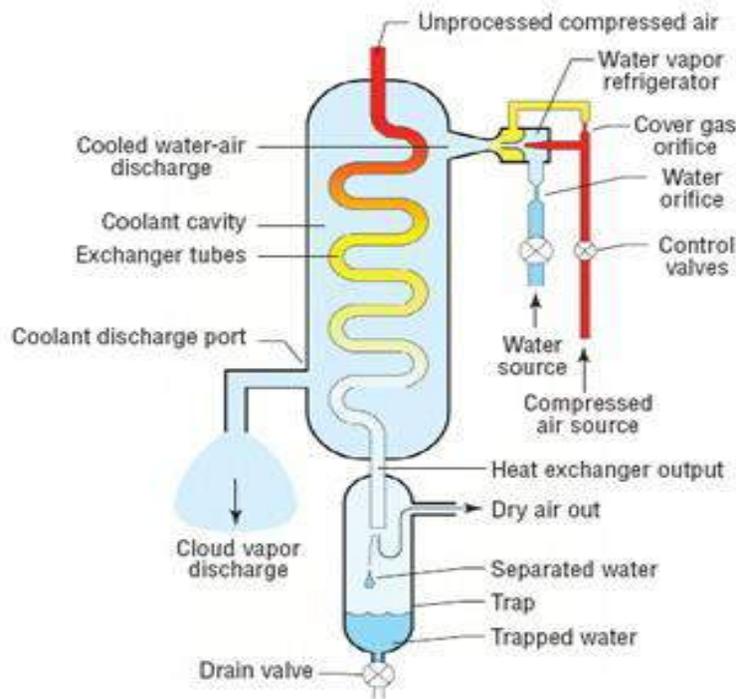
30. Sifat Udara dan Psikrometri

Tata Udara (air conditioning) dapat didefinisikan sebagai pengontrolan secara simultan semua faktor yang dapat berpengaruh terhadap kondisi fisik dan kimiawi udara dalam struktur tertentu. Faktor-faktor tersebut meliputi : suhu udara, tingkat kelembaban udara, pergerakan udara, distribusi udara dan polutan udara. Di mana sebagian besar dari faktor tersebut di atas dapat berpengaruh terhadap kesehatan tubuh dan kenyamanan.

Udara yang telah dikondisi secara tepat dapat hanya merupakan salah satu atau kombinasi dari berbagai pengaturan faktor-faktor di atas. Sebagai contoh : hanya proses pendinginan atau proses pemanasan saja, atau hanya proses sirkulasi udara saja dengan menggunakan fan atau hanya proses penambahan/pengurangan kelembaban udara, atau proses pemurnian (penyaringan) udara agar bebas dari polutan udara atau bahkan kombinasi dari berbagai proses tata udara seperti yang diuraikan di atas.

31. 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.



Gb.2.16. Water vapor and dry air refrigerator

Udara kering itu sendiri 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.

Dewasa ini, udara murni yang bebas polutan merupakan komoditi yang sulit didapat, sehingga kegiatan purifikasi dan filtrasi cenderung semakin rumit dan sulit dilakukan. Debu, asap rokok, asap pabrik, asap kendaraan bermotor, bakteri, dan gas ringan lainnya merupakan kontaminan atau polutan yang telah mencemari udara

atmosfir, khususnya udara di kota-kota besar. Sistem pengkondisian udara atau sistem tata udara berskala besar biasanya sudah membuang kontaminan tersebut, tetapi untuk kebanyakan sistem berskala rendah, untuk keperluan domestik atau skala rumah tangga belum dilengkapi dengan sistem filtrasi seperti itu.

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

Udara yang terlalu kering, akan berakibat langsung pada dehidrasi, yaitu hilangnya sebagian besar cairan tubuh manusia, kulit menjadi kering dan bersisik. Disamping itu juga dapat merusak material lain seperti sayuran dan buah-buahan. Sedang 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 secara cermat suhu, kelembaban dan polutan udara. Aktivitas ini lazim disebut sebagai ruang bersih atau clean room (Gb.2.17.).



Gb.2.17. Clean room pharmaceutical industry

32. Campuran Uap Air dan Udara Kering

Dari semua sifat-sifat udara yang mempunyai efek langsung terhadap proses pengkondisian udara selain suhu udara adalah kandungan uap air di udara atau kelembaban udara. Kandungan uap air di udara ruang merupakan sifat yang paling penting untuk dipertimbangkan. Uap air selalu ada di dalam setiap udara atmosfer dan jumlahnya dapat berpengaruh langsung terhadap kenyamanan. Suatu studi yang membahas tentang sifat-sifat atau karakteristik campuran udara kering dan uap air disebut Psikrometrik.

Kandungan uap air di udara bervariasi di setiap lokasi atau daerah. Di Daerah yang memiliki empat musim biasanya memiliki udara yang sangat kering artinya jumlah kandungan uap airnya sangat rendah. Di daerah tropis seperti Indonesia, kandungan uap air di udara sangat tinggi sehingga udaranya lembab. Dalam prakteknya, pengaturan jumlah kandungan uap air ini merupakan faktor yang memiliki kesulitan lebih tinggi dibandingkan dengan pengaturan suhu.

Seperti namanya uap air adalah bentuk gas dari air pada suhu di bawah titik uap air, yang nilainya tergantung pada tekanan atmosfer. Pada suhu dan tekanan barometer tertentu, uap air dapat berwujud gas atau liquid. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya formasi awan dan kabut. Kandungan uap air di udara dapat mencapai 1 hingga 3% dari total volume udara. Uap air dapat menguap pada tekanan yang sangat rendah. Misalnya, pada tekanan 29 inchi mercury di bawah nol, uap air akan menguap pada suhu 27 derajat Celsius.

Jumlah kandungan uap di udara berpengaruh terhadap kelembaban udara. Kelembaban udara di suatu tempat dapat bertambah tinggi bila konsentrasi uap air di tempat tersebut ditambah. Dan sebaliknya bila konsentrasi uap airnya dikurangi maka tingkat kelembabannya akan turun. Pengurangan dan penambahan kandungan uap air di udara ruang merupakan salah satu kegiatan pengkondisian udara untuk kenyamanan. Karena tingkat konsentrasi uap air yang terkandung di udara ruang dapat berpengaruh terhadap kenyamanan penghuninya.

33. Suhu Saturasi

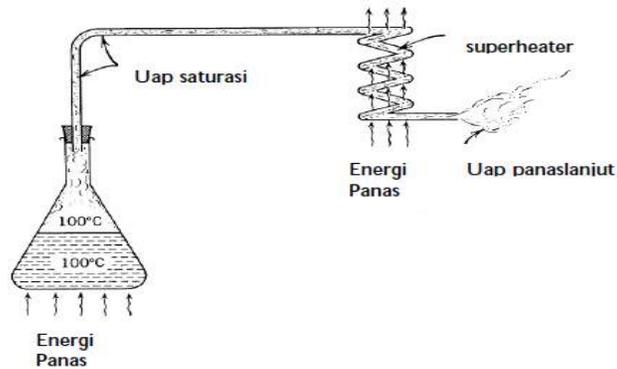
Suhu di mana suatu fluida atau zat cair merubah dari fasa cair menjadi fasa uap atau gas, atau kebalikannya, yaitu dari fasa gas berubah menjadi fasa cair, disebut suhu saturasi. Ingat kembali proses perubahan wujud yang sudah dibahas sebelumnya. Liquid yang berada pada suhu saturasi disebut liquid saturasi dan uap atau gas yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi. Satu hal penting yang perlu diketahui adalah, suhu saturasi untuk liquid (suhu di mana liquid akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu di mana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu.

Pada suatu tekanan tertentu, suhu saturasi adalah suhu maksimum liquid dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Adanya usaha untuk menaikkan suhu liquid di atas suhu saturasi hanya akan menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari liquid. Halnya yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

34. Uap Panas Lanjut

Uap yang berada di atas suhu saturasi uap tetapi tetap pada tekanan saturasi uap dikenal dengan sebutan uap panas lanjut (superheated vapour). Begitu fasa liquid telah berubah menjadi fasa uap (menguap), maka suhu uap tersebut dapat dinaikkan lagi dengan menambahkan energi panas kepadanya. Bila suhu uap sudah naik jauh di atas suhu saturasi uap, maka uapnya disebut mengalami pemanasan lanjut, dan energi yang digunakan untuk membuat panas lanjut uap, disebut sebagai panas lanjut (superheat).

Sebelum uap dapat dibuat berada dalam fasa panas lanjut, maka uap harus dipisahkan hubungannya dengan penguapan liquid. Demikian juga, uap panas lanjut yang akan diembunkan, pertamamata harus didinginkan hingga mencapai suhu saturasi pada tekanan saturasi liquid. Gambar 2.18. menjelaskan maksud tersebut.



Gb.2.18. Proses pemanasan lanjut melalui alat pemisah superheater

35. Cairan Super Dingin

Bila setelah mengalami kondensasi (pengembunan), liquid hasil pengembunan tersebut dilanjutkan lagi proses pendinginannya sehingga suhu liquid turun di bawah suhu saturasi, liquid tersebut dikatakan menjadi superdingin (subcooled). Konsensuensinya, suatu liquid pada suhu di bawah suhu saturasi liquid, disebut liquid superdingin.

36. Suhu Bola Basah dan Suhu Bola Kering

Thermometer yang lazim digunakan untuk mengukur suhu adalah thermometer bola kering. Bila sensor panas (bulb) Thermometer yang digunakan untuk mengukur suhu dijaga dalam kondisi kering maka thermometernya disebut sebagai thermometer bola kering. Hasil pengukuran suhu dengan alat ini disebut sebagai : Suhu Bola Kering. Dalam keadaan biasa , bila ukuran suhu tersebut tidak diberi penjelasan khusus maka dianggap sebagai ukuran bola kering. Sebagai contoh : 20°C bola kering atau cukup dengan : 20°C.

Bila sensor panas (bulb) thermometer yang digunakan sengaja dikondisikan menjadi basah, yaitu sengaja ditutup oleh kain yang higroskopis maka ukuran suhu yang diperoleh disebut sebagai ukuran suhu bola basah. Dalam kondisi biasa maka adanya cairan yang melingkupi sensor panas ini maka penunjukan skala suhu bola basah akan lebih rendah dengan penunjukan suhu bola kering. Tetapi bila kandungan uap air di udara mencapai titik maksimalnya (titik jenuh) maka penunjukkan kedua jenis thermometer tersebut menjadi sama.

Dalam keadaan jenuh maka cairan yang ada disekeliling bulb thermometer tidak dapat menguap lagi sehingga penunjukkan thermometer basah menjadi sama dengan thermometer bola kering. Tetapi bila kondisi udara ruang belum mencapai

saturasi maka penunjukkan thermometer bola basah selalu lebih rendah dari bola kering, akibat adanya efek penguapan cairan yang terjadi pada thermometer bola basah. Alat khusus dapat digunakan untuk mengukur bola basah dan bola kering disebut Sling Psychrometer.

LEMBAR PERTANYAAN.

Isilah pertanyaan dibawah ini dengan jawaban yang benar.

1. Pemindahan energi panas dapat berlangsung dalam tiga cara, sebutkan?
2. Apakah Yang dimaksud bola basah & bola kering ?