

COOLING MANAGEMENT

Pemahaman dasar praktis & Perkembangannya

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta:

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/ atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/ atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/ atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/ atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 1.000.000.000,- (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,- (empat miliar rupiah)

COOLING MANAGEMENT

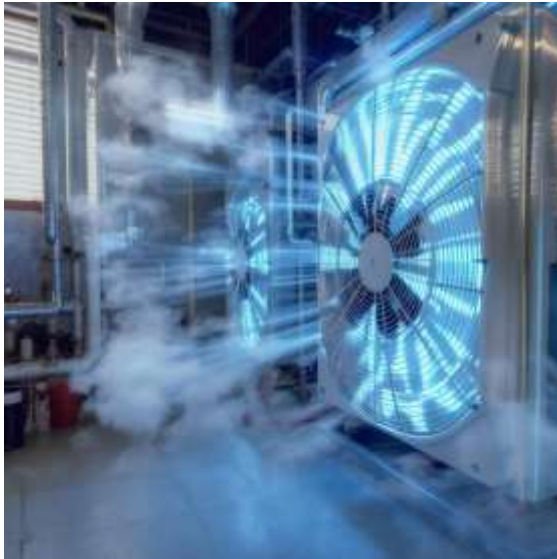
Pemahaman dasar praktis & Perkembangannya

Penulis

Marhaendra Nata MM., MT., IPU., GP

Certified HVAC&R System Design & Energy Auditor

University Lecturer



COOLING MANAGEMENT

Pemahaman dasar praktis & Perkembangannya

Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit Diva Pustaka

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang All Rights Reserved

Hak penerbitan pada Penerbit Diva Pustaka

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa seizin tertulis dari Penerbit

Cetakan Pertama : Agustus 2025

15,5 cm x 23 cm

ISBN : 978-634-7278-67-8

Penulis : Marhaendra Nata MM., MT., IPU., GP

Desain Cover : Sendy Gustiawan Saputra

Tata Letak : Agam Damar S

Diterbitkan Oleh : CV. Diva Pustaka

Anggota IKAPI : No. 222/JTE/2021

E-mail : divapustaka@gmail.com

Website : www.divapustaka.co.id

Whatsapp : 0813-3144-1992

Perum Mutiara Regency 2 Blok D7

Kelurahan Wirasana Kecamatan Purbalingga

Kabupaten Purbalingga – Jawa Tengah 53318

PENGANTAR

Dengan mengucap syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa penulis haturkan atas berkat dan rahmat-Nya sehingga akhirnya buku berjudul *COOLING MANAGEMENT Pemahaman Dasar Praktis & Perkembangannya* ini dapat penulis selesaikan.

Penulis termotivasi adanya ketergesaan memahami topik ini karena fenomena semakin banyaknya pemanfaatan dan aplikasi dari sistem pendingin seperti AC atau refrigerasi. Di sisi lain dari pengalaman penulis sering dijumpai penulis dalam berbagai kesempatan dan pertemuan baik formal maupun informal di lapangan relatif banyak orang-orang yang terlibat di operasional apalagi para pelaksana lapangan yang dalam bekerja atau berkegiatan sehari-harinya lebih berdasarkan kebiasaan dari rekan-rekan atau pendahulunya akibat kurang fasih dalam hal pengetahuan atau prinsip dasar teknik pendingin.

Motif lain adalah kemungkinan belum banyaknya buku teknik pendingin yang pembahasan topiknya melandasi secara agak detail dengan pendekatan operasional pelaksanaan yang sering dilakukan di lapangan.

Jika ada kekurangan-kekurangan ditemukan di buku *COOLING MANAGEMENT* kali ini; untuk itu penulis terbuka atas kritik membangun dari para pembaca.

Selain untuk memberikan pemahaman dasar yang lebih baik bagi para pembaca termasuk sebagai referensi dasar pembelajaran bagi para siswa atau mahasiswa yang sedang memperdalam pengetahuannya tentang teknik pendingin.

Diharapkan semoga buku ini juga dapat memberikan sumbangsih bagi spirit untuk *green* dan *sustainable energy* dan untuk mendukung operasional yang ramah lingkungan yang dari waktu ke waktu belakangan ini terus digaungkan dalam rangka mengurangi emisi gas buang khususnya berkaitan CO₂ *Emission Reduction*.

Tak lupa penulis ucapkan terima kasih khususnya:

1. Ditujukan kepada para teman-teman dosen terutama dalam memberikan beberapa masukan di satu-dua bagian.
2. Terima kasih juga pastinya penulis haturkan atas dukungan spirit dari keluarga yang diberikan dari awal hingga selesainya penulisan buku ini.

Jakarta, 18 August 2025



Marhaendra Nata, MM., MT., IPU., GP
Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
BAB 1 PERKEMBANGAN TEKNIK PENDINGIN.....	1
BAB 2 PRINSIP DASAR TEKNIK PENDINGIN	13
BAB 3 REFRIGERAN.....	41
BAB 4 UNIT PENGKONDISI UDARA.....	51
BAB 5 PEMILIHAN UNIT AC.....	57
BAB 6 KESESATAN & KESALAHPAHAMAN.....	65
PROFIL BISNIS PENULIS.....	71
REFERENSI.....	72
BIOGRAFI.....	74

BAB 1

PERKEMBANGAN TEKNIK PENDINGIN

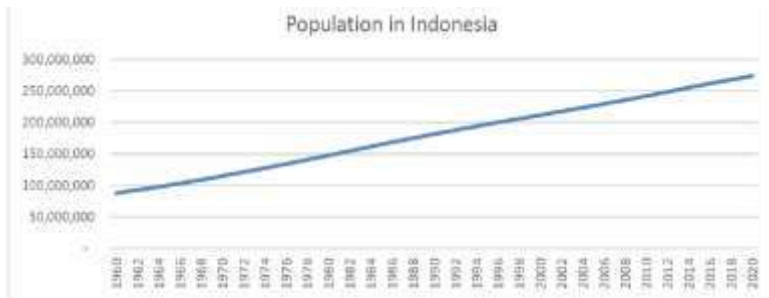
1. Penemuan Sistem Pendingin

Tentang unit pendingin apalagi sebutan unit AC tentu sudah cukup sering didengar di banyak kesempatan baik kesempatan formal maupun non-formal dan apalagi kategori unit ini sudah dimanfaatkan sejak puluhan tahun yang lalu. Bahkan sudah cukup banyak macam atau jenis unit pendingin atau unit AC dengan berbagai penyesuaian dan perkembangan teknologi yang ditemukan dari waktu ke waktu termasuk di berbagai kapasitas kerjanya.

Perkembangan teknologi yang disebut di atas adalah seperti perkembangan menyangkut:

1. keefektifan atau efisiensi kerja di tiap komponen-komponen dasarnya seperti pada komponen pemindah panas atau *heat exchanger*, komponen kompresor atau komponen pengatur jumlah refrigeran atau *metering device*, pada sisi dimensi menjadi lebih kompak.
2. pada sisi jenis material baik untuk mendukung keefektifan dan efisiensi juga untuk mendukung harga pada sisi perlindungan dan keselamatan seperti perubahan atau penambahan komponen kontrol pada sisi operasional dengan perubahan atau penambahan komponen kontrol misal agar lebih mudah dioperasikan dan/atau lebih menambah fitur-fitur penggunaan.

Pada sisi lain didapati bahwa pertumbuhan populasi di Indonesia yang relatif cukup tinggi. Pertumbuhan populasi rata-rata Indonesia per tahun yang tercatat adalah sekitar 1,1% untuk sepuluh tahun terakhir hingga tahun 2020 atau hampir mencapai 13% pertumbuhan populasi tersebut [1].



Gambar Grafik Populasi di Indonesia 1960-2020
(*World Bank*)

Pada tingkat ini, populasi Indonesia diproyeksikan akan melampaui populasi Amerika Serikat dalam waktu dekat. Sejalan dengan pertumbuhan populasi tersebut juga terjadi perkembangan area-area perkotaan atau area bisnis melalui berbagai pembangunan gedung-gedung komersial seperti mall atau plaza atau perkantoran dan menara perkantoran (*office tower*) yang makin sangat mudah ditemukan di sana-sini, maka penggunaan unit pendingin pun ikut terdongkrak naik cukup signifikan dari waktu ke waktu.

Selain itu penggunaan atau pemanfaatan unit pendingin juga karena dipengaruhi peradaban kehidupan manusia baik untuk mendapatkan kenyamanan udara juga untuk alasan lebih mengawetkan produk makanan di Begitu banyak

kulkas di banyak pemukiman atau di lemari pembeku atau *freezer-freezer*-nya di banyak pasar swalayan dan pasar swalayan kecil yang sudah ditemukan di begitu banyak lokasi termasuk di cukup banyak pedesaan sekalipun.

Pemanfaatan unit pendingin itu juga berkaitan dengan peradaban dan perkembangan sisi kesehatan dengan terus berkembangnya pembangunan banyak rumah sakit baik dari rumah sakit level pertama/ sederhana sampai ke rumah sakit modern yang besar dan bertingkat dimana sudah dilengkapi berbagai fasilitas di dalamnya.

Di rumah sakit, fasilitas unit pendingin digunakan selain untuk tujuan kenyamanan udara bagi lokasi rawat inap pasien juga untuk tujuan menjaga beberapa jenis obat-obatan yang mensyaratkan temperatur tertentu ataupun untuk pengkondisian udara di ruang operasi sesuai dengan ketentuan aturan dan standar yang ditentukan oleh departemen kesehatan.

Pertumbuhan dan perkembangan Pembangunan gedung-gedung komersial yang cukup pesat [2].

Bahkan sangat mungkin sebagian besar pembaca buku inipun sudah menggunakannya juga. Pemanfaatan sistem pengkondisi udara atau unit AC ini memang cukup berguna karena selain untuk tujuan kenyamanan tapi juga akan mempengaruhi kesehatan bahkan produktivitas [3]

Sementara unit refrigerasi seperti lemari pendingin atau *cooling display* dan sejenisnya akan mudah ditemukan di banyak pasar swalayan atau pasar retail modern. Untuk industri-industri seperti industri ice cream atau beberapa pergudangan khusus atau kapal yang berlayar relatif lama tentu juga akan memanfaatkan unit refrigerasi yang lebih dikenal sebagai ruangan pendingin atau *cold room* atau *cold storage*.

Pemanfaatan sistem pendingin untuk menjaga ketahanan produk makanan memang sudah dipelajari dan diteliti yang membuktikan dapat menjaga pembatasan pertumbuhan mikro-organisme pada produk makanan [4] [5].

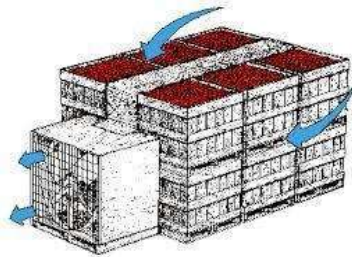
Pada awalnya pemanfaatan unit pendingin didasari pada pemikiran bahwa ternyata bahan atau produk pangan akan lebih tahan lama jika berada di udara bertemperatur rendah [4]. Maka dengan digunakannya unit pendingin yang dipasang pada suatu ruangan, bahan atau produk makanan yang ditempatkan di dalamnya akan dapat bertahan lebih lama dan tidak rusak atau membusuk [4].

Manfaat ini menjadi penting di jaman itu apalagi zona dengan 4 musim dimana suatu area pada musimnya pasti akan mengalami musim yang ekstrim dingin dan beku sehingga memerlukan persediaan makanan karena sulitnya beraktivitas di luar ruangan.

Di wilayah sisi lain seperti Timur Tengah yang rata-rata memiliki kelembaban udara yang rendah tapi di sisi lain kadang mengalami temperatur yang relatif tinggi. Kondisi ini tentu akan mendorong pemanfaatan pengkondisian udara dimana waktu itu pengkondisian temperatur masih dengan pendinginan evaporatif atau *evaporative cooling* yang pada waktu itu dengan cara menggantungkan tikar basah di depan pintu yang terbuka untuk mengurangi panas udara dalam ruang.

Pada abad ke-15 Leonardo da Vinci merancang suatu mesin pendingin evaporatif atau pendingin dengan cara penyuapan untuk usaha melepaskan sejumlah panasnya. Mesin pendinginnya Leonardo ini berukuran besar dan menggunakan roda besar yang diletakkan di luar istana, digerakkan oleh air dengan katub-katub yang terbuka-tertutup

secara otomatis untuk menarik udara ke dalam drum di tengah roda. Udara yang ada di dalam drum di tengah roda tersebut kemudian dipaksa keluar melalui pipa kecil dan dialirkan ke dalam ruangan.



Gambar 1. 1 Penerapan Sistem Pendingin Leonardi da Vinci

Teknik pendinginan mulai berkembang secara ilmiah di abad ke-17, dimulai dari penelitian tentang pemantulan melalui efek panas dan dingin yang dilakukan oleh Robert Boyle (1627-1691) di Inggris dan Mikhail Lomonossov (1711-1765) di Rusia.

Selanjutnya, penelitian mengenai termometri yang dimulai oleh Galileo yang kemudian dilanjutkan dan dikembangkan kembali oleh Guillaume Amontons (1663-1705) di Perancis, Isaac Newton (1642-1727) di Inggris, Daniel Fahrenheit (1686-1736) orang Jerman yang bekerja di Inggris dan Belanda, René de Réaumur (1683-1757) di Perancis dan Anders Celsius (1701-1744) di Swedia.

Tiga ilmuwan yang disebutkan terakhir merupakan penemu sistem skala pengukuran temperatur, dan masing-masing namanya diabadikan pada sistem skala tersebut yaitu Fahrenheit, Reaumur dan Celsius.

2. Perkembangan Teknik Pendingin

Berkaitan dengan perkembangan teknik pendingin, satu dari sistem yang berkaitan dengan sistem pendingin yang susah untuk dilepaskan dalam sejarah perkembangannya karena berperan penting dalam hal berkaitan dengan penemuannya yaitu tentang adanya sistem dengan siklus yang dimulai dari teorinya Carnot yang sangat fenomenal.

Tulisan dan teorinya Sadi Carnot (1796-1832), seorang Perancis yang sangat terkenal pada tahun 1824 menjadi inspirasi yang menjadi landasan dan menjadi awal mula yang sangat penting sebagai titik tolak teori pemikirannya yang kemudian menjadikan sebagai cikal-bakal dari ditemukannya teori sistem pendingin dan menjadi bagian yang penting untuk pembelajaran dan penelitian yang ditelaah di termodinamika.

Perkembangannya kemudian menjadi landasan bagi berbagai sistem pendinginan. Termasuk yang menjadi bagian dari pemikir dalam perkembangan yang berelasi dengan konsep ini adalah tokoh bernama James Prescott Joule (Inggris, 1818-1889) dengan pemikiran-pemikiran dan percobaannya yang mendalami hal berkaitan dengan panas dan lain-lain.

Penemuan-penemuan di atas menjadi awal yang sangat berharga dalam sejarah penemuan yang diawali dengan penemuan mesin-mesin tenaga. Dari penemuan dan pemikiran teoritis itu kemudian berkembang ke mesin pendingin dan zat-zat pendinginnya.

Perkembangan tentang mesin pendingin yang diprakarsai dari pemikirannya Carnot dengan siklus *heat engine*nya itu yang kemudian menjadi model pemikiran diciptakannya mesin pendingin mekanis yang diteruskan dan dilengkapi dengan beberapa penyesuaian oleh Rankine, juga -

dilanjutkan oleh seorang Amerika bernama Oliver Evans (1755-1819) mampu menjelaskan siklus refrigerasi kompresi uap.

Pada tahun 1835, seorang Amerika lain yang bekerja di Inggris yaitu Jacob Perkins (1766-1849) berhasil mendapatkan paten mesin pendingin temuannya yang bekerja berdasarkan siklus kompresi uap tersebut.

Fluida atau media kerja dalam hal ini disebut sebagai refrigeran yang digunakan Perkins pada mesin pendinginnya tersebut adalah ethyl ether. Dengan ditemukannya mesin pendingin sistem kompresi uap, terjadi perkembangan yang cepat dalam penemuan zat-zat pendingin atau refrigerant.

Didasarkan pada hasil penelitian Swarts yang dilakukan selama kurun 1893-1907 di Ghent, suatu tim peneliti Frigidaire Corporation di Amerika, yang dipimpin oleh Thomas Midgley yang kemudian berhasil mengembangkan refrigeran fluorocarbon pertama pada tahun 1930 [6]. Refrigeran fluorocarbon dianggap sebagai refrigeran yang relatif aman karena pertimbangan tidak bersifat toksik dan tidak mudah terbakar.

Refrigeran jenis CFC (chloro-fluoro-carbon) pertama, yaitu R12 (CF_2Cl_2) mulai dilepas ke pasar pada tahun 1931, diikuti dengan refrigeran HCFC (hidro-chloro-fluoro-carbon) pertama, yaitu R22 (CHF_2Cl) pada tahun 1934.

Pada tahun 1961, jenis azeotropik pertama ditemukan, yaitu R502 (R22/R115) yang kemudian diperkenalkan ke pasar sebagai refrigeran.

Kompresor ditemukan oleh Otto Von Guiricke seorang Jerman kelahiran Magdeburg (20 November 1602 - 11 Mei 1686) di usia 83 tahun pada tahun 1650. Pada tahun 1654 Otto

Von Guiricke menciptakan pompa vakum yang terdiri dari piston dan silinder piston udara dua arah yang dirancang untuk menarik udara keluar dari kapal.

Setidaknya satu abad yang lalu, manusia harus beradaptasi keras dengan temperatur udara dan kelembaban yang berganti-ganti di setiap musimnya.

Sejalan dengan itu ada seorang insinyur muda bernama Willis Haviland Carrier yang diminta untuk memecahkan masalah besar di tempat kerjanya sebuah pabrik percetakan (industri litografi - Sackett-Wilhelms Lithographing Company of Brooklyn) karena terjadinya warna yang buruk. Pada kesempatan itu, ia mendapat permintaan dan tantangan untuk membuat mesin yang dapat mengatur kelembaban udara di pabrik percetakan itu. Dalam usahanya, ia mempersembahkan gambar desain mesin-nya dengan menciptakan sebuah sistem pengkondisian udara yang bekerja sepanjang tahun untuk menyediakan pemanas, pendingin, pelembab dan sekaligus menurunkan kelembaban.

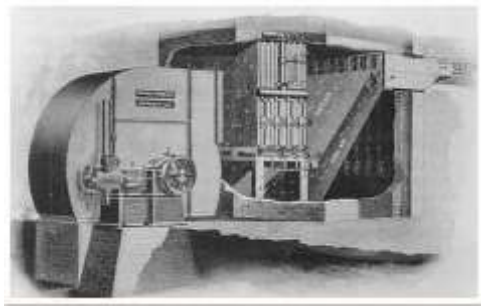
Pekerjaan desain yang dilakukan pemuda 25 tahun pada 17 Juli 1902 di musim panas bernama Carrier itu kelak akan mengubah kondisi udara di kehidupan manusia modern sehari-hari.

Sejak Carrier lulus dari Cornell University di awal tahun itu, dia telah mendesain beberapa alat seperti mesin pemanas, pengering kayu dan kopi, dan lain-lain di Perusahaan Buffalo Forge.

Mesin yang dibuat oleh Carrier itu adalah mesin berbasis pengkondisi udara atau AC yang dapat mengatur tingkat kelembaban udara.

Dari sistem yang dibuat oleh Carrier, udara dipaksa bergerak melewati saringan yang dibantu oleh kipas atau *air-fan*, kemudian dihembuskan melewati kumparan bertemperatur lebih rendah dari udara yang disirkulasikan. Udara dingin yang dihasilkan oleh suatu proses itu kemudian dikeluarkan dari unit AC menuju ruangan melalui kipas atau *fan*. Akibat dari bercampurnya udara dingin itu dengan udara dalam ruangan maka udara dalam ruangan itu menjadi dingin dan kelembabannya pun juga lebih rendah.

Carrier lalu berubah pikiran dengan mengganti mesinnya yang bertenaga piston menjadi centrifugal chiller, yang memungkinkan lebih banyak udara yang bisa didinginkan. Dia juga mengganti agen pendingin yang semula gas amonia yang beracun.



Gambar 1.2 Mesin Pendingin Udara Carrier di Pabrik Percetakan

Mesin pendingin udara ini pertama kali dipasang di pabrik Sackett & Wilhelms di akhir musim panas 1902, lengkap dengan kipas angin, pipa, pemanas, pengatur kelembaban dan suhu. Air dingin diambil dari sumur artesisan.

Pada tahun 1915, Carrier mulai menjalankan perusahaannya sendiri, yaitu Carrier Engineering Corp., yang berbisnis dengan menyediakan sistem pendingin ruangan bagi

hotel, mall, bioskop, dan akhirnya rumah-rumah pribadi. Di antara pelanggan pertamanya adalah Kongres Amerika, Gedung Putih, dan Madison Square.

Aplikasi yang hingga kini paling mudah ditemui termasuk di Indonesia adalah pemanfaatan unit *air conditioning* atau biasa disebut sebagai AC dan lemari pendingin atau *showcase* atau *cooling display* atau dispenser pendingin yang banyak ditemui di banyak pasar swalayan.

Hampir di banyak ruang dari gedung-gedung hingga sekarang sudah memanfaatkan *air conditioning system* atau sistem pengkondisi/penyejuk udara ini mulai dari mall, plaza, perkantoran, teater hingga di banyak rumah, apartemen dan residensial lainnya. Bahkan unit pengkondisi udara juga sudah lama dan banyak dimanfaatkan di transportasi seperti pesawat, kapal, kereta dan mobil.

Aplikasi pendingin lainnya adalah untuk keperluan industri seperti lemari pendingin dimana sistem pendingin digunakan untuk pengkondisian udara yang obyeknya adalah produk (bukan untuk kenyamanan udara manusia). Contoh: *chase freezer*, *showcase* dan *cold storage* atau gudang penyimpanan dingin untuk penyimpanan daging dan sebagainya.

Begitu luasnya memanfaatkan sistem pendingin pada berbagai aplikasi dan pemanfaatan di kehidupan. Maka bisa dibayangkan sekiranya sistem pendingin tersebut bermasalah, tentu akan sangat mengganggu operasional dan keberlanjutan aktivitas termasuk aktivitas bisnis.

Diperlukannya sistem pengkondisian udara melalui pemanfaatan sistem pendingin telah dilakukan pengamatan dan ternyata terbukti keberadaannya akan mempengaruhi kinerja dan produktivitas kerja [3]. Karena kebanyakan produk seperti produk makanan dan sebagainya akan lebih

bertahan lama pada temperatur dingin, maka sistem pendingin seperti gudang penyimpanan dingin atau *cold storage* dan seterusnya juga akan sangat berguna untuk membantu penyimpanan produk sehingga terhindar rusaknya produk-produk [4].

Namun demikian dibalik segala manfaat sistem pendingin itu, perlu disadari bahwa sistem ini merupakan sistem yang mengkonsumsi energi tertinggi di antara peralatan listrik lainnya di gedung komersial [7]. Maka untuk menggunakan sistem ini perlu kesadaran tentang kebutuhannya, perencanaan yang baik dan matang, pemilihan sistem yang tepat atau sesuai dan jenis serta penggunaan dan pengoperasian yang bijak.

Penggunaan dan pengoperasian dalam arti:

1. hanya digunakan pada area-area dan waktu-waktu yang memang dibutuhkan,
2. pada pemilihan atau penggunaan materi dinding yang bijak,
3. penyetelan-penyetelan yang bijak seperti pada penyetelan target temperatur, misal untuk tujuan kenyamanan udara tidak kurang dari 24 °C.
4. pengaturan area-area yang dikondisikan untuk tidak banyak ter-infiltrasi udara luar yang tidak diharapkan, pengaturan pintu-pintunya agar tetap tertutup dan tidak terbuka jika memang tidak diperlukan.
5. perawatan yang cukup memadai dalam rangka menjaga agar sistem tetap dalam keadaan beroperasi baik atau normal dan aman.

BAB 2

PRINSIP DASAR TEKNIK PENDINGIN

1. Prinsip Dasar Kerja Proses Pendingin

Dasar kerja dari proses pendingin sangat berkaitan dengan parameter yang biasa disebut sebagai panas. Proses pendinginan pada hakekatnya adalah pengaturan jumlah panas yaitu untuk tujuan pendinginan dengan cara menurunkan temperatur sehingga dengan demikian jumlah panas diatur menjadi lebih sedikit.

Sebagaimana sempat disinggung di atas secara sekilas bahwa hal tentang parameter panas pada dasarnya suatu parameter yang sangat berkaitan erat dengan besaran temperatur. Tingkat temperatur yang lebih tinggi menunjukkan jumlah panas yang lebih tinggi dan sebaliknya temperatur yang lebih rendah jika kondisi jumlah panasnya lebih sedikit.

Pada kajian fisika yang kemudian dibahas lebih dalam di kajian termodinamika disebutkan bahwa panas adalah salah satu bentuk energi. Kemudian juga dijelaskan bahwa panas yang merupakan salah satu bentuk energi ini berbanding lurus terhadap temperatur benda.

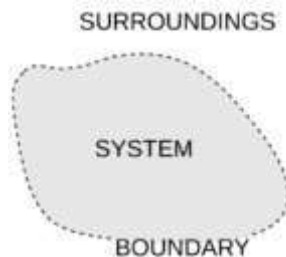
Ketika dua benda dengan temperatur berbeda berdekatan, maka kedua benda dengan berbeda tingkat temperatur akan saling bertukar atau berpindah sampai temperatur kedua benda tersebut sama atau seimbang. Dalam hal ini terdapat proses Perpindahan panas. Jumlah energi yang disalurkan adalah jumlah energi yang berpindah atau bertukar tempat.

Lebih lanjut jika pernyataan di atas diteruskan maka dapat dijelaskan juga bahwa jika perubahan temperatur yang terjadi akibat adanya panas atau energi yang bertukar atau berpindah lebih besar maka berarti energi yang berpindah pun akan lebih besar.

Berkaitan dengan pengendalian jumlah panas sebagaimana disinggung di atas adalah merupakan bagian dari tinjauan teoritis dari teknik pendingin. Teknik pendingin sendiri adalah merupakan salah satu bagian dari pembahasan yang ada di ilmu termodinamika sebagai bagian dari ilmu fisika. Termodinamika secara singkat dapat dimaknai sebagai materi keilmuan yang terutama mendalami tentang panas dan energi, macam-macam energi dan hubungannya.

Berdasarkan tinjauan keilmuan termodinamika itu, sekali lagi hal tentang proses mendinginkan atau memanaskan pada dasarnya adalah tentang panas dan proses pengaturan jumlah panas. Pengaturan jumlah panas dalam hal ini prosesnya dilakukan oleh sebuah sistem.

Sistem sendiri jika ditinjau dari keilmuan termodinamika dapat digambarkan [8]:

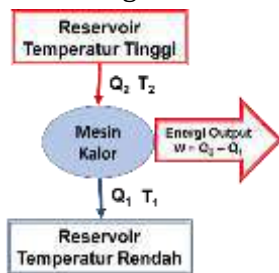


Gambar 2. 1 Sistem di Antara Lingkungannya

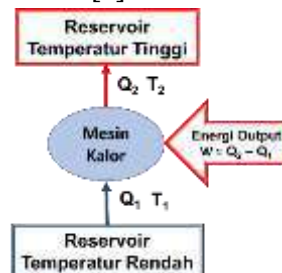
Dari Gambar 2. 1 memperlihatkan posisi sebagai sistem sebagai proses atau bagian yang sedang dibicarakan dan lingkungan yang ada disekitarnya dan dibatasi oleh suatu batas atau boundary.

$$dQ = dU + dW$$

Dari referensi di keilmuan termodinamika didapat adanya tinjauan tentang beberapa hukumnya yaitu seperti hukum ke-1 tentang kekekalan energi dimana energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tapi hanya dapat diubah bentuknya dan hukum ke-2 yang menyatakan bahwa secara natural panas akan berpindah dari tempat yang bertemperatur lebih tinggi ke tempat bertemperatur lebih rendah sebagaimana digambarkan di Gambar 2. 2 [9].



Gambar 2. 2 Perpindahan panas



Gambar 2. 3 Perpindahan panas natural tidak natural

Dalam hal berpindahnya panas dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur lebih rendah merupakan perpindahan panas yang memang berlangsung secara natural atau proses yang terjadi memang seperti itu. Bahkan proses berpindahnya panas dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur rendah itu dapat berlangsung begitu saja tanpa sistem sekalipun jika tidak ada keperluan pengaturan jumlah.

Perpindahan panas yang berlangsung secara natural dengan bantuan sistem bahkan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan suatu energi W sebagaimana digambarkan skema kerjanya di Gambar 2. 2 tersebut.

Namun demikian jika yang perlu terjadi atau yang diperlukan adalah berpindahnya panas dari tempat bertemperatur rendah ke tempat bertemperatur yang lebih tinggi sebagaimana digambarkan di Gambar 2. 3, maka proses berpindahnya itu tidak lagi natural.

Secara logika filosofi keinginan berpindahnya panas dari tempat bertemperatur rendah untuk dipindah ke tempat bertemperatur lebih tinggi harusnya perlu perencanaan dan perlu dilakukan oleh sebuah sistem. Perlunya perencanaan mengindikasikan adanya suatu keinginan sebagai pendorongnya.

Alasan bahwa proses Perpindahan panas yang tidak natural ini perlu sebuah sistem karena prosesnya tidak dapat berlangsung Begitu saja melainkan perlu suatu paksaan. Tidak naturalnya proses perpindahan panas itu berdampak bahwa proses baru akan berjalan jika ada semacam pemaksa dari luar sistem untuk melakukan eksekusinya. Dari paksaan itulah sistem kemudian baru akan bekerja memindahkan panas dari tempat bertemperatur rendah ke tempat bertemperatur lebih tinggi jika ada energi masukkan dari luar. Dimasukkannya energi dari luar sistem akan membantu berjalannya proses perpindahan panas yang tidak natural tersebut.

Dikehendaknya panas yang berpindah dari tempat bertemperatur rendah ke tempat bertemperatur tinggi itulah yang dikehendaki tersebut kemudian banyak diterapkan hingga saat ini sebagai sistem pendingin seperti untuk pengkondisian atau penyejuk udara yang diaplikasikan di unit

AC atau seperti di lemari pendingin atau yaitu pada *freezer* atau *cooling display* atau *cold storage* yang sudah begitu lama dan banyak dimanfaatkan.

Secara mudahnya sebagai suatu sistem pemindah panas, maka fungsi kerja unit AC atau freezer dan sejenisnya itu pada dasarnya adalah memindahkan panas dari satu tempat ke tempat yang lain sehingga memberikan efek lebih dingin untuk aplikasi pendingin jika sistem mengambil sejumlah panas dari tempat yang dikondisikan atau lebih panas untuk aplikasi pemanas jika sistem memberikan sejumlah panas.

Jika yang dikehendaki adalah menciptakan perbedaan temperatur cukup besar, maka jumlah panas yang perlu dipindahkan juga cukup banyak. Dengan cukup banyaknya proses perpindahan panas itu maka sejalan dengan hukum ke-1 termodinamika, maka jumlah energi dari luar yang diperlukan untuk membantu prosesnya juga akan perlu cukup banyak.

2. Penentuan dan Pengaturan Jumlah Panas

Sebagaimana sudah disinggung di atas bahwa mengkondisikan untuk suatu temperatur misalnya temperatur udara, maka pada dasarnya prosesnya adalah proses yang dipaksakan dan perlu dilakukan oleh sebuah sistem. Dengan proses yang dipaksakan maka berdampak pada diperlukannya energi masukkan untuk dapat berjalannya sistem. Proses yang terjadi adalah proses perpindahan panas yang prosesnya berjalan sebagai proses termodinamis. Prosesnya Pun berjalan dengan suatu pengaturan yaitu pengaturan jumlah panas dari udara yang ada di tempat ruang yang udaranya akan dikondisikan atau pengaturan jumlah dari produk yang temperaturnya akan dikondisikan.

Pengaturan yang dimaksud adalah pengaturan jumlah panas yang perlu dipindahkan baik dengan menambah jumlah panas untuk menaikkan temperatur untuk aplikasi proses pemanasan atau mengurangi jumlah panas untuk menurunkan temperaturnya untuk aplikasi proses pendinginan.

Karena panas adalah salah satu bentuk energi, maka berarti juga dapat dikatakan bahwa proses menaikkan dan menurunkan temperatur adalah juga menambah atau mengurangi jumlah energi-nya.

Seperti sudah disinggung di atas, dalam bekerjanya sistem pendingin yang kerja prosesnya merupakan kerja proses yang dipaksakan/tidak natural akan memerlukan masukkan energi dari luar sistem. Dari cukup banyak pengamatan tentang keperluan energi untuk kerja sistem pendingin ternyata sistem pendingin merupakan sistem pengkonsumsi energi yang relatif tertinggi. Untuk itu pengoperasian sistem pendingin perlu bijaksana dan bahkan berhemat apalagi ternyata menjadi pengkonsumsi energi terbesar di gedung komersial [2] [7].

Oleh karena itulah unit pendingin yang digunakan kapasitasnya perlu ditentukan secara bijak dan penggunaannya juga perlu dioperasikan secara bijak. Maka disinilah segi perencanaan dan pengoperasian sangat perlu andil secara baik dan tepat.

Berkaitan dengan panas, satuan yang digunakan untuk menyatakan jumlah panas sering menggunakan satuan kalori atau kilokalori (kcal) atau Joule atau kilo Joule (kJ) atau Btu dan biasa dinotasikan sebagai Q .

Untuk menurunkan temperatur dari suatu fluida misalnya air sebesar Δt , maka perlu dihitung banyaknya jumlah panas Q yang perlu dipindahkan dari fluida atau massa

alir atau media kerja berupa air itu. Untuk memindahkan sejumlah panas itu, maka sejumlah air yang akan dipindahkan panasnya itu yang ber-panas jenis c dan bermassa m perlu disirkulasikan untuk melalui dan melewati coil pendingin yang pasti bertemperatur jauh lebih dingin sehingga setelah melalui coil tersebut maka temperaturnya akan menjadi lebih rendah akibat adanya sebagian panasnya yang terambil atau terserap oleh coil yang bertemperatur lebih dingin itu.

Jika jumlah panas Q tersebut misal menggunakan satuan Joule sebagai satuan SI secara umum dalam bentuk dasar diformulasikan sebagai [10]:

$$Q = m \times c \times \Delta t$$

di mana:

Q adalah jumlah panas atau kalor (Joule)

m adalah massa benda (kg)

c adalah panas jenis (Joule/kg. $^{\circ}\text{C}$)

Δt adalah besarnya perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Kecepatan perpindahan panas, atau penyaluran panas per unit, diformulasikan sebagai [10]:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$$

Jumlah energi panas yaitu ΔQ untuk menciptakan perubahan temperatur untuk mengkondisikan temperatur suatu material dari temperatur awal T_0 , ke temperatur akhir T_f tergantung dari kapasitas panas atau panas spesifik dari material tersebut atau biasa disimbolkan C_p .

Secara umum dan sederhana hubungan antara jumlah energi dan besarnya perubahan temperatur sekaligus untuk menghitung jumlah energi panasnya dapat dinyatakan sebagai [10]:

$$\Delta Q = \int_{T_0}^{T_f} C_p dT.$$

dimana c_p adalah panas spesifik dari massa dimana sebagian panasnya akan dipindahkan. Panas spesifik diartikan sebagai jumlah energi panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 °C pada 1 kg massa tersebut.

Untuk lebih dapat menjelaskan tentang cara menghitung jumlah panas dengan formula di atas, maka dapat dijelaskan melalui contoh kasus, yaitu jika dikehendaki adanya penurunan temperatur dari 1 liter air sebesar 10⁰C dari, maka jumlah panas yang perlu diambil adalah ΔQ , yaitu :

$$\Delta Q = 1 \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 10 ^\circ\text{C} = 42 \text{ kJ}$$

Dengan logika berhitung yang mirip, untuk menurunkan temperatur udara sebagaimana umum dilakukan oleh unit AC atau penyejuk udara, maka sejumlah panas yang perlu diambil dari udara dalam ruang yang dikondisikan dapat ditentukan dan dihitung dengan mempertimbangkan jumlah udara yang akan diturunkan, kapasitas panas jenisnya udara dan perbedaan temperatur yang dikehendaki.

Dari formula yang sudah dibahas di atas, jika media kerja atau zat alir yang digunakan untuk menghitung jumlah panasnya adalah untuk massa yang berupa udara, dimana massa udara dari sebuah tempat atau ruang akan diambil atau diberikan sebagian panasnya untuk tujuan menurunkan temperatur udara ruang itu dan lalu panasnya itu dialirkan atau dipindahkan menggunakan satuan liter/detik, maka jumlah panas yang dihitung untuk menurunkan temperatur udara tersebut adalah sebesar ΔQ_s , yaitu:

$$\Delta Q_s = 1,23 \times \text{jumlah udara (liter/detik)} \times \Delta T (^{\circ}\text{C udara awal dan akhir})$$

Dalam hal pengkondisian udara khususnya untuk tujuan menciptakan kenyamanan udara, maka selain mengkondisikan parameter temperaturnya untuk lebih rendah juga mengkondisikan parameter kelembabannya untuk lebih rendah.

Dalam hal berkaitan dengan kelembaban, maka untuk menurunkan atau menaikkan kelembaban udara agar sesuai dengan target berarti panas yang perlu diambil atau dikurangi dari udara yang dikondisikan itu adalah panas laten-nya.

Besarnya penyerapan jumlah panas laten-nya menggunakan satuan SI adalah sebesar ΔQ_L , yaitu:

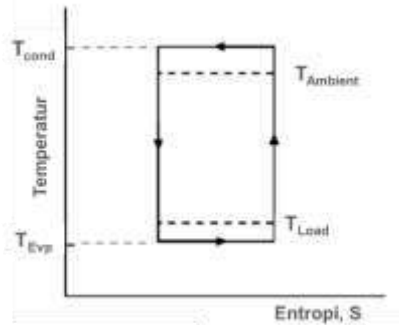
$$\Delta Q_L = 3010 \times \text{jumlah udara (liter/detik)} \times \text{perbedaan kelembaban awal dan akhir atau } \Delta W \text{ (kg/kg)}$$

Penanganan aliran massa dijelaskan di atas untuk dikondisikan temperatur dan kelembabannya itu berlangsung pada aliran massa pada saluran atau sistem yang terbuka dimana dipengaruhi oleh udara.

Jika penanganan aliran massa atau media kerja yang akan dikondisikan adalah aliran massa yang saluran airnya atau sistemnya adalah saluran atau sistem tertutup, maka dalam menghitung jumlah panas yang pada sistem tertutup tentu akan berbeda dengan cara menghitung jumlah panas pada sistem terbuka yang sudah dijelaskan tersebut di atas.

Pada sistem tertutup atau saluran tertutup seperti dalam pipa menghubungkan dari komponen satu ke komponen lainnya nyaris tidak lagi dipengaruhi oleh tekanan udara.

Proses pengkondisian media kerja dalam siklus atau sistem saluran tertutup misal dalam pipa yang menghubungkan antar komponen utama sistem pendingin untuk mengkondisikan media kerja lain dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Ilustrasi Proses Media kerja di Sistem Tertutup mengkondisikan Meida Kerja lain

Tekanan yang bekerja atau mempengaruhi media kerja dalam siklus atau sistem tertutup sangat mungkin akan bertekanan lebih rendah atau lebih tinggi dari tekanan dari media kerja yang akan dikondisikan temperaturnya.

Dari ilustrasi yang digambarkan di Gambar 2. 4 menjelaskan media kerja dalam hal ini refrigerant yang dalam siklus atau sistem tertutup itu mengkondisikan media kerja lain seperti udara yang akan dikondisikan temperaturnya misal dalam hal ini diturunkan.

Dari ilustrasi yang digambarkan di Gambar 2. 4 dengan tekanan kerja yang rendah, maka refrigeran yang ada di dalam siklus itu saat memasuki evaporator temperatur refrigeran pun jadi rendah pula bahkan lebih rendah dari temperatur udara yang akan dikondisikan sehingga memungkinkan refrigeran mampu menyerap panas dari udara yang melaluinya.

Pada sisi lain refrigeran yang dalam siklus tertutup itu saat memasuki komponen kondenser dibuat bertekanan yang relatif tinggi sehingga temperaturnya pun ikut meningkat bahkan temperaturnya lebih tinggi dari temperatur udara sehingga memungkinkan panas terkandung dalam refrigeran yang diterima dari evaporator saat tiba di kondenser dapat dilepaskan ke lingkungannya.

Perhitungan besarnya jumlah panas yang dapat diserap untuk dibawah oleh media kerja ke komponen lainnya untuk kemudian dilepaskan akan dihitung berdasarkan besarnya perubahan entalpinya yaitu pada saat awal dan akhir proses penyerapan panas yang bekerja pada tekanan proses penyerapan itu dimana prosesnya terjadi di evaporator atau pada saat awal dan akhir proses pelepasan panas yang juga bekerja pada tekanan proses pelepasan itu dimana prosesnya terjadi di kondenser.

Sebagai catatan singkat, entalpi adalah tentang kemampuan jumlah panas yang dapat tertampung oleh media kerja suatu proses dalam sistem tertutup pada tekanan selama proses kerjanya itu.

Pada perhitungan jumlah panas, pada dasarnya merupakan penyerapan jumlah panas sensibel ΔQ_s .

Perlu diingat kembali tentang jenis panas yang pada dasarnya jenis panas dibedakan menjadi 2 macam:

1. panas sensibel sebagai panas yang dapat langsung mempengaruhi perubahan temperatur.
2. panas laten yang lebih mempengaruhi atau menjadi penyebab terjadinya perubahan wujud.

Penjelasan yang mudah tentang jenis panas sensibel dan panas laten adalah seperti kalau air dipanaskan di rumah. Pada saat air dipanaskan maka temperatur air akan meningkat misal sampai temperatur air mencapai 100°C . Panas yang

digunakan untuk meningkatkan temperatur itu disebut sebagai panas sensibel. Jika air yang sudah bertemperatur 100°C itu masih dipanaskan terus, maka air itu akan berubah wujud dari air menjadi uap air yang adalah bentuk gas. Panas yang tergunakan sehingga air berubah wujud jadi uap air atau bentuk gas itu disebut sebagai jenis panas laten.

Dalam keseharian udara mengandung uap air dan di dalamnya terdapat panas sensibel sekaligus juga panas laten. Jadi pada udara akan ada unsur panas sekaligus juga ada uap air yang ditunjukkan sebagai kelembaban udara relatif.

Pada suguhan kopi panas atau sajian makanan panas maka akan terlihat berasap yang menunjukkan selain sajian itu ada unsur potensi meningkatkan temperatur sebagai bagian dari panas sensibel tapi juga meningkatkan kelembaban sebagai bagian dari panas laten. Sedangkan nyalanya lampu atau *heater* hanya memiliki unsur panas sensibel saja sementara manusia menghasilkan panas sensibel sekaligus juga panas laten.

Pada dasarnya selain prinsip berpindahnya panas dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur yang lebih rendah, berpindahnya panas dari satu tempat ke tempat lain juga berlangsung dengan beberapa cara.

Berpindahnya panas berlangsung dengan 3 cara [8] sebagaimana gambar di bawah, yaitu:



Gambar 2.5 Proses Berpindahnya Panas

1. Berpindahnya panas secara konduktif yaitu berpindahnya panas di media padat dimana perpindahan panas dengan cara perambatan melalui molekul-molekul pembentuknya yang bergetar di satu bagian merambat ke bagian molekul didekatnya yang ikut bergetar sejalan dengan berpindahnya panas
2. Berpindahnya panas secara konveksi dimana panasnya berpindah karena ada molekul yang berpindah tempat menghantarkan panas
3. Berpindahnya panas secara radiasi dimana panas berpindah bukan karena molekul-molekulnya tapi karena pengaruh hantaran dari gelombang elektromagnetik.

Ada cukup banyak sumber-sumber panas yang menjadi pertimbangan untuk diperhitungkan dalam penentuan jumlah panas yang perlu diserap dan dipindahkan oleh unit AC atau unit pengkondisi/penyejuk udara.

Secara umum sumber-sumber panas itu merupakan beban dari unit pengkondisi udara atau unit AC dikategorikan sebagai beban eksternal atau beban yang ada di luar ruang yang dikondisikan seperti panas yang bersumber dari matahari, panas yang bersumber dari udara luar yang masuk baik

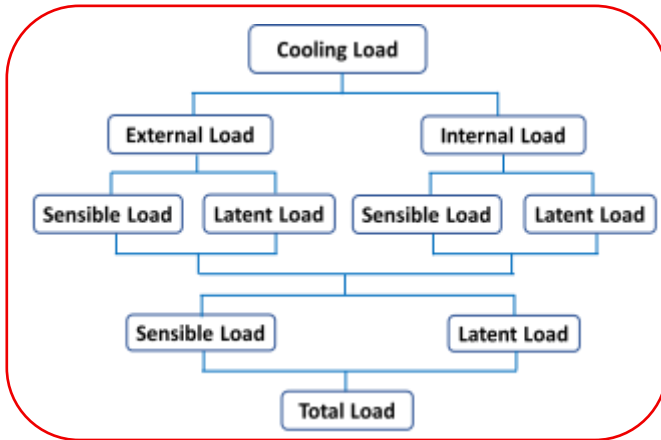
udara yang masuk dengan disengaja karena alasan memasukkan udara segar atau fresh air atau udara yang masuk karena adanya kebocoran dan beban internal atau beban yang memang ada di dalam ruang yang dikondisikan panas dari lampu, panas dari peralatan-peralatan kelistrikan, panas dari manusia dan lain-lain.

3. Dasar Perhitungan Beban

Sekali lagi dalam menghitung jumlah panas yang perlu dipindahkan dari dalam ruang yang dikondisikan ke luar ruangan atau ke lingkungan oleh suatu proses pengkondisian udara menggunakan penyejuk udara atau AC baik yang berasal dari dalam ruangan atau pun yang berasal dari luar ruangan seperti panas yang datang dari matahari atau panas yang disebabkan/dilepaskan suatu mesin di sebelah ruang yang dikondisikan (jika ada) dan sebagainya dan masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan masih perlu dibedakan lagi jenisnya apakah sebagai kategori panas sensibel atau sebagai panas laten.

Sumber-sumber panas jenis panas sensibel akan dijumlahkan panasnya sebagai total jumlah panas sensibel dan sumber-sumber panas jenis panas laten juga akan dijumlahkan panas laten-nya sebagai total total jumlah panas laten.

Jika langkah perhitungan beban dirangkum menjadi:



Gambar 2. 7 Bagan Langkah Perhitungan Beban

Dari bagan di Gambar 2. 5 di atas terlihat langkah-langkah perhitungan beban berupa panas yang perlu dipindahkan dimana tiap sumber beban perlu di-identifikasi:

1. mengandung panas sensibel
2. mengandung panas laten
3. mengandung panas sensibel dan juga panas laten

Dari berbagai sumber panas dalam ruang yang sedang dihitung maka jenis panas sensibel akan dijumlahkan panasnya sebagai total jumlah panas sensibel dan sumber-sumber panas yang merupakan jenis panas laten dalam ruang juga akan dijumlahkan panas laten-nya sebagai total total jumlah panas laten.

Dan setelah melakukan identifikasi jenis panas, maka formula perhitungan jumlah panasnya akan disesuaikan dengan bagaimana panas itu berpindah apakah secara konduktif, konvektif atau radiasi.

Setelah dihitung semua jumlah panas sensibel dan jumlah panas laten dari sumber-sumber panas tersebut maka dapat diperoleh sub total jumlah panas sensibel dan sub total jumlah panas laten-nya. Jika total jumlah panas sensibel dan total jumlah panas laten-nya dijumlahkan maka akan diperoleh total panas yang perlu diambil/diserap atau dilepas oleh unit pengkondisi udara untuk dipindahkan ke luar ruangan atau ke lingkungan.

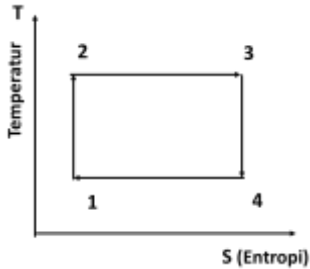
Besarnya kapasitas unit penyejuk udara atau unit AC yang diperlukan adalah sesuai dengan total jumlah panas tersebut atau lebih besar.

4. Kerja Unit AC atau Unit Pengkondisi Udara

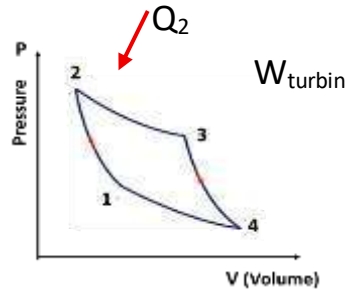
Proses kerja dari unit pendingin seperti halnya dengan Unit AC atau unit pengkondisi udara pada dasarnya sulit dilepaskan dari temuan sistem pembangkit yang diciptakan oleh seorang Perancis bernama Carnot atau lebih lengkap-nya Sadi Carnot dengan siklus proses *Heat Engine*-nya Carnot dalam menghasilkan tenaga.

Teori Carnot itu ikut meramaikan dan menjadi bagian sangat penting dari keilmuan termodinamika dan menjadi awal dari sistem pendingin. Untuk itu akan coba mulai ditelusuri dari teori siklus Carnot tersebut yang diteruskan perkembangan menjadi teori dasarnya teknik pendingin.

Siklus Carnot tersebut merupakan proses dari sistem kerja Heat Engine-nya untuk menghasilkan tenaga/kerja dan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Diagram T-S Carnot



Gambar 2.9 Diagram P-V Carnot

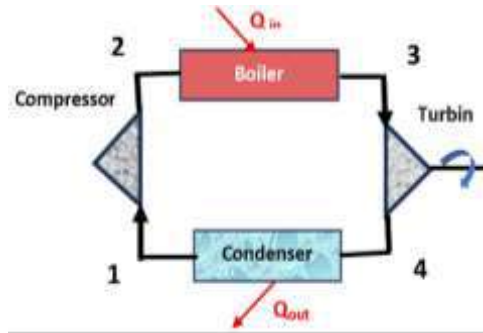
Dari diagram di atas menggambarkan proses kerjanya, yaitu:

Proses 1-2: Kompresi secara adiabatik dari kondisi temperatur T_1 ke temperatur T_2 sekaligus kondisi volume V_1 ke volume V_2 .

Proses 2-3: Penambahan kalor Q_2 secara isotermis dari kondisi temperatur konstan T_2 dimana juga terjadi ekspansi V_2 ke V_3 .

Proses 3-4: Ekspansi secara adiabatik dari kondisi temperatur T_2 ke T_1 sekaligus penambahan volume V_2 ke volume V_3 .

Proses 4-1: Pembuangan kalor Q_1 secara isothermis dari kondisi temperatur konstan T_1 dimana juga terjadi kompresi V_4 ke V_1 .



Gambar 2. 10 Skema Proses Kerja Carnot Heat Engine

- Besar penambahan kalor adalah sebesar Q_2 :

$$\begin{aligned} Q_2 &= P_2 \cdot V_2 \cdot \ln \left(\frac{V_3}{V_2} \right) = P_2 \cdot V_2 \cdot \ln (r) \\ &= R \cdot T_2 \cdot \ln (r) \end{aligned}$$

- Besar kalor yang dilepaskan adalah sebesar Q_1 :

$$\begin{aligned} Q_1 &= P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \left(\frac{V_4}{V_1} \right) = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln (r) \\ &= R \cdot T_1 \cdot \ln (r) \end{aligned}$$

- Besar kerja W yang perlu dilakukan sebagai luaran (output) dalam hal ini sebenarnya adalah berupa terputarnya sudu-sudu dari turbin sebagai energi mekanik [11] untuk memutar motor listrik. Kemudian energi listrik yang dihasilkan itu didistribusikan ke pengguna.

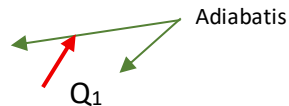
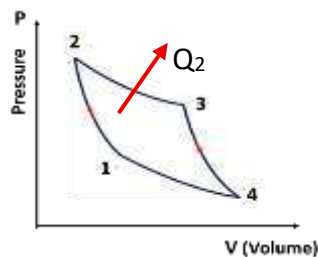
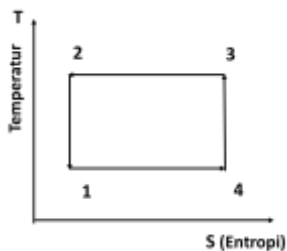
$$\begin{aligned} W &= Q_2 - Q_1 \\ &= (T_2 - T_1) R \cdot \ln (r) \end{aligned}$$

- Besarnya Efisiensi Carnot dapat dihitung sebagai:

$$\begin{aligned} \text{Eff} = \frac{W}{Q_2} &= \frac{(T_2 - T_1) R \cdot \ln(r)}{R \cdot T_2 \cdot \ln(r)} \\ &= \frac{(T_2 - T_1)}{T_2} \end{aligned}$$

Sejalan dengan dihasilkannya kerja W sehingga energi panas yang ada di proses sebelumnya berubah bentuk menjadi energi mekanik untuk memutar sudu-sudu turbin, temperatur kerja juga menurun dari titik 3 ke titik 4. Dari putaran poros turbin itulah kemudian menjadi sumber listrik.

Namun demikian, jika teori Carnot yang menjelaskan teorinya melalui proses kerja *Heat Engine*-nya yang bersiklus itu dibalik arah siklusnya menjadi berlawanan arah jarum jam, maka proses kerja yang terjadi adalah merupakan proses kerja pendinginan.



Gambar 2.11 Diagram
T-S

Gambar 2.12 Diagram P-V

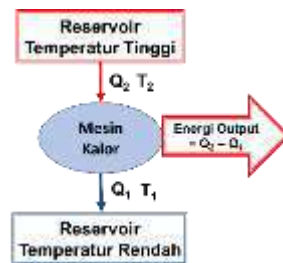
Pada proses pendinginan dengan Siklus Carnot terbalik ini terlihat

- Ada penyerapan panas di kondisi temperatur rendah T_1 sebesar Q_1
- Ada pelepasan panas di kondisi temperatur tinggi T_2 sebesar Q_2

Dari siklus Carnot terbalik ini yang menjadi titik mulai berkembangnya teknik pendinginan.

Hukum ke-2 dari teori termodinamika menyatakan bahwa :

- Secara natural, panas akan berpindah dari tempat bertemperatur tinggi ke temperatur lebih rendah. Jika dilihat pada gambar di samping, maka panas berpindah dari atas ke bawah.
- Tapi jika yang dikehendaki proses berpindahnya adalah supaya panas berpindah dari tempat bertemperatur rendah ke tempat bertemperatur yang lebih tinggi, maka untuk proses siklusnya akan diperlukan kerja (energi) input yaitu sebesar W . Besarnya nilai W adalah:



$$W = Q_2 - Q_1$$

- Besarnya efisiensi adalah:

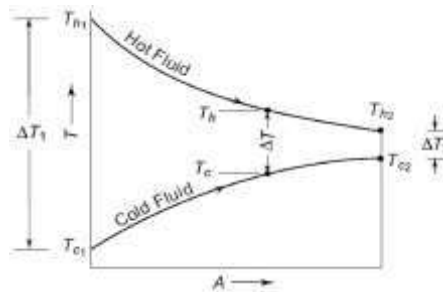
$$\begin{aligned} \text{Eff} &= \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{(Q_2 - Q_1)} \\ &= \frac{T_1}{(T_2 - T_1)} \end{aligned}$$

Sejalan dengan digunakannya energi panas untuk memutar sudu-sudu turbin, temperatur kerja juga menurun dari titik 3 ke titik 4. Dari putaran poros turbin itulah kemudian didapatkan sumber listrik.

Mengacu pada penyempurnaan yang dilakukan oleh Rankine terhadap Siklus Carnot juga berdampak pada pengaplikasian pada siklus pendingin atau refrigerasi ini, dimana posisi turbin digantikan oleh pengatur jumlah aliran atau *metering device* seperti *expansion device* untuk melakukan proses penyempitan/pencekikkan atau *throttling process*. Kemudian juga posisi boiler diambil alih oleh evaporator untuk memfasilitasi proses penyerapan atau pengambilan panas-nya.

Bicara tentang adanya proses penyerapan panas, mengartikan adanya aliran massa/fluida/media kerja yang panas diserap. Maka disinilah terjadinya perpindahan sejumlah panas.

Proses perpindahan panas dapat digambarkan sebagai [9]:

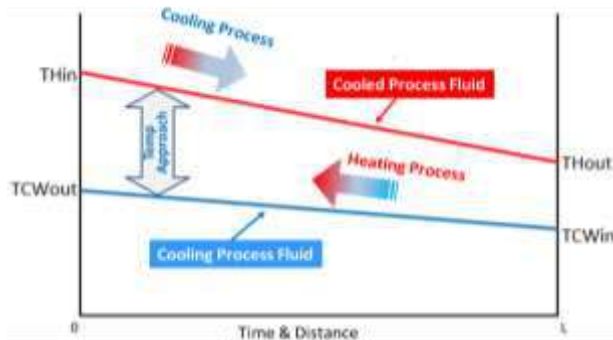


Gambar 2. 13 Proses Terjadinya Perpindahan Panas

Dari proses terjadinya perpindahan yang digambarkan di Gambar 2. 11 di atas terlihat kondisi kedua aliran massa atau media kerja itu. Media kerja yang temperaturnya lebih dingin yaitu T_{C1} dan akan mendinginkan terlihat menyerap sejumlah panas sehingga temperaturnya naik T_{C2} sedangkan media kerja yang temperaturnya lebih tinggi T_{H1} dan akan didinginkan melepaskan sejumlah panasnya sehingga temperaturnya menurun T_{H2} .

Dari Gambar 2. 11 juga didapat informasi bahwa proses perpindahan panas itu sangat mungkin tidak ideal dimana garis temperatur dari media kerja yang didinginkan dapat mendekati sedekat-dekatnya dengan garis temperatur media kerja yang mendinginkan. Apalagi jika permukaan dari pipa yang menjadi tempat dan membawa media kerja itu pada kondisi kotor sehingga akan menghambat kesempurnaan proses perpindahan panas.

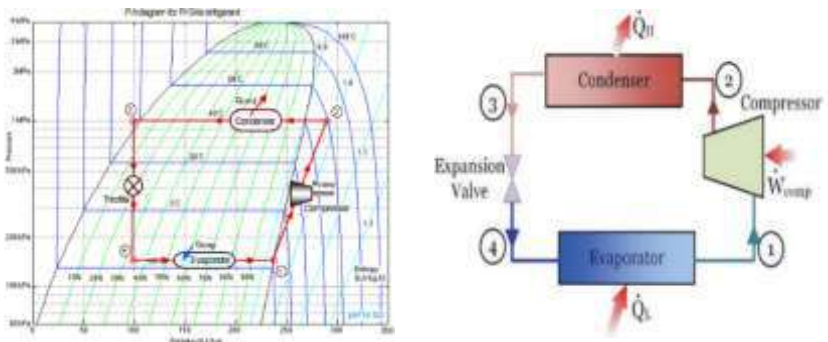
Dalam prakteknya proses penyerapan panas untuk berpindah dari media kerja yang diserap ke media kerja penyerap, proses kerjanya itu dibuatkan saling berlawanan. Prosesnya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 14 Proses Perpindahan Panas di antara 2 Media Kerja

Dari Gambar 2. 12 diperlihatkan tentang proses Perpindahan panas di antara dua aliran massa/media kerja yang saling berpapasan. Seberapa dekat dua aliran massa/media kerja itu yang biasa disebut sebagai *temperature approach*.

Jika proses kerja dari refrigerasi sebagai siklus digambarkan dengan bantuan Mollier (p-h) diagram sebagai berikut:



Gambar 2. 15 Siklus Proses Kerja Refrigerasi

Yang perlu diingat dari Gambar 2. 13 proses di atas bahwa proses itu adalah proses siklus Carnot terbalik dimana panas dipindahkan dari tempat bertemperatur lebih rendah ke tempat bertemperatur lebih tinggi; artinya prosesnya hanya akan terjadi jika adanya energi masuk atau adanya energi yang masuk.

Pada pembahasan perpindahan panas di atas, maka aliran massa/media kerja itu berlangsung melalui saluran yang terbuka atau sebagai sistem terbuka.

Berkaitan dengan adanya proses berpindahannya panas dan adanya energi yang masuk, maka untuk proses perpinda -

han panas dimana aliran massa/media kerjanya terjadi sebagai proses tertutup atau sebagai sistem tertutup dan juga sebagai suatu siklus itu, maka perhitungan jumlah panasnya harus menggunakan cara yang berbeda.

Untuk sistem yang tertutup, maka perhitungan jumlah panas yang diserap yaitu terjadi di komponen evaporator atau dilepaskan yaitu terjadi di komponen condenser dari proses penyerapan dan pelepasan panas oleh sistem pendingin yang ditunjukkan pada Gambar 2. 13 perlu mempertimbangkan hukum termodinamika ke-1 yang menjelaskan tentang kekekalan energi dan terjadinya perubahan bentuk energi [9].

Biasanya hukum kesatu termodinamika ini dinyatakan sebagai:

$$dQ = dU + dW$$

Karena sebagai siklus yaitu sistem yang dapat balik atau *reversible*, maka besarnya energi dalam $dU = 0$, sehingga:

$$\text{Maka berarti : } W = Q_H - Q_L \quad \oint dQ = \oint dW$$

Dalam hal ini W adalah jumlah energi atau kerja yang diperlukan oleh dan masuk ke sistem sehingga sistem mampu menjalankan fungsinya dalam melakukan atau dapat berlangsungnya proses perpindahan panas, Q_H adalah jumlah panas yang dilepas sistem sedangkan Q_L adalah panas yang diserap sistem.

Terjadinya proses penyerapan panas di evaporator atau proses pelepasan panas di condenser adalah berlangsung pada kondisi tekanan dan temperatur tetap dan jumlah panas yang terserap atau terlepas dihitung berdasarkan perubahan jumlah entalpi-nya.

Lebih lanjut pembahasan tentang prinsip kerja unit AC atau sistem pengkondisi udara sebagaimana proses kerjanya ditunjukkan oleh Gambar 2. 13 di atas, terlihat ada 4 komponen dasar atau utama yang bekerja.

Keempat komponen itu merupakan komponen dasar atau komponen utama. Komponen-komponen itu memiliki fungsinya masing-masing, yaitu:

1. Proses 1 – 2: *compressor*
untuk meningkatkan tekanan sekaligus mensirkulasi media kerja
2. Proses 2 – 3: *Condenser*
untuk melepaskan sejumlah panas ke lingkungan
3. Proses 3 – 4: *Expansion Valve (Throttling Device)*
untuk menurunkan tekanan
4. Proses 4 – 1: *Evaporator*
untuk menyerap sejumlah panas dari lingkungan

Dengan proses yang terjadi di *evaporator* dimana sejumlah panas yang diserap dari lingkungan sebagai ruang dimana udaranya dikondisikan, maka temperatur udara dalam ruang tersebut akan menjadi lebih rendah.

Dari proses kerja yang sudah dibahas di atas termasuk proses yang dikembangkan oleh Rankine untuk proses refrigerasinya bahwa proses refrigerasi adalah suatu proses yang bersiklus yang melibatkan beberapa komponen.

Komponen utama yang sudah sempat dijelaskan di atas adalah *condenser*, *throttling device*, *evaporator* dan yang sudah pasti adalah *compressor*.

Bersamaan dengan bab ini, ada hal yang perlu dijelaskan di sini untuk menjelaskan bahasan selanjutnya, yaitu:

1. sistem pendingin yang dibahas di sini adalah kategori sistem pendingin yang menggunakan konsep *vapor compression cycle* atau siklus kompresi uap yang dasarnya merupakan semacam kelanjutan dari teorinya Carnot dengan sistem *heat engine*-nya sebagaimana disinggung di atas.

Pada sistem siklus kompresi uap ini, kompresor menjadi salah satu komponen yang menjadi ciri dari sistem.

Sebagai salah satu komponennya itu, kompresor berfungsi untuk menghasilkan suatu tekanan yang relatif tinggi demi mendapatkan temperatur kerja yang memungkinkan keberhasilan proses pelepasan panas di condenser.

Sebagai kompensasi dari adanya peningkatan tekanan maka dilakukan proses throttling selepas proses dari condenser. Sebagaimana di mesin *heat engine* nya Carnot dengan komponen turbinnya, maka dengan adanya proses throttling maka penurunan tekanan pun terjadi demi mendapatkan temperatur kerja yang relatif rendah untuk mendukung keberhasilan proses di evaporator sekaligus untuk keperluan sirkulasi.

2. tentang media kerja yang sering kali lebih umum dinyatakan sebagai refrigeran. Refrigeran ini adalah merupakan zat yang bersirkulasi dari satu bagian atau komponen ke bagian atau komponen lain sebagai siklusnya. Sebagai media kerja, tentu refrigeran harus memenuhi beberapa karakter yang disyaratkan seperti tidak boleh bersenyawa dengan oli atau pelumas

tapi hanya bercampur, syarat densitas, syarat kandungan racun atau *toxicity*, syarat titik kritikal atau *critical point*, syarat titik didih dan titik embun dan lain-lain.

Selanjutnya tentang refrigerant akan dibahas pada bab selanjutnya untuk lebih mengerti tentang macam-macam dan jenis refrigerant yang beredar di pasar dan banyak digunakan termasuk pengaruh terhadap lingkungan.

BAB 3

REFRIGERAN

1. Hall Tentang Refrigeran (Media Kerja)

Harus dipahami bahwa penyebutan media kerja cukup lekat di lapangan dan penggiat di bidang ini khususnya di tingkat operasional dengan sebutan freon.

Refrigerant $\neq$ Freon



Ya, dari kebanyakan yang para teknisi termasuk engineer sekalipun atau personal yang berkecimpung di sekitar building facilities atau para operator termasuk di sebagian user memang banyak yang menyebutkan media kerja ini dengan sebutan yang lebih populer sebagai sebutan freon. Tapi perlu diketahui dan dipahami kebenaran yang sesungguhnya bahwa refrigeran tidak selalu freon tapi sebaliknya freon pasti refrigeran.

Refrigeran adalah media kerja yang dipilih dan digunakan karena beberapa pertimbangan syaratnya yang diperlukan dalam mendukung proses siklus kerja pendingin. Salah satunya karena memiliki sifat yang perlu dipenuhi adalah dapat atau relatif mudah menyerap panas pada suatu tekanan dan membuang panas pada kondisi tekanan lainnya.

Pada proses penyerapan atau pembuangan panas itu, refrigeran mengalami perubahan bentuk yaitu dari bentuk cair menjadi bentuk gas pada saat refrigeran memasuki, berada dan meninggalkan *evaporator*. Proses penyerapan panas di evaporator berjalan pada kondisi yang nyaris pada temperatur yang konstan sejalan dengan berlangsungnya perubahan

wujud dari refrigeran berlangsung mulai pada saat masuk evaporator hingga lepas dari *evaporator*. Dengan prosesnya pada temperatur yang relatif konstan inilah sejumlah panas yang berhasil terserap mengakibatkan perubahan wujud dari refrigeran itu.

Di lain sisi, proses pelepasan panas yang terjadi di condenser dan dilepas ke lingkungan pun berproses pada kondisi temperatur yang relatif konstan. Karena adanya pelepasan sejumlah panas yang berlangsung pada temperatur yang konstan itulah maka menjadikan adanya perubahan bentuk refrigeran dari gas menjadi cair yang berlangsung mulai saat refrigeran memasuki, berada dan meninggalkan *condenser*.

Seperti dijelaskan di bab sebelumnya bahwa panas yang menjadi penyebab perubahan wujud sebagaimana terjadi di evaporator maupun di condenser disebut sebagai panas laten.

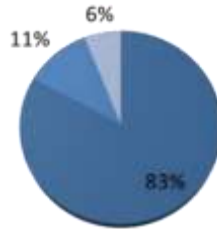
Refrigeran sebagai media kerja yang bersirkulasi di proses refrigerasi dapat dikategorikan [9] sebagai:

1. Halocarbon seperti CFC, **HCFC**, **HFC** (R-11, R-12, **R22**, **R-123**, **R-134a**, **R-32**, **R-125**, **R-143a**)
2. Azeotropes seperti R-500 Series
3. Zeotropes seperti R-404a, R-407c, R-410a, R-413a
4. Hydrocarbon–Organic Compound seperti R-290, R-600a
5. Inorganic (Natural) Compound seperti R-744 (CO₂), R-717 (NH₃-Amoniak), R-729

Pengkategorian lain dari refrigeran adalah:

1. Fluorocarbon ($\pm 83\%$)
2. Inorganic ($\pm 11\%$)
3. Hydrocarbon ($\pm 6\%$)

Pengkategorian refrigeran yang banyak digunakan juga dapat dibedakan sebagai:



1. Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) sebagai jenis refrigeran yang sudah dihapus
2. Hydrofluorocarbon (HFC) sebagai jenis refrigeran transisi
3. Hydrofluoro-olefin (HFO) sebagai jenis refrigeran baru
4. Hydrocarbon (HC) sebagai jenis refrigeran organik

Dari sekian lama aplikasi pemanfaatan dan penggunaan sistem refrigerasi seperti pada unit AC atau unit penyejuk udara dan lemari pendingin seperti *freezer* atau *cooling display* termasuk dispense air atau *water dispenser* dan masih cukup banyak lainnya selama puluhan tahun, ada cukup banyak jenis refrigeran yang sudah digunakan sebagai media kerjanya.

Namun karena alasan isu lingkungan, maka beberapa di antara refrigerant terpaksa dihapus bahkan sudah dihapus karena memiliki potensi dampak negatif terhadap lingkungan.

2. Dampak negatif Penggunaan Refrigeran Berkaitan Isu Penipisan Ozon

Isu berlubangnya lapisan ozon dimana lapisan ozon adalah bagian dari atmosfer. Rusaknya lapisan ozon tentu akan berakibat semakin banyaknya sinar matahari yang masuk dan tiba ke permukaan bumi. Kelebihan paparan sinar -

matahari yang terlalu banyak tentu kurang baik bagi kesehatan kulit manusia, berdampak negatif terhadap tumbuh-tumbuhan dan lain-lain.

Oleh karenanya dilakukan penghapusan dari beberapa jenis refrigeran dilakukan karena dampak negatifnya terhadap penipisan lapisan ozon demi menjaga jumlah paparan sinar



Gambar 3. 1 Lapisan Ozon dan Penipisan Lapisan Ozon

matahari yang berlebih sebagai akibat dari isu kurang ramahnya terhadap lingkungan.

Refrigeran yang dihapus tersebut kemudian digantikan dengan jenis refrigerant alternatif yang dianggap lebih ramah terhadap keberadaan ozon. Refrigeran yang telah dihapus tersebut terutama adalah:

1. jenis CFC seperti refrigeran jenis R-11 dan R-12,
2. jenis HCFC seperti R-22 dan R-123,
3. jenis halon seperti halon 1211, 1301 yang banyak diaplikasikan di pemadam kebakaran,
4. jenis methyl bromide (CH_3Br) yang banyak diaplikasikan untuk isu hama dan pathogen, untuk menjaga makanan/buah yang rentan rusak
5. jenis refrigerant karbon tetraklorida (CCl_4) dan methyl kloroform (CH_3CCl_3) yang banyak digunakan di industri-industri sebagai pelarut

6. jenis refrigeran lain juga dihapus adalah refrigeran jenis R-500 yang banyak digunakan untuk aplikasi freezer atau *low temperature refrigeration*

3. Dampak negatif Penggunaan Refrigeran Berkaitan Isu Pemanasan Global

Isu selanjutnya dari dampak penggunaan refrigeran adalah isu yang berkaitan dengan pemanasan global. Isu pemanasan global akan memberikan dampak pada kenaikan temperatur permukaan bumi.



Gambar 3.2 Fenomena Pemanasan Global

Dari Gambar 3. 2 bagaimana kumpulan gas di lapisan atmosfer yang berkumpul dan membentuk semacam lapisan tersendiri yang makin tebal. Lapisan ini menghambat pancaran dari pantulan sinar matahari dari permukaan bumi yang hendak keluar lapisan atmosfer tapi justru malah membalikkan kembali sinar matahari ke permukaan bumi. Jika hal ini terjadi terus-menerus maka hal ini tentu berakibat temperatur permukaan bumi akan meningkat.

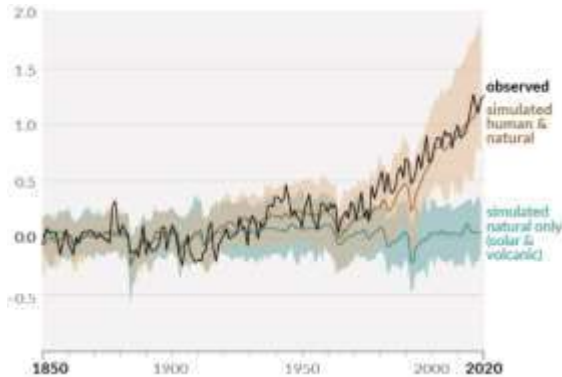
Pada dasarnya isu gas rumah kaca juga sudah terjadi dan secara natural dampak gas rumah kaca itu masih dapat diatasi langsung oleh alam.



Gambar 3.3 Isu Gas Rumah Kaca Dulu dan Sekarang

Namun setelah abad 15 hingga sekarang karena ulah berbagai kegiatan manusia, isu gas rumah kaca sudah semakin sulit untuk dapat diatasi secara natural oleh alam tapi perlu dilakukan secara khusus dan serius oleh manusia demi keberlanjutan alam.

Kegiatan manusia yang sudah semakin teratasi secara natural disebut sebagai *anthropogenic pollution* sebagaimana digambarkan di Gambar 3.3 bahwa beberapa kegiatan manusia berpolusi yang sudah sulit teratasi secara natural yaitu seperti kegiatan industri, kegiatan peternakan, penggunaan listrik, hasil pembakaran tidak sempurna sehingga berpolusi dari transportasi, pembakaran sampah yang berakibat dihasilkannya karbon dan penggundulan pohon akibat penebangan.



Gambar 3. 4 Kenaikan Temperatur Permukaan Bumi vs Waktu

Sumber: Table Adapted from The Building Decarbonization Practice Guide, Vol 2 (2021) by the William J. Worthen Foundation

Terjadinya pemanasan global atau *global warming* akan berkaitan langsung terhadap naiknya temperatur permukaan bumi.

Dari Gambar 3. 4 menunjukkan kecenderungan atau tren naiknya temperatur permukaan bumi terlihat bahwa tren rata-rata kenaikan temperaturnya atau gradien tingkat kenaikan temperaturnya ternyata cenderung meningkat dari waktu ke waktu.

Salah satu dampak negatif dari kenaikan temperatur permukaan bumi adalah mencairnya es di kutub dan naiknya permukaan air laut yang dikuatirkan pada tenggalamnya daratan pada permukaan bumi. Tentu hal ini akan sangat mengancam kehidupan manusia di bumi dengan segala aktivitas dan dampak turunannya seperti dampak negatif terhadap kesehatan manusia [12].

Setelah dilakukannya pengamatan dan penelitian, diyakini beberapa senyawa kimia dan salah satunya adalah beberapa jenis refrigeran mengandung unsur kimia yang di antaranya ternyata merupakan salah satu faktor penyebab penyumbang dampak negatif pada pemanasan global. Senyawa-senyawa kimia tersebut di antaranya adalah CO₂, CFC, CH₄, N₂O, HFCs, NF₃, SF₆.

Kategori refrigerant CO₂, CFC, HFCs adalah beberapa jenis refrigeran yang diamati dan diteliti tersebut yang kandungan kimianya ternyata berkaitan dengan dampak negatif terhadap lingkungan dalam hal pemanasan global itu atau *global warming potential*.

Maka dilakukanlah program penghapusan tahap selanjutnya yaitu penghapusan beberapa refrigeran yang mempunyai potensi keterkaitan dengan isu pemanasan global.

Beberapa refrigeran yang masuk di kategori yang memiliki potensi pada pemanasan global atau *global warming potential* adalah jenis refrigeran:

1. HFC seperti R-32, R-125, R-152a, R-134a
2. Azeotropes seperti R-500 series
3. Zeotropes seperti R-404a, R-407c, R-410a, R-413a

Contoh-contoh refrigeran di atas cukup memberikan dampak negatif terhadap isu lingkungan ini terutama pada isu pemanasan global karena memiliki angka global warming potential yang relatif tinggi.

Beberapa contoh jenis refrigeran disebutkan di atas yang di antaranya memiliki angka global warming potential yang cukup ekstrim tinggi adalah seperti refrigeran jenis R-134a, R-404a, R-407c dan R-410a. Terhadap jenis refrigeran inilah perhatikan perlu dilakukan.

Berikut adalah beberapa informasi tentang jenis re-
frigeran dengan angka global warming potentialnya masing :

Refrigerant Name	Chemical Abstracts Service (CAS) Name	Global Warming Potential (GWP) 3	Refrigerant Name	Chemical Abstracts Service (CAS) Name	Global Warming Potential (GWP) 3
R-717	Ammonia	0	R-123	2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane	77
R-1234ze(E)	(Z)-1-Chloro-2,3,3,3-Tetrafluoropropene	1	R-152a	1,1-Difluoroethane	124
R-744	Carbon dioxide	1	R-32	Difluoromethane	675
R-1234ze(E)	Trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene	1	R-32	Chlorodifluoromethane	675
R-614A	HFO-1336mezZpane1,2-dichloroethylene (HCE) (74-725-3)	2	R-401A	R-22/R-102a/R-124 (55/13/34)	1182
R-1270	Propene, Propylene, Methyl Ethylene	2	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluoroethane	1430
R-290	Propane	4	R-407C	R-32/R-125/R-134a (23/25/52)	1774
R-1234yf	2,3,3,3-Tetrafluoropropene	4	R-410A	R-32/R-125 (50/50)	2088
R-1150	Ethane, Ethylene	4	R-407A	R-32/R-125/R-134a (20/40/40)	2107
R-600a	Isobutane	5	R-125	Pentafluoroethane	3500
R-1234ze(E)	1,3,3,3-Tetrafluoropropene	8	R-404A	R-125/R-143a/R-134a (44/52/4)	3922
R-170	Ethane	8	R-11	Trichlorofluoromethane	4750
R-601	Pentane	11	R-12	Dichlorodifluoromethane	10900

Tabel 3. 1 Beberapa Refrigerant berikut Angka GWP-nya

Beberapa perhatian khusus berkaitan dengan jenis refrigeran yang berdampak pada pemanasan global dapat ditunjukkan dengan berbagai cara dalam rangka mengurangi tren dampak negatifnya selama refrigeran yang digunakan masih berdampak pada pemanasan global.

Di antara cara-cara yang dilakukan adalah:

1. Dibuatkan regulasi yang pada intinya memberikan pembatasan
2. Pembatasan unit impor yang masih menggunakan jenis refrigeran itu
3. Pembatasan penggunaan refrigeran jenis itu
4. Mengurangi kemungkinan lepasnya refrigerant itu ke udara

5. Pengarahan dan Pendidikan termasuk sertifikasi dalam rangka lebih memastikan bahwa pelaku lapangan telah ditandai dengan standar kerja yang aman terhadap lingkungan
6. Menciptakan jenis refrigeran yang lebih ramah lingkungan

BAB 4

UNIT PENGKONDISI UDARA

Cukup banyak macam dari unit pengkondisi atau penyejuk udara atau AC. Namun jika ditinjau dari banyaknya yang sudah dimanfaatkan atau diaplikasikan, maka macam-macam kategori jenis unit AC dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Kategori jenis AC DX – System

Termasuk di dalamnya adalah Residential AC dan Light Commercial AC seperti Floor Standing AC, Cassette AC, Ducted Split AC dan VRF AC



Wall Mounted Cassette AC Floor Standing Ducted Split VRF AC Pada kategori jenis ini perlu dijelaskan bahwa kategori ini menggunakan sistem AC yang dikenal sebagai split system dimana sistem terbagi menjadi indoor dan outdoor unit.

Di dalam Outdoor unit umumnya terdiri part utama berupa compressor dan condenser sedangkan di dalam Indoor unit terdiri dari part utama evaporator dan throttling device (katub ekspansi atau pipa kapiler).

Antara outdoor unit dan indoor unit akan dihubungkan dengan instalasi pipa refrigeran yang mengantarkan refrigeran dari outdoor unit ke indoor unit dan instalasi pipa refrigeran mengantarkan refrigeran kembali ke outdoor unit selain instalasi kabel kontrol atau kabel power yang menyertai.

Tentu saja panjang instalasi pipa refrigerant ini cukup sangat terbatas panjangnya dengan ukuran diameter pipa yang harus sesuai.

Khusus untuk jenis Wall Mounted AC, throttling device-nya menggunakan jenis pipa kapiler yang diletakkan di dalam indoor unitnya.

2. Kategori jenis AC Indirect System dengan Siklus Kompresi Uap (*Vapor Compression Cycle*)

Masuk dalam kategori ini adalah seperti *Centrifugal Chiller*, *Screw Chiller*, *Scroll Chiller*.



Scroll Chiller



Screw Chiller



Centrifugal Chiller

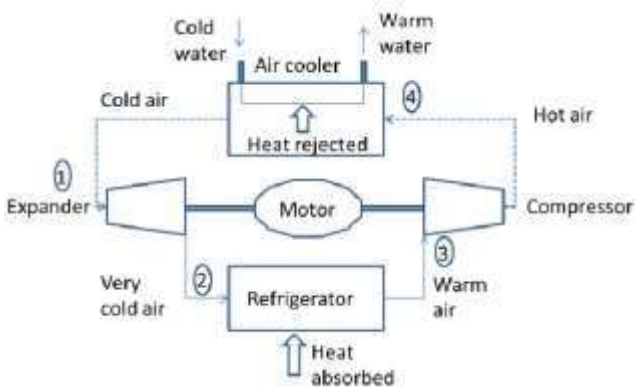
3. Kategori jenis AC Absorption System

Chiller jenis ini cukup umum digunakan di beberapa pabrik/industri dan sedikit di mall



4. Kategori jenis AC Air Refrigeration System

Jenis pengkondisi udara ini diaplikasikan di unit pengkondisi udara di pesawat terbang.



Pembagian macam-macam kategori jenis unit pengkondisi udara atau AC tersebut di atas selain dibedakan selain dari sistem kerjanya tapi juga berbeda dalam hal kapasitas dan kesesuaian pengaplikasiannya.

Contoh:

Unit AC Residential tentu tidak digunakan untuk aplikasi di mall atau office tower tapi lebih untuk aplikasi di perumahan-perumahan atau perkantoran kecil atau perkantoran di ruko-ruko.

Beberapa perkantoran dengan ruko yang lebih besar bahkan cukup banyak yang menggunakan AC jenis cassette dan beberapa dengan bentuk hall juga menggunakan AC jenis Floor Standing. Hanya beberapa atau sedikit ruangan yang relatif kecil saja di antaranya yang menggunakan jenis wall mounted AC.

Untuk pengaplikasian di mall atau office tower tentu lebih cocok menggunakan yang jenis chiller kecuali untuk mall atau office tower yang lebih kecil minimal dapat mengaplikasikan jenis VRF AC.

Artinya juga dapat dibayangkan jika sebuah mall yang cukup besar memilih menggunakan AC Residential atau hanya jenis Light Commercial AC saja tentu akan memerlukan jumlah unit yang terlalu banyak yang pada akhirnya akan mengalami kesulitan dalam penempatan unitnya.

Penggunaan AC *Residential* atau jenis *Light Commercial* AC jika digunakan untuk gedung sebesar itu juga akan cukup kompleks dalam hal instalasi dan pengoperasian-nya. Lebih jauh lagi jika ditinjau pada pertimbangan investasi dan penggunaan energi kaitannya dengan efisiensi yang dimiliki jenis AC tersebut.

Untuk kerja dengan beban yang sama, VRF AC tentu akan memiliki efisiensi yang jauh lebih baik dibandingkan hanya menggunakan AC *residential*, Demikian juga centrifugal

chiller tentu akan memiliki efisiensi kerja yang lebih baik dibandingkan dengan *screw* atau bahkan *scroll* chiller. Efisiensi yang lebih baik tentu akan berdampak langsung pada biaya operasionalnya.

Tiap jenis AC memiliki kinerja atau efisiensi kerjanya masing-masing dimana efisiensi kerja ini akan sangat mempengaruhi jumlah energi yang dikonsumsi oleh unit AC.

Efisiensi unit AC Residential sudah diamati dan dibuktikan ternyata tidak lebih baik dibandingkan VRF AC.

Demikian pula pemilihan jenis unit AC yang seharusnya menggunakan VRF AC tapi diputuskan menggunakan unit AC Residential misal karena pertimbangan investasi tentu akan berdampak pada kompleksitas instalasi dan operasionalnya selain lebih borosnya penggunaan energi yang pada akhirnya berdampak pula pada biaya operasionalnya.

Jika jenis unit AC Residential diaplikasikan untuk gedung mall yang biasanya relatif sangat luas dan dengan ketinggian antar lantai yang tinggi tentu akan berdampak pada kemampuan teknisnya yaitu kemampuan bekerjanya karena berdampak pada instalasi pipa yang sangat panjang dan sangat pasti lebih sangat berdampak pada borosnya penggunaan energi dan makin besarnya biaya operasional yang diakibatkan kesalahan pemilihan jenis unit tersebut.

Dari standar nasional Indonesia atau SNI 6390 tahun 2020 dicatatkan efisiensi atau kinerja dari jenis-jenis unit AC sebagai berikut:

Tipe mesin refrigerasi	Kinerja		Keterangan
	COP minimum (W/W)	kW/TR maksimum	
Single Split, ≤ 27.000 BTU/h	4,20	0,84	Perhitungan efisiensi menggunakan metode <i>Cooling Seasonal Performance Factor</i> (CSPF).
Single Split, > 27.000 dan ≤ 65.000 BTU/h	4,00	0,88	
Variable Refrigerant Flow	3,81	0,92	Perhitungan efisiensi menggunakan metode <i>Seasonal Coefficient of Performance</i> (SCOP)
Split Duct	2,93	1,20	
Air-Cooled Chiller, < 528 kW (150 TR)	2,99	1,18	
Air-Cooled Chiller, ≥ 528 kW (150 TR)	2,98	1,18	
Water-Cooled Chiller positive displacement, < 264 kW (75 TR)	4,70	0,75	
Water-Cooled Chiller positive displacement, ≥ 264 kW (75 TR) dan < 528 kW (150 TR)	4,89	0,72	
Water-Cooled Chiller positive displacement, ≥ 528 kW (150 TR) dan < 1.055 kW (300 TR)	5,33	0,66	
Water-Cooled Chiller positive displacement, ≥ 1.055 kW (300 TR) dan < 2.110 kW (600 TR)	5,77	0,61	

Tabel 4. 1 Jenis AC dan Efisiensinya (SNI 6390-2020)

Terlihat dari tabel di atas dimana tiap jenis AC memiliki efisiensinya masing-masing. Kekeliruan dalam pemilihan jenis unit AC misal pada tahap perencanaan tentu akan berdampak pada sisi instalasi, pada sisi investasi sampai dengan dampak biaya operasionalnya.

Tentang beberapa pertimbangan pemilihan unit AC yang akan dibahas di bab selanjutnya.

BAB 5

PEMILIHAN UNIT AC

Menyambung pada bab 4 di atas, setelah menentukan jumlah beban panas yang harus dipindahkan dari ruang-ruang dalam gedung ke luar ruang/lingkungan, maka langkah Keputusan pemilihan jenis unit AC juga menjadi sangat penting. Kesalahan kedua langkah yaitu penentuan jumlah beban dan pemilihan unit AC akan berdampak seri pada langkah-langkah selanjutnya.

Dampak seri yang sangat mungkin terjadi akibat kedua kesalahan itu misalnya pada sisi pelaksanaan operasional seperti lamanya penggunaan dan perawatannya. Dampak segi investasi termasuk biaya operasionalnya sangat mungkin terjadi sebagaimana telah dijelaskan di bab sebelumnya.

Dalam hal pemilihan jenis unit, maka beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan. Di antara faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan adalah:

1. Besarnya beban panas yang harus dipindahkan
2. Bentuk gedung
3. Besarnya ruang dan besarnya gedung
4. Keseragaman pemakaian ruang-ruang dalam gedung
5. Fungsi ruang
6. Kesesuaian jenis instalasi yang dapat diaplikasikan
7. Lokasi Gedung
8. Target efisiensi yang hendak dicapai

Dalam aplikasinya sebagai sistem pengkondisi udara atau penyejuk udara atau unit AC, jika beban panas yang perlu ditangani oleh sistem adalah sebesar 200 PK atau untuk ruang-ruang dengan total luas sebesar 2500 m² dengan penggunaan fungsi ruang yang seragam sepertinya tidak lagi

sesuai jika pemilihan jenis unit dipilih di kategori jenis AC Residential apalagi jenis Wall Mounted Split AC. Pemilihan jenis unit AC akan lebih cocok jika menggunakan *VRF AC* atau *Scroll Chiller* dilengkapi dengan indoor unit berjenis yang sesuai dengan jenis ruangnya atau minimal dipilih jenis ducted split AC.

Untuk ruang berbentuk seperti hall yang biasanya memiliki ketinggian ruang yang relatif cukup tinggi yaitu lebih dari 4-5 meter dengan luasan 200-300 m², maka akan lebih sesuai jika yang dipilih adalah jenis *ducted split AC* atau minimal dengan jenis *indoor unit yang ducted* atau juga sering disebut sebagai *concealed air indoor unit* karena pertimbangan kapasitas yang relatif lebih besar dan pertimbangan pendistribusian udara yang akan lebih merata.

Lagi-lagi perlu dipertimbangkan pada penggunaan jenis split system dimana terdapat instalasi pipa refrigeran bahwa panjang instalasi pipa refrigeran sangat perlu dipertimbangkan dan dihitung secara baik terutama jika lokasi penempatan *outdoor unit* harus jauh dari indoor unitnya apalagi jika jauh lebih tinggi.

Instalasi pipa refrigeran yang terlalu panjang misal lebih dari 30-40 meter sehingga melebihi batas kemampuan kerja unit jenis AC split akan berakibat pada bukan saja efisiensi kerjanya menurun tajam tapi juga kemampuan kerja atau bahkan ketahanan kerja atau usia pakai unit AC split tersebut.

Dari semua itulah, maka untuk gedung jenis mall dan office tower yang umumnya memang besar dan/atau apalagi ketinggian gedung yang tinggi sudah pasti sangat lebih layak untuk menggunakan kategori jenis sistem tidak langsung atau *indirect system* seperti penggunaan unit chiller.

Untuk penggunaan jenis *indirect system* seperti chiller, maka fungsi kerja chiller akan dibantu atau didampingi oleh airside unit dan pompa air.

Airside yang unit yang dimaksud di sini adalah berfungsi sebagai unit pengolah udara yang disebut sebagai air handling unit (AHU) atau yang lebih kecil lebih disebut sebagai *fan coil unit* (FCU). FCU umumnya diletakan di atas plafon sehingga FCU disebut juga sebagai *ceiling concealed unit*.

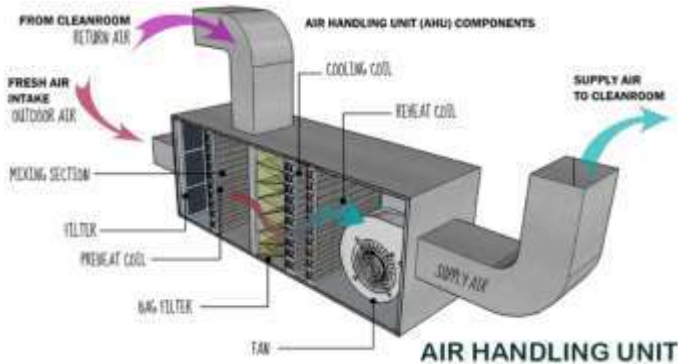
Unit pengolah udara ini berguna untuk mengkondisikan temperatur udara dari ruang yang dialirkan ke unit pengolah udara untuk dikondisikan yaitu dalam hal ini adalah menurunkan temperatur-nya. Jika ditinjau lebih detail lagi, udara yang disirkulasikan ke unit sisi udara atau *airside unit* dan dikondisikan *airside unit* itu sebenarnya selain mengkondisikan temperaturnya menjadi lebih rendah (lebih dingin) tapi juga lebih rendah kelembaban relatifnya. Proses ini disebut sebagai cooling and dehumidifying.

Dalam implementasi nyatanya di lapangan, airside unit berupa AHU ataupun FCU umumnya digunakan di indirect AC system atau chilled water system dimana umumnya AHU diletakkan di ruangan tersendiri sedangkan FCU umumnya diletakkan di atas plafon tergantung di dak. Untuk sistem split, maka *airside unit* lebih umum disebut sebagai unit indoor.



Gambar 5.1 Fan Coil Unit – Ceiling Concealed Unit

Untuk unit pengolah udara jenis lainnya adalah yang berkapasitas lebih besar yang biasa dinamakan sebagai *air handling unit* AHU yang umumnya diletakkan di ruangannya yang khusus adalah seperti gambar berikut:

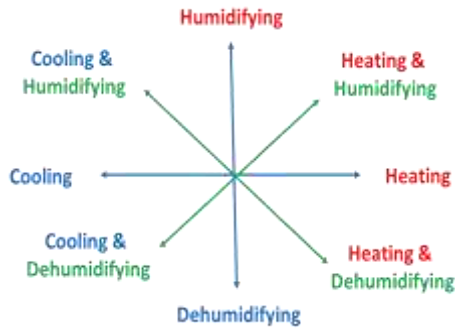


Gambar 5.2 Air Handling Unit

Bicara tentang pengolahan udara di unit airside seperti AHU atau FCU, maka minimal proses pengolahan yang terjadi adalah mencakup 3 hal dan berproses sekaligus di dalam *airside unit* tersebut:

1. Terhadap temperature
2. Terhadap kelembaban
3. Kebersihan udara

Untuk mudahnya, proses pengolahan temperatur dan kelembaban dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5.3 Proses Pengkondisian Udara di Unit Pengolah Udara

Terlihat dari gambar proses pengkondisian udara oleh unit pengolah udara adalah menurunkan temperatur sekaligus menurunkan kelembaban.

Kondisi udara setelah dikondisikan oleh unit pengolah udara maka udara akan menjadi lebih nyaman misal dari kondisi 29⁰C dan 80% RH menjadi 25⁰C dan 55% RH.

Hal lainnya yang juga ikut membantu proses kerja dari *indirect system* ini adalah digunakannya *secondary refrigerant* dalam hal ini adalah air yang bersirkulasi dari chiller ke AHU dan sebaliknya melalui bantuan pompa air. Dalam hal ini *primary refrigerant* nya adalah misalnya R-134a.



Gambar 5. 4 Instalasi dari Chilled Water System

Keseluruhan instalasi dari indirect system seperti terlihat di Gambar 5. 4 atas lebih sering disebut sebagai *chilled water system*.

Tentu saja besarnya kapasitas pompa dan AHU perlu disesuaikan dan dihitung cukup cermat dengan jumlah panas yang akan diproses/ditangani dan panjang pipa yang harus diatasi. Demikian juga ukuran pipa air-nya pun perlu disesuaikan jumlah debit air yang akan mengalir. Di sinilah maka peranan konsultan perencanaan menjadi sangat krusial dan penting.

Hal penting lainnya yang berkaitan dengan instalasi indirect system atau *chilled water system* ini adalah kemungkinan diperlukannya saluran udara atau ducting. Saluran udara ini akan menjadi tempat bersirkulasinya udara dari ruang yang dikondisikan ke AHU dan sebaliknya dari AHU ke ruang yang dikondisikan.

Saluran udara atau *duct system* ini perlu didesain ukuran dan jalurnya sesuai dengan spesifikasi atau kemampuan unit indoornya khususnya kapasitas dengan motor fan AHU/FCU nya sehingga tujuan mendistribusikan udara yang

sudah dikelola di unit pengolah udara itu benar-benar sampai ke bagian yang paling ujung. Sampainya jumlah atau debit udara ini bukan hanya asal sampai tapi jumlah yang harus sampai pun harus sesuai dengan yang seharusnya. Kurangnya debit atau jumlah udara yang sampai ke ruangan akan berakibat berkurangnya juga mendapatkan temperatur targetnya. Hal ini dapat dijelaskan karena udara yang sampai ke ruangan (ruangan yang dikondisikan) adalah karena udara itu yang sudah dikondisikan minimal dikondisikan segi temperatur dan segi kelembaban disamping kebersihannya. Saat udara yang sudah dingin itu tiba di ruangan, maka udara dingin itu akan bercampur dengan udara dalam ruang yang belum dikondisikan. Hasil temperatur udara campurannya adalah udara dalam ruang menjadi ikut lebih dingin. Bayangkan jika jumlah udara yang diolah itu dan masuk ke ruangan itu lebih sedikit atau tidak seluruhnya sampai ke ruangan.

Umumnya berkaitan dengan desain untuk sistem saluran udara menggunakan dasar yang direkomendasikan oleh *Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association* atau SMACNA.

BAB 6

KESESATAN & KESALAHPAHAMAN

Di kehidupan sehari-hari para orang-orang yang berkegiatan sekitar sistem pendingin baik sistem pengkondisi untuk kenyamanan udara seperti di sistem AC ataupun untuk penyimpanan produk seperti di unit refrigerasi, cukup banyak istilah atau frase atau pemikiran-pemikiran yang sesat (*mis-leading*) dan/atau ada kesalahpahaman (*misunderstanding*) di antara para pelaksana operasional di lapangan.

Beberapa hal itu di antaranya yang coba dicatat di sini adalah:

1. FREON adalah REFRIGERAN

Media kerja yang digunakan dan bersirkulasi di unit AC melalui komponen-komponen nya disebut refrigeran. Freon pasti refrigeran tapi refrigeran tidak selalu freon. Freon adalah salah merk dari refrigeran.

2. Isi unit AC adalah GAS

Penyebutan gas untuk refrigeran adalah tidak tepat karena pada dasarnya bentuknya tidak selalu berupa gas tapi akan berupa cair jika melewati condenser yang ada di outdoor unit dan menjadi gas jika melewati evaporator yang ada di indoor unit.

3. Unit AC berfungsi menghasilkan udara dingin

Pada dasarnya unit AC yang digunakan di Indonesia bekerja tidak hanya mendinginkan temperatur tapi juga menurunkan kelembaban relatif udaranya demi tujuan misalnya untuk mendapatkan kenyamanan udara.

4. Unit AC yang tidak dingin lagi seringkali diperbaiki dengan cara menambah refrigeran

Unit AC yang tidak dingin lagi sebenarnya tidak selalu karena kekurangan refrigeran. Tidak lagi dinginnya unit AC dipengaruhi oleh lebih dari satu faktor dan alasan kurangnya refrigeran adalah hanya salah satu factor saja.

5. Setelan temperatur unit AC supaya lebih dingin adalah $16-20^{\circ}\text{C}$ dari setelan sebelumnya hanya $22-26^{\circ}\text{C}$

Untuk lebih dinginnya suatu ruangan yang ber-unit AC dengan cara menurunkan setelan temperatur menjadi lebih rendah seperti jadi $16-20^{\circ}\text{C}$ tidaklah tepat karena usaha menurunkan setelah temperatur itu sangat mungkin tidak akan menyelesaikan masalah dalam arti menjadi lebih dingin. Kurang dinginnya temperatur unit AC itu dapat disebabkan karena bertambahnya beban pendingin yang harus diatasi atau karena kapasitas unit AC yang kurang dibandingkan dengan beban yang memang harus diatasi.

6. Penempatan outdoor unit yang baik minimal berjarak 10 cm atau lebih

Aturan peletakan outdoor unit harus sekitar 10 cm terhadap dinding tidaklah selalu benar atau belum bisa dijadikan semacam aturan baku. Walau sudah 10 atau 30 cm sekalipun, kadang masih bermasalah jika syarat kecukupan sirkulasi udara dan mendapatkan udara yang bertemperatur tidak lebih dari 35°C belum dipenuhi.

7. Untuk menambah udara ruangan menjadi lebih dingin, maka sistem pendistribusian udara dari pengkondisi udara sentral adalah dengan memperbanyak keluaran udara (*diffuser* atau *supply air grille*) dan/atau dengan memperbesar ukuran keluaran udara yang ada

Memperbanyak diffuser atau supply air grille tidak akan otomatis akan menambah dingin karena kurang dinginnya temperatur udara ruang yang dikondisikan unit AC dipengaruhi oleh beberapa faktor; kurang baiknya pemerataan pendistribusian udara yang sudah dikondisikan ke bagian-bagian ruang yang dikondisikan adalah hanya satu faktor penyebab saja.

8. Peletakkan masukkan atau inlet udara (*return air grille*) suatu sistem pendistribusian udara difokuskan di pinggir-pinggir ruang/plafon sedangkan meletakkan *diffuser* atau *supply air grille* lebih difokuskan di tengah-tengah ruang.

Peletakan inlet udara dari ruang ke sistem pengkondisi udara yang fokusnya diletakkan di pinggir-pinggir ruang atau plafon kuranglah tepat karena justru kondisi udara yang masuk ke sistem menjadi kurang tepat atau kurang sesuai yang diharapkan atau direncanakan.

9. Pada instalasi saluran udara yang relatif panjang, agar udara yang dialirkan itu sampai tiba di ujung, maka ukuran saluran udara itu dibuat lebih kecil agar kecepatan aliran udaranya menjadi lebih cepat

Memperkecil ukuran saluran udara demi berharap sampainya udara yang dikondisikan ke bagian yang paling ujung atau terpanjang dari sistem saluran udara tidaklah tepat karena justru akan menyebabnya makin besarnya hambatan sehingga hasilnya malah jadi sebaliknya.

10. Pemasangan unit AC residential (wall mounted split unit) tidak harus bahkan tidak perlu dilakukan pemvakuman

Tahap pemvakuman pada dasarnya adalah keharusan dalam rangka menghilangkan atau minimal memperkecil kemungkinan masih adanya kandungan udara dalam sistem. Masih adanya udara dalam sistem akan cukup mengganggu proses kerja sistem. Yang pasti udara tersebut akan mengkontaminasi kemurnian refrigeran yang digunakan.

11. Untuk pemasangan unit AC residential (wall mounted split unit) jika akan dilakukan pemvakuman adalah dengan cara vakum body.

Vakum body yang mungkin kadang dilakukan saat pemasangan unit AC terutama oleh para teknisi (teknisi jalanan) sangatlah jauh dari prosedur pemvakuman yang tepat atau direkomendasikan karena hasil pemvakuman udara itu masih jauh dari level vakum yang diharapkan.

12. Pelaksanaan vakum selain menggunakan vacuum pump juga perlu menggunakan manifold gauge atau biasa disebut analyzer.

Pelaksanaan vakum yang tingkat pemvakumannya hanya berdasarkan pada capaian angka vakum yang ditunjukkan di manifold gauge atau analyzer

sangatlah jauh dari cukup karena level pencapaian vakumnya masih jauh dari cukup sementara angka yang dapat ditunjukkan alat itu sudah tidak mencukupi. Alat yang dapat digunakan untuk melihat kecukupan pencapaian vakum adalah vacuum gauge.

13. Unit AC pada umumnya perlu dilakukan service terutama dalam arti pembersihan unit setiap 3 bulan sekali
Frekuensi dilakukannya service terutama untuk maksud pembersihan tidaklah selalu menggunakan "aturan" (kebiasaan) regular 3 bulan. "Aturan" ini tidak dapat digunakan sebagai standar tapi lebih tepat jika didasarkan pada kondisi lokalnya dan kondisi sekitar dimana lokasi unit AC diletakkan.
14. Unit AC VRV untuk menyatakan unit AC VRF atau Variable Refrigerant Flow
AC VRF adalah menunjukkan jenis AC VRF yang bermerk daikin sementara unit AC VRF tidak selalu daikin karena dapat saja merk lainnya.
15. Supaya penggunaan unit AC lebih hemat listrik, maka jika ruangan yang di AC itu sudah cukup dingin, unit AC nya dapat dimatikan sementara dan baru dinyalakan lagi saat sudah merasa panas lagi; demikian seterusnya
Mematikan dan menghidupkan unit AC justru akan kurang baik bagi "kesehatan" unit AC itu sendiri daripada untuk tujuan pencapaian hemat energi yang sangat mungkin justru tidak tercapai.
16. Pemasangan instalasi pipa yang menghubungkan indoor unit ke outdoor unit sepanjang 25-50 meter masih dapat dipertimbangkan asal diameter pipanya diperbesar.

Panjang pipa yang menghubungkan indoor dan outdoor unit pada dasarnya relatif terbatas dan perlu dipertimbangkan dan bahkan dihitung karena keterbatasan kemampuan kompresor dalam mensirkulasi refrigeran sebagai media kerja. Jika panjang pipanya mencapai 25 meter apalagi lebih seperti 40 meter maka semakin tinggi resiko negatifnya.

PROFIL BISNIS PENULIS



Marhaendra Nata, MM., MT., IPU., GP

Mobile Phone: 087888885081

Certified HVAC System Design & Advisor

Certified HVAC Performance & Energy Audit

Certified HVAC System Training

Berpengalaman di Banyak Gedung Komersial dalam membantu:

- *Mengembangkan Effective & Efficient HVAC System Design*
- *Mengevaluasi HVAC System Performance & Energy Audit*
- *Memberikan In House HVAC&R System Training*



DEVELOPING EFF DUELLER APPLICATION



DEVELOPING EFF DUELLER APPLICATION



TRAINING "INDOOR AIR QUALITY"



SHARING ON DESIGN OPTIMIZATION



REFERENSI

1. Danish Energy Agency, 2022, *Roadmap For An Energy Efficiency, Low Carbon Buildings and Construction Sector in Indonesia*, Danish Energy Agency in cooperation with Global Alliance for Buildings and Construction
2. B2TKE-BPPT, 2020, *Laporan Benchmarking Specific Energy Consumption di Bangunan Komersial*, Direktorat Konservasi Energi-DJEBTKE
3. Amit Kant Kaushik, Mohammed Arif , Matt M. G. Syal, Muhammad Qasim Rana, (2022), *Effect of Indoor Environment on Occupant Air Comfort and Productivity in Office Buildings*, MDPI, Basel, Switzerland
4. Ranil Coorey, Denise Sze Hu Ng, Vijith S. Jayamanne, Elna M. Buys, Steve Munyard, 2023, *The Impact of Cooling Rate on the Safety of [5] Food Products as Affected by Food Containers*, ResearchGate Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety
5. Matilda Marshall, Inger Johanne Lyngo, 2023, *The Culture of Cooling*, The Association Föreningen Kulturella Perspektiv
6. US Department of Energy, 2015, History of Air Conditioning, <https://www.energy.gov/articles/history-air-conditioning>
7. CP Arora, 2009, *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw Hill
8. PKNak, 2006, *Basic Applied Thermodynamics*, Tata McGraw Hill
9. Shan K. Wang, 2000, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* 2nd Edition, McGraw Hill [7]

10. Claire Yu Yan, 2025, *Introduction to Engineering Thermodynamics*, University of British Colombia
11. Naumann G., Russo S., Formetta G., Ibarreta D., Forzieri G., Girardello M., Feyen L, 2020, *Global Warming and Human Impact of Heat and Colds Extreme*, Joint Research Center (JRC)
12. Natawibawa, Marhaendra, 2024, *Confusion of Real Site Implementation of VSD Utilization on Water Pump of a Chiller Plant System in Office Building*, Media Bina Ilmiah.
13. SK Kurshrestha, 1989, *Applied Thermodynamics-Steam and Heat Engineering*, Copied by UI-Press
14. Howard N. Saphiro, 2006, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons

BIOGRAFI



Lahir di Jakarta pada tahun 1965. Pendidikan menengah atas diselesaikan di tahun 1986 lalu melanjutkan ke prodi teknik mesin Universitas Mercu Buana namun baru 1 tahun pindah ke Unika Atmajaya Jakarta di prodi yang sama hingga selesai di 1992.

Sempat mengikuti Pendidikan filsafat teologi di Sekolah Tinggi Filsafat Driyarkara.

Memulai karir pada awal tahun 1993 dengan bekerja di kontraktor mekanikal elektrik sebagai kepala estimator dan engineering. Pada tahun 1995 pindah kerja menjadi sales engineer untuk beberapa perusahaan berturut principal / authorize distributor AC Sentral merk Amerika/Korea/Jepang sambil mengikuti beberapa kursus di dalam negeri dan luar negeri.

Pada tahun 1999 melanjutkan pendidikan magister manajemen bisnis di universitas Budiluhur sambil tetap melanjutkan karir di perusahaan swasta. Sambil berkuliah manajemen dan selesai di tahun 2002, pada tahun 2000 juga mengambil kuliah magister teknik mesin jurusan konversi energi di Universitas Indonesia.

Pada awal tahun 2022 sambil memulai usaha konsultan air conditioning - refrigeration untuk optimalisasi sistem dan energi audit, pada semester genap tahun ajaran 2021/2022 kembali mengambil kuliah magister teknik mesin jurusan konversi energi dan selesai di Juni 2023. Selain sebagai konsultan optimasi HVAC System dan performance-energy audit, juga berkarya sebagai pengajar tetap di fakultas teknik mesin dari universitas swasta sambil menyelesaikan proposal pendidikan program doctoral.