

2. DASAR TEORI

2.1 Pengertian Sistem Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara yang nyaman adalah proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang ada didalamnya (Jones at all,1992) Berikut ini adalah contoh penggunaan pengkondisian udara:

1. Pengkondisian udara untuk industri bertujuan untuk menciptakan lingkungan yang nyaman bagi para pekerja yang berada di dalam lingkungan dan untuk pengaturan kondisi udara yang mendukung hasil produksi industri tersebut (Stoecker, 1992).
2. Pengkondisian udara untuk rumah tangga berfungsi sebagai tempat tinggal anggota keluarga, tempat menyimpan barang-barang mulai dari bahan makanan sampai dengan pakaian. Fungsi utama dari pengkondisian udara pada rumah tangga adalah menjaga temperatur dan kelembaban udara pada kondisi yang dianggap nyaman untuk beristirahat.
3. Pengkondisian udara untuk ruang medis atau rumah sakit diharuskan memiliki kualitas udara yang bersih dan higienis, tidak boleh terkontaminasi dengan kotoran maupun bakteri. Kelembaban udara harus dijaga pada kondisi dimana orang yang bekerja merasa nyaman dan juga menjaga tidak terjadi kondisi dimana dapat menimbulkan penyebaran virus melalui udara. Udara yang dihasilkan dapat menyaring kuman-kuman atau bakteri yang berada di udara agar udara tetap bersih dan higienis. Disesuaikan dengan penggunaannya seperti pengujian peralatan yang akan beroperasi dengan temperatur yang rendah serta dijaga kualitas udaranya.

2.2 Jenis-jenis Instalasi Sistem Pengkondisian Udara

Pendistribusian sistem tata udara bertujuan untuk mengatur kondisi udara seperti temperatur dan kelembaban, sehingga dapat memberikan kenyamanan suatu ruangan. Berikut jenis-jenis instalasi sistem pengkondisian udara dijabarkan sebagai berikut:

2.2.1 Sistem pendingin *Split*

Jenis instalasi ini merupakan sistem pendingin yang sering digunakan untuk mendinginkan ruangan-ruangan di rumah. Seperti pada gambar 2.1 sistem pendingin udara jenis ini terdiri dari dua unit utama, yaitu unit evaporator yang ditempatkan di dalam

ruangan dan unit kondensator yang ditempatkan di luar ruangan. Kedua unit ini terhubung oleh pipa tembaga yang mengalirkan refrigeran untuk memindahkan panas dari dalam ruangan ke luar ruangan.

Kelebihan sistem pendingin jenis *split* ini untuk instalasi yang relatif mudah dan tidak memerlukan perubahan besar pada struktur bangunan. Menghemat energi karena sistem pendingin *split* tersedia dalam berbagai kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan ruangan, sehingga menghemat energi karena tidak terlalu membebani daya listrik. Kekurangan sistem pendingin *split* terbatas pada satu hingga beberapa ruangan saja. Sistem pendingin *split* hanya mampu mengkondisikan satu ruangan, sehingga jika ada beberapa ruangan, diperlukan beberapa unit AC Split.



Gambar 2.1 Sistem Pendingin Jenis *Split*

2.2.2 Sistem Sentral

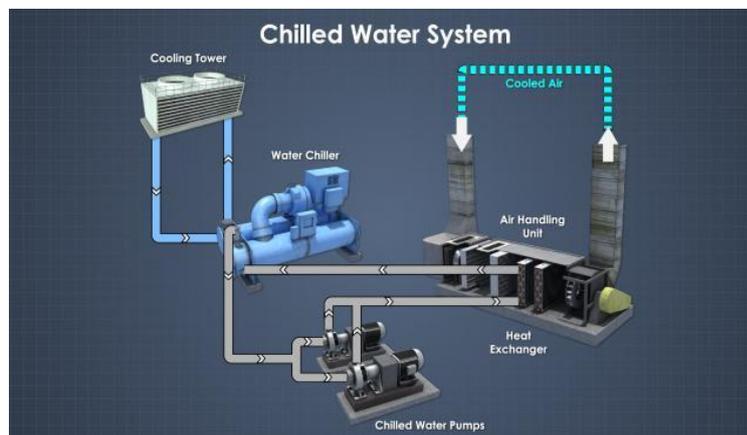
Sesuai dengan fungsi sistem tata udara sentral dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- a) VRV (*Variable Refrigerant Volume*) atau VRF (*Variable Refrigerant Flow*) adalah sistem pendingin udara yang menggunakan refrigeran yang dapat diatur volumenya untuk mengkondisikan beberapa ruangan secara terpisah. Sistem ini menggunakan satu unit *outdoor* yang terhubung dengan beberapa unit *indoor* di dalam ruangan seperti yang bisa dilihat pada gambar 2.2. Kelebihan VRV/VRF memiliki efisiensi energi yang lebih baik dibanding *chiller*, karena sistem ini menggunakan teknologi inverter yang memungkinkan pengaturan beban pendinginan sesuai dengan kebutuhan ruangan. VRV/VRF memungkinkan instalasi pipa tembaga yang panjang, memungkinkan fleksibilitas dalam penempatan unit dalam ruangan yang lebih jauh dari unit luar. Kekurangan VRV/VRF adalah kapasitas lebih rendah jika dibanding *chiller*. Sistem pendingin jenis ini membutuhkan perawatan dan pemeliharaan yang teratur untuk menjaga kinerja yang optimal.



Gambar 2.2 Sistem VRV/VRF

- b) Sistem pendinginan *chiller tower* adalah sistem pendinginan yang menggunakan menara pendingin (*cooling tower*) untuk menurunkan suhu air yang digunakan sebagai media pendingin. Menara pendingin bekerja dengan cara menguapkan sebagian air yang mengalir di dalamnya seperti pada gambar 2.3. Uap air ini akan membawa panas dari air, sehingga suhu air akan turun. Kelebihan sistem pendinginan *chiller* memiliki Kapasitas pendinginan yang besar, sehingga cocok untuk gedung-gedung besar atau industri. Biaya operasional yang relatif rendah. Kekurangan sistem pendinginan *chiller tower* membutuhkan ruang yang luas untuk menampung menara pendingin. Membutuhkan air yang cukup banyak dan dapat menimbulkan polusi udara berupa kabut air.

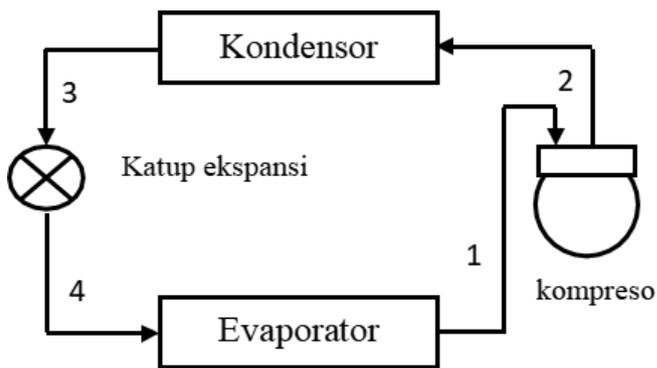


Gambar 2.3 Sistem *Chiller*

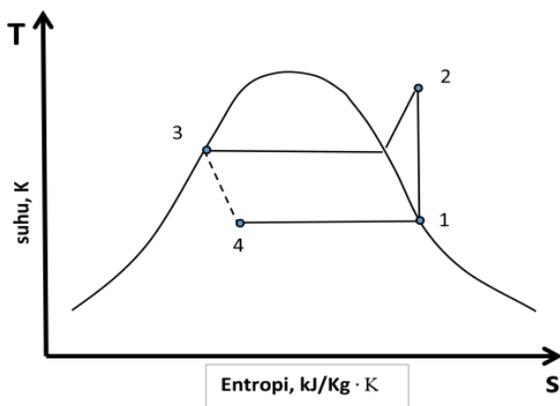
Sumber: HVAC Simplified. (n.d)

2.3 Siklus Kompresi Uap Pada Mesin Pendingin Udara

Siklus kompresi uap merupakan sistem refrigerasi yang sering digunakan sebagai pendingin udara. Pada siklus kompresi uap membutuhkan beberapa komponen utama yang digunakan untuk menjalankan *fluida* seperti yang ditampilkan pada gambar 2.4 dan gambar 2.5. *Refrigerant* menjadi media utama untuk *fluida* kerja pada sistem mesin pendingin udara. Komponen utama yang digunakan pada mesin pendingin udara adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan *evaporator*.

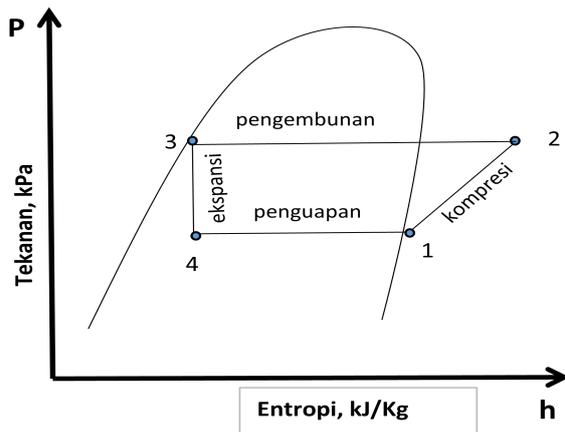


Gambar 2.4 Siklus Kompresi Uap



Gambar 2.5 T-S Diagram Siklus Kompresi Uap Standar

Diagram kompresi uap AC split, *refrigerant* atau fluida kerja AC split mengalami empat proses, dapat dilihat pada diagram P-H Siklus Kompresi.



Gambar 2.6 P-H Diagram Siklus Kompresi Uap Standar

Sumber : Stoecker. (1992)

1. Proses kompresi (1-2)

Proses kompresi adalah awal dari siklus kompresi uap yang menggunakan kompresor untuk mendistribusikan *fluida refrigerant*. Awal proses kompresi yaitu kompresor akan menghisap *refrigerant* yang melalui *evaporator* dalam bentuk uap dengan kondisi tekanan dan temperatur rendah. Lalu *refrigerant* dengan uap dinaikan tekanan dan temperturnya untuk menjadi uap bertekanan tinggi yang menuju kondensor (kondensasi). Proses kompresi *refrigerant* bertujuan untuk menaikkan temperturnya, sehingga *refrigerant* yang melalui kondensor memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada temperatur lingkungan.

2. Proses kondensasi (2-3)

Proses kondensasi adalah proses pelepasan panas pada *refrigerant* yang mengalir melalui kondensor. Setelah mengalami proses kompresi *refrigerant* berada dalam fase uap dengan temperatur dan tekanan yang sangat tinggi. Dimana pada proses ini temperatur *refrigerant* akan diturunkan kembali dengan menggunakan udara yang mengalir dari sisi lain kondensor, sehingga panas pada *refrigerant* berpindah untuk dilepas ke lingkungan luar. Selanjutnya *refrigerant* yang keluar dari kondensor menjadi fase *liquid*. Kesimpulannya adalah pada proses ini hanya menurunkan temperatur *refrigerant* tanpa menurunkan tekanan *refrigerant*.

3. Proses Ekspansi (3-4)

Pada proses ini *refrigerant* yang telah melalui kondensor dalam wujud *liquid* akan mengalir melalui alat ekspansi. Pada proses ini *refrigerant* akan mengalami penurunan

tekanan, dengan adanya penurunan tekanan maka temperatur *refrigerant* ikut menurun. Pada proses penurunan tekanan *refrigerant* berubah fase dari *liquid* menjadi fase (*vapor* dan *liquid*). Selanjutnya *refrigerant* akan masuk pada *evaporator* untuk proses penguapan.

4. Proses evaporasi (4-1)

Pada proses ini *refrigerant* yang telah melalui proses ekspansi dalam wujud (*vapor* dan *liquid*) akan mengalir melalui evaporator. Pada proses ini, *refrigerant* akan berubah menjadi uap bertekanan rendah. Hal ini disebabkan karena temperatur *refrigerant* lebih rendah dari pada temperatur lingkungan sekitar evaporator, maka panas yang berada pada lingkungan bisa diserap *refrigerant*. Selanjutnya *refrigerant* akan masuk lagi pada kompresor untuk disirkulasikan kembali.

2.4 Komponen Utama Mesin Pendingin

2.4.1. Kompresor

Kompresor adalah salah satu komponen utama dalam sistem pendingin atau sistem tekanan udara. Fungsi kompresor adalah untuk mengubah gas atau udara yang masuk menjadi gas bertekanan tinggi atau udara terkompresi. Kompresor bekerja dengan cara menekan dan memadatkan gas atau udara melalui proses kompresi. Fungsi utama kompresor adalah melakukan kompresi terhadap gas atau udara yang masuk. Proses kompresi ini dilakukan dengan memperkecil volume ruang dan meningkatkan tekanan gas atau udara. Dalam kompresor, ada ruang kerja yang berisi rotor atau piston yang bergerak maju-mundur untuk melakukan kompresi. Kompresor bekerja dengan meningkatkan tekanan gas atau udara. Tekanan tinggi yang dihasilkan oleh kompresor akan memampatkan molekul-molekul gas atau udara sehingga menciptakan energi potensial yang dapat digunakan dalam sistem yang lebih kompleks, seperti sistem pendingin atau sistem tekanan udara.

2.4.2. Kondensor

Kondensor adalah salah satu komponen utama dalam sistem pendingin yang berfungsi untuk menyalurkan panas yang diambil dari ruangan atau perangkat yang akan didinginkan. Dapat dilihat pada gambar 2.7 untuk gambar kondensor yang memiliki fungsi mengubah gas refrigeran yang panas menjadi cairan refrigeran dengan melepaskan panas ke lingkungan sekitarnya. Fungsi utama kondensor adalah melakukan kondensasi gas refrigeran menjadi cairan refrigeran. Pada awal siklus pendinginan, gas refrigeran yang telah menyerap panas dari ruangan atau perangkat akan memiliki suhu dan tekanan tinggi. Kondensor bekerja dengan

mendinginkan gas refrigeran sehingga menjadi cairan, dimana proses perubahan fase ini melepaskan panas ke lingkungan. Selama proses kondensasi, kondensor bertanggung jawab untuk membuang panas yang diambil oleh gas refrigeran. Panas yang dihasilkan selama proses kondensasi dialirkan ke udara sekitar kondensor melalui sirip-sirip atau permukaan perpindahan panas yang ada pada kondensor. Dengan melepaskan panas ini, kondensor membantu menjaga suhu optimal dalam sistem pendingin. Selain melakukan kondensasi dan pembuangan panas, kondensor berfungsi untuk menurunkan tekanan gas refrigeran dan memindahkan panas dari gas refrigeran ke lingkungan sekitarnya. Pada kondisi awal, gas refrigeran memiliki tekanan tinggi. Tekanan gas refrigeran diturunkan saat melewati kondensor, sehingga dapat mengalir ke bagian berikutnya dalam siklus pendinginan. Kondensor juga berperan dalam perpindahan panas dari gas refrigeran ke lingkungan sekitarnya. Permukaan kondensor yang luas dan berkontak dengan udara membantu dalam mentransfer panas dari gas refrigeran yang panas ke udara, sehingga mendinginkan gas refrigeran menjadi cairan.



Gambar 2.7 Kondensor

2.4.3. Evaporator

Evaporator adalah salah satu komponen dalam sistem pendingin yang berperan sebagai perangkat pertukaran panas dan bertugas mengubah *refrigerant* menjadi uap sebelum dihisap oleh kompresor. Evaporator menyerap panas dari udara sekitarnya, mengakibatkan penurunan suhu udara di sekitar evaporator. Suhu udara yang rendah ini kemudian dipindahkan ke tempat lain melalui penggunaan kipas, yang menciptakan aliran udara. Pada gambar 2.8 terlihat bahwa evaporator memiliki permukaan yang luas dan berlubang-lubang. Permukaan yang luas ini berfungsi untuk meningkatkan luas permukaan kontak antara refrigerant dan udara atau benda

yang didinginkan. Lubang-lubang pada evaporator berfungsi untuk mengalirkan udara atau benda yang didinginkan.



Gambar 2.8 Evaporator

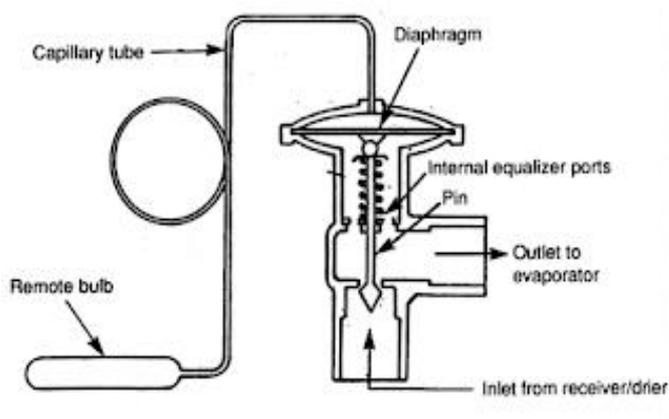
2.4.4. Katup Ekspansi

Katup ekspansi merupakan komponen terakhir dalam siklus refrigrasi uap setelah kompresor, kondensor, dan evaporator. Fungsi katup ekspansi ini meliputi dua hal, yakni mengurangi tekanan *refrigerant* cair dan mengatur aliran *refrigerant* menuju evaporator (Stoecker, 1992). Katup ekspansi dapat dilihat pada gambar 2.9.

Salah satu jenis katup ekspansi yang populer digunakan dalam sistem refrigrasi berukuran sedang adalah katup ekspansi panas-lanjut, yang juga dikenal sebagai katup ekspansi termostatik. Meskipun namanya mungkin kurang akurat karena pengendaliannya tidak tergantung pada suhu di dalam evaporator, melainkan bergantung pada jumlah panas-lanjut gas hisap yang keluar dari evaporator. Fungsi katup ekspansi panas-lanjut ini adalah mengatur laju aliran refrigeran cair secara proporsional dengan tingkat penguapan di dalam evaporator (Stoecker, 1992).

a. Mengatur jumlah *refrigerant* yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.

b. Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.



Gambar 2.9 Katup Ekspansi

2.4.5 Refrigerant

Refrigerant adalah zat atau senyawa untuk menyerap dan melepaskan kalor yang digunakan dalam siklus mesin pendingin. *Refrigerant* merupakan fluida yang mengalami perubahan fase dari bentuk *liquid* ke *vapor* dan sebaliknya. Refrigerant berperan dalam siklus pendingin yang melibatkan kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi.

2.4.5.1. Syarat -Syarat Refrigerant

a) Titik didih Syarat

Titik didih *refrigerant* merupakan petunjuk yang menunjukkan kemampuan *refrigerant* untuk menguap pada suhu rendah yang diinginkan, namun dengan tekanan yang tidak terlalu rendah.

b) Tekanan pengembunan yang tidak terlalu tinggi.

Dengan mempertahankan tekanan pengembunan yang rendah, perbandingan kompresi dapat dikurangi sehingga menghindari penurunan kinerja mesin. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat beroperasi dengan lebih aman untuk mengurangi risiko ledakan dan kebocoran.

c) Tekanan penguapan yang memadai.

Idealnya, *refrigerant* harus memiliki suhu penguapan yang lebih tinggi daripada tekanan atmosfer, karena hal ini dapat mengurangi risiko kerusakan dan sejenisnya.

d) Kalor laten penguapan.

Kehadiran kalor laten yang tinggi pada *refrigerant* sangat diinginkan, karena akan menghasilkan efek pendinginan yang besar. Aliran *refrigerant* yang beredar akan lebih efisien ketika efek pendinginan tinggi, yang pada akhirnya akan lebih ekonomis.

e) Titik beku.

Refrigerant harus dipilih sedemikian rupa sehingga titik beku fluida tersebut jauh di bawah suhu kerja evaporator. Jika titik beku *refrigerant* mendekati suhu kerja evaporator, waktu pendinginan akan menjadi lebih lama dari yang seharusnya.

2.5 Temperatur

Secara umum, temperatur adalah suhu udara kering yang mengindikasikan kehangatan dan kesejukan. Derajat temperatur harian digunakan sebagai cara untuk membantu menentukan kebutuhan panas atau dingin. Kenyamanan suhu berkisar antara 21°C (70°F) hingga 29.5°C (85°F). Di Indonesia, standar suhu ruangan adalah sebesar 25°C ± 1°C dengan kelembaban relatif 60% ± 10% (ASHRAE, 19).

2.5 Kelembaban

Kelembaban adalah jumlah uap air yang terdapat dalam udara. Jumlah uap air yang dapat terkandung dalam udara dipengaruhi oleh suhu udara. Udara yang lebih hangat dapat menampung lebih banyak uap air dibandingkan dengan udara yang lebih dingin. Tingkat kelembaban udara juga mempengaruhi tingkat penguapan dalam proses keringat tubuh manusia. Udara yang kering mempercepat penguapan, sehingga dapat memberikan efek pendinginan pada permukaan tubuh. Di sisi lain, udara yang lembab memperlambat penguapan, sehingga menciptakan sensasi kehangatan meskipun termometer menunjukkan suhu yang sama.

2.7 Ruangan Bertekanan

Ruangan bertekanan adalah keadaan di mana tekanan udara di dalam ruangan sengaja dibuat berbeda dengan tekanan udara di luar ruangan. Ruangan bertekanan negatif memiliki tekanan udara yang lebih rendah daripada tekanan udara di luar ruangan, sedangkan ruangan bertekanan positif memiliki tekanan udara yang lebih tinggi daripada tekanan udara diluar ruangan. Tekanan ruangan bergantung pada kebutuhan dan tujuan ruangan, sistem resirkulasi dan sistem air bersih penuh dapat dibuat.

Ruangan bertekanan negatif dan ruangan bertekanan positif memiliki berbagai macam aplikasi, antara lain:

- Ruangan bertekanan negatif digunakan untuk mencegah penyebaran kontaminasi, seperti pada ruang operasi, ruang isolasi, dan laboratorium.

- Ruang bertekanan positif digunakan untuk mencegah masuknya kontaminasi, seperti pada ruang produksi obat-obatan dan ruang bersih.
- Ruang bertekanan negatif digunakan untuk meningkatkan kenyamanan, seperti pada ruang konferensi dan ruang teater.

Sistem resirkulasi adalah sistem yang memungkinkan udara di dalam ruangan digunakan kembali setelah dibersihkan. Sistem air bersih penuh adalah sistem yang menggunakan udara dan air segar dari luar ruangan untuk mengatur tekanan udara dalam ruangan.

2.8 Sistem *Ducting*

Ducting merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan udara menuju ruangan-ruangan, diperlukan sebuah saluran udara yang disebut sebagai *ducting*. Pada gambar 2.10 material *ducting* biasanya terbuat dari lembaran logam atau bahan yang tidak mudah terbakar. *Ducting* bekerja berdasarkan perbedaan tekanan. Ketika terdapat perbedaan tekanan, udara akan mengalir dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Semakin besar perbedaan tekanan, semakin cepat aliran udara di dalam duct. Berikut yang harus diperhatikan dalam perancangan sistem *ducting*:

- Ukuran *duct*
- Material *duct*
- Kecepatan aliran (m/s)

Metode *equal friction* adalah metode dimana *pressure loss* setiap *feet duct* dianggap sama pada seluruh sistem. Metode *equal friction* merupakan metode paling universal digunakan untuk mengukur *duct*, namun tidak bisa digunakan untuk sistem tekanan *duct* yang tinggi. Salah satu kekurangan terbesar dari metode ini adalah tidak adanya ketentuan pada *pressure drop* yang seimbang pada cabang *duct*. (Tjondro, 2021)

Metode *static regain* adalah metode yang dapat digunakan untuk mendesain sistem pasokan udara dengan kecepatan dan tekanan yang bervariasi. Metode ini dapat menjaga tekanan statis pada semua cabang dan *outlet* agar tetap *uniform*. Kekurangan metode *static regain* adalah *duct* yang terlalu besar dapat merusak cabang *duct*, terutama bila *duct* berjalan sangat lama. (Tjondro, 2021)



Gambar 2.10 Ducting

Sumber : Astro. (n.d)

Terdapat dua jenis *duct* yang sering digunakan, yaitu *duct* bulat (*round duct*) dan *duct* persegi (*rectangular duct*). *Duct* bulat memiliki efisiensi yang lebih tinggi berdasarkan volume udara yang dibawa per satuan keliling. Oleh karena itu, untuk menghasilkan *duct* yang dapat membawa jumlah udara yang dibutuhkan, dibutuhkan bahan yang lebih sedikit. Di sisi lain, *duct* persegi memiliki bentuk yang lebih sesuai dengan konstruksi bangunan, termasuk bentuk dinding dan atap. Hal ini membuat pemasangan *duct* persegi lebih mudah dibandingkan dengan *duct* bulat. Berikut adalah persamaan untuk mencari *duct* dan *fitting* yang sering digunakan:

$$Hl\ mayor = \frac{(friction\ loss\ dari\ hasil\ analisa)in.w}{100ft} \times (panjang\ ducting)ft \quad (2.1)$$

$$Hl\ minor = C \times \left(\frac{v}{4000}\right)^2 \quad (2.2)$$

$$Hl\ total = Hl\ mayor + Hl\ minor \quad (2.3)$$

Dimana:

Hl mayor = Pressure loss karena panjang ducting (*in.w*)

Hl minor = Pressure loss karena sambungan ducting (*in.w*)

C = Coefficient loss

v = Kecepatan aliran udara (*FPM*)

2.8 Metode Perhitungan Beban Pendinginan dengan metode CLTD

Metode CLTD (*cooling load temperature difference*) adalah perhitungan beban pendinginan pada desain bangunan untuk menentukan seberapa besar kapasitas pendinginan akibat paparan sinar matahari. Metode ini memperhitungkan perbedaan suhu antara suhu luar dan suhu dalam ruangan pada berbagai jam sepanjang tahun. CLTD biasanya digunakan sebagai langkah awal dalam perhitungan beban pendinginan untuk menentukan beban pendinginan awal sebelum menghitung faktor-faktor lain seperti beban internal (peralatan elektronik, penerangan lampu, dan orang), insulasi bangunan, orientasi bangunan, dan lainnya.

Udara panas dalam gedung berasal dari beberapa sumber, seperti aktivitas manusia, peralatan elektronik, dan sinar matahari. Untuk menjaga temperatur dan kelembaban pada tingkat kenyamanan, udara panas ini harus dihilangkan. Jumlah panas yang harus dihilangkan disebut beban pendinginan (*cooling load*). Perhitungan beban pendinginan menjadi dasar dalam pemilihan sistem tata udara yang tepat. Beban pendinginan juga digunakan untuk menganalisa energi yang digunakan dan disimpan. Jumlah beban pendinginan berbeda dengan jumlah panas yang diterima di waktu tertentu. *Heat storage effect* adalah jumlah panas yang diserap oleh perabotan, dinding, lantai, atap. Panas ini kemudian dilepaskan kembali ke ruangan, sehingga membuat suhu ruangan meningkat.

2.8.1. Beban Pendinginan Melalui Struktur Eksterior

Beban eksterior pada bangunan seperti atap, dinding, kaca jendela menjadi penyebab suhu di dalam ruang meningkat. Hal ini disebabkan oleh beban kalor konduksi yang melalui eksterior bangunan saat terpapar sinar matahari langsung. Beban kalor konduksi adalah jumlah panas yang mengalir melalui material akibat perbedaan suhu. Kondisi eksterior bangunan yang dapat meningkatkan beban kalor konduksi, seperti warna cat, jenis material, dan orientasi bangunan sangat mempengaruhi beban pendinginan yang dihasilkan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung beban kalor pada struktur eksterior ini adalah:

$$Q = U \times A \times CLTDc \quad (2.4)$$

Dimana:

- Q = Beban pendingin untuk setiap struktur (*Btu/h*)
- U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh setiap struktur (*Btu/h.ft².°F*)
- A = Luasan dari setiap struktur (*ft²*)
- CLTDc = Koreksi terhadap selisih temperatur beban pendingin (*°F*)

Untuk menentukan nilai CLTDc perlu dipertimbangkan posisi matahari dan kondisi lingkungan luar. Rumus CLTD secara umum didapatkan sebagai berikut:

$$CLTDc = (CLTD + LM) \times k + (78 - Tr) + (Ta - 85) \quad (2.5)$$

Dimana:

- CLTD = *Cooling load temperature different* (°F), nilai didapat dari tabel 2.1
- CLTDc = *Cooling load temperature different correction*, nilai hasil koreksi (°F)
- LM = Faktor koreksi terhadap letak kota sidoarjo, nilai didapat dari tabel 2.2
- k = Faktor koreksi terhadap warna, k=0.65 untuk warna cerah, k=0.83 untuk warna medium, k=1 untuk warna gelap. Untuk kawasan industri nilai k=1 baik cerah maupun gelap (Ashrae, 1980)
- Tr = Temperatur ruangan yang akan dikondisikan (°F)
- Ta = Temperatur rata-rata lingkungan (°F)

Faktor koreksi LM dipengaruhi oleh posisi matahari dan arah dinding menghadap matahari. Faktor koreksi warna (k) dipengaruhi oleh warna cat permukaan bangunan. Untuk mendapatkan besar temperatur rata-rata lingkungan (Ta) menggunakan dari persamaan 2.6 berikut ini:

$$Ta = To - \frac{DR}{2} \quad (2.6)$$

Dimana:

- DR = *Daily Range* (selisih suhu tertinggi dan terendah pada bulan Oktober)
- To = Temperatur luar (°F)

U-value adalah koefisien perpindahan panas, yang menunjukkan besarnya laju perpindahan panas melalui suatu material. *U-value* diukur dalam satuan *british thermal unit per feet persegi fahrenheit* (*Btu/h.ft².°F*). Nilai *U-value* yang lebih rendah menunjukkan bahwa material tersebut lebih baik dalam menahan perpindahan panas. Untuk membaca *U-value* untuk jenis material dinding, dapat dilakukan dengan melihat tabel 2.3. Tabel 2.3 tersebut biasanya menunjukkan nilai *U-value* untuk berbagai jenis material dinding, dengan berbagai ketebalan dan kondisi.

Tabel 2.1
Cooling Load Temperature Different (CLTD)

North Latitude Wall Facing	Solar Time, h																								Hr of Maxi- Mini- Maxi- Differ- mum mum mum ence				
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	CLTD	CLTD	CLTD	CLTD	
Group A Walls																													
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	14	2	10	14	4	
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5	
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	22	18	24	6	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	20	23	14	20	6
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25	8	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7	
Group B Walls																													
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7	
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9	
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12	
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12	
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	23	11	22	11	
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	28	24	13	28	15	
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	14	30	16	
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	9	
Group C Walls																													
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	13	
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18	
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	12	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17	
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	25	24	22	20	9	26	17	
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22	
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33	22	12	35	22	
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	27	17	
Group D Walls																													
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18	
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25	
SE	20	17	15	13	11	9	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24	
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23	
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30	
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32	
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25

Sumber : Pita, E.G. (2002). *Air Conditioning Principles and Systems*, p. 126

Tabel 2.2
Faktor koreksi Latitude Month (LM)

Lat.	Month	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	HOR
0	Dec	-3	-5	-5	-5	-2	0	3	6	9	-1
	Jan/Nov	-3	-5	-4	-4	-1	0	2	4	7	-1
	Feb/Oct	-3	-2	-2	-2	-1	-1	0	-1	0	0
	Mar/Sept	-3	0	1	-1	-1	-3	-3	-5	-8	0
	Apr/Aug	5	4	3	0	-2	-5	-6	-8	-8	-2
	May/Jul	10	7	5	0	-3	-7	-8	-9	-8	-4
8	Dec	-4	-6	-6	-6	-3	0	4	8	12	-5
	Jan/Nov	-3	-5	-6	-5	-2	0	3	6	10	-4
	Feb/Oct	-3	-4	-3	-3	-1	-1	1	2	4	-1
	Mar/Sept	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	0
	Apr/Aug	2	2	2	0	-1	-4	-5	-7	-7	-1
	May/Jul	7	5	4	0	-2	-5	-7	-9	-7	-2
16	Dec	-4	-6	-8	-8	-4	-1	4	9	13	-9
	Jan/Nov	-4	-6	-7	-7	-4	-1	4	8	12	-7
	Feb/Oct	-3	-5	-5	-4	-2	0	2	5	7	-4
	Mar/Sept	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	-1
	Apr/Aug	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	-5	-6	0
	May/Jul	4	3	3	0	-1	-4	-5	-7	-7	0
Jun	6	4	4	1	-1	-4	-6	-8	0	-7	

Sumber : Pita, E.G. (2002). *Air Conditioning Principles and Systems*, p. 126

Tabel 2.3

Data value jenis material dinding

Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft ²)	U-Value (BTU/h•ft ² •°F)
4-in. Face brick + (brick)			
C	Air space + 4-in. face brick	83	0.358
D	4-in. common brick	90	0.415
C	1-in. insulation or air space + 4-in. common brick	90	0.174–0.301
B	2-in. insulation + 4-in. common brick	88	0.111
B	8-in. common brick	130	0.302
A	Insulation or air space + 8-in. common brick	130	0.154–0.243
4-in. Face brick + (heavyweight concrete)			
C	Air space + 2-in. concrete	94	0.350
B	2-in. insulation + 4-in. concrete	97	0.116
A	Air space or insulation + 8-in. or more concrete	143–190	0.110–0.112
4-in. Face brick + (light or heavyweight concrete block)			
E	4-in. block	62	0.319
D	Air space or insulation + 4-in. block	62	0.153–0.246
D	8-in. block	70	0.274
C	Air space or 1-in. insulation + 6-in. or 8-in. block	73–89	0.221–0.275
B	2-in. insulation + 8-in. block	89	0.096–0.107
4-in. Face brick + (clay tile)			
D	4-in. tile	71	0.381
D	Air space + 4-in. tile	71	0.281
C	Insulation + 4-in. tile	71	0.169
C	8-in. tile	96	0.275
B	Air space or 1-in. insulation + 8-in. tile	96	0.142–0.221
A	2-in. insulation + 8-in. tile	97	0.097
Heavyweight concrete wall + (finish)			
E	4-in. concrete	63	0.585
D	4-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	63	0.119–0.200
C	2-in. insulation + 4-in. concrete	63	0.119
C	8-in. concrete	109	0.490
B	8-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	110	0.115–0.187
A	2-in. insulation + 8-in. concrete	110	0.115
B	12-in. concrete	156	0.421
A	12-in. concrete + insulation	156	0.113
Light and heavyweight concrete block + (finish)			
F	4-in. block + air space/insulation	29	0.161–0.263
E	2-in. insulation + 4-in. block	29–37	0.105–0.114
E	8-in. block	47–51	0.294–0.402
D	8-in. block + air space/insulation	41–57	0.149–0.173

Sumber : Pita, E.G. (2002). *Air Conditioning Principles and Systems*, p. 127

2.8.2 Beban Pendingin Melalui Struktur Interior

Beban pendinginan melalui interior adalah beban pendinginan yang berasal dari dalam ruangan. Beban pendinginan ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti lantai, plafond/*ceiling*, dinding, *ducting*, dan kaca partisi, maka didapat perhitungan beban pendinginan interior menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut:

$$Q = U \times A \times TD \quad (2.7)$$

Dimana:

$$Q = \text{Beban pendingin untuk setiap struktur (Btu/h)}$$

- U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh setiap struktur ($Btu/h.ft^2.°F$)
A = Luasan dari setiap struktur (ft^2)
TD = Perbedaan temperatur antara ruang yang tidak dikondisikan dan yang dikondisikan ($°F$)

2.8.3 Beban Pendingin Penghuni

Jumlah orang didalam ruangan akan mempengaruhi beban pendinginan. Hal ini disebabkan karena setiap manusia mengeluarkan kalor yang besar tergantung dari aktivitas didalam ruangan. Beban pendinginan dari manusia dibagi menjadi dua, yaitu kalor sensibel dan kalor laten. Berikut adalah persamaannya:

$$Q_s = q_s \times N \times CLF \quad (2.8)$$

$$Q_l = q_l \times n \quad (2.9)$$

Dimana:

- Qs = Beban Sensibel (Btu/h)
Ql = Beban Laten (Btu/h)
qs = Sensibel *heat* per orang (Btu/h), didapat dari tabel 2.5
ql = *Latent heat* per orang (Btu/h), didapat dari tabel 2.5
n = Jumlah orang
CLF = *Cooling Load Factor* untuk kaca, dianggap bernilai 1 apabila tata kerja sistem <24 jam (ASHRAE, 1980)

Tabel 2.4

Beban sensibel dan beban laten orang di dalam ruang

Degree of Activity		Total Heat Adults		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h
		Adult Male	Adjusted M/F ^a		
Seated at theater	Theater—matinee	390	330	225	105
Seated at theater, night	Theater—night	390	350	245	105
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	200
Standing, light work; walking	Department store, retail store	550	450	250	200
Walking; standing	Drug store, bank	550	500	250	250
Sedentary work	Restaurant ^b	490	550	275	275
Light bench work	Factory	800	750	275	475
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545
Walking 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625
Bowling ^c	Bowling alley	1500	1450	580	870
Heavy work	Factory	1500	1450	580	870
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090

Sumber : Pita, E.G. (2002). *Air Conditioning Principles and Systems*, p. 139

Beban sensibel dan beban laten orang didalam ruangan dapat dilihat pada tabel 2.5, dari tabel tersebut dapat disesuaikan dengan kondisi yang ada untuk aktivitas dan jenis penggunaan ruangan berpengaruh pada jumlah besarnya beban sensibel dan beban laten. Beban sensibel adalah beban panas yang menyebabkan suhu udara dalam ruangan meningkat. Beban laten adalah beban panas yang menyebabkan kelembaban udara dalam ruangan meningkat.

2.8.4 Beban Pendingin Lampu

Beban pendingin pada lampu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = 3.14 \times q_1 \times CLF \times BF \quad (2.10)$$

Dimana:

- Q = Beban Pendinginan (*Btu/h*)
- q₁ = Daya total lampu (watt)
- CLF = *Cooling Load Factor*, diambil CLF=1 (Pita, E.G, 2002)
- BF = *Ballast Factor*, nilai BF= 1,25 jika lampu neon. Jika bukan BF=1

Beban pendingin untuk lampu perlu diketahui besar daya dan jumlah lampu yang akan digunakan. Besar daya dapat digunakan persamaan untuk mencari jumlah lampu adalah sebagai berikut:

$$N = \frac{E \times A}{\phi \times LLF \times CU \times n} \quad (2.11)$$

Dimana:

- N = Jumlah titik lampu
- E = Intensitas pencahayaan (lux)
- A = Luasan (m²)
- ϕ = *Flux cahaya* (lumen)
- LLF = *Light Loss Factor*, didapat dari tabel 2.6
- CU = *Coefficient of utilization* (50%-65%)
- n = Jumlah lampu dalam 1 titik lampu
- q₁ = Daya total Lampu (*Watt*)

Menurut buku Edward G. Pita (2002) menyatakan bahwa setiap 1 titik lampu hanya terdapat 1 lampu, sehingga didapat n=1

Tabel 2.5

Light Loss Factor

Warna	Faktor Refleksi
Putih	0,7
Terang	0,5
Muda	0,3
Gelap	0,1

Sumber : Pita, E.G. (2002). *Air Conditioning Principles and Systems*, p. 138

2.8.5 Beban Pendingin Peralatan Elektronik

Peralatan elektronik menghasilkan kalor, maka dari itu juga perlu dipertimbangkan dalam perhitungan beban pendinginan. Berikut pada persamaan 2.12 untuk mengukur besar kalor dari peralatan elektronik:

$$Q = 3.4 \times \text{jumlah peralatan} \times \text{daya} \quad (2.12)$$

Dimana:

$$Q = \text{Beban pendinginan (Btu/h)}$$

Nilai 3.4 merupakan variabel untuk mengkonversi dari watt menjadi *Btu/h* (Ashrae,1980).

2.9 Rancangan Sistem Saluran Udara

Rancangan sistem saluran udara merujuk pada proses merencanakan dan merancang saluran udara yang efektif dan efisien untuk mengalirkan udara dalam suatu sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) atau sistem pendingin udara. Rancangan ini melibatkan pemilihan ukuran dan jenis saluran udara yang tepat, penempatan saluran yang strategis, serta penggunaan komponen tambahan seperti *elbow*, *damper*, dan *diffuser* untuk mengoptimalkan aliran udara. Tujuan dari perancangan sistem saluran udara adalah menciptakan distribusi udara yang seimbang dan merata ke seluruh ruangan yang dikondisikan, mencapai kualitas udara dalam yang baik, serta mengoptimalkan efisiensi energi dalam pengoperasian sistem HVAC. Rancangan ini juga mempertimbangkan aspek kebisingan, isolasi termal, dan keamanan terkait dengan saluran udara. Dalam rancangan sistem saluran udara, perhitungan teknis seperti perhitungan kecepatan aliran udara, tekanan statik, pergeseran tekanan, serta perhitungan kebocoran dan tekanan kembali juga diperhatikan untuk memastikan kinerja yang optimal.

2.10 Filter Air Handling Unit

Filter yang digunakan untuk AHU (*Air Handling Unit*) adalah filter udara. Filter udara berfungsi untuk membersihkan udara dari partikel-partikel debu, polutan, dan kotoran lainnya sebelum udara didistribusikan ke ruangan. Filter yang digunakan dalam AHU harus memiliki kemampuan menangkap partikel-partikel kecil agar dapat menjaga kualitas udara yang baik. Berikut ini adalah beberapa jenis filter yang umum digunakan untuk AHU:

- a) Filter Partikel Kasar (*Pre-filter*): Filter ini merupakan filter pertama yang melewati udara sebelum masuk ke dalam AHU. Filter partikel kasar dapat menyaring udara hingga 30%, *Pre-filter* digunakan untuk menangkap partikel-partikel besar seperti debu kasar, serpihan, dan serbuk.
- b) Filter Partikel Halus (*Medium Filter*): Filter ini bertujuan untuk menangkap partikel-partikel halus seperti debu, serbuk, dan polutan lainnya yang lebih kecil dari filter partikel kasar. Medium filter ini dapat menyaring hingga 95% udara yang dapat membantu meningkatkan kualitas udara dengan menyaring partikel yang lebih kecil.
- c) Filter HEPA (*High-Efficiency Particulate Air*): Filter HEPA memiliki kemampuan penyaringan hingga 99.99% partikel udara. Filter ini mampu menyaring partikel-partikel sangat kecil, termasuk bakteri, virus, spora jamur. Filter HEPA umumnya digunakan di AHU yang memerlukan kebersihan udara yang tinggi, seperti di rumah sakit, laboratorium, atau industri farmasi.
- d) Filter Aktif Karbon: Filter ini digunakan untuk menghilangkan bau, gas beracun, dan zat kimia yang terlarut dalam udara. Filter aktif karbon efektif dalam menyerap bau dari udara dan mengurangi kontaminan gas tertentu.

2.11 Psychrometric

Psychrometric adalah ilmu yang mempelajari campuran udara dan cara mengendalikannya. Fokus utama psychrometric ini adalah pada campuran udara kering dan uap air. Dalam *psychrometric*, dikaji pula *specific heat* udara kering dan volumenya. Selain itu, juga dibahas mengenai panas air, penguapan atau kondensasi cairan, serta panas spesifik uap yang terkait dengan penggabungan kelembaban dengan udara kering. Saat ini, telah dikembangkan tabel dan grafik yang menampilkan tekanan, suhu, entalpi, dan volume udara beserta kandungan uapnya. (Fikri, 2016)

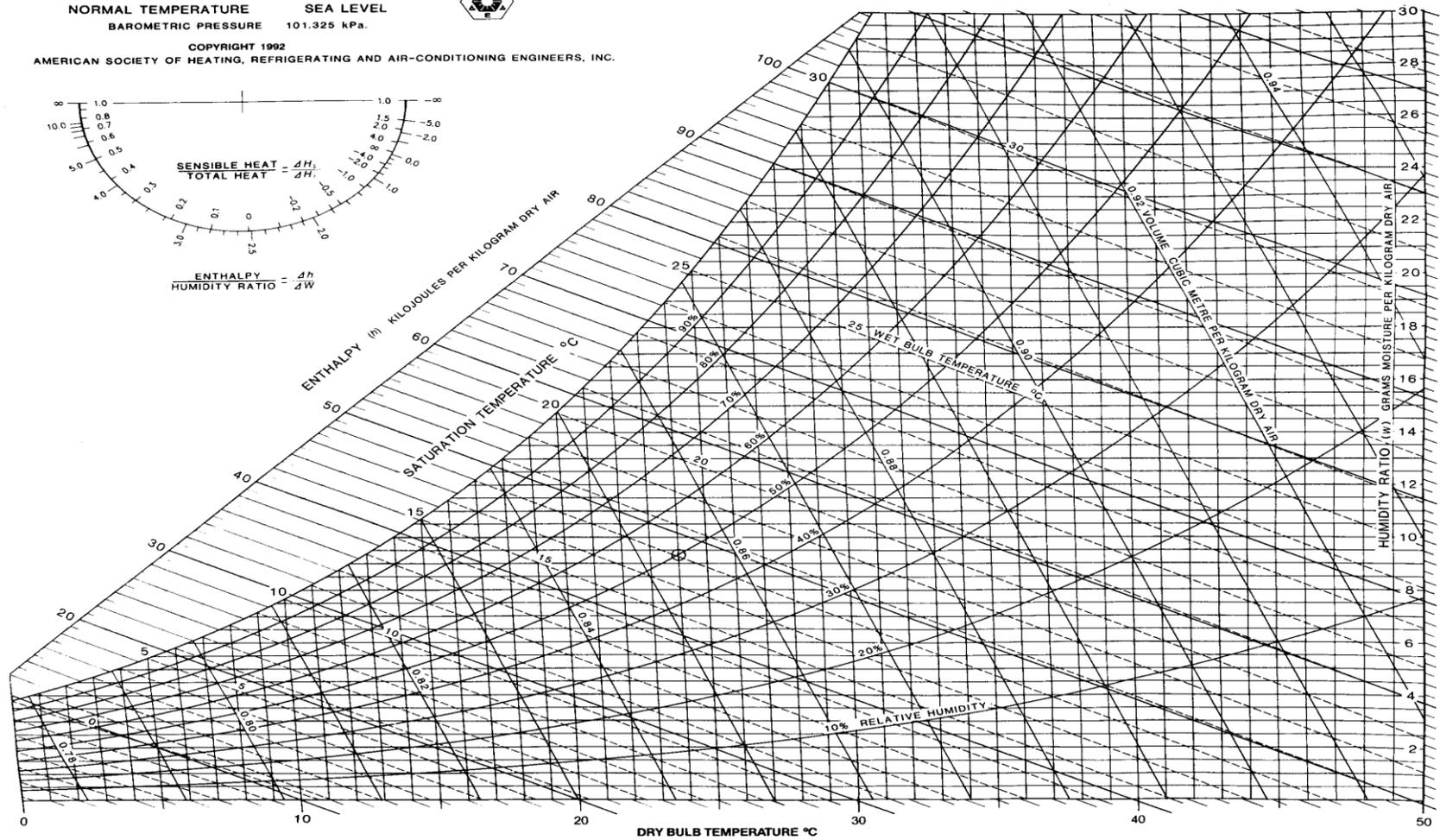
2.11.1 Psychrometric chart

Psychrometric chart adalah alat grafis yang memvisualisasikan hubungan antara berbagai parameter termal udara pada satu titik tertentu. Psychrometric chart sangat perlu dipelajari secara mendalam, karena dari bagan ini dapat menunjukkan udara dalam berbagai pendingin udara kondisi dan dapat digunakan untuk menentukan hasil dari pencampuran udara dari berbagai pendingin udara properti.

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1
 NORMAL TEMPERATURE SEA LEVEL
 BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa.



COPYRIGHT 1992
 AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



Gambar 2.11 Psychrometric Chart

Sumber : ASHRAE. (1980). *Fundamental handbook of air conditioning*, p. 104