

2. TEORI DASAR

Sebelum kita melangkah lebih jauh dalam mempelajari beban pendingin di suatu ruangan, ada baiknya kita mempelajari dasar – dasar serta teori dari suatu sistem penyejukan udara.

Penyejukan udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan yang dipersyaratkan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Selain itu juga untuk mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Sistem penyejukan udara pada umumnya dibagi menjadi 2 golongan utama yaitu :

1. Penyejukan udara untuk kenyamanan

Menyejukan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan kerja bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu.

2. Penyejukan udara untuk industri

Menyejukan udara dari ruangan karena diperlukan proses, bahan, peralatan, atau barang yang ada di dalamnya.

Sistem penyejukan udara untuk industri dirancang untuk memperoleh temperatur, kelembaban, serta distribusi udara sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh proses serta peralatan yang dipergunakan didalam ruangan yang bersangkutan.

2.1 Dasar – dasar sistem penyejukan udara

Sasaran dari penyejukan udara adalah supaya temperatur, kelembaban, kebersihan, dan distribusi udara dalam ruangan dapat dipertahankan pada tingkat keadaan yang diinginkan. Untuk mencapai hal tersebut, dapat dirancang dan digunakan beberapa macam sistem pendinginan, pemanasan, dan ventilasi yang sesuai.

Berikut beberapa faktor pertimbangan dalam pemilihan sistem penyegaran udara, meliputi :

2.1.1 Faktor kenyamanan

Kenyamanan dalam ruangan pada umumnya ditentukan oleh beberapa parameter dibawah ini :

- Temperatur bola kering dan temperatur bola kering dari udara dari udara.
- Temperatur radiasi.
- Aliran udara.
- Kebersihan udara.
- Bau.
- Kualitas ventilasi.
- Tingkat kebisingan.

Tetapi parameter tersebut diatas tergantung dari kondisi kerja, jenis kelamin, suku bangsa, dan sebagainya. Tingkat keadaan tersebut dapat diatur dengan sistem pengaturan yang ada pada mesin penyegar udara. Namun perlu diperhatikan, bahwa perbedaan atau kecepatan perubahan temperatur yang terjadi, besar pengaruhnya terhadap kenyamanan bagi orang yang ada di dalam ruangan tersebut.

2.1.2 Faktor ekonomi

Dalam proses pemasangan, operasi, dan perawatan, serta sistem pengaturan yang akan dipergunakan, haruslah diperhitungkan pula segi – segi ekonominya. Oleh karena itu dalam perencanaan dan perancangan sistem penyegaran udara haruslah dipertimbangkan faktor ekonomi tersebut dibawah ini :

- Biaya awal.
- Biaya operasi dan perawatan.

2.1.3 Beberapa faktor operasi dan perawatan

Tentu saja sistem penyegaran udara yang paling disukai adalah sistem yang mudah dipahami kontruksi, susunan, dan cara menjalankannya. Beberapa faktor pertimbangan operasi dan perawatan meliputi :

- Kontruksi sederhana.
- Tahan lama.
- Mudah direparasi jika terjadi kerusakan.
- Mudah dicapainya.
- Mudah perawatannya.
- Dapat melayani perubahan kondisi operasi.
- Efisiensi tinggi.

2.2 Penggolongan sistem penyegaran udara

Untuk menjamin pengaturan penyegaran udara ruangan yang teliti, maka sesuai dengan kemajuan teknik penegaran udara yang telah dicapai sampai pada saat ini, dapat dikembangkan beberapa sistem. Hal tersebut terutama menyangkut perkembangan elemen pendinginnya.

Pada saat ini banyak dipakai sistem penyegaran udara tersebut dibawah ini :

1. Sistem udara penuh.
 - Saluran tunggal.
 - Saluran ganda.
2. Sistem air- udara.
 - Pipa.
 - Unit.
 - Panel-udara.
3. Sistem air penuh.
 - Unit kipas udara.
4. Sistem penyegar udara tunggal.
 - Penyegar udara jenis paket.
 - Penyegar udara ruangan.

2.3 Sistem udara penuh

2.3.1 Sistem saluran tunggal

Sistem ini merupakan sistem penyegaran udara yang paling banyak digunakan.

Keuntungan dari sistem ini adalah :

- Sederhana, mudah perancangannya, pemasangan, pemakaian, dan perawatannya
- Biaya awalnya relatif murah.

Kerugian dari sistem ini adalah :

- Kesulitan pengaturan temperatur dan kelembaban dari ruangan yang disegarkan, karena beban kalor dari setiap ruangan tersebut mungkin berbeda satu sama lain.
- Saluran utama berukuran besar sehingga memakan tempat.

Pada dasarnya sistem pengaturan untuk sistem saluran tunggal menyangkut pengaturan temperatur udara melalui bagian – bagian utama dari saluran. Dalam hal tersebut, laju aliran air dingin, laju aliran air panas atau uap ke koil udara, diatur sedemikian rupa sehingga temperatur udara dapat diubah. Sistem ini dinamakan sistem volume konstan variabel, yang sudah banyak dipergunakan dalam sistem penyegaran udara.

Dalam keadaan dimana beban kalor dari beberapa ruangan yang akan dilayani itu berbeda – beda, boleh dikatakan tidak mungkin mempertahankan udara ruangan pada suatu temperatur tertentu, kecuali bagi beberapa ruangan utama saja. Jadi masalah tersebut dapat dipecahkan dengan melayani ruangan dengan beban kalor yang sama oleh satu penyegar udara sentral. Untuk itu diperlukan perancangan penyegaran udara dengan menggunakan sistem pembagian daerah atau *zoning*.

Ada bermacam – macam zoning yang ada, misalnya berdasarkan waktu, jenis penggunaannya, tingkat lantai, dan sebagainya. Dalam hal zoning berdasarkan tingkat lantai, bangunan bertingkat harus diatur sedemikian rupa sehingga setiap lantai memiliki tingkat kalor yang berbeda dengan penyegar udara yang terpisah satu sama lain.

Pada sistem unit tingkat lantai, udara masuk kedalam alat penyegar melalui saluran udara yang sama; tetapi, udara ruangan dapat masuk kembali langsung ke dalam penyegar udara masing – masing, atau diolah terlebih dahulu

secara bersama – sama dan baru kemudian masuk kedalam penyegar udara masing – masing.

2.3.2 Sistem dua saluran

Dalam sistem ini, udara panas dan udara dingin dihasilkan secara terpisah oleh mesin penyegar udara dan disalurkan secara terpisah pula. Tetapi kemudian dicampur sedemikian rupa sehingga tercapai tingkat keadaan yang sesuai dengan beban kalor dari ruangan yang akan disegarkan. Sesudah itu disalurkan ke dalam ruangan yang bersangkutan. Sistem ini dinamakan sistem dua saluran. Sistem dua saluran ini dapat memberikan hasil pengaturan yang lebih teliti.

2.4 Sistem air udara

Untuk sistem air udara ini jumlah pemasukan udara ke dalam ruangan biasanya sama dengan jumlah udara luar untuk ventilasi atau jumlah udara yang dikeluarkan dari ruangan. Udara luar tersebut didinginkan dan dikeringkan, atau dipanaskan dan dilembabkan dan termasuk sebagian dari beban kalor ruangan. Udara tersebut dinamakan udara primer. Pada umumnya sebagian dari kalor sensibel dari ruangan diatasi oleh unit ruangan, sedangkan kalor laten diatasi oleh udara primer.

2.5 Sistem air penuh

Pada sistem ini, air dingin dialirkan melalui unit koil kipas udara untuk penyegaran udara.

Udara yang diperlukan untuk ventilasi dimasukkan sebagai infiltran melalui celah – celah pintu atau jendela, atau, udara luar yang terisap langsung melalui lubang masuk pada dinding, disebelah belakang unit koil kipas udara yang bersangkutan. Hal ini menyebabkan ventilasi tidak baik.

Kesulitan yang timbul dalam sistem ini dalam hal pengontrolan kelembaban, sehingga udara ruangan dapat menjadi terlampau lembab atau

terlampau kering. Kesulitan ventilasi dan pengaturan kelembaban akan menyebabkan jenis sistem ini tidak sesuai untuk melayani gedung yang besar.

2.6 Sistem penyegar udara tunggal

Sistem ini terdiri dari kipas udara, koil udara pendingin dan mesin refrigerasi yang berada didalam satu kotak, dengan terminal pipa air pendingin dan daya listrik di bagian luarnya. Dengan demikian kerja mesin hanya akan tergantung dari pemasukan air dan daya listrik.

Mesin refrigerasi yang ada didalamnya terdiri dari kondensor pendingin air dan kondensor pendingin udara yang terpisah dari unit penyegar udara tetapi dihubungkan dengan pipa refrigeran.

Unit penyegar udara tunggal biasanya hanya dipergunakan untuk keperluan pendingin saja. Tetapi, dengan menambahkan pemanas listrik ataupun koil air panas dan pelembab udara, maka sistem tersebut dapat pula dipergunakan untuk keperluan pemanasan ruangan. Selanjutnya, dengan merubah aliran refrigeran, mesin refrigerasi dapat bekerja sebagai pompa kalor sehingga dapat langsung dipakai untuk keperluan pemanasan.

Kapasitas dari penyegar udara tunggal berkisar antara kurang dari 1 ton refrigerasi sampai lebih dari 100 ton refrigerasi (TR)¹.

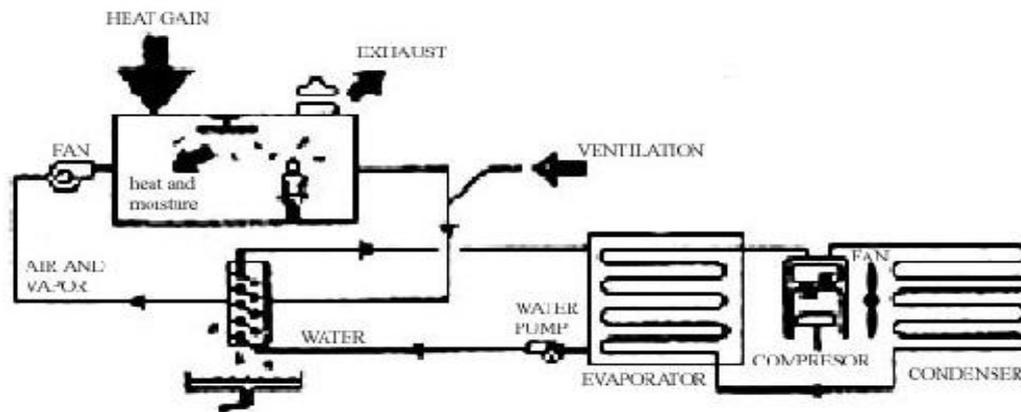
Ada tiga sistem penyegaran udara tunggal yakni :

1. Sebuah penyegar udara untuk setiap ruangan.
2. Beberapa penyegar udara untuk satu ruangan.
3. Sebuah penyegar udara melayani beberapa ruangan dengan menggunakan saluran udara/segar.

Dimana ton refrigerasi merupakan satuan yang biasa dipergunakan sebagai ukuran kapasitas mesin refrigerasi. Apabila 1 ton (= 1000 Kg) air pada 0°C didinginkan dalam sehari (= 24 jam) sehingga menjadi es pada 0°C, maka jumlah kalor yang harus dikeluarkan dinyatakan sama dengan 1 ton refrigerasi, atau sama dengan 3320 kcal/jam. Dalam sistem non metrik, 1 ton refrigerasi adalah ekuivalen dengan 3024 kcal/jam (dengan menyatakan 1 ton = 200 lb).

¹ Arismunandar, Wiranto dan Saito, Heizo. Penyegaran Udara. Jakarta, 1986. p 82

Satuan tersebut terakhir inilah yang kemudian dipakai dalam teknik pendinginan pada umumnya.



Gambar 2.6.1 Cara kerja *Air Cooled Water Chiller*

Cara kerja *Air Cooled Water Chiller* adalah sebagai berikut :

Kondenser didinginkan oleh air yang bersirkulasi dengan udara luar dan evaporator menghasilkan air dingin. Kemudian oleh pompa, air dingin tersebut disalurkan ke beberapa bagian dari bangunan. Dalam gambar, air dingin tersebut di pompa ke suatu pengatur udara atau air handling unit, dimana udara dingin tersebut menuju ke suatu ruangan yang akan didinginkan. Kemudian udara dingin yang telah bercampur dengan panas ruangan akan dibawa kembali ke air handling unit, dimana air yang telah bercampur dengan panas ruangan dibawa kembali ke evaporator untuk didinginkan lagi. Dan udara panas ruangan akan dibuang ke luar melalui kondenser.

2.7 Saluran udara

Pipa yang mengalirkan udara dari mesin penyejukan udara ke lubang keluar, dari lubang hisap ke mesin penyejukan udara, atau mengalirkan udara atmosfer masuk ke mesin penyejukan udara, dinamai saluran udara. Lubang keluar adalah lubang pada dinding, langit – langit, atau lantai, dimana udara segar masuk ke dalam ruangan. Sedangkan lubang dimana udara ruangan dihisap kembali masuk ke dalam mesin penyejukan atau dibuang ke atmosfer dinamakan lubang hisap.

Sistem saluran udara antara mesin penyegar udara dan lubang keluar atau lubang hisap, dibagi menjadi tiga golongan, yaitu :

1. Sistem saluran udara peti.

Sistem saluran udara ini menghubungkan mesin penyegar udara dan lubang keluar. Sistem ini sangat terkenal.

2. Sistem saluran udara tunggal.

Pada sistem ini, setiap lubang keluar dihubungkan dengan mesin penyegar udara oleh satu saluran. Dengan sistem ini pemasukan udara ke dalam ruangan, melalui setiap lubang keluar, dapat diatur dengan mudah.

3. Sistem saluran udara melingkar.

Sistem ini menggunakan sebuah saluran yang menghubungkan dua saluran utama. Sistem ini mampu mengkompensasikan ketidakseimbangan aliran udara melalui lubang hisap yang terdekat pada ujung saluran, atau apabila jumlah udara segar yang tersedia terlampau kecil.

Saluran udara harus dibuat sedemikian rupa sehingga :

- Tidak terjadi deformasi karena tekanan udara.
- Tidak terjadi bunyi bising dan getaran pada pipa.
- Tahanan aliran udara serendah – rendahnya.
- Tidak terjadi kebocoran udara.

Material yang banyak digunakan adalah lembaran baja tergalvanisasi, karena kuat, murah dan mudah dikerjakan. Untuk memperoleh konstruksi yang ringan dan tahan udara basah, sebaiknya digunakan aluminium.

Apabila saluran sebaiknya digunakan baja tahan karat (*stainless steel*), tembaga atau bahan sintetik, dan juga dari serat gelas (*fiberglass*). Sedangkan untuk keperluan penguat dan penggantung saluran dapat dipergunakan yang terbuat dari baja.

2.8 Beban Pendingin

Bagian dalam dari suatu bangunan selalu mendapatkan panas dari berbagai sumber. Jika temperatur dan faktor hunian dari ruangan – ruangan yang ada digunakan sebagai standart kenyamanan, sumber panas harus dihilangkan

untuk mengimbangi sumber panas ini. Jumlah keseluruhan dari sumber panas yang dihilangkan tersebut dinamakan beban pendingin.

Pada bagian ini kita akan memeriksa berbagai komponen dari sumber panas dan bagaimana sumber panas tersebut dihitung dan bagaimana beban pendingin didapatkan.

Beban pendingin harus didapatkan karena hal itu merupakan dasar dari pemilihan yang tepat dalam memilih ukuran peralatan pendingin, pipa – pipa dan peletakan sumber pendingin.

Hal tersebut juga digunakan untuk menganalisa jumlah energi yang digunakan beserta perawatannya.

Metode perhitungan beban pendingin yang akan digunakan disini berdasarkan pada rekomendasi *ASHRAE (1977 Fundamentals Handbook)*.

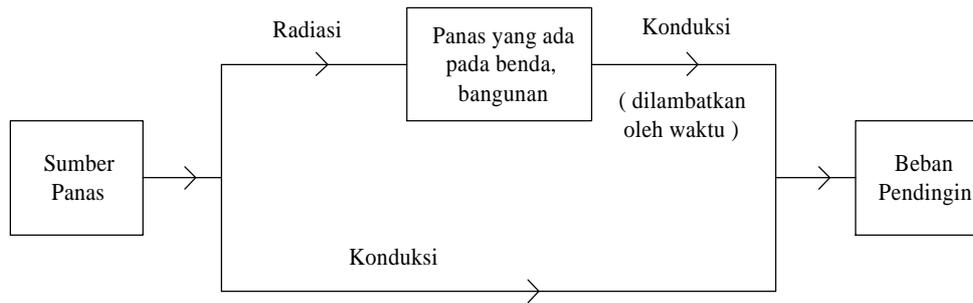
Hasil dari perhitungan ini dibuat atas dasar pertimbangan ketelitian perhitungan dari metode sebelumnya. Peningkatan ketelitian ini lebih mengacu pada pemilihan ukuran peralatan yang lebih kecil dan penggunaan energi yang lebih efisien. Banyak standart – standart baru suatu bangunan dan pedoman – pedoman dalam perhitungan yang akan digunakan.

Berbagai metode perhitungan akan dijelaskan, termasuk untuk gedung komersial dan gedung industri serta gedung untuk hunian.

2.8.1 Efek Penyimpanan Panas.

Perhitungan beban panas dalam suatu ruangan didapatkan dari banyaknya jumlah beban panas yang ada di ruangan.

Hubungan antara sumber – sumber panas yang ada dengan beban pendingin sangatlah kompleks. Hal ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.8.1.1² Efek panas yang timbul dari suatu bangunan, sumber panas, dan beban pendingin yang timbul

Besar *heat gain* didalam ruangan rata – rata didapat dari ruangan itu sendiri setiap waktunya. *Heat gain* ini terdiri dari berbagai komponen yang mana sumber – sumbernya berasal dari radiasi sinar matahari, cahaya, konduksi, manusia, barang atau benda, serta perembesan.

Semua panas yang diterima dari sumber – sumber tersebut biasanya tidak segera memberikan panas terhadap udara ruangan.

Beberapa sumber panas, terutama energi radiasi (dari matahari, cahaya, manusia) diserap oleh barang – barang yang ada di ruangan, termasuk bangunan dan perabotan – perabotan. Ini semua dinamakan efek *heat gain*. Panas diserap dan disimpan pada peralatan – peralatan yang ada di ruangan.

Sebagai akibatnya hasil bersih dari *heat gain* terhadap udara ruangan tersebut berasal dari sumber – sumber panas yang besarnya selalu dibawah dari hasil kotor *heat gain*.

Beban pendingin ruangan, panas rata – rata harus dipindahkan dari ruangan untuk menciptakan kondisi ruangan yang nyaman, adalah jumlah dari hasil bersih *heat gain* ini.

Perhitungan efek penyimpanan panas ini sangatlah penting karena hasil ini sebagai pertimbangan dalam mengurangi beban sesungguhnya. Efek penyimpanan panas ini juga sebagai pertimbangan atas waktu panas yang lambat. Maka dari itu, beberapa sumber panas yang diterima ruangan lama kelamaan akan memberikan efek pada udara ruangan.

² Pita, Edward G. Air Conditioning Principles And Systems : An Energy Approach. New York 1981. p 94

Pada akhirnya suhu benda – benda yang ada di ruangan tersebut perlahan – lahan meningkat, maka secara tidak langsung memberikan panas pada udara ruangan.

2.8.2 Heat Gain Pada Ruangan

Berbagai komponen – komponen yang memberikan *heat gain* pada ruangan adalah sebagai berikut :

1. Konduksi dari bagian luar dinding, atap, dan kaca.
2. Konduksi dari bagian dalam partisi, langit – langit, dan lantai.
3. Radiasi panas yang melalui kaca.
4. Pencahayaan.
5. Manusia.
6. Benda – benda sekitar.
7. Infiltrasi panas dari udara luar yang masuk.

Ada baiknya kita mengatur macam – macam *heat gain* tersebut kedalam 2 bagian, yakni sumber – sumber yang berasal dari luar ruangan dan yang dihasilkan dari dalam ruangan.

Dari penjelasan diatas dapat dilihat bahwa *heat gain* pada nomer 1 sampai nomer 3 termasuk *heat gain* dari luar ruangan, dan *heat gain* pada nomer 4 sampai nomer 6 termasuk *heat gain* dari dalam ruangan. Infiltrasi dapat dipertimbangkan sebagai bagian sendiri.

Hal diatas dapat diatur juga sesuai dengan kelebihan panas menjadi 2 bagian besar yakni kelebihan panas sensibel dan panas laten.

Kelebihan panas sensibel ditandai dengan peningkatan suhu udara ruangan dan kelebihan panas laten ditandai dengan peningkatan uap air, jadi kelembaban udara meningkat.

Kelebihan panas pada nomer 1 sampai 4 adalah satu – satunya kelebihan panas sensibel. Kelebihan panas nomer 5 dan 7 merupakan kelebihan panas yang sebagian sensibel dan sebagian laten. Sedangkan kelebihan panas nomer 6 tidak termasuk keduanya, kecuali untuk jenis – jenis tertentu.

2.8.3 Konduksi melalui bagian luar.

Konduksi kelebihan panas melalui bagian luar atap, dinding, dan kaca dapat dicari dari persamaan berikut³ :

$$Q = U \times A \times CLTD_C \quad (2.1)$$

Dimana :

Q = konduksi kelebihan panas ruangan yang melalui atap, dinding, atau kaca, BTU/hr

U = koefisien perpindahan panas secara keseluruhan untuk atap, dinding, dan kaca, BTU/hr-ft²-F.

A = luas dari atap, dinding, atau kaca, ft²

CLTD_C = perbedaan suhu beban pendingin, F

Semua komponen diatas dapat ditemukan dari perencanaan bangunan. Untuk nilai U dapat dilihat pada lampiran 1. Sedangkan CLTD adalah perbedaan temperatur yang mana nilainya didapat dari efek penyimpanan panas. Pada lampiran 1 dan 2 daftar nilai CLTD untuk beberapa macam jenis atap dan dinding. Nilai dari lampiran – lampiran tersebut berdasarkan kondisi dalam ruangan pada temperatur 78°F dan temperatur rata – rata luar ruangan 85°F, dengan warna gelap pada dinding dan atapnya.

Sedangkan untuk kondisi selain tersebut diatas, nilai CLTD harus sesuai dengan persamaan berikut⁴ :

$$CLTD_C = [(CLTD + LM) \times K + (78 - t_R) + (t_0 - 85)] \times f \quad (2.2)$$

Dimana :

CLTD_C = nilai koreksi dari CLTD, F

CLTD = temperatur dari lampiran 2, F

LM = koreksi garis lintang dan bulan dari lampiran 3

³ Ibid. p 96

⁴ Ibid

K = koreksi untuk warna atau permukaan

K = 1.0 untuk warna gelap atau daerah industri

K = 0.5 untuk atap dengan warna terang

K = 0.65 untuk dinding dengan warna terang

t_R = temperatur ruangan, F

t_0 = rata – rata temperatur luar ruangan, F

f = koreksi untuk langit – langit

f = 0.75 untuk loteng ; f = 1.0 untuk lainnya

Sedangkan untuk nilai CLTD dari kaca adalah sebagai berikut :

Tabel 2.8.3⁵ CLTD konduksi yang melalui kaca

| Hour | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|--------|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| CLTD,F | 0 | -2 | -2 | 0 | 4 | 9 | 13 | 14 | 12 | 8 | 4 | 2 |

Dan rumus yang digunakan untuk menghitung CLTD koreksi adalah sebagai berikut⁶ :

$$CLTD_C = CLTD \times K + (78 - t_R) + (t_0 - 85) \quad (2.3)$$

2.8.4 Konduksi yang melalui bagian dalam ruangan

Panas yang masuk dari bagian dalam ruangan yg tidak dikondisikan menuju kebagian yang dikondisikan melalui partisi, lantai, dan langit – langit dapat diperoleh dari persamaan berikut ini⁷ :

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

Dimana :

⁵ Ibid. p 101

⁶ Ibid. p 96

⁷ Ibid. p 101

Q = rata – rata perpindahan panas yang melalui partisi, lantai atau langit – langit, BTU/hr

U = koefisien perpindahan panas secara keseluruhan untuk partisi, lantai, atau langit – langit, BTU/hr-ft²-F

A = luas dari partisi, lantai, atau langit – langit, ft²

TD = perbedaan temperatur antara bagian tidak terkondisi dan terkondisi, F

Jika temperatur bagian yang tidak terkondisi tidak diketahui, biasanya diasumsikan 5°F dibawah temperatur luar ruangan. Apabila dalam ruangan yang kecil terdapat kamar mandi, hal itu dapat diabaikan.

2.8.5 Radiasi sinar matahari yang melalui kaca

Energi panas dari matahari dapat melalui bahan tembus cahaya seperti kaca dan dan menjadi *heat gain* di ruangan tersebut. Nilai dari energi panas tersebut tergantung dengan waktu, bayangan dan letaknya. Nilai tersebut didapatkan dari persamaan berikut⁸ :

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \quad (2.5)$$

Dimana :

Q = *heat gain* sinar matahari yang melalui kaca, BTU/hr

SGHF = faktor *heat gain* sinar matahari, BTU/hr-ft²

A = luas kaca, ft²

SC = koefisien bayangan

CLF = faktor beban pendingin untuk kaca

2.8.6 Kondisi ruangan

Perhitungan beban pendingin biasanya didasarkan pada kondisi didalam dan diluar ruangan terhadap temperatur dan kelembaban.

⁸ Ibid. p 102

- Dry Bulb Temperatur (DB)
Adalah suhu temperatur udara yang diukur dengan thermometer. Hal ini digunakan untuk menghitung temperatur bola kering.
- Wet Bulb Temperatur (WB)
Adalah suhu yang dihitung dari thermometer dengan dibungkus kain basah pada thermometernya.
- Humidity Ratio (W)
Adalah kelembaban yang spesifik. Satuan yang digunakan adalah lb/lb dry air atau grains/lb dry air.
- Relative Humidity (W)
Adalah rasio dari tekanan uap air sesungguhnya di udara terhadap tekanan uap air jika udara berada pada titik jenuh temperatur bola kering. Satuan yang digunakan dalam persen.
- Specific Volume (v)
Adalah jumlah udara per unit dalam satuan ft³/lb dry air.
- Specific Enthalpy (h)
Adalah panas yang terdapat didalam udara, dengan satuan BTU/lb dry air.

2.8.7 Lampu

Persamaan heat gain dari lampu sebagai berikut⁹ :

$$Q = 3.4 \times W \times BF \times CLF \quad (2.6)$$

Dimana :

Q = heat gain dari lampu, BTU/hr

W = daya dari lampu, watts

BF = faktor balas

CLF = faktor beban pendingin untuk lampu

⁹ Ibid. p 108

Untuk kondisi nilai W, kapasitas rata – rata yang digunakan untuk tiap lampu digunakan satuan watts. Dalam kehidupan sehari - hari, hampir kebanyakan lampu selalu menyala. Sehingga nilai 3.4 watts dikonversikan ke satuan BTU/hr. Nilai faktor BF untuk rugi panas dalam faktor balas tersebut didapat dari lampu neon atau hal yang lain. Nilai BF untuk lampu neon adalah 1.25, tetapi kadang hal tersebut diabaikan. Untuk lampu pijar tidak ada rugi panas, sehingga BF yang digunakan 1.0.

Sedangkan untuk nilai CLF kebanyakan bernilai 1.

2.8.8 Manusia

Heat gain dari manusia terbagi menjadi 2 bagian yakni panas sensibel dan laten berupa keringat. Beberapa panas sensibel biasanya disebabkan oleh efek dari sumber panas, tetapi tidak demikian halnya dengan panas laten.

Berikut persamaan untuk panas sensibel dan laten pada manusia¹⁰ :

$$Q_S = q_S \times n \times CLF \quad (2.7)$$

$$Q_L = q_L \times n \quad (2.8)$$

Dimana :

Q_S, Q_L = *heat gain* sensibel dan laten

q_S, q_L = *heat gain* sensibel dan laten tiap manusia

n = banyaknya manusia

CLF = faktor beban pendingin dari manusia

Rata – rata *heat gain* dari manusia tergantung pada kegiatan aktifitas mereka sepanjang hari. Dari lampiran 7 terdapat nilai untuk bermacam – macam aktifitas. Temperatur rata – rata ruangan yang nyaman sekitar 78 F DB. Nilai tersebut perubahannya sangat sedikit untuk temperatur lainnya.

Efek sumber panas dari faktor CLF memberi *heat gain* yang sensibel bagi manusia. Jika sistem kondisi udara menurun pada waktu malam, dimana tidak ada

¹⁰ Ibid. p 111

sumber panas yang masuk, maka nilai CLF = 1.0. Pada lampiran 8 terdapat nilai CLF untuk manusia.

2.8.9 Peralatan

Heat gain dari peralatan yang ada di suatu ruangan dapat diperoleh dari *nameplate* yang tertera pada peralatan tersebut. Beberapa peralatan menghasilkan panas sensibel dan laten. Persamaan yang digunakan hampir sama pada bagian perhitungan panas pada lampu.

Beberapa nilai dari dapat dilihat dari lampiran 11.

2.8.10 Infiltrasi dan ventilasi

Infiltrasi adalah udara diluar ruangan yang masuk ruangan melalui celah – celah sekitar jendela atau pintu antara kerangka dan bagian yang berfungsi sebagai sebagai jendela atau pintu. Sedangkan ventilasi adalah udara diluar ruangan yang dimasukkan dengan sengaja kedalam bangunan melalui pengatur udara untuk mengatur sifat udara.

Pengaruh dari udara luar ruangan yang tidak menghasilkan panas biasanya nilainya berada di bawah temperatur ruangan, oleh karena itu sumber panas yang ada harus dapat menghangatkan temperatur ruangan. Panas yang diberikan dapat dilihat pada persamaan berikut¹¹ :

$$Q_s = 1.1 \times \text{CFM} \times \text{TC} \quad (2.9)$$

Dimana :

Q_s = panas sensibel untuk infiltrasi atau ventilasi udara, BTU/hr

CFM = rata – rata infiltrasi dan ventilasi udara, ft³/min

TC = perubahan temperatur antara udara didalam dan diluar ruangan, F

¹¹ Ibid. p 119

Jika kelembaban udara dipertahankan pada level yang diinginkan, maka sebuah alat pelembab udara harus menyediakan kelembaban udara yang dibutuhkan.

Hal tersebut diatas menimbulkan panas laten yakni ditandai dengan adanya penguapan air. Panas ini merupakan bagian dari rugi panas bangunan.

Selisih panas laten antara kondisi kelembaban dalam ruangan yang diinginkan dengan kelembaban udara infiltrasi luar ruangan diperoleh dari persamaan berikut¹² :

$$QL = 0.68 \times CFM \times (W'_i - W'_o) \quad (2.10)$$

Dimana :

QL = panas laten untuk infiltrasi atau ventilasi udara, BTU/hr

CFM = rata – rata infiltrasi atau ventilasi udara, ft³/min

W'_i, W'_o = rasio kelembaban tinggi (dalam ruangan) dan rendah (luar ruangan) dalam *grains water/lb dry air* (gr w/lb d.a.)

Ratio kelembaban adalah suatu ukuran dari jumlah uap air di udara. Koefisien 1.1 dan 0.68 adalah hasil dari konversi unit tersebut. *Grain* adalah satuan berat unit tersebut (7000 gr = 1 lb)

Infiltrasi udara disebabkan oleh tekanan angin dari luar ruangan ke udara dengan melalui celah yang terbuka. Kebocoran udara tersebut tergantung pada kecepatan angin.

Nilai CFM dapat dilihat pada lampiran 9.

2.8.11 Perpindahan panas ke sekitar (sekeliling)

Beberapa dari *heat gain* sensibel di suatu ruangan dipindahkan melalui struktur sekitarnya dan tidak pernah tampak sebagai bagian dari beban ruangan. Hal ini adalah efek lain yang timbul dari sumber panas.

¹² Ibid.

Rugi panas tersebut seharusnya dihitung dan dikoreksi sebagai *heat gain* ruangan yang berasal dari konduksi, radiasi sinar matahari, lampu, manusia, dan *heat gain* dari peralatan.

Untuk menghitung perpindahan panas ke sekitar digunakan persamaan berikut¹³ :

$$F_C = 1 - 0.02K \quad (2.11)$$

$$K = (U_w A_w + U_g A_g) / L \quad (2.12)$$

Dimana :

F_C = perpindahan panas dari heat gain sensibel ruangan

K = konduksi keliling unit, BTU/hr-ft-F

L = keliling dinding, ft

U_w, U_g = koefisien perpindahan panas, w = dinding, g = kaca, BTU/hr-ft²-F

A_w, A_g = luas dari dinding, kaca, ft²

2.8.12 Beban pendingin ruangan.

Beban pendingin ruangan adalah rata – rata dari panas yang harus dihilangkan dari ruang, dan jumlah bersih dari seluruh *heat gain* ruangan yang sudah dikoreksi.

Kita akan menggunakan singkatan – singkatan RSHG, RLHG, dan RTHG untuk koreksi sensibel, laten, dan total *heat gain* ruangan, RTHG sama saja dengan beban pendingin ruangan.

Untuk memudahkan perhitungan beban pendingin yang ada, telah kita siapkan sebuah *form* khusus yang sangat berguna untuk mengisi data dan hasilnya. *Form* tersebut dapat dilihat pada lampiran 10.

2.8.13 Beban puncak pendinginan

Kita mempelajari bagaimana menghitung beban pendingin tapi tidak mempelajari bagaimana nilai maksimal dari beban pendingin tersebut. Karena

¹³ Ibid. p 115

sistem kondisi udara harus terukur untuk mencapai periode puncak, kita harus tahu bagaimana mendapatkan itu.

Komponen – komponen *heat gain* dari luar ruangan selalu berubah dalam intensitas waktu harian dan waktu tahun karena perubahan radiasi sinar matahari yang mana bergantung pada orientasi perubahan letak matahari. Hal ini berpengaruh juga dalam total *heat gain* ruangan.

Kadang – kadang, segera terlihat jelas dengan memeriksa tabel dimana waktu beban puncak terjadi, tetapi sering kali perhitungan diharuskan sedikit berbeda waktunya.

2.8.14 Beban puncak bangunan

Nilai dari beban puncak ruangan digunakan untuk menata rata – rata pendingin ruangan. Jika *heat gain* maksimum di tiap ruangan bertambah, bagaimanapun jumlah keseluruhan harus lebih besar dari beban puncak pendingin yang dibutuhkan untuk seluruh gedung, karena hal itu tidak terjadi pada waktu yang sama.

Oleh karena itu, perancang juga harus membandingkan waktu tahunan dan waktu harian dimana beban puncak pendingin gedung terjadi, kemudian menghitungnya.

2.8.15 Beban pendingin

Setelah *heat gain* puncak dari sensibel dan laten bangunan dibandingkan, langkah berikutnya adalah mencari beban pendingin. Hal tersebut adalah beban pada peralatan pendingin. Beban pendingin akan lebih besar daripada beban bangunan karena ada *heat gain* pada sistem kondisi udara di luar ruangan yang dikondisikan, seperti :

1. Ventilasi (diluar udara).
2. Heat gain dari pipa atau saluran.
3. Panas dihasilkan dari sistem kondisi udara, yakni kipas dan pompa.
4. Kebocoran udara dari pipa atau saluran.

2.9 Circuit Breaker

Fungsi dari komponen ini adalah untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian pada saat berbeban atau tidak berbeban serta akan membuka dalam keadaan terjadi gangguan arus lebih atau arus hubung singkat.

Dengan demikian berbeda dengan saklar biasa, *circuit breaker* dapat berfungsi sebagai saklar pada kondisi normal ataupun tidak, serta dapat memutuskan arus lebih dan arus hubung singkat.

Circuit breaker dapat dipasang untuk dua tujuan dasar, yaitu :

1. Berfungsi selama kondisi pengoperasian normal, untuk menghubungkan maupun memutuskan rangkaian dalam keadaan berbeban dengan tujuan untuk pengoperasian dan perawatan dari rangkaian maupun bebannya.
2. Bekerja selama kondisi operasional yang tidak normal, misalnya jika terjadi hubung singkat ataupun arus lebih.

Adapun karakteristik untuk pemutus tegangan adalah arus nominal (A), kapasitas pemutus (KA), jumlah kutub, tegangan isolasi, tegangan operasi, tegangan impuls (KV) yang dapat ditahan unit trip, alat bantu dan kelengkapan.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan pemutus tegangan adalah karakteristik sistem tempat pemutus tenaga dipasang, kebutuhan akan kontinuitas dan aturan tentang sistem proteksi.

Untuk menentukan rating *circuit breaker* (CB) digunakan persamaan :

- Untuk beban tiga fasa :

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos \phi} \quad (2.13)$$

- Untuk beban satu fasa :

$$I_n = \frac{P}{V_p \times \cos \phi} \quad (2.14)$$

Dimana :

I_n = arus nominal (Ampere)

P = daya beban (Watt)

V_L = tegangan line to line untuk tiga fasa (Volt)

V_P = tegangan line to netral untuk satu fasa (Volt)

$\cos \phi$ = faktor daya

Jenis *circuit breaker* yang digunakan untuk pada sistem pendingin, yaitu :

2.9.1. Miniature Circuit Breaker (MCB)

Miniature circuit breaker adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus nominal maupun arus gangguan. MCB merupakan kombinasi fungsi *fuse* dan fungsi pemutus arus.

Adapun sifat dari MCB antara lain :

- Mempunyai pengaman terhadap arus lebih.
- Untuk menggantikan *fuse*.
- Kemampuan memutus arus *short circuit* tidak lebih dari 5 KA.

2.9.1.1 Moulded Case Circuit Breaker (MCCB)

Moulded case circuit breaker adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCCB juga mempunyai kombinasi fungsi *fuse* dan fungsi pemutus arus.

Sifat – sifat dari MCCB antara lain :

- Arus nominal (I_{nom}) sampai 3 KA.
- Memiliki pengaman thermis yang dapat diset $0,8 - 1,15 \times I_{nom}$.
- Memiliki pengaman terhadap *short circuit* 9 KA, 20 KA, 30 KA, 40 KA.

2.9.1.2 Air Circuit Breaker (ACB)

Air circuit breaker adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan hampir sama dengan MCCB tetapi medianya menggunakan udara.

2.10 Kabel

Kabel merupakan salah satu sarana penting dalam instalasi listrik karena kabel akan menghantarkan arus ke beban – beban yang terpasang. Oleh karena itu perlu diketahui secara pasti berapa besar beban yang terpasang agar kapasitas kabel memadai.

Yang perlu diperhatikan dalam pemilihan kabel adalah sebagai berikut :

1. Elektrical

Meliputi ukuran konduktor, tipe dan tebal isolasi, bahan yang tepat untuk desain tegangan menengah dan rendah, mempertimbangkan kekuatan listrik, tahanan isolasi, konstanta dielektrik dan faktor daya.

2. Suhu (thermal)

Menyesuaikan dengan suhu lingkungan dan kondisi kelebihan beban, pengembangan dan tahanan thermal.

3. Mechanical

Meliputi kekerasan dan fleksibilitas, mempertimbangkan ketahanan terhadap kehancuran, abrasi dan kelembaban.

4. Kimiawi

Stabilitas dari bahan terhadap oli, api, ozon, cahaya matahari, dan bahan kimia.

Berikut adalah macam – macam kabel, yaitu :

1. Kabel NYFGbY

Kabel jenis ini biasanya digunakan untuk sirkuit power distribusi, baik pada lokasi kering ataupun basah atau lembab. Dengan adanya pelindung kawat dan pita baja yang digalvanisasi, kabel ini memungkinkan ditanam langsung dalam tanah tanpa pelindung tambahan. Isolasi dibuat tanpa warna dan tiga urat dibedakan dengan non strip, strip 1, dan strip 2. Kabel ini mempunyai selubung PVC warna merah dengan penampang luar mencapai 57 mm.

2. Kabel NYY

Kabel ini dirancang untuk instalasi tetap dalam tanah yang harus diberikan pelindung khusus (misalnya : duct, pipa baja PVC atau besi baja). Instalasi ini bisa ditempatkan diluar atau didalam bangunan baik pada kondisi

basah ataupun kering. Kabel jenis ini mempunyai selubung PVC hitam, terdiri dari 1 – 4 urat dengan penampang luar mencapai 56 mm.

3. Kabel NYM

Kabel ini hanya direkomendasikan khusus untuk instalasi tetap di dalam bangunan yang penempatannya didalam atau diluar plester tembok ataupun dalam pipa pada ruangan kering atau lembab. Kabel ini tidak diijinkan untuk dipasang diluar rumah yang langsung terkena panas dan hujan ataupun ditanam langsung dalam tanah.

4. Kabel NYA

Kabel jenis ini dirancang dan direkomendasikan untuk digunakan pada instalasi tetap dalam kotak distribusi atau rangkaian pada panel. Pemasangan kabel ini hanya diperbolehkan untuk tempat yang kering dan tidak direkomendasikan bila dipasang di tempat yang basah atau langsung terkena cuaca.

5. Kabel NYAF

Kabel jenis ini fleksibel dan dirancang untuk instalasi didalam pipa, duct atau didalam kotak distribusi. Karena sifatnya yang fleksibel, kabel ini sangat cocok untuk tempat yang mempunyai belokan yang tajam. Kabel dengan ukuran kurang dari 1.5 mm² hanya diperbolehkan digunakan didalam peralatan ataupun papan pengontrol dan tidak diperbolehkan dipasang untuk instalasi tetap.

6. Hantaran tembaga telanjang (BBC)

Untuk saluran distribusi udara yang direntangkan diantara tiang – tiang dan isolator – isolator yang khusus dirancang untuk itu. Disamping itu juga bisa digunakan untuk hantaran pentanahan (grounding).

7. Twisted cable saluran rumah (service entrance)

Kabel jenis ini khusus digunakan untuk saluran dari jaringan distribusi ke konsumen. Dengan adanya bahan penghantar dari tembaga jenis setengah keras atau keras, maka kabel ini memungkinkan dapat digantung antar tiang tanpa penunjang khusus. Zat karbon hitam yang terdapat pada isolasi sangat memungkinkan ketahanannya terhadap cuaca tropis.

8. Twisted cable jaringan distribusi tegangan rendah (JTR)

Kabel jenis ini khusus digunakan untuk jaringan distribusi tegangan rendah yang jauh lebih praktis dari pada hantaran telanjang. Dengan adanya penunjang yang sekaligus sebagai netral, kabel ini memungkinkan untuk ditegangkan. Sesuai kebutuhan kabel ini bisa dilengkapi dengan saluran penerangan jalan yang biasanya terdiri dari dua urat 16 mm² aluminium.

9. Kabel N2XSY

Kabel jenis ini sering digunakan untuk jaringan distribusi tegangan menengah. Dengan konduktor yang terbuat dari tembaga.

Arti huruf – huruf kode yang digunakan :

N : Kabel jenis standar dengan penghantar tembaga.

Na : Kabel jenis standar dengan penghantar aluminium.

Y : Isolasi atau selubung PVC.

F : Perisai kawat baja pipih.

R : Perisai kawat baja bulat.

Gb : Spiral pita baja.

Re : Penghantar padat bulat.

Rm : Penghantar bulat kawat banyak.

Se : Penghantar padat bentuk sektor.

Sm : Penghantar kawat banyak bentuk sektor.

2.11 Diversity factors

Diversity dari beban pendingin, mungkin tidak menjadi bagian dalam beban pendingin dalam satu hari. Dimana *diversity factors* ini digunakan untuk kapasitas pendingin yang menggunakan sistem pendingin udara. Banyak faktor yang mempengaruhi hal ini seperti letak, jenis dan ukuran dari aplikasinya, dan juga berdasarkan dari keputusan pembuatnya.

Pada dasarnya *diversity factors* digunakan pada manusia dan beban lampu dalam kantor – kantor yang besar, hotel maupun apartemen. Kemungkinan semua penghuni berada dalam suatu gedung dan semua lampu menyala dalam waktu yang bersamaan sangatlah kecil. Biasanya, dalam gedung perkantoran yang

besar, beberapa orang akan keluar dari ruangan kantor untuk melakukan pekerjaan lain. Demikian halnya dengan penggunaan lampu.

Hotel dan apartemen juga memiliki konsep yang sama. Biasanya, jarang sekali orang berada dalam suatu ruangan di siang hari dan lampu – lampu biasanya hanya menyala setelah matahari terbenam.

Oleh karena itu, pada apartemen dan hotel, nilai dari *diversity factors* lebih besar dari gedung perkantoran.

Berikut tabel *diversity factors* dari berbagai gedung :

Tabel 2.11.1 Typical Diversity Factors For Large Building

| Type Of Application | Diversity Factor | |
|---------------------|------------------|--------------|
| | People | Lights |
| Office | 0,75 to 0,90 | 0,70 to 0,85 |
| Apartement, Hotel | 0,40 to 0,60 | 0,30 to 0,50 |
| Departement Store | 0,80 to 0,90 | 0,90 to 1,0 |
| Industrial | 0,85 to 0,95 | 0,80 to 0,90 |

Sumber : Hill, Mc. Graw. Carrier Air Conditioning Company, Handbook Of Air Conditioning System Design. United State Of America, 1965.

2.12 Coefficient of Performance (COP) dan Energy Efficiency Ratio (EER)

Coefficient of Performance (COP) digunakan hanya untuk mengukur dan membandingkan antara hasil beban pendingin yang ada dengan kapasitas daya listrik dari mesin pendingin. Nilai COP yang baik antara 4 sampai 8.

Sedangkan ukuran yang hampir sama dengan COP adalah *Energy Efficiency Ratio* (EER) yakni perbandingan antara kapasitas unit pendingin dengan kapasitas daya listrik dari mesin pendingin. Nilai EER sebaiknya minimal 10

Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung COP dan EER¹⁴ :

$$COP = EER \times 0,293$$

$$EER = \frac{\text{kapasitas pendingin}}{\text{daya listrik pendingin}}$$

¹⁴ Althouse, Turnquist, and Bracciano. Modern Refrigeration and Air Conditioning. p 609, p 792