

PENENTUAN BEBAN PENDINGINAN AC UNTUK MEMILIH SISTEM PENDINGINAN YANG HEMAT ENERGI PADA RUANGAN IBADAH GEDUNG GEREJA KGMPI GETSEMANI KELURAHAN BAHU KOTA MANADO

Benny L. Maluegha, Hengky Luntungan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Penentuan beban pendinginan merupakan dasar dari perencanaan sistem pengkondisian udara dari suatu bangunan. Karena dari hasil penentuan tersebut dapat diperkirakan kapasitas dari perangkat mesin AC yang dapat dipergunakan.

Pada gedung gereja KGMPI Getsemani Bahu terdapat ruang ibadah yang saat ini menggunakan AC. Tujuan penulisan artikel ini adalah untuk menentukan beban pendinginan yang ada di ruang ibadah tersebut, mengingat performa dari unit-unit AC yang digunakan sekarang sudah tidak maksimal lagi karena sudah cukup lama digunakan. Sehingga hasil perhitungan ini dapat digunakan pihak gereja untuk memilih unit AC yang tepat yang akan digunakan nantinya.

Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan pengamatan terhadap ruangan-ruangan tersebut untuk mengambil data yang diperlukan, seperti data tentang luas ruangan, volume ruangan, luas kaca, luas dinding, tebal dinding, peralatan listrik, jumlah orang dan lain-lain.

Dengan menggunakan berbagai tabel dan rumus untuk menentukan dan menghitung berbagai jenis beban pendinginan ruangan, maka dapat diketahui beban pendinginan dari ruangan ibadah gereja KGMPI Getsemani Bahu, yang jumlahnya sebesar 30.370 kkal/jam, yang terdiri dari 19.931,922 kkal/jam beban kalor sensibel, dan 10.438,220 kkal/jam beban kalor laten.

Kata Kunci: beban pendinginan, beban kalor sensibel, beban kalor laten, KGMPI Getsemani Bahu

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, seiring dengan kemajuan teknologi, meningkatnya taraf hidup dan terjadinya pemanasan global, pemanfaatan *air conditioner* (AC) pada bangunan-bangunan menjadi suatu kebutuhan pokok. AC memberikan kenyamanan bagi penghuni bangunan, yang membuat suasana dalam ruangan jauh lebih baik sehingga menunjang kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan tersebut.

Pada ruangan ibadah gedung gereja KGMPI Getsemani Bahu, telah ada enam unit AC untuk memberikan kenyamanan saat dilaksanakannya kegiatan ibadah atau kegiatan-kegiatan lainnya. Namun, saat ini kinerja AC tersebut sudah menurun sehingga tidak lagi bisa menghasilkan temperatur dan kelembaban yang nyaman. AC yang digunakan itu juga masih merupakan AC dengan teknologi lama yang konsumsi listriknya tinggi.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penentuan beban pendinginan di ruangan ibadah tersebut yang disesuaikan dengan kondisi terkini. Dengan mengetahui besarnya beban pendinginan, dapat dipilih unit AC yang tepat dengan kebutuhan ruangan ibadah tersebut, dengan teknologi baru yang lebih hemat listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penulisan artikel ilmiah ini adalah bagaimana menentukan beban pendinginan AC untuk memilih sistem pendinginan hemat energi pada ruangan ibadah gedung gereja KGMPI Getsemani Kelurahan Bahu Kota Manado.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan dalam artikel ilmiah ini adalah beban pendinginan yang ditentukan akan digunakan untuk AC *split*.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan artikel ilmiah ini adalah menentukan beban pendinginan AC untuk ruangan ibadah gedung gereja KGMPI Getsemani Bahu, Manado.

1.5 Manfaat Penulisan

Hasil penentuan beban pendinginan ini dapat dimanfaatkan oleh pihak gereja dalam melakukan pengadaan unit-unit AC yang baru pada ruangan ibadahnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara secara umum didefinisikan sebagai proses untuk menyediakan dan

mempertahankan keadaan udara yang diinginkan di dalam suatu ruangan terhadap kondisi udara di luar ruangan yang tidak diinginkan. Dengan demikian berarti pengkondisian udara tidak hanya meliputi proses pendinginan saja, tetapi merupakan proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu (pemanasan atau pendinginan), kelembaban (pengeringan atau pelembaban), kebersihan, kecepatan, dan pendistribusiannya secara simultan, untuk mencapai kondisi yang dibutuhkan dalam suatu ruangan.

Tujuan umum dari diadakannya sistem pengkondisian udara pada bangunan dapat dibagi menjadi dua golongan utama, yaitu :

1. Pengkondisian udara untuk kenyamanan (*comfort air conditioning*), yaitu pengkondisian udara dari ruangan untuk memberikan tingkat kenyamanan termal yang memadai bagi penghuninya, contohnya adalah pengkondisian udara untuk rumah tinggal, hotel, bioskop, mobil, dan sebagainya.
2. Pengkondisian udara untuk industri (*industrial air conditioning*), yaitu pengkondisian udara dari ruangan untuk menjaga kondisi-kondisi yang dibutuhkan oleh proses, bahan, peralatan, barang serta produk yang ada di dalamnya. Penggunaan sistem pengkondisian udara ini misalnya dalam proses pembuatan dan penunuan berbagai bahan tekstil, proses percetakan, produk fotografis, ruangan komputer, dan sebagainya.

Sekarang ini perangkat AC sering digunakan untuk kenyamanan. Tingkat kenyamanan penghuni dalam suatu ruangan sangat tergantung pada kondisi udara luar, dimana keadaan iklim di luar ruangan itu mempengaruhi temperatur udara, radiasi, gerakan udara serta kelembaban udara di dalam ruangan.

Untuk daerah-daerah yang sedang mengalami musim dingin, AC terutama digunakan untuk menghasilkan pemanasan. Kondisi udara yang diinginkan untuk kenyamanan saat musim dingin adalah pada suhu 18°C sampai 22°C [6], kelembaban udara relatif sekitar (40 s/d 60) % [6], dengan tingkat kebersihan udara yang tinggi. Tetapi untuk daerah khatulistiwa seperti Indonesia, penggunaan utama AC diperlukan untuk mengurangi temperatur lingkungan udara luar yang tinggi sehingga menghasilkan temperatur di dalam ruangan yang menunjang kegiatan dan kenyamanan penghuni ruangan. Dimana kondisi nyaman itu adalah pada suhu udara sekitar 22,5°C sampai 29,5°C [5], kelembaban udara relatif sekitar (20 s/d 50) % [5], kecepatan udara yang relatif lemah (tidak lebih dari 0,25 m/s) [9], dengan tingkat kebersihan udara yang tinggi. Kondisi nyaman ini merupakan batas-batas kondisi perancangan di dalam ruangan yang akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan perencanaan sistem pengkondisian udara.

2.2 Pengertian Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan merupakan perhitungan besarnya beban kalor, baik kehilangan maupun perolehan kalor, dari ruangan yang dikondisikan. Beban kalor ini merupakan beban kalor yang harus diatasi oleh perangkat AC, sehingga perhitungan ini berguna untuk memperkirakan kapasitas dari perangkat AC yang diperlukan. Karena itu perhitungan beban yang berkaitan dengan kondisi lingkungan harus ditinjau pada harga ekstrim yang biasa ditemui dan didasarkan pada kondisi-kondisi puncak.

Beban kalor dalam suatu ruangan dapat dikelompokkan menjadi beban kalor sensibel dan beban kalor laten. Total beban kalor yang harus diatasi oleh AC merupakan jumlah dari beban kalor sensibel dan beban kalor laten yang dialami oleh ruangan yang dikondisikan.

Beban kalor sensibel adalah beban kalor yang memberikan dampak temperatur, dan beban kalor laten merupakan beban kalor yang memberikan dampak kelembaban. Sebuah ruangan menerima beban kalor sensibel apabila ruangan tersebut mengalami penambahan atau kehilangan panas yang disebabkan oleh transmisi atau karena sebab lain. Sedangkan beban kalor laten diterima oleh suatu ruangan apabila pada ruangan tersebut terjadi perubahan kelembaban.

2.3 Jenis-jenis Beban Pendinginan

Berdasarkan sumber yang menimbulkannya, beban kalor dibagi menjadi dua jenis, yaitu

1. Beban kalor yang berasal dari luar ruangan (*external cooling load*)
2. Beban kalor yang bersumber dari dalam ruangan itu sendiri (*internal cooling load*).

Beban yang berasal dari luar ruangan, yaitu :

1. Beban kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui kaca;
2. Beban transmisi kalor melalui kaca
3. Beban transmisi kalor melalui dinding dan atap;
4. Beban kalor karena infiltrasi dan ventilasi;
5. Beban kalor tersimpan akibat pendinginan terputus.

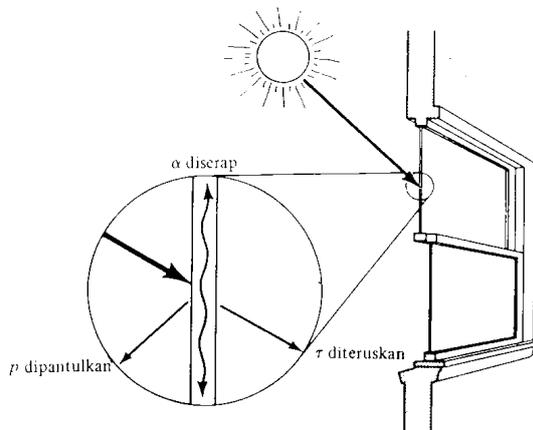
Sedangkan beban yang berasal dari dalam ruangan yaitu

1. Beban transmisi kalor melalui partisi, lantai dan langit-langit;
2. Beban kalor dari penghuni;
2. Beban kalor dari peralatan listrik (termasuk motor elektrik) atau peralatan gas;
3. Beban kalor dari lampu-lampu
5. Pipa dan tangki panas;
6. Sumber-sumber panas yang lain (misalnya uap air dari makanan dan minuman).

Berikut ini akan dibahas lebih lanjut mengenai beban-beban kalor yang terjadi pada ruangan ibadah gedung gereja KGMPI Getsemani Bahu.

2.3.1 Beban kalor untuk transmisi radiasi matahari melalui kaca

Efek radiasi matahari sebagai sumber panas dinyatakan sebagai faktor perolehan panas puncak dari matahari (PSHG, *Peak Solar Heat Gain*). Radiasi matahari sebagian akan diserap dan sebagian lagi akan ditransmisikan atau dipantulkan. Kaca biasa (*ordinary glass*) yang dispesifikasikan sebagai suatu kaca kristal dengan ketebalan tunggal dan memiliki kekuatan tunggal atau ganda menyerap 5 - 6% radiasi matahari dan sisanya akan ditransmisikan atau dipantulkan tergantung dari sudut datang terhadap permukaan luar kaca. Gambar berikut ini memperlihatkan distribusi radiasi matahari yang menimpa kaca.



Gambar 2.1 Distribusi radiasi matahari yang menimpa kaca [1]

Untuk kaca jenis lain digunakan Faktor Kaca (*Glass Factor*) yang didefinisikan sebagai rasio antara perolehan panas ruang dari kaca yang bersangkutan dengan perolehan panas dari kaca biasa.

Selain jenis kaca, faktor lain yang mempengaruhi perolehan kalor pada ruangan yang dikondisikan adalah adanya bagian kaca yang tidak terekspos ke matahari (*shaded*) dan dinyatakan dalam Faktor Bayangan (*Shade Factor*). *Shade Factor* dan *Glass Factor* disatukan dalam Faktor Keseluruhan (*Overall Factor*).

Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, maka beban pendinginan akibat radiasi matahari melalui kaca adalah [1]:

$$Q = PSHG \times A \times OF \times SF \dots\dots\dots (1)$$

dimana

- PSHG = perolehan panas puncak dari matahari (Btu/(jam.ft²))
- A = luas kaca (ft²)
- OF = faktor keseluruhan (*overall factor*)
- SF = faktor penyimpanan (*storage factor*)

Namun dalam perhitungan pada bab III, besar beban kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui kaca dalam satuan Btu/jam berdasarkan persamaan

(1) ini, dikonversi ke dalam satuan kkal/jam.

2.3.2 Beban transmisi kalor melalui kaca

Beban oleh transmisi kalor melalui kaca terjadi akibat perbedaan temperatur udara luar dengan udara ruang dalam ruang dihitung dengan menggunakan pendekatan persamaan perpindahan panas konduksi untuk kondisi tunak sebagai berikut [2]:

$$Q = K \times A \times \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- K = koefisien transmisi kalor kaca (kkal/(m².jam.°C))
- A = luas kaca (m²)
- ΔT = selisih temperatur di luar ruangan dan di dalam ruangan (°C)

2.3.3 Beban oleh Transmisi Kalor Melalui Dinding dan Atap

Untuk menghitung beban pendinginan melalui dinding dan atap digunakan pendekatan *equivalent temperature difference* (ETD) yaitu perbedaan temperatur ekivalen karena laju aliran kalor dari dinding dan atap ke ruangan tidak terjadi secara tunak melainkan berubah setiap saat sebanding dengan perubahan radiasi matahari dan temperatur udara luar.

Adapun yang dimaksud perbedaan temperatur ekivalen itu sendiri adalah beda temperatur yang menyebabkan aliran kalor total melalui struktur karena radiasi matahari dan temperatur udara luar yang selalu berubah. Dengan demikian, aliran kalor melalui dinding luar dan atap (struktur) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan perpindahan untuk kondisi tunak sebagai berikut [2]:

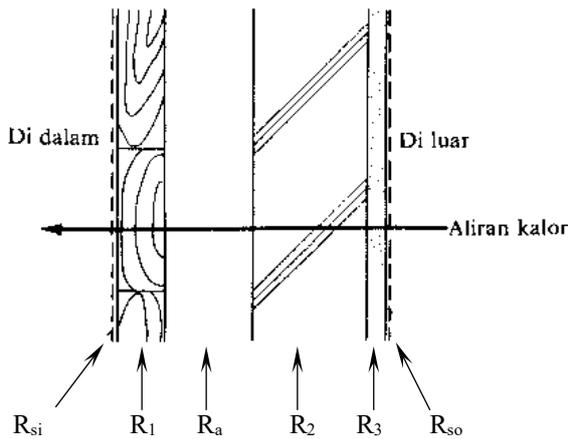
$$Q = K \times A \times ETD \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- K = koefisien transmisi kalor (kkal/(m².jam.°C))
- A = luas kaca (m²)
- ETD = perbedaan temperatur ekivalen (°C)

Koefisien perpindahan kalor dari dinding dan atap dapat dinyatakan sebagai laju perpindahan kalor setiap jam (kkal/jam) per 1 m² luas dinding, apabila perbedaan temperatur dalam dan temperatur luar dinding (atau atap) dapat dipertahankan 1°C untuk jangka waktu yang lama, sesuai dengan kapasitas kalor dari dinding (atau atap).

Nilai koefisien transmisi kalor (K) merupakan kebalikan dari harga total tahanan transmisi kalor (R_T). Gambar 2.2 menunjukkan satu contoh struktur dinding yang terdiri dari berbagai bahan yang akan ditentukan koefisien transmisi kalor totalnya. Seperti terlihat dalam gambar tersebut, tahanan perpindahan kalor dari dinding (atau atap) dapat dihitung dengan menjumlahkan tahanan transmisi kalor dari sisi yang satu dan sisi yang lain dari dinding tersebut.



Gambar 2.2 Koefisien transmisi kalor total melalui dinding (atau atap) [2]

$$K = \frac{1}{R_T} \quad [2] \quad \dots\dots\dots (4)$$

Gambar 2.2 menunjukkan komponen dari tahanan perpindahan kalor, [2]

$$R_T = R_{si} + R_l + \dots + R_n + \dots + R_{so} \quad \dots\dots\dots (5)$$

dimana,

- K = koefisien transmisi kalor (kkal/(m².jam.°C))
- R_T = tahanan transmisi kalor total (m².jam.°C/kkal)
- R_{si} = tahanan transmisi kalor dari lapisan permukaan dalam dinding (m².jam.°C/kkal)
- R_{so} = tahanan transmisi kalor dari lapisan permukaan luar dinding (m².jam.°C/kkal)
- R_a = tahanan transmisi kalor dari beton (m².jam.°C/kkal)
- $R_l \dots R_n$ = tahanan transmisi kalor dari setiap lapisan dinding (m².jam.°C/kkal).

Apabila tahanan perpindahan kalor (R) dari lapisan tidak dapat diperoleh dari tabel A.11, maka R dapat diperoleh dengan menggunakan rumus [2]:

$$R = r \times \text{tebal lapisan (m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{°C/kkal)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

dimana

$$r = \text{tahanan konduktifitas kalor (m} \cdot \text{jam} \cdot \text{°C/kkal)}$$

2.3.4 Beban oleh Transmisi Kalor Melalui Dinding dan Atap

Infiltrasi (perembesan), didefinisikan sebagai masuknya udara luar tanpa kendali, yang disebabkan oleh gaya-gaya alamiah, misalnya angin dan daya apung akibat perbedaan antara dalam ruangan dan luar ruangan. Sedangkan ventilasi didefinisikan sebagai udara yang dibawa ke dalam bangunan dengan sengaja secara mekanis.

Beban kalor akibat infiltrasi dan ventilasi yang memberikan dampak terhadap suhu (beban sensibel) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [2]

$$Q = (V \times N + \dot{V}) \times \frac{0,24}{v} \times \Delta T \quad \dots\dots\dots (7)$$

dimana

- V = volume ruangan
- N = jumlah penggantian ventilasi alamiah
- \dot{V} = volume udara luar = (jumlah orang) × (kebutuhan udara luar)
- v = volume spesifik
- ΔT = selisih temperatur ruangan luar dan ruangan dalam (°C)

Sedangkan beban kalor akibat infiltrasi dan ventilasi yang memberikan dampak terhadap kelembaban (beban laten) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [2]:

$$Q = (V \times N \times 597,3) \times (x_o - x_i) / v \quad \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

- V = volume ruangan (m³)
- N = jumlah penggantian ventilasi alamiah (kali/jam)
- x_o = perbandingan kelembaban udara di luar ruangan (kg/kg')
- x_i = perbandingan kelembaban udara di dalam ruangan (kg/kg')
- v = volume spesifik (m³/kg)

2.3.5 Beban transmisi kalor melalui kaca

Perbedaan temperatur pada ruangan yang berdampangan dapat menyebabkan beban transmisi kalor dari ruangan yang bertemperatur lebih tinggi ke ruangan yang bertemperatur lebih rendah. Sehingga apabila suatu ruangan yang memperoleh pengkondisian udara berdampangan dengan ruangan lain yang tidak memperoleh pengkondisian udara, maka akan ada beban transmisi kalor tambahan bagi ruangan yang didinginkan itu yang nilainya dapat dihitung dengan persamaan [2]:

$$Q = K \times A \times \Delta T \quad \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

- K = koefisien transmisi kalor kaca (kkal/(m².jam.°C))
- A = luas kaca (m²)
- ΔT = selisih temperatur di luar ruangan dan di dalam ruangan (°C)

2.3.6 Beban kalor dari manusia

Tubuh manusia menerima bahan bakar berupa bahan makanan. Sebagian energi dari bahan bakar ini diubah menjadi kerja dan sisanya dikeluarkan dalam bentuk panas (kalor). Proses pengeluaran kalor ini berlangsung secara terus-menerus, sehingga membutuhkan suatu kesetimbangan termal. Produksi kalor berlangsung di dalam sel-sel di seluruh tubuh, kemudian kalor ini disebarkan oleh sistem peredaran darah menuju kulit, tempat kalor tersebut dilepaskan ke lingkungan.

Pelepasan kalor yang mengakibatkan peningkatan suhu ruangan merupakan beban kalor sensibel yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [2]:

$$Q = (\text{Jumlah Orang}) \times (\text{Kalor Sensibel}) \times (\text{Faktor Keragaman}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

Sedangkan besarnya beban kalor yang dilepaskan oleh tubuh manusia yang mengakibatkan perubahan kelembaban relatif udara di dalam ruangan dapat dihitung dengan persamaan [2]:

$$Q = (\text{Jumlah Orang}) \times (\text{Kalor Laten}) \times (\text{Faktor Keragaman}) \dots\dots\dots (11)$$

2.3.7 Beban kalor dari peralatan listrik/lampu

Beban kalor dari peralatan listrik/lampu dihitung dengan persamaan [3]

$$Q = 3,4 \times W \times BF \times CLF$$

dimana

W = daya dari peralatan listrik/lampu (BTU/jam)

BF = faktor *ballast*

CLF = faktor beban pendinginan pada peralatan listrik/lampu

3. METODOLOGI PELAKSANAAN

Program ini dilaksanakan dalam beberapa tahap sebagai berikut. Pertama, tahap pengumpulan data awal. Data yang diperlukan adalah letak astronomis dari Kota Manado, luas ruangan, tinggi ruangan dan volume ruangan. Selanjutnya data tentang bahan dari dinding dan atap, serta luasan dari kaca jendela. Diperlukan juga informasi tentang perkiraan jumlah jemaat yang hadir dalam ibadah, jenis dan daya dari peralatan listrik yang ada di ruangan ibadah.

Setelah data di atas terkumpul, dilanjutkan dengan perhitungan beban pendinginan yang disebut juga sebagai beban kalor yang dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu [2]

1. beban kalor dari luar ruangan (contohnya: beban kalor oleh transmisi radiasi matahari melalui kaca, dan lain-lain);
2. beban kalor dari dalam ruangan (contohnya: beban kalor dari penghuni, dari peralatan listrik, lampu-lampu, dan lain-lain).

Setelah semua beban kalor dihitung dan dijumlahkan, maka kapasitas refrigerasi dari unit AC yang diperlukan dapat dihitung. Selanjutnya bisa dilanjutkan dengan pemilihan unit AC serta jumlah unit AC yang dibutuhkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data ruangan

Data yang diperoleh dari hasil observasi di ruang ibadah gedung gereja KGMPi Getsemani Bahu adalah

1. luas ruangan ibadah: 14,3 m × 7,7 m = 110,11 m²;
2. volume ruangan ibadah: 665,64 m³;
3. total luas kaca di sebelah timur: 7,97 m²;
4. total luas kaca di sebelah barat: 7,97 m²;
5. total luas kaca di sebelah selatan: 8,44 m² (jendela) + 3,52 m² (pintu) ;
6. total luas dinding beton di sebelah timur: 49,23 m²;

7. total luas dinding beton di sebelah barat: 49,23 m²;
8. total luas dinding di sebelah utara: 46,55 m²;
9. total luas dinding di sebelah selatan: 34,59 m²;
10. tebal dinding: 10 cm;
11. peralatan listrik, yang terdiri dari
 - a. lampu LED 11 buah, masing-masing 15 W
 - b. *air conditioner* 6 unit, masing-masing 400 W
 - c. proyektor LCD 1 unit 300 W
 - d. *speaker* aktif 2 buah, masing-masing 550 W
 - e. kipas angin: 80 W
 - f. laptop: 70 W
12. perkiraan jumlah orang: 80.

4.1.2 Kondisi perancangan

1. Kondisi termal di dalam ruangan: [4]
 - temperatur : 25°C
 - kelembaban relatif (*HR_i*) : 50%
2. Kondisi termal di luar ruangan:
 - temperatur : 33,88°C [5] (≈ 34°C)
 - kelembaban relatif (*HR_i*) : 83,13% [6] (≈ 83%)

4.1.3 Perhitungan dan penentuan beban pendinginan

1. Beban kalor oleh transmisi radiasi matahari lewat kaca

a. Kaca di sebelah timur (memiliki peneduh dari dalam):

$$\begin{aligned}
 PSHG &= 147 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \\
 A &= 7,97 \text{ m}^2 = 85,79 \text{ ft}^2 \\
 OF &= 0,62 \\
 SF &= 0,52 \\
 Q &= 147 \times 85,79 \times 0,62 \times 0,52 \\
 &= 4.065,83 \text{ Btu}/\text{hr} \\
 &= 1.024,57 \text{ kkal}/\text{jam}
 \end{aligned}$$

b. Kaca di sebelah barat: Terdapat kaca di sebelah barat tetapi terhalang oleh bangunan yang ada di samping barat gereja. Dengan demikian tidak ada sinar matahari yang masuk melalui kaca di bagian barat.

c. Kaca di sebelah selatan (tanpa peneduh dari dalam):

$$\begin{aligned}
 PSHG &= 82 \text{ Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2) \\
 A &= 11,96 \text{ m}^2 = 128,74 \text{ ft}^2 \\
 OF &= 0,80 \\
 SF &= 0,46 \\
 Q_k &= 82 \times 128,74 \times 0,80 \times 0,46 \\
 &= 3.884,86 \text{ Btu}/\text{hr} \\
 &= 978,97 \text{ kkal}/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian total beban kalor oleh transmisi radiasi matahari lewat kaca adalah

$$Q = 1.024,57 + 978,97 = 2.003,54 \text{ kkal}/\text{jam}$$

2. Beban transmisi kalor lewat kaca
Beban transmisi kalor lewat kaca ini dihitung menggunakan persamaan

$$Q = K \times A \times \Delta T \text{ (kkal}/\text{jam)}$$

- a. Kaca di sebelah timur
 $K = 5,5 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 7,97 \text{ m}^2$
 $\Delta T = 34^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$
 $Q = 5,5 \times 7,97 \times 9 = 394,52 \text{ kkal/jam}$
- b. Kaca di sebelah barat
 $K = 5,5 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 7,97 \text{ m}^2$
 $\Delta T = 29^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 4^\circ\text{C}$ (kaca di sebelah barat terlindung dari sinar matahari, oleh karena itu temperatur udara luarnya lebih rendah, yakni diasumsikan sebesar 29°C)
 $Q = 5,5 \times 7,97 \times 4 = 175,34 \text{ kkal/jam}$
- c. Kaca di sebelah selatan
 $K = 5,5 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 11,96 \text{ m}^2$
 $\Delta T = 34^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 9^\circ\text{C}$
 $Q = (5,5)(11,96)(9) = 592,02 \text{ kkal/jam}$
 Dengan demikian total beban transmisi kalor lewat kaca adalah
 $Q = 394,52 + 175,34 + 592,02 = 1.161,88 \text{ kkal/jam}$
3. Beban transmisi kalor melalui dinding beton
 Beban transmisi kalor lewat dinding beton ini dihitung menggunakan persamaan
 $Q = K \times A \times ETD \text{ (kkal/jam)}$
- a. Dinding di sebelah timur
 $K = \frac{1}{R_T}$
 $R_T = R_{so} + r_{\text{beton}} \times t_{\text{beton}} + R_{si}$
 $R_{so} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $r_{\text{beton}} = 0,714 \text{ (m} \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal)}$
 $t_{\text{beton}} = \text{tebal beton} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$
 $R_{si} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $R_T = R_{so} + r_{\text{beton}} \times \text{tebal beton} + R_{si}$
 $= 0,05 + 0,714 \times 0,1 + 0,125$
 $= 0,2464 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $K = \frac{1}{0,2464} = 4,0584 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 49,23 \text{ m}^2$
 $ETD = 12^\circ\text{C}$
 $Q = 4,0584 \times 49,23 \times 12$
 $= 2.397,54 \text{ kkal/jam}$
- b. Dinding di sebelah barat
 $K = 4,0584 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 49,23 \text{ m}^2$
 $ETD = 12^\circ\text{C}$
 $Q = (4,0584)(49,23)(12)$
 $= 2.397,54 \text{ kkal/jam}$
- c. Dinding di sebelah selatan
 $K = 4,0584 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 34,59 \text{ m}^2$
 $ETD = 12^\circ\text{C}$
 $Q = 4,0584 \times 34,59 \times 12$
 $= 1.684,56 \text{ kkal/jam}$
 Dengan demikian beban transmisi kalor total melalui dinding adalah
 $Q = 2.397,54 + 2.397,54 + 1.684,56 = 6.443,64 \text{ kkal/jam}$
4. Beban transmisi kalor melalui atap
 Sama seperti yang terjadi pada dinding, beban transmisi kalor melalui atap dihitung menggunakan persamaan
 $Q = K \times A \times ETD \text{ (kkal/jam)}$
 dimana
 $K = \frac{1}{R_T}$
 $R_T = R_{so} + R_{\text{asbes}} + R_{\text{udara}} + R_{\text{plywood}} + R_{si}$
 $R_{so} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $R_{\text{asbes}} = 49,5 \times 0,02 = 0,990 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $R_{\text{udara}} = 43,6909 \times 0,8 = 34,953 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $R_{pw} = 10,72 \times 0,003 = 0,030 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $R_{si} = 0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $R_T = 0,050 + 0,990 + 34,953 + 0,030 + 0,125 = 36,148 \text{ m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kkal}$
 $K = \frac{1}{36,148} = 0,028 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 154,44 \text{ m}^2$
 $ETD = 12^\circ\text{C}$
 Sehingga
 $Q = 0,028 \times 154,44 \times 12 = 51,892 \text{ kkal/jam}$
5. Beban transmisi kalor dari partisi
 Beban transmisi kalor dari partisi dihitung menggunakan persamaan
 $Q = K \times A \times \Delta T \text{ (kkal/jam)}$
 dimana
 $K = 4,0584 \text{ kkal}/(\text{m}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{C})$
 $A = 46,55 \text{ m}^2$
 $\Delta T = 4^\circ\text{C}$
 Dengan demikian,
 $Q = 4,0584 \times 46,55 \times 4 = 755,67 \text{ kkal/jam}$
6. Beban kalor sensibel infiltrasi dan ventilasi
 Beban kalor sensibel infiltrasi dan ventilasi dihitung menggunakan persamaan
 $Q_{\text{inf \& vent}} = (V \times N + \dot{V}) \times \frac{0,24}{v} \times \Delta T$
 dimana
 $V = 665,64 \text{ m}^3$
 $N = 1 \text{ kali/jam}$
 $\dot{V} = (80 \text{ orang}) \times (9 \text{ m}^3/\text{jam}/\text{orang}) = 720 \text{ (m}^3/\text{jam)}$
 $v = 0,91 \text{ m}^3/\text{kg}$ (dari diagram Psikrometrik berdasarkan temperatur dan kelembaban relatif perancangan yang ditetapkan (temperatur 34°C , kelembaban relatif 83%))
 $\Delta T = 9^\circ\text{C}$
 Dengan demikian,
 $Q = (665,64 \times 1 + 720) \times (0,24/0,91) \times 9 = 3.288,99 \text{ kkal/jam}$
7. Beban kalor sensibel dari manusia
 Beban kalor sensibel dari manusia dihitung dengan persamaan
 $Q = (\text{jumlah orang}) \times (\text{besar kalor sensibel}) \times (\text{faktor keragaman})$

Jumlah orang diperkirakan sebanyak 80. Kalor sensibel manusia yang melakukan kegiatan yang sangat ringan adalah 56,28 kkal/jam. Faktor keragaman diasumsikan sebesar 0,6. Dengan demikian, beban kalor sensibel dari manusia adalah

$$Q = 80 \times 56,28 \times 0,6 = 2.701,44 \text{ kkal/jam}$$

8. Beban kalor sensibel dari peralatan listrik/lampu

Beban kalor dari peralatan listrik/lampu dihitung dengan persamaan

$$Q = 3,4 \times W \times BF \times CLF$$

- a. Beban kalor dari proyektor LCD

$$\text{Daya} = 300 \text{ W}$$

$$Q = 3,4 \times 300 \times 1 \times 1 \\ = 1.020,00 \text{ BTU/jam} \\ = 257,04 \text{ kkal/jam}$$

- b. Beban kalor dari laptop

$$\text{Daya} = 70 \text{ W}$$

$$Q = 3,4 \times 70 \times 1 \times 1 \\ = 238,00 \text{ BTU/jam} \\ = 59,97 \text{ kkal/jam}$$

- c. Beban kalor dari *speaker* aktif dua buah

$$\text{Daya} = 2 \times 550 \text{ W} = 1100 \text{ W}$$

$$Q = 3,4 \times 1100 \times 1 \times 1 \\ = 3.740,00 \text{ BTU/jam} \\ = 942,46 \text{ kkal/jam}$$

- d. Beban kalor dari kipas angin

$$\text{Daya} = 80 \text{ W}$$

$$Q = 3,4 \times 80 \times 1 \times 1 \\ = 272,00 \text{ BTU/jam} \\ = 68,54 \text{ kkal/jam}$$

- e. Beban kalor dari AC enam unit

$$\text{Daya} = 6 \times 400 \text{ W} = 2.400 \text{ W}$$

$$Q = 3,4 \times 2400 \times 1 \times 1 \\ = 8.160,00 \text{ BTU/jam} \\ = 2.056,29 \text{ kkal/jam}$$

- f. Beban kalor dari AC 11 lampu LED

$$\text{Daya} = 11 \times 15 \text{ W} = 165 \text{ W}$$

$$Q = 3,4 \times 165 \times 1 \times 1 \\ = 561,00 \text{ BTU/jam} \\ = 141,37 \text{ kkal/jam}$$

Dengan demikian, beban kalor sensibel dari peralatan listrik dan lampu adalah

$$Q = 257,04 + 59,97 + 942,46 + 68,54 + \\ 2.056,29 + 141,37 \\ = 3.525,67 \text{ kkal/jam}$$

9. Beban kalor laten infiltrasi

Beban kalor sensibel infiltrasi dan ventilasi dihitung menggunakan persamaan

$$Q = V \times N \times 597,3 \times (x_i - x_o) / v$$

dimana

$$V = 665,64 \text{ m}^3$$

$$N = 1 \text{ kali/jam}$$

$$v = 0,91 \text{ m}^3/\text{kg}$$

x_o = perbandingan kelembaban udara di dalam ruangan (kg/kg') (dari diagram Psikrometrik berdasarkan temperatur dan kelembaban relatif perancangan yang ditetapkan

(temperatur 25°C, kelembaban relatif 50%)

$$= 0,010 \text{ kg}/\text{kg}'$$

x_i = perbandingan kelembaban udara di luar ruangan (kg/kg') (dari diagram Psikrometrik berdasarkan temperatur dan kelembaban relatif perancangan yang ditetapkan (temperatur 34°C, kelembaban relatif 83%)

$$= 0,029 \text{ kg}/\text{kg}'$$

Dengan demikian,

$$Q = 665,64 \times 1 \times 597,3 \times \\ (0,029 - 0,010) / 0,91 \\ = 8.301,26 \text{ kkal/jam}$$

10. Beban kalor laten dari manusia

Beban kalor laten dari manusia dihitung dengan persamaan

$$Q = (\text{jumlah orang}) \times (\text{nilai kalor laten}) \times \\ (\text{faktor keragaman})$$

Jumlah orang diperkirakan sebanyak 80. Kalor laten manusia yang melakukan kegiatan yang sangat ringan adalah 44,52 kkal/jam. Faktor keragaman diasumsikan sebesar 0,6.

Dengan demikian, beban kalor laten dari manusia adalah

$$Q = 80 \times 44,52 \times 0,6 = 2.136,96 \text{ kkal/jam}$$

4.1.4 Total beban pendinginan

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jumlah keseluruhan beban kalor di ruangan ibadah gereja KGMPI Getsemani Bahu, yaitu

- total beban kalor sensibel = 19.931,922 kkal/jam (65,63%)
- total beban kalor laten = 10.438,220 kkal/jam (34,37%)
- total beban kalor = 30.370,142 kkal/jam = 120.518,459 BTU/jam

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, komponen beban pendinginan terbesar terjadi akibat beban kalor laten infiltrasi yaitu sebesar 8.301,260 kkal/jam (27,33% dari total beban pendinginan). Selanjutnya diikuti oleh transmisi kalor lewat beton, yakni 6.443,64 kkal/jam (21,22%), dan yang ketiga terbesar adalah beban kalor sensibel akibat infiltrasi dan ventilasi sebesar 3.288,990 kkal/jam (10,83%).

Jumlah unit AC yang bisa digunakan untuk memenuhi beban pendinginan yang telah dihitung dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Jenis AC berdasarkan PK dan BTU/jam^[7]

| PK | BTU/jam |
|-----|---------|
| 1 | 9.000 |
| 1,5 | 12.000 |
| 2 | 18.000 |
| 2,5 | 24.000 |

Berdasarkan Tabel 4.1, jumlah unit AC yang bisa digunakan di ruangan ibadah gereja KGMPI Getsemani Bahu dapat ditentukan yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.2 Jumlah unit AC yang bisa digunakan

| PK | BTU/jam | Jumlah unit | |
|-----|---------|----------------|------------|
| | | Hasil hitungan | Pembulatan |
| 1 | 9.000 | 13,39 | 14 |
| 1,5 | 12.000 | 10,04 | 11 |
| 2 | 18.000 | 6,70 | 7 |
| 2,5 | 24.000 | 5,02 | 6 |

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Total beban pendinginan di ruangan ibadah gereja KGMPI Getsemani Bahu adalah 30.370,142 kkal/jam (120.518,459 BTU/jam) yang terdiri dari total beban kalor sensibel (65,63%) dan total beban kalor laten (34,37%).

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan berdasarkan total beban pendinginan yang diperoleh adalah sebagai berikut.

1. Untuk memenuhi kebutuhan pendinginan ruangan ibadah gedung gereja KGMPI Getsemani Bahu, sebaiknya digunakan AC 1,5 PK sebanyak 11 unit atau 2 PK 7 unit. Jumlah unit AC tersebut sesuai dengan kondisi ruangan ibadah yang dimaksud.
2. Jika memungkinkan, untuk pengadaan unit-unit AC yang baru, sebaiknya memilih AC dengan teknologi inverter agar konsumsi energi listrik bisa lebih rendah bila dibandingkan dengan AC non-inverter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carrier Air Conditioning Company, *Handbook of Air Conditioning System Design*, McGraw-Hill Book Company.
- [2] Arismunandar, Wiranto, dan Heizo Saito, *Penyegaran Udara*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1995.
- [3] Pita, Edward G. 2002. *Air Conditioning and Principles*.
- [4] Departemen PU, *Tata Cara Perencanaan Teknis Konversi Energi Pada Bangunan Gedung*, Yayasan LPMB, Bandung.
- [5] BPS Kota Manado. 2021. *Rata-rata Suhu Menurut Bulan di Kota Manado (°C), 2018-2020*. <https://manadokota.bps.go.id/indicator/151/11/1/1/rata-rata-suhu-menurut-bulan-di-kota-manado.html>. (diakses tanggal 18 November 2021).
- [6] BPS Kota Manado. 2021. *Kelembaban Udara Menurut Bulan di Kota Manado (%), 2018-2020*. <https://manadokota.bps.go.id/indicator/151/10/9/1/kelembaban-udara-menurut-bulan-di-kota-manado.html>. (diakses tanggal 18 November 2021).
- [7] Gunawan, Arif. 2020. *Cara Menghitung Jumlah PK AC yang Anda Gunakan. ABC Power*. <https://www.abcpowergenset.com/menghitung-jumlah-pk-pada-ac/> (diakses tanggal 14 November 2021).