

Perhitungan Beban Pendinginan dan Pemanasan Sistem Tata Udara Untuk Bangunan Medical Office

1st Tsabitul Azmi Abdul Karim
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
tsaazmi02@gmail.com

2nd Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T.,
M.Eng., Ph.D.
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
triayodha@telkomuniversity.ac.id

3rd Mukhammad. Ramdhan Kirom,
S.Si., M.Si.
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
mramdankirom@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penggunaan sistem tata udara yang tepat berperan penting dalam menjaga suhu ruang dan kualitas udara pada bangunan. Dilakukan studi untuk menghitung beban pendinginan dan pemanasan bangunan medical office di kota Manchester, Inggris, sebagai dasar perancangan sistem tata udara yang efisien dan sesuai standar. Tujuan utama dari penelitian ini adalah melakukan perhitungan beban termal secara menyeluruh dengan menggunakan pendekatan metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD) untuk beban pendinginan serta beban pemanasan. Proses perhitungan dilakukan melalui pemodelan energi bangunan menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit, dengan mempertimbangkan data lokasi dan kondisi iklim lokal, konstruksi bangunan, material bangunan, serta jadwal operasional ruangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beban pendinginan tahunan mencapai 774.618 W, sedangkan beban pemanasan sebesar 536.269 W, dengan kontribusi beban tertinggi pada area publik. Hasil ini memberikan dasar teknis bagi perancangan kapasitas sistem tata udara, termasuk pemilihan kapasitas chiller, boiler, dan sistem distribusi udara (duct) yang sesuai untuk menjaga efisiensi energi dan performa sistem secara menyeluruh.

Kata kunci— Beban Pendinginan dan Pemanasan, CLTD, sistem tata udara

I. PENDAHULUAN

Kenyamanan termal dalam sebuah bangunan merupakan kondisi kepuasan perspektif seseorang terhadap lingkungan termal [1]. Hal tersebut sebagai faktor esensial yang memengaruhi kesehatan dan produktivitas penghuninya. Untuk bangunan komersial berskala besar seperti fasilitas kesehatan, sistem tata udara terpusat lebih efisien dibandingkan unit AC Split konvensional. Latar belakang penelitian ini adalah studi kasus dari ASHRAE Student Competition 2025, yaitu perancangan sistem tata udara untuk bangunan Medical Office di kota Manchester, Inggris. Untuk melakukan kalkulasi perhitungan beban pendinginan dan pemanasan, digunakan Autodesk Revit, yang merupakan perangkat lunak berbasis *Building Information Modeling* (BIM) untuk melakukan kalkulasi secara keseluruhan bangunan. Permasalahan utama (problem statement) dalam studi kasus ini bersifat multifaset. Pertama, iklim Manchester yang cenderung dingin sepanjang tahun menuntut sistem

pemanasan yang andal, namun tetap memerlukan sistem pendingin saat musim panas. Kedua, sebagai fasilitas kesehatan, bangunan ini memiliki standar yang ketat terkait kualitas udara, seperti laju pertukaran udara (*Air Change per Hour/ACH*), tingkat kelembapan, dan suhu untuk berbagai ruangan sesuai standar ANSI/ASHRAE/ASHE 170-2021 [2].

II. KAJIAN TEORI

Dalam merancang sistem tata udara untuk bangunan komersial seperti medical office, terlebih dahulu kita perlu memahami teori dasar perpindahan panas dan beban termal. Beban termal adalah jumlah energi panas yang harus dikendalikan oleh sistem untuk menjaga suhu ruangan tetap dalam rentang kenyamanan termal yang telah ditetapkan [3]. Beban ini muncul akibat pengaruh kondisi lingkungan luar maupun aktivitas internal di dalam bangunan, dan dibagi ke dalam dua kategori utama yaitu beban pendinginan dan beban pemanasan.

Untuk menghitung besarnya beban pendinginan secara praktis, ASHRAE merekomendasikan metode *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD), yang merupakan pendekatan empiris berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran berbagai kondisi bangunan dan iklim [3]. Metode ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti perbedaan suhu, orientasi bangunan terhadap matahari, sifat termal material, serta faktor koreksi waktu dan orientasi (correction factors).

A. Beban Pendinginan

Beban Pendinginan adalah jumlah total panas yang harus dihilangkan dari suatu ruang untuk mempertahankan suhu dan kelembapan yang telah disesuaikan [4]. Beban ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu beban sensible, yang berkaitan dengan kenaikan suhu udara akibat masuknya panas melalui atap, dinding, kaca, peralatan, manusia, dan udara luar; serta beban laten, yang berasal dari kelembapan udara karena aktivitas manusia atau udara luar yang lembap [5]. Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung beban pendinginan :

$$1. \text{ Beban Beban Atap} \\ Q = U \times A \times CLTD_{corr} \quad (1)$$

Keterangan:

Q = Beban pendinginan dinding
 U = Koefisien Perpindahan Panas Material Dinding
 A = Luas Dinding
 CLTDcorr = Cooling Load Temperature Difference correction

2. Beban Dinding

$$Q = U \times A \times CLTDcorr \quad (2)$$

Keterangan:

Q = Beban pendinginan dinding
 U = Koefisien Perpindahan Panas Material Dinding
 A = Luas Dinding
 CLTDcorr = Cooling Load Temperature Difference correction

3. Beban Konduksi Kaca

$$Q = U \times A \times CLTDcorr \quad (3)$$

Keterangan:

Q = Beban pendinginan dinding
 U = Koefisien Perpindahan Panas Material Dinding
 A = Luas Dinding
 CLTDcorr = Cooling Load Temperature Difference correction

4. Beban Radiasi Kaca

$$Q = A \times SC \times SHGF \times CLF \quad (4)$$

Keterangan:

Q = Beban pendinginan Radiasi kaca
 A = Luas Kaca
 SC = *Shading Coefficient*
 SHGF = *Solar Heat Gain Factor*
 CLF = *Cooling Load Factor*

5. Beban Penghuni

$$Q_s = SHG \times \text{No of People} \times CLF \quad (5)$$

Keterangan:

Q_s = Beban Sensibel Penghuni
 SHG = *Sensible Heat Gain*
 CLF = *Cooling Load Factor*
 Q_l = LHG X No of People

$$Q_l = LHG \times \text{No of People} \quad (6)$$

Keterangan:

Q_l = Beban Latent Penghuni
 LHG = *Latent Heat Gain*

6. Beban Lampu

$$Q = 3,41 \times q \times Fc \times Fb \times CLF \quad (7)$$

Keterangan:

Q = Beban Pendinginan Lampu
 3,41 = Nilai konversi watt ke Btu/hr
 q = Total watt lampu
 F_u = Jumlah Fraction
 F_b = Faktor Ballast

7. Beban Peralatan

$$Q_s = SHG \times CLF \quad (8)$$

Keterangan:

Q_s = Beban Sensibel Peralatan
 SHG = *Sensible Heat Gain*
 CLF = *Cooling Load Factor*

$$Q_l = LHG \quad (9)$$

Keterangan:

Q_l = Beban Latent Peralatan
 LHG = *Latent Heat Gain*

8. Beban Infiltrasi/Ventilasi

$$Q_s = 1,10 \times \Delta T \times scfm \quad (10)$$

Keterangan:

Q_s = Beban pendinginan sensibel ventilasi/infiltrasi
 1,10 = Nilai konversi ke Btu/hr.scfm.F
 ΔT = Perbedaan temperatur luar dan dalam ruangan
 Scfm = Nilai ventilasi/infiltrasi dalam satuan cfm

$$Q_l = 4840 \times \Delta W \times scfm \quad (11)$$

Keterangan:

Q_l = Beban pendinginan laten ventilasi/infiltrasi
 4840 = Nilai konversi ke Btu/hr.scfm
 ΔW = Perbedaan rasio kelembapan udara luar dan dalam ruangan
 Scfm = Nilai ventilasi/infiltrasi dalam satuan cfm

B. Beban Pemanasan

Beban pemanasan adalah jumlah panas yang harus ditambahkan ke dalam ruangan untuk menjaga suhu dalam ruangan tetap pada batas yang telah disesuaikan (22-24 °C) selama kondisi cuaca dingin. Beban ini muncul akibat adanya kehilangan panas dari ruang dalam menuju lingkungan luar melalui konduksi pada permukaan bangunan seperti dinding, atap, dan lantai, serta karena masuknya udara luar yang dingin melalui ventilasi atau celah bangunan (infiltrasi) [4]. Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung beban pemanasan:

1. Beban Beban Atap

$$Q = U \times A \times CLTDcorr \quad (12)$$

Keterangan:

Q = Beban pendinginan dinding
 U = Koefisien Perpindahan Panas Material Dinding
 A = Luas Dinding
 CLTDcorr = Cooling Load Temperature Difference correction

2. Beban Atap, Dinding, dan Konduksi Kaca

$$Q = U \times A \times TD \quad (13)$$

Keterangan:

Q = Beban pemanasan atap, dinding, dan kaca
 U = Koefisien perpindahan panas
 A = Luas permukaan
 TD = Selisih antara suhu desain dalam dan suhu luar ruangan

3. Beban Infiltrasi/Ventilasi

$$Q_s = 1,10 \times \Delta T \times scfm \quad (14)$$

Keterangan:

Q_s = Beban pemanasan sensibel ventilasi/infiltrasi
 1,08 = Nilai konversi ke Btu/hr.scfm.F
 ΔT = Perbedaan temperatur luar dan dalam ruangan
 Scfm = Nilai ventilasi/infiltrasi dalam satuan cfm

$$Q_l = 4840 \times \Delta W \times scfm \quad (15)$$

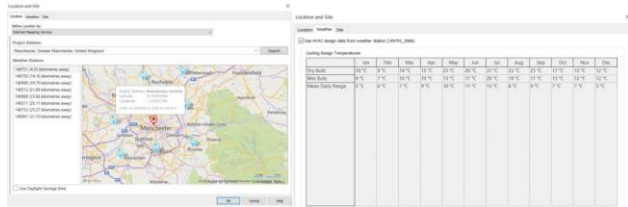
Keterangan:

Q_l = Beban pendinginan laten ventilasi/infiltrasi
 4840 = Nilai konversi ke Btu/hr.scfm
 ΔW = Perbedaan rasio kelembapan udara luar dan dalam ruangan
 Scfm = Nilai ventilasi/infiltrasi dalam satuan cfm

Selanjutnya diperlukan data beban termal secara kuantitatif, baik untuk kebutuhan pendinginan maupun pemanasan, sebagai dasar dalam perancangan sistem tata udara pada bangunan Medical Office. Beban termal tersebut

didapatkan dari akumulasi perhitungan dengan dipengaruhi oleh kondisi iklim, konstruksi bangunan, material bangunan dan juga jadwal ruangan, yang dilanjutkan dengan proses simulasi melalui *software* Revit. Proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil perhitungan mencerminkan kondisi operasional yang sebenarnya dan sesuai dengan standar yang berlaku, khususnya ASHRAE Handbook dan ASHRAE Standard 183. Berikut merupakan data bangunan yang digunakan dalam proses simulasi.

A. Lokasi dan Iklim



Gambar 1. Lokasi dan kondisi iklim bangunan

Bangunan *medical office* yang akan dibangun terletak di Manchester, Inggris. Memiliki letak geografis di s 53° 29' 2.2524" LU dan 2° 14' 40.7184" BB yang termasuk pada bagian lintang utara. Ditampilkan juga kondisi temperature *drybulb*, *wetbulb* dan rentang rata-rata temperature harian.

B. Konstruksi Bangunan



Gambar 2. Model Bangunan *medical office*

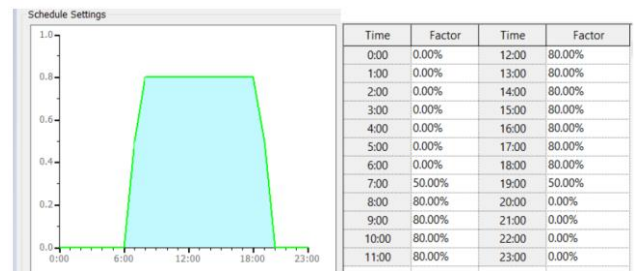
Bangunan yang akan dilakukan perhitungan beban pendingin dan pemanasan merupakan bangunan *medical office* dengan diameter 60.58x37.52m, yang terdiri dari 3 lantai dengan total luas bangunan 4.608,27ft².

C. Material Bangunan

No	Elemen Bangunan	Model elemen	Keterangan
1	Dinding		Brick, CMU, Insulation, fiberglass bat, mtl std layer, gypsum wall board (U=0.0389 BTU/(h·ft ² ·°F)).
2	Atap		Roof. Plywood sheathing, insulation, metal deck (U= 0.0202 BTU/ (h·ft ² ·°F))
3	Lantai		Vinyl tile, concrete lightweight, insulation (U=0.784 BTU/ (h·ft ² ·°F)).
4	Jendela		Low-e double glazing (U=0.37 BTU/(h·ft ² ·°F) SC=0.3).

Tabel 1. Material Bangunan

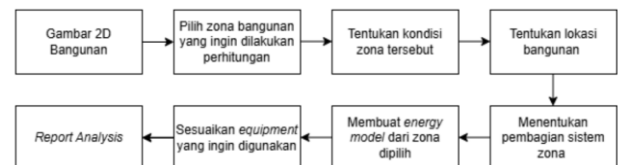
D. Jadwal Ruangan



Gambar 3. Jadwal untuk Penghuni, Peralatan, dan Lampu

Gambar 3 digunakan sebagai asumsi jadwal operasional harian untuk penghuni, peralatan, dan lampu dalam bangunan. Gambar tersebut menampilkan grafik dari skala 0-1 sebagai presentase penggunaan relatif terhadap kapasitas maksimum dalam kurun waktu setiap jam nya. Jadwal tersebut mengacu pada jam operasional bangunan, yaitu mulai pukul 7.00 hingga 19.00.

III. METODE



Gambar 4. Diagram alir perhitungan beban pendinginan dan pemanasan

Proses perhitungan beban pendinginan dan pemanasan sesuai dengan alir diagram pada Gambar 4, dimulai dari pembuatan gambar 2D bangunan dan pemilihan zona yang akan dianalisis. Setiap zona kemudian ditentukan kondisi termalnya seperti suhu, kelembapan, dan aktivitas ruang, lalu dihubungkan dengan lokasi geografis untuk integrasi data iklim. Setelah itu, dilakukan pembagian sistem *spaces* berdasarkan jenis ruang, dilanjutkan dengan pembuatan model energi dari zona terpilih yang mencakup parameter material bangunan, beban internal, dan jadwal operasional. Tahapan berikutnya adalah pemilihan dan penyesuaian equipment sesuai hasil perhitungan, dan diakhiri dengan analisis laporan (*report analysis*) untuk memperoleh nilai akhir beban pendinginan dan pemanasan sebagai dasar desain sistem tata udara yang akan digunakan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua data bangunan telah tersedia, kita dapat melakukan simulasi berdasarkan energy model bangunan, berikut merupakan total beban pendinginan dan pemanasan dari hasil simulasi menggunakan *software* Revit.

Building Summary

Inputs	
Building Type	Hospital or Healthcare
Area (ft ²)	49,603
Volume (CF)	496,029.84
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	774,618.8
Peak Cooling Month and Hour	July 14:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	744,923.3
Peak Cooling Latent Load (W)	29,695.6
Maximum Cooling Capacity (W)	769,083.3
Peak Cooling Airflow (CFM)	84,170
Peak Heating Load (W)	536,269.0
Peak Heating Airflow (CFM)	61,506
Checksums	
Cooling Load Density (Btu/(h-ft ²))	53.29
Cooling Flow Density (CFM/SF)	1.70
Cooling Flow / Load (CFM/ton)	382.14
Cooling Area / Load (SF/ton)	225.20
Heating Load Density (Btu/(h-ft ²))	36.89
Heating Flow Density (CFM/SF)	1.24

Gambar 5. Hasil simulasi bangunan keseluruhan

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 5, bangunan *medical office* memiliki luas area sebesar 49.603 ft², medical office termasuk dalam kategori *Hospital or Healthcare*. Hasil menunjukkan bahwa total beban pendinginan puncak (Peak Cooling Total Load) mencapai 774.618,8 W, yang terjadi pada bulan Juli pukul 14.00. Dari jumlah tersebut, beban pendinginan sensibel mendominasi sebesar 744.923,3 W, sedangkan beban laten berada pada 29.695,6 W. Untuk beban pemanasan nya sebesar 536.269 W.

Level Summary - Level 1

Inputs	
Area (ft ²)	19,896
Volume (CF)	198,964.99
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	299,111.3
Peak Cooling Month and Hour	June 14:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	287,298.4
Peak Cooling Latent Load (W)	11,812.9
Peak Cooling Airflow (CFM)	32,852
Peak Heating Load (W)	149,750.2
Peak Heating Airflow (CFM)	24,373
Checksums	
Cooling Load Density (Btu/(h-ft ²))	51.30
Cooling Flow Density (CFM/SF)	1.65
Cooling Flow / Load (CFM/ton)	386.26
Cooling Area / Load (SF/ton)	233.94
Heating Load Density (Btu/(h-ft ²))	25.68
Heating Flow Density (CFM/SF)	1.22

Gambar 6. Hasil simulai beban pada lantai 1

Gambar diatas menunjukan summary untuk lantai 1, dengan luas area 19896ft² yang dilakukan perhitungan beban. Total beban puncak pendinginan sebesar 299111.3 W yang terjadi pada saat summer pada bulan Juni pukul 14.00 dengan aliran udara puncak sebesar 32852 CFM. Pada saat winter didapatkan nilai dari beban pemanasan pada saat puncak sebesar 149.750.2 W.

Level Summary - level 2

Inputs	
Area (ft ²)	19,854
Volume (CF)	198,535.88
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	303,230.9
Peak Cooling Month and Hour	June 14:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	289,838.7
Peak Cooling Latent Load (W)	13,392.2
Peak Cooling Airflow (CFM)	33,304
Peak Heating Load (W)	147,941.1
Peak Heating Airflow (CFM)	24,363
Checksums	
Cooling Load Density (Btu/(h-ft ²))	52.11
Cooling Flow Density (CFM/SF)	1.68
Cooling Flow / Load (CFM/ton)	386.26
Cooling Area / Load (SF/ton)	230.26
Heating Load Density (Btu/(h-ft ²))	25.43
Heating Flow Density (CFM/SF)	1.23

Gambar 7. Hasil simulasi beban pada lantai 2

Lantai 1 dengan luas area 19854ft² dihasilkan total beban pendinginan pada saat puncak sebesar 303230.9 W pada

bulan Juni pukul 14.00 dengan aliran udara pendinginan sebesar 33304 CFM. Untuk beban pemanasan yang terjadi pada saat winter didapatkan besar total pendinginan puncak di 147941 W dengan aliran udara pemanasan sebesar 24363 CFM.

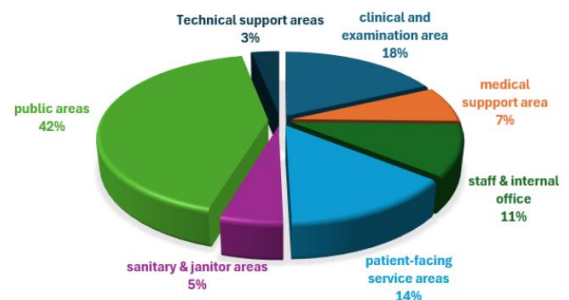
Level Summary - level 3

Inputs	
Area (ft ²)	9,853
Volume (CF)	98,528.97
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	166,265.9
Peak Cooling Month and Hour	July 13:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	161,923.7
Peak Cooling Latent Load (W)	4,342.2
Peak Cooling Airflow (CFM)	18,014
Peak Heating Load (W)	81,947.6
Peak Heating Airflow (CFM)	12,770
Checksums	
Cooling Load Density (Btu/(h-ft ²))	57.58
Cooling Flow Density (CFM/SF)	1.83
Cooling Flow / Load (CFM/ton)	381.03
Cooling Area / Load (SF/ton)	208.41

Gambar 8. Hasil simulasi beban pada lantai 3

Pada lantai 3 luas area yang dilakukan perhitungan beban seluas 9853ft², dengan total beban pendinginan ketika puncak nya sebesar 166256.9 W yang terjadi pada saat bulan Juli pukul 13.00 dengan aliran udara pendinginan sebesar 18014 CFM. Total bebam pemanasan yang terjadi saat puncak di winter sebesar 81947.6 W, dengan aliran udara pemanasan sebesar 12770 CFM.

COOLING LOADS PADA BANGUNAN MEDICAL OFFICE 3 LANTAI



Gambar 8. Distribusi beban pendinginan pada bangunan *medical office*

Pada Gambar 8 menunjukkan pembagian distribusi untuk beban pendinginan (cooling loads) berdasarkan kategori ruangan yang digunakan pada bangunan *medical office* dengan total 3 lantai. Pada area publik seperti lobby, ruang tunggu, atau koridor memiliki beban pendinginan sebesar 42%, dilanjutkan dengan area pemeriksaan klinis seperti ruang konsultasi sebesar 18%, diikuti dengan area layanan pasien ruangan seperti reception room sebesar 14%. Untuk area staff & internal seperti office room dan administration room menyumbang 11%. Untuk medical support area yang meliputi ruang penyimpanan dan laboratorium menyumbang 7%. Sanitary and janitor area menyumbang 5%, dan ruang pendukung teknis memiliki kontribusi yang paling kecil sebesar 3%.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan bahwa bangunan *medical office* membutuhkan beban pendinginan sebesar 774.618 W yang terjadi pada puncak nya di bulan Juli pukul 14.00, sementara itu beban pemanasan sebesar 536.269 W. Beban pada lantai 3 lebih

kecil jika dibandingkan dengan lantai 1 dan 2, karena ruangan pada lantai 3 relatif lebih sedikit. Penggunaan simulasi dalam melakukan perhitungan beban pendinginan dan pemanasan memberikan gambaran terhadap kebutuhan secara realistis, dengan mengidentifikasi kebutuhan tiap lantai hingga ruangan nya. Dari hasil perhitungan beban pendinginan dan pemanasan, dapat disesuaikan dengan spesifikasi sistem tata udara yang dibutuhkan .

REFERENSI

[1] ASHRAE, *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.

[2] ASHRAE, *ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021: Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021.

[3] ASHRAE, *ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Chapter 18: Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021.

[4] ASHRAE, *ANSI/ASHRAE Standard 183-2017: Peak Cooling and Heating Load Calculations in Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.