

ANALISA PERHITUNGAN BEBAN PENDINGIN DI TOWER UNIVERSITAS MERCU BUANA LANTAI 5 DAN LANTAI 6

Anin Kurniawati, Gimbal Doloksaribu

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Mercu Buana

anin.kurniawati@yahoo.com, g.doloksaribu@yahoo.com

ABSTRAK

Penulisan Jurnal Penelitian ini bertujuan untuk menghitung beban pendingin agar kebutuhan sistem udara dapat menghasilkan suhu udara yang sesuai dengan kapasitas ruangan tersebut, karena kebutuhan akan pendingin dalam suatu ruangan sangat dibutuhkan untuk menimbulkan rasa nyaman ketika sedang berada didalam ruangan tersebut. Kondisi didalam maupun luar ruangan sangat mempengaruhi kebutuhan mesin pendingin yang tersedia. Pada tower Universitas Mercu Buana pada lantai 5 dan 6 memiliki kapasitas mesin pendingin atau AC sebanyak 4 unit sebesar 8 PK, dimana mesin tersebut harus mencukupi kapasitas beban pendingin yang ditanggung dalam lantai tersebut. Maka dari itu, penulis ingin menganalisa dan menghitung beban-beban yang ditanggung pada lantai tersebut agar kebutuhan mesin pendingin atau AC dapat tercukupi. Dalam perhitungan beban pendingin ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain pengambilan data serta mengamati langsung tempat yang akan dijadikan objek penelitian, dan setelah itu dilakukan perhitungan-perhitungan dari data yang telah diketahui untuk mendapatkan suatu hasil.

Dari hasil perhitungan, maka diperoleh beban kalor yang ditanggung pada ruang lantai 5 adalah sebesar **1530,813 kW (pada kondisi maksimum)** dengan luas lantai sebesar 1125 m², tetapi kapasitas mesin pendingin yang tersedia masih kurang karena kapasitas mesin pendingin hanya 4 unit AC sebesar 8 PK (21,10 kW), sedangkan pada pada lantai 6 pun kapasitas mesin pendingin masih kurang, karena beban yang ditanggung pada ruang lantai 6 adalah sebesar **1535,587 kW (pada kondisi maksimum)** dengan luas lantai sebesar 1125 m² dan kapasitas mesin pendingin hanya 4 unit AC sebesar 8 PK (21,10 kW). Setelah melihat hasil perhitungan dan analisa tersebut maka disarankan untuk penambahan unit mesin pendingin agar ketika pada kondisi maksimum, pengunjung merasa nyaman ketika berada diruangan tersebut, tetapi jika pada kondisi minimum atau normal, dapat menggunakan mesin pendingin, peralatan, maupun penerangan dengan sebaik-baiknya.

Kata kunci : Beban pendingin, AC, Mesin Pendingin, Beban kalor

I. PENDAHULUAN

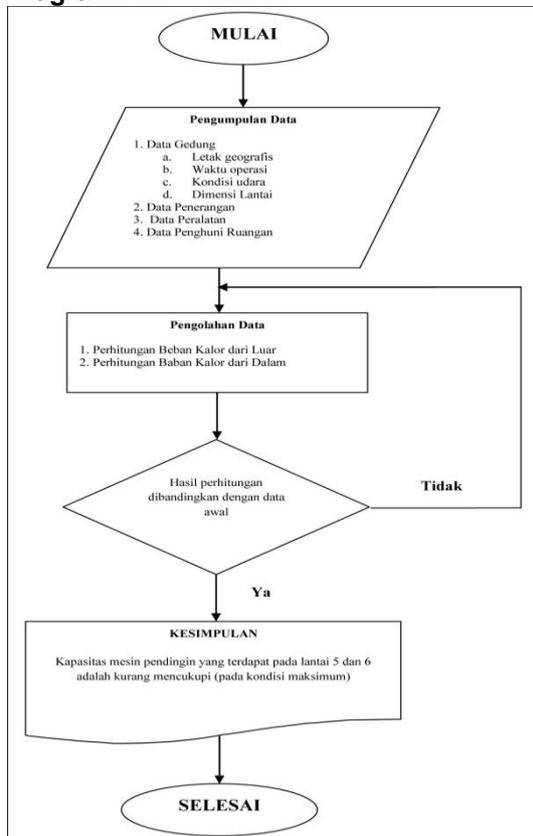
Pengkondisian udara merupakan salah satu aplikasi penting dari teknologi refrigerasi. Teknologi ini dapat menghasilkan dua hal yang diperlukan dalam pengkondisian udara, yaitu pendinginan dan pemanasan. Pengkondisian udara adalah usaha untuk mengatur temperatur dan kelembaban udara agar menghasilkan kenyamanan termal bagi manusia. Kebutuhan akan pendingin dalam suatu ruangan sangat dibutuhkan untuk menimbulkan rasa nyaman ketika sedang berada didalam ruangan tersebut. Kondisi didalam maupun luar ruangan sangat mempengaruhi

kebutuhan mesin pendingin yang tersedia. Pada tower Universitas Mercu Buana memiliki kapasitas unit pendingin atau AC sebanyak 4 unit, dimana mesin tersebut harus mencukupi kapasitas beban pendingin yang ditanggung dalam masing-masing lantai tersebut. Untuk mengetahui beban pendingin yang ditanggung pada lantai tersebut, maka dilakukan analisa perhitungan beban pendingin agar dapat diketahui jumlah unit pendingin yang diperlukan untuk mencukupi pendinginan pada lantai-lantai tersebut.

Metode Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk mencari total beban pendingin yang dihasilkan dalam satu ruangan. Metode yang dipakai penulis adalah dengan cara perhitungan manual dengan rumus-rumus yang sudah tersedia, dengan membaca grafik maupun melihat atau membaca tabel yang ada didalam referensi dari buku-buku. Teknik pengumpulan data yang dipakai penulis adalah dengan menggunakan metode wawancara dengan bagian teknisi dan bagian gedung, mengamati langsung atau terjun langsung ke tempat yang akan diamati, asistensi dengan dosen pembimbing, dan studi pustaka untuk menambah referensi bahan-bahan teori yang mendukung atau yang dipakai penulis yang berkaitan dengan judul maupun bahan atau tema dari Jurnal Penelitian ini.

Diagram Alir



II. LANDASAN TEORI

Hukum-Hukum Termodinamika

1. Hukum Termodinamika ke Nol
Menyatakan bahwa dua sistem dalam keadaan setimbang dengan sistem ketiga, maka ketiga sistem tersebut saling setimbang satu sama lain

2. Hukum Termodinamika Pertama
Menyatakan bahwa perubahan energi dalam satu sistem termodinamika tertutup sama dengan total dari jumlah energi kalor yang disuplai kedalam sistem dan kerja.
3. Hukum Termodinamika Kedua
Menyatakan bahwa total entropi dari suatu sistem termodinamika terisolasi cenderung untuk meningkat atau mendekati nilai maksimum.
4. Hukum Termodinamika Ketiga
Menyatakan bahwa pada saat suatu sistem mencapai temperatur nol absolut, semua proses akan berhenti dan entropi sistem akan mendekati nilai minimum.

Siklus Termodinamika

Siklus termodinamika adalah serangkaian proses termodinamika mentransfer panas dan kerja dalam berbagai keadaan tekanan, temperatur, dan keadaan lainnya. Hukum pertama termodinamika menyebutkan bahwa jumlah panas yang masuk setara dengan jumlah panas yang keluar. Jadi pada akhir siklus, semua sifat akan memiliki nilai yang sama dengan kondisi awal. Proses ini menjadi konsep yang penting karena prosesnya terjadi secara berulang-ulang dan berlanjut.

Dasar Pendinginan Ruangan

Proses pendinginan ruangan merupakan hasil dari efek pendinginan dari sistem refrigerasi. Dalam suatu siklus refrigerasi dapat menghasilkan efek pendinginan dan pemanasan. Efek pendinginan inilah yang kemudian dikembangkan dan dimanfaatkan untuk pendinginan ruangan. Suatu sistem refrigerasi terdiri dari 4 komponen utama, yaitu evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi.

Pengkondisian Udara pada Bangunan

Kebanyakan unit pengkondisian udara digunakan untuk kenyamanan, yaitu untuk menciptakan suatu kondisi yang nyaman bagi penghuni ruangan. Ruangan yang dikondisikan menggunakan satu atau lebih sistem saluran udara segar dan udara balik, dapat juga dalam bentuk aliran air panas atau dingin melalui pipa penukar kalor (*heat exchanger*) yang terdapat didalam ruangan tersebut.

Beban Pendinginan Ruang

Bangunan didirikan untuk mendapatkan perlindungan dan lingkungan dalam yang aman dan nyaman, sehingga penghuninya terdindar dari keadaan luar yang berubah-ubah. Ruang yang berkondisi interior yang baik dan murah dalam perawatannya adalah keinginan atau kriteria yang penting dari suatu rancangan bangunan. Besarnya efek pendinginan yang dihasilkan dari mesin pendingin tergantung dari beban-beban kalor yang ada pada ruangan. Untuk dapat merancang dan memilih peralatan mesin pendingin sehingga sesuai dengan kebutuhan pendinginan ruangan, beban kalor harus dihitung secara akurat. Perhitungan beban kalor ruang, terdapat 3 sumber kalor, yaitu beban kalor dari luar, beban kalor dari dalam, dan beban kalor lain. Dari ketiga sumber kalor tersebut dapat dikelompokkan dalam 2 jenis kalor, yaitu: kalor sensibel dan kalor laten.

Beban Kalor dari Luar

Beban jenis ini timbul karena akibat terjadinya perpindahan kalor dari luar akibat sinar matahari ke dalam ruang terkondisi melalui atap, dinding dan lantai. Dimana perpindahan panas yang terjadi secara konduksi dan radiasi. Yang termasuk beban kalor dari luar diantaranya:

- Beban kalor melalui dinding/atap
Dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q = A \times K \times \text{ETD} \dots\dots\dots (2.1)^{[1]}$$

Dimana:

Q = Panas yang mengalir (kcal/jam)

K = Koefisien transmisi kalor dari dinding/atap (kcal/m² jam °C)

A = Luas dinding/atap (m²)

ETD = Equivalent Temperature Difference (°C)

Nilai K dapat dicari dengan tabel dibawah ini:

Tebal dinding (mm)		Koefisien transmisi kalor K (kcal/m ² jam°C)
Lapisan (biasa)	Bagian utama	
Atap luar menonjol ke luar 5 mm Adukan semen di luar 15 mm	Beton 12 mm	3,08
	150	2,89
	200	2,62
	Plester 3 mm	2,05
Tanpa lapisan	Batu bata 210 mm	1,62
	Beton 50 mm	4,75
	100 mm	4,06
	200 mm	3,15

*Kapasitas kalor per 1 m² tebal dinding = kalikan tebal setiap lapisan dinding der (Tabel 3.12) yang bersangkutan dan jumlahkan.

Sumber: Wiranto Arismunandar & Heizo Saito "Penyegaran Udara" (hal 45)

Koefisien transmisi kalor dan kapasitas kalor atap*

Tebal atap (mm)		Koefisien transmisi kalor K (kcal/m ² jam°C)	Kapasitas kalor per 1 m ² (kcal/m ² °C)
Kayu, asbestos semen, langit-langit (12 mm)A,B,D,F,H			
Adukan semen rapat air 20 mm	Tebal beton 100 mm	1,94 3,45	53,8 37,8
	Dengan langit-langit Tanpa langit-langit	1,81 3,78	77,9 81,9
Lapasan adukan semen 20 mm Beton under 60 mm Aspal rapat air 10 mm	Tebal beton 120 mm	1,28 2,46	63,4 67,4
	Tebal beton 150 mm	1,13 2,34	77,9 81,9

*Kapasitas kalor per 1 m² dinding atau atap = Kalikan tebal setiap lapisan dinding dengan kapasitas kalor (Tabel 3.12) yang bersangkutan dan jumlahkan.

Sumber: Wiranto Arismunandar & Heizo Saito "Penyegaran Udara" (hal 45)

Jika nilai K tidak ada dalam tabel, maka digunakan rumus berikut:

$$K = \frac{1}{R_T} \dots\dots\dots (2.2)^{[1]}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 \cdot \text{tebal } R_1 + R_n \cdot \text{tebal } R_n + R_{so} \dots\dots\dots (2.3)^{[1]}$$

Dimana:

R_T = Tahanan total (m² jam °C/kcal)

R_{si} = Tahanan perpindahan kalor dari lapisan permukaan dalam dinding

R_{so} = Tahanan perpindahan kalor dari lapisan permukaan luar dinding

R₁ ... R_n = Tahanan perpindahan kalor dari setiap lapisan dinding

Sedangkan nilai ETD dapat dicari dengan tabel dibawah ini:

Chapter 2 Weather Data and Design Conditions

Table 2.1C Climatic Conditions for Other Countries

Col. 1 Country and Station	Col. 2 Latitude and Longitude	Col. 3 Elev- tion, ft	Winter			Summer							
			Col. 4			Col. 5							
			Mean of Annual Ex- tremes	99%	97.5%	1%	2.5%	5%					
CUBA	Huananamo Bay.....	21	60	64	66	94	93	92	16	82	81	80	
	Havana.....	80	54	59	62	92	91	89	14	81	81	80	
CZECHOSLOVAKIA	Prague.....	662	3	4	9	88	85	83	16	66	65	64	
Denmark	Copenhagen.....	55	41N/12 33E	43	11	16	19	70	76	74	17	68	66
DOMINICAN REPUBLIC	Santo Domingo.....	18	29N/69 54W	57	61	63	65	92	90	88	16	81	80
Ecuador	Quayquil.....	2	10S/79 83W	20	61	64	65	92	91	89	20	80	79
	Quito.....	9446	30	36	39	73	72	71	32	63	62	62	
El Salvador	San Salvador.....	13	42N/89 13W	2238	51	54	56	98	96	95	32	77	76
ETHIOPIA	Addis Ababa.....	9	62N/38 45E	7753	35	39	41	84	82	81	28	66	65
	Asmara.....	15	17N/38 53E	7628	36	40	42	83	81	80	27	65	64
FINLAND	Helsinki.....	60	10N/24 57E	30	-11	-7	-1	77	74	72	14	66	65
FRANCE	Lyon.....	45	42N/4 47E	938	-1	10	14	91	89	86	23	71	70
	Marseille.....	43	18N/5 23E	246	23	25	28	90	87	84	22	72	71
	Nantes.....	47	15N/1 54W	131	17	22	26	86	83	80	21	70	69
	Nice.....	43	42N/7 16E	39	31	34	37	87	85	83	15	73	72
	Paris.....	48	49N/2 20E	164	16	22	25	89	86	83	21	70	68
	Strasbourg.....	48	33N/7 46E	465	0	11	16	86	83	80	20	70	69
FRENCH GUIANA	Cayenne.....	4	56N/52 27W	30	69	71	72	92	91	90	17	83	82
GERMANY	Berlin.....	52	27N/13 18E	187	6	7	12	84	81	78	19	68	67
	Hamburg.....	53	33N/9 58E	56	10	12	16	80	76	73	13	68	65
	Hannover.....	52	34N/9 40E	561	7	10	20	82	78	75	17	67	65
	Mannheim.....	49	34N/8 28E	359	-2	8	11	87	83	82	18	71	69
	Munich.....	48	50N/11 54E	1720	1	5	9	86	83	80	18	68	64
GHANA	Accra.....	5	33N/0 12W	88	65	68	69	91	90	89	13	80	79
GIBRALTAR	Alcova.....	36	09N/5 22W	11	38	42	45	92	89	86	14	76	75
GREECE	Athens.....	37	58N/23 43E	351	29	33	36	96	93	91	18	72	71
	Thessaloniki.....	40	37N/22 57E	78	23	28	32	95	93	91	20	77	76
GREENLAND	Narsarsuaq.....	61	11N/45 25W	85	-23	-12	-8	66	63	61	20	56	54
GUATEMALA	Guatemala City.....	14	37N/90 31W	4855	45	48	51	83	82	81	24	69	68
GUYANA	Georgetown.....	6	60N/58 12W	6	70	72	73	89	88	87	11	80	79
HAI TI	Port au Prince.....	18	33N/72 20W	121	63	65	67	97	95	93	20	82	81
HONDURAS	Tegucigalpa.....	14	06N/87 13W	3094	44	47	50	89	87	85	28	73	72
HONG KONG	Hong Kong.....	22	18N/114 10E	109	43	48	50	92	91	90	11	81	80
HUNGARY	Budapest.....	47	31N/19 02E	394	8	10	14	90	86	84	21	72	71
ICELAND	Reykjavik.....	64	08N/21 56E	59	8	14	17	59	58	56	16	54	53
INDIA	Amritsar.....	29	02N/72 33E	163	49	52	56	100	107	105	28	80	79
	Bangalore.....	12	37N/77 37E	3021	53	56	58	96	94	93	26	75	74
	Bombay.....	18	54N/72 49E	27	62	65	67	96	94	92	13	82	81
	Calcutta.....	22	32N/88 20E	21	49	52	54	98	97	96	22	83	82
	Madras.....	13	04N/80 15E	41	64	66	104	102	101	19	84	83	
	New Delhi.....	28	35N/77 12E	703	35	39	41	110	108	107	30	79	78
INDONESIA	Djakarta.....	6	11S/106 50E	26	69	71	73	90	89	88	14	80	79
	Kupang.....	10	10S/123 34E	148	63	66	68	94	93	92	20	81	80
	Malassar.....	5	08S/119 28E	61	64	66	68	90	89	88	17	80	79
	Medan.....	3	35N/98 41E	77	66	69	71	92	91	90	17	81	80
	Palembang.....	3	08S/104 46E	20	67	70	71	92	91	90	17	80	79
	Surabaya.....	7	13S/112 43E	10	64	66	68	91	90	89	18	80	79

Sumber: Dr. William Rudoy "Cooling and Heating Load Calculation Manual" (hal 51)

➤ Beban kalor melalui radiasi matahari
Untuk mencari radiasi matahari tidak langsung dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$J_n = 1164 P^{\text{cosec } h} \dots\dots\dots (2.4)^{[1]}$$

$$J_h = 1164 P^{\text{cosec } h} \sin h \dots\dots\dots (2.5)^{[1]}$$

$$J_v = 1164 P^{\text{cosec } h} \cos h \dots\dots\dots (2.6)^{[1]}$$

$$J_\beta = 1164 P^{\text{cosec } h} \cos h \cos \beta \dots\dots (2.7)^{[1]}$$

Dimana:

J_n = radiasi matahari langsung pada bidang tegak lurus arah datangnya radiasi

J_h = radiasi matahari langsung pada bidang horizontal

J_v = radiasi matahari langsung pada bidang vertikal

J_β = radiasi matahari langsung pada bidang vertikal, tetapi pada posisi membuat sudut

samping β dari arah datangnya radiasi
1164 = konstanta panas matahari (kcal/m² jam)

P = permeabilitas atmosfer (0,6 – 0,75 pada

hari yang cerah)

h = ketinggian matahari (dinyatakan dalam derajat dan angka desimal)

Untuk mencari ketinggian matahari dan azimuth dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sin h = \sin \psi \sin \delta + \cos \psi \cos \delta \cos 15 \tau \dots\dots\dots (2.8)^{[2]}$$

$$\cos(A) = \frac{\sin h \cdot \sin \psi - \sin \delta}{\cos(h) \cdot \cos \psi} \dots\dots\dots (2.9)^{[2]}$$

Dimana :

A = azimuth matahari (tepat sebelah selatan adalah 0, kearah barat positif dan kearah

timur adalah negatif)

h = ketinggian matahari

ψ = kedudukan garis lintang (Lintang utara adalah positif dan lintang selatan adalah

negatif)

δ = deklinasi matahari

τ = saat penyinaran matahari

Untuk mencari nilai dari deklinasi matahari, digunakan rumus sebagai berikut:

$$\delta = 23,45^0 \sin \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right] \dots\dots (2.10)^{[2]}$$

Atau dengan rumus:

$$\delta = 23,45^0 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \dots\dots (2.11)^{[2]}$$

Dimana :

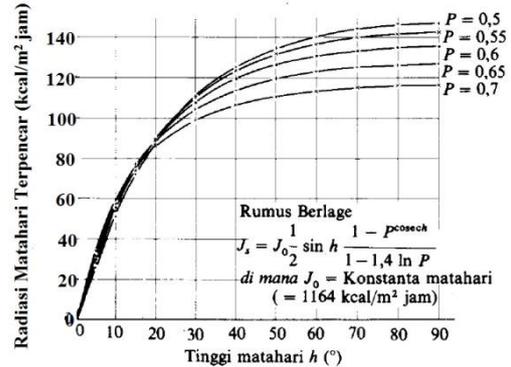
N= adalah bilangan dalam satu tahun, misalnya:

tanggal 1 januari, memiliki nilai N = 1

tanggal 2 januari, memiliki nilai N = 2

tanggal 26 juli, memiliki nilai N = 207
tanggal 31 desember, memiliki nilai N = 365

Untuk mencari nilai radiasi matahari tidak langsung dapat menggunakan grafik dibawah ini:



Grafik 2.1 Radiasi matahari terpancar
Sumber: Wiranto Arismunandar & Heizo Saito "Penyegaran Udara" (hal 41)

➤ Beban kalor oleh radiasi matahari melalui jendela

Dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$Q = \text{Luas Jendela} \times \text{jumlah radiasi matahari} \dots\dots\dots (2.12)^{[1]}$$

Dimana, untuk luas jendela menggunakan satuan (m²), dan untuk jumlah radiasi matahari (kcal/m² jam).

➤ Beban kalor dari udara infiltrasi dan ventilasi

Dapat menggunakan rumus berikut:

$$Q = \{(\text{volume ruangan} \times \text{jumlah penggantian ventilasi alamiah}) + \text{jumlah udara luar}\} \times \frac{0,24}{\text{volume spesifik}} \times \Delta t \text{ ruangan} \dots\dots\dots (2.13)^{[1]}$$

Untuk menentukan jumlah penggantian udara dalam ventilasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Jumlah penggantian ⑬.	
Rumah standar	1 kali
Rumah dengan banyak jendela	1,5-2 kali
Rumah, pintu dan jendela sering dibuka tutup	1,5-2 kali

Sumber: Wiranto Arismunandar & Heizo Saito "Penyegaran Udara" (hal 44)

Beban Kalor dari Dalam

➤ Beban kalor dari manusia

Besar panas yang dihasilkan manusia adalah sebagai berikut:

Beban Sensibel:

Beban pendingin sensibel penghuni (Watt) = perolehan per-orang x jumlah orang x CLF.....(2.14)^[1]

Dimana :

CLF = *Cooling Load Factor* (nilai CLF = 1,0)

Jika tidak diketahui jumlah penghuni dalam ruangan tersebut, dapat menggunakan tabel berikut:

Tabel 6. Ruang per-orang

Jenis Ruang	Penghuni
Rumah tinggal	2-6 penghuni
Kantor	10-15 m ² per-orang
Toko/warung	3-5 m ² per-orang
Sekolah	2,5 m ² per-orang
Ruang pertemuan	1,5 m ² per-orang

Sumber: Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, dan Supratman Hara. "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara" edisi kedua. (Hal. 68)

Untuk mengetahui beban-beban berdasarkan jenis kegiatannya, dapat menggunakan tabel berikut:

Tabel 5. Perolehan kalor dari penghuni

Kegiatan	Perolehan Kalor (W)	Perolehan Kalor Sensibel (%)
Tidur	70	75
Duduk, Tenang	100	60
Berdiri	150	50
Berjalan, 3 km/jam	305	35
Pekerjaan kantor	150	55
Mengajar	175	50
Warung/Toko pengecer	185	50
Industri	300-600	35

Sumber: Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, dan Supratman Hara. "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara" edisi kedua. (Hal. 68)

➤ Beban kalor dari penerangan
Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Untuk lampu neon:
Q = Total Watt x 1,25 (2.16)^[1]

Untuk lampu pijar:
Q = Total Watt (2.17)^[1]

Dimana:

Q = Jumlah panas (kW)

1,25 = Faktor beban dari ballast

➤ Beban kalor dari peralatan

Rumus yang digunakan adalah:

Q = Total Watt..... (2.18)^[1]

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Gedung

Gedung Tower Universitas Mercu Buana terletak di Jakarta Barat, daerah ini terletak di Jl. Meruya Selatan, Kebon Jeruk - Jakarta Barat 11650 yang terletak pada 6⁰ lintang selatan dan 106⁰ bujur timur. Tower Universitas Mercu Buana memiliki 8 lantai diantaranya, lantai *ground* merupakan tipe ruangan laboratorium komputer, lantai 1 merupakan *lobby* utama, lantai 2 sampai 4 merupakan ruang belajar, lantai 5 dan 6 merupakan ruang perpustakaan, dan pada lantai 7 merupakan ruang auditorium.

Dimensi Lantai

Luas lantai : 1125 m²

Panjang : 4500 cm : 45 m

Lebar : 2500 cm : 25 m

Tinggi Tembok : 360 cm : 3,6 m

Tinggi Ruangan : 283 cm : 2,83 m

Volume ruangan : 4050 m³

Jumlah Penerangan

Tabel 3.1 Data Lampu

DATA LAMPU					
No.	Lantai	Jenis Lampu		Total (Watt)	
		Lampu TL (@40 Watt)	Lampu SL (@23 Watt)	Lampu TL (@40 Watt)	Lampu SL (@23 Watt)
1.	5	36 unit	71 unit	1440	1633
2.	6	18 unit	90 unit	720	2070
Total		54 unit	161 unit		

Jumlah dan Jenis Peralatan

Tabel 3.2 Data Peralatan

DATA PERALATAN					
No.	Lantai	Jenis Peralatan			
		LCD (@200 Watt)	PC (@450 Watt)	Mesin Printer (@638 Watt)	Dispenser (@528 Watt)
1.	5	9		7	
2.	6		9	1	1
Total		9	9	8	1

Data Penghuni Ruangan

Dalam setiap aktifitas manusia tentunya mengeluarkan kalor dari dalam tubuhnya yang harus diperhitungkan dalam menghitung beban pendingin didalam ruangan. Rata-rata jumlah manusia yang mengunjungi perpustakaan lantai 5 dan lantai 6 berkisar antara 250-500 pengunjung dalam hitungan bulan, akan tetapi diasumsikan rata-rata pengunjung perpustakaan kurang lebih sekitar 350 orang perhari. Pada lantai 5 terdapat 10 karyawan, sedangkan pada lantai 6 terdapat 3 karyawan dan sisanya adalah jumlah terbanyak dalam satu hari.

Pembatas Ruangan

Sebagai pembatas ruangan, pada lantai 5 dan lantai 6 dibatasi oleh kaca yang mempunyai ketebalan yang sama yaitu 12 mm.

Perhitungan pada Lantai 5 dan Lantai 6

➤ Perhitungan beban kalor dari luar

- Melalui dinding

Dapat menggunakan rumus (2.1):

$$Q = 16200 \times 2,05 \times 27,22$$

$$Q = 903976,2 \text{ kcal/jam}$$

$$Q = 1051,32 \text{ kW}$$

Karena lantai 5 dan 6 memiliki struktur dinding dan dimensi yang sama, maka besar beban kalornya adalah sama, yaitu 1051,32 kW.

- Melalui radiasi matahari

Sebelum mencari radiasi matahari, terlebih dahulu mencari nilai deklinasi matahari pada tanggal 30 Juni 2013, yaitu memiliki nilai $N=181$, karena pada tanggal tersebut dianggap memiliki suhu yang tertinggi pada siang hari hingga mencapai 34°C , sedangkan untuk mencari nilai τ diambil jam yang memiliki panas maksimum, yaitu pada jam 11.00, 12.00, 12.30, 13.00, dan 13.30.

Mencari nilai seklisasi matahari digunakan rumus (2.10):

$$\delta = 23,45^{\circ} \sin\left[\frac{360}{365}(181 - 81)\right]$$

$$\delta = 23,45^{\circ} \sin[0,9863(100)]$$

$$\delta = 23,45^{\circ} \sin[98,630] \delta = 23,18^{\circ}$$

Untuk mencari nilai ketinggian matahari dan nilai azimuth matahari dapat digunakan rumus (2.8), (2.9), sedangkan radiasi matahari langsung dapat digunakan rumus (2.4), (2.5), (2.6), dan (2,7):

✓ Pada pukul 11.00

Untuk nilai: $\psi = -6$, $\tau = -1$ (pada pukul 11.00), $N = 181$

$$\sin h = [\sin(-6) \sin 23,18] + [\cos(-6) \cos 23,18 \cos 15 \cdot (-1)]$$

$$= -0,0411 + 0,8830$$

$$= 0,8419$$

$$h = 57,34^{\circ}$$

$\cos(A)$

$$= \frac{[\sin 57,34 \cdot \sin(-6)] - [\sin 23,18]}{\cos(57,34) \cdot \cos(-6)}$$

$$= \frac{-0,0880 - 0,3936}{0,5366}$$

$$\cos(A) = -0,8975$$

$$A = 153,83^{\circ}$$

$$J_n = 1164 (0,6)^{\text{cosech } 57,34}$$

$$J_n = 1164 (0,6)^{\frac{1}{\sin 57,34}}$$

$$J_n = 1164 (0,6)^{1,18}$$

$$J_n = 637,04 \text{ kcal/m}^2 \text{ jam} \quad J_h =$$

$$1164 (0,6)^{\frac{1}{\sin 57,34}} \sin 57,34$$

$$J_h = 1164 (0,6)^{1,18} 0,8418$$

$$J_h = 536,26 \text{ kcal/m}^2 \text{ jam} \quad J_v =$$

$$= 1164 (0,6)^{\frac{1}{57,34}} \cos 57,34$$

$$J_v = 1164 (0,6)^{0,017} 0,5396$$

$$J_v = 622,66 \text{ kcal/m}^2 \text{ jam}$$

$$J\beta = 1164 P^{\text{cosec } h} \cos h \cos \beta$$

$$\beta = A - 90$$

$$= 153,83 - 90$$

$$= 63,83^{\circ}$$

$J\beta$

$$= 1164 (0,6)^{\frac{1}{\sin 57,34}} \cos 57,34 \cos 63,83$$

$$J\beta = 1164 (0,6)^{1,18} 0,5396 \cdot 0,4410$$

$$J\beta = 151,593 \text{ kcal/m}^2 \text{ jam}$$

Untuk radiasi matahari langsung pada pukul 11.00 adalah:

$$= J_n + J_h + J_v + J\beta$$

$$= 1947,553 \text{ kcal/m}^2 \text{ jam}$$

Untuk radiasi matahari tidak langsung menurut grafik adalah: 128 kcal/m²/jam

Untuk radiasi matahari total pada pukul 11.00 adalah: = 2075,553 kcal/m²/jam

Untuk hasil seluruh perhitungan pada pukul 11.00, 12.00, 12.30, 13.00, dan 13.30 ada pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.3 Hasil Perolehan Perhitungan Radiasi Matahari

Pukul	9	11	12	12.30	13	13.30
T	-3	-1	0	0,5	1	1,5
h (°)	37,25 ⁰	57,34 ⁰	60,82 ⁰	59,91 ⁰	57,34 ⁰	53,40 ⁰
A (°)	125,24 ⁰	153,83 ⁰	180 ⁰	166,09 ⁰	153,83 ⁰	143,75 ⁰
β (°)	35,74 ⁰	63,83 ⁰	90 ⁰	76,09 ⁰	63,83 ⁰	53,75 ⁰
Jn (kcal/m ² jam)	501,07	637,04	650,19	646,88	637,04	617,81
Jh (kcal/m ² jam)	303,25	536,27	567,62	564,73	536,27	496,97
Jv (kcal/m ² jam)	398,85	622,66	322,30	320,66	622,66	367,78
Jβ (kcal/m ² jam)	325,74	151,59	0	77,05	151,59	217,47
Radiasi Matahari Langsung (kcal/m ² jam)	1428,91	1947,55	1540,11	1609,32	1947,55	1700,03
Radiasi Matahari Tidak langsung (kcal/m ² jam)	115	128	130	129	128	127
Radiasi Matahari Total (kcal/m ² jam)	1543,91	2075,55	1670,11	1738,32	2075,55	1827,03

Menurut perhitungan diatas, maka didapat nilai radiasi matahari total yang memiliki ketinggian matahari yang paling tinggi dan beban puncak yaitu, pada pukul 12.00 dengan ketinggian matahari hingga mencapai 180⁰ adalah 1670,11 kcal/m² jam.

- Melalui jendela
Dapat menggunakan rumus (2.12):
 $Q = 162 \times 1670,11$
 $Q = 314,65 \text{ kW}$
Karena lantai 5 dan lantai 6 memiliki struktur jendela dan ukuran lantai yang sama maka besar beban kalor oleh radiasi matahari melalui jendela adalah sama, yaitu 314,65 kW.
- Melalui udara infiltrasi
✓ Pada lantai 5:
Menggunakan rumus (2.13):
Jumlah penghuni didalam ruangan adalah 360 orang, sehingga nilai jumlah udara luar adalah sebagai berikut:
 - ❖ $18 \text{ m}^3/\text{jam} \times 360 \text{ orang} = 6480 \text{ m}^3/\text{jam}$
 - ❖ Luas volume ruangan = 4050 m³
$$Q = \{(4050 \times 1,5) + 6480 \times \frac{0,24}{0,893}\} \times 26$$

$$= (6075 + 6480) \times 6,98$$

$$Q = 101,91 \text{ kW}$$
- ✓ Pada lantai 6: rumus (2.13)

Jumlah penghuni didalam ruangan adalah 353 orang, sehingga nilai jumlah udara luar adalah sebagai berikut:

- ❖ $18 \text{ m}^3/\text{jam} \times 353 \text{ orang} = 6354 \text{ m}^3/\text{jam}$

- ❖ Luas volume ruangan = 4050 m³

$$Q = \{(4050 \times 1,5) + 6354\} \times \frac{0,24}{0,893} \times 26$$

$$= (6075 + 6354) \times 6,98$$

$$Q = 100,89 \text{ kW}$$

- Perhitungan beban kalor dari dalam
 - Melalui manusia
 - ✓ Pada lantai 5: rumus (2.14)

Beban sensibel
= $100 \times 360 \times 0,60$
= 21,6 kW

Beban Laten
= *perolehan per-orang x jumlah orang*
= 100×360
= 36 kW

- ✓ Pada lantai 6: (rumus (2.14))

Beban Sensibel
= $100 \times 353 \times 0,60$
= 21,18 kW

Beban Laten
= *perolehan per-orang x jumlah orang*
= 100×353
= 35,3 kW

- Melalui penerangan
 - ✓ Pada lantai 5: rumus (2.16)
Untuk lampu SL yang memiliki daya @23 Watt pada lantai 5 terdapat 71 unit.

$$Q_{(5,23)} = 71 \times 23 \times 1,25$$

$$Q_{(5,23)} = 2,041 \text{ kW}$$

Untuk lampu TL yang memiliki daya @40 Watt pada lantai 5 terdapat 36 unit.

$$Q_{(5,40)} = 36 \times 40 \times 1,25$$

$$Q_{(5,40)} = 1,8 \text{ kW}$$

Jadi, total panas lampu yang dihasilkan pada lantai 5 dengan daya 23 Watt dan 40 Watt adalah:

$$Q_{\text{Total lantai 5}} = 2,041 + 1,8$$

$$Q_{\text{Total lantai 5}} = 3,841 \text{ kW}$$

- ✓ Pada Lantai 6: rumus (2.16)

Untuk lampu SL yang memiliki daya @23 Watt pada lantai 5 terdapat 71 unit.

$$Q_{(5,23)} = 71 \times 23 \times 1,25$$

$$Q_{(5,23)} = 2,041 \text{ kW}$$

Untuk lampu TL yang memiliki daya @40 Watt pada lantai 5 terdapat 36 unit.

$$Q_{(5,40)} = 36 \times 40 \times 1,25$$

$$Q_{(5,40)} = 1,8 \text{ kW}$$

Jadi, total panas lampu yang dihasilkan pada lantai 5 dengan daya 23 Watt dan 40 Watt adalah:

$$Q_{\text{Total lantai 5}} = 2,041 + 1,8$$

$$Q_{\text{Total lantai 5}} = 3,841 \text{ kW}$$

- Melalui peralatan
 - ✓ Pada lantai 5: rumus (2.18)
LCD berjumlah 9 unit @200 Watt = 1800 Watt
 $Q_{\text{LCD}} = 1,8 \text{ kW}$
Mesin printer berjumlah 7 unit @638 Watt = 4466 Watt
 $Q_{\text{Mesin Printer}} = 4,466 \text{ kW}$
Total daya peralatan pada lantai 5
 $Q_{\text{Total}} = Q_{\text{LCD}} + Q_{\text{Mesin Printer}}$
 $Q_{\text{Total}} = 1,8 + 4,466$
 $Q_{\text{Total}} = 6,266 \text{ kW}$
 - ✓ Pada Lantai 6: rumus (2.18)
PC berjumlah 9 unit @450 Watt = 1800 Watt
 $Q_{\text{PC}} = 1,8 \text{ kW}$
Mesin printer berjumlah 1 unit @638 Watt = 638 Watt
 $Q_{\text{Mesin Printer}} = 0,638 \text{ kW}$
Dispenser berjumlah 1 unit @528 Watt
 $Q_{\text{Dispenser}} = 0,528 \text{ kW}$
Total daya peralatan pada lantai 6
 $Q_{\text{Total}} = Q_{\text{PC}} + Q_{\text{Mesin Printer}} + Q_{\text{Dispenser}}$
 $Q_{\text{Total}} = 1,8 + 0,638 + 0,528$
 $Q_{\text{Total}} = 2,966 \text{ kW}$

Jumlah Total Beban Ruang Lantai 5

Tabel 3.4 Total Keseluruhan Beban Ruang Lantai 5

No.	Keterangan	Jumlah Beban Kalor (kW)
1.	Beban kalor melalui dinding pada lantai 5	1051,32 kW
2.	Beban kalor radiasi matahari melalui jendela pada lantai 5	314,65 kW
3.	Beban kalor melalui infiltrasi/ventilasi pada lantai 5	101,91 kW
Beban kalor dari manusia pada lantai 5:		
4.	• Beban sensibel	21,6 kW
	• Beban laten	36 kW
5.	Beban kalor dari penerangan pada lantai 5	3,841 kW
6.	Beban kalor dari peralatan pada lantai 5	6,266 kW
TOTAL BEBAN KESELURUHAN LANTAI 5		1535,587 kW

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka kapasitas mesin pendingin yang terdapat di Tower Universitas Lantai 5 adalah kurang, karena total beban pendingin yang ditanggung pada lantai 5 adalah sebesar 1535,587 kW pada kondisi maksimum, sedangkan kapasitas pendingin pada lantai tersebut hanya memiliki 4 unit AC Sentral sebesar 8 PK (21,10 kW).

Jumlah Total Beban Ruang Lantai 5

Tabel 3.5 Total Keseluruhan Beban Ruang Lantai 6

No.	Keterangan	Jumlah Beban Kalor (kW)
1.	Beban kalor melalui dinding pada lantai 6	1051,32 kW
2.	Beban kalor radiasi matahari melalui jendela pada lantai 6	314,65 kW
3.	Beban kalor melalui infiltrasi/ventilasi pada lantai 6	101,91 kW
Beban kalor dari manusia pada lantai 6:		
4.	• Beban sensibel	21,18 kW
	• Beban laten	35,3 kW
5.	Beban kalor dari penerangan pada lantai 6	3,487 kW
6.	Beban kalor dari peralatan pada lantai 6	2,966 kW
TOTAL BEBAN KESELURUHAN LANTAI 6		1530,813 kW

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka kapasitas mesin pendingin yang terdapat di Tower Universitas Lantai 6 adalah kurang, karena total beban pendingin yang ditanggung pada lantai 6 adalah sebesar 1530,813 kW pada kondisi maksimum, sedangkan kapasitas pendingin pada lantai tersebut hanya memiliki 4 unit AC Sentral sebesar 8 PK (21,10 kW).

IV. PENUTUP Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulannya, yaitu kapasitas mesin pendingin yang terdapat di Tower Universitas Mercu Buana masih kurang mencukupi, karena pada lantai 5 dan lantai 6 hanya memiliki mesin pendingin atau AC sebnyak 4 unit sebesar 8 PK (21,10 kW), sedangkan beban pendingin yang ditanggung pada lantai 5 (pada kondisi maksimum) adalah sebesar 1535,587 kW dan pada lantai 6 (pada kondisi maksimum) adalah sebesar 1530,813 kW.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASHRAE Research. 2006. *ASHRAE Handbook: Refrigeration*. Inch Pound Edition.
2. Astu Pudjanarso, dan Jati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Edisi Revisi. Yogyakarta: CV Andi Offset.
3. Bell, Arthur A. 2008. *HVAC Equation, Data, And Rules of Thumb*. Second Edition. United States of America: The McGraw-Hill Companies
4. Jordan, Richard C.,. 1964. *Refrigeration and Air Conditioning*. New Jersey: Prentice-Hall.
5. Kreider, Jan F.,. 1994. *Heating and Cooling of Buildings*. Singapore: McGraw Hill Book Co.
6. Sapto Widodo dan Syamsuri Hasan. 2008. *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara*. Jilid 2. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
7. Stoecker, Wilbert F., Jones, Jerold W., dan Supratman Hara. 1994. *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*. Edisi kedua. Jakarta: PT. Erlangga.
8. Quiston, Mc., Parker., and Spitler. 2005. *Heating, Ventilating, And Air Conditioning, Analysis and Design*. Sixth Edition. United States of America : John Wiley & Sons, Inc.
9. Wang, Shan K. 1993. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. New York: Mc-Graw Hill.
10. Wiranto Arismunandar, and Heizo Saito. 1995. *Penyegaran Udara*. Cetakan keempat. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

DAFTAR ACUAN

1. Pusat Pengembangan Bahan Ajar – UMB - Utilitas – Dr. Ir. M. Syarif Hidayat M. Arch
2. <http://soal-olim-astro.blogspot.com/2013/06/mencari-deklinasi-matahari.html>