

ANALISA BEBAN PENDINGIN RUANGAN AC RUANG AUDITORIUM GEDUNG PUSAT LANTAI 7 UNIVERSITAS PGRI SEMARANG

Ananta Ramadhani Saputra^(1*), Slamet Spuriyadi⁽¹⁾ dan Irna Farikhah⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang

^(*)E-mail *Corresponding Author* : anantaramadhani70@gmail.com

Abstrak

Ruang Auditorium di Gedung Pusat Lantai 7 Universitas PGRI Semarang sering digunakan untuk berbagai kegiatan akademik dan non-akademik, sehingga analisis beban pendingin sangat penting untuk menjaga kenyamanan suhu dan kelembaban ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas pendinginan yang diperlukan di auditorium. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data melalui pengukuran langsung, termasuk jumlah penghuni, peralatan elektronik, dan ukuran ruangan. Beban pendingin dihitung dengan mempertimbangkan beban sensible dan laten, beban sensible diukur berdasarkan suhu dan jumlah peralatan, sedangkan beban laten dihitung berdasarkan kelembaban udara. Penelitian ini telah mengidentifikasi total beban pendinginan pada ruang Auditorium Gedung Pusat lantai 7 Universitas PGRI Semarang, yaitu sebesar 115.155,501 Btu/hr. Beban pendinginan tersebut terdiri dari beban sensible sebesar 82.381,608 Btu/hr dan beban laten sebesar 32.773,893 Btu/hr. Beban pendinginan ini mencakup berbagai faktor, termasuk beban internal dari penghuni, peralatan elektronik, dan penerangan. Beban eksternal dari radiasi kaca, dinding, lantai, atap, dan ventilasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas AC yang ada saat ini perlu ditinjau kembali untuk memastikan kemampuan dalam menciptakan suhu dan kelembaban yang ideal di ruangan.

Kata Kunci: Ruang Auditorium, Pendingin, suhu.

Abstract

The Auditorium Room on the 7th Floor of the Central Building at Universitas PGRI Semarang is frequently used for various academic and non-academic activities, making cooling load analysis essential to maintain room temperature and humidity comfort. This study aims to determine the cooling capacity required in the auditorium. The methods employed include direct data collection through measurements, such as the number of occupants, electronic equipment, and room dimensions. Cooling loads were calculated by considering sensible and latent loads; sensible loads were measured based on temperature and equipment quantity, while latent loads were calculated based on air humidity. This study identified the total cooling load for the Auditorium Room on the 7th floor of the Central Building at Universitas PGRI Semarang as 115,155.501 Btu/hr. This cooling load consists of 82,381.608 Btu/hr of sensible load and 32,773.893 Btu/hr of latent load. The cooling load includes various factors, such as: Internal loads from occupants, electronic equipment, and lighting. External loads from glass radiation, walls, floors, roofs, and ventilation. The analysis results indicate that the current AC capacity needs to be reassessed to ensure its capability to achieve ideal room temperature and humidity.

Keywords: Auditorium Room, Cooling, Temperature, Humidity

1 PENDAHULUAN

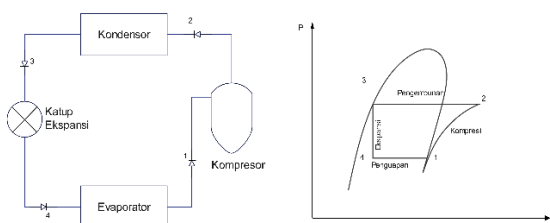
Pada kondisi suhu lingkungan rendah, manusia akan berusaha menghangatkan atau membakar lebih banyak panas untuk menghangatkan dirinya. Begitu pula jika seseorang berada pada ruangan dengan kondisi suhu udara yang tinggi maka akan mengakibatkan orang tersebut menjadi kurang nyaman dan tidak fokus, sehingga diperlukan peralatan pengkondisian udara untuk mencapai suhu dan kelembaban yang ideal agar dapat tercipta rasa nyaman [1]. Spesifikasi beban pendingin atau *chiller*

pada ruang Auditorium Gedung Pusat lantai 7 UPGRIS saat ini memerlukan peninjauan kembali terhadap distribusi udara pendingin pada ruangan karena banyaknya alat elektronik dan penghuni ruangan serta besar kecilnya AC. Oleh karena itu, ruangan harus diperhatikan untuk mencegah beban pendinginan yang tidak mencukupi, sehingga tidak mungkin mencapai suhu dan kelembaban yang diinginkan. Ruang Auditorium UPGRIS mempunyai 10 unit AC. AC tersebut harus mampu menutupi jumlah pendinginan di dalam ruangan. Untuk menghitung beban pendinginan yang ditanggung oleh

ruang Auditorium Gedung Pusat lantai 7 UPGRIS, dilakukan analisis perhitungan beban pendinginan untuk mengetahui jumlah unit pendingin yang diperlukan untuk memberikan pendinginan yang cukup pada Ruang Auditorium UPGRIS. Saat ini beban pendingin atau spesifikasi mesin pendingin yang ada di ruang Auditorium yang berlokasi di Gedung Pusat lantai 7 Universitas PGRI Semarang, perlu dikaji ulang dikarenakan untuk efisiensi kenyamanan penghuni yang ada di ruangan tersebut. Penghematan energi dapat dicapai dengan penggunaan energi secara efisien dimana manfaat yang sama diperoleh dengan menggunakan energi lebih sedikit, ataupun dengan mengurangi konsumsi dan kegiatan yang menggunakan energi. Penghematan energi dapat menyebabkan berkurangnya biaya, serta meningkatnya nilai lingkungan [2].

2 METODOLOGI

Ruangan Auditorium adalah tempat yang digunakan untuk tempat berkumpulnya suatu acara dengan massa yang besar. Sistem pengkondisian udara ini diperlukan untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya sehingga udara dalam ruangan atau gedung dapat terjaga kualitasnya dan mencapai kondisi nyaman bagi orang yang berada di ruangan tersebut [3]. Pengkondisian udara pada umumnya yaitu untuk kenyamanan. Menyegarkan udara dari ruangan untuk memberikan kenyamanan bagi orang yang melakukan kegiatan tertentu. Proses pengkondisian udara yang ada pada ruangan (dengan temperatur dan kelembaban lingkungan) akan dihisap oleh alat pengkondisi udara untuk kemudian udara ruangan yang dihisap akan dicampur dengan udara luar, dan akan didinginkan oleh koil pendingin, sehingga diperoleh temperatur udara sesuai dengan yang dikehendaki. Udara yang telah dikondisikan akan menyerap kalor sensibel dan kalor laten yang ada didalam ruangan. Dalam hal ini kalor sensibel dan kalor laten merupakan beban kalor ruangan. Komponen-komponen utama sistem pendingin biasanya terdiri dari sebagai berikut: Kompresor (*Compressor*), Kondensor (*Condensor*), Katup ekspansi atau pipakapiler (*Expansion Valve*), dan Evaporator (*Cooling Coil*) [3]. Keempat komponen diatas merupakan komponen Mesin refrigerasi Kompresi Uap, adapun siklus kerja mesin refrigerasi kompresi uap seperti digambarkan pada Skematik dan diagram P-h di bawah ini.



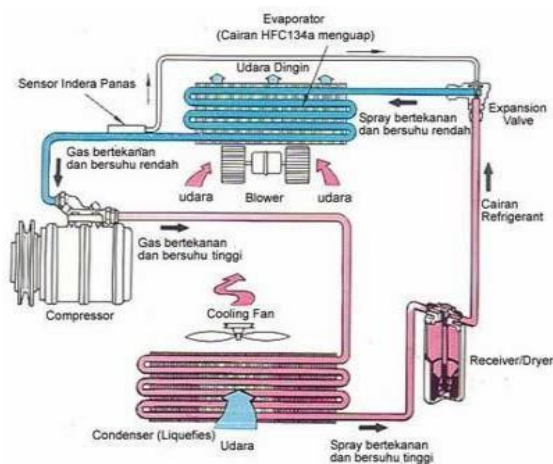
Gambar 1. Siklus pendingin

Gambar 1 siklus pendingin dapat disajikan dalam beberapa proses anatara lain: (1) Proses 1-2: refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian di Kompresikan dengan tekanan yang tinggi (tekanan kondensor). Proses kompresi ini berlangsung secara isentropik (adiabatik reversibel). (2) Proses 2-3: setelah mengalami proses kompresi, refrigeran berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi dan masuk bagian kondesor, refrigeran akan membuang panas ke lingkungan sehingga temperatur turun dan menjadi cair. (3) Proses 3-4: refrigeran dalam wujud cair jenuh bertekanan tinggi mengalir melalui alat ekspansi dan terjadi proses ekspansi dimana tekanan refrigeran akan diturunkan melalui proses tersebut dan kemudian masuk ke dalam evaporator. (4) Proses 4-1: refrigeran yang keluar dari ekspansi mempunyai temperatur yang rendah. Refrigeran tersebut akan masuk ke evaporator untuk menyerap kalor dari ruangan yang akan didinginkan. Proses penyerapan kalor menyebabkan temperatur refrigeran naik dan berubah menjadi uap. Selanjutnya refrigeran berfase uap akan masuk kembali ke kompresor [4].

Air Conditioning (AC) tidak hanya berfungsi untuk memberikan perasaan dingin tetapi juga memberikan rasa kenyamanan yaitu suatu proses perlakuan termodinamik terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya [5].

Prinsip Kerja Pendingin

Ketika AC mulai dinyalakan, maka kompresor yang ada pada sistem pendingin akan mulai bekerja memampatkan fluida kerja (*refrigerant*), jadi refrigerant yang masuk ke dalam kompresor dialirkan dan dimampatkan di kondensor. Pada bagian kondenser refrigerant yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigerant fase uap menjadi refrigerant fase cair. Refrigerant mengeluarkan kalor (kalor penguapan) yang terkandung di dalam refrigerant. Besar kalor yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondensor, tekanan refrigerant yang berada di dalam pipa-pipa kondensor relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigerant yang berada pada pipa-pipa evaporator. Setelah melewati kondensor, refrigerant melepaskan kalor penguapan dari fase uap ke fase cair. Refrigerant dilewatkan melalui katup ekspansi.



Gambar 2. Prinsip kerja pendingin (Sumber: <https://greatmovement.wordpress.com/2013/12/19/sciem-pendingin-ac/>)

Pada katup ekspansi, tekanan refrigerant diturunkan sehingga refrigerant berubah kondisi dari fase cair ke fase uap yang kemudian dialirkan ke evaporator, di dalam evaporator ini refrigerant akan berubah keadaannya dari fase cair ke fase uap. Perubahan fase ini disebabkan karena tekanan refrigerant dibuat sedemikian rupa, sehingga refrigerant setelah melewati katup ekspansi dan melalui evaporator tekanannya menjadi sangat turun. Hal tersebut secara praktis dapat dilakukan dengan jalan diameter pipa yang ada di evaporator relatif lebih besar jika dibandingkan dengan diameter pipa yang ada pada kondensor. Perubahan proses dari refrigerant fase cair ke refrigerant fase uap membutuhkan energi penguapan, dalam hal ini energi yang dipergunakan adalah energi yang berada di dalam substansi yang akan didinginkan. Dengan diambilnya energi yang diambil dalam substansi yang akan didinginkan maka enthalpi (banyaknya kalor yang ada dalam udara setiap satu satuan massa) substansi yang akan didinginkan akan menjadi turun, dengan turunnya enthalpi maka temperatur dari substansi yang akan didinginkan akan menjadi turun. Proses ini akan berubah terus-menerus sampai terjadi pendinginan yang sesuai dengan keinginan [6].

Metode Penelitian

Pengumpulan data merupakan kegiatan mencari data di lapangan yang akan digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian [7]. Metode pengumpulan data yang di gunakan untuk penelitian ini adalah:

1. Observasi langsung.
2. Merumuskan Permasalahan.
3. Menentukan Tujuan Penelitian
4. Studi literatur. Mengumpulkan serta mempelajari teori dari buku-buku atau jurnal yang berhubungan terhadap pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan ini.
5. Pengumpulan Data. Untuk pengambilan data diambil melalui pengukuran terhadap objek

Penelitian, dan melalui refrensi dari berbagai buku, jurnal ataupun literatur-litratur lain.

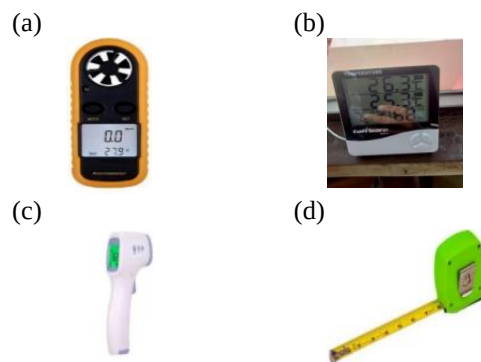
6. Hasil dan pembahasan
7. Analisa dan Kesimpulan

Data Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung Auditorium UPGRIS lantai 7 gedung Pusat Universitas PGRI Semarang dengan menghadap ke Selatan dengan letak geografis 6° LS. Untuk data pengukurannya antara lain :

1. Ruang berbentuk Balok. Panjang ruangan Auditorium 27,7 m. Lebar ruangan 26,12 m. Tinggi ruangan 7,09 m.
2. Untuk Luas Ruangan 723,52 m², dan volume ruangan 5129,78 m³.
3. Tembok berbahan Beton dan Gypsum, Luas tembok pertama sebelah pintu Timur dan pintu Barat yaitu 90,114 m². Luas tembok kedua sebelah Utara dan panggung sebelah selatan yaitu 95,565 m².
4. Pintu berbahan dari kaca berjumlah 10 pintu. Dengan luas 154 m².
5. Ventilasi kaca berjumlah 78 ventilasi, dengan luas 4,5 m².
6. Jendela kaca berjumlah 48 dengan luas 47,25 m².
7. Lantai berbahan keramik dengan panjang 27,7 m dan lebar 26,12 m. Luas lantai 723,52 m².
8. Pada aula terdapat panggung yang berbahan triplek dan juga atap berbahan plafon gypsum.
9. Peralatan yang ada di dalam auditorium antara lain : 9 Meja kayu, mimbar, stand, tiang bendera, 8 satir penyekat ruangan, 19 meja lipat, 12 kursi kayu dan 389 kursi besi.
10. Peralatan elektronik antara lain : Lampu Bolam 15 Watt 44 pcs, LCD proyektor 290 Watt 3 pcs, Lampu sorot 15 Watt 16 pcs, CCTV 63 Watt 2 pcs, Sound system 12 pcs, Amplifier 1 Kotak, Mixer 1 kotak, Lampu neon panjang 18 Watt 78 pcs.
11. Pendingin ruangan AC (DAIKIN) 6 PK, 55000 BTU ada 10 pcs.

Peralatan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. (a) Anemometer Digital, (b) Higrrometer termometer digital, (c) Thermometer Infrared, (d) Meteran

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil studi lapangan dan pengamatan pengukuran pada objek penelitian selanjutnya dihitung sebagai berikut:

Beban Internal

a. Beban Penghuni (Manusia)

Pengambilan data dilakukan pukul 12.00 WIB. Massa memasuki ruangan pukul 06.00-14.00. Untuk mengetahui beban penghuni kita dapat menggunakan persamaan :

$$Q_s = n \times \text{Sens.HG} \times \text{CLF} \quad (1)$$

$$Q_l = n \times \text{Lat.HG} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Q_s &= n \times \text{Sens.HG} \times \text{CLF} & Q_l &= n \times \text{Lat.HG} \\ &= 111 \times 210 \times 0,51 & &= 111 \times 140 \\ &= 11.888 \text{ Btu/hr} & &= 15.540 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total}} &= Q_s + Q_l \\ &= 11.888 + 15.540 \\ &= 27.428 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Keterangan :

n = jumlah penghuni di ruangan tersebut

Sens.HG (*Sensible Heat Gain*) = Merupakan panas yang secara langsung mengubah suhu suatu benda atau ruang. Table 1 (*ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation manual 1979*)

Lat.HG (*Laten Heat Gain*) = panas yang diserap atau dilepaskan selama perubahan fase tanpa perubahan suhu. Sumber dari Aktivitas tubuh seperti pernapasan dan keringat yang menghasilkan uap air. Table 1 (*ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation manual 1979*)

CLF (*Cooling Load Factor*) = Faktor beban pendinginan untuk manusia. Table 2 (*ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation manual 1979*)

Q_s = Beban Sensibel atau beban kalor yang memberikan dampak pada suhu atau temperatur (Btu/hr)

Q_l = Beban Laten atau beban kalor yang memberikan dampak kelembaban (Btu/hr)

Tabel 1. Tingkat perolehan panas dari penghuni ruangan ber AC

Aktivitas	tempat	Beban sensible Btu/h	Beban latent Btu/h
Duduk diam	Teater, auditorium	210	140
Duduk, pekerjaan ringan, mengetik	Kantor	255	255
Duduk, makan, jalan	Restaurant	255	325

Berjalan, pekerjaan mesin ringan	pabrik	345	695
Pekerjaan berat, mesin berat, mengangkat	pabrik	565	1035
Kerja berat, atlet olahraga	Ruangan olahraga	635	1165

Tabel 2. Tingkat perolehan panas dari penghuni ruangan ber AC

Waktu di dalam ruangan	Waktu setelah memasuki ruangan					
	1	2	3	4	5	6
2	0,49	0,56	0,17	0,13	0,10	0,08
4	0,49	0,59	0,66	0,71	0,27	0,21
6	0,50	0,60	0,67	0,72	0,76	0,79
8	0,51	0,61	0,67	0,72	0,76	0,80
10	0,53	0,62	0,69	0,74	0,77	0,80
12	0,55	0,64	0,70	0,75	0,79	0,81
14	0,58	0,66	0,72	0,77	0,80	0,83

b. Beban Penerangan

Tabel 3. Jenis lampu dan daya

Tipe Lampu	Lampu Menyala	Jumlah lampu	Fu	Daya (Watt)	Total Daya
Lampu Philips LED 15 W	36	44	0,818	15	660
Lampu Kamp Reflector LED TOSHIBA	62	78	0,795	18	1404
Lampu LED Track Light	4	16	0,25	15	240
TOTAL	102	138			2304 Watt

$$Q = 3,41 \times q_{\text{lamp}} \times F_u \times F_s \times \text{CLF} \quad (3)$$

Keterangan :

Q = Beban pendingin penerangan (Btu/hr)

3,41 = konversi watt ke Btu/h

q_{lamp} = Daya Input lampu (Watt)

F_u = Faktor dari lampu menyala/Presentase lampu menyala. Jika menyala semua maka nilainya 1. F_u = lampu menyala / jumlah lampu

F_s (Faktor *Ballast*) = adalah rasio yang menggambarkan efisiensi atau kinerja ballast dalam sistem pencahayaan. Ballast adalah perangkat yang mengatur arus listrik dalam lampu tertentu, seperti lampu fluorescent atau lampu gas lainnya, untuk memastikan lampu menyala dengan stabil tanpa kerusakan. efisiensi lampu, biasanya 1.0 untuk LED.

Nilai Faktor Ballast:

BF = 1.0: Ballast bekerja sempurna, menghasilkan output cahaya setara dengan nilai standar.

BF < 1.0: Ballast kurang efisien, menghasilkan output cahaya lebih rendah

BF > 1.0: Ballast meningkatkan output cahaya lampu, meskipun ini jarang terjadi.

CLF = Jam setelah penghuni masuk ruangan ber AC, total jam didalam ruangan 8 jam Tabel 4-6 (ASHRAE 1979)

Philips LED 15W

$$Q = 3,41 \times q_{\text{lamp}} \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

$$= 3,41 \times 660 \times 0,818 \times 1 \times 0,66 = 1215,05 \text{ Btu/hr}$$

TL LED Toshiba 18W

$$Q = 3,41 \times q_{\text{lamp}} \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

$$= 3,41 \times 1404 \times 0,795 \times 1 \times 0,66 = 2512,07 \text{ Btu/hr}$$

LED Track Light 15W

$$Q = 3,41 \times q_{\text{lamp}} \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

$$= 3,41 \times 240 \times 0,25 \times 1 \times 0,66 = 135,04 \text{ Btu/hr}$$

Total beban penerangan lampu

$$Q_{\text{total}} = 1215,05 + 2512,07 + 135,04 = 3862,16 \text{ Btu/hr}$$

Tabel 4. Klasifikasi lampu “a”

“a”	Fixture lampu dan ventilasi
0,45	Lampu tersembunyi atau lampu tanam yang tidak memiliki ventilasi, Laju aliran udara rendah kurang dari 0,5 cfm/ft ² , udara masuk dan keluar melalui Diffuser di bawah plafon.
0,55	Lampu tersembunyi atau lampu tanam yang tidak memiliki ventilasi, laju aliran udara sedang hingga tinggi lebih dari 0,5 cfm/ft ² , udara masuk dan keluar bisa dari bawah plafon atau juga melalui plenum/ruang atas plafon.
0,65	Lampu berventilasi, laju aliran udara sedang hingga tinggi lebih dari 0,5 cfm/ft ² , udara masuk dari langit langit atau dinding, udara buangan mengalir melewati lampu ke <i>ceiling space</i> .
0,75	Lampu berventilasi atau lampu gantung terbuka, udara masuk dari langit langit atau dinding, udara buangan dialirkan melalui saluran <i>ducting</i> lewat sekitar lampu.

Tabel 5. Klasifikasi lampu “b”

Sistem sirkulasi udara dalam ruangan dan jenis saluran masuk (supply) serta keluar (return) udara AC-nya	Kontruksi lantai dan berat lantai		
	Lantai kayu 2 inc, 10 lb/ft ²	Lantai beton 3 inc 40 lb/ft ²	Lantai beton 6 inc 75 lb/ft ²
Aliran udara AC ke ruangan sangat rendah, hanya cukup untuk mendinginkan ruangan tanpa cadangan aliran udara. Udara masuk dari lantai, dinding, atau	B	B	C

plafon Plafon (<i>ceiling space</i>) tidak berventilasi	A	B	C
Aliran udara masuk cukup sedang Udara tetap masuk dari lantai, dinding, atau plafon. Plafon masih tidak berventilasi			
Aliran udara tinggi yang disebabkan oleh udara primer unit induksi atau unit koil kipas, udara buangan mengalir ke <i>ceiling space</i>	A	B	C
Aliran udara sangat tinggi digunakan untuk meminimalkan gradient suhu ruangan, udara buangan dialirkan ke <i>ceiling space</i>	A	A	B

Tabel 6. Lama durasi pemakaian lampu selama 8 jam.

Klasifikasi “a”	Klasifikasi “b”	Beberapa jam setelah lampu dinyalakan				
		1	2	3	4	5
0,45	A	0,46	0,57	0,65	0,72	0,77
	B	0,51	0,56	0,61	0,65	0,68
	C	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65
	D	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63
0,55	A	0,56	0,65	0,72	0,77	0,82
	B	0,60	0,64	0,68	0,71	0,74
	C	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71
	D	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70
0,65	A	0,66	0,73	0,78	0,82	0,86
	B	0,69	0,72	0,75	0,77	0,80
	C	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78
	D	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77
0,75	A	0,76	0,80	0,84	0,87	0,90
	B	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85
	C	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84
	D	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83

c. Beban Peralatan Elektronik

Tabel 7. Jenis lampu dan daya

Jenis peralatan	Jumlah	Daya Input (Watt)	Total Daya (Watt)
LCD Proyektor	3	290	870
CCTV	2	63	126
Soundsystem dan perangkat	1 Set	5000	5000
Amplifier	1	150	150
TOTAL	5503	6146	

$$Q = 3,41 \times P \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

(4)

$$Q_1 = 3,41 \times P \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

$$= 3,41 \times 870 \times 1 \times 1 \times 0,58 = 1720,69 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_2 = 3,41 \times P \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

$$= 3,41 \times 126 \times 1 \times 1 \times 0,58 = 249,20 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_3 = 3,41 \times P \times F_u \times F_s \times \text{CLF}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,41 \times 5000 \times 1 \times 1 \times 0,58 = 9889 \text{ Btu/hr} \\
 Q_4 &= 3,41 \times P \times F_u \times F_s \times CLF \\
 &= 3,41 \times 150 \times 1 \times 1 \times 0,58 = 296,67 \text{ Btu/hr} \\
 Q_{\text{total}} &= 1720,69 + 249,20 + 9889 + 296,67 \\
 &= 12.155,56 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Q = Beban panas peralatan (Btu/hr)
 3,41 = konversi dari watt ke Btu/hr
 P = Total Daya Input (Watt)
 F_u = Faktor pemakaian (use factor). Diasumsikan 1 karena semua alat elektronik dipakai
 F_s = Faktor beban (Load factor). Diasumsikan 1 karena semua alat elektronik aktif
 CLF = (Cooling Load Factor) parameter yang digunakan dalam perhitungan beban pendinginan (cooling load) untuk suatu ruang atau bangunan. CLF mengacu pada fraksi panas yang diterima oleh ruangan (dari sumber panas seperti sinar matahari, peralatan, atau aktivitas manusia) yang benar-benar berkontribusi terhadap beban

$$\begin{aligned}
 Q_s &= A \times SC \times SHGF \times CLF \\
 &= 244,12 \text{ ft}^2 \times 0,54 \times 220 \times 0,39 \\
 &= 11.310,57 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

pendinginan pada waktu tertentu Tabel 8 (ASHRAE 1979)

Tabel 8. Waktu operasional penggunaan peralatan

Total Waktu saat pemakaian	Waktu setelah pemakaian					
	1	2	3	4	5	6
2	0,56	0,64	0,15	0,11	0,08	0,07
4	0,57	0,65	0,71	0,75	0,23	0,18
6	0,57	0,65	0,71	0,76	0,79	0,82
8	0,58	0,66	0,72	0,76	0,80	0,82
10	0,60	0,68	0,73	0,77	0,81	0,83
12	0,62	0,69	0,75	0,79	0,82	0,84
14	0,64	0,71	0,76	0,80	0,83	0,85

Beban Eksternal

a. Beban Radiasi Kaca

Kaca jendela single dengan luas permukaan 47,25 m² dan tebal kaca 3/8 in, dengan jenis penyerap panas (*heat absorbing*) dan menggunakan tirai Venesia warna medium (*medium colored inside venetion blinds*) didalam ruangan dan menghadap ke Timur yang terletak di 8⁰ LU Gedung pada bulan November 2024.

$$Q_{\text{kaca}} = A \times SC \times SHGF \times CLF \quad (5)$$

Keterangan :

Q_{kaca} = Beban pendingin kaca melalui radiasi

A = Luas Permukaan Kaca (ft²)

SC (*Shading Coeficient* / koefisien teduh kaca) = parameter yang digunakan dalam desain termal bangunan untuk menggambarkan efisiensi sebuah material kaca atau elemen shading dalam mengurangi panas matahari yang masuk ke dalam ruangan dibandingkan dengan kaca bening standar. SC berkisar antara 0 hingga 1 yaitu

SC = 1: Kaca atau material tidak mengurangi panas matahari sama sekali (setara kaca bening standar).

SC < 1: Material mampu mengurangi jumlah panas matahari yang diteruskan.

SC > 1: Tidak lazim, karena menunjukkan peningkatan aliran panas matahari. Tabel 11 (ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual 1979)

SHGF (*Solar Heat Gain Factor*) = ukuran total energi panas matahari yang diterima oleh permukaan tertentu, seperti jendela atau dinding, dalam kondisi standar pada lokasi, orientasi, dan waktu tertentu. Factor yang mempengaruhi SHGF antara lain orientasi permukaan, waktu dan musim, lokasi geografis. Tabel 12 (ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual 1979)

CLF = waktu pada beban pendingin Tabel 13 (ASHRAE Cooling and Heating Load Calculation Manual 1979)

$$\begin{aligned}
 Q_s &= A \times SC \times SHGF \times CLF \\
 &= 244,12 \text{ ft}^2 \times 0,54 \times 220 \times 0,39 \\
 &= 11.310,57 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Tabel 9. Koefisien teduh kaca

Jenis kaca	Ketebalan	Transmisi surya	Jenis Interior tirai	
			Tirai Horizontal	
			Medium	Light
Clear	3/32 to 1/4	0.87–0.80		
Clear	1/4 to 1/2	0.80–0.71	0,64	0,55
Clear	3/8	0.72		
Clear	1/2	0.67		
Clear Pattern	1/8 to 9/32	0.87–0.79		
Heat Absorbing Pattern	1/8	-		
Heat Absorbing	3/16 to 1/4	0.46		
Heat Absorbing Pattern	3/16 to 1/4	0.59–0.45	0,57	0,53
Tinted	1/8 to 3/32	0.44–0.30		
Heat Absorbing	3/8	0.34	0,54	0,52
Heat Absorbing or Pattern	1/2	0.24	0,42	0,40

Tabel 10. Ukuran total energi panas pada letak Geografis

Bulan	utara	Timur laut/ barat laut	Timur /Barat	Tenggara/ barat daya	Selatan
Jan	32	71	224	242	162
Feb	34	114	239	219	110
Mar	37	156	241	184	55
Apr	44	184	225	133	39
May	74	198	209	97	39
Jun	90	200	200	82	39
Jul	77	195	204	93	39
Aug	47	179	229	123	49
Sep	38	149	230	176	56
Oct	35	112	232	205	96
Nov	33	111	220	233	105
Dec	31	55	215	247	179

Tabel 11. Waktu pada beban pendingin kontruksi medium

Waktu	Utara	Timur laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat daya	Barat
2	0.12	0.02	0.03	0.03	0.13	0.03	0.03
3	0.10	0.02	0.03	0.03	0.12	0.03	0.03
4	0.08	0.02	0.02	0.02	0.10	0.02	0.02
5	0.06	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01
6	0.05	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01
7	0.22	0.14	0.10	0.08	0.14	0.11	0.10
8	0.28	0.25	0.21	0.18	0.22	0.24	0.23
9	0.33	0.33	0.35	0.31	0.28	0.33	0.34
10	0.37	0.30	0.42	0.39	0.31	0.37	0.44
11	0.42	0.26	0.44	0.43	0.33	0.32	0.48
12	0.47	0.24	0.35	0.43	0.34	0.28	0.39
13	0.51	0.23	0.29	0.39	0.34	0.25	0.33
14	0.53	0.21	0.24	0.33	0.35	0.22	0.28
15	0.54	0.20	0.21	0.28	0.36	0.20	0.24
16	0.52	0.19	0.18	0.25	0.35	0.18	0.21

b. Beban melalui dinding partisi

$$Q_{\text{dinding}} = U \times A \times \text{CLTD} \quad (6)$$

Keterangan :

Q = Beban transmisi melalui dinding partisi (Btu/hr)

A = Luas Partisi dinding (ft²)

U = Overall Heat Transfer Coefficient atau koefisien perpindahan panas keseluruhan (Btu/hr.ft².°F)

CLTD = (Cooling Loading Temperatur Difference) selisih antara suhu didalam dan diluar (°F)

Jika koefisien perpindahan panas belum diketahui, maka untuk mencarinya menggunakan rumus.

$$R = \frac{L}{k} = \frac{0,155}{0,18} = 0,861 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,861} = 1,16 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$$

Keterangan :

R = Hambatan termal (m².K/W)

L = Tebal dinding (m)

k = konduktivitas termal (W/m.K)

Jadi,

$$T_{\text{out}} = 89,6^{\circ}\text{F}$$

$$T_{\text{in}} = 79,88^{\circ}\text{F}$$

$$\text{CLTD} = T_{\text{out}} - T_{\text{in}} = 89,6 - 79,88 = 9,72^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{dinding}} &= U \times A \times \text{CLTD} \\ &= 1,16 \times 2057,2 \times 9,72 \\ &= 23.195,34 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Tabel 12. Konduktivitas termal pada bahan dinding partisi [8]

Material group or application	Density ρ kg/m ³	Design thermal conductivity λ W/(m.K)	Specific heat capacity c_p J/(kg.K)	Water vapour resistance factor	
				dry μ	wet
Plastics, solid					
Acrylic	1 050	0.20	1 500	10 000	10 000
Polycarbonates	1 200	0.20	1 200	5 000	5 000
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	2 200	0.25	1 000	10 000	10 000
Polyvinylchloride (PVC)	1 390	0.17	900	50 000	50 000
Polydimethylsiloxane (PDMS)	1 180	0.18	1 500	50 000	50 000
Polycarbonate	1 410	0.30	1 400	100 000	100 000
Polyamide (nylon)	1 150	0.25	1 600	50 000	50 000
Polyamide 6.6 with 25 % glass fibre	1 450	0.30	1 600	50 000	50 000
Polyethylene / polythene, high density	980	0.50	1 800	100 000	100 000
Polyethylene / polythene, low density	920	0.33	2 200	100 000	100 000
Polystyrene	1 050	0.16	1 300	100 000	100 000
Polypropylene	910	0.22	1 800	10 000	10 000
Polypropylene with 25 % glass fibre	1 200	0.25	1 800	10 000	10 000
Polyurethane (PU)	1 200	0.25	1 800	6 000	6 000
Epoxy resin	1 200	0.20	1 400	10 000	10 000
Phenolic resin	1 300	0.30	1 700	100 000	100 000
Polyester resin	1 400	0.19	1 200	10 000	10 000
Rubber					
Natural	910	0.13	1 100	1 000	10 000
Neoprene (polychloroprene)	1 240	0.23	2 140	1 000	10 000
Butyl (isobutene), solid / hot melt	1 200	0.24	1 400	200 000	200 000
Foam rubber	60 - 80	0.05	1 500	7 000	7 000
Hard rubber (ebonite), solid	1 200	0.17	1 400	∞	∞
Ethylene propylene diene monomer (EPDM)	1 150	0.25	1 000	6 000	6 000
Polyisobutylene	930	0.20	1 100	10 000	10 000
Polyulfide	1 700	0.40	1 000	10 000	10 000
Butadiene	980	0.25	1 000	100 000	100 000
Sealant materials, weather stripping and thermal breaks					
Silica gel (dessicant)	720	0.13	1 000	∞	∞
Silicone, pure	1 200	0.35	1 000	5 000	5 000
Silicone, filled	1 450	0.50	1 000	5 000	5 000
Silicone foam	750	0.12	1 000	10 000	10 000
Urethane / polyurethane (thermal break)	1 300	0.21	1 800	60	60
Polyvinylchloride (PVC) flexible, with 40 % softener	1 200	0.14	1 000	100 000	100 000
Elastomeric foam, flexible	60 - 80	0.05	1 500	10 000	10 000
Polyurethane (PU) foam	70	0.05	1 500	80	80
Polyethylene foam	70	0.05	2 300	100	100
Gypsum					
Gypsum	800	0.18	1 000	10	4
"	900	0.30	1 000	10	4
"	1 200	0.43	1 000	10	4
"	1 500	0.56	1 000	10	4
Gypsum plasterboard ⁽⁸⁾	900	0.25	1 000	10	4
Plasters and renders					
Gypsum insulating plaster	600	0.18	1 000	10	6
Gypsum plastering	1 000	0.40	1 000	10	6
"	1 300	0.57	1 000	10	6
Gypsum, sand	1 600	0.80	1 000	10	6
Lime, sand	1 600	0.80	1 000	10	6
Cement, sand	1 800	1.00	1 000	10	6

c. Beban melalui lantai

$$Q_{\text{lantai}} = U \times A \times \Delta T \quad (7)$$

Keterangan :

Q = Beban pendingin lantai (Btu/hr)

A = Luas permukaan lantai (ft²)

U = Overall Heat Transfer Coefficient atau koefisien perpindahan panas keseluruhan (Btu/hr.ft².°F)

ΔT = Perbedaan temperatur (°F)

$$\begin{aligned} R &= \frac{L}{k} \\ &= \frac{1,4}{1,3} \\ &= 1,08 \text{ m}^2.\text{K/W} \end{aligned}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,08} = 0,92 \text{ Btu/hr.ft}^2\text{.}^{\circ}\text{F}$$

$$T_{in} = 31,1^{\circ}\text{C} = 87,98^{\circ}\text{F}$$

$$T_{out} = 31,4^{\circ}\text{C} = 88,52^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} = 88,52 - 87,98 = 0,54^{\circ}\text{F}$$

Keterangan :

R = Resistansi termal ($\text{m}^2\text{.K/W}$)

L = Tebal lantai (m)

k = konduktivitas termal (W/m.K)

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_{lantai} &= U \times A \times \Delta T \\ &= 0,92 \times 7787,95 \times 0,54 \\ &= 3869,05 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

d. Beban radiasi melalui atap

$$Q_{atap} = U \times A \times \Delta T \quad (8)$$

Keterangan :

Q = Beban pendingin atap (Btu/hr)

A = Luas permukaan atap (ft^2)

U = *Overall Heat Transfer Coefficient* atau koefisien perpindahan panas keseluruhan ($\text{Btu/hr.ft}^2\text{.}^{\circ}\text{F}$)

ΔT = Perbedaan temperatur ($^{\circ}\text{F}$)

$$\begin{aligned} R &= \frac{L}{k} \\ &= \frac{1,8}{0,19} \\ &= 9,47 \text{ m}^2\text{.K/W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{R} \\ &= \frac{1}{9,47} \\ &= 0,11 \text{ Btu/hr.ft}^2\text{.}^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

Keterangan :

R = Resistansi termal ($\text{m}^2\text{.K/W}$)

L = Tebal atap (m)

k = konduktivitas termal (W/m.K)

Jadi,

$$T_{in} = 79,88^{\circ}\text{F}$$

$$T_{out} = 89,6^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} = 89,6 - 79,88 = 9,72^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} Q_{Atap} &= U \times A \times \Delta T \\ &= 0,11 \times 7787,95 \times 9,72 \\ &= 8326,88 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Tabel 13. Konduktivitas termal pada atap bahan gypsum [9]

Mixture	Density (kg/m^3)	Melting temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Thermal conductivity (W/mK)	Heat of fusion (kJ/kg)
Multi-finished gypsum	1250	–	0.19	–
Micronal DS 5040X PCM	300 – 400	23 ± 1	0.079	> 95
Water	997	0	–	340

e. Beban radiasi melalui ventilasi

Beban Sansible

$$Q_s = 1,1 \times \Delta T \times \text{CFM} \quad (10)$$

Keterangan :

Qs = Laju perpindahan kalor sensible udara ventilasi (Btu/hr)

1,1 = Konstanta untuk kapasitas panas jenis udara pada tekanan standart (Btu/hr)

CFM = (*Cubic Feet per Minute*) Volume aliran udara (ft^3/m)

ΔT = Perbedaan suhu antara udara luar dan udara dalam ruangan ($^{\circ}\text{F}$)

Untuk mencari CFM yaitu :

$$\begin{aligned} \text{CFM} &= A \times v \\ &= 0,484 \times 385,83 \\ &= 186,74 \text{ ft}^3/\text{m} \end{aligned}$$

Keterangan :

A = Luas area penampang ventilasi (ft^2)

v = kecepatan aliran udara (ft/min)

untuk mencari ΔT yaitu :

$$\Delta T = T_{out} - T_{in} = 95^{\circ}\text{F} - 93,74^{\circ}\text{F} = 1,26^{\circ}\text{F}$$

jadi,

$$\begin{aligned} Q_s &= 1,1 \times \Delta T \times \text{CFM} \\ &= 1,1 \times 1,26 \times 186,74 \\ &= 259,82 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Beban Laten

$$Q_l = 4840 \times \Delta W \times \text{CFM} \quad (11)$$

Keterangan :

Q_l = Laju perpindahan kalor laten pada ventilasi (Btu/hr)

4840 = Konstanta untuk menghitung energy kelembaban udara (Btu/hr)

ΔW = suhu kelembaban speseifik (lb/ft³)

CFM = Volume aliran udara (ft³/min)

suhu dalam ruangan 31,1°C dan suhu luar ruangan 31,4°C dengan RH (Kelembaban Relatif) yaitu 69% maka,

$$\begin{aligned} P_{v_{out}} &= RH \times P_{sat} \\ &= 0,69 \times 34,4 \\ &= 23,736 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } W_{out} &= 0,622 \times \frac{P_v}{P_a} \\ &= 0,622 \times \frac{23,736}{760} \\ &= 0,019 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{v_{in}} &= RH \times P_{sat} \\ &= 0,69 \times 33,6 \\ &= 23,184 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } W_{in} &= 0,622 \times \frac{P_v}{P_a} \\ &= 0,622 \times \frac{23,184}{760} \\ &= 0,018 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\Delta W = W_{out} - W_{in} = 0,019 - 0,018 = 0,001 \text{ lb/ft}^3$$

Keterangan :

P_v = Tekanan uap air (mmHg)

P_a = Tekanan atmosfir, standart nya 1013 hPa atau 760 mmHg (millimeter merkuri)

RH = Kelembaban Relatif (%) diubah menjadi desimal

P_{sat} = Tekanan uap jenuh (mmHg)

Jadi,

$$\begin{aligned} Q_l &= 4840 \times \Delta W \times \text{CFM} \\ &= 4840 \times 0,001 \times 186,74 \\ &= 903,82 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Beban Pendingin Total

Untuk beban pendingin total dibagi menjadi dua yaitu dari beban sensible RSHG (*Sensible Heat Gain*) dan beban latent RLHG (*Latent Heat Gain*).

Beban Sansible

RSHG adalah peningkatan panas sensitif yang terjadi dalam sebuah ruangan akibat berbagai faktor. Panas sensitif berhubungan dengan perubahan suhu udara tanpa melibatkan perubahan kelembaban udara. Dengan kata lain, RSHG mencerminkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu udara di dalam ruangan tanpa mempengaruhi kadar kelembabannya. Faktor-faktor yang menyebabkan RSHG: Radiasi matahari yang masuk ke dalam ruangan melalui jendela atau dinding. Peralatan elektronik yang menghasilkan panas, seperti komputer, lampu, dan alat lainnya. Penghuni ruangan, karena mereka menghasilkan panas melalui

proses metabolisme. Ventilasi udara luar yang masuk dengan suhu yang lebih tinggi daripada suhu yang diinginkan dalam ruangan

$$\begin{aligned} Q_{RSHG} &= Q_{\text{Sensible penghuni}} + Q_{\text{penerangan}} + Q_{\text{Sensible Elektronik}} + Q_{\text{radiasi kaca}} + Q_{\text{dinding partisi}} + Q_{\text{lantai}} + Q_{\text{atap}} + Q_{\text{Sensible ventilasi}} \\ &= 11.888 \text{ Btu/hr} + 3862,16 \text{ Btu/hr} + 12.155,56 \text{ Btu/hr} + 11.310,57 \text{ Btu/hr} + 23.195,34 \text{ Btu/hr} + 3869,05 \text{ Btu/hr} + 8326,88 \text{ Btu/hr} + 259,82 \text{ Btu/hr} \\ &= 74.867,38 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Beban Laten

RLHG adalah peningkatan panas laten yang terjadi dalam sebuah ruangan. Panas laten berhubungan dengan perubahan kelembaban udara, yang terjadi ketika udara mengandung lebih banyak uap air, menyebabkan kelembaban relatif menjadi tinggi. Beban ini dihitung berdasarkan jumlah uap air yang masuk ke dalam ruangan atau yang harus dihilangkan dari udara di dalam ruangan untuk mengurangi kelembaban. Faktor-faktor yang menyebabkan RLHG: Pernafasan dan keringat penghuni ruangan yang menghasilkan uap air (kelembaban), Peralatan elektronik, ventilasi udara.

$$\begin{aligned} Q_{RLHG} &= Q_{\text{Laten penghuni}} + Q_{\text{Laten ventilasi}} \\ &= 15.540 \text{ Btu/hr} + 903,82 \text{ Btu/hr} \\ &= 16.443,82 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Total Beban Keseluruhan

Untuk total dari beban kalor yang dikeluarkan yaitu total beban kalor sensible (RSHG) + total beban kalor latent (RLHG).

$$\begin{aligned} Q_{\text{Total}} &= Q_{RSHG} + Q_{RLHG} \\ &= 74.867,38 \text{ Btu/hr} + 16.443,82 \text{ Btu/hr} \\ &= 91.311,20 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

4 KESIMPULAN

Dari analisis beban pendingin yang dilakukan di Ruang Auditorium Gedung Pusat lantai 7 Universitas PGRI Semarang, dapat disimpulkan bahwa berbagai faktor internal dan eksternal mempengaruhi beban pendinginan ruangan. Beban internal yang diperhitungkan meliputi kontribusi dari penghuni (manusia), penerangan, dan peralatan elektronik. Sumber beban eksternal seperti radiasi melalui kaca, dinding, lantai, dan atap juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kebutuhan pendinginan. Dalam hal beban penghuni, dilakukan perhitungan beban sensibel dan laten berdasarkan jumlah orang yang berada di dalam ruangan. Beban penerangan dihitung berdasarkan daya yang digunakan oleh berbagai jenis lampu yang ada di ruangan tersebut. Sementara itu, peralatan elektronik seperti proyektor dan sistem suara juga memberikan kontribusi terhadap beban pendinginan. Beban eksternal yang signifikan datang dari radiasi matahari yang diteruskan melalui kaca jendela, serta melalui

dinding, lantai, dan atap gedung. Semua faktor tersebut dihitung untuk menentukan kapasitas pendinginan yang diperlukan agar suhu dan kelembaban di dalam ruangan tetap dalam kondisi nyaman bagi penghuni. Penelitian ini telah mengidentifikasi total beban pendinginan pada ruang Auditorium Gedung Pusat lantai 7 Universitas PGRI Semarang, yaitu sebesar 91.311,20 Btu/hr. Beban pendinginan tersebut terdiri dari beban sensible sebesar 74.867,38 Btu/hr dan beban laten sebesar 16.443,82 Btu/hr.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas AC yang ada saat ini perlu ditinjau kembali untuk memastikan kemampuan dalam menciptakan suhu dan kelembaban yang ideal di ruangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, Orang tua, Rektor Universitas PGRI Semarang, Dosen pembimbing I, Pembimbing II dan semua yang terlibat langsung dan tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supriyadi, S., Farikhah, I., & Suhartono, S. Planning of air conditioner cooling load in the dean room of the faculty of engineering and information technology university of PGRI Semarang. *Journal of Materials Exploration and Findings (JMEF)*, 1(1), 7. 2022.
- [2] Harahap, S., Hamid, A., & Hidayat, I. Perhitungan ulang beban pendinginan pada ruang auditorium gedung Manggala Wanabakti blok III Kementerian Kehutanan Jakarta. *Progr. Stud. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Mercu Buana, Jakarta*, 18(3), 149-154. 2014.
- [3] Ahyadi, H., Suprijatmono, D., & Pertiwi, T. B. Analisis Beban Pendingin pada Ruang Data Center/Server PT X di Jakarta. 2022.
- [4] Aziz, A., & Mainil, R. I. Penggunaan Thermal Energy Storage sebagai Penyejuk Udara Ruang dan Pemanas Air pada Residential Air Conditioning Hibrida. 2015.
- [5] Winarno, S. Analisa Perhitungan Beban Pendinginan Ruang Perangkat Internet di PT. X-Site Kedaton. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 8(3), 1-1711, pp. 1–14, 2014. 2017.
- [6] Anam, s. Analisis beban pendingin gedung kantor pt. Rga internasional lantai 5 di jakarta utara dengan ukuran 16m x 15m x 2, 8m. *Ismetek*, 12(01). 2021.
- [7] Rudoy, W., Cuba, J. F. *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. Amerika Serikat: ASHRAE. 1979.
- [8] British Standards Institution. *Building Materials and Products: Hygrothermal Properties: Tabulated Design Values*. British Standards Institution. 2000.
- [9] Bake, M., Shukla, A., & Liu, S. Development of

gypsum plasterboard embodied with microencapsulated phase change material for energy efficient buildings. *Materials Science for Energy Technologies*, 4, 166-176. 2021.