



KAPASITAS PENDINGINAN DALAM LABORATORIUM MATERIAL

Zamir Aizat Samarul Fuad^a, Loganraj^a, Sui Jing Xian^a, Marthin Jehuda^b, Dicky J. Silitonga^{b*}

^aFakulti Teknologi dan Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Hang Tuah Jaya, Durian Tunggal, Melaka, Malaysia 76100

^bProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan 35365, Indonesia

*Corresponding authors at: dicky.silitonga@ms.itera.ac.id (Dicky J. Silitonga)

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 12 Desember 2024

Direvisi pada 19 Februari 2025

Disetujui pada 25 Februari 2025

Tersedia daring pada 01 Maret 2025

Kata kunci:

Beban pendinginan, kapasitas pendinginan, kenyamanan termal

Keywords:

Cooling load, cooling capacity, thermal comfort

ABSTRAK

Kondisi ruangan yang nyaman dapat mempengaruhi performa kognitif serta kreativitas penghuninya. Ini dapat menjadi salah satu perhatian dalam merencanakan ruang-ruang diskusi akademik di kampus yang mendukung pembelajaran dan kolaborasi mahasiswa serta dosen. Mengingat iklim tropis Indonesia, diperlukan sistem pendingin yang efektif untuk menjaga kenyamanan penghuni ruangan. Penelitian ini menganalisis beban pendinginan di suatu ruang yang peruntukannya utamanya adalah untuk diskusi. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis pada beban pendinginan serta perbandingan dengan kapasitas pendinginan terpasang dari salah satu ruang diskusi di Institut Teknologi Sumatera (ITERA). Tujuannya adalah untuk mengevaluasi serta merekomendasikan kapasitas pendinginan yang ideal. Metodologi yang digunakan mencakup pengukuran karakteristik ruangan, sumber panas internal dan eksternal, serta faktor transmisi panas. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas sistem pendingin ruangan yang terpasang saat ini lebih kecil daripada beban pendinginan yang diperlukan dalam dua skenario yang dianalisis, yaitu dengan semua lampu dinyalakan dan dimatikan. Faktor-faktor seperti jumlah penghuni, penggunaan peralatan, pencahayaan, serta transfer panas melalui dinding dan jendela berkontribusi terhadap tingginya beban pendinginan. Hasil studi ini menyarankan perlunya peningkatan kapasitas pendinginan guna memastikan kenyamanan termal di ruangan serta efisiensi energi.

ABSTRACT

The level of comfort in a room can affect its residents' creativity and cognitive function. When creating academic discussion areas on campus that encourage learning and cooperation between staff and students, this factor should be taken into account. An efficient cooling system is necessary to preserve occupant comfort in Indonesia due to its tropical environment. The cooling burden of a discussion room is examined in this study. In one of the discussion rooms at the Institut Teknologi Sumatera (ITERA), it looks at the cooling load and contrasts it with the installed cooling capability. The goal is to assess and suggest the optimal cooling capacity. Heat transmission factors, internal and exterior heat sources, and room parameters are all measured as part of the process. According to the analysis's findings, the installed air conditioner's capacity is less than the necessary cooling load in both the on and off conditions. The high cooling load is caused by a number of factors, including the number of inhabitants, lighting, equipment use, and heat transmission through windows and walls. According to this study, in order to guarantee thermal comfort and energy efficiency in the space, the cooling capacity must be increased.

1. PENGANTAR

Era globalisasi menuntut manusia untuk terus berinovasi dalam mengembangkan teknologi. Salah satu perkembangan teknologi yang tidak luput dari perhatian adalah menciptakan kenyamanan dalam ruang lingkup yang ada. Pendingin udara merupakan upaya untuk mengatur suhu udara dalam ruangan agar mencapai suhu yang sesuai dan berada di bawah suhu lingkungan (Rachman dkk., 2023). Saat ini, sistem pendingin udara memainkan peran penting. Hal ini terlihat dari semakin luasnya penggunaan peralatan ini di berbagai bidang aktivitas manusia, termasuk ruang kerja, gudang, pendinginan, dan bahkan sistem pendingin udara dalam kendaraan, yang semuanya bertujuan untuk memberikan kenyamanan bagi setiap orang di dalamnya (Patayang & Yadie, 2014). Di Indonesia, sistem pendingin ruangan berkontribusi hingga lebih dari 40% dari konsumsi energi suatu bangunan (Yatim, 2024), sehingga sektor pendinginan ruangan menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan. Disamping letak geografis yang berada pada iklim tropis, meningkatnya suhu global semakin mempertajam permintaan terhadap sistem pendingin udara (AC).

Dalam lingkungan akademik, sistem pendingin ruangan menjadi salah satu komponen penting. Studi terdahulu oleh para peneliti menunjukkan bahwa kondisi kenyamanan termal dapat mempengaruhi performa kognitif serta kreativitas manusia (Daikoku dkk., 2021).

Di institusi akademik seperti Institut Teknologi Sumatera (ITERA), ruang diskusi memiliki peran penting dalam pembelajaran dan keterlibatan mahasiswa, berfungsi sebagai tempat pertukaran ide, pengembangan kegiatan penelitian, serta kegiatan-kegiatan lain yang melibatkan aktivitas kognitif yang intensif. Di daerah beriklim hangat seperti Lampung Selatan, suhu dalam ruangan yang nyaman sangat penting untuk menjaga fokus dan produktivitas, sehingga sistem pendingin yang efektif menjadi suatu keharusan.

Ruang diskusi, berbeda dengan ruang kelas biasa, sering kali menjadi ruang yang kurang nyaman akibat jumlah penghuni yang lebih banyak sementara ukurannya relatif kecil dan terdapat berbagai peralatan elektronik penunjang kegiatan. Kondisi ini dapat menyebabkan akumulasi panas, sehingga perhitungan kebutuhan pendinginan menjadi sangat penting. Memastikan suhu ruangan yang nyaman tidak hanya meningkatkan pengalaman pengguna, tetapi juga mendukung pembelajaran yang efektif serta produktivitas kelompok. Untuk menentukan kapasitas AC yang sesuai dalam suatu lingkungan, analisis beban pendinginan perlu dilakukan. Analisis ini mencakup penilaian terhadap sumber panas internal dan eksternal yang berkontribusi terhadap kebutuhan pendinginan ruangan. Faktor internal meliputi panas yang dihasilkan oleh penghuni, peralatan, dan pencahayaan, sedangkan faktor eksternal mencakup perpindahan panas melalui jendela, dinding, serta permukaan lain yang terpapar suhu luar. Kombinasi dari berbagai variabel ini memungkinkan estimasi kebutuhan pendinginan ruangan secara akurat.

2. METODE

Metodologi untuk analisis beban pendinginan ini melibatkan pendekatan sistematis dalam mengumpulkan data dari ruang yang diteliti yang berlokasi di Laboratorium Material, Gedung Laboratorium Teknik 2, ITERA. Proses ini mencakup pengukuran dan evaluasi mendetail terhadap karakteristik ruangan, sumber panas internal dan eksternal, pencahayaan, serta faktor transmisi, sebagaimana dijelaskan di bawah ini:

2.1. Spesifikasi ruangan

Dimensi ruangan diukur dengan menggunakan perangkat pengukur laser untuk memastikan akurasi, termasuk panjang, lebar, dan tinggi ruang diskusi. Berdasarkan hasil pengukuran ini, luas lantai dan volume ruangan kemudian dihitung (Ravichandran & Padmanaban, 2023). Parameter ini sangat penting dalam estimasi beban pendinginan karena secara langsung memengaruhi besarnya volume ruang yang perlu didinginkan. Selain itu, fitur struktural ruangan seperti material dinding, letak jendela, dan posisi pintu juga dicatat untuk memahami potensi perpindahan panas dari lingkungan luar.

2.2. Sumber panas internal

Jumlah rata-rata penghuni dalam ruang diskusi diperkirakan berdasarkan pola penggunaan kapasitas maksimum yang wajar seperti peruntukan ruangan. Setiap penghuni menghasilkan panas melalui proses metabolisme, yang bervariasi sesuai dengan tingkat aktivitas. Dalam analisis ini, laju rata-rata produksi panas diterapkan dengan asumsi tingkat aktivitas sedang yang umumnya terjadi dalam interaksi berbasis diskusi. Sementara itu, berbagai perangkat elektronik di dalam ruangan turut diperhitungkan emisi panasnya karena berkontribusi signifikan terhadap beban pendinginan.

2.3. Sumber panas eksternal

Data iklim untuk area setempat dikumpulkan dalam jangka waktu tertentu untuk memperoleh kondisi rata-rata suhu eksternal. Dalam analisis ini, suhu maksimum harian rata-rata selama jam operasional digunakan karena secara langsung memengaruhi perpindahan panas melalui jendela dan dinding. Jendela di ruangan yang diteliti memungkinkan sinar matahari masuk, yang meningkatkan beban pendinginan. Orientasi jendela serta mekanisme peneduh yang tersedia juga turut berperan dalam pengaruh tersebut.

2.4. Beban penerangan

Pencahayaan ruangan terdiri dari beberapa lampu yang dalam studi ini dianalisis dengan 2 skenario, yaitu saat semua dinyalakan dan saat semua dimatikan. Daya setiap lampu dicatat, dan total beban pencahayaan dihitung berdasarkan jumlah daya dari seluruh lampu di dalam ruangan. Karena pencahayaan menghasilkan panas, kontribusinya terhadap beban pendinginan keseluruhan dimasukkan dalam analisis (Ahn dkk., 2023).

2.5. Beban transmisi

Perpindahan panas melalui dinding, jendela, dan pintu dipengaruhi oleh sifat termal material yang digunakan dalam konstruksi ruangan. Dinding terutama dibangun dari beton, sementara jendela menggunakan kaca tunggal. Perpindahan panas melalui material-material tersebut dihitung berdasarkan perbedaan suhu antara bagian dalam dan luar ruangan. Konduktivitas termal masing-masing material digunakan untuk memperkirakan transfer panas. Dinding beton dan jendela kaca diberi nilai konduktivitas yang umum digunakan berdasarkan literatur. Nilai-nilai ini, dikombinasikan dengan pengukuran luas permukaan, memungkinkan perhitungan perpindahan panas dari luar (Ding dkk., 2022).

2.6. Beban ventilasi dan infiltrasi

Salah satu faktor lain yang mempengaruhi beban pendinginan adalah infiltrasi atau sirkulasi udara dari luar. Infiltrasi dapat berasal dari bukaan atau celah pada bangunan, seperti celah pintu atau jendela maupun bukaan ventilasi.

2.7. Analisis data dan perhitungan beban pendinginan

Beban pendinginan dihitung dengan menggabungkan kontribusi dari setiap sumber (Nandagopal, 2024), termasuk penghuni, peralatan, pencahayaan, serta perpindahan panas melalui dinding dan jendela. Dengan menerapkan rumus beban pendinginan, diperoleh perkiraan kapasitas pendingin udara yang diperlukan untuk menjaga kenyamanan lingkungan dalam ruangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

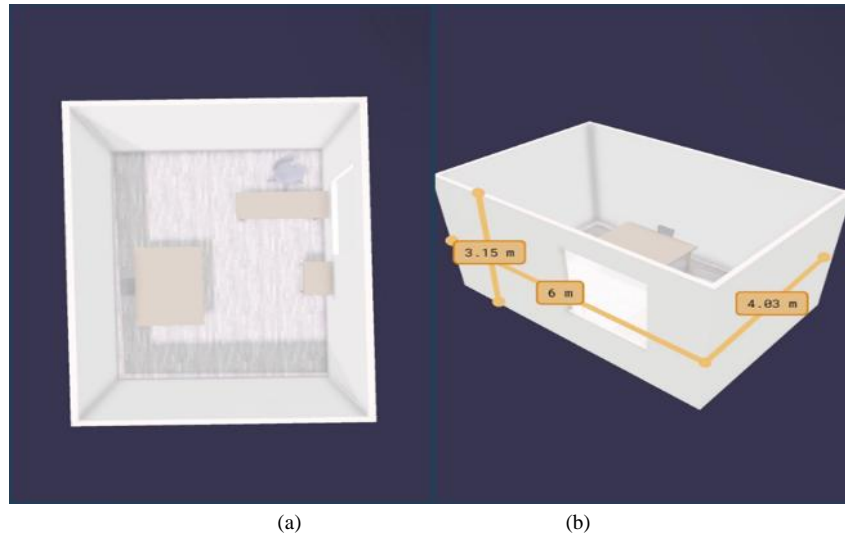
3.1. Lokasi dan spesifikasi ruangan

Analisis beban pendinginan ini dilakukan di ruang diskusi yang telah memiliki sistem pendingin eksisting yang terletak di Laboratorium Material, Gedung Laboratorium Teknik 2, Institut Teknologi Sumatera (ITERA), Indonesia. Observasi dilakukan pada 7 November 2024 pukul 12.00 siang dalam kondisi siang hari dengan cuaca cerah yang akan dideskripsikan pada subbab berikutnya.

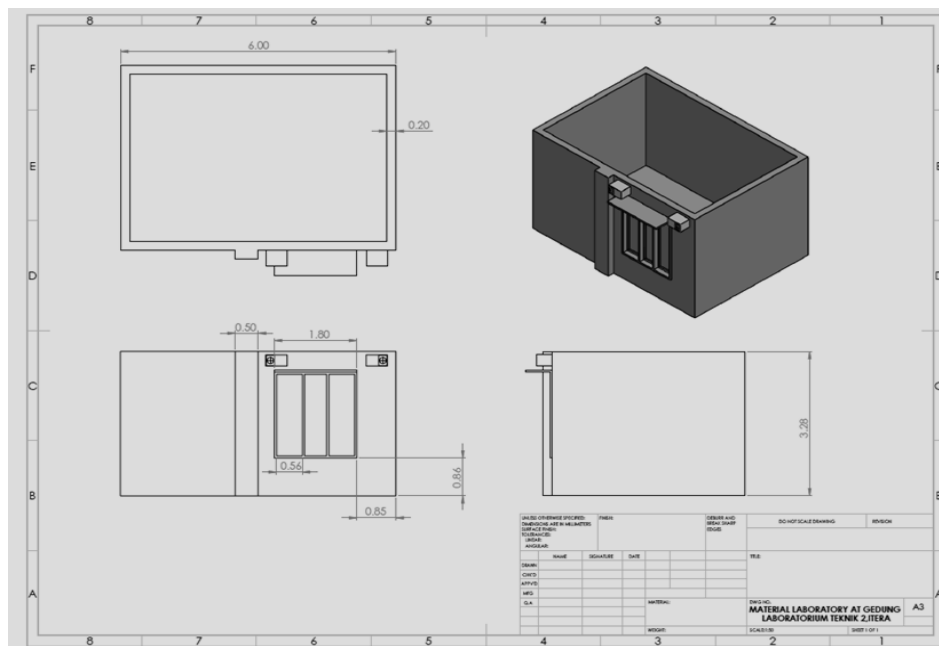
Untuk menilai kebutuhan pendinginan secara akurat, dimensi ruang diskusi diukur dengan cermat, termasuk panjang, lebar, dan tinggi ruangan, guna menghitung total volume ruangan. Selain itu, ketebalan serta komposisi material dinding dan jendela dicatat, karena

faktor-faktor ini berpengaruh signifikan terhadap perpindahan panas ke dalam ruangan. Ketebalan dinding dan jendela memengaruhi laju masuknya panas eksternal, terutama dalam iklim tropis seperti Indonesia, di mana suhu luar yang tinggi dapat berdampak besar pada kenyamanan dalam ruangan.

Mengingat paparan ruangan terhadap kondisi lingkungan sekitar, lokasi serta spesifikasi struktural jendela, pintu, dan dinding luar didokumentasikan untuk memungkinkan evaluasi yang akurat terhadap beban transmisi panas. Pengukuran ini, bersama dengan posisi ruangan terhadap paparan sinar matahari, membantu menentukan dampak langsung paparan sinar matahari dan suhu eksternal terhadap beban pendinginan. Data komprehensif ini memastikan bahwa desain sistem pendingin selaras dengan karakteristik lingkungan dan struktural ruang diskusi secara nyata.



Gambar 1: Ilustrasi denah ruangan yang diteliti: (a) tampak atas, (b) pandangan perspektif samping menunjukkan jendela

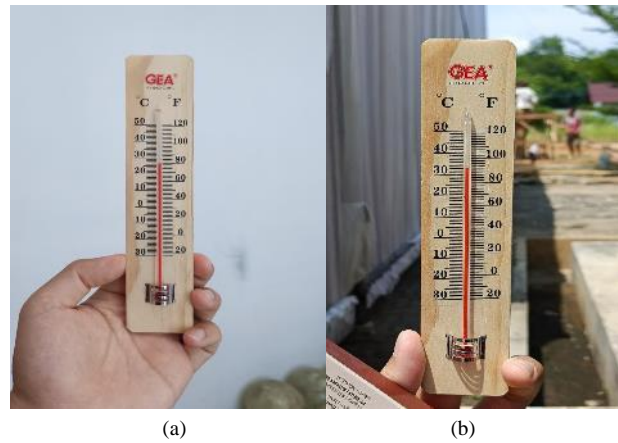


Gambar 2: Skematik dari ruangan yang diteliti

3.1.1. Cuaca harian secara umum di lokasi ruangan

Pengukuran suhu secara eksperimental yang dilakukan diluar gedung dimana ruangan diskusi berada menunjukkan bahwa suhu di area ITERA adalah 33°C pada tanggal 7 November 2024 dan berfluktuasi antara 30°C – 34°C dalam minggu tersebut. Sedangkan suhu dalam ruangan pada hari tersebut tercatat 26°C dan fluktuasinya antara 22°C – 26°C dalam minggu yang sama. Data temperatur ini ditabulasikan pada Tabel 1.

Perbedaan suhu antara luar dan dalam ruangan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor dalam bangunan, seperti isolasi bangunan, efektivitas sistem pendingin udara yang ada, okupansi ruangan yang berbeda pada tiap harinya, serta ventilasi yang terbatas di dalam ruangan. Variasi suhu yang kecil juga dipengaruhi oleh sumber panas internal, seperti perangkat elektronik dan keberadaan penghuni, yang dapat memberikan dampak lokal terhadap distribusi suhu secara keseluruhan di dalam ruangan.



Gambar 3: Pengukuran suhu (a) didalam ruangan dan (b) diluar gedung

Tabel 1: Data pengukuran temperatur dalam seminggu di bulan November 2024

Date	7 Nov	8 Nov	9 Nov	10 Nov	11 Nov	12 Nov	13 Nov
Temperatur dalam ruangan (°C)	26	26	24	23	25	25	22
Temperatur luar ruangan (°C)	33	34	32	30	33	32	33

3.2. Perhitungan beban pendinginan

Sumber-sumber panas dalam ruang diskusi terdiri dari beberapa faktor, termasuk jumlah penghuni, peralatan yang digunakan, dan kondisi lingkungan yang terkait dengan ruangan. Mengingat ruangan ini digunakan untuk kerja kolaboratif dan diskusi, sumber panas internal seperti manusia, komputer, dan pencahayaan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan beban panas secara keseluruhan.

3.2.1. Beban penghuni

Dalam ruang diskusi, jumlah penghuni terdiri dari 6 mahasiswa dan 1 dosen, dengan total 7 orang. Kehadiran individu-individu ini berkontribusi terhadap peningkatan panas internal melalui panas tubuh, pernapasan, serta panas lain yang dihasilkan tubuh saat berinteraksi satu sama lain. Gambar 4 menunjukkan ruang diskusi yang ditempati oleh 7 orang.



Gambar 4: Contoh aktivitas nyata yang dilakukan di ruangan yang diteliti

Cooling load bergantung pada aktivitas yang dilakukan oleh penghuni di dalam ruangan, di mana aktivitas manusia memengaruhi jumlah panas yang dihasilkan oleh tubuh. Tingkat aktivitas merujuk pada tindakan yang dilakukan dalam suatu ruang atau aplikasi wajar dan umum dari ruangan tersebut. Tingkat aktivitas bervariasi, mulai dari duduk diam di teater hingga pekerjaan berat di pabrik. Setiap tingkat aktivitas memiliki jumlah *sensible heat gain* (SHG) dan *latent heat gain* (LHG) yang berbeda.

SHG merepresentasikan energi yang ditambahkan ke dalam ruangan melalui konduksi, konveksi, dan/atau radiasi. Hal ini terjadi ketika panas berpindah dari tubuh manusia ke dalam ruangan. Sementara itu, LHG adalah energi yang masuk ke dalam ruangan ketika uap air dihasilkan melalui aktivitas penghuni. Panas laten ini terjadi dalam waktu singkat dan tidak memiliki efek berkelanjutan terhadap cooling load. Oleh karena itu, meskipun panas laten penting untuk dipertimbangkan dalam pengendalian kelembaban demi kenyamanan penghuni, sensible heat lebih krusial perannya. Tingkat aktivitas yang dijelaskan serta jumlah *heat gain* tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2: Laju *heat gain* yang dihasilkan penghuni (Howell dkk., 2013)

Tingkat kegiatan	Contoh ruangan	Heat Gain/orang (Btu/hr)	
		SHG (q_s)	LHG (q_L)
Duduk diam, kerja sangat ringan	Bioskop	225	105
Duduk, kerja ringan	Kantor	245	155
Aktivitas pekerjaan kantor sedang	Kantor	250	200
Berdiri, kerja sedang, berjalan	Toko retail	250	200
Pekerjaan meja sedang	Pabrik	275	475
Menari sedang	Ruang dansa	275	545
Pekerjaan berat	Pabrik	580	870

Berdasarkan Tabel 2, tingkat aktivitas yang sesuai di dalam ruang kelas, di mana sebagian besar penghuni (mahasiswa dan dosen) duduk sambil menulis atau mengetik, dikategorikan sebagai “duduk, kerja ringan” dengan *heat gain* sebesar 245 Btu/h. Asumsi yang digunakan adalah ruang diskusi terisi dengan jumlah penghuni maksimum. Rumus dan perhitungan beban penghuni adalah sebagai berikut:

$$Q_{occupancy} = N \times Q_{person} \quad (1)$$

Dimana:

$Q_{occupancy}$	=	Total beban penghuni
N	=	Jumlah penghuni
Q_{person}	=	Panas metabolisme yang dihasilkan tiap penghuni

Berdasarkan data jumlah penghuni dan asumsi *heat gain* dari Tabel 2, maka $N = 7$ dan $Q_{person} = 245$ Btu/hr, sehingga:

$$Q_{occupancy} = 7 \times 245 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_{occupancy} = 1715 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_{occupancy} = 502.62 \text{ W}$$

3.2.2. Beban peralatan

Suhu dalam ruangan juga dipengaruhi oleh jenis dan jumlah peralatan yang ada, serta bagaimana peralatan tersebut digunakan. Perangkat seperti *smartphone*, komputer, proyektor, dan pencahayaan memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan *heat gain* dalam ruangan. Untuk menjaga suhu tetap nyaman, sistem air conditioning harus mampu menangani tambahan panas yang dihasilkan oleh perangkat-perangkat ini, sehingga kapasitas sistem pendingin cukup untuk memenuhi total cooling load ruangan.

Daya listrik setiap perangkat dikalikan dengan jumlah unit yang digunakan untuk mendapatkan total keluaran panas dalam watt. Rumus untuk menghitung *equipment load* tidak hanya mempertimbangkan daya listrik masing-masing perangkat, tetapi juga durasi penggunaannya serta jumlah unit yang beroperasi dalam satu waktu. Beban peralatan ($W_{equipment}$) dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$Q_{equipment} = \sum(W_{device} \times N_{device}) \quad (2)$$

Daya listrik setiap perangkat (W_{device}) dikalikan dengan jumlah total unit yang digunakan untuk mendapatkan total keluaran panas dalam watt. Rumus perhitungan *equipment load* tidak hanya mempertimbangkan daya listrik masing-masing perangkat, tetapi juga durasi penggunaannya serta jumlah unit yang beroperasi dalam satu waktu. *Equipment load* dapat ditentukan dengan rumus berikut:

Dimana:

$Q_{equipment}$	=	Beban peralatan (W)
P_{device}	=	Power rating dari perangkat
N_{device}	=	Jumlah unit perangkat

I. Smartphone:



Gambar 5: Smartphone yang diasumsikan (*iPhone 15 Pro Max*)

Di dalam ruang diskusi, dengan perkiraan jumlah penghuni sebanyak 7 orang, diasumsikan bahwa masing-masing memiliki *handphone* dengan spesifikasi *iPhone 15 Pro Max*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Perkiraan konsumsi daya untuk setiap *handphone* adalah sekitar 5W selama penggunaan normal, dengan mempertimbangkan kondisi dari *idle* hingga *active operation*.

$$Q_{handphone} = 5 \text{ W} \times 7$$

$$Q_{handphone} = 35 \text{ W}$$

II. Komputer/Laptop:

Perkiraan konsumsi daya untuk laptop adalah sekitar 65W selama penggunaan moderat, dengan mempertimbangkan aktivitas umum seperti browsing, pemrosesan kata, atau multitasking ringan.

$$Q_{laptop} = 65 \text{ W} \times 1$$

$$Q_{laptop} = 65 \text{ W}$$



Gambar 6: Laptop yang diasumsikan (Dell XPS 15)

III. Proyektor:



Gambar 7: Proyektor yang digunakan (Acer X112AH)

Power Description	
Power Supply	100 V AC ~ 240 V AC
Input Voltage	120 V AC 230 V AC
Operating Power Consumption	275 W

Gambar 8: Data konsumsi daya proyektor berdasarkan *datasheet* produk

Proyektor di ruang diskusi memiliki perkiraan konsumsi daya sebesar 275W selama beroperasi, yang mencakup energi yang dibutuhkan untuk aktivitas presentasi pada umumnya.

$$Q_{projector} = 275 \text{ W} \times 1$$

$$Q_{projector} = 275 \text{ W}$$

Tabel 3: *Heat gain* dari peralatan

Peralatan	<i>Heat Gain</i> (W)	Jumlah	Total <i>Heat Gain</i> (W)
Handphone	5	7	35
Laptop	65	1	65
Proyektor	275	1	275
Total Beban Peralatan (W)			375

Tabel 3 menunjukkan bahwa *total heat gain* dari perangkat elektronik di ruang diskusi adalah 375 W. Beberapa perangkat berkontribusi terhadap beban panas keseluruhan, masing-masing menambah panas ke lingkungan termal ruangan. Dengan mempertimbangkan bahwa setiap *smartphone* menghasilkan sekitar 5 W, maka 7 buah *smartphone* yang digunakan memberikan *total heat gain* sebesar 35 W. Selain itu, laptop dengan konsumsi daya 65 W menambah jumlah panas yang signifikan karena penggunaannya yang terus-menerus. Proyektor memiliki daya tinggi dengan *heat gain* sebesar 275 W, juga memberikan kontribusi besar terhadap beban panas di dalam ruangan.

3.2.3. Beban penerangan

Beban penerangan di ruang diskusi dihasilkan oleh lima lampu, di mana masing-masing memiliki daya 40 W, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Lampu-lampu ini berkontribusi terhadap internal *heat gain* secara keseluruhan, karena menghasilkan panas saat beroperasi. *Lighting load* ditentukan menggunakan rumus (3) berikut:



Gambar 9: Lampu di ruangan yang dianalisis

$$Q_{lightning} = W_{total} \times 3.412 \times Fu \times Fs \times CLF \tag{3}$$

- Dimana:
- $Q_{lightning}$ = Beban penerangan/pencahayaan (W)
 - W_{total} = Daya total lampu untuk pencahayaan (W)
 - Fu = Usage Factor
 - Fs = Safety Factor
 - Fu = Cooling load factor

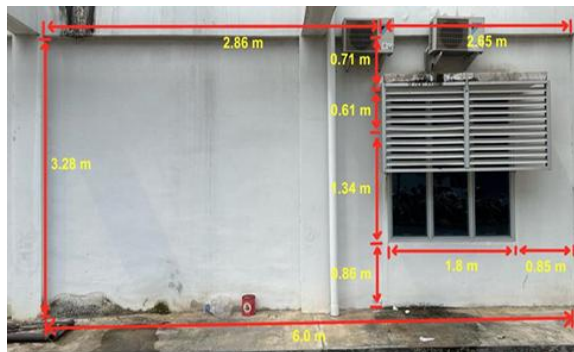
$$W_{total} = 5 \text{ LED Bulbs} \times 40 \text{ W} = 200 \text{ W}$$

$$Q_{lightning} = 200 \text{ W} \times 1 \times 1.2 \times 1$$

$$Q_{lightning} = 240 \text{ W}$$

3.2.4. **Beban transmisi**

Beban transmisi ini dihitung dengan mengevaluasi konduktivitas termal dari material yang digunakan pada dinding dan jendela ruangan, serta luas permukaan dan ketebalannya. Laju perpindahan panas, dihitung dengan rumus (4), dipengaruhi oleh perbedaan suhu antara lingkungan dalam dan luar ruangan, di mana perbedaan suhu yang lebih besar akan menghasilkan *heat gain* yang lebih tinggi.

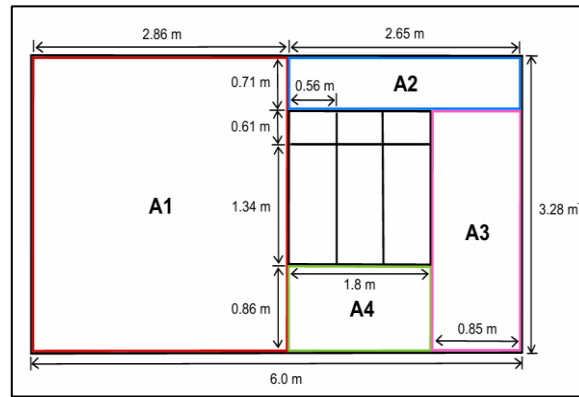


Gambar 10: Luasan dinding yang terpapar panas eksternal

$$Q = \frac{k \times A \times \Delta T}{d} \tag{4}$$

- Dimana:
- Q = Laju perpindahan panas (W)
 - k = Konduktivitas termal material (W/m.K)
 - A = Luas permukaan (m²)
 - ΔT = Perbedaan temperatur antara luar dan dalam ruangan (K)
 - d = Ketebalan dinding atau jendela (m)

Berdasarkan data yang diperoleh, $T_{out} = 33^\circ\text{C}$, $T_{in} = 26^\circ\text{C}$, $\Delta T = (33 - 26) = 7\text{K}$, $d_{window} = 0.005 \text{ m}$, dan $d_{wall} = 0.1 \text{ m}$. Adapun *material properties* dari dinding dan jendela diberikan pada Tabel 4.



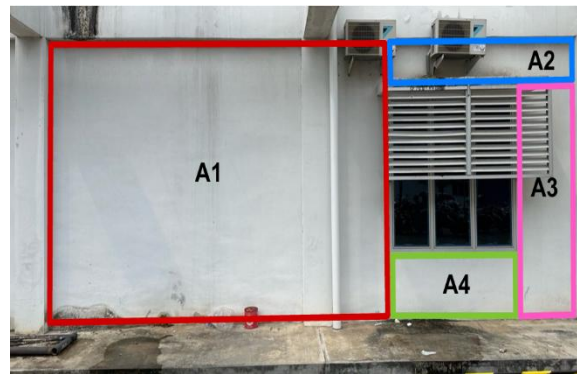
Gambar 11: Detail dimensi dari dinding yang terpapar lingkungan luar

Tabel 4: *Material properties* dari bahan dinding dan jendela

Material	Density, ρ (kg/m^3)	Thermal Conductivity, k (W/m.K)
Glass	2512	1.053
Brick with a plaster layer	1760	0.807

Berdasarkan *material properties* pada Tabel 4 dan data yang dikumpulkan dari observasi, *heat transmission load* ditentukan dengan menghitung perpindahan panas melalui dinding dan jendela. Selanjutnya, perpindahan panas dari dinding dan jendela dijumlahkan untuk mendapatkan total *transmission load* di ruang diskusi. Perhitungan untuk masing-masing bagian adalah sebagai berikut:

I. Transmisi panas melalui dinding:



Gambar 12: Luasan dinding (A1-A4)

$$A_1 = 2.86 \text{ m} \times 3.28 \text{ m} = 9.38 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2.65 \text{ m} \times 0.71 \text{ m} = 1.88 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.85 \text{ m} \times 2.57 \text{ m} = 2.18 \text{ m}^2$$

$$A_4 = 0.86 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} = 1.55 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 9.38 + 1.88 + 2.18 + 1.55 = 14.99 \text{ m}^2 \approx 15 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{wall}} = \frac{0.807 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K} \times 15 \text{ m}^2 \times 7\text{K}}{0.1 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{wall}} = 847.35 \text{ W}$$

II. Transmisi panas melalui jendela:



Gambar 13: Ukuran jendela

$$A_{\text{small window}} = 3 \times 0.56 \text{ m} \times 0.61 \text{ m} = 1.02 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{big window}} = 3 \times 0.56 \text{ m} \times 1.34 \text{ m} = 2.25 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{small window}} = \frac{1.053 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot K \times 1.02 \text{ m}^2 \times 7\text{K}}{0.005 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{small window}} = 1503.68 \text{ W}$$

$$Q_{\text{big window}} = \frac{1.053 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot K \times 2.25 \text{ m}^2 \times 7\text{K}}{0.05 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{big window}} = 3316.95 \text{ W}$$

$$Q_{\text{total window}} = (1503.68 \text{ W} + 3316.95 \text{ W})$$

$$Q_{\text{total window}} = 4820.63 \text{ W}$$

III. Transmisi panas total melalui dinding dan jendela:

$$Q_{\text{transmission}} = (Q_{\text{small window}} + Q_{\text{big window}}) + (Q_{\text{wall}})$$

$$Q_{\text{transmission}} = (4820.63 \text{ W}) + (847.35 \text{ W})$$

$$Q_{\text{transmission}} = 5667.98 \text{ W}$$

3.2.5. Beban infiltrasi

Ruangan ini memiliki satu pintu yang walaupun ditutup namun memiliki celah, serta terkadang dibiarkan sedikit terbuka untuk pertukaran udara, ini menjadi salah satu faktor beban pendinginan. Beban ini dihitung dengan rumus 5.

$$Q_{\text{infiltration}} = 0.334 \times V \times \text{ACH} \times \Delta T \quad (5)$$

Dimana pada rumus diatas $Q_{\text{infiltration}}$ diberikan dalam satuan Watt, V adalah volume ruangan dalam meter kubik (lihat Gambar 1.b), ACH adalah banyaknya pertukaran udara sebesar volume ruangan per jam (*Air Changes per Hour*) dan 0.334 adalah faktor konversi dari rumus dengan satuan imperial ke satuan SI. Adapun nilai ACH ditetapkan berdasarkan estimasi sesuai panduan oleh (Hendersen dan Harley, 2022) untuk ruangan dengan insulasi yang kurang baik, yaitu ACH = 0.6. Dengan demikian, dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{\text{infiltration}} = 0.334 \times V \times \text{ACH} \times \Delta T$$

$$Q_{\text{infiltration}} = 0.334 \times 76.167 \times 0.6 \times 7$$

$$Q_{\text{infiltration}} = 106 \text{ W}$$

3.3. Pembahasan

Beban pendinginan total untuk ruang diskusi di Laboratorium Material ITERA, mencakup kontribusi dari semua faktor, yaitu beban penghuni, beban peralatan, beban pencahayaan, dan beban transmisi melalui dinding dan jendela, serta beban infiltrasi. Setiap komponen ini berperan dalam menentukan *total heat gain* di dalam ruangan, yang harus diimbangi oleh sistem pengkondisian udara (AC) untuk menjaga kenyamanan termal di dalam ruangan. Dalam kasus ini, dua skenario akan dipertimbangkan: 1. Semua lampu dinyalakan, dan 2. Semua lampu dimatikan.

1. Skenario 1 (Semua lampu dinyalakan):

$$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{occupancy}}) + (Q_{\text{equipment}}) + (Q_{\text{lighting}}) + (Q_{\text{transmission}}) + (Q_{\text{infiltration}})$$

$$Q_{\text{total}} = (502.62 \text{ W}) + (375 \text{ W}) + (240 \text{ W}) + (5667.98 \text{ W}) + (106.85 \text{ W})$$

$$\therefore Q_{\text{total}} = 6889.45 \text{ W}$$

2. Skenario 2 (Semua lampu dimatikan):

$$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{occupancy}}) + (Q_{\text{equipment}}) + (Q_{\text{lighting}}) + (Q_{\text{transmission}}) + (Q_{\text{infiltration}})$$

$$Q_{\text{total}} = (502.62 \text{ W}) + (375 \text{ W}) + (5667.98 \text{ W}) + (106.85 \text{ W})$$

$$\therefore Q_{\text{total}} = 6649.45 \text{ W}$$

Di ruangan tersebut, terpasang satu unit Daikin AC dengan *cooling capacity* sebesar 5020 W (Gambar 14) yang pada kebanyakan waktu diatur untuk mencapai suhu (*set temperature*) 16°C. Selama pengujian, dipastikan bahwa unit AC ini berada dalam kondisi baik dan beroperasi normal serta bersih, sehingga dapat memberikan kinerja pendinginan yang andal untuk ruangan. Untuk kejelasan dalam sistematika penulisan artikel ini, dapat dituliskan kapasitas pendinginan dari unit Daikin AC di ruangan ini:

$$\text{Total Cooling Capacity (AC)} = 5020 \text{ W}$$



Gambar 14: Spesifikasi unit AC yang tertera pada nameplate unit

Beban pendinginan total dan kapasitas pendinginan dari satu unit AC Daikin yang terpasang dievaluasi dengan mempertimbangkan Skenario 1 dan Skenario 2 untuk menentukan apakah unit tersebut dapat menangani heat load di dalam ruang diskusi dalam berbagai kondisi. Perbandingan antara cooling load yang dihitung dan kapasitas AC disajikan sebagai berikut:

1. Skenario 1 (Semua lampu dinyalakan):

$$Q_{\text{total}} = 7364.48 \text{ W}$$

$$\text{Total Cooling Capacity (AC)} = 5020 \text{ W}$$

$$\text{Total Cooling Capacity (AC)} < Q_{\text{total}}$$

$$\therefore 5020 \text{ W} < 6889.45 \text{ W}$$

2. Skenario 2 (Semua lampu dimatikan):

$$Q_{\text{total}} = 6545.60 \text{ W}$$

$$\text{Total Cooling Capacity (AC)} = 5020 \text{ W}$$

$$\text{Total Cooling Capacity (AC)} < Q_{\text{total}}$$

$$\therefore 5020 \text{ W} < 6649.45 \text{ W}$$

Dari hasil analisis, perbandingan menunjukkan bahwa beban pendinginan total ruang diskusi melebihi kapasitas pendinginan dari satu unit Daikin AC yang terpasang pada setiap skenario. Dengan kebutuhan cooling load sebesar 7364,48 W (Skenario 1) dan 6545,60 W (Skenario 2), sementara kapasitas AC hanya 5020 W, unit AC yang ada tidak mampu memberikan pendinginan yang cukup untuk menangani total heat load secara efektif, terutama saat ruangan terisi penuh.

Ketidakefektifan ini didukung oleh hasil pengukuran suhu ruangan yang dilakukan pada 7–13 November, yang menunjukkan suhu rata-rata 24,3°C, meskipun unit AC disetel pada 16°C. Kesenjangan ini menunjukkan bahwa unit AC terus bekerja pada daya kerja maksimum, yang dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi serta potensi penurunan umur operasional perangkat.

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa satu unit AC yang terpasang, dengan *cooling capacity* sebesar 5020 W, secara teoretis tidak cukup untuk mengatasi kebutuhan beban pendinginan baik jika semua lampu dinyalakan (6889.45 W) maupun dimatikan (6649.45 W). Dengan kondisi ini, maka sistem pendingin yang ada tidak optimal untuk mencapai target kenyamanan termal dengan penggunaan energi yang efisien, terutama saat tingkat okupansi tinggi. Pendingin udara akan beroperasi pada daya maksimum pada sepanjang waktu karena sulit mencapai target *set temperature*, sehingga meningkatkan konsumsi listrik gedung. Untuk mengatasi masalah ini, disarankan untuk menambah kapasitas AC atau memperbaiki insulasi ruangan. Dapat dipahami bahwa langkah-langkah tersebut memerlukan investasi, namun secara jangka panjang akan membantu menciptakan sistem pendinginan yang lebih efisien, mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan kenyamanan dalam ruangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini, termasuk kampus Departemen Teknik Mesin yang telah memfasilitasi peralatan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhuyan, S. (2023). Conduction: Definition, examples, and equation. *Science Facts*. Diakses Desember, 2024, dari <https://www.sciencefacts.net/conduction.html>
- DELL Technologies (2022). Charger requirement (Minimum Power Wattage) for XPS 15 9520. *DELL Technologies*. Diakses November, 2024, dari <https://www.dell.com/community/en/conversations/xps/charger-requirement-minimum-power-wattage-for-xps-15-9520/647fa01ff4ccf8a8de5147a1>
- Daikoku, T., Fang, Q., Hamada, T., Handa, Y., & Nagai, Y. (2021). Importance of environmental settings for the temporal dynamics of creativity. *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100911.
- Dxomark. (2023). Apple iPhone 15 Pro Max Battery Test. *DXOMARK*. Diakses November, 2024, dari <https://www.dxomark.com/apple-iphone-15-pro-max-battery-test/>
- Henderson, H., Harley, B. (2022). Infiltration Guidance for Buildings at Design Conditions. New York. NYS Clean Heat Program.
- Hosang, Ahn., Jae-Sik, Kang., Gyeong, Seok, Choi. (2023). Heat Emission Point Analysis of LED Light for Building Cooling Load Reduction Approach. *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*.
- Howell, R.H., Coad, W.J. and Sauer, H.J. (2013) Principles of heating ventilating and Air Conditioning, 7th edition. Atlanta. ASHRAE.
- Ding, J., Sun, L., Ding, M., & Liu, L. (2022). Load restoration strategy for transmission systems considering the time-dependent cold load pickup. *IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)*, 3542-3546.
- Nandagopal, N. S. (2024). HVACR Principles and Applications. Switzerland. Springer Nature.
- Patayang, M., & Yadie, E. (2014). Analisis beban pendingin pada ruang kuliah prodi nautika jurusan kemaritiman. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2).
- Rachman, F. H., Rizianiza, I., Gunawan, G., & Sa'adiyah, D. S. (2023). Analisis beban pendinginan dengan metode cooling load temperature difference pada ruang perkuliahan Gedung F Institut Teknologi Kalimantan. *SPECTA Journal of Technology*, 7(1).
- Ravichandran, C., & Padmanaban, G. (2023). Estimating cooling loads of Indian residences using building geometry data and multiple linear regression. *Energy and Built Environment*, 5, 741-771.
- Speake, A., Wilson, E., Horowitz, S., & Zhou, Y. (2023). Component-Level analysis of heating and cooling loads in the U.S. residential building stock. *Energy and Buildings*, 299, 113599.
- Yatim, A. (2024). Sektor pendingin dan dampaknya pada penurunan emisi GRK di Indonesia. *Prosiding SNTTM XXII 2024*, 22, 69-74.