

Analisis Lingkungan Termal Ruang Kantor di Gedung Mall Pelayanan Publik Barru

*Shapardi Kahir¹

¹Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

Alamat Email: shapardikahir@gmail.com

*Penulis korespondensi, Masuk: 05 Jul. 2024, Direvisi: 28 Jul. 2024, Diterima 25 Sep. 2024

ABSTRAK: Penelitian ini mengkaji kenyamanan termal ruang kantor di Mall Pelayanan Publik Barru dengan fokus pada pemenuhan terhadap standar ASHRAE-55. Kenyamanan termal berperan penting dalam meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan karyawan, terutama di iklim tropis yang menghadirkan tantangan lingkungan signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kondisi termal, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab ketidaknyamanan, dan mengusulkan intervensi desain untuk perbaikan. Pendekatan kuantitatif digunakan dengan menggabungkan pengukuran langsung variabel lingkungan—suhu, kelembapan, kecepatan udara, dan Mean Radiant Temperature—dengan simulasi menggunakan perangkat lunak Ecotect. Data pengguna, termasuk insulasi pakaian dan tingkat metabolisme, juga diintegrasikan untuk menghitung Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). Hasil menunjukkan bahwa ruang kantor tidak memenuhi standar kenyamanan termal, dengan rata-rata PMV sebesar +1,13 dan PPD sebesar 32%, yang mencerminkan sensasi termal "sedikit hangat." Faktor utama penyebab ketidaknyamanan adalah paparan radiasi matahari dari jendela besar di sisi Timur dan distribusi udara dingin yang tidak optimal. Hasil simulasi mendukung pengukuran ini, menunjukkan kekurangan serupa. Penelitian ini menekankan perlunya intervensi yang terarah, seperti solusi peneduhan yang lebih baik dan peningkatan sistem HVAC, untuk mengatasi masalah kenyamanan termal di ruang kantor tropis. Dengan pendekatan gabungan analisis empiris dan simulasi, penelitian ini memberikan kontribusi pada desain ruang kerja berkelanjutan dan menjadi dasar bagi studi lanjut dalam mengeksplorasi solusi kenyamanan termal yang inovatif.

Kata kunci: Ruang Kantor, Kenyamanan Termal, Simulasi Ecotect, PPD, PMV

ABSTRAK: This study investigates the thermal comfort of an office space in the Barru Public Service Mall, with a focus on compliance with ASHRAE-55 standards. Thermal comfort plays a critical role in enhancing employee productivity and well-being, particularly in tropical climates where environmental challenges are pronounced. The study aims to assess the thermal environment, identify factors contributing to discomfort, and propose design interventions for improvement. A quantitative approach was adopted, combining on-site measurements of environmental variables—temperature, humidity, air velocity, and Mean Radiant Temperature—with simulations using the Ecotect software. User-centric data, including clothing insulation and metabolic rates, were also integrated to calculate the Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). The findings reveal that the office space fails to meet thermal comfort standards, with an average PMV of +1.13 and a PPD of 32%, indicating a "slightly warm" thermal sensation. Major contributing factors include excessive solar heat gain from large eastern-facing windows and inadequate distribution of conditioned air. Simulation results corroborate these measurements, suggesting similar deficiencies. This study underscores the need for targeted interventions, such as enhanced shading solutions and improved HVAC systems, to address thermal comfort issues in tropical office settings. By providing a dual approach of empirical and simulation-based analysis, this research contributes to the knowledge of sustainable workspace design and offers a foundation for further studies exploring innovative thermal comfort solutions.

Keywords: Office Space, Thermal Comfort, Ecotect Simulation, PPD, PMV

1. PENDAHULUAN

Kenyamanan termal di tempat kerja merupakan faktor krusial yang memengaruhi produktivitas, kesejahteraan, dan kinerja kognitif karyawan. Berbagai penelitian menekankan pentingnya menjaga kondisi termal yang optimal dalam lingkungan dalam ruangan. Misalnya, Richardson, et al. [1] dan

Kaushik, et al. [2] mengungkapkan bahwa kondisi termal yang nyaman meningkatkan fokus dan efisiensi, sementara ketidaknyamanan termal berdampak negatif pada produktivitas dan kesehatan. Lebih lanjut, penelitian oleh Tanabe, et al. [3] menunjukkan adanya hubungan langsung antara kepuasan termal dengan kinerja kerja. Demikian pula, penelitian pada berbagai jenis bangunan, termasuk kantor dan sekolah, mendukung temuan bahwa lingkungan termal yang baik meningkatkan kesehatan fisik dan kemampuan kognitif [4, 5]. Temuan ini menekankan pentingnya para arsitek dan manajer fasilitas untuk mengintegrasikan aspek kenyamanan termal dalam desain ruang kerja guna menciptakan lingkungan yang mendukung produktivitas dan kesejahteraan [6].

Namun, banyak ruang kerja yang gagal memenuhi standar kenyamanan termal ASHRAE-55, yang diakui secara global. Kekurangan ini sering kali disebabkan oleh pengaturan suhu yang kurang tepat dan tingkat kelembapan yang tidak terjaga, yang berkontribusi pada ketidaknyamanan termal dan penurunan produktivitas [7-9]. Mulyadi [10] menyoroti kenyamanan termal yang tidak memadai di ruang kelas sub urban yang tidak sesuai dengan standar ASHRAE-55. Demikian pula, Villabona, et al. [11] mengidentifikasi ketidakefisienan arsitektural di iklim kering yang gagal memenuhi tolok ukur kenyamanan termal standar ASHRAE. Temuan ini menunjukkan kebutuhan mendesak untuk mengevaluasi kondisi termal ruang kerja dan menerapkan langkah-langkah yang efektif untuk memperbaiki kekurangannya [9, 11].

ASHRAE-55 menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk menilai kenyamanan termal. Standar ini menggunakan skala tujuh poin dari *Predicted Mean Vote* (PMV), yang berkisar dari -3 (dingin) hingga +3 (panas), untuk mengukur persepsi termal penghuni. Selain itu, standar ini menghitung *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) untuk memperkirakan persentase pengguna yang tidak puas dengan kondisi termal yang ada, dengan nilai PPD yang lebih rendah menunjukkan tingkat kepuasan yang lebih tinggi. Indeks-indeks ini memungkinkan para peneliti dan praktisi untuk mengukur kenyamanan termal dan mengidentifikasi penyimpangan dari standar. Alat simulasi termal canggih juga memfasilitasi proses ini, memungkinkan prediksi dampak lingkungan terhadap kenyamanan dan membimbing intervensi untuk mencapai kondisi sesuai dengan kriteria ASHRAE-55.

Dalam studi ini, kondisi termal ruang kantor di Mall Pelayanan Publik Barru dievaluasi berdasarkan standar ASHRAE-55. Kantor yang disurvei, yang terletak di lantai tiga, menghadapi tantangan termal yang signifikan akibat faktor struktural dan lingkungan. Ruangan ini memiliki kaca besar di sisi timur, yang mengeksposnya pada radiasi matahari yang intens selama jam siang hari. Pilihan desain ini memperburuk penambahan panas di dalam ruangan, yang berujung pada ketidaknyamanan termal. Selain itu, celah yang tidak tertutup rapat pada bangunan melemahkan efisiensi sistem ventilasi mekanis, terutama HVAC, yang menyebabkan distribusi udara dingin yang tidak merata. Studi menunjukkan bahwa jendela yang tidak terlindungi di sisi timur secara signifikan meningkatkan kebutuhan energi dan memperburuk ketidaknyamanan termal [12, 13]. Sistem ventilasi yang tidak efektif memperparah masalah ini, menurunkan produktivitas dan konsentrasi penghuni [14, 15].

Penelitian tentang tantangan termal serupa telah memberikan wawasan tentang solusi potensial. Misalnya, penggunaan sistem peneduh pada jendela yang terkena sinar matahari langsung terbukti efektif dalam mengurangi panas [7]. Peningkatan kinerja sistem HVAC melalui desain dan perawatan yang optimal juga menunjukkan peningkatan signifikan dalam distribusi termal dan kenyamanan pengguna [16]. Selain itu, integrasi bahan hemat energi seperti kaca berinsulasi dan penghalang termal canggih dapat secara signifikan mengurangi perpindahan panas dan memastikan pengaturan suhu yang lebih baik di dalam ruangan [5]. Meskipun intervensi ini berhasil secara individu, diperlukan evaluasi menyeluruh untuk menentukan efektivitas gabungannya dalam menghadapi tantangan spesifik di lokasi tertentu.

Meskipun kemajuan ini, masih terdapat kesenjangan kritis dalam penerapan solusi ini di ruang kantor di iklim tropis seperti Indonesia. Penelitian khusus pada lingkungan kantor tropis, termasuk konteks sub urban dan urban, mengungkapkan keterbatasan dalam mengadopsi solusi kenyamanan termal generik [10]. Sementara standar global seperti ASHRAE-55 dan ISO 7730 memberikan kerangka kerja yang berharga, penerapannya secara langsung sering memerlukan adaptasi pada kondisi iklim lokal. Misalnya, skala sensasi termal tujuh poin Bedford, yang banyak digunakan di daerah beriklim sedang, mungkin tidak sepenuhnya menangkap respons termal penghuni di iklim tropis yang lembap [17]. Keterbatasan ini menekankan perlunya studi lokal yang mengintegrasikan persepsi pengguna dengan

pengukuran lingkungan yang objektif untuk menyempurnakan model kenyamanan termal.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab kesenjangan-kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis mendalam terhadap lingkungan termal di ruang kantor *Mall* Pelayanan Publik Barru. Tujuan penelitian meliputi pengukuran tingkat kenyamanan termal menggunakan indeks PMV dan PPD, identifikasi faktor utama yang berkontribusi pada ketidaknyamanan termal, dan evaluasi potensi alat simulasi seperti *Ecotect* untuk memodelkan dan memprediksi kondisi termal secara akurat. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan ganda, yang menggabungkan pengukuran empiris dengan analisis berbasis simulasi untuk memberikan pemahaman yang holistik tentang tantangan termal yang dihadapi oleh ruang kantor ini. Dengan menyelaraskan metodologinya dengan standar ASHRAE-55, penelitian ini memberikan wawasan berharga tentang desain dan pengelolaan ruang kerja yang nyaman secara termal di lingkungan tropis.

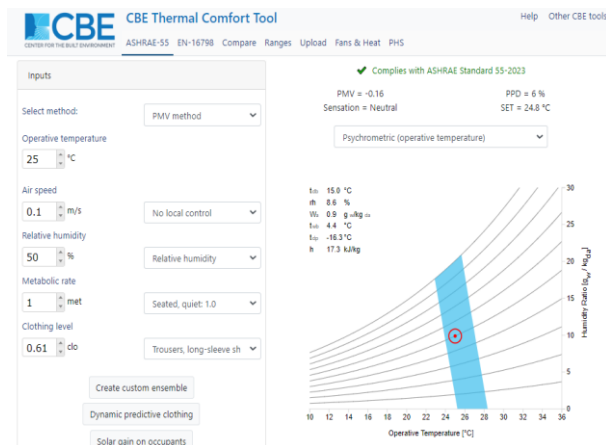
Ruang lingkup penelitian ini melampaui sekadar mengidentifikasi kekurangan dalam lingkungan termal. Penelitian ini mengeksplorasi intervensi praktis berbasis bukti yang disesuaikan dengan karakteristik unik dari kantor yang disurvei. Dengan fokus pada variabel lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan aliran udara, serta faktor-faktor berbasis pengguna seperti insulasi pakaian dan tingkat metabolisme, penelitian ini mengadopsi pendekatan komprehensif. Temuan penelitian ini bertujuan untuk memberikan panduan kepada pembuat kebijakan, arsitek, dan pengelola bangunan tentang strategi untuk meningkatkan kenyamanan termal, sehingga menciptakan lingkungan kerja yang lebih sehat dan produktif.

2. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian ini mengukur lingkungan termal secara kuantitatif. Pengumpulan data untuk penelitian ini dilakukan sejak 4–8 September 2023. Pada penelitian ini menggunakan perhitungan dari nilai *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD), *Operative Temperature* (Top), dan *Predicted Mean Vote* (PMV) dengan analisis obyektif melalui *software Center for Built Environment (CBE) Thermal Comfort Tool* lalu disandingkan dengan hasil simulasi pada aplikasi *Ecotect*. Pada penelitian ini terdiri dari dua variabel yaitu data lingkungan termal dan data pengguna secara objektif. Data lingkungan termal diambil dari hasil pengukuran menggunakan instrumen penelitian yakni terdiri dari data suhu ruangan (T), kelembapan (Rh), MRT (*Mean radiant temperature*) dan kecepatan angin (V).

Sedangkan untuk data pengguna diambil melalui pengamatan aktivitas secara objektif (met) dan pakaian yang digunakan saat bekerja (clo).

Terdapat 35 orang pegawai tetap pada ruang kantor dinas perizinan yang menjadi data pengguna yang dinilai secara objektif untuk mengetahui data aktivitas (met) dan pakaian yang digunakan (clo). Aktivitas pada saat pengambilan data tergolong dalam kategori *sedentary* yaitu duduk bekerja dengan nilai 1.0 Met. Untuk data pakaian yang digunakan yaitu pakaian seragam pegawai, jika disesuaikan dalam tabel 2 maka nilai *clo* sebesar 0,74 clo.



Gambar 1. Software CBE Thermal comfort tool

Hasil pengukuran lingkungan termal di input ke dalam *software CBE Thermal comfort tool* untuk melihat hasil kalkulasi nilai PMV dan nilai PPD. Nilai tersebut di masukkan ke dalam tabel 3.

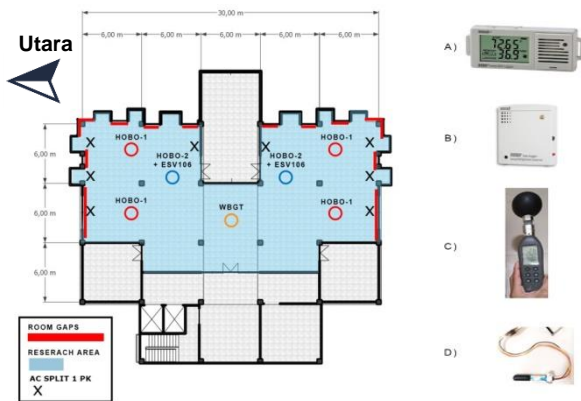
Pengukuran dilakukan pada ketinggian 1 meter di atas lantai menurut Hamzah, et al. [4]. Pengukuran ini juga telah dilakukan oleh Latif, et al. [18]. Selama lima hari kerja, pengukuran dilakukan di area perkantoran lantai tiga gedung Mall pelayanan publik Barru. Data lingkungan termal dikumpulkan setiap hari antara pukul 08.00 hingga 16.00.

2.1 Instrumen Penelitian

Empat alat Hobo—Hobo *Temp / RH Logger* (UX100-011) untuk mengukur profil suhu dan kelembapan ruangan, alat Hobo *Temp / RH / Light / External* (U12-012) dengan tambahan *Hot Wire Anemometer* (ESV106) untuk mengukur angin kecepatan, dan alat suhu Hobo *Temp / RH / Globe* (U12-012)—digunakan oleh beberapa instrumen penelitian objektif untuk mengukur lingkungan termal.

Alat *Hobo data Logger* (UX100) digunakan untuk mendapatkan nilai Profil temperatur ruangan (T) dan kelembapan ruangan (RH). Alat WBG Meter untuk mendapatkan nilai Temperatur Globe (TG). *Hot wire*

anemometer + Hobo U12-012 digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan angin dalam ruangan.



Gambar 2. Titik pengambilan data pada peta (Kiri) dan alat pengumpul data (Kanan): a) Hobo-1, Hobo Temp / RH Logger b) Hobo-2, Hobo Temp/ RH / Light/ External, c) WBGt Meter, d) Anemometer Kawat Panas (ESV106).

Tabel 1. Spesifikasi alat instrumen penelitian .

No	Nama instrument	Jangkauan	Akurasi	Resolusi
1	Hobo Temp / RH Logger (UX100 - 011)	Jangkauan Temperatur : - 20°C to +70°C	Akurasi: ±0,21°C	Resolusi 0,024°C
	- Temperatur udara	Jangkauan kelembapan: 5%	Akurasi: ±2,5 %	Resolusi 0,05%
	- Kelembapan	RH ~ 95% RH		
2	Hobo Temp/ RH / Light/ External (U12-012)	Jangkauan Temperatur : - 20°C to +70°C	Akurasi: ±0,21°C	Resolusi 0,024°C
	- Temperatur udara	Jangkauan kelembapan : 5%	Akurasi: ±2,5 %	Resolusi 0,05%
	- Kelembapan	RH ~ 95% RH		
3	Hot Wire Anemometer (ESV106)	Jangkauan kecepatan angin: 0,01 – 20 m/s	Tidak tersedia	Resolusi 0,01 m/s
	- Kecepatan angin			
4	WBGt Meter 87786	Jangkauan temperatur: 0°C to +80°C	Akurasi : - ±1°C (15- 40 °C)	Resolusi 0,1°C
	- TemperaturGlobe			

Untuk mengukur tingkat kenyamanan termal responden digunakan survei pengukuran subjektif. Pendekatan kuesioner yang digunakan untuk penelitian ini dimodifikasi dari Wong and Khoo [19] dan penelitian Hamzah, et al. [20] telah digunakan sebelumnya.

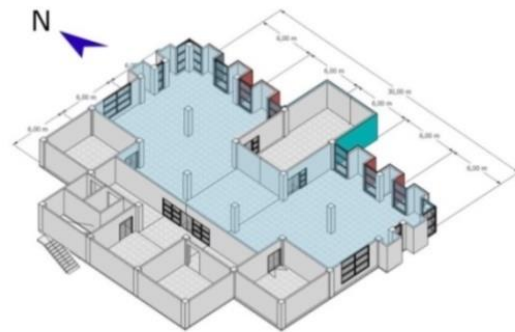
2.2 Nilai Standar Insulasi

Nilai insulasi clo mengadopsi penelitian Al-Ajmi, dan Nilai clo dari penelitian Lee [21]. Nilai ini diperoleh dari standar ASHRAE55-2020 [22]. Faktor individu lainnya yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah persepsi pengguna [23]. Pengumpulan data menunjukkan bahwa 35 responden pegawai yang menggunakan pakaiannya adalah seragam pegawai negeri sipil yang mempunyai nilai 0,74 clo dan terdiri dari rok /celana

panjang serta seragam lengan panjang untuk pria dan wanita. Duduk dan membaca adalah aktivitas utama selama pengukuran. Jenis aktivitas ini memiliki tingkat metabolisme 1,0 [24].

Table 2. Nilai insulasi Clo.

Insulasi	Clo
baju lengan pendek	0,36
Pakaian dalam ruangan khas musim panas	0,50
rok, lengan pendek, kemeja, sandal, pakaian dalam	0,54
Kemeja lengan pendek, kaos kaki, sepatu, celana dalam	0,57
Baju lengan panjang	0,61
Rok selutut, kemeja lengan panjang, full slip	0,67
Celana kain panjang, lengan panjang,	0,74
Jaket, celana panjang, kemeja lengan panjang	0,96
Pakaian dalam ruangan khas musim dingin	1,00



Gambar 3. Isometrik ruang kantor lantai 3 gedung MPP Barru



Gambar 4. Situasi pengambilan data menggunakan instrumen penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Lingkungan Termal Ruang Kantor.

Proses analisis data didasarkan pada pengumpulan dan perbandingan data kondisi lingkungan termal dengan standar ASHRAE 55 [25]. Data tersebut mencakup nilai yang dihitung untuk MRT dan Top serta nilai yang diperoleh untuk Ta, RH, dan V. Perhitungan lingkungan menggunakan metode PMV melalui CBE Thermal Comfort Tool [26].

Selanjutnya untuk mengetahui nilai *Mean Radiant Temperature* (MRT), dilakukan perhitungan dengan menggunakan data hasil pengukuran *Globe Temperature* (Tg), dan *Air Flow Speed* (V), sebagai berikut [19]:

$$MRT = Tg + 2.42 \times V \times (Tg - Ta) \quad (1)$$

Di mana; MRT adalah Suhu Radiasi Rata-rata [°C], Tg adalah suhu bola dunia [°C], V adalah kecepatan aliran udara [m/s], dan Ta adalah suhu udara [°C].

Temperatur operatif / Top (Atas) adalah suhu rata-rata udara kering ruangan dan suhu radiasi. Secara matematis perhitungan temperatur operasi (Atas) dapat ditampilkan sebagai berikut [20]:

$$Top = \{MRT + (Ta \times \sqrt{10V})\} / 1 + \sqrt{10V} \quad (2)$$

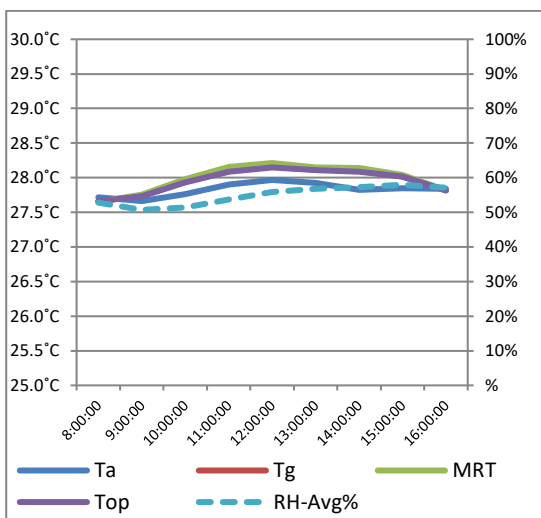
Di mana; Top adalah temperatur operatif [°C], MRT adalah *Mean Radiant Temperature* [°C], Ta adalah temperatur udara [°C], dan V adalah kecepatan aliran udara [m/s].

Data temperatur operatif (Top) adalah data yang dibutuhkan untuk di input ke dalam *software CBE Thermal comfort tool* bersama dengan data temperature (T), kelembapan (Rh), kecepatan angin (V), Metabolisme (Met) dan Insulasi pakaian (Clo). Setelah itu didapatkan hasil nilai PMV (*Predicted mean vote*) dan nilai PPD (*Predicted percentage of Dissatisfied*).

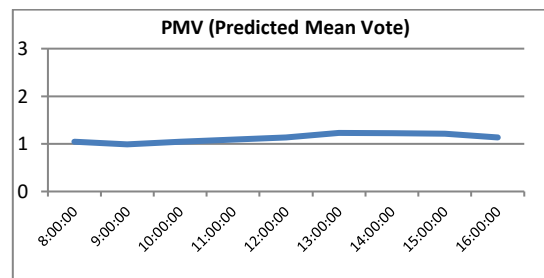
Selanjutnya, hasil pengukuran dari empat titik data (Hobo-1), dua titik data (hobo-2), dan satu titik data dari WBGT meter digabungkan dan dirata-ratakan selama lima hari (4–8 September 2023) pengumpulan. data diubah dalam variabel waktu pukul 08.00 hingga pukul 16.00 sebagai berikut:

Table 3. Hasil pengukuran lingkungan termal

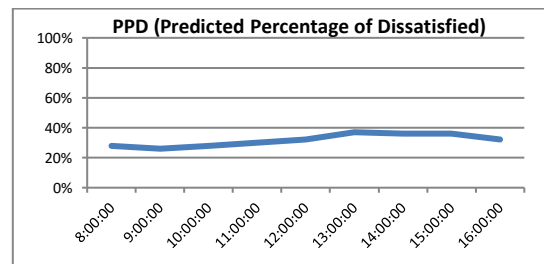
Variable	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
Temp - Avg °C (Ta)	27,7	27,6	27,7	27,9	27,9	27,9	27,8	27,8	27,8
RH-Avg %	52,7	50,7	51,4	53,6	55,9	56,7	57,2	57,9	57,1
Air Velocity (m/s)	0,06	0,09	0,10	0,11	0,11	0,06	0,06	0,06	0,06
Temp Globe - Avg °C (Tg)	27,6	27,7	27,9	28,1	28,1	28,1	28,1	28,0	27,8
MRT °C	27,6	27,7	27,9	28,1	28,2	28,1	28,1	28,0	27,8
Temp Operative °C (Top)	27,6	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,0	28,0	27,8
PMV	1,04	0,99	1,05	1,09	1,14	1,23	1,22	1,21	1,13
PPD	28%	26%	28%	30%	32%	37%	36%	36%	32%
Sensation	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW



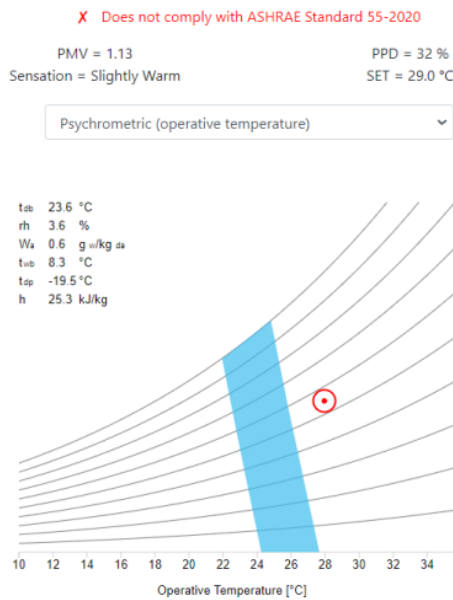
Gambar 5. Profil Temperatur udara (Ta) [°C], MRT [°C], suhu operasi (Top) [°C], dan Temperatur globe (Tg).



Gambar 6. Nilai PMV rata-rata



Gambar 7. Nilai PPD rata-rata

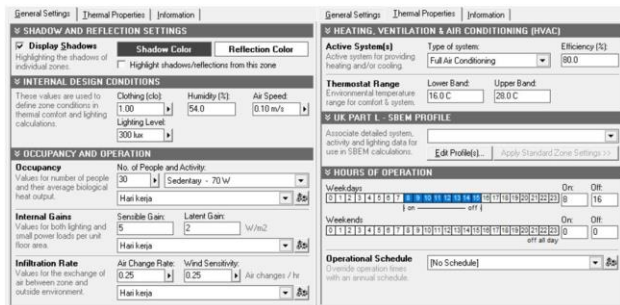


Gambar 8. Psikometri standar PMV dan PPD ASHRAE55-2020 ruang kantor

Berdasarkan perhitungan lingkungan termal, nilai MRT rata-rata adalah 27,9 °C dan kelembapan rata-rata 54,8%. Temuan psikometrik menunjukkan bahwa area perkantoran tidak memenuhi kriteria standar kenyamanan ASHRAE-55 dengan nilai PPD 32% dan nilai PMV +1,13 yang menunjukkan sensasi agak hangat (SW).

3.2. Metode Simulasi Termal

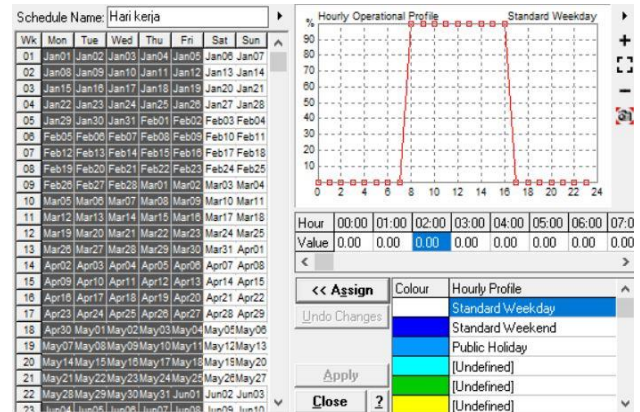
Simulasi menggunakan aplikasi Ecotect versi 2011 untuk mengidentifikasi kondisi lingkungan termal ruangan eksisting kantor secara merata [27].



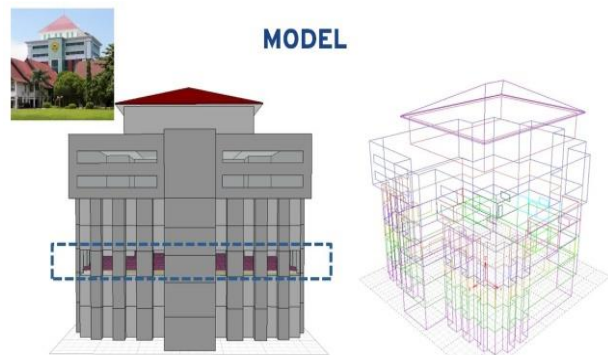
Gambar 9. General settings dan thermal properties simulasi lingkungan termal

Pada bagian *general settings* dipilih nilai *clo* 1.0 *humidity* 54% dan *wind speed* 0,1 m/s. Hari kerja di ditetapkan pada hari Senin sampai hari Jumat mulai pukul 08.00 sampai dengan 16.00 sebagai *hours operation*. Jumlah pegawai yang bekerja di dalam ruangan yaitu 30 orang. Aktivitas digolongkan sebagai *sedentary* dimana pegawai dominan bekerja dan mengetik [28]. Pada bagian

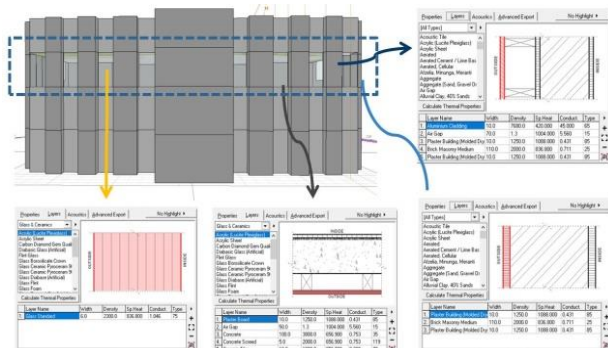
thermal properties ruangan dengan tipe HVAC, *setting thermostat* 16°C dan batas atas 28 °C. *Hours Operation* dimana AC bekerja pada saat hari kerja (*Weekdays*) dan sistem AC tidak beroperasi pada saat hari libur kerja (*Weekend*).



Gambar 10. Schedule pegawai kantor simulasi lingkungan termal

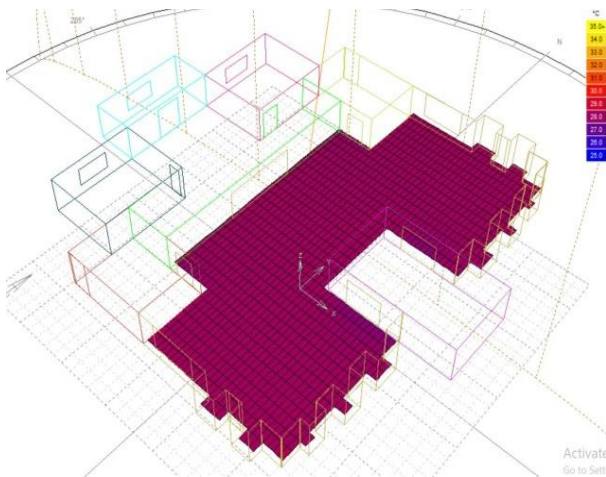


Gambar 11. Modelling simulasi ruangan kantor pada aplikasi Ecotect

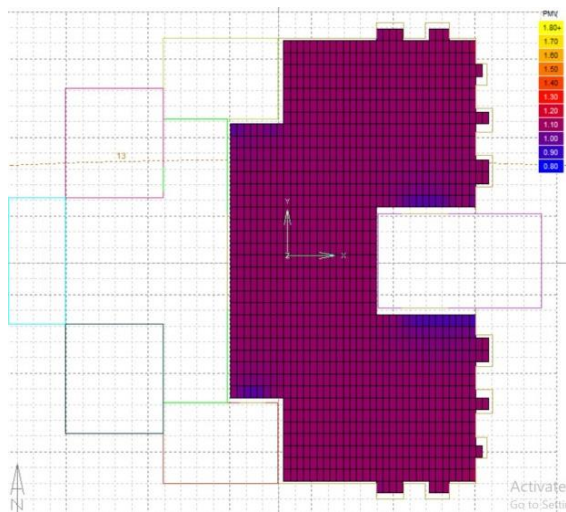


Gambar 12. Input material data simulasi ruangan kantor pada aplikasi Ecotect

Berikut material data mulai dari material bukaan kaca yang berada di utara, timur dan selatan yaitu *Glass standard*, material lantai menggunakan *Concrete suspended* dikarenakan berada di lantai 3 di atas dan di bawahnya terdapat ruangan, material dinding menggunakan ACP dan dinding bata.



Gambar 13. Mean Radiant Temperature simulasi ruangan kantor pada aplikasi Ecotect.



Gambar 14. Nilai PMV simulasi ruangan kantor pada aplikasi Ecotect.

Hasil nilai *Mean Radiant Temperature* sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan instrumen penelitian yaitu 28,0 sampai 29,9 °C. begitu pula nilai PMV (*Predicted Mean Vote*) ruangan kantor 0,99 sampai 1,23, nilai ini mengindikasikan secara simulasi bahwa ruangan tersebut belum memenuhi standar kenyamanan termal ASHRAE-55.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi kenyamanan termal ruang kantor Mall Pelayanan Publik Baru berdasarkan standar ASHRAE-55, dengan menggabungkan pengukuran empiris dan simulasi termal. Hasil utama menunjukkan bahwa ruang kantor tidak memenuhi kriteria kenyamanan termal, dengan rata-rata PMV sebesar +1,13 dan PPD sebesar 32%, menunjukkan sensasi termal "agak hangat." Simulasi dengan perangkat lunak Ecotect mengonfirmasi hasil pengukuran langsung, dengan PMV berkisar antara +0,99 hingga +1,23. Analisis lebih lanjut mengidentifikasi bukaan besar di sisi timur dan distribusi udara dingin yang tidak optimal sebagai penyebab utama ketidaknyamanan termal.

Implikasi penelitian ini menyoroti perlunya intervensi desain, seperti perlindungan terhadap radiasi matahari dan optimalisasi sistem HVAC, untuk meningkatkan kenyamanan termal di ruang kerja tropis. Kontribusi utama studi ini adalah pendekatan terpadu yang menggabungkan data objektif dan simulasi, menyediakan wawasan untuk desain bangunan yang lebih responsif terhadap kondisi iklim lokal.

Untuk penelitian mendatang, disarankan fokus pada persepsi subjektif pengguna terhadap kenyamanan termal, serta eksplorasi solusi inovatif, seperti integrasi material hemat energi dan sistem pendinginan pasif. Temuan ini memberikan dasar penting bagi desain ruang kerja yang lebih efisien, sehat, dan produktif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. B. Richardson, J. M. Gohlke, and D. B. Allison, "Effects of Indoor Thermal Environment on Human Food Intake, Productivity, and Comfort: Pilot, Randomized, Crossover Trial," *Obesity*, vol. 26, no. 12, pp. 1826-1833, 2018, doi: 10.1002/oby.22328.
- [2] A. Kaushik, M. Arif, P. D. Tumula, and O. J. Ebohon, "Effect of Thermal Comfort on Occupant Productivity in Office Buildings: Response Surface Analysis," *Building and Environment*, vol. 180, p. 107021, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107021.
- [3] S. i. Tanabe, M. Haneda, and N. Nishihara, "Workplace Productivity and Individual Thermal Satisfaction," *Building and Environment*, vol. 91, pp. 42-50, 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.02.032.
- [4] B. Hamzah, Z. Gou, R. Mulyadi, and S. Amin, "Thermal Comfort Analyses of Secondary School Students in the Tropics," *Buildings*, vol. 8, no. 4, p. 56, 2018, doi: 10.3390/buildings8040056.
- [5] B. Moktan, "Improving Classroom Thermal Comfort of Educational Buildings: Case of Kantipur City College," *Journal of Engineering Issues and Solutions*, vol. 2, no. 1, pp. 93-110, 2023, doi: 10.3126/joeis.v2i1.49486.

- [6] J. Malik, R. Bardhan, and P. Banerji, "Rethinking Indoor Thermal Comfort in the Era of Rebound and Pre-bound Effect for the Developing World: A Systematic Review," *Indoor Air*, vol. 30, no. 3, pp. 377-395, 2020, doi: 10.1111/ina.12664.
- [7] A. Baharun, M. Imran, S. H. Ibrahim, and A. Wan Azlan Wan Zainal, "Night Cooled Radiant Cooling Panel for Sustainable Building Cooling Mode in Malaysia," *Journal of Construction in Developing Countries*, vol. 23, no. 1, pp. 61-79, 2018, doi: 10.21315/jcdc2018.23.1.4.
- [8] M. O. Efeoma and O. Uduku, "Assessing Thermal Comfort and Energy Efficiency in Tropical African Offices Using the Adaptive Approach," *Structural Survey*, vol. 32, no. 5, pp. 396-412, 2014, doi: 10.1108/ss-03-2014-0015.
- [9] T. D. Mustapha, A. S. Hassan, F. Khozaei, and H. O. Onubi, "Examining Thermal Comfort Levels and ASHRAE Standard-55 Applicability: A Case Study of Free-Running Classrooms in Abuja, Nigeria," *Indoor and Built Environment*, vol. 33, no. 1, pp. 8-22, 2023, doi: 10.1177/1420326x231177430.
- [10] R. Mulyadi, "Analysis of Thermal Condition of Classrooms in Suburban Area During Corona Virus Disease Using Adaptive Method," *Top Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 1272, no. 1, p. 012007, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1272/1/012007.
- [11] J. A. Villabona, J. Terés-Zubiaga, Y. A. M. Maldonado, O. L. Pérez, and L. d. Portillo, "Assessing the Thermal Performance of a Conventional Architecture in a Dry Warm Climate," *Heritage and Sustainable Development Issn 2712-0554*, vol. 3, no. 2, pp. 173-182, 2021, doi: 10.37868/hsd.v3i2.66.
- [12] T. H. Karyono, "Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia," *Building and environment*, vol. 35, no. 1, pp. 77-90, 2000.
- [13] L. Bourikas *et al.*, "Camera-based window-opening estimation in a naturally ventilated office," *Building Research & Information*, vol. 46, no. 2, pp. 148-163, 2018.
- [14] F. Felgueiras, L. Cunha, Z. Mourao, A. Moreira, and M. F. Gabriel, "A systematic review of environmental intervention studies in offices with beneficial effects on workers' health, well-being and productivity," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 13, no. 9, p. 101513, 2022.
- [15] S. Latif, I. Idrus, and A. Ahmad, "Kenyamanan Termal pada Rumah Kos (Studi Kasus Pondok Istiqomah di Makassar)," *Jurnal Linears*, vol. 2, no. 1, pp. 1-7, 2019.
- [16] A. K. Melikov, "Advanced air distribution: improving health and comfort while reducing energy use," *Indoor air*, vol. 26, no. 1, pp. 112-124, 2016.
- [17] T. Bedford, "The Warmth Factor in Comfort at Work. A Physiological Study of Heating and Ventilation," 1936.
- [18] S. Latif, B. Hamzah, R. Rahim, and R. Mulyadi, "Identifikasi Kenyamanan Termal Rumah Tradisional Bugis di Iklim Tropis Lembap," *Tesa Arsitektur*, vol. 17, no. 1, 2019.
- [19] N. H. Wong and S. S. Khoo, "Thermal comfort in classrooms in the tropics," *Energy and buildings*, vol. 35, no. 4, pp. 337-351, 2003.
- [20] B. Hamzah, M. T. Ishak, S. Beddu, and M. Y. Osman, "Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms," *Structural Survey*, vol. 34, no. 4/5, pp. 427-445, 2016.
- [21] K. Lee, H. Choi, J.-H. Choi, and T. Kim, "Development of a data-driven predictive model of clothing thermal insulation estimation by using advanced computational approaches," *Sustainability*, vol. 11, no. 20, p. 5702, 2019.
- [22] A. Standard, "Thermal environmental conditions for human occupancy," *ANSI/ASHRAE*, 55, vol. 5, 1992.
- [23] S. Kahir, S. Syam, and A. Harisah, "Persepsi Pengguna Terhadap Warna Interior Mesjid," *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, vol. 9, no. 1, pp. 20-30, 2020.
- [24] M. Luo, Z. Wang, K. Ke, B. Cao, Y. Zhai, and X. Zhou, "Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge," *Building and Environment*, vol. 131, pp. 44-52, 2018.
- [25] C. E. Vázquez-Torres, A. Beizaee, and D. Bienvenido-Huertas, "The impact of human occupancy in thermal performance of a historic religious building in sub-humid temperate climate," *Energy and Buildings*, vol. 259, p. 111912, 2022.
- [26] CBE. "CBE Thermal Comfort Tool." University of California Berkeley (USA). <https://comfort.cbe.berkeley.edu/> (accessed Sept 23, 2023).
- [27] P. Anand, C. Deb, and R. Alur, "A simplified tool for building layout design based on thermal comfort simulations," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 6, no. 2, pp. 218-230, 2017.
- [28] D. Thivel, A. Tremblay, P. M. Genin, S. Panahi, D. Rivière, and M. Duclos, "Physical activity, inactivity, and sedentary behaviors: definitions and implications in occupational health," *Frontiers in public health*, vol. 6, p. 288, 2018.

