

PENGARUH KONFIGURASI RUANG TERHADAP KENYAMANAN TERMAL PENGGUNA GEDUNG DI DAERAH BERIKLIM TROPIS LEMBAP

Article History:

First draft received:

18 Agustus 2022

Revised:

28 November 2022

Accepted:

11 Februari 2023

First online:

16 Februari 2023

Final proof received:

Print:

16 Februari 2023

Online

16 Februari 2023

Jurnal Arsitektur **ZONASI**
is indexed and listed in
several databases:

SINTA 4 (Arjuna)

GARUDA (Garda Rujukan Digital)

Google Scholar

Dimensions

oneSearch

BASE

Member:

Crossref

RJI

APTARI

FJA (Forum Jurna Arsitektur)

IAI

AJPKM

Pandu K. Utomo¹

Dharwati P. Sari²

Harta D. Nanda³

Cindy U. Nurjannah⁴

^{1,2,3,4} Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

Jl. Sambaliung no.9, Sempaja Selatan

Email: pandukutomo@ft.unmul.ac.id

dharwatipratamasari@ft.unmul.ac.id

Abstract: Laboratory Building FT Unmul is a building located in humid tropical climate. With humans carrying out various activities, thermal comfort needs to be measured to find out how the building represents a good tropical building. This research was carried out using the Predicted Mean Vote (PMV) model which collaborates on personal variables and spatial variables. Measurements were carried out in several rooms inside the Laboratory Building, using thermal comfort software. The results of this study indicate that without air-conditioning, rooms that are directly exposed to sunlight do not provide thermal comfort while other rooms are able to achieve that. Meanwhile, with artificial ventilation intervention, most of the space does not increase the thermal comfort for the user. These results can be taken into consideration in the design (space configuration) and building management (room management and building energy consumption).

Keywords: thermal comfort, PMV method, space configuration, building management

Abstrak: Laboratory Building FT Unmul merupakan bangunan gedung yang terletak di daerah beriklim tropis lembap. Dengan berbagai aktivitas manusia di dalamnya, kenyamanan termal perlu diukur untuk mengetahui sejauh mana bangunan tersebut merepresentasikan bangunan tropis yang baik. Penelitian ini dilaksanakan dengan metode model Predicted Mean Vote (PMV) yang mengolaborasi variabel personal dan variabel ruang. Pengukuran dilakukan di beberapa ruang yang ada di dalam Laboratory Building, dengan perangkat lunak pengukuran thermal comfort. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanpa penghawaan buatan, ruang-ruang yang langsung terpapar sinar matahari tidak memberikan kenyamanan termal sementara ruang lainnya mampu mencapai kenyamanan termal. Sedangkan dengan bantuan penghawaan buatan, Sebagian besar ruang tidak berhasil memberi kenyamanan termal bagi pengguna. Hasil tersebut dapat dijadikan pertimbangan dalam perancangan (konfigurasi ruang) dan manajemen bangunan (tata kelola ruang dan energi).

Kata Kunci: kenyamanan termal, metode PNV, konfigurasi ruang, manajemen bangunan

1. Pendahuluan

Pada tahun 2021 Fakultas Teknik Universitas Mulawarman mengoperasikan 2 buah gedung baru, yakni Lecture Building dan Laboratory Building. Kedua gedung baru ini dirancang agar dapat adaptif terhadap iklim tropis lembap yang mendominasi wilayah Kalimantan Timur. Kota Samarinda, tempat di mana kedua gedung ini berdiri, memiliki iklim mikro yang khas yakni suhu rata-rata siang hari berkisar antara 22,6° C – 33,9° C

(Karyati et al., 2020). Suhu merata tersebut relatif tinggi dan menjadi tantangan dalam mencapai tujuannya untuk memberi kenyamanan bagi pengguna, khususnya kenyamanan termal. Kenyamanan termal itu sendiri merupakan satu dari banyak aspek yang menjadi preferensi untuk mengukur seberapa nyaman seseorang ketika berada di dalam suatu gedung.

Laboratory Building terdiri dari 4 lantai dan memiliki ruang-ruang dengan beragam fungsi, antara lain ruang kerja dosen, ruang laboratorium, perpustakaan, ruang rapat, ruang seminar, dan ruang pegawai/staf. Selain itu terdapat beberapa ruang servis, ruang tunggu, selasar, dan area terbuka. Beragamnya fungsi ruang ini menyebabkan konfigurasi ruang yang sangat variatif. Konsekuensi dari konfigurasi ruang ini adalah adanya ruang-ruang yang memiliki akses langsung ke bagian luar bangunan dan Sebagian ruang yang tidak memiliki akses tersebut. Dengan demikian beberapa ruang mendapat sinar matahari langsung, sementara beberapa ruang lainnya tidak mendapatkannya. Perbedaan ini perlu diteliti untuk mengetahui apakah konfigurasi yang berbeda itu akan menyebabkan kondisi termal yang berbeda pula.

Pengukuran persepsi nyaman termal ini dapat menjadi acuan untuk mengklaim apakah kedua bangunan ini berhasil menunjukkan performanya dalam memberi kenyamanan kepada pengguna atau sebaliknya. Kondisi ketidaknyamanan termal yang akan berpengaruh pada produktifitas tenaga pengajar maupun mahasiswa yang menggunakan ruangan tersebut (Atthailah et al., 2017) dan hal itu harus dihindari karena ketidaknyamanan termal berpotensi menyebabkan tidak terciptanya pengajaran yang berkualitas dan bahkan dapat menyebabkan stres pada pengguna, dalam hal ini khususnya mahasiswa sebagai peserta didik (Amasuomo & Amasuomo, 2016).

Definisi nyaman termal telah mengalami perjalanan panjang dari berbagai penelitian dan pemikiran para pakar di bidang ini. Ada tiga pendekatan kenyamanan termal menurut (Höppe, 2002) yakni pendekatan *thermophysiological*, pendekatan *heat balance* (keseimbangan panas), dan pendekatan psikologis. American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer (ASHRAE) telah merilis banyak instrument yang berkaitan dengan kenyamanan termal. Mengacu kepada ASHRAE Standard 55, kenyamanan termal dapat diartikan sebagai kondisi pikiran yang menyatakan tingkat kepuasan sesuai dengan kondisi lingkungan termal (ASHRAE, 2020). Kenyamanan termal mencakup tiga aspek yaitu fisik, fisiologis dan psikologis, meskipun demikian (Sugini, 2004) berpendapat bahwa memaknai kenyamanan termal berdasarkan pendekatan psikologis adalah pemaknaan yang paling komprehensif.

Ada banyak teori yang digunakan dalam mengukur dan menganalisa kenyamanan termal, namun terdapat dua kelompok besar yang mendominasi yaitu Predicted Mean Vote (PMV) dan Adaptive Comfort. Perbedaan utama antara keduanya adalah PMV lebih akurat diterapkan di bangunan yang menggunakan sistem penghawaan buatan, sementara, Adaptive Comfort diterapkan pada bangunan yang mengintegrasikan sistem penghawaan alami (Atthailah et al., 2017; Hien et al., 2017; Jindal, 2019; Singh et al., 2018). Kenyamanan termal dapat diukur dengan menganalisis beberapa variabel termal antara lain suhu, kelembapan, dan kecepatan udara (Nicol & Humphreys, 2002). Berdasarkan teori persamaan Fanger (Fanger, 1982 dalam Sugini, 2004) variabel yang menentukan kenyamanan termal adalah variabel personal dan variabel ruang. Variabel personal meliputi laju metabolisme sesuai dengan aktivitas laju insulasi pakaian yang diwujudkan dalam jenis pakaian yang digunakan. Sedangkan variabel ruang meliputi suhu udara, radiasi rata-rata, kelembapan, dan pergerakan udara atau kecepatan angin. Rumusan Fanger menjadikan enam variabel tersebut dalam memprediksi derajat kenyamanan termal dan hal ini lazim dianut dalam model PMV.

Menurut (Ariestadi et al., 2014) terdapat 8 faktor terkait desain bangunan yang mempengaruhi kenyamanan termal, yaitu :

- (1) lokasi bangunan yang mempengaruhi kenyamanan suhu dan pencahayaan;
- (2) upaya reduksi panas sekitar bangunan,
- (3) denah bangunan yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan;
- (4) bentuk arsitektur yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan;
- (5) desain struktural dan selubung banunan untuk kenyamanan suhu;
- (6) desain struktural dan selubung banunan untuk kenyamanan pencahayaan;
- (7) interior ruang yang berpengaruh pada kenyamanan suhu dan pencahayaan; dan
- (8) sistem penghawaan dan pencahayaan buatan.

Faktor (3) dapat dikaitkan dengan apa yang disebut dengan konfigurasi ruang. Dalam pemrograman arsitektur, tata letak ruang ditentukan fungsinya, kemudian melahirkan denah sebagai satu kesatuan rancangan. Ruang-ruang yang tersusun dalam sebuah denah akan memiliki posisi, orientasi, dan bentuk tersendiri.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian secara deskriptif dilakukan dengan kajian teori terutama yang terkait dengan penerapan model PMV dalam mengukur kenyamanan termal. Setelah ditentukan beberapa variabel yang diperlukan dalam model PMV maka survei dan pengukuran dilakukan dengan pembagian rentang waktu menjadi 3 yaitu pukul 07.00-10.00, pukul 11.00-13.00. dan pukul 14.00-17.00. Variabel selain ruang yaitu variabel metabolisme tubuh dan insulasi pakaian ditentukan dengan nilai perkiraan yang lazim berdasarkan aktivitas pengguna gedung yang umum.

Model PMV bisa dilakukan untuk gedung dengan penghawaan buatan maupun hedung yang menerapkan penghawaan alami (Gilani et al., 2015). Analisis dari data yang diperoleh dilapangan akan menggunakan psychrometric chart yang menjadi bagian dari *Thermal Control Tool* dari Center for the Built Environmet (CBE). Aplikasi *Thermal Control Tool* merupakan perangkat lunak berbasis web yang dikembangkan CBE sehingga memungkinkan peneliti, insinyur, dan berbagai pihak untuk melakukan analisa terkait kenyamanan termal bangunan secara *real time*. Keunggulan aplikasi ini adalah ia merupakan aplikasi analisis model untuk menentukan kenyamanan termal yang paling mutakhir saat ini dan mengakomodasi fitur yang interaktif dan sesuai dengan standar ASHRAE 55 (Tartarini et al., 2020). Untuk penelitian lanjutan, perhitungan kenyamanan termal menggunakan metode PMV bisa dikolaborasikan dengan kuesioner kepada responden dari pengguna gedung (Fidela et al., 2019; Kim et al., 2015). Dengan kombinasi semacam ini, data dapat dikonfirmasi untuk membuktikan sensasi nyaman sesuai dengan hasil kuantitatif metode PMV.

3. Hasil dan Pembahasan

Konfigurasi ruang dapat didefinisikan sebagai susunan dari ruang-ruang yang ada dalam sebuah bangunan yang bukan hanya tentang letaknya melainkan juga terkait hubungan antara ruang serta berbagai konsekuensi yang mengikutinya. Dalam proses analisis, akan ditemukan korelasi antara konfigurasi ruang dan kondisi termalnya. Penerapan model PMV menjadi bagian dari analisis untuk menemukan temuan penelitian.

3.1 Kondisi *Laboratory Building*

Laboratory Building merupakan bangunan 4 lantai dan memiliki luas lantai efektif 3.158,4 m². Setiap lantai memiliki fungsi yang berbeda-beda mulai dari perpustakaan, ruang dosen, ruang laboratorium, ruang siding, ruang seminar, dan beberapa ruang pendukung lainnya. Dengan panjang mencapai 37,6 m dan lebar 21 m, sisi panjang dari bangunan ini berorientasi kea rah timur laut dan barat daya. Bangunan ini dibekali dengan lift sebagai transportasi vertikal bangunan dan sistem penghawaan terpusat.

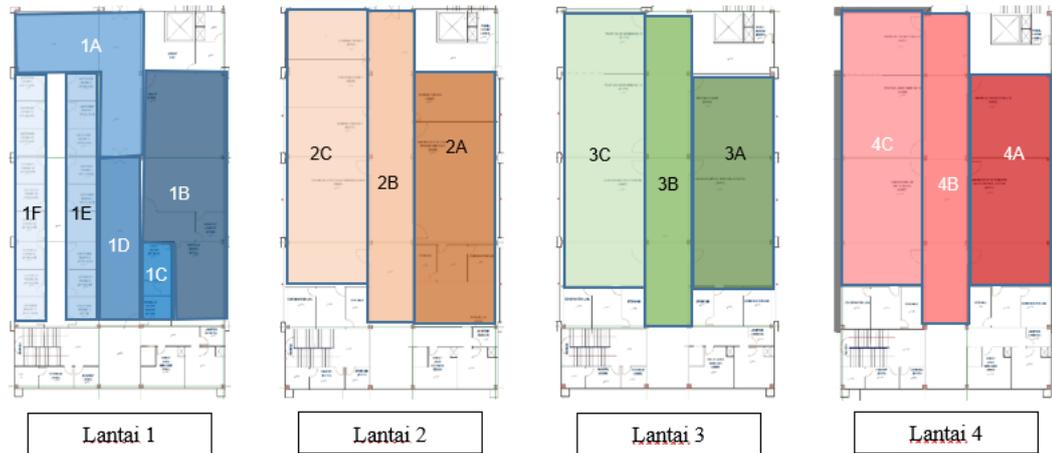
Konfigurasi ruang Laboratory Building tersusun dengan proporsi dan grid yang teratur, dengan sistem selasar berada di tengah bangunan. Susunan semacam ini memiliki konsekuensi berupa ruang-ruang utama berada pada sisi terluar massa bangunan yang langsung terpapar sinar matahari. Meskipun demikian, terdapat beberapa ruangan yang tidak memiliki bukaan yang langsung mendapat sinar matahari. Untuk mengakomodasi penghawaan yang optimal, bangunan ini menerapkan AC terpusat di ruang ruang yang memiliki fungsi penting.



Gambar 1. Kondisi Laboratory Building
(Sumber: survei, 2022)

3.2 Hasil Permodelan PMV Laboratory Building

Pengukuran kenyamanan termal bangunan dilakukan dengan membagi ruang-ruang yang ada di Laboratory Building ke beberapa kelompok ruang (*grouping area*) sesuai dengan kondisi dan karakteristiknya. Lantai 1 dibagi menjadi 6 kelompok, yakni 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, dan 1F. Sedangkan lantai 2, 3 dan 4 masing-masing dibagi menjadi 3 kelompok sehingga terdapat kelompok ruang 2A, 2B, 2C, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C. Total kelompok yang ada adalah 15 *grouping area*. Pengukuran dilakukan di ke-15 kelompok ruang tersebut dengan variabel pengukuran termal bangunan, yaitu suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin.



Gambar 2. Pengelompokan Ruang pada Lantai 1-4 menjadi 15 Grouping Area
(Sumber: analisis, 2022)

Pengukuran dilakukan di masing-masing *grouping area* sebanyak 3 kali. Pengukuran pertama dilakukan pada rentang waktu 07.00-10.00 merepresentasikan waktu pagi hari. Pengukuran kedua dilakukan pada rentang waktu 11.00-13.00 merepresentasikan waktu siang hari. Terakhir, pengukuran dilakukan pada rentang waktu 14.00-17.00 merepresentasikan waktu sore hari. Pembagian waktu ini didasarkan pada aktivitas kampus yang berlangsung pada ketiga rentang waktu tersebut (pagi hingga sore hari).

Tabel 1. Informasi Rinci terkait Pembagian Grouping Area

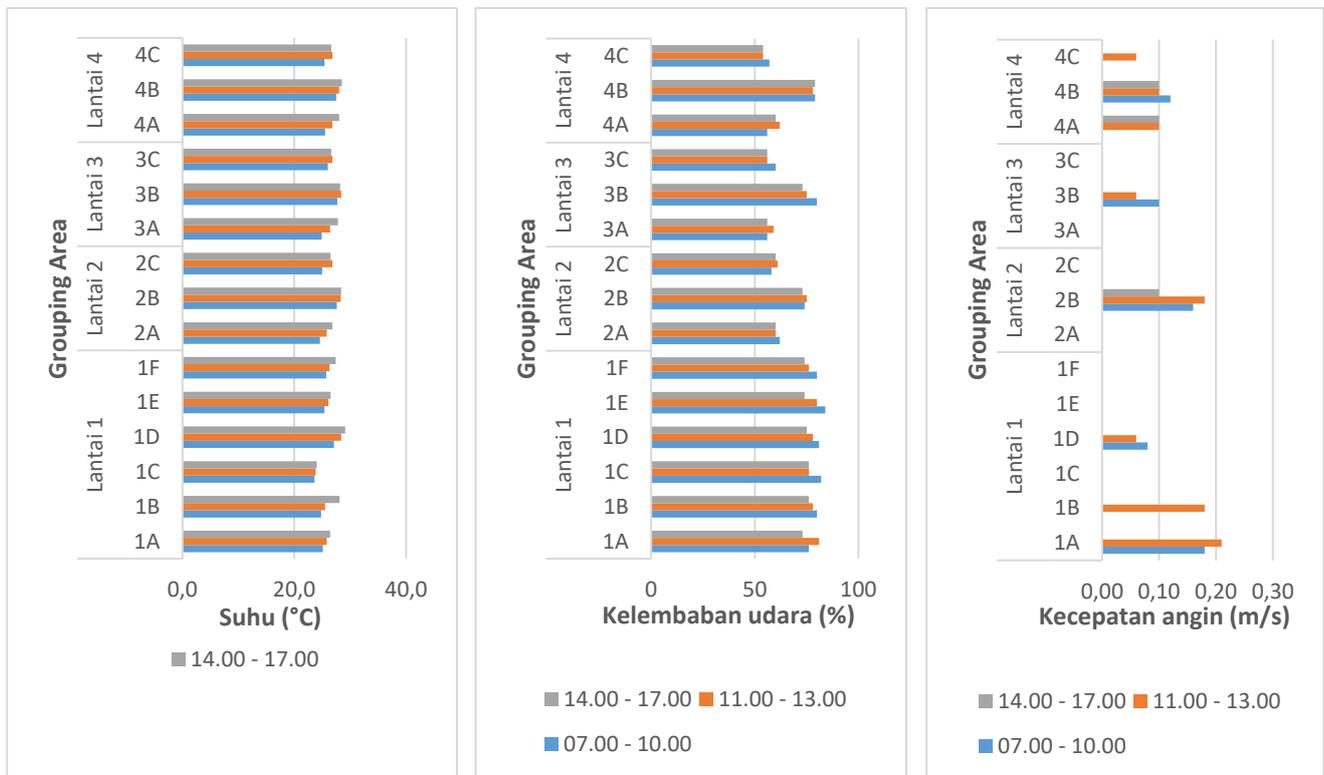
Lantai	Grouping Area	Fungsi Ruang	Kondisi
Lantai 1	1A	Ruang Baca Perpustakaan	AC, bukaan kaca
	1B	Ruang Koleksi Perpustakaan, R. Rapat	AC, bukaan kaca
	1C	Ruang Staf dan Ruang Konsultan	AC, tanpa bukaan
	1D	Selasar	Non-AC, tanpa bukaan
	1E	Ruang Dosen	AC, bukaan kaca
	1F	Ruang Dosen	AC, tanpa bukaan
Lantai 2	2A	R. Rapat, Laboratorium, Mushola	AC, bukaan kaca
	2B	Selasar Lt. 2(R. Tunggu)	Non-AC, tanpa bukaan
	2C	R. Seminar, Laboratorium	AC, bukaan kaca
Lantai 3	3A	R. Rapat, Laboratorium	AC, bukaan kaca
	3B	Selasar Lt.3 (R. Tunggu)	Non-AC, tanpa bukaan
	3C	Laboratorium	AC, bukaan kaca
Lantai 4	4A	Laboratorium	AC, bukaan kaca
	4B	Selasar Lt.4 (R. Tunggu)	Non-AC, tanpa bukaan
	4C	Laboratorium	AC, bukaan kaca

Sumber: analisis, 2022

Dalam pengukuran kenyamanan termal Laboratory Building, pengukuran dilakukan untuk variabel ruang saja. Adapun variabel personal sesuai dengan pendapat Fanger (1970) tidak diukur dan diberikan nilai asumsi. Nilai laju metabolisme tubuh manusia diasumsikan 1.00, dengan alasan aktivitas paling umum dan lazim di Laboratory Building adalah duduk diam atau menulis. Sedangkan asumsi untuk insulasi pakaian ditetapkan dengan nilai 0.61 yang setara dengan penggunaan pakaian berupa baju lengan panjang dan celana lengan panjang. Penggunaan baju tersebut dianggap yang paling dominan dikenakan oleh pengguna Laboratory Building.

Suhu udara yang diukur merupakan suhu operatif (*operative temperature*) yang menjadi patokan variabel pengukuran suhu untuk perhitungan kenyamanan termal (Mishra & Ramgopal., 2014). Berdasarkan

pengukuran, suhu berkisar antara 24 – 29 °C. Kelembaban udara berkisar antara 54 – 84 %, sehingga kelembaban gedung termasuk rentang yang ditoleransi oleh kenyamanan manusia. Sedangkan kecepatan angin di dalam gedung relatif bernilai kecil karena tidak ada ventilasi alami, sehingga didapatkan nilainya antar 0 – 0.21 m/s. Hasil pengukuran suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin secara lengkap dapat dilihat pada gambar 3 berikut:

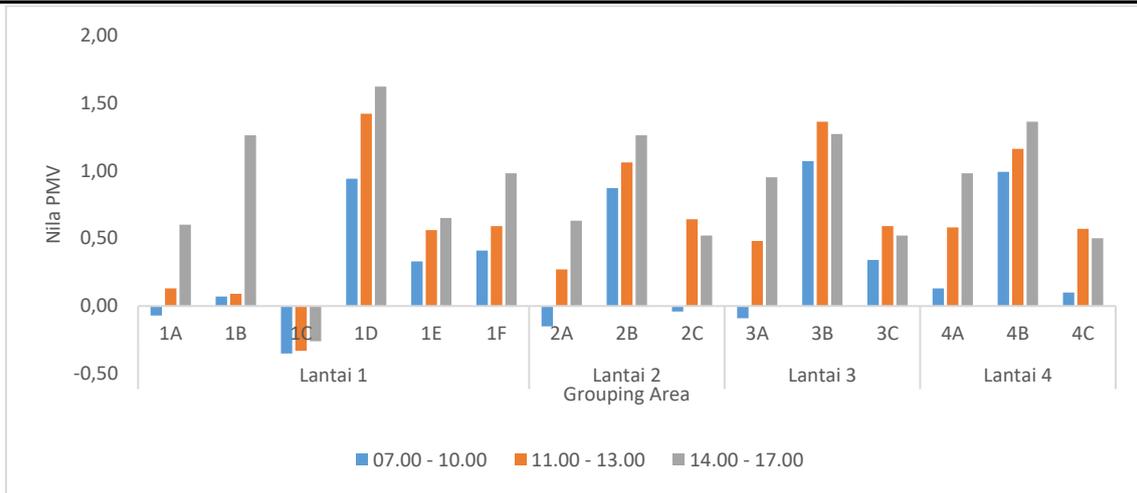


Gambar 3. Pengukuran Suhu Udara, Kelembaban Udara, dan Kecepatan Angin
(Sumber: survei, 2022)

Setelah didapatkan data berdasarkan hasil pengukuran suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin, maka data tersebut ditambahkan dengan data nilai variabel personal berupa laju metabolisme tubuh dan insulasi pakaian yang sudah ditetapkan sebelumnya. Kombinasi data tersebut diinput ke model thermal comfort yang dirilis Center for the Built Environment pada laman CBE (2022).

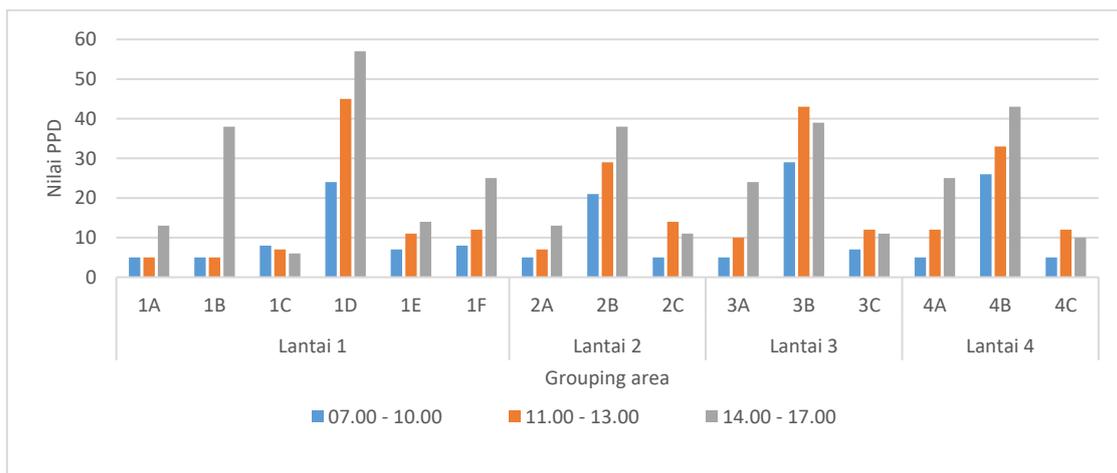
Predicted Mean Vote (PMV) merupakan metode pengukuran yang memperkirakan respon manusia (pengguna gedung) terhadap kondisi termal sekitarnya berupa sensasi termal. Sensasi termal didasarkan pada standar ASHRAE yaitu +3 hot (panas), +2 warm (hangat), +1 slightly warm (agak hangat), 0 neutral (netral), -1 slightly cool (agak sejuk), -2 cool (sejuk), dan -3 cold (dingin). Nilai PMV menentukan rentang sensasi yang dirasakan manusia terhadap lingkungannya, dalam hal ini adalah bangunan gedung (Laboratory Building).

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai PMV pada rentang waktu ukur di setiap grouping area cenderung pada sensasi agak hangat (+1) ke netral (0). Nilai PMV tertinggi terdapat pada waktu ukur 14.00-17.00 di grouping area 1D yakni berada pada nilai 1.62 dan terendah pada waktu ukur 07.00-10.00 di grouping area 1C yakni pada nilai -0.35. Nilai PMV cenderung netral ke agak hangat pada saat pagi hari dan cenderung agak hangat ke agak hangat pada siang dan sore hari. Kondisi ini disebabkan adanya intervensi AC yang mengondisikan kenyamanan termal di Laboratory Building. Pada pagi hari, AC mempertahankan suhu yang relatif ideal bagi kenyamanan manusia. Pada siang dan sore hari, radiasi matahari masuk secara intensif ke setiap sisi bangunan dan peran AC menyeimbangkan suhu sehingga kondisi ruangan tidak pada sensasi ‘panas’, melainkan dipertahankan pada sensasi agak hangat dan hangat (+0,5 sampai +2,5). Selain suhu udara, terdapat pengaruh kelembaban udara, serta pergerakan angin, metabolisme tubuh, dan pakaian namun tidak signifikan 2 variabel sebelumnya.



Gambar 4. Nilai PMV Laboratory Building
(Sumber: analisis, 2022)

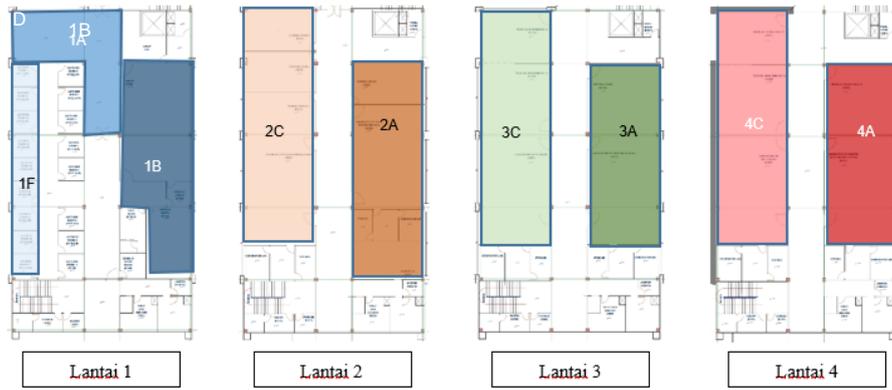
Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) merupakan metode untuk mengukur besarnya persentase rasa tidak puas manusia terhadap kondisi termal lingkungan sekitarnya. Semakin besar presentase PPD akan menunjukkan semakin banyak yang tidak puas terhadap kondisi termal. Dari gambar 5 dapat diketahui bahwa nilai PPD tertinggi berada pada waktu ukur 14.00-17.00 dan terendah pada waktu ukur 07.00-10.00. Artinya, pada sesi pagi hari tingkat ketidakpuasan pengguna gedung cukup rendah, kemudian meningkat di siang hari, dan puncaknya adalah pada keadaan sore hari. Hasil pengukuran dengan metode PPD ini relevan dengan nilai PMV.



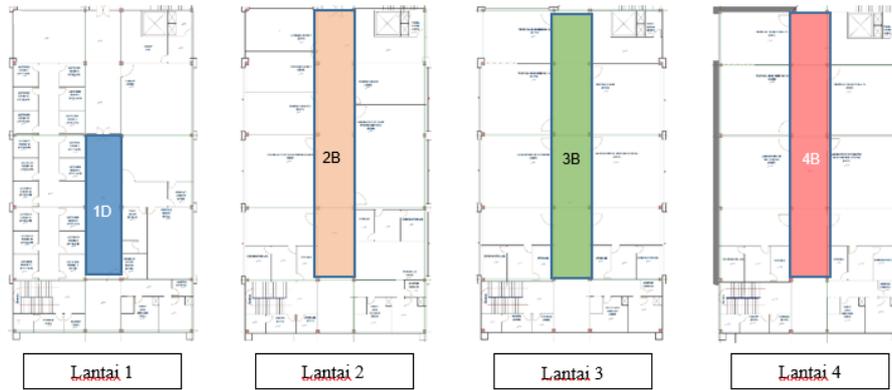
Gambar 5. Nilai PPD Laboratory Building
(Sumber: analisis, 2022)

Berdasarkan ASHRAE Standart 55 – 2020 terdapat kondisi yang dapat diterima sebagai kondisi yang nyaman yakni nilai PMV berkisar antara -0,5 sampai dengan 0,5. Kondisi nyaman tersebut setara dengan nilai PPD di kisaran 10%. Jika dianalisis, mengaitkan data PMV dan PPD ini dengan konfigurasi ruang akan menghasilkan temuan bahwa letak ruangan mempengaruhi kenyamanan termal manusia. Ruang-ruang yang terletak pada sisi bangunan yang terpapar matahari akan memiliki nilai PMV yang tidak pada kisaran netral, meskipun intervensi AC sudah ada sedemikian rupa. Ruang-ruang tersebut juga memiliki nilai PPD yang lebih tinggi dari ruang lainnya yang tidak terpapar matahari. Namun faktor posisi ruang ini dipengaruhi oleh waktu, karena paparan radiasi matahari berkontribusi signifikan pada waktu-waktu tertentu.

Pada waktu menjelang siang, paparan matahari masuk secara signifikan ke sisi timur laut Laboratory Building. Pada siang hingga sore hari, sisi sebaliknya, yaitu bagian barat daya Laboratory Building mendapat paparan radiasi matahari secara signifikan. Kondisi ini adalah konsekuensi dari konfigurasi ruang. Hubungan antara konfigurasi ruang ini terhadap kenyamanan termal dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Ruang dengan AC namun Tidak Memberi Nilai PMV dan PPD yang Ideal
(Sumber: analisis, 2022)



Gambar 7. Ruang Tanpa Paparan radiasi Matahari namun Tidak Memberi Nilai PMV dan PPD yang Ideal
(Sumber: analisis, 2022)

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa ruang-ruang tersebut telah memiliki AC sebagai rekayasa teknologi penghawaan. Namun berdasarkan pengukuran, nilai PMV dan PPD ruang-ruang di area tersebut tidak pada nilai netral. Nilai yang dihasilkan adalah sensasi agak hangat hingga hangat. Keadaan tersebut terjadi didominasi pada waktu siang hingga sore hari. Pada gambar 7, terlihat ruang-ruang yang cenderung aman dari paparan radiasi matahari seharusnya tidak menghasilkan sensasi hangat atau panas, namun kenyataannya justru ruang-ruang ini dari pengukuran PMV dan PPD gagal menunjukkan performa terbaiknya dalam memberi rasa nyaman. Ruang-ruang tersebut tidak memiliki ventilasi alami dan tidak menerapkan rekayasa penghawaan buatan.

4. Kesimpulan

Analisis yang ditunjukkan melalui penelusuran nilai PMV, nilai PPD, dan posisi ruang dalam Laboratory Building membuktikan bahwa konfigurasi ruang akan mempengaruhi kenyamanan termal. Hal ini disebabkan posisi ruang yang berada di sisi bangunan yang terpapar matahari akan menghasilkan sensasi lebih panas dari ruang lainnya, meskipun ruang tersebut telah dilengkapi AC sebagai instrument penghawaan. Ruang yang tak terintervensi panas matahari juga belum tentu menghasilkan sensasi nyaman secara termal. Bagian selasar di lantai 1-4 Laboratory Building cenderung aman dari sinar matahari, namun berdasarkan perhitungan kenyamanan termalnya, sensasi yang dihasilkan justru agak hangat hingga hangat. Ketiadaan sistem penghawaan dapat menjadi penyebab kondisi ini.

Seharusnya, bangunan tidak selalu dituntut untuk memiliki sistem penghawaan buatan. Di aspek lain, penghawaan alami tidak mudah diterapkan untuk bangunan berlantai banyak atau dengan luas lantai yang cukup besar. Desain arsitektural seharusnya menjawab tantangan ini, di mana rekayasa kulit bangunan atau penerapan *passive design* bisa dijadikan alternatif. Selain itu manajemen energi juga dibutuhkan dengan cara mengatur agar konsumsi listrik tidak secara masif dikerahkan hanya untuk penghawaan buatan seperti AC. Pengaturan suhu yang lebih bijak di perangkat yang ada pada bangunan juga harus ditingkatkan dalam manajemen bangunan.

5. Referensi

- Amasuomo, T. T., & Amasuomo, J. O. (2016). Perceived thermal discomfort and stress behaviours affecting students' learning in lecture theatres in Humid Tropics. *Buildings*, 18(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/buildings6020018>
- Ariestadi, D., Alfianto, I., & Sulton, M. (2014). Kriteria kinerja energi untuk kenyamanan termal pada bangunan fasilitas pendidikan tinggi di Indonesia - analisis dengan metode important performance analysis. *Review of Urbanism and Architectural Studies*, 12(01), 31–41. <https://doi.org/10.21776/ub.ruas.2014.012.01.4>
- ASHRAE. (2020). Thermal environmental conditions for human occupancy. In *ASHRAE Standard 55-2020*. ASHRAE.
- Atthailah, A., Saputra, E., & Iqbal, M. (2017). Adaptive comfort pada grand studio program studi arsitektur Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 4(2), 83–91. <https://doi.org/10.24252/nature.v4i2a1>
- CBE. (2022). *CBE Thermal Comfort Tool*. <https://cbe.berkeley.edu/research/cbe-thermal-comfort-tool/>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Technical Press.
- Fidela, A., Laina, M., Sari, H., Dosen, M., Dosen, P. I., & Ii, P. (2019). *Evaluasi Kenyamanan Termal Ruang Kelas dengan Metode Analisis Predicted Mean Vote (PMV) Studi Kasus : Ruang Kuliah Umum 1 Universitas Syiah Kuala*. 3(1), 16–19.
- Gilani, S. I. U. H., Khan, M. H., & Pao, W. (2015). Thermal Comfort Analysis of PMV Model Prediction in Air Conditioned and Naturally Ventilated Buildings. *Energy Procedia*, 75, 1373–1379. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.218>
- Hien, W. N., Gabriela, O., Tan, E., & Jusuf, S. K. (2017). Indoor Thermal Comfort Assessment of Naturally Ventilated Atriums in Singapore. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 44(1), 53–59. <https://doi.org/10.9744/dimensi.44.1.53-60>
- Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34(6), 661–665. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00017-8)
- Jindal, A. (2019). Investigation and analysis of thermal comfort in naturally ventilated secondary school classrooms in the composite climate of India. *Architectural Science Review*, 62(6), 466–484. <https://doi.org/10.1080/00038628.2019.1653818>
- Karyati, K., Assholihat, N. K., & Syafrudin, M. (2020). Iklim mikro tiga penggunaan lahan berbeda di Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. *Agrifor*, XIX(1), 11–22. <https://doi.org/10.31293/af.v19i1.4576>
- Kim, J. T., Lim, J. H., Cho, S. H., & Yun, G. Y. (2015). Development of the adaptive PMV model for improving prediction performances. *Energy and Buildings*, 98, 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.051>
- Mishra, A., & Ramgopal., M. (2014). A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. *Building and Environment*, 84, 181–188.
- Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34, 563–572.
- Singh, M. K., Ooka, R., & Rijal, H. B. (2018). Thermal comfort in Classrooms: A critical review. *Proceedings of 10th Windsor Conference: Rethinking Comfort, March 2019*, 649–668.
- Sugini. (2004). Pemaknaan istilah- istilah kualitas kenyamanan thermal ruang dalam kaitan dengan variabel iklim ruang. *Logika*, 1(2), 3–17. <https://doi.org/10.20885/logika.vol1.iss2.art1>
- Tartarini, F., Schiavon, S., Cheung, T., & Hoyt, T. (2020). CBE thermal comfort tool: online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>