

Evaluating Passive Design Strategies for Thermal Comfort Optimization in Tropical Educational Buildings: A Simulation-Based Approach

Azed Yayah Durrotun Nihayah^{*1}, Veron Ihza², Teguh Setiadi³, Setiyo Prihatmoko³

Email: azed@stekom.ac.id, veronihza@unwahas.ac.id, teguhsetiadi@stekom.ac.id,
setiyoprihatmoko@stekom.ac.id

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-2388-1160>, <https://orcid.org/0009-0007-6382-3927>,
<https://orcid.org/0000-0002-8773-6277>, <https://orcid.org/0009-0002-1591-1256>

¹Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia, 50711

²Universitas Wahid Hasyim, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50236

³Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50192

*Corresponding Author

Article Information	Abstract
Keywords: thermal comfort, passive design, natural ventilation, shading, educational buildings	<i>Thermal comfort in educational buildings located in tropical climates remains a critical challenge due to high temperatures and intense solar exposure. This study investigates the effectiveness of passive design strategies in improving indoor thermal conditions through a simulation-based approach. A building model was developed by incorporating climatic parameters, material properties, and opening configurations and subsequently tested under multiple design scenarios, including variations in orientation, shading devices, and natural ventilation. The findings indicate that each strategy contributes to reducing indoor temperature, with natural ventilation and shading emerging as the most influential factors. The combined application of these strategies achieves the most significant improvement, reflected in lower operational temperatures and enhanced thermal comfort levels. These results highlight the potential of passive design as a practical solution for enhancing indoor environmental quality while reducing energy dependence in tropical educational buildings.</i>
Kata Kunci: kenyamanan termal, desain pasif, ventilasi alami, shading, bangunan pendidikan	Abstrak Kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di wilayah tropis menjadi tantangan utama akibat kondisi iklim yang ditandai oleh suhu tinggi dan radiasi matahari yang intens. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas strategi desain pasif dalam meningkatkan kondisi termal ruang melalui pendekatan simulasi. Model bangunan dikembangkan dengan mempertimbangkan parameter iklim, material, serta konfigurasi bukaan, kemudian diuji dalam beberapa skenario yang mencakup variasi orientasi, penggunaan elemen peneduh, dan ventilasi alami. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap strategi memberikan kontribusi dalam menurunkan suhu operasional, dengan ventilasi alami dan shading sebagai faktor dominan. Penerapan kombinasi strategi menghasilkan performa terbaik dengan penurunan suhu yang signifikan serta perbaikan nilai kenyamanan termal. Temuan ini menegaskan bahwa desain pasif merupakan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan kualitas lingkungan dalam ruang sekaligus mendukung efisiensi energi pada bangunan pendidikan di iklim tropis.



I. PENDAHULUAN

Bangunan pendidikan di wilayah tropis menghadapi tantangan signifikan dalam menjaga kenyamanan termal akibat tingginya suhu udara, kelembapan, serta radiasi matahari sepanjang

tahun. Kondisi ini seringkali menyebabkan ketergantungan yang tinggi terhadap sistem pendingin mekanis, yang pada akhirnya meningkatkan konsumsi energi dan biaya operasional bangunan. Di sisi lain, kenyamanan termal memiliki peran penting dalam mendukung konsentrasi, produktivitas, dan performa belajar pengguna bangunan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan desain yang mampu meningkatkan kenyamanan termal secara pasif tanpa bergantung sepenuhnya pada sistem buatan.

Fenomena yang terjadi saat ini menunjukkan bahwa banyak bangunan pendidikan di kawasan tropis masih dirancang dengan pendekatan konvensional yang kurang mempertimbangkan aspek iklim lokal secara optimal. Penggunaan material dengan kapasitas termal yang tidak sesuai, orientasi bangunan yang kurang tepat, serta minimnya strategi ventilasi alami menyebabkan akumulasi panas di dalam ruang [1]. Selain itu, peningkatan suhu lingkungan akibat *urban heat island* turut memperburuk kondisi kenyamanan termal di dalam bangunan. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara prinsip desain arsitektur berkelanjutan dengan praktik perancangan yang masih berlangsung.

Sejumlah penelitian telah mengkaji berbagai strategi desain pasif untuk meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan tropis. Strategi seperti optimasi orientasi bangunan, penggunaan *shading device*, peningkatan ventilasi silang, serta pemilihan material dengan sifat termal tertentu telah terbukti mampu mengurangi beban pendinginan secara signifikan [2], [3]. Studi lain juga menyoroti pentingnya pendekatan berbasis simulasi untuk mengevaluasi performa termal bangunan sebelum konstruksi dilakukan [4], [5], [6]. Selain itu, beberapa penelitian mengintegrasikan parameter kenyamanan seperti *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) untuk menilai tingkat kenyamanan pengguna secara kuantitatif [7], [8], [9]. Meskipun demikian, sebagian besar kajian masih berfokus pada bangunan komersial atau perkantoran, sehingga studi pada bangunan pendidikan, khususnya di wilayah tropis, masih relatif terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai strategi desain pasif dalam mengoptimalkan kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di iklim tropis melalui pendekatan berbasis simulasi. Analisis dilakukan dengan membandingkan beberapa skenario desain yang mencakup variasi orientasi bangunan, konfigurasi ventilasi, serta penggunaan elemen peneduh. Hasil simulasi digunakan untuk mengidentifikasi kombinasi strategi yang paling efektif dalam menurunkan suhu operasional ruang dan meningkatkan tingkat kenyamanan termal.

Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan pendekatan evaluasi berbasis simulasi yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perancangan bangunan pendidikan yang responsif terhadap iklim. Selain itu, penelitian ini juga memberikan rekomendasi

praktis terkait penerapan strategi desain pasif yang efisien dan kontekstual. Struktur makalah ini terdiri dari tinjauan literatur, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan.

II. TINJAUAN LITERATUR

Kenyamanan termal merupakan salah satu aspek utama dalam perancangan bangunan, terutama pada wilayah beriklim tropis yang memiliki karakteristik suhu dan kelembapan tinggi sepanjang tahun. Konsep kenyamanan termal tidak hanya ditentukan oleh kondisi fisik lingkungan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor adaptasi pengguna terhadap lingkungan tersebut [10]. Model kenyamanan seperti *Predicted Mean Vote* (PMV) dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) telah banyak digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan secara kuantitatif, meskipun dalam konteks tropis seringkali diperlukan pendekatan adaptif yang mempertimbangkan kebiasaan dan ekspektasi pengguna [7], [8], [10], [11].

Strategi desain pasif menjadi pendekatan yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan kenyamanan termal tanpa meningkatkan konsumsi energi. Salah satu strategi utama adalah optimasi orientasi bangunan untuk meminimalkan paparan radiasi matahari langsung, khususnya pada sisi barat dan timur yang menerima intensitas panas lebih tinggi [12], [13]. Selain itu, penggunaan elemen peneduh seperti *overhang*, *louvers*, dan vegetasi juga terbukti efektif dalam mengurangi beban panas yang masuk ke dalam bangunan [12], [13]. Pemilihan material dengan kapasitas termal yang sesuai turut berperan dalam mengontrol fluktuasi suhu ruang, sehingga dapat meningkatkan stabilitas kondisi termal di dalam bangunan [13].

Ventilasi alami juga merupakan komponen penting dalam desain bangunan tropis, terutama dalam mendukung sirkulasi udara dan pelepasan panas dari dalam ruang. Konsep ventilasi silang (*cross ventilation*) memungkinkan aliran udara mengalir secara optimal melalui bukaan yang terletak pada sisi berlawanan bangunan [14], [15]. Efektivitas ventilasi ini sangat dipengaruhi oleh arah angin, ukuran bukaan, serta konfigurasi ruang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa desain ventilasi yang baik dapat menurunkan suhu dalam ruang secara signifikan dan meningkatkan kenyamanan termal pengguna tanpa bantuan sistem mekanis [13], [14], [15].

Perkembangan teknologi simulasi memberikan kontribusi penting dalam evaluasi performa termal bangunan. Perangkat lunak seperti *EnergyPlus* dan *DesignBuilder* memungkinkan analisis kondisi termal secara dinamis berdasarkan parameter iklim, material, dan konfigurasi bangunan [16], [17], [18]. Pendekatan berbasis simulasi ini memungkinkan perancang untuk menguji berbagai skenario desain sebelum implementasi, sehingga dapat mengurangi risiko kesalahan dalam tahap konstruksi. Selain itu, simulasi juga memungkinkan

integrasi berbagai parameter kenyamanan untuk menghasilkan evaluasi yang lebih komprehensif [16], [17].

Meskipun berbagai strategi desain pasif telah banyak diteliti, penerapannya pada bangunan pendidikan di wilayah tropis masih menghadapi tantangan. Keterbatasan dalam perancangan awal, kurangnya integrasi antara aspek arsitektural dan performa termal, serta minimnya penggunaan simulasi dalam proses desain menjadi faktor yang mempengaruhi hasil akhir bangunan. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih terfokus pada evaluasi strategi desain pasif dalam konteks bangunan pendidikan, dengan pendekatan yang mampu mengintegrasikan berbagai variabel secara sistematis.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi untuk mengevaluasi pengaruh strategi desain pasif terhadap kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di wilayah tropis. Studi dilakukan dengan memodelkan sebuah bangunan kelas sebagai representasi tipikal ruang belajar, dengan mempertimbangkan kondisi iklim lokal, karakteristik material, serta pola penggunaan ruang. Pendekatan simulasi dipilih karena memungkinkan evaluasi berbagai skenario desain secara sistematis tanpa harus melakukan intervensi langsung pada bangunan eksisting.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data iklim tahunan yang mencakup suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan angin, serta radiasi matahari. Data tersebut diperoleh dari basis data meteorologi yang relevan dengan lokasi studi dan digunakan sebagai input utama dalam simulasi. Selain itu, parameter bangunan seperti dimensi ruang, jenis material dinding dan atap, serta konfigurasi bukaan ditentukan berdasarkan kondisi umum bangunan pendidikan di wilayah tropis. Seluruh parameter disusun untuk merepresentasikan kondisi nyata yang sering ditemukan di lapangan.

Model simulasi dikembangkan menggunakan perangkat lunak berbasis energi bangunan yang mampu menghitung kondisi termal secara dinamis. Variabel utama yang dianalisis meliputi suhu operasional ruang, nilai PMV (*Predicted Mean Vote*), dan PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan termal berdasarkan standar yang berlaku. Simulasi dilakukan dalam periode waktu tertentu yang merepresentasikan kondisi harian dan musiman, sehingga diperoleh gambaran performa termal yang lebih komprehensif.

Dalam penelitian ini, beberapa skenario desain pasif diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap kondisi termal bangunan. Skenario tersebut meliputi variasi orientasi bangunan, konfigurasi ventilasi alami, serta penggunaan elemen peneduh seperti *shading* horizontal dan

vertikal. Setiap skenario disimulasikan secara terpisah dengan kondisi input yang sama, sehingga perbandingan hasil dapat dilakukan secara objektif. Selain itu, kombinasi beberapa strategi juga diuji untuk mengidentifikasi pendekatan desain yang paling efektif.

Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan dan pengolahan data iklim, dilanjutkan dengan pembuatan model dasar bangunan sebagai *baseline*. Setelah itu, dilakukan pengembangan skenario desain pasif dan simulasi masing-masing skenario. Hasil simulasi kemudian dianalisis untuk membandingkan perubahan suhu ruang, nilai PMV, dan tingkat ketidakpuasan pengguna. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi strategi desain yang memberikan dampak paling signifikan terhadap peningkatan kenyamanan termal.

Secara keseluruhan, metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menekankan pada integrasi antara parameter iklim, karakteristik bangunan, dan strategi desain pasif dalam satu kerangka simulasi. Dengan pendekatan ini, hasil yang diperoleh diharapkan tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga memberikan dasar analitis yang kuat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perancangan bangunan pendidikan yang lebih responsif terhadap iklim.

IV. HASIL PENELITIAN

A. Performa Termal Bangunan Dasar

Simulasi awal dilakukan pada model bangunan dasar tanpa penerapan strategi desain pasif sebagai kondisi pembanding. Hasil menunjukkan bahwa suhu operasional ruang berada pada kisaran yang relatif tinggi sepanjang periode siang hari, dengan nilai yang melebihi batas kenyamanan termal. Nilai PMV cenderung berada pada kategori “panas” hingga “sangat panas”, yang menunjukkan tingkat ketidaknyamanan yang signifikan bagi pengguna ruang.

Tabel 1. Performa Termal Kondisi Baseline

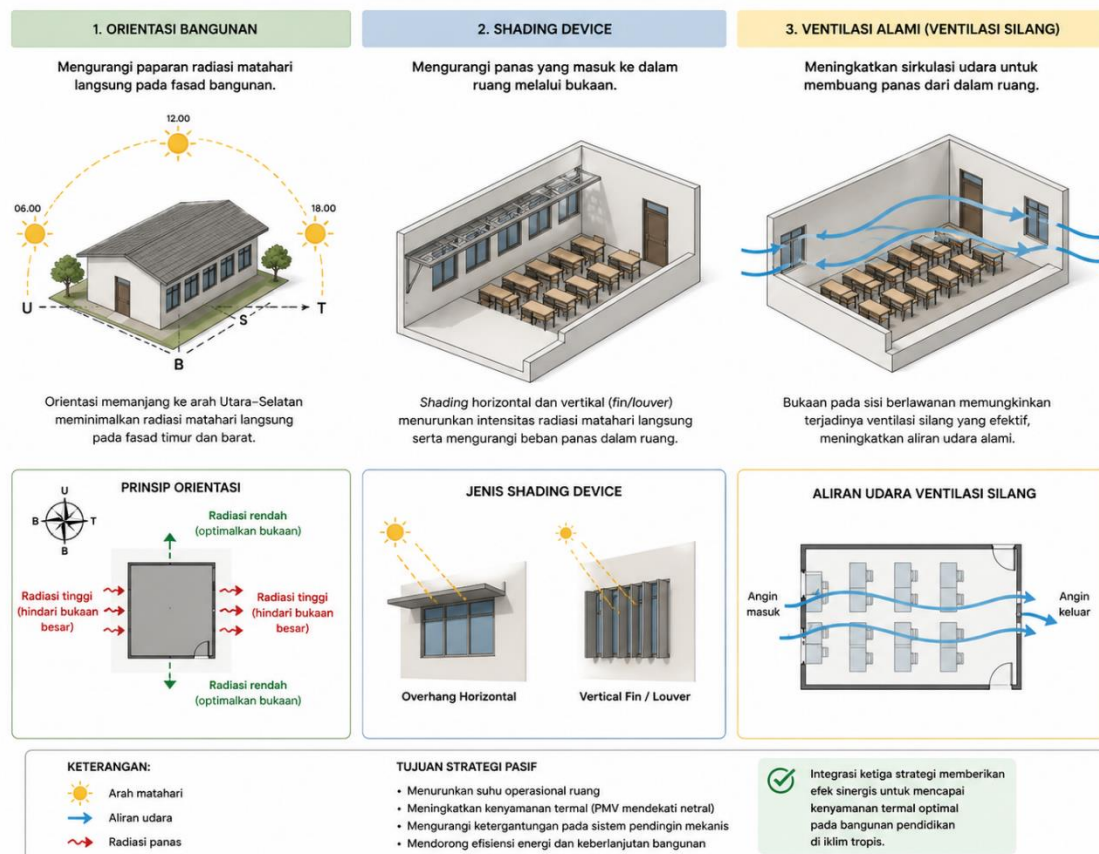
Parameter	Nilai Rata-rata
Suhu Operasional (°C)	31.2
PMV	+2.1
PPD	78.5

Berdasarkan Tabel 1, kondisi baseline menunjukkan bahwa tanpa intervensi desain pasif, bangunan tidak mampu mencapai kondisi kenyamanan termal yang optimal. Tingginya nilai PPD mengindikasikan bahwa sebagian besar pengguna akan merasa tidak nyaman dalam kondisi tersebut. Temuan ini sejalan dengan studi yang menunjukkan bahwa bangunan tropis tanpa strategi adaptif cenderung mengalami *overheating* akibat akumulasi panas internal dan eksternal [19], [20], [21].

B. Pengaruh Strategi Desain Pasif

Penerapan strategi desain pasif menunjukkan dampak yang signifikan terhadap penurunan suhu ruang dan peningkatan kenyamanan termal. Orientasi bangunan yang menghindari paparan langsung sinar matahari dari arah barat terbukti mampu mengurangi beban panas secara langsung. Selain itu, penggunaan elemen peneduh seperti overhang dan louvers efektif dalam mengurangi radiasi matahari yang masuk ke dalam ruang [22], [23], [24], [25].

Ventilasi silang juga memberikan kontribusi yang penting dalam meningkatkan sirkulasi udara di dalam ruang. Dengan konfigurasi bukaan yang tepat, aliran udara dapat mengurangi akumulasi panas dan mempercepat proses pendinginan alami. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa ventilasi alami mampu menurunkan suhu ruang hingga beberapa derajat dibandingkan kondisi tanpa ventilasi optimal [24], [25].



Gambar 1. Ilustrasi Strategi Desain Pasif: Orientasi, Shading, dan Ventilasi Alami

C. Perbandingan Skenario Desain

Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap strategi desain memberikan kontribusi yang berbeda terhadap peningkatan kenyamanan termal. Ventilasi silang memberikan dampak paling signifikan dibandingkan strategi tunggal lainnya, terutama dalam menurunkan suhu ruang dan nilai PMV.

Namun, kombinasi beberapa strategi menghasilkan performa terbaik, dengan penurunan suhu hingga lebih dari 3°C dibandingkan kondisi baseline.

Penurunan nilai PMV dan PPD pada skenario kombinasi menunjukkan bahwa integrasi beberapa strategi desain pasif lebih efektif dibandingkan penerapan tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa kenyamanan termal merupakan hasil dari interaksi berbagai faktor, bukan hanya satu elemen desain saja.

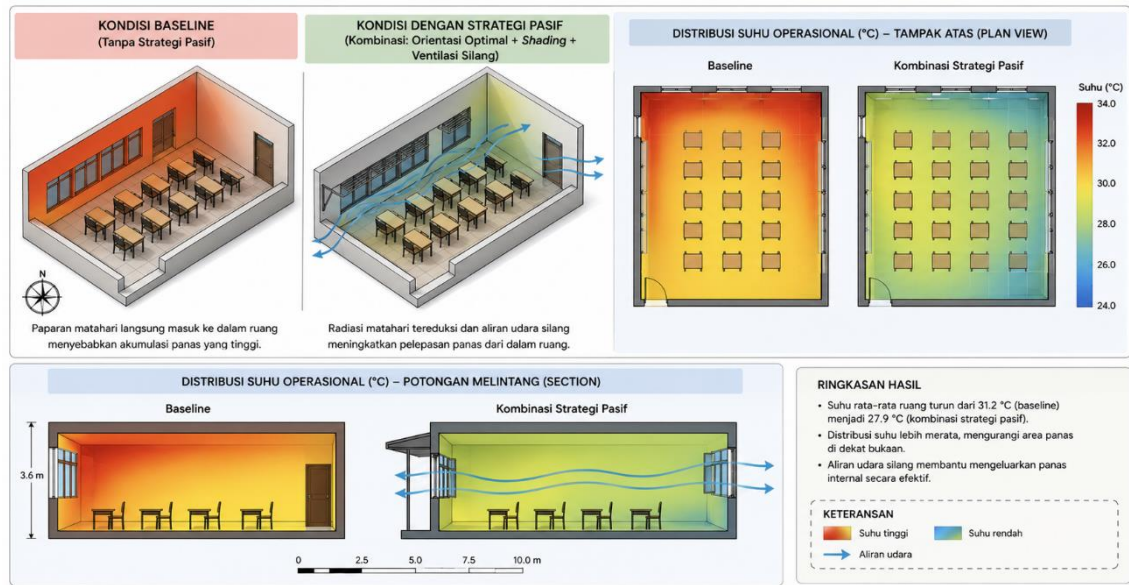
Tabel 2. Perbandingan Performa Termal Antar Skenario

Skenario Desain	Suhu °C	PMV	PPD (%)
Baseline	31.2	+2.1	78.5
Orientasi Optimal	29.8	+1.5	62.3
Shadig Device	29.2	+1.2	54.7
Ventilasi Silang	28.7	+0.9	47.5
Kombinasi Strategi	27.9	+0.5	32.8

D. Analisis Visual dan Distribusi Termal

Gambar 2 memperlihatkan perbedaan distribusi suhu ruang antara kondisi baseline dan skenario dengan strategi pasif. Pada kondisi awal, suhu tinggi terkonsentrasi di area yang terpapar langsung oleh radiasi matahari, terutama di dekat bukaan tanpa pelindung. Setelah penerapan strategi pasif, distribusi suhu menjadi lebih merata dengan penurunan suhu yang signifikan pada area tersebut.

Visualisasi ini memperkuat hasil numerik yang diperoleh dari simulasi, di mana strategi desain pasif tidak hanya menurunkan suhu rata-rata, tetapi juga mengurangi gradien suhu dalam ruang. Kondisi ini penting karena distribusi suhu yang lebih merata dapat meningkatkan kenyamanan pengguna secara keseluruhan [26], [27], [28].



Gambar 2. Perbandingan Distribusi Suhu Ruang Sebelum dan Sesudah Penerapan Strategi Pasif

E. Pembahasan dan Implikasi

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa strategi desain pasif memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di wilayah tropis. Dibandingkan dengan pendekatan konvensional yang mengandalkan sistem mekanis, desain pasif menawarkan solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan [5]. Temuan ini konsisten dengan berbagai studi yang menekankan pentingnya integrasi elemen arsitektural dalam mengurangi beban energi bangunan [19], [24], [25], [27].

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini menunjukkan bahwa ventilasi alami dan *shading* merupakan dua faktor dominan dalam mengontrol kondisi termal ruang [4], [8]. Namun, kontribusi utama penelitian ini terletak pada evaluasi kombinasi strategi yang menunjukkan hasil lebih optimal dibandingkan pendekatan tunggal. Hal ini memberikan dasar yang kuat bagi perancang untuk mengadopsi pendekatan desain yang lebih holistik.

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan bangunan pendidikan yang lebih responsif terhadap iklim tropis. Implementasi strategi pasif tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna, tetapi juga berpotensi mengurangi konsumsi energi secara signifikan [5], [16]. Selain itu, pendekatan berbasis simulasi memungkinkan evaluasi desain dilakukan sejak tahap awal, sehingga dapat meningkatkan kualitas keputusan desain.

Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan model simulasi yang bergantung pada asumsi tertentu, seperti homogenitas material dan kondisi lingkungan. Variasi perilaku pengguna serta kondisi operasional bangunan juga belum sepenuhnya terakomodasi dalam model. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan data lapangan dan pendekatan berbasis monitoring guna meningkatkan validitas hasil.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan strategi desain pasif memiliki pengaruh signifikan dalam meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di iklim tropis. Hasil simulasi mengindikasikan bahwa orientasi bangunan, penggunaan elemen peneduh, dan ventilasi alami berkontribusi terhadap penurunan suhu operasional ruang serta perbaikan nilai PMV dan PPD. Selain itu, kombinasi beberapa strategi memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan penerapan tunggal, yang ditunjukkan melalui distribusi suhu yang lebih merata dan berkurangnya area dengan kondisi termal ekstrem.

Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan desain yang responsif terhadap iklim sejak tahap awal perancangan bangunan. Strategi pasif tidak hanya mampu meningkatkan kenyamanan pengguna, tetapi juga berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap sistem pendingin mekanis.

Meskipun demikian, hasil penelitian masih dipengaruhi oleh asumsi dalam pemodelan dan keterbatasan data, sehingga diperlukan validasi lebih lanjut melalui pengukuran lapangan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data operasional bangunan serta mempertimbangkan variabel perilaku pengguna guna memperoleh hasil yang lebih representatif.

Conflict of Interest

Penulis menegaskan bahwa penelitian ini dilaksanakan tanpa adanya kepentingan pribadi atau pihak tertentu yang dapat memengaruhi proses maupun hasil publikasi.

Data Availability

Seluruh data yang mendukung temuan penelitian ini dapat diperoleh dari penulis melalui permintaan yang wajar, dengan tetap memperhatikan prinsip etika dan kerahasiaan penggunaan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Yi, Y. Xie, and C. Lin, "Thermal Environment and Energy Performance of a Typical Classroom Building in a Hot-Humid Region: A Case Study in Guangzhou, China," *Geofluids*, vol. 2022, no. 1, p. 3226001, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/3226001.
- [2] E. J. Mba, F. O. Okeke, E. C. Ezema, P. I. Oforji, and C. A. Ozigbo, "Post Occupancy Evaluation of Ventilation Coefficient Desired for Thermal Comfort in Educational Facilities," *Journal of Human, Earth, and Future*, vol. 4, no. 1, pp. 88–102, Mar. 2023, doi: 10.28991/HEF-2023-04-01-07.
- [3] M. Shrestha and H. B. Rijal, "Investigation on Summer Thermal Comfort and Passive Thermal Improvements in Naturally Ventilated Nepalese School Buildings," *Energies* 2023, Vol. 16, Page 1251, vol. 16, no. 3, p. 1251, Jan. 2023, doi: 10.3390/EN16031251.
- [4] A. Borisuit and P. Suriyothin, "Thermal Comfort Improvement with Passive Design Strategies in Child Development Centers in Thailand," *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 16713, vol. 14, no. 24, p. 16713, Dec. 2022, doi: 10.3390/SU142416713.
- [5] T. Xia, A. S. Ali, and N. Mahyuddin, "Multi-Objective Optimization of Window Design for Energy and Thermal Comfort in School Buildings: A Sustainable Approach for Hot-Humid Climates," *Sustainability* 2025, Vol. 17, Page 8646, vol. 17, no. 19, p. 8646, Sep. 2025, doi: 10.3390/SU17198646.
- [6] M. Q. Oleiwi and M. F. Mohamed, "The Impacts of Passive Design Strategies on Building Indoor Temperature in Tropical Climate," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 1, pp. 83–108, 2023, doi: 10.47836/PJST.31.1.06.
- [7] G. Lamberti, G. Salvadori, F. Leccese, F. Fantozzi, and P. M. Bluysen, "Advancement on Thermal Comfort in Educational Buildings: Current Issues and Way Forward," *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 10315, vol. 13, no. 18, p. 10315, Sep. 2021, doi: 10.3390/SU131810315.

- [8] C. ; Liu *et al.*, “Evaluation of Passive Cooling and Thermal Comfort in Historical Residential Buildings in Zanzibar,” *Buildings* 2022, *Vol. 12, Page 2149*, vol. 12, no. 12, p. 2149, Dec. 2022, doi: 10.3390/BUILDINGS12122149.
- [9] L. Yi, Y. Xie, and C. Lin, “Thermal Environment and Energy Performance of a Typical Classroom Building in a Hot-Humid Region: A Case Study in Guangzhou, China,” *Geofluids*, vol. 2022, no. 1, p. 3226001, Jan. 2022, doi: 10.1155/2022/3226001.
- [10] A. M. Aderinsola, O. Dare-Abel, O. Arayela, and O. O. Ajayi, “Evaluating Thermal Comfort Standards of Residential Housing in Tropical Climates: A Systematic Review,” *Journal of Built Environment and Geological Research*, Aug. 2025, doi: 10.70382/AJBEGR.V8I4.045.
- [11] J. E. Egwabor, A. M. Aishat, ; Olodeoku, E. Mosopefoluwa, and A. Onamade, “Optimizing Building Orientation for Passive Cooling: A Comparative Study of Museums in Lagos,” *African Journal of Environmental Sciences and Renewable Energy*, vol. 16, no. 1, pp. 01–16, Sep. 2024, doi: 10.62154/AJESRE.2024.016.010372.
- [12] I. Gil-Ozoudeh, O. Iwuanyanwu, A. C. Okwandu, and C. S. Ike, “The role of passive design strategies in enhancing energy efficiency in green buildings,” *Engineering Science & Technology Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 71–91, Dec. 2022, doi: 10.51594/ESTJ.V3I2.1519.
- [13] R. Bulbaai and J. I. M. Halman, “Energy-Efficient Building Design for a Tropical Climate: A Field Study on the Caribbean Island Curaçao,” *Sustainability* 2021, *Vol. 13, Page 13274*, vol. 13, no. 23, p. 13274, Nov. 2021, doi: 10.3390/SU132313274.
- [14] M. Shrestha and H. B. Rijal, “Investigation on Summer Thermal Comfort and Passive Thermal Improvements in Naturally Ventilated Nepalese School Buildings,” *Energies* 2023, *Vol. 16, Page 1251*, vol. 16, no. 3, p. 1251, Jan. 2023, doi: 10.3390/EN16031251.
- [15] Z. Gou, W. Gamage, S. S. Y. Lau, and S. S. Y. Lau, “An Investigation of Thermal Comfort and Adaptive Behaviors in Naturally Ventilated Residential Buildings in Tropical Climates: A Pilot Study,” *Buildings* 2018, *Vol. 8, Page 5*, vol. 8, no. 1, p. 5, Jan. 2018, doi: 10.3390/BUILDINGS8010005.
- [16] S. Zahiri and H. Altan, “Improving energy efficiency of school buildings during winter season using passive design strategies,” *Sustainable Buildings*, vol. 5, p. 1, 2020, doi: 10.1051/SBUILD/2019005.
- [17] D. Randjelovic, M. Vasov, M. Ignjatovic, M. Stojiljkovic, and V. Bogdanovic, “Investigation of a passive design approach for a building facility: a case study,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 47, no. 1, pp. 8890–8908, Dec. 2025, doi: 10.1080/15567036.2021.1938761.
- [18] T. Xi, S. U. Sa’ad, X. Liu, H. Sun, M. Wang, and F. Guo, “Optimization of Residential Indoor Thermal Environment by Passive Design and Mechanical Ventilation in Tropical Savanna Climate Zone in Nigeria, Africa,” *Energies* 2025, *Vol. 18, Page 450*, vol. 18, no. 3, p. 450, Jan. 2025, doi: 10.3390/EN18030450.

- [19] A. Borisuit and P. Suriyothin, "Thermal Comfort Improvement with Passive Design Strategies in Child Development Centers in Thailand," *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 16713, vol. 14, no. 24, p. 16713, Dec. 2022, doi: 10.3390/SU142416713.
- [20] D. P. Sari, "A Review of How Building Mitigates the Urban Heat Island in Indonesia and Tropical Cities," *Earth* 2021, Vol. 2, Pages 653-666, vol. 2, no. 3, pp. 653–666, Sep. 2021, doi: 10.3390/EARTH2030038.
- [21] M. Q. Oleiwi and M. F. Mohamed, "The Impacts of Passive Design Strategies on Building Indoor Temperature in Tropical Climate," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 1, pp. 83–108, 2023, doi: 10.47836/PJST.31.1.06.
- [22] S. Nogueira, A. I. Palmero-Marrero, D. Borge-Diez, E. Açikkalp, and A. C. Oliveira, "Energetic Analysis of Passive Solar Strategies for Residential Buildings with Extreme Summer Conditions," *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 10761, vol. 14, no. 22, p. 10761, Nov. 2024, doi: 10.3390/APP142210761.
- [23] J. Gamero-Salinas and J. López-Fidalgo, "Response Surface Methodology using desirability functions for multiobjective optimization to minimize indoor overheating hours and maximize useful daylight illuminance," *Scientific Reports* 2025 15:1, vol. 15, no. 1, pp. 12173–, Apr. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-96376-x.
- [24] Y. Chen *et al.*, "Performance of passive design strategies in hot and humid regions. Case study: Tangerang, Indonesia," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 458–476, Jul. 2021, doi: 10.1080/13467581.2020.1798775.
- [25] M. Q. Oleiwi and M. F. Mohamed, "The Impacts of Passive Design Strategies on Building Indoor Temperature in Tropical Climate," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 1, pp. 83–108, 2023, doi: 10.47836/PJST.31.1.06.
- [26] X. Zhong, H. Yu, Y. Tang, H. Mao, and K. Zhang, "Local Thermal Comfort and Physiological Responses in Uniform Environments," *Buildings* 2024, Vol. 14, Page 59, vol. 14, no. 1, p. 59, Dec. 2023, doi: 10.3390/BUILDINGS14010059.
- [27] I. H. Hatif, A. Hariri, and A. Fu'ad Idris, "CFD Letters CFD Analysis on Effect of Air Inlet and Outlet Location on Air Distribution and Thermal Comfort in Small Office," *CFD Letters*, vol. 12, pp. 66–77, 2020, doi: 10.37934/cfdl.12.3.6677.
- [28] V. Tuninetti, B. Ales, and T. Mora Chandía, "Numerical and Experimental Analysis of Thermal Stratification in Locally Heated Residential Spaces," *Buildings* 2025, Vol. 15, Page 2417, vol. 15, no. 14, p. 2417, Jul. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15142417.