Evaluasi Kinerja Ventilasi Alami terhadap Kondisi Termal pada Desain Bukaan Arsitektural Gedung *Global Islamic Green School* Bandung

Tasya Dwi Kuswoyo[1], Sri Rahayu[2]
[1,2] Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia
Email: [1]tasyadwikuswoyo@upi.edu, [2]srirahayu@upi.edu
Corresponding author: tasyadwikuswoyo@upi.edu

Abstract. *Air circulation and thermal comfort are critical elements in designing educational buildings in tropical climates, particularly in those applying green building principles and relying on natural ventilation as the primary passive strategy. This study was conducted to answer questions about air circulation conditions inside the Global Islamic Green School (GIGS) building in Bandung. This study employed a field observation approach combined with direct measurement. The instrument used was a digital thermohygrometer to measure air temperature and relative humidity. Measurements were conducted in three classrooms representing different vertical positions within the building: the ground floor, middle floor, and top floor. The collected data was analyzed to evaluate the suitability of the room's thermal conditions with the comfort standards for tropical buildings with natural ventilation. The results of the study show that the average air temperature was in the range of 27.48–28.58°C, while the relative humidity ranged from 68.45–73.88%. This condition can still be considered reasonable for tropical buildings without air conditioning, although there were several rooms that showed high humidity levels. Overall, the building structure showed satisfactory thermal performance in supporting natural ventilation. The novelty of this study lies in its empirical evaluation based on direct measurements of natural ventilation in environmentally friendly kindergarten and elementary school buildings in a humid tropical climate, which has been limited in previous studies.*

Keywords: *, Air circulation; Natural ventilation; Thermal comfort,*

Abstrak: Sirkulasi udara dan kenyamanan termal merupakan unsur-unsur penting dalam perancangan bangunan pendidikan di iklim tropis, terutama pada bangunan yang menerapkan prinsip-prinsip bangunan hijau dan mengandalkan ventilasi alami sebagai strategi pasif utama. Penelitian ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan mengenai kondisi sirkulasi udara di dalam gedung Global Islamic Green School (GIGS) Bandung. Penelitian ini menggunakan pendekatan observasi lapangan dikombinasikan dengan pengukuran langsung. Instrumen yang digunakan adalah thermohygrometer digital untuk mengukur suhu udara dan kelembapan relatif. Pengukuran dilakukan di tiga ruang kelas yang mewakili posisi vertikal berbeda di dalam gedung: lantai dasar, lantai tengah, dan lantai atas. Data yang dikumpulkan dianalisis untuk mengevaluasi kesesuaian kondisi termal ruangan tersebut dengan standar kenyamanan untuk gedung tropis dengan ventilasi alami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata berada pada kisaran 27,48–28,58°C, sedangkan kelembapan relatif berkisar antara 68,45–73,88%. Kondisi ini masih dapat dianggap wajar untuk bangunan tropis tanpa pendingin udara, meskipun terdapat beberapa ruangan yang menunjukkan tingkat kelembapan yang tinggi. Secara keseluruhan, struktur bangunan menunjukkan kinerja termal yang memuaskan dalam mendukung ventilasi alami. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi empiris yang didasarkan langsung ventilasi alami di bangunan sekolah ramah lingkungan jenjang TK–SD di iklim tropis lembap, yang masih terbatas dalam penelitian sebelumnya.

Kata Kunci: Kenyamanan termal; Sirkulasi udara; Ventilasi alami

1. Pendahuluan

Ventilasi alami merupakan salah satu elemen penting dalam perancangan bangunan pendidikan, khususnya pada kawasan beriklim tropis lembap seperti Kota Bandung. Pemanfaatan ventilasi alami melalui bukaan arsitektural dapat mendukung pertukaran udara di dalam ruang, membantu mengendalikan kondisi termal, serta mengurangi ketergantungan terhadap sistem pendingin mekanis yang membutuhkan energi (Rahayu & Syamsiyah, 2024). Penerapan strategi ventilasi alami menjadi semakin relevan pada bangunan yang menerapkan prinsip keberlanjutan karena dapat mendukung efisiensi energi dan menciptakan lingkungan ruang yang berpotensi memberikan kondisi termal yang lebih baik (Iqbal et al., 2024). Oleh karena itu, pertimbangan terhadap ventilasi alami perlu menjadi bagian dari proses perancangan bangunan pendidikan, terutama pada bangunan yang dirancang untuk beroperasi di wilayah beriklim tropis lembap.

Kinerja ventilasi alami pada suatu bangunan berkaitan erat dengan karakteristik desain bukaan arsitektural. Jendela, ventilasi silang, ukuran dan posisi bukaan, serta orientasi bangunan merupakan beberapa elemen yang dapat mendukung pertukaran udara secara alami. Perancangan bukaan yang tepat diperlukan agar strategi ventilasi alami dapat berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan bangunan di wilayah tropis (Izzati & Hilma, 2025). Namun, keberadaan dan konfigurasi bukaan arsitektural tidak dengan sendirinya menunjukkan bahwa kondisi termal ruang telah memenuhi kriteria kenyamanan (Anwar & Hidayat, 2025). Kondisi aktual ruang perlu dievaluasi melalui pengamatan terhadap elemen bukaan dan pengukuran parameter lingkungan termal.

Kenyamanan termal merupakan salah satu aspek yang perlu dipertimbangkan dalam mengevaluasi kondisi lingkungan ruang pada bangunan yang mengandalkan ventilasi alami. Suhu udara dan kelembapan relatif merupakan parameter lingkungan yang dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi termal suatu ruang (Rubiyanti, 2023). Kondisi kedua parameter tersebut dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kesesuaian lingkungan termal ruang terhadap kriteria kenyamanan yang berlaku (Rahmawati & Khairina, 2021). Dengan demikian, pengukuran kondisi termal dapat digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk mengevaluasi kinerja strategi ventilasi alami, khususnya ketika dikaitkan dengan karakteristik bukaan arsitektural bangunan.

Global Islamic Green School (GIGS) Bandung merupakan bangunan yang dirancang sebagai sarana pendidikan dengan menerapkan konsep *green school* dan prinsip bangunan ramah lingkungan. Bangunan tersebut dirancang untuk mendukung efisiensi energi melalui penerapan strategi pasif, termasuk pemanfaatan ventilasi alami dan desain bukaan arsitektural. Pada saat penelitian dilakukan, Gedung GIGS Bandung masih berada dalam tahap pembangunan dan belum digunakan secara operasional sebagai fasilitas pendidikan. Kondisi tersebut memberikan konteks penting dalam penelitian karena evaluasi dapat dilakukan terhadap desain dan kondisi termal bangunan sebelum digunakan oleh pengguna secara aktual. Evaluasi pada tahap ini dapat memberikan gambaran awal mengenai kondisi termal ruang dan potensi kinerja ventilasi alami berdasarkan desain bukaan yang telah diterapkan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas penerapan ventilasi alami dan kenyamanan termal pada bangunan di wilayah tropis. Iqbal et al. (2024) membahas peran ventilasi silang sebagai salah satu strategi ventilasi alami pada bangunan di iklim tropis. Pamungkas & Suryabrata (2020) mengkaji keterkaitan kondisi lingkungan ruang dengan kegiatan belajar siswa sekolah dasar. Sementara itu, Izzati & Hilma (2025) membahas optimalisasi elemen arsitektural dalam mendukung kinerja ventilasi alami pada bangunan yang menerapkan prinsip keberlanjutan. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan pentingnya ventilasi alami, desain bukaan, dan kondisi termal dalam perancangan bangunan. Namun, evaluasi empiris yang mengintegrasikan pengamatan desain bukaan arsitektural dengan pengukuran kondisi termal pada bangunan pendidikan berkonsep *green school*, khususnya pada tahap sebelum bangunan digunakan secara operasional, masih terbatas.

Celah penelitian tersebut menjadi dasar dilakukannya penelitian pada GIGS Bandung. Penelitian ini mengevaluasi kinerja ventilasi alami melalui pengamatan terhadap desain bukaan arsitektural dan pengukuran kondisi termal secara langsung pada ruang kelas. Pengukuran dilakukan pada tiga ruang kelas yang mewakili posisi vertikal berbeda dalam bangunan, yaitu lantai dasar, lantai tengah, dan lantai atas. Suhu udara dan kelembapan relatif pada masing-masing ruang diukur untuk memperoleh gambaran kondisi termal aktual pada saat penelitian. Hasil pengukuran kemudian

dibandingkan dengan kriteria kenyamanan termal yang digunakan sebagai acuan untuk bangunan dengan ventilasi alami.

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi empiris kinerja ventilasi alami pada bangunan pendidikan yang menerapkan konsep *green school*, melalui integrasi antara observasi desain bukaan arsitektural dan pengukuran kondisi termal secara langsung pada tahap sebelum bangunan digunakan secara operasional. Pengamatan pada ruang kelas dengan posisi vertikal yang berbeda juga memungkinkan identifikasi variasi kondisi termal berdasarkan posisi ruang dalam bangunan. Pendekatan ini memberikan informasi awal mengenai kondisi termal dan potensi kinerja ventilasi alami pada bangunan pendidikan di iklim tropis lembap sebelum bangunan digunakan secara penuh.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja ventilasi alami pada desain bukaan arsitektural gedung GIGS Bandung dalam mendukung kenyamanan termal ruang. Evaluasi dilakukan melalui pengamatan terhadap karakteristik bukaan arsitektural dan pengukuran suhu udara serta kelembapan relatif pada tiga ruang kelas yang mewakili posisi vertikal berbeda, yaitu lantai dasar, lantai tengah, dan lantai atas. Hasil pengukuran digunakan untuk mengetahui kondisi termal aktual pada masing-masing ruang dan menilai kesesuaiannya dengan kriteria kenyamanan termal untuk bangunan dengan ventilasi alami. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja ventilasi alami terhadap kenyamanan termal pada desain bukaan arsitektural gedung GIGS Bandung.

2. Metodologi

2.1. Pemilihan Objek Studi

Objek penelitian ini adalah gedung GIGS Bandung yang berlokasi di Cikutra, Kecamatan Cibeunying Kaler, Kota Bandung. Gedung tersebut dirancang sebagai sarana pendidikan dengan menerapkan prinsip *green building* dan strategi desain pasif yang memanfaatkan ventilasi alami melalui bukaan arsitektural. Pemilihan objek penelitian didasarkan pada karakteristik desain tersebut serta keberadaan ruang kelas dengan posisi vertikal yang berbeda dalam bangunan.

Penelitian dilakukan saat gedung GIGS Bandung masih berada dalam tahap pembangunan dan belum digunakan secara operasional sebagai fasilitas pendidikan. Kondisi ini menjadi bagian penting dalam konteks penelitian karena pengamatan dan pengukuran dilakukan untuk memperoleh gambaran awal mengenai kondisi termal ruang serta kinerja ventilasi alami berdasarkan desain bukaan arsitektural sebelum bangunan digunakan oleh pengguna secara aktual.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di gedung GIGS Bandung yang terletak di Cikutra, Kecamatan Cibeunying Kaler, Kota Bandung. Pengambilan data dilakukan pada pukul 14.00 WIB. Waktu tersebut dipilih untuk memperoleh gambaran kondisi termal ruang pada periode siang hari dan diterapkan secara konsisten pada seluruh ruang yang diamati. Pemilihan waktu yang sama bertujuan untuk menjaga keseragaman waktu pengukuran sehingga hasil antarruang dapat dibandingkan berdasarkan posisi vertikalnya.

Pengukuran dilakukan pada tiga ruang kelas, yaitu SD.01, SD.08, dan SD.15, yang mewakili posisi vertikal berbeda dalam bangunan, yaitu lantai bawah, lantai tengah, dan lantai atas. Pemilihan ketiga ruang tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa perbedaan posisi vertikal dapat berkaitan dengan perbedaan paparan panas dan kondisi termal ruang. Ketiga ruang tersebut digunakan sebagai sampel pengamatan untuk memperoleh gambaran variasi kondisi termal pada posisi bangunan yang berbeda.

Pengambilan data pada satu waktu pengukuran merupakan keterbatasan penelitian. Oleh karena itu, hasil penelitian hanya menggambarkan kondisi termal ruang pada pukul 14.00 WIB dan belum dapat merepresentasikan variasi kondisi termal sepanjang hari. Pengukuran pada beberapa periode waktu,

seperti pagi, siang, dan sore, dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk memperoleh profil termal harian yang lebih representatif.

2.3. Variabel dan Instrumen Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi suhu udara (°C) dan kelembapan relatif (%). Kedua parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi termal ruang pada Gedung Global Islamic Green School Bandung. Instrumen yang digunakan untuk memperoleh data primer adalah aplikasi *Thermo-Hygrometer* yang digunakan untuk mencatat suhu udara dan kelembapan relatif (Ramadhan et al., 2023).

Aplikasi *Thermo-Hygrometer* yang digunakan dalam penelitian ini dikembangkan oleh Peace, tersedia pada platform Android versi 1.4.0 yang dirilis pada 7 Januari 2023 dan diperbarui terakhir pada 5 Januari 2025, dengan ukuran unduhan sebesar 8,96 MB serta kompatibel pada perangkat dengan sistem operasi Android 6.0 ke atas. Aplikasi ini telah diunduh lebih dari 500.000 kali dan memanfaatkan sensor suhu serta kelembapan bawaan pada perangkat *smartphone* untuk melakukan pengukuran. Tampilan aplikasi yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Aplikasi *Thermohygrometer*
(Sumber: *Google Playstore*)

Penggunaan aplikasi sebagai instrumen pengukuran perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari keterbatasan penelitian karena informasi mengenai spesifikasi sensor secara rinci, tingkat akurasi, dan proses kalibrasi aplikasi tidak dipublikasikan secara terbuka oleh pengembang. Oleh karena itu, hasil pengukuran dalam penelitian ini digunakan untuk menggambarkan kondisi termal relatif pada ruang yang diamati dan tidak dimaksudkan sebagai pengukuran dengan tingkat presisi instrumen laboratorium.

2.4. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan dan pengukuran langsung pada gedung GIGS Bandung, yang pada saat penelitian masih berada dalam tahap konstruksi dan belum beroperasi sebagai fasilitas pendidikan. Observasi lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi fisik ruang dan karakteristik bukaan arsitektural yang direncanakan sebagai bagian dari strategi ventilasi alami. Bukaan yang diamati meliputi jendela, pintu, dan bukaan lain yang memungkinkan terjadinya pertukaran udara alami.

Pengukuran kondisi termal dilakukan menggunakan aplikasi *Thermo Hygrometer* dengan parameter suhu udara dan kelembapan relatif. Pengukuran dilakukan pada tiga ruang yang mewakili posisi vertikal berbeda dalam bangunan, yaitu SD.01 pada lantai bawah, SD.08 pada lantai tengah, dan SD.15 pada lantai atas. Pengukuran dilakukan pada pukul 14.00 WIB untuk seluruh ruang agar waktu pengambilan data berada pada kondisi yang seragam.

Setiap ruang diamati melalui empat titik pengukuran yang ditempatkan pada beberapa bagian ruang untuk memperoleh gambaran kondisi termal pada area yang berbeda. Penentuan titik pengukuran

dilakukan dengan mempertimbangkan posisi ruang dan kondisi fisik masing-masing ruang. Data dari keempat titik pada setiap ruang kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan nilai rata-rata, minimum, dan maksimum suhu udara serta kelembapan relatif.

Karena bangunan masih dalam tahap konstruksi dan belum digunakan oleh pengguna, pengukuran dilakukan tanpa keberadaan aktivitas siswa maupun kegiatan pembelajaran. Dengan demikian, data yang diperoleh menggambarkan kondisi termal awal ruang pada saat penelitian serta memberikan informasi pendukung dalam mengevaluasi penerapan ventilasi alami berdasarkan desain bukaan arsitektural.

2.5. Metode Pengolahan Data

Data hasil pengukuran dari setiap titik kemudian diolah berdasarkan ruang dan parameter yang diamati. Pengolahan data dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) Mengelompokkan data berdasarkan ruang, titik pengukuran, dan waktu pengukuran. (2) Menghitung nilai rata-rata, minimum, dan maksimum suhu udara serta kelembapan relatif pada setiap ruang. (3) Menyajikan hasil pengukuran dalam bentuk tabel untuk memudahkan perbandingan antarruang dan antar titik pengukuran. (4) Menyajikan data dalam bentuk grafik untuk menggambarkan distribusi suhu udara dan kelembapan relatif serta perbandingan kondisi termal antara ruang SD.01, SD.08, dan SD.15.

2.6. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode kuantitatif deskriptif. Analisis digunakan untuk menggambarkan kondisi suhu udara dan kelembapan relatif pada masing-masing ruang berdasarkan hasil pengukuran langsung (Quraisy et al., 2019).

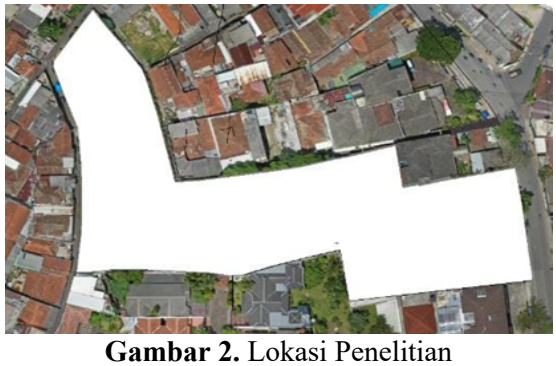
Nilai rata-rata, minimum, dan maksimum dari setiap parameter digunakan untuk membandingkan kondisi termal antara ruang SD.01, SD.08, dan SD.15 yang berada pada posisi vertikal berbeda. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan kriteria kenyamanan termal yang digunakan sebagai acuan penelitian untuk mengetahui kesesuaian kondisi termal masing-masing ruang.

Hasil observasi terhadap desain bukaan arsitektural digunakan sebagai informasi pendukung dalam menginterpretasikan hasil pengukuran. Dengan demikian, kinerja ventilasi alami dievaluasi berdasarkan keterkaitan antara karakteristik bukaan arsitektural dan kondisi termal yang terukur, bukan berdasarkan pengukuran kecepatan atau laju aliran udara.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Ventilasi Alami dan Karakteristik Bukaan Arsitektural

Kondisi ventilasi alami dapat diperhatikan pada Gambar 2, yang menunjukkan lokasi penelitian berdasarkan citra dari *Google Earth.*



Gambar 2. Lokasi Penelitian

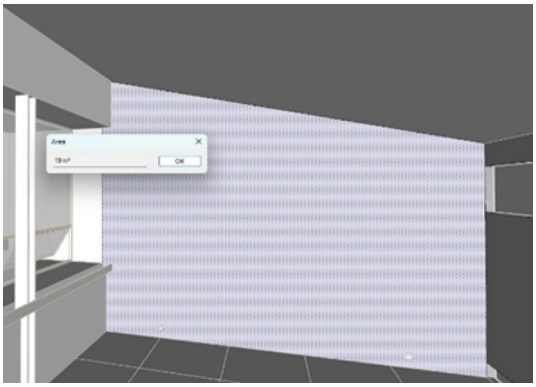
Pengukuran keadaan yang ada dilakukan secara langsung pada bangunan Ruang SD. 15 yang terletak di Lantai 3 dengan ketinggian 7,040 m dari titik awal nol bangunan dan SD. 1 yang terletak di Lantai 1 serta SD. 8 yang terletak di Lantai 2. Pengukuran mencakup ukuran ruang, keadaan bukaan, sirkulasi udara, cahaya alami, serta unsur arsitektural lainnya yang berdampak pada kenyamanan termal dan kualitas ruang. Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan memanfaatkan citra visual dari 4 sisi yang berbeda untuk mendapatkan gambaran komprehensif tentang kondisi aktual ruang tersebut yang terdiri dari tampak depan pada Gambar 3, tampak belakang pada Gambar 4, tampak samping kanan pada Gambar 5, dan tampak samping kiri pada Gambar 6 yang dilampirkan sebagai contoh hanya pada SD.15 yang terletak di Lantai 3.



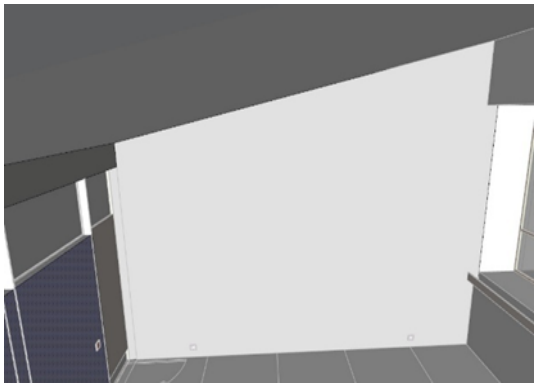
Gambar 3. Tampak Depan



Gambar 4. Tampak Belakang



Gambar 5. Tampak Samping Kanan



Gambar 6. Tampak Samping Kiri

Berdasarkan hasil observasi lapangan, objek penelitian merupakan gedung GIGS Bandung yang pada saat penelitian masih dalam tahap pembangunan. Pengamatan difokuskan pada tiga ruang yang direncanakan sebagai ruang kelas, yaitu SD.01 pada lantai 1, SD.08 pada lantai 2, dan SD.15 pada lantai 3. Pemilihan ketiga ruang tersebut mempertimbangkan perbedaan posisi vertikal bangunan sehingga kondisi termal dan karakteristik bukaan pada setiap lantai dapat dibandingkan.

Observasi dilakukan terhadap kondisi ruang, bukaan arsitektural, serta jalur masuk dan keluar udara yang telah terbentuk pada bangunan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan dan dokumentasi visual, sebagaimana lazim digunakan dalam penelitian deskriptif kualitatif untuk mengidentifikasi karakteristik elemen fasad dan bukaan bangunan (Sugiyono, 2013). Bukaan yang diamati meliputi jendela, pintu, dan elemen bukaan lainnya yang berpotensi mendukung masuk dan keluarnya udara secara alami. Pengamatan ini digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi potensi penerapan ventilasi alami pada ruang yang menjadi objek penelitian, dengan mengacu pada ketentuan luas bukaan ventilasi yang dipersyaratkan dalam SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2001).

Dokumentasi kondisi eksisting bangunan dilakukan dari beberapa sisi untuk memperoleh gambaran mengenai konfigurasi dan karakteristik bukaan secara menyeluruh. Dokumentasi tersebut meliputi tampak depan, tampak belakang, tampak samping kanan, dan tampak samping kiri, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6. Dokumentasi kondisi ruang SD.15 juga disajikan sebagai contoh kondisi ruang pada saat penelitian.

Hasil observasi menunjukkan bahwa bangunan telah memiliki elemen bukaan yang direncanakan sebagai bagian dari sistem ventilasi alami. Keberadaan bukaan tersebut menunjukkan adanya upaya untuk memungkinkan pertukaran udara secara alami di dalam ruang. Namun, karena bangunan masih dalam tahap pembangunan dan belum digunakan sebagai lingkungan belajar, observasi pada tahap ini belum dapat digunakan untuk memastikan efektivitas ventilasi alami pada kondisi operasional. Oleh karena itu, evaluasi selanjutnya dilakukan dengan membandingkan kondisi bukaan tersebut dengan hasil pengukuran suhu udara dan kelembapan relatif pada masing-masing ruang.

Signifikansi desain bukaan terhadap kenyamanan termal pada bangunan tropis berventilasi alami juga didukung oleh temuan Pathirana et al. (2019), yang melalui simulasi terhadap 300 model rumah dua lantai di iklim tropis menunjukkan bahwa rasio jendela terhadap dinding dapat mengubah tingkat kenyamanan termal hingga 20–55%, jauh lebih besar dibandingkan pengaruhnya terhadap kebutuhan pencahayaan buatan. Selain faktor bukaan, perbedaan posisi vertikal bangunan juga secara teoretis berkontribusi terhadap variasi kondisi termal antar lantai melalui mekanisme stack effect, yaitu pergerakan udara secara vertikal akibat perbedaan tekanan yang ditimbulkan oleh perbedaan suhu antara bagian bawah dan atas bangunan. Ding et al. (2005) ; Gan (2010) menunjukkan bahwa pada bangunan bertingkat, gaya apung dan laju ventilasi yang dihasilkan oleh mekanisme tersebut bervariasi antar lantai, sehingga kondisi termal ruang pada lantai bawah, tengah, dan atas cenderung berbeda meskipun berada dalam satu sistem bangunan yang sama. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa variasi karakteristik bukaan arsitektural antar lantai pada gedung GIGS Bandung berpotensi menjadi salah satu faktor yang turut memengaruhi perbedaan kondisi termal antar ruang yang diamati dalam penelitian ini, di samping pengaruh posisi vertikal itu sendiri.

3.2. Suhu Udara

Pengukuran suhu udara dilakukan pada empat titik yang telah ditetapkan di setiap ruang untuk memperoleh gambaran kondisi termal secara menyeluruh. Gambar 7 menampilkan salah satu titik ukur sebagai contoh lokasi pengukuran suhu udara, sedangkan seluruh data hasil pengukuran dari keempat titik ukur pada setiap ruang disajikan dalam bentuk tabel agar analisis dan pembahasan lebih mudah dilakukan.



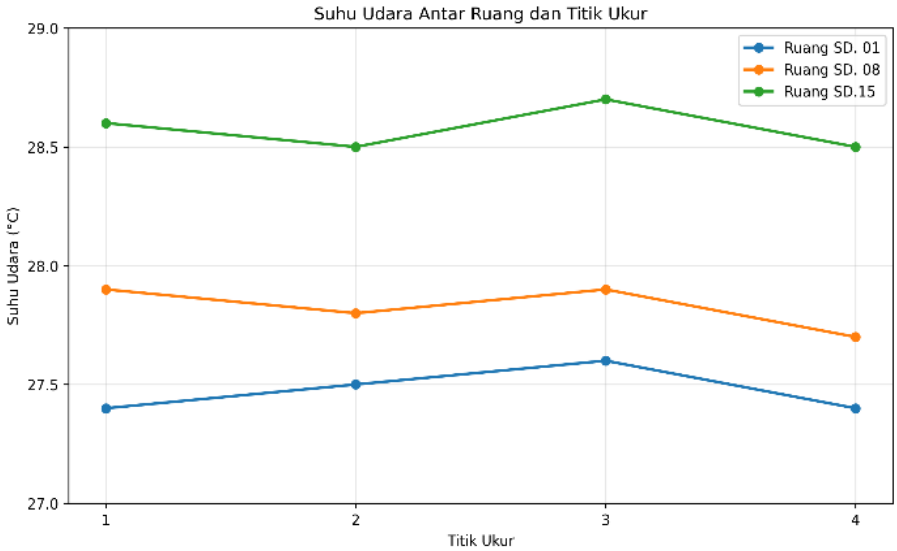
Gambar 7. Contoh Suhu Udara Titik 1
(Sumber: Data Peneliti)

Hasil pengukuran suhu udara pada ruang yang menggunakan ventilasi alami disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Suhu udara Ruang SD menggunakan ventilasi alami (ºC)

Titik Ukur	Ruang SD. 01	Ruang SD. 08	Ruang SD.15
1	27,4	27,9	28,6
2	27,5	27,8	28,5
3	27,6	27,9	28,7
4	27,4	27,7	28,5
Rata-Rata	27,48	27,83	28,58
Minimal	27,4	27,7	28,5
Maksimal	27,6	27,9	28,7

Untuk memperjelas perbedaan suhu udara rata-rata antar ruang berdasarkan posisi vertikalnya, data pada Tabel 1 divisualisasikan dalam bentuk grafik garis pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Suhu Udara Rata-rata Antar Ruang
(Sumber: Data Peneliti, diolah)

Berdasarkan hasil pengukuran suhu udara di ketiga ruang kelas yang seluruhnya memanfaatkan sistem ventilasi alami, terlihat bahwa setiap ruang memiliki karakteristik termal yang berbeda seiring dengan perbedaan posisi vertikalnya. Ruang SD.01 yang terletak di lantai dasar memiliki suhu rata-rata sebesar 27,48°C dengan kisaran 27,4–27,6°C. Kondisi ini mengindikasikan bahwa ruang di lantai dasar cenderung memiliki suhu yang relatif lebih rendah karena terlindungi oleh struktur bangunan di atasnya serta memiliki paparan sinar matahari langsung yang lebih sedikit.

Ruang SD.08 yang berada di lantai dua memiliki suhu udara sedikit lebih tinggi, dengan rata-rata 27,83°C dan kisaran 27,7–27,9°C. Peningkatan suhu ini sejalan dengan posisi ruang yang lebih tinggi sehingga menerima paparan panas yang lebih besar, meskipun ruang tersebut telah menerapkan prinsip bangunan ramah lingkungan melalui pengoptimalan ventilasi silang dan perancangan bukaan.

Ruang SD.15 yang terletak di lantai tiga menunjukkan suhu tertinggi di antara ketiga ruang, yaitu rata-rata 28,58°C dengan kisaran 28,5–28,7°C. Peningkatan suhu pada lantai tiga sejalan dengan posisinya yang paling dekat dengan atap sehingga menerima radiasi panas terbesar. Sebagaimana terlihat pada Gambar 8, terdapat kecenderungan kenaikan suhu udara yang konsisten seiring dengan bertambahnya ketinggian lantai, dari lantai dasar hingga lantai atas.

Berdasarkan SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara, serta mengacu pada kriteria kenyamanan termal adaptif menurut ASHRAE Standard 55, rentang suhu udara yang terukur pada ketiga ruang (27,48–28,58°C) berada pada kategori hangat nyaman untuk bangunan tropis (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017) ; (Badan Standardisasi Nasional, 2001). Kriteria adaptif tersebut sejalan

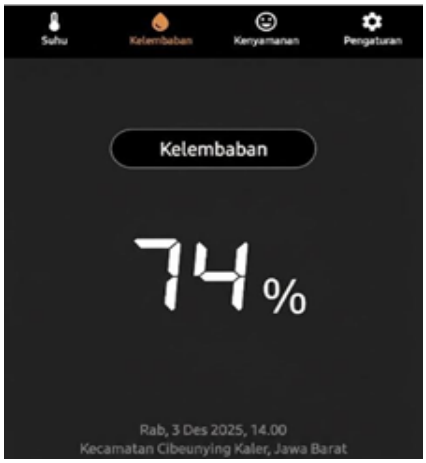
dengan konsep standar ventilasi alami yang diusulkan Brager dan de Dear (2000), yang menekankan bahwa batas kenyamanan termal pada bangunan berventilasi alami bersifat dinamis dan menyesuaikan dengan suhu luar ruang serta pola adaptasi penghuni, berbeda dengan standar kenyamanan statis pada bangunan berpendingin mekanis. Dengan demikian, meskipun ketiga ruang tersebut hanya mengandalkan ventilasi alami tanpa sistem pendingin mekanis, suhu udaranya masih berada pada batas toleransi kenyamanan adaptif sesuai kedua standar tersebut, walaupun Ruang SD.15 di lantai atas sudah mendekati ambang batas atas kategori tersebut sehingga memerlukan perhatian lebih pada perancangan bukaan di lantai-lantai atas.

Temuan suhu udara pada penelitian ini (27,48–28,58°C) sejalan dengan pola yang dilaporkan oleh Anwar & Hidayat (2025) pada evaluasi kinerja termal Museum Bahari Jakarta, yang juga menemukan suhu rata-rata ruang melampaui rentang kenyamanan termal ideal 24–26°C, namun masih berada dalam batas toleransi kenyamanan adaptif untuk bangunan tropis. Temuan ini juga selaras dengan hasil penelitian Hardiman & Purnomo (2020) yang melaporkan bahwa suhu nyaman optimal bagi mayoritas responden di Jakarta berada pada kisaran 25,3°C, dengan rentang sejuk nyaman hingga hangat nyaman antara 23,6–27°C — mengindikasikan bahwa suhu udara pada Ruang SD.15 yang mendekati 28,6°C berada pada batas atas rentang kenyamanan adaptif tersebut. Keterkaitan antara kondisi termal dalam ruang dengan kelembapan relatif pada penelitian ini juga sejalan dengan temuan Iqbal et al. (2024) yang melaporkan korelasi kuat (R=0,90) antara kelembapan relatif luar ruangan dan suhu dalam ruangan pada bangunan berventilasi alami di iklim tropis.

Sebagai pembanding pada konteks iklim dan karakter bangunan yang lebih dekat, suhu udara yang terukur pada penelitian ini (27,48–28,58°C) berada di bawah suhu netral sebesar 29,1°C yang dilaporkan Feriadi & Wong (2004) pada studi kenyamanan termal rumah berventilasi alami di Indonesia, meskipun suhu yang disukai penghuni pada studi tersebut justru lebih rendah, yaitu 26,03°C. Kesenjangan antara suhu netral dan suhu yang disukai ini mengindikasikan adanya proses adaptasi termal pada pengguna bangunan tropis Indonesia. Kelembapan relatif rata-rata pada penelitian Feriadi & Wong (2004), yaitu 68,2–68,9%, juga selaras dengan batas bawah kelembapan relatif yang terukur pada penelitian ini (68,45%), yang memperkuat indikasi bahwa kondisi termal gedung GIGS Bandung representatif terhadap karakteristik iklim dalam ruang bangunan tropis Indonesia berventilasi alami secara umum.

3.3. Kelembapan Relatif

Pengukuran kelembapan relatif dilakukan dengan metode yang sama seperti pengukuran suhu udara, yaitu pada empat titik yang telah ditetapkan di setiap ruang. Gambar 9 menampilkan salah satu titik ukur sebagai contoh lokasi pengukuran kelembapan relatif, sedangkan seluruh data hasil pengukuran dari keempat titik ukur pada setiap ruang disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisis.



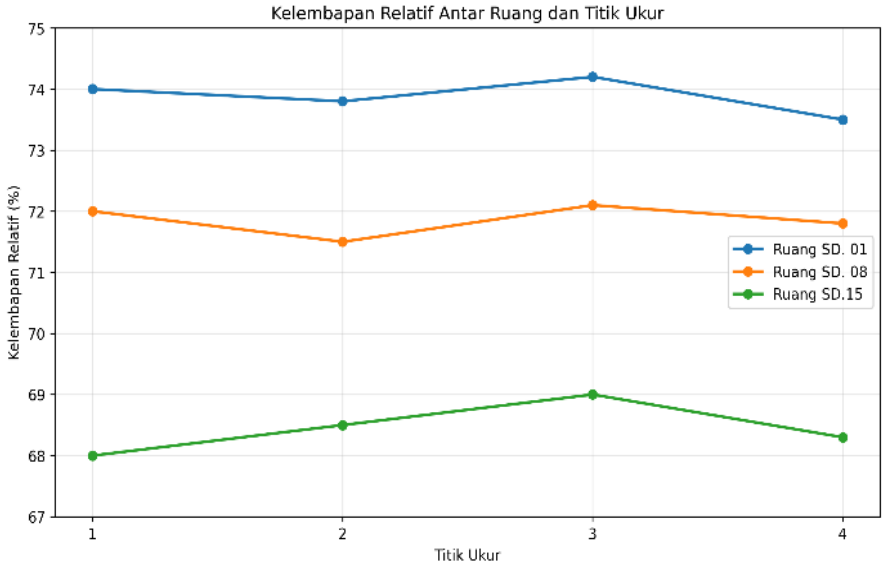
Gambar 9. Contoh Kelembapan Relatif Titik 1

Hasil pengukuran kelembapan relatif udara pada ruang yang menggunakan ventilasi alami disajikan pada Tabel 2:

Tabel 2. Kelembapan relatif Ruang SD menggunakan ventilasi alami (%)

Titik Ukur	Ruang SD. 01	Ruang SD. 08	Ruang SD.15
1	74	72	68
2	73,8	71,5	68,5
3	74,2	72,1	69
4	73,5	71,8	68,3
Rata-rata	73,88	71,85	68,45
Minimal	73,5	71,5	68
Maksimal	74,2	72,1	69

Untuk memperjelas perbedaan kelembapan relatif pada tiap titik ukur di ketiga ruang, data pada Tabel 2 divisualisasikan dalam bentuk grafik garis pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan Kelembapan Relatif Antar Titik Ukur

Hasil pengukuran kelembapan relatif menunjukkan pola yang berlawanan arah dengan suhu udara di setiap ruang. Ruang SD.01 memiliki kelembapan rata-rata sebesar 73,88%, dengan nilai terendah 73,5% dan nilai tertinggi 74,2%. Nilai ini sesuai dengan karakteristik ruang di lantai dasar yang umumnya memiliki tingkat kelembapan lebih tinggi karena kedekatannya dengan permukaan tanah dan pergerakan udara yang relatif lebih lambat.

Kelembapan pada Ruang SD.08 tercatat lebih rendah, dengan rata-rata 71,85% dan kisaran 71,5–72,1%. Penurunan ini mengindikasikan adanya sirkulasi udara yang lebih baik pada lantai dua, yang memungkinkan udara masuk dan keluar secara lebih efisien melalui bukaan yang tersedia.

Ruang SD.15 yang terletak di lantai paling atas memiliki tingkat kelembapan terendah di antara ketiga ruang, yaitu rata-rata 68,45% dengan variasi 68–69%. Kondisi ini disebabkan oleh sirkulasi udara yang lebih baik pada lantai atas serta paparan panas dari atap yang mempercepat penguapan, sehingga tingkat kelembapan menjadi lebih rendah. Seperti terlihat pada Gambar 10, garis kelembapan Ruang SD.15 secara konsisten berada di bawah garis SD.08 dan SD.01 pada keempat titik ukur, sejalan dengan pola kenaikan suhu yang teramati pada Gambar 8.

Berdasarkan SNI 03-6572-2001 dan kriteria kenyamanan termal adaptif ASHRAE Standard 55, kelembapan relatif yang umum digunakan sebagai acuan kenyamanan berada pada rentang 65–75%. Nilai kelembapan yang terukur pada ketiga ruang (68,45–73,88%) masih berada dalam rentang tersebut, sehingga secara keseluruhan tergolong dapat diterima untuk bangunan pendidikan tanpa pendingin mekanis (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017) ; (Badan

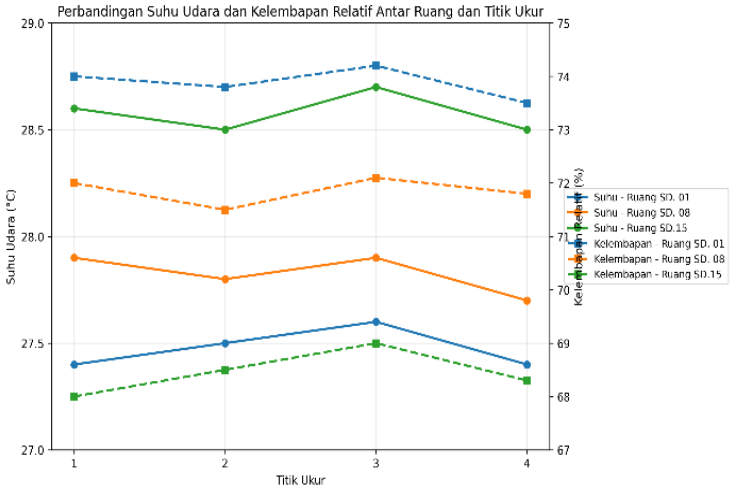
Standardisasi Nasional, 2001). Meskipun demikian, Ruang SD.01 dengan kelembapan rata-rata 73,88% sudah mendekati ambang batas atas rentang tersebut, sehingga penambahan ventilasi silang atau bukaan pada lantai dasar dapat dipertimbangkan agar sirkulasi udara lebih optimal.

Kecepatan udara merupakan variabel yang turut menentukan kenyamanan termal pada bangunan berventilasi alami, sebagaimana ditunjukkan oleh Adnan et al. (2026) melalui pengukuran lapangan pada hunian di iklim panas lembap Malaysia. Studi tersebut mendapati bahwa kombinasi kecepatan udara rendah (di bawah 0,10 m/s) dan suhu radian rata-rata tinggi (di atas 30°C) secara konsisten mendorong kondisi operatif ruang melampaui ambang batas atas kenyamanan adaptif, sementara ruang dengan kecepatan udara memadai (0,45-0,65 m/s) tetap berada dalam pita kenyamanan meskipun suhu operatifnya serupa atau lebih tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kecepatan udara, bukan semata suhu dan kelembapan, berperan penting dalam menentukan kenyamanan termal aktual pengguna ruang. Karena penelitian ini tidak turut mengukur kecepatan udara pada masing-masing titik ukur, evaluasi kenyamanan termal yang disajikan perlu dipahami sebagai pendekatan berbasis suhu dan kelembapan semata, sehingga pengukuran kecepatan udara pada gedung GIGS Bandung.

Signifikasi kajian kenyamanan termal pada ruang kelas turut ditegaskan oleh tinjauan komprehensif Singh et al. (2019) terhadap penelitian kenyamanan termal ruang kelas selama lebih dari 50 tahun, yang menyoroti bahwa standar kenyamanan termal internasional seperti ASHRAE Standard 55 dan ISO 7730 sebagian besar dikembangkan berdasarkan data lingkungan kerja kantor orang dewasa, sehingga penerapannya pada ruang kelas dengan penghuni anak-anak dan remaja memerlukan kehati-hatian tambahan. Hal serupa juga ditemukan oleh Firman et al. (2025) pada ruang kelas sekolah menengah berventilasi alami di iklim tropis Malaysia, yang menunjukkan bahwa preferensi termal siswa dapat berbeda dari standar kenyamanan adaptif konvesional. Sejalan dengan kedua temuan tersebut, evaluasi kenyamanan termal pada penelitian ini yang mengacu pada kriteria adaptif SNI 03-5572-2001 dan ASHRAE Standard 55 perlu dipandang sebagai pendekatan awal, mengingat kedua standar tersebut belum secara khusus dikembangkan untuk konteks ruang kelas jenjang TK-SD di iklim tropis lembap Indonesia (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017) ; (Badan Standardisasi Nasional, 2001).

3.2. Perbandingan

Untuk memperlihatkan keterkaitan antara kedua parameter secara bersamaan, data suhu udara dan kelembapan relatif antar ruang serta antar titik ukur yang telah dipaparkan pada Gambar 9 dan Gambar 8 selanjutnya disajikan dalam satu grafik perbandingan sebagaimana dijanjikan pada bagian metodologi, agar pola hubungan antara kenaikan suhu dan penurunan kelembapan pada setiap ruang dapat terlihat secara langsung.



Gambar 11. Perbandingan Suhu Udara dan Kelembapan Relatif Antar Ruang dan Antar Titik Ukur

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran suhu dan kelembapan di tiga ruang kelas Gedung Global Islamic Green School Bandung, kondisi termal seluruh ruang menunjukkan kinerja ventilasi alami yang memadai sesuai standar kenyamanan bangunan tropis. Suhu udara rata-rata berada dalam kisaran 27,48–28,58°C, sedangkan kelembapan relatif berkisar antara 68,45–73,88%, yang merupakan nilai umum bagi bangunan tropis yang tidak dilengkapi sistem pendingin mekanis.

Perbedaan suhu dan kelembapan di berbagai ruangan terutama dipengaruhi oleh variasi tinggi bangunan. Ruang pada lantai dasar (SD. 01) biasanya memiliki suhu yang lebih sejuk namun cenderung lebih lembap, sedangkan ruang pada lantai tertinggi (SD. 15) memiliki suhu yang lebih tinggi tetapi kelembapan yang lebih rendah disebabkan oleh sirkulasi udara yang lebih baik. Temuan ini mengindikasikan bahwa desain bukaan, ventilasi silang, dan posisi vertikal ruang berpengaruh signifikan terhadap kondisi termal ruangan. Temuan ini menegaskan bahwa perancangan bukaan arsitektural yang tepat, ventilasi silang, dan pengelolaan ketinggian ruang merupakan strategi pasif yang efektif dalam mendukung kenyamanan termal pada bangunan sekolah ramah lingkungan di iklim tropis.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena pengukuran dilakukan pada satu rentang waktu siang hari dan pada kondisi bangunan yang belum sepenuhnya beroperasi. Oleh sebab itu, hasil penelitian merepresentasikan kinerja termal awal bangunan dan belum sepenuhnya menggambarkan kondisi saat ruang digunakan secara aktif oleh siswa dan guru.

Dimensi (34,65 m^2) masing-masing ruang kelas yang diukur juga tidak didokumentasikan secara sistematis dalam penelitian ini, sehingga kemungkinan pengaruh perbedaan ukuran ruang terhadap variasi suhu dan kelembapan antar lantai belum dapat sepenuhnya dipisahkan dari pengaruh posisi vertikal bangunan.

Disarankan agar penelitian selanjutnya dilakukan kembali setelah GIGS Bandung beroperasi sepenuhnya, sehingga pengukuran kondisi termal bisa mencerminkan situasi yang lebih akurat. Kehadiran guru, siswa, dan aktivitas pembelajaran memiliki dampak besar terhadap suhu, kelembapan, serta pola pergerakan udara di dalam ruangan. Oleh karena itu, diharapkan penelitian selanjutnya tidak hanya akan menilai kinerja termal gedung, tetapi juga akan mengukur tingkat kenyamanan serta kepuasan pengguna terhadap mutu lingkungan pembelajarannya.

Agar mendapatkan hasil yang lebih mendetail, penelitian selanjutnya dapat ditambahkan dengan simulasi yang menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi ini memungkinkan kita untuk melihat pola pergerakan udara, menemukan area yang terlalu panas, serta menilai seberapa efektif ventilasi alami, yang mungkin tidak dapat sepenuhnya diukur melalui pengukuran langsung. Pendekatan ini akan meningkatkan analisis dan memberikan dasar yang lebih kokoh dalam menilai apakah bangunan mendukung prinsip bangunan ramah lingkungan dan juga memenuhi kenyamanan termal serta kepuasan penggunanya.

Referensi

Adnan, Y., Jaffar, N., Razali, H., Wooi, L. K., & Lim, C. H. (2026). Field Measurements of Adaptive Thermal Comfort in Naturally Ventilated Homes of Malaysia's Hot–Humid Climate. *Buildings*, *16*(7), 1419. https://doi.org/10.3390/buildings16071419

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (55). ASHRAE.

Anwar, D., & Hidayat, M. S. (2025). Evaluasi Kinerja Termal dan Dampaknya terhadap Kenyamanan Pengunjung Museum Bahari Jakarta. *Vitruvian : Jurnal Arsitektur, Bangunan dan Lingkungan*, *15*(2), 189. https://doi.org/10.22441/vitruvian.2025.v15i2.008

Badan Standardisasi Nasional. (2001). *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung* (03-6572–2001). Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Brager, G. S., & De Dear, R. (2000). A standard for natural ventilation. *ASHRAE Journal*, *42*(10), 21-27.

Ding, W., Hasemi, Y., & Yamada, T. (2005). Natural ventilation performance of a double-skin façade with a solar chimney. *Energy and Buildings*, *37*(4), 411–418.

Feriadi, H., & Wong, N. H. (2004). Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. *Energy and Buildings*, *36*(7), 614–626. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.011

Firman, N. S., Zaki, S. A., Tuck, N. W., Singh, M. K., & Rijal, H. B. (2025). A study on adaptive thermal comfort and ventilation in Malaysia secondary school classrooms of tropical climate. *Building and Environment*, *273*, 112701. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112701

Gan, G. (2010). Simulation of buoyancy-driven natural ventilation of buildings—Impact of computational domain. *Energy and Buildings*, *42*(8), 1290–1300. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.022

Hardiman, G., & Purnomo, A. B. (2020). A Review On Thermal Comfort Through Physiological And Psychological Phenomena On The Use Of Outdoor Space In Urban Areas. *Is LivaS: Applying Local Knowledge for Livable Space*.

Iqbal, M., Atthaillah, A., Safyan, A., Indriani, L., & Sina, A. M. (2024). Kenyamanan Termal pada Bangunan Berventilasi Alami di Iklim Tropis. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, *11*(2), 152–163. https://doi.org/10.24252/nature.v11i2a3

Izzati, H., & Hilma, N. (2025a). Arsitektur Pintar Sebagai Konsep Hunian Perkotaan Berkelanjutan Di Indonesia: Analisis Tinjauan Pustaka Sistematis. *Jurnal Desain Dan Arsitektur*, *6*(2), 95–105. https://doi.org/10.34010/desa.v6i2.17331

Izzati, H., & Hilma, N. (2025b). *Arsitektur Pintar Sebagai Konsep Hunian Perkotaan Berkelanjutan Di Indonesia: Analisis Tinjauan Pustaka Sistematis*.

Pamungkas, L. S., & Suryabrata, J. A. (2020). Pengkondisian Termal Pada Bangunan Sekolah Di Indonesia. *Jurnal Arsitektur dan Perencanaan (JUARA)*, *3*(2), 81–96. https://doi.org/10.31101/juara.v3i2.1308

Pathirana, S., Rodrigo, A., & Halwatura, R. (2019). Effect of building shape, orientation, window to wall ratios and zones on energy efficiency and thermal comfort of naturally ventilated houses in tropical climate. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *10*(1), 107–120. https://doi.org/10.1007/s40095-018-0295-3

Quraisy, S., Rizal, M., & Tayeb, M. (2019). Kajian Kenyamanan Termal Ruang Kelas Studio Perancangan Jurusan Teknik Arsitektur Di Kampus Ii Unkhair. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, *8*(4), 139–142. https://doi.org/10.32315/jlbi.v9i4.137

Rahayu, I. P., & Syamsiyah, N. R. (2024). Analisis Kenyamanan Pencahayaan Dan Penghawaan Alami Pada Ruang Kelas Tk Kemala Bhayangkari Surakarta. *Siar V: Seminar Ilmiah Arsitektur*, 445–453.

Rahmawati, D. S., & Khairina, R. L. (2021). Pengaruh Kualitas Udara Dalam Ruangan Bagi Performa Akademik Pelajar: Sebuah Tinjauan Literatur. *Js (JuRNAL SEKOLAH)*, *5*(1), 34. https://doi.org/10.24114/js.v5i1.22703

Ramadhan, A. I., Sihombing, H., & Kurniadin, M. I. P. (2023). *Analisis Dan Identifikasi Kenyamanan Termal Pada Ruang Kelas Laboratorium Dan Ruang Umum Sekolah Vokasi Ipb University*. *1*.

Rubiyanti, Y. (2023). Tinjauan Sistematis Mengenai Pengaruh Desain Interior Pada Kesejahteraan Jiwa Pengguna Ruang. *SenaDA: Desain & Aplikasi Bisnis Teknologi*, *6*.

Singh, M. K., Ooka, R., Rijal, H. B., Kumar, S., Kumar, A., & Mahapatra, S. (2019). Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. *Energy and Buildings*, *188–189*, 149–174. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051

Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta Bandung. https://archive.org/details/buku-metode-penelitian-sugiyono/page/97/mode/1up

(Halaman ini sengaja dikosongkan)