



Thermal Environment and Students' Thermal Comfort in Open Classrooms at a Nature-based School

Teguh Heru Winarso^{1*}, M. Syarif Hidayat²

¹archteguh@gmail.com, Program Studi Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

²syarifhidayat@mercubuana.ac.id, Program Studi Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

*Corresponding author: archteguh@gmail.com

Received 24/07/2026	ABSTRACT
Received in revised form 02/08/2026	<i>Thermal comfort is an essential aspect of designing educational buildings in tropical regions, as it significantly influences students' concentration, productivity, and overall comfort during the learning process. Open classrooms in nature-based schools utilize natural ventilation as a passive design strategy to reduce energy consumption. However, outdoor environmental conditions, such as air temperature, relative humidity, air velocity, and solar radiation, may affect occupants' thermal comfort. This study aims to identify the thermal environmental conditions, analyze students' thermal comfort levels, and examine the influence of thermal environmental factors on students' thermal comfort in the open classrooms of Sekolah Alam Indonesia Cipadak. A quantitative approach was employed using descriptive and explanatory methods through field surveys, measurements of thermal environmental parameters, and questionnaires distributed to 67 fourth-grade elementary school students. The data were analyzed using descriptive statistics and multiple linear regression. The results indicate that the average air temperature reached 32.6°C, with solar radiation averaging 372.2 W/m². Meanwhile, the average relative humidity was 57.8%, remaining within the thermal comfort standard range, and the average air velocity was relatively low at 0.20 m/s. Nevertheless, students' thermal comfort was categorized as moderately comfortable based on respondents' perceptions. Inferential analysis revealed that perceived air temperature ($p = 0.004$) and perceived air velocity ($p = 0.034$) had a significant effect on students' thermal comfort, whereas perceived relative humidity ($p = 0.500$) and perceived solar radiation ($p = 0.081$) did not show significant effects. These findings suggest that users' adaptive capacity to naturally ventilated environments plays an important role in shaping thermal comfort perceptions, in addition to the physical characteristics of the thermal environment.</i>
Accepted 04/08/2026	Keywords: <i>Natural ventilation, Nature school, Open classroom, Thermal comfort, Thermal environment.</i>

PENDAHULUAN

Kenyamanan termal menjadi salah satu aspek penting dalam perancangan bangunan di wilayah tropis seperti di Indonesia. Hal ini dikarenakan suhu udara, kelembapan, dan paparan radiasi yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan suhu ruang. Dalam konteks bangunan pendidikan di daerah tropis, kenyamanan termal memiliki peran penting karena memengaruhi

konsentrasi, fokus belajar, produktivitas, dan kondisi fisik siswa dalam proses pembelajaran. Sehingga dibutuhkan upaya untuk menciptakan kenyamanan termal dengan merespon kondisi iklim luar yang cenderung panas dan lembap.

Nuraini *et al.* [1] menyatakan bahwa “THI adalah indeks yang menentukan pengaruh kondisi panas terhadap kenyamanan manusia melalui kombinasi suhu dan kelembaban.” Hal tersebut menunjukkan bahwa perubahan suhu dan kelembapan lingkungan dapat memengaruhi tingkat kenyamanan termal seseorang ketika beraktivitas di ruang terbuka. Dalam konteks ruang kelas terbuka sekolah alam, kedua faktor tersebut perlu diperhatikan karena kegiatan pembelajaran berlangsung pada ruang yang berhubungan langsung dengan kondisi lingkungan luar [2].

Menurut Fanger [3] kenyamanan termal merupakan keadaan ketika panas tubuh seimbang dengan panas yang dilepaskan ke lingkungan sekitarnya. Hal ini dipengaruhi oleh suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin, radiasi, aktivitas pengguna, dan jenis pakaian yang digunakan Istiningrum, dkk [4]. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan untuk mencapai kenyamanan termal pada bangunan pendidikan di wilayah tropis adalah konsep ruang kelas terbuka.

Konsep ruang kelas dirancang dengan meminimalkan penggunaan dinding masif dan bukaan yang lebar untuk memaksimalkan ventilasi alami. Ventilasi alami berperan dalam mempercepat pelepasan udara panas dari tubuh [5]. Selain itu dengan konsep ruang terbuka, dianggap mampu mengurangi ketergantungan pada pendinginan buatan, hemat energi, dan sesuai dengan prinsip desain pasif [6]. Namun, konsep ini pun menghadapi beberapa permasalahan, seperti udara panas dari luar yang terbawa masuk oleh ventilasi alami, Menurut Givoni [7] sisi ruangan pada ruang kelas terbuka rentan menerima radiasi matahari yang menyebabkan kenaikan suhu pada elemen ruang. Selain itu, menurut ASHREA Standard 55 [16] pergerakan udara yang tidak stabil sensasi termal pengguna yang berkaitan proses pelepasan termal melalui konveksi dan evaporasi. Tingkat kelembapan udara yang tinggi juga menghambat proses penguapan keringat pada tubuh [3]. Penggunaan material dan kepadatan pengguna juga menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kenyamanan termal.

Namun selain dipengaruhi oleh kondisi lingkungan fisik, dan karakteristik ruangan, kondisi fisik pengguna juga memengaruhi kemampuan pengguna beradaptasi terhadap termal lingkungan [8]. Pengguna bangunan ventilasi alami cenderung memiliki toleransi terhadap perubahan suhu melalui kemampuan respon adaptif terhadap kondisi suhu, kelembapan relatif, pergerakan udara, dan radiasi matahari [9].

Penelitian mengenai kenyamanan termal pada bangunan pendidikan telah banyak dilakukan. Wargicki dan Wyon [10] menunjukkan bahwa penurunan suhu ruang dan peningkatan ventilasi mampu meningkatkan performa belajar. Zamri *et al.* [11] melalui studi literatur menyimpulkan bahwa ventilasi, desain bangunan, kondisi iklim, dan perilaku pengguna merupakan faktor utama yang memengaruhi kenyamanan termal pada ruang dengan penghawaan alami. Istiningrum *et al.* [12] membuktikan dalam penelitiannya bahwa suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan udara berpengaruh pada kenyamanan termal ruang. Penelitian sari *et al.* [13] menunjukkan bahwa radiasi matahari dan orientasi bukaan memengaruhi kondisi termal ruang sekolah sedangkan Wahyutomo dan Citraningrum menemukan bahwa konfigurasi bukaan memengaruhi kondisi termal dan persepsi kenyamanan pengguna [14]. Selain itu, de Dear dan Brager (1998) mengemukakan melalui model adaptive thermal comfort bahwa pengguna bangunan berpenghawaan alami memiliki kemampuan adaptasi terhadap kondisi termal [15].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengukuran dan persepsi pengguna terhadap kondisi termal secara terpisah. Penelitian yang mengkaji ruang kelas terbuka pada sekolah alam masih terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai faktor lingkungan termal terhadap kenyamanan siswa pada ruang kelas terbuka. Penelitian ini, bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi lingkungan termal dan tingkat kenyamanan termal pada ruang kelas terbuka pada sekolah alam, serta menganalisis pengaruh kondisi lingkungan termal berdasarkan hasil pengukuran lapangan dengan persepsi kenyamanan siswa pada ruang kelas terbuka pada sekolah alam.

METODE PENELITIAN

1. Pendekatan dan Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengukur kondisi lingkungan termal dan kenyamanan termal dalam bentuk data numerik. Metode yang digunakan menggunakan metode deskriptif untuk menggambarkan kondisi termal dan tingkat kenyamanan siswa di ruang kelas terbuka di sekolah alam, dan metode eksplanatori untuk menguji pengaruh faktor lingkungan termal terhadap kenyamanan siswa di ruang kelas terbuka di sekolah alam.

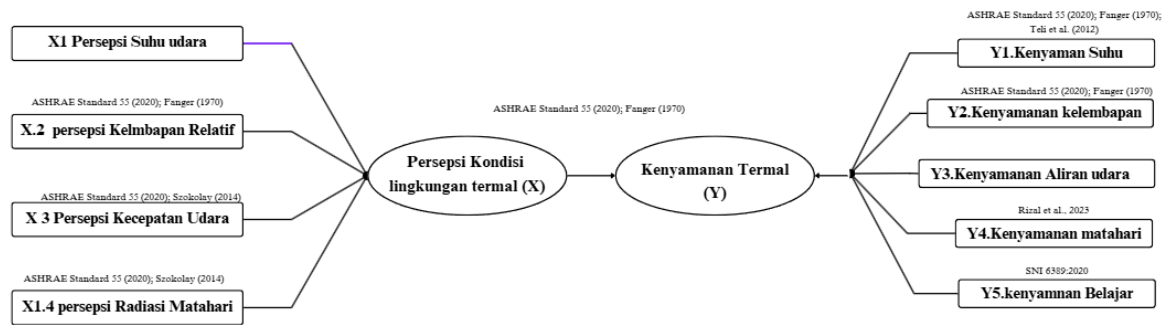
Desain penelitian menggunakan survei lapangan dengan pengukuran kondisi termal ruang dan penyebaran kuesioner kepada responden. Lokasi penelitian berada di ruang kelas terbuka pada sekolah alam dengan waktu penelitian mulai dari September 2025 dan Agustus 2026, meliputi identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, analisis hingga sidang tesis.

2. Penentuan Objek dan Sampel Penelitian

Objek penelitian terdiri dari objek fisik, yaitu ruang kelas terbuka pada sekolah alam; dan objek pengguna, yaitu siswa kelas 4 SD sebanyak 67 sampel. Penentuan sampel melalui dua tahap, yaitu *purpose sampling* melalui pertimbangan bahwa siswa kelas 4 SD mampu memahami isi kuesioner, menggunakan ruang kelas terbuka, kehadiran, dan kesediaan mengisi kuesioner; dan *total sampling* dikarenakan populasi terjangkau relatif kecil (kurang dari 100).

3. Perumusan Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, desain operasional variabel dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah faktor lingkungan termal, sedangkan variabel terikat yang diteliti adalah kenyamanan termal siswa. Perumusan dan penentuan indikator variabel dalam penelitian ini sepenuhnya mengacu pada teori kenyamanan termal universal. Menurut *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) Standard 55 [16] serta teori keseimbangan panas tubuh yang dikembangkan oleh Fanger [3].



Gambar 1. Pemodelan Variabel Penelitian
Sumber: Analisis Penulis, 2026

4. Instrumen Penelitian

Instrumen pengukuran untuk mengukur kondisi lingkungan termal ruang kelas terbuka menggunakan *thermo-hygromete* untuk mengukur suhu udara dan kelembapan, anemometer untuk mengukur kecepatan udara, dan *solar power meter/globe thermometer* untuk mengukur radiasi matahari. Skala yang digunakan pada pengukuran variabel X menggunakan skala likert sederhana 1-5 karena mudah dipahami oleh siswa.

Instrumen pengukuran variabel Y berupa kuesioner kenyamanan termal siswa yang memuat pertanyaan mengenai rasa panas atau sejuk, rasa nyaman atau tidak nyaman, rasa gerah atau tidak gerah, aliran udara, dan respons saat belajar dengan pendampingan peneliti atau guru. Validasi instrumen dilakukan sebelum instrumen digunakan dalam pengumpulan data utama. Validasi dilakukan melalui dua tahap, yaitu validasi isi dan uji coba instrumen.

5. Teknik Pengumpulan Data

1) Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik ruang kelas terbuka yang mencakup orientasi ruang kelas, bentuk atap, material, bukaan, elemen peneduh, vegetasi sekitar, dan aktivitas siswa.

2) Pengumpulan Data Variabel Y

Data variabel Y diperoleh melalui kuesioner kenyamanan termal siswa yang diberikan kepada seluruh siswa kelas 4 SD yang hadir di ruang kelas terbuka.

3) Pengukuran Kondisi Lingkungan Termal Ruang

Pengukuran kondisi lingkungan termal dilakukan secara langsung di beberapa titik yang mewakili area belajar, seperti area tengah kelas, area dekat bukaan, area dekat vegetasi, dan area yang berpotensi terkena radiasi matahari. Parameter yang diukur meliputi suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan udara, dan radiasi matahari.

6. Teknik Analisa Data

1) Analisis Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan data hasil pengukuran dan data kuesioner.

2) Analisis Statistik Inferensial

Analisis statistik inferensial digunakan untuk menguji pengaruh faktor lingkungan termal terhadap kenyamanan termal siswa dengan Teknik regresi linear ganda. Variabel independen terdiri dari empat variabel, yaitu suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan udara, dan radiasi matahari. Analisis statistik inferensial dalam penelitian ini memerlukan beberapa tahapan

pengujian, meliputi (1) penyiapan dan pengkodean data; (2) uji instrumen yang meliputi uji validitas dan reliabilitas; (3) uji asumsi klasik yang meliputi uji normalitas; uji multikolinearitas, dan uji heteroskedastisitas, (4) analisis regresi linear berganda; (5) uji t atau uji parsial; (6) uji F atau uji simultan; dan (7) koefisien determinasi atau R².

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Lokasi dan Objek Penelitian



Gambar 2. Objek Penelitian

Sumber: Penulis, 2026

Penelitian ini dilaksanakan di Sekolah Alam Indonesia Cipedak yang berlokasi di Jalan Pembangunan Nomor 51, Kelurahan Cipedak, Kecamatan Jagakarsa, Kota Administrasi Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta. Secara geografis, lokasi sekolah berada pada kawasan perkotaan Jakarta Selatan yang memiliki iklim tropis lembap. Lingkungan sekitar sekolah memiliki karakter yang cukup mendukung konsep sekolah alam dengan kondisi lingkungan yang relatif asri dan memiliki kedekatan dengan unsur vegetasi.

Objek fisik dalam penelitian ini adalah ruang kelas terbuka yang digunakan oleh siswa kelas 4 SD pada Sekolah Alam Indonesia Cipedak. Ruang kelas terbuka dipilih karena memiliki hubungan langsung dengan kondisi lingkungan luar. Ruang kelas terbuka memiliki karakter semi terbuka, yaitu area belajar terlindungi oleh atap, tetapi tetap memiliki bukaan pada beberapa sisi. Titik pengukuran lingkungan termal ditentukan pada area tengah ruang kelas, area dekat bukaan, area dekat vegetasi atau teduh, serta area yang berpotensi terkena paparan panas matahari. Data yang diukur meliputi suhu udara, kelembapan relatif, kecepatan udara, dan radiasi matahari.

Pengumpulan data responden dilakukan kepada siswa kelas 4 SD Sekolah Alam Indonesia Cipedak yang menggunakan ruang kelas terbuka sebagai tempat kegiatan belajar. Responden dalam penelitian ini berjumlah 67 siswa. Jumlah tersebut merupakan seluruh siswa kelas 4 SD yang menjadi populasi terjangkau dalam penelitian. Pemilihan siswa kelas 4 dilakukan karena siswa pada

tingkat ini dinilai sudah memiliki kemampuan membaca, memahami instruksi, dan menjawab pertanyaan kuesioner secara lebih baik dibandingkan siswa pada kelas yang lebih rendah.

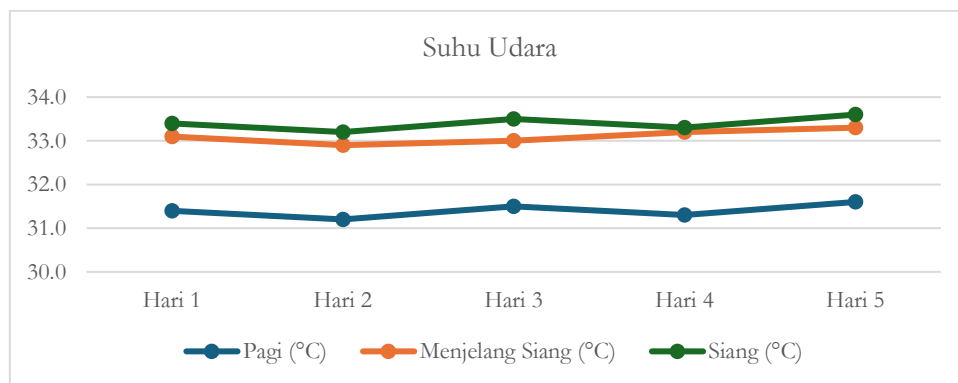
2. Kondisi Lingkungan Termal Ruang Kelas Terbuka

Pengukuran dilakukan secara langsung pada ruang kelas terbuka yang digunakan oleh siswa kelas 4 SD Sekolah Alam Indonesia Cipedak selama lima hari berturut-turut. Setiap hari pengukuran dilakukan pada tiga periode waktu, yaitu pagi, menjelang siang, dan siang hari, sehingga diperoleh gambaran perubahan kondisi termal ruang kelas selama aktivitas pembelajaran berlangsung.

2.1 Suhu Udara

Tabel 1. Hasil Pengukuran Suhu Udara Selama 5 Hari

Hari	Pagi (°C)	Menjelang siang (°C)	Siang (°C)	Rata-rata Harian (°C)
Hari 1	31,4	33,1	33,4	32,6
Hari 2	31,2	32,9	33,2	32,4
Hari 3	31,5	33,0	33,5	32,7
Hari 4	31,3	33,2	33,3	32,6
Hari 5	31,6	33,3	33,6	32,8
Rata-Rata	31,4	33,1	33,4	32,6



Gambar 2. Hasil Pengukuran Suhu Udara Selama 5 Hari

Sumber: Analisis Penulis, 2026

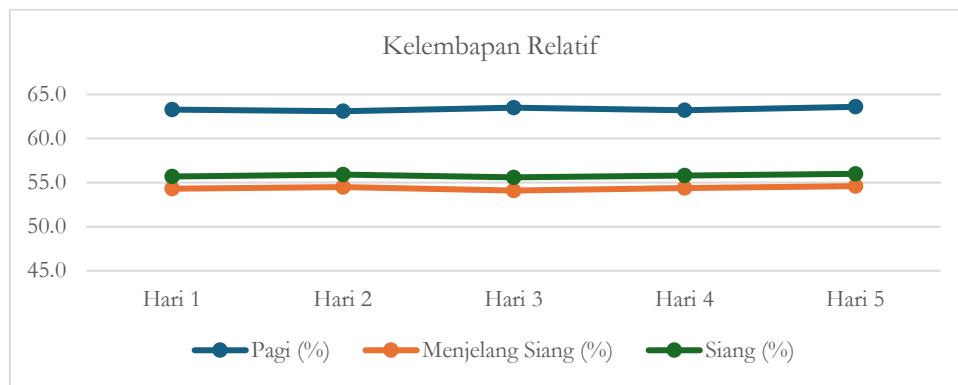
Suhu rata-rata yang diperoleh selama 5 hari penelitian relatif tinggi, yaitu mencapai 32,63°C. Nilai ini berada di atas suhu nyaman yang direkomendasikan oleh ASHRAE Standard 55 [16] yaitu sekitar 23-26°C untuk aktivitas ringan di dalam bangunan. Peningkatan suhu terjadi secara konsisten, yaitu meningkat dari pagi menuju siang hari [16]. Hal ini dikarenakan peningkatan intensitas penyinaran matahari. Meskipun ruangan memiliki atap dan vegetasi di sekitarnya, karakter ruang yang terbuka menyebabkan suhu udara dapat memengaruhi kenyamanan termal ruang belajar. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan teori Szokolay [17] yang menyatakan bahwa bangunan dengan ventilasi alami di wilayah beriklim tropis sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan luar. Menurut Fanger [3] suhu udara merupakan salah satu parameter lingkungan termal yang paling dominan dalam memengaruhi keseimbangan panas tubuh manusia. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Wargocki dan Wyon [10] yang menyatakan bahwa peningkatan suhu udara pada ruang kelas berpengaruh terhadap menurunnya performa belajar

siswa, yang didukung juga oleh Istiningrum *et al.* [12] yang menemukan bahwa suhu udara merupakan factor dominan yang memengaruhi persepsi kenyamanan termal pada ruang kelas di iklim tropis [10].

2.2 Kelembapan Relatif

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kelembapan Selama 5 Hari

Hari	Pagi (%)	Menjelang siang (%)	Siang (%)	Rata-rata Harian (%)
Hari 1	63,3	54,3	55,7	57,8
Hari 2	63,1	54,5	55,9	57,8
Hari 3	63,5	54,1	55,6	57,7
Hari 4	63,2	54,4	55,8	57,8
Hari 5	63,6	54,6	56,0	58,1
Rata-Rata	63,3	54,4	55,8	57,8



Gambar 3. Hasil Pengukuran Kelembapan Relatif Selama 5 Hari

Sumber: Analisis Penulis, 2026

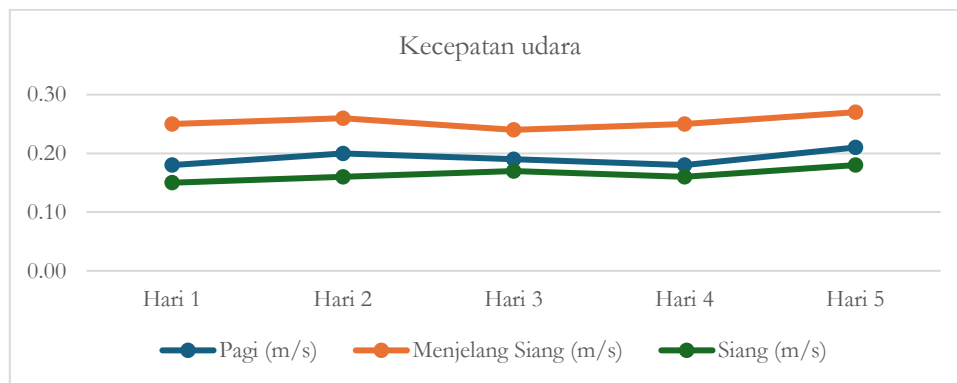
Kelembapan relatif yang diperoleh selama 5 hari penelitian memiliki nilai rata-rata 57,84%. Nilai tersebut masih berada dalam kisaran kelembapan yang direkomendasikan ASHRAE Standard 55 [16], yaitu 40-60%. Variasi kelembapan relatif juga cenderung stabil dibandingkan perubahan suhu udara, sehingga kelembapan relatif umumnya tidak menjadi faktor dominan dalam memengaruhi kenyamanan termal apabila masih dalam rentang yang direkomendasikan [18]. Hasil penelitian ini sejalan dengan Zamri *et al.* [11] yang menyatakan bahwa kelembapan relatif pada bangunan dengan penghawaan alami di daerah tropis cenderung lebih stabil dan tidak menjadi faktor dominan yang memengaruhi kenyamanan termal selama masih berada dalam kisaran yang direkomendasikan.

2.3 Kecepatan Udara

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara Selama 5 Hari

Hari	Pagi (m/s)	Menjelang siang (m/s)	Siang (m/s)	Rata-rata Harian (m/s)
Hari 1	0,18	0,25	0,15	0,19
Hari 2	0,20	0,26	0,16	0,21
Hari 3	0,19	0,24	0,17	0,2

Hari	Pagi (m/s)	Menjelang siang (m/s)	Siang (m/s)	Rata-rata Harian (m/s)
Hari 4	0,18	0,25	0,16	0,2
Hari 5	0,21	0,27	0,18	0,22
Rata-Rata	0,19	0,25	0,16	0,20



Gambar 4. Hasil Pengukuran Kecepatan Udara Selama 5 Hari

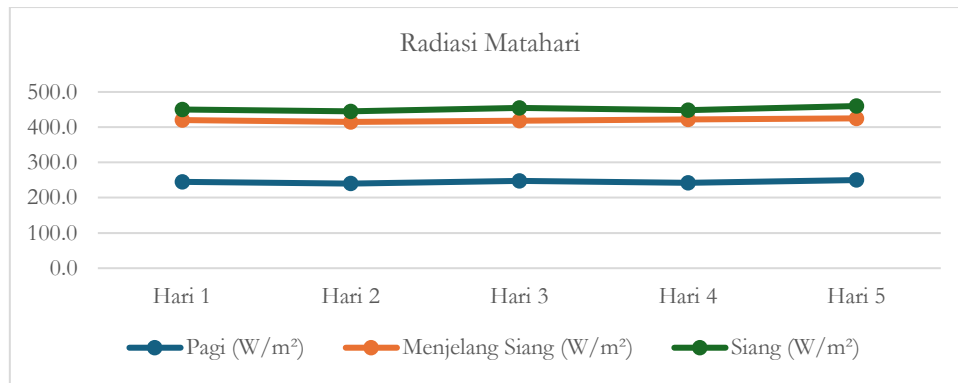
Sumber: Analisis Penulis, 2026

Kecepatan udara yang diperoleh selama 5 hari penelitian menghasilkan nilai rata-rata 0,20m/s. Nilai tersebut tergolong rendah. Walaupun ruang kelas memiliki bukaan pada seluruh sisi bangunan, kondisi arah angin, vegetasi di sekitar bangunan, serta konfigurasi ruang menyebabkan kecepatan udara yang diterima di area belajar relatif kecil.

Menurut Fanger [3] dan ASHRAE Standard 55 [16], kecepatan udara berperan dalam peningkatan pelepasan panas tubuh melalui konveksi dan penguapan keringat. Pada penelitian ini, kecepatan udara relatif rendah sehingga efek pendinginan ventilasi alami menjadi terbatas. Temuan ini sejalan dengan Permatasari [19] yang menyatakan bahwa optimalisasi ventilasi alami melalui desain bukaan dapat meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan di iklim tropis.

Tabel 4. Hasil Radiasi Matahari Selama 5 Hari

Hari	Pagi (w/m2)	Menjelang siang (w/m2)	Siang (w/m2)	Rata-rata Harian (w/m2)
Hari 1	245	420	450	371,7
Hari 2	240	415	445	366,7
Hari 3	248	418	455	373,7
Hari 4	242	422	448	370,7
Hari 5	250	425	460	378,3
Rata-Rata	245,0	420	451,6	372,2



Gambar 5. Hasil Pengukuran Radiasi Matahari Selama 5 Hari

Sumber: Analisis Penulis, 2026

Radiasi matahari yang diperoleh selama 5 hari penelitian menghasilkan nilai rata-rata 372,20 W/m². Nilai tersebut relatif tinggi terutama pada menjelang siang hingga siang hari. Menurut Szokolay [17] pada daerah tropis, radiasi matahari merupakan salah satu sumber perolehan panas. Pengendalian radiasi matahari untuk menciptakan kondisi termal yang nyaman dapat melalui penggunaan vegetasi, elemen peneduh, maupun orientasi bangunan. Temuan ini sejalan dengan Sari *et al.* [13] yang menunjukkan bahwa pengurangan paparan radiasi matahari dapat meningkatkan kenyamanan termal pada bangunan pendidikan.

3. Kenyamanan Termal Siswa

Tabel 4. Rekapitulasi Statistik Deskriptif Lingkungan Termal

Variabel	N	Minimum	Maksimum	Mean	Standar deviasi
X1 Persepsi Suhu Udara	67	1,33	5,00	3,4826	0,93615
X2 Persepsi Kelembapan Relatif	67	2,00	4,33	3,0746	0,53755
X3 Persepsi Kecepatan Udara	67	3,00	5,00	3,8706	0,47480
X4 Persepsi Radiasi Matahari	67	1,00	4,33	2,9801	0,88929
Y1 Kenyamanan Suhu	67	1,50	5,00	3,3358	0,95896
Y2 Kenyamanan Kelembapan	67	1,50	5,00	3,2463	1,04582
Y3 Kenyamanan Aliran Udara	67	1,50	5,00	3,3507	1,04452
Y4 Persepsi Sensasi Termal	67	1,00	5,00	3,2313	1,05288
Y5 Kenyamanan Belajar	67	1,00	5,00	3,2537	1,08841

Berdasarkan hasil analisis deskriptif terhadap data kuesioner, diketahui bahwa tingkat kenyamanan termal siswa pada ruang kelas terbuka Sekolah Alam Indonesia Cipedak secara umum berada pada kategori cukup nyaman. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai rata-rata seluruh dimensi kenyamanan termal yang berada pada kisaran 3,23–3,35 pada skala Likert lima Tingkat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kenyamanan termal siswa tidak hanya ditentukan oleh besarnya parameter lingkungan termal yang diukur secara objektif, tetapi juga dipengaruhi oleh persepsi individu terhadap kondisi lingkungan tersebut.

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa sebagian besar siswa tetap memberikan penilaian bahwa kondisi suhu udara ruang kelas masih cukup nyaman untuk digunakan sebagai tempat belajar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa siswa tidak menilai kenyamanan termal hanya berdasarkan besarnya suhu udara, tetapi juga mempertimbangkan faktor lain seperti keberadaan aliran udara, vegetasi di sekitar ruang kelas, suasana belajar, dan kebiasaan beraktivitas pada ruang terbuka.

Jika ditinjau berdasarkan masing-masing dimensi kenyamanan, nilai rata-rata tertinggi terdapat pada persepsi terhadap aliran udara. Hal tersebut menunjukkan bahwa keberadaan ventilasi alami pada ruang kelas terbuka masih mampu memberikan sensasi udara yang membantu mengurangi rasa panas meskipun kecepatan udara hasil pengukuran relatif rendah kondisi ini mengindikasikan bahwa persepsi siswa terhadap aliran udara tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya kecepatan angin yang diukur menggunakan alat, tetapi juga oleh adanya sirkulasi udara alami yang dirasakan selama kegiatan belajar berlangsung.

Sementara itu, dimensi sensasi termal memperoleh nilai rata-rata yang sedikit lebih rendah dibandingkan dimensi lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian siswa masih merasakan kondisi lingkungan yang relatif hangat. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kenyamanan termal siswa pada ruang kelas terbuka berada pada kategori cukup nyaman, meskipun kondisi lingkungan termal secara objektif menunjukkan suhu udara dan radiasi matahari yang relatif tinggi. Temuan ini memperkuat teori *Adaptive Thermal Comfort*, yang menyatakan bahwa persepsi kenyamanan termal pada bangunan berpenghawaan alami tidak hanya dipengaruhi oleh parameter fisik lingkungan, tetapi juga oleh kemampuan adaptasi pengguna terhadap kondisi iklim setempat.

4. Pengaruh Faktor Lingkungan Termal terhadap Kenyamanan Termal

Tabel 5. Uji T Parsial

Kode	Variabel	T tabel	T hitung	Sig.	Ket.
X1	Persepsi Suhu	1.999	2.791	0.004*	Signifikan, arah negatif
X2	Persepsi kelembapan relatif	1.999	-1.529	0.500	Tidak Signifikan
X3	Persepsi kecepatan udara	1.999	3.797	0.034*	Signifikan, arah negatif
X4	Persepsi radiasi matahari	1.999	-1.930	0.081	Tidak Signifikan

4.1 Pengaruh Persepsi Suhu Udara terhadap Kenyamanan Termal

Variabel persepsi suhu udara memiliki nilai signifikansi sebesar 0,004, yang berarti lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05. Dengan demikian, persepsi suhu udara terbukti berpengaruh secara signifikan terhadap kenyamanan termal siswa pada ruang kelas terbuka.

4.2 Pengaruh Persepsi Kelembapan Relatif terhadap Kenyamanan Termal

Hasil analisis regresi linear berganda menunjukkan bahwa variabel persepsi kelembapan relatif memiliki nilai signifikansi sebesar 0,500, yaitu lebih besar dari taraf signifikansi 0,05. Dengan demikian, persepsi kelembapan relatif tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kenyamanan termal siswa pada ruang kelas terbuka.

4.3 Pengaruh Persepsi Kecepatan Udara terhadap Kenyamanan Termal

Hasil analisis regresi linear berganda menunjukkan bahwa variabel persepsi kecepatan udara memiliki nilai signifikansi sebesar 0,034, yaitu lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05. Dengan demikian, persepsi kecepatan udara terbukti berpengaruh secara signifikan terhadap kenyamanan termal siswa pada ruang kelas terbuka.

4.4 Pengaruh Persepsi Radiasi Matahari terhadap Kenyamanan Termal

Hasil analisis regresi linear berganda menunjukkan bahwa variabel persepsi radiasi matahari memiliki nilai signifikansi sebesar 0,081, yaitu lebih besar dari taraf signifikansi 0,05 yang menunjukkan bahwa persepsi radiasi matahari tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kenyamanan termal siswa pada ruang kelas terbuka.

Hasil analisis terhadap 3 hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan termal yang diukur objektif tidak selalu sejalan dengan persepsi kenyamanan termal siswa. Suhu udara dan kecepatan udara berpengaruh terhadap kenyamanan termal, sedangkan kelembapan relatif dan radiasi matahari tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa persepsi kenyamanan termal siswa tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi fisik lingkungan, tetapi juga oleh kemampuan adaptasi terhadap ruang kelas terbuka.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi lingkungan termal ruang kelas terbuka di Sekolah Alam Indonesia Cipedak menunjukkan suhu udara rata-rata yang relatif tinggi dengan 32,63°C, rata-rata kelembapan relatifnya 57,84%, Kecepatan udara 0,20 m/s, dan radiasi matahari rata-rata yang relatif tinggi dengan 372,20 W/m². Namun, tingkat kenyamanan siswa secara umum berada di kategori cukup nyaman. Hasil analisis menunjukkan bahwa persepsi suhu udara dan persepsi kecepatan udara memengaruhi secara signifikan terhadap kenyamanan termal siswa, sedangkan persepsi kelembapan relatif dan persepsi radiasi matahari tidak memengaruhi secara signifikan. Temuan ini menjawab tujuan penelitian bahwa kondisi lingkungan termal secara objektif tidak sepenuhnya sejalan dengan persepsi kenyamanan siswa, yang menunjukkan adanya peran dari kemampuan adaptasi pengguna pada ruang kelas terbuka.

Melalui pengukuran lapangan dan persepsi pengguna memberikan gambaran kondisi termal yang lebih utuh mengenai kenyamanan termal pada ruang kelas terbuka di sekolah alam yang terbatas di kaji dalam penelitian sebelumnya. Meskipun begitu, penelitian ini masih terbatas pada satu objek dan karakteristik pengguna serta mempertimbangkan faktor adaptif dan karakteristik fisik ruang secara lebih mendalam agar pemahaman tentang kenyamanan termal pada ruang kelas terbuka dapat dikembangkan menjadi dasar rekomendasi desain yang lebih responsif terhadap kondisi pengguna dan lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nuraini, R. Adetiya Pratiwi, M. S. Ali, P. Studi, A. Lanskap, and I. T. Sumatera, “*The Comfort Evaluation OF Green Open Spaces In North And South Teluk Betung, Bandar Lampung*,” *Lakar J. Arsit.*, vol. 06, no. 02, pp. 285–302, 2023.
- [2] L. H. Sari, E. N. Rauzi, Allaily, and A. L. Pertiwi, “Evaluasi Kualitas Udara dan Kenyamanan Termal pada Ruang Kelas pada Masa Pandemi COVID-19,” *ARSITEKNO*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1016/j.jobbe.2017.10.005.
- [3] P. O. Fanger, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill, 1970.
- [4] B. Lala, S. Murtyas, and A. Hagishima, “Indoor Thermal Comfort and Adaptive Thermal Behaviors of Students in Primary Schools Located in the Humid Subtropical Climate of India,” *Sustainability*, vol. 14, p. 7072, 2022, doi: 10.3390/su14127072.
- [5] M. Muhaimin, Jumriani, E. Alviawati, and P. Angrian, “Urgensi Kenyamanan Termal dalam Perspektif Pembelajaran,” *Geodika J. Kaji. Ilmu dan Pendidik. Geogr.*, vol. 7, no. 1, pp. 23–32, 2023, doi: 10.29408/geodika.v7i1.6451.
- [6] B. Polednik, A. Piotrowicz, A. Polednik, and A. Badora, “Thermal comfort evaluation in a naturally ventilated classroom using novel indexes,” *J. Ecol. Eng.*, vol. 26, no. 9, pp. 186–196, 2025, doi: 10.12911/22998993/204665.
- [7] B. Givoni, *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, 1998.
- [8] P. Agatha, R. Mulyadi, and T. Ishak, “Kenyamanan Termal Siswa Pada Ruang Kelas (Studi Kasus: SMAN 08 Gowa),” *J. Penelit. Enj.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.25042/jpe.052023.01.
- [9] S. Hama, P. Kumar, A. Tiwari, Y. Wang, Paul, and Linden, “The underpinning factors affecting the classroom air quality, thermal comfort and ventilation in 30 classrooms of primary schools in London,” *Environ. Res.*, vol. 236, p. 116863, 2023, doi: 10.1016/j.envres.2023.116863.
- [10] P. Wargocki and D. P. Wyon, “The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257),” *HVAC&R Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 193–220, 2007, doi: 10.1080/10789669.2007.10390951.
- [11] E. M. Zamri, A. Ismail, and A. Md Ajis, “Thermal comfort in naturally ventilated classroom: A literature review,” *Int. J. Prop. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 27–37, 2019, doi: 10.22452/ijps.vol9no1.3.
- [12] D. T. Istiningrum, R. L. Arumintia, M. Mukhlisin, and M. T. Rochadi, “Kajian kenyamanan termal ruang kuliah pada Gedung Sekolah C lantai 2 Politeknik Negeri Semarang,” *Wahana Tek. Sipil J. Pengemb. Tek. Sipil*, vol. 22, no. 1, pp. 1–16, 2017, doi: 10.32497/wahanats.v22i1.895.
- [13] T. W. Sari, M. D. Rafliansyah, D. Nurwidyaningrum, Q. Febrianti, S. Sujito, and J. Saputra, “Pengaruh Radiasi Panas Area Bukaian terhadap Kenyamanan Termal pada Gedung Sekolah X,” *J. Pendidik. dan Ilmu Fis.*, vol. 5, no. 2, pp. 176–185, 2025, doi: 10.52434/jpif.v5i2.42533.
- [14] A. Wahyutomo and A. Citraningrum, “Rekayasa bukaan untuk kenyamanan termal pada ruang kelas SMA Plus YPHB di Kota Bogor,” *J. Mhs. Jur. Arsit.*, vol. 6, no. 4, 2019.
- [15] R. J. de Dear and G. S. Brager, “Developing an adaptive model of thermal comfort and preference,” *ASHRAE Trans.*, vol. 104, no. 1, pp. 145–167, 1998.
- [16] ASHRAE, *Standard 55: Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.

- [17] S. V. Szokolay, *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design (3rd ed.)*. Routledge, 2014.
- [18] ASHRAE, *ASHRAE handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.
- [19] N. Permatasari, “Strategi penerapan prinsip arsitektur bioklimatik pada iklim tropis terhadap kenyamanan termal dan efisiensi energi bangunan,” *Filos. Publ. Ilmu Komunikasi, Desain, Seni Budaya*, vol. 1, no. 4, pp. 277–300, 2024.