

Kenyamanan Termal pada Bangunan Berventilasi Alami di Iklim Tropis

Muhammad Iqbal ^{1*}, Atthailah ², Adi Safyan ³, Lena Indriani ⁴, Aura Mutiara Sina ⁵

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh ^{1, 2, 3, 4, 5}

E-mail: ^{1*}miqbal.arch@unimal.ac.id, ²atthailah@unimal.ac.id, ³adisafyan@unimal.ac.id,
⁴lena.210160024@mhs.unimal.ac.id, ⁵aura.210160030@mhs.unimal.ac.id

Submitted: 06-10-2024

Revised: 13-11-2024

Accepted: 18-11-2024

Available online: 02-12-2024

How To Cite: Iqbal, M., Atthailah, 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>

Abstrak_ Konsumsi energi pada bangunan berperan penting dalam menentukan tingkat efisiensi dan dampak lingkungan. Ventilasi alami merupakan solusi untuk mengurangi konsumsi energi dengan memanfaatkan aliran udara luar guna meningkatkan kenyamanan termal tanpa penggunaan energi yang besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kondisi cuaca, seperti suhu, kelembaban dan kecepatan angin, terhadap kenyamanan termal pengguna pada bangunan dengan ventilasi alami dan bukaan satu sisi. Data dikumpulkan melalui pengukuran kondisi cuaca di dalam dan luar ruangan selama 21 hari serta survei persepsi pengguna menggunakan kuesioner dengan jumlah responden 138 orang dan metode sampling secara acak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh aliran angin masuk, dan terdapat korelasi yang kuat antara kelembaban relatif luar dengan suhu dalam ruangan dengan nilai $R=0.90$. Sebagian besar responden menginginkan kondisi ruangan yang lebih sejuk dengan nilai 90,58%, yang menunjukkan rasa tidak nyaman pengguna bangunan ketika berada dalam ruangan. Penelitian ini juga menemukan konsistensi dalam preferensi kenyamanan termal pengguna berdasarkan skala Thermal Sensation Vote (TSV) dan Thermal Comfort Vote (TCV). Rekomendasi dari penelitian ini adalah melakukan kajian lebih lanjut mengenai variasi luasan jendela dan arah bukaan jendela serta pengaruh radiasi matahari dalam mengontrol suhu dan kelembaban ruangan guna meningkatkan kenyamanan termal pengguna bangunan.

Kata kunci : Kenyamanan Termal, Ventilasi Alami, Suhu dan Kelembaban, Kecepatan Angin, TSV dan TCV.

Abstract_ Energy consumption in buildings plays a crucial role in determining efficiency and environmental impact. Natural ventilation offers a solution to reduce energy consumption by utilizing outdoor airflow to enhance thermal comfort without significant energy use. This study examines the effects of weather conditions, including temperature, humidity, and wind speed, on the thermal comfort of occupants in naturally ventilated buildings with single-sided openings. Data were collected through measurements of indoor and outdoor weather conditions over 21 days and a perception survey involving 138 respondents, using randomly selected questionnaires. The results indicate that indoor temperature is highly influenced by incoming wind flow, with a strong correlation between outdoor relative humidity and indoor temperature ($R = 0.90$). A majority of respondents (90.58%) expressed a preference for cooler indoor conditions, indicating discomfort within the building. The study also found consistency in user thermal comfort preferences based on the Thermal Sensation Vote (TSV) and Thermal Comfort Vote (TCV) scales. Recommendations include further investigations into variations in window size, window orientation, and the impact of solar radiation to improve indoor temperature and humidity control, enhancing thermal comfort for building occupants.

Keywords: Thermal Comfort, Natural Ventilation, Temperature and Humidity, Wind Speed, TSV and TCV.



PENDAHULUAN

Konsumsi energi pada bangunan memainkan peran penting dalam menentukan tingkat efisiensi dan dampak lingkungan yang dihasilkan. Bangunan menyumbang hampir 40% dari total penggunaan energi global, terutama melalui kebutuhan pemanasan, ventilasi, dan pendinginan udara. Beban terbesar bangunan khususnya di daerah tropis adalah beban pendinginan, Hal ini sedikit berbeda dengan daerah lainnya yang memiliki iklim dingin seperti di Eropa, dimana beban pemanasan juga termasuk beban tertinggi untuk menghangatkan ruangan saat musim dingin untuk mencapai kenyamanan termal pengguna bangunan (Santamouris and Vasilakopoulou 2021). Peningkatan pemakaian energi untuk pendinginan dan pemanasan ruangan berkaitan erat dengan meningkatnya kebutuhan kenyamanan termal di lingkungan perkotaan (Zain, Taib, and Baki 2007). Salah satu solusi untuk mengurangi konsumsi energi adalah penerapan ventilasi alami, yang dapat mengurangi ketergantungan pada sistem pendingin mekanis seperti AC (Wu and Wagner 2024). Ventilasi alami memanfaatkan aliran udara luar untuk menjaga kenyamanan termal di dalam ruangan tanpa memerlukan energi besar dengan mengoptimalkan nilai laju ventilasi (Brager and De Dear 1998; Heiselberg and Perino 2010; Indraganti 2010; Iqbal et al. 2023; Kocik, Psikuta, and Ferdyn-Grygierek 2024).

Indonesia terletak antara garis lintang 6°8' LU dan 11°15' LS, dengan karakteristik suhu tinggi sepanjang tahun serta curah hujan yang bervariasi antara musim hujan dan kemarau (Khatimah et al. 2024). Kondisi iklim tropis ini, yang ditandai oleh panas dan kelembaban yang konstan, menimbulkan tantangan tersendiri dalam menciptakan kenyamanan termal di dalam ruangan (Mirrahimi et al. 2016), seperti pengendalian suhu dan kelembaban, penggunaan bukaan yang efektif dan sistem penghalang matahari yang memadai. Kondisi ini berbeda dengan negara-negara beriklim dingin sepanjang tahun, dimana penanganan kenyamanan termal pengguna bangunan melalui penelitian yang inovatif terus dilakukan seiring perubahan iklim global. Suhu dan kelembaban tinggi membuat bangunan di wilayah tropis khususnya Indonesia sering bergantung pada sistem pendingin mekanis, seperti AC, yang mengonsumsi energi dalam jumlah besar (Sari et al. 2018). Studi lainnya di Indonesia dalam upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap AC adalah dengan memanfaatkan cuaca dan elemen bangunan, seperti ventilasi, untuk menciptakan lingkungan yang nyaman (Hildayanti and Wasilah 2022).

Studi terdahulu menunjukkan bahwa ventilasi alami merupakan metode pendinginan pasif yang efektif dan umum digunakan di lingkungan panas-lembab untuk mengatasi panas berlebihan melalui sirkulasi udara alami yang efisien dan berkelanjutan (Iqbal, Ozaki, and Choi 2022). Desain fasad bangunan, termasuk penempatan ventilasi alami dan jendela, berperan penting dalam efisiensi energi dan kenyamanan termal, terutama di iklim tropis, karena dapat secara signifikan mengurangi penggunaan energi (Tong et al. 2021). Selain itu, pandangan alami melalui jendela terbukti berpengaruh terhadap persepsi kenyamanan dan kualitas lingkungan dalam ruang, yang secara khusus meningkatkan konsentrasi dan kesejahteraan mental pengguna di sektor pendidikan dan komersial (Du et al. 2022). Temuan lain menunjukkan bahwa lingkungan termal di bangunan pendidikan yang mendukung ventilasi alami sangat memengaruhi kenyamanan penghuni (Karyono 2015). Desain yang memaksimalkan ventilasi alami dan pemanfaatan elemen fasad yang tepat juga terbukti meningkatkan kenyamanan termal sekaligus mengurangi konsumsi energi, khususnya di wilayah tropis (Kocik, Psikuta, and Ferdyn-Grygierek 2024).

Bangunan berventilasi alami merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi tantangan energi dan kenyamanan termal di Indonesia, yang dikenal dengan iklim tropisnya (Hakim et al. 2021; Iqbal, Dastur, and Fikry 2022). Ventilasi alami memungkinkan aliran udara segar masuk ke dalam ruangan

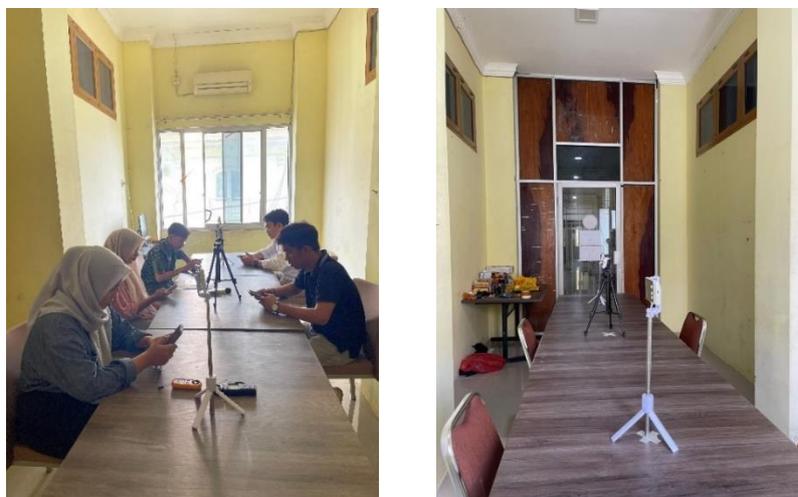
tanpa ketergantungan pada perangkat mekanis seperti pendingin udara (Ali et al. 2023). Dalam konteks ini, bukaan jendela menjadi elemen kunci yang memungkinkan pergerakan udara alami. Namun, pengaruh bukaan jendela terhadap suhu dalam ruangan masih perlu dipahami dan dikaji dengan lebih baik, mengingat ketidakpastian kondisi ruang dalam tergantung pada lingkungan luar, seperti suhu, kelembaban udara, dan kecepatan angin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh cuaca terhadap kenyamanan termal pengguna pada bangunan berventilasi alami, dengan fokus pada bangunan yang memiliki bukaan satu sisi dan hanya satu orientasi sebagai pembatasan.

METODE

Penelitian ini menggunakan 2 (dua) pendekatan, yaitu pengukuran cuaca ruang dalam/luar dan investigasi persepsi pengguna bangunan melalui isian kuesioner. Data pengukuran dianalisis untuk memperoleh kondisi cuaca ruang luar dan pengaruhnya terhadap ruang dalam, serta tanggapan pengguna bangunan terkait kenyamanan termal. Analisis data meliputi kajian korelasi antar beberapa variabel yang diukur, identifikasi pola cuaca harian dan pengaruhnya terhadap persepsi pengguna, tren suhu udara yang dipengaruhi oleh bukaan dan kecepatan angin serta komparasi persepsi kenyamanan termal pengguna berdasarkan standar ASHRAE dan Bedford.

A. Objek Studi

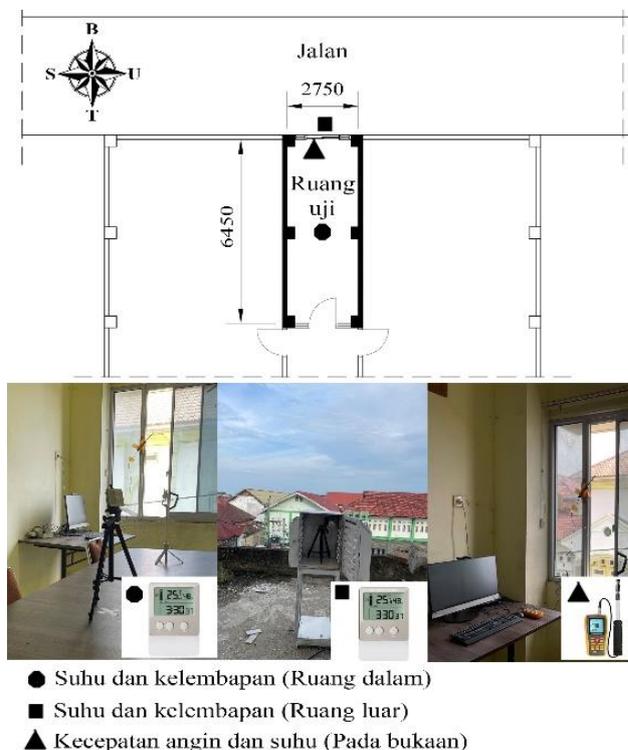
Studi ini dilakukan pada Program Studi Arsitektur, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Provinsi Aceh. Bangunan yang menjadi objek pada studi ini adalah bangunan ventilasi alami, memiliki bukaan jendela pada satu sisi (*single-sided ventilation*) dengan ukuran bukaan jendela 280mm x 1400mm. Ruangan yang menjadi objek studi pada penelitian ini adalah ruang seminar mahasiswa Prodi Arsitektur, Universitas Malikussaleh. Ruangan uji ini berukuran 6.450 mm x 2.750mm, terletak di lantai 2, dengan spesifikasi dinding bata tebal 13 cm, lantai granit dan menggunakan rangka jendela aluminum dengan kaca hitam tebal 5mm. Metode ventilasi satu sisi ini memiliki keterbatasan, terutama dalam sirkulasi udara luar ke dalam ruangan kurang optimal sebagai akibat jalur keluar-masuk udara hanya melalui satu bukaan yang sama pada satu sisi. Selama pengukuran dan kuesioner dilakukan, AC tidak dioperasikan dan bukaan alami difungsikan dengan membuka jendela pada satu sisi. Pengukuran dilakukan di lantai dua pada ruang sidang mahasiswa arsitektur, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Objek studi (ruang uji)
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2024)

B. Pengukuran

Alat yang digunakan untuk mengukur suhu udara dan kelembaban relatif adalah *USB Temperature and Humidity Data Logger DS 102*. Penempatan alat ukur berada di tengah ruangan, 1.20m dari lantai sesuai dengan standar ASHRAE dalam pengukuran kenyamanan termal manusia, dengan interval perekaman data 5 menit. Sedangkan pengukuran kecepatan angin menggunakan *Anemometer hot wire data logger 903*. Penempatan alat ukur berada di titik tengah jendela, 1.50m dari lantai dengan data direkam pada interval 1 detik. Penempatan alat ukur kecepatan angin pada titik tengah dari jendela ditujukan untuk memperoleh gambaran kecepatan angin yang masuk melalui jendela dengan luasan tertentu serta pengaruhnya terhadap aliran suhu yang di bawa oleh angin. Sedangkan untuk pengukuran luar ruangan, alat ukur suhu dan kelembaban diletakkan di atas atap dak bangunan yang diuji. Pada studi ini, pengukuran dilakukan pada puncak musim panas di daerah objek studi sehingga hasil penelitian dapat dijadikan acuan dalam studi kenyamanan termal khususnya di Kota Lhokseumawe, mulai pada tanggal 6 Maret 2024 hingga 27 Maret 2024 selama 24 jam, dengan pengaturan alat ukur seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaturan alat ukur
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

C. Survei subjektif

Studi ini juga melakukan penyelidikan subjektif terhadap pengguna ruang sidang pada bangunan studi kasus. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan persepsi pengguna terhadap kondisi kenyamanan termal didalam ruangan dengan kondisi jendela terbuka pada satu sisi saja. Responden pada penelitian ini berjumlah 138 orang, termasuk mahasiswa, staf administrasi dan dosen. Kuesioner dibagikan dengan menggunakan *google form*. Responden diminta untuk menjawab kuesioner berdasarkan persepsi pribadi mereka tentang suhu, kelembaban, dan aliran udara yang mereka rasakan. Beberapa pertanyaan menyangkut apakah mereka merasa terlalu panas, dingin,

atau nyaman saat berada didalam ruangan berdasarkan standar ASHRAE (TSV) dan BEDFORD (TCV), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pertanyaan lainnya yang berhubungan dengan preferensi termal yang diinginkan dan tanggapan terhadap kesegaran udara dalam ruangan. Sebelum menjawab sejumlah pertanyaan, responden diminta untuk duduk dengan tenang (*relax*) sekitar 5 menit. Selanjutnya, pengisian kuesioner dilakukan bersamaan dengan pengukuran suhu, kelembaban, dan kecepatan angin selama rentang waktu lima jam, mulai pukul 10.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB. Pemilihan rentang waktu pengukuran dan pengisian kuesioner menyesuaikan dan mempertimbangkan aktivitas normal dan penggunaan ruang uji tersebut.

Tabel 1. Skala kenyamanan termal

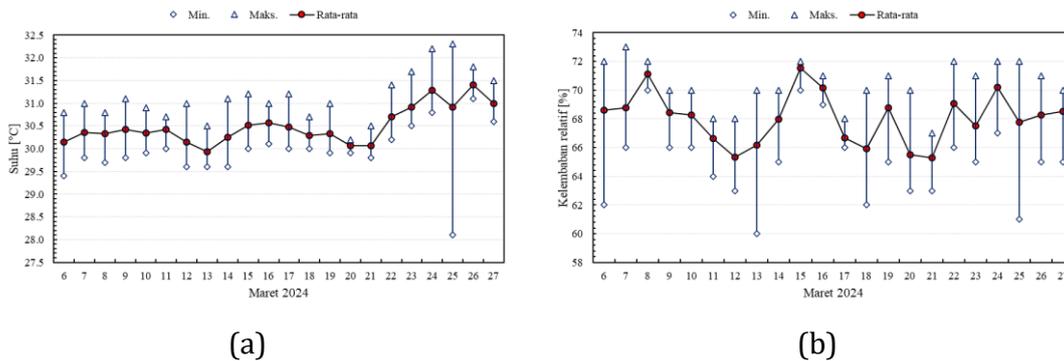
Skala ASHRAE (TSV)		Skala Bedford (TCV)	
-3	Dingin	-3	Dingin
-2	Sejuk	-2	Terlalu sejuk
-1	Sedikit sejuk	-1	Sejuk nyaman
0	Netral	0	Nyaman
1	Sedikit hangat	1	Hangat nyaman
2	Hangat	2	Terlalu hangat
3	Panas	3	Panas

Sumber: Iqbal, M., Ozaki, A. and Choi, Y. (2022)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran

Gambar 3 menunjukkan suhu udara (3a) dan kelembaban udara (3b) harian dalam ruang uji, dimulai dari saat pengukuran awal dan pembagian kuesioner kepada responden pada tanggal 6 Maret 2024 hingga 27 Maret 2024. Suhu udara rata-rata harian adalah 30.49 °C dengan nilai maksimum dan minimum masing-masing sebesar 32.30 °C dan 28.10 °C.



Gambar 3. Kondisi cuaca ruang dalam (a) temperatur udara (b) kelembaban relatif
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

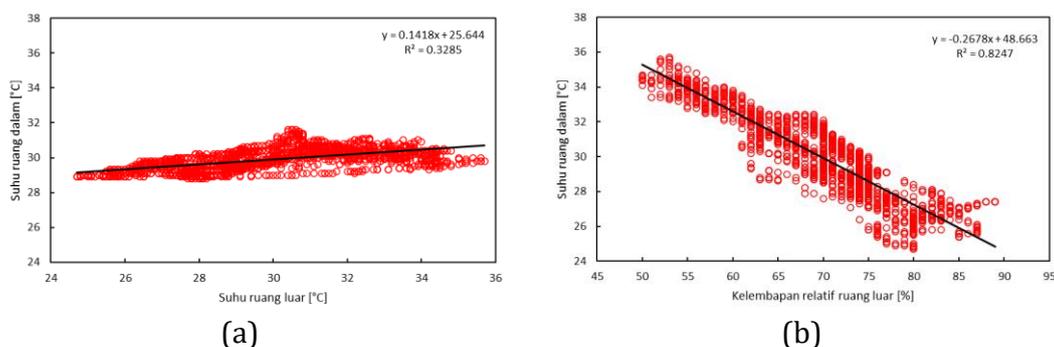
Selain itu, studi ini juga melakukan pengukuran suhu udara dan kecepatan angin di titik tengah bukaan jendela. Hal ini dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai pengaruh aliran angin yang masuk melalui jendela terhadap aliran suhu luar menuju dalam ruangan. Data pengukuran selama 22 hari tersebut dianalisis berdasarkan jam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kondisi cuaca pada bukaan jendela
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Tren suhu udara pada bukaan menunjukkan kesamaan dengan aliran kecepatan angin yang masuk melalui jendela. Hal ini menggambarkan bahwa suhu udara yang masuk ke dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh aliran angin yang masuk melalui jendela (Lee et al. 2024).

Selanjutnya, Gambar 5 mengilustrasikan korelasi antara suhu udara di dalam ruangan dan suhu udara di luar ruangan (Gambar 5a) serta korelasi antara suhu udara di dalam ruangan dengan kelembaban relatif di luar ruangan. Hasilnya menunjukkan bahwa korelasi antara suhu udara luar dengan suhu udara dalam bersifat lemah, dengan nilai $R^2 = 0,33$. Kondisi ini disebabkan oleh tipe ventilasi satu sisi yang digunakan, dimana pertukaran udara dalam ruangan kurang optimal. Secara detail, hawa panas siang hari atau dingin malam hari yang dibawa oleh angin dari luar ruangan menuju ke dalam ruangan tidak keluar secara langsung melainkan terpendam dalam ruangan sehingga suhu dalam ruangan cenderung konstan untuk beberapa waktu. Sementara suhu udara luar ruangan terus berubah mengikuti radiasi matahari. Hal ini mengakibatkan perbedaan suhu ruang luar sangat kontradiktif dengan ruang dalam. Sementara itu, korelasi antara kelembaban relatif di luar ruangan dengan suhu udara dalam menunjukkan tren negatif dan hubungan yang kuat antarvariabel, dengan nilai $R^2 = 0,82$. Kelembaban relatif dan suhu menunjukkan hubungan yang terbalik, dimana ketika suhu udara tinggi, kelembaban akan rendah. Kondisi ini merupakan kondisi normal dalam hubungan antara variabel suhu dan kelembaban. Dari analisis data ini, diperoleh gambaran bahwa perubahan kelembaban relatif di luar ruangan memiliki pengaruh kuat terhadap suhu udara di dalam ruangan. Sebaliknya, perubahan suhu udara di luar ruangan menunjukkan tren positif, namun hanya sedikit memengaruhi kondisi di dalam ruangan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bukaan hanya pada satu sisi, di mana pertukaran udara di dalam ruangan sangat terbatas karena ukuran jendela yang kecil, serta aliran udara keluar dan masuk ruangan terjadi melalui bukaan yang sama pada satu sisi (Albuquerque, O’Sullivan, and da Graça 2021).



Gambar 5. Regresi linier (a) suhu ruang luar dan ruang dalam (b) kelembaban relatif ruang luar dan suhu ruang dalam
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

B. Hasil kuesioner

1. Informasi responden

Profil responden pada studi ini dibedakan berdasarkan jenis kelamin, usia, dan indeks massa tubuh (BMI), seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. Dari 138 responden, proporsi laki-laki dan perempuan hampir seimbang, masing-masing 48,6% dan 51,4%. Sebagian besar responden berusia di bawah 20 tahun (58,7%), diikuti oleh kelompok usia 20-30 tahun (38,4%). Hanya satu responden berusia 31-40 tahun dan tiga responden berusia 41 tahun ke atas (2,2%). Dalam hal suku, mayoritas responden berasal dari Aceh (30,4%) dan Jawa (26,8%), diikuti Batak (15,2%), Minang (8,7%), Melayu (6,5%), dan Gayo (4,3%), dengan 8,0% dari suku lainnya. Dari segi indeks massa tubuh (BMI), 58% responden berada dalam kategori 'BB sehat' (18,5-24,9), 31,2% dalam kategori 'BB kurang' (BMI < 18,5), dan 10,1% dalam kategori 'BB berlebih' (BMI 25-29,9), sementara hanya 0,7% yang masuk kategori 'Obesitas' (BMI ≥ 30).

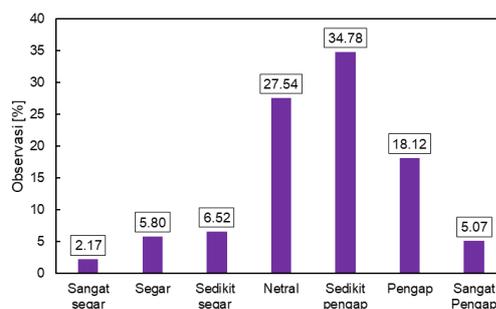
Tabel 2. Informasi responden

Jenis kelamin	Presentase
Laki-laki	48.55%
Perempuan	51.45%
Usia	
<20	58.70%
20-30	38.41%
31-40	0.72%
>41	2.17%
BMI (body mass index)	
BB kurang	31.16%
BB sehat	57.97%
BB berlebih	10.14%
Obesitas	0.72%

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

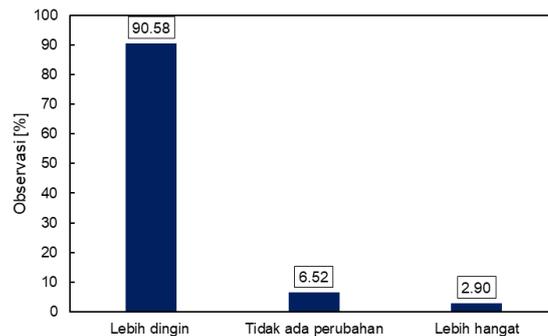
2. Persepsi responden

Persepsi responden terhadap kesegaran udara dalam ruangan uji ditampilkan pada Gambar 6. Sebagian besar responden merasa udara kurang nyaman, dengan 34,78% memilih kategori 'Sedikit pengap' dan 27,54% 'Netral'. Hanya 8 responden (5,80%) yang merasa 'Segar', dan 3 responden (2,17%) merasa 'Sangat segar'. Sebanyak 18,12% merasa 'Pengap' dan 5,07% 'Sangat pengap'. Data ini menunjukkan bahwa pertukaran udara dalam ruangan uji belum memenuhi harapan responden, sehingga diperlukan peningkatan kualitas udara, seperti memperbesar bukaan atau menciptakan ventilasi silang untuk memperbaiki pertukaran udara secara alami.



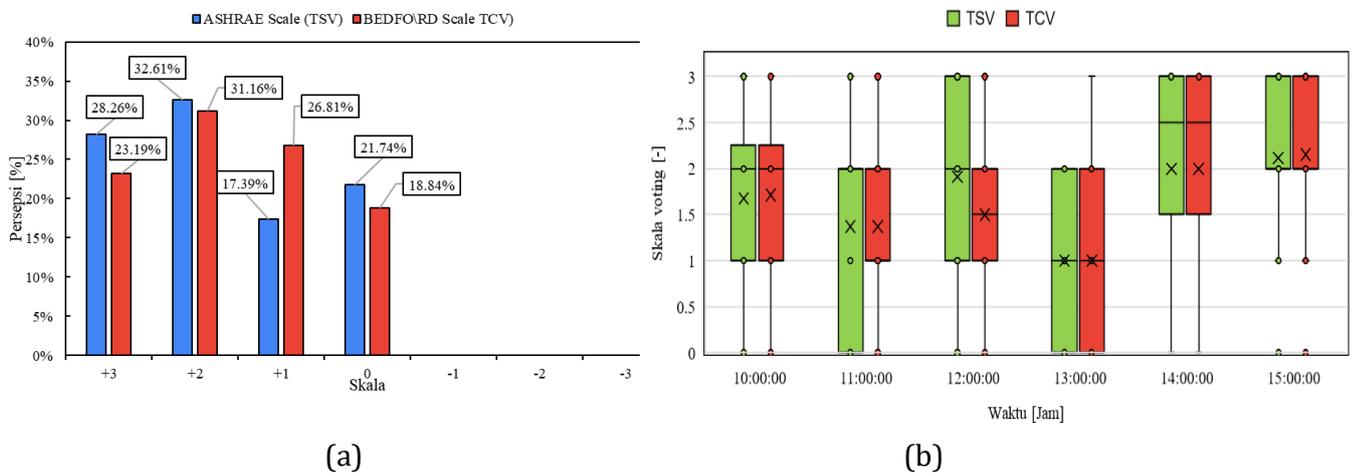
Gambar 6. Persepsi responden terhadap kesegaran udara dalam ruangan uji
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Selanjutnya, gambar 7 menunjukkan preferensi responden terhadap kondisi termal. Mayoritas responden menginginkan suhu yang lebih dingin, dengan jumlah 90,58%. Sementara itu, hanya sedikit responden yang merasakan suhu menjadi lebih hangat, sebanyak 2,9%. Selain itu, terdapat 6,5% responden yang menginginkan tidak adanya perubahan suhu. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa perubahan suhu yang diinginkan oleh sebagian besar responden cenderung menuju ke arah yang lebih dingin, artinya mayoritas responden berpendapat suhu dalam ruangan adalah panas.



Gambar 7. Persepsi preferensi kondisi termal
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Selanjutnya, Gambar 8(a) menunjukkan persepsi sensasi termal berdasarkan skala TSV (*thermal sensation vote*) dan TCV (*thermal comfort vote*), dan gambar 8(b) menggambarkan konsistensi skala TSV dan TCV.



Gambar 8. Persepsi sensasi termal : (a) voting TSV dan TCV (b) konsistensi skala TSV dan TCV
Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Sensasi termal skala TSV, menunjukkan bahwa mayoritas responden merasakan kondisi panas atau hangat. Sebanyak 32.6% merasa kondisi hangat (+2), dan 28.3% merasa panas (+3). Selain itu, 17.4% melaporkan merasa sedikit hangat (+1), sedangkan 21.7% lainnya merasakan kondisi netral (0). Menariknya, tidak ada responden yang melaporkan kondisi yang sejuk dan dingin, seperti sedikit sejuk (-1), sejuk (-2), atau dingin (-3). Dengan demikian, berdasarkan skala ASHRAE dapat disimpulkan bahwa kondisi cuaca menurut persepsi responden adalah berada dalam rentang netral, hangat dan panas. Hasil ini sesuai dengan pertanyaan sebelumnya seperti dilustrasikan dalam gambar 7 dimana mayoritas responden memilih cuaca lebih dingin dari kondisi

yang ada saat pengukuran. Sedangkan sensasi termal berdasarkan skala TCV, mayoritas responden merasakan kondisi suhu yang tergolong "Terlalu hangat" dengan 31,2% dari total 138 responden. Selanjutnya, 26,8% melaporkan suhu yang "Hangat nyaman", diikuti oleh 23,2% yang merasakan suhu "Panas". Sementara itu, 18,8% merasa suhu dalam kategori "Nyaman". Tidak ada responden yang melaporkan kondisi suhu sebagai "Hangat sejuk", "Terlalu sejuk", atau "Dingin". Hasil ini menunjukkan bahwa adanya konsistensi jawaban responden terhadap pertanyaan kenyamanan termal meskipun menggunakan 2 (dua) skala yang berbeda, yaitu skala ASHRAE (TSV) dan skala BEDFORD (TCV) (Iqbal, Ozaki, and Choi 2022) seperti yang ditunjukkan pada gambar 8(b).

Adapun distribusi persepsi responden terhadap kenyamanan termal berdasarkan jam dapat dilihat pada Tabel 3. Secara umum, responden merasakan kondisi panas maksimum di atas jam 14:00 WIB hingga jam 15:00 WIB pada kedua skala yang berbeda. Namun pada skala TSV, mayoritas responden memilih panas jam 12:00 WIB, dan terlihat tidak konsisten dengan skala TCV. Kondisi persepsi ini sangat normal terjadi mengingat tanggapan atau respon setiap orang terhadap kondisi termal sangat dinamis tergantung dari faktor lainnya seperti metabolisme tubuh (*metabolic rate*) dan nilai pakaian (*clo* value) yang tidak dibahas dalam artikel ini.

Tabel 3. Voting sensasi termal TSV dan TCV berdasarkan jam

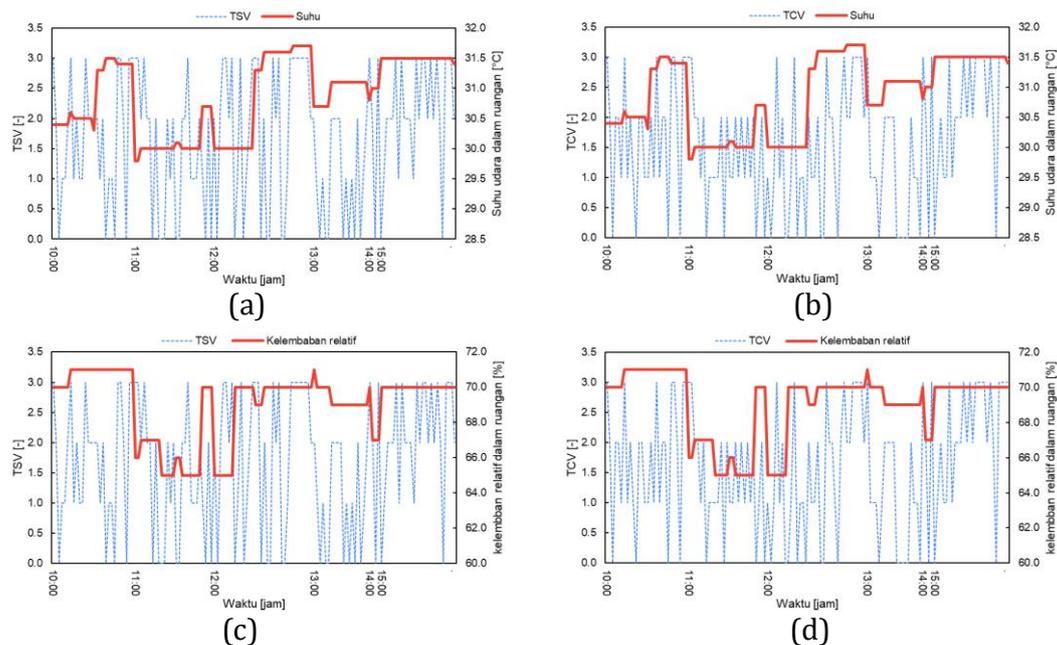
	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00
TSV	1.68	1.37	1.91	1.00	2.00	2.12
TCV	1.71	1.37	1.50	1.00	2.00	2.15

Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

3. Pengaruh cuaca ruang dalam terhadap kenyamanan termal pengguna

Data pengukuran ruang dalam seperti suhu udara dan kelembaban dianalisis berdasarkan persepsi responden melalui isian kuesioner sesuai dengan waktu pengisian kuesioner, yaitu mulai jam 10:00 WIB hingga jam 15:00 WIB, seperti diilustrasikan dalam Gambar 9.

Meskipun respon dari pengguna bangunan bersifat subjektif jika dibandingkan dengan hasil pengukuran suhu dan kelembaban relatif dalam ruangan, studi ini juga melakukan analisis data ukur dan membandingkan dengan persepsi responden terkait dengan kenyamanan termal. Studi ini menemukan beberapa kesesuaian antara pengaruh suhu tinggi dan persepsi responden yang menjawab panas (+3) saat suhu udara tinggi (pukul 13:00 hingga 15:00), yaitu 31.5 °C, seperti terlihat pada gambar 9(a) dan 9(b). Kondisi ini juga terlihat sama pada data pengukuran kelembaban relatif, dimana persepsi responden menunjukkan kondisi tidak nyaman saat nilai kelembaban relatif maksimum pada dua skala yang di uji, seperti yang terlihat pada gambar 9(c) dan 9(d). Meskipun secara umum tren data menunjukkan hasil pengukuran sesuai dengan persepsi responden, studi ini juga menemukan beberapa perbedaan respon antara kondisi cuaca dengan persepsi pengguna bangunan sebagai akibat dinamis nya respon pengguna dalam menanggapi kondisi kenyamanan termal dalam ruang uji ini (He and Isa 2024).



Gambar 9. Pengaruh suhu dan kelembaban terhadap persepsi sensasi termal : (a) suhu udara dan TSV, (b) suhu udara dan TCV, (c) kelembaban relatif dan TSV, (d) kelembaban relatif dan TCV
 Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh cuaca ruang luar dan ruang dalam terhadap persepsi kenyamanan termal pada bangunan berventilasi alami dengan bukaan satu sisi. Data dikumpulkan melalui pengukuran lapangan (suhu udara, kelembaban relatif dan kecepatan angin) dan kuesioner kepada responden untuk memperoleh tanggapan pengguna bangunan terhadap cuaca berdasarkan skala ASHRAE dan BEDFORD. Adapun kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa suhu udara dalam ruangan sangat dipengaruhi oleh aliran kecepatan angin yang masuk melalui jendela, dengan tren yang sejalan antara keduanya. Namun, ada sedikit perbedaan tren antar variabel kecepatan angin dan suhu, yaitu pada pukul 15:00 WIB hingga 17:00 WIB, dimana pada puncak panas harian tersebut terjadi fluktuasi suhu yang tajam dengan kecepatan angin yang rendah. Selain itu, bangunan dengan ventilasi alami tergantung pada kondisi ruang luar, di mana terdapat korelasi yang kuat antara kelembaban relatif luar dan suhu dalam ruangan. Hasil analisis ini menunjukkan variabel kelembaban relatif luar memberikan pengaruh terhadap fluktuasi suhu ruangan uji dan hal ini juga mempengaruhi persepsi kenyamanan termal pengguna bangunan. Selanjutnya, mayoritas responden menginginkan suasana yang lebih nyaman, dan hasil studi mengungkapkan bahwa cuaca luar berpengaruh besar terhadap kenyamanan termal pengguna bangunan. Terakhir, penelitian ini menemukan konsistensi dalam pilihan kenyamanan termal pengguna berdasarkan skala *Thermal Sensation Vote* (TSV) dan *Thermal Comfort Vote* (TCV). Namun terdapat juga perbedaan kecil antara TSV dan TCV, terutama terjadi pada pukul 12:00 WIB. Perbedaan tersebut bersifat normal mengingat respon manusia terhadap kenyamanan termal sangat tergantung pada faktor fisiologis dan psikologis serta variabel metabolisme dan nilai pakaian yang tidak di analisis dalam penelitian ini.

Sebagai rekomendasi, penelitian lanjutan dari studi ini sebaiknya melibatkan penambahan variabel radiasi matahari untuk memperkaya data pengukuran, serta identifikasi nilai pakaian

(*chloe value*) dan tingkat metabolisme (*metabolic rate*) pengguna. Selain itu, diversifikasi model bukaan, khususnya dengan menerapkan tipe bukaan dua sisi (*cross ventilation*) dan variasi rasio jendela yang berbeda, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kenyamanan termal pada bangunan berventilasi alami. Penelitian tambahan ini akan membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang lebih komprehensif dalam meningkatkan kenyamanan dan efisiensi energi pada bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albuquerque, D. P., O'Sullivan, P. D. and da Graça, G. C. (2021) 'Effect of window geometry on wind driven single sided ventilation through one opening', *Energy and Buildings*, 245, 111060. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111060>
- Ali, R. A. et al. (2023) 'Natural ventilation as a passive cooling strategy for multi-story buildings: analytic vertical skycourt formations', *City, Territory and Architecture*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40410-023-00212-6>
- Brager, Gail S., and Richard J. De Dear. 1998. "Thermal Adaptation in the Built Environment: A Literature Review." *Energy and Buildings* 27(1): 83–96, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4)
- Du, Y. et al. (2022) 'Impact of natural window views on perceptions of indoor environmental quality: An overground experimental study', *Sustainable Cities and Society*, 86(112), 104133. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104133>
- Hakim, F. N. et al. (2021) 'Building Envelope Design Optimization of a Hypothetical Classroom Considering Energy Consumption, Daylight, and Thermal Comfort: Case Study in Lhokseumawe, Indonesia', *International Journal of Technology*, 12(6), 1217–1227. <https://doi.org/10.14716/IJTECH.V12I6.5203>
- He, D. and Isa, M. H. M. (2024) 'Investigation of indoor thermal comfort of heritage buildings in hot summer and cold winter zone of China: A case study', *Case Studies in Thermal Engineering*, 53, p. 103820. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103820>
- Heiselberg, P., and M. Perino. 2010. "Short-Term Airing by Natural Ventilation - Implication on IAQ and Thermal Comfort." *Indoor Air* 20(2): 126–40, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00630.x>
- Hildayanti, A. and Wasilah (2022) 'Pendekatan Arsitektur Bioklimatik Sebagai Bentuk Adaptasi Bangunan Terhadap Iklim', *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 9(1), 29–41. <https://doi.org/10.24252/nature.v9i1a3>
- Indraganti, Madhavi. 2010. "Adaptive Use of Natural Ventilation for Thermal Comfort in Indian Apartments." *Building and Environment* 45(6): 1490–1507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.013>.
- Iqbal, M. et al. (2023) 'Investigation of discharge coefficient of louvre openings in naturally ventilated buildings', *E3S Web of Conferences*, 396, 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339602030>
- Iqbal, M., Dastur, M. and Fikry, M. (2022) 'Indoor Thermal Comfort Improvement of the Naturally Ventilated House in Tropical Climate, Indonesia', *Proceedings of Malikussaleh International Conference on Multidisciplinary Studies (MICoMS)*, 3, 00007. <https://doi.org/10.29103/micoms.v3i.48>
- Iqbal, M., Ozaki, A. and Choi, Y. (2022) 'Assessment of Indoor Thermal Comfort of Naturally Ventilated House in Tropical Region', *Journal of Architecture and Urban Design, Kyushu University*, 45–53. <https://doi.org/10.15017/6788786>
- Karyono, T. H. (2015) 'Predicting comfort temperature in Indonesia, an initial step to reduce cooling energy consumption', *Buildings*, 5(3), pp. 802–813. <https://doi.org/10.3390/buildings5030802>
- Khatimah, H. et al. (2024) 'Evaluasi Kenyamanan Termal Perpustakaan Wilayah Provinsi Aceh Evaluation of Thermal Comfort of the Regional Library of Aceh Province', 8, 63–85. <https://doi.org/10.24815/jimap.v8i3.30645>
- Kocik, Stanisław, Agnes Psikuta, and Joanna Ferdyn-Grygierek. (2024) "Influence of Window and Door Opening on Office Room Environment and Human Thermal Sensation during Different Seasons in Moderate Climate." *Building and Environment* 259, 111669. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111669>

- Lee, T. et al. (2024) 'Indoor Air Temperature Distribution and Heat Transfer Coefficient for Evaluating Cold Storage of Phase-Change Materials during Night Ventilation', *Buildings*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/buildings14061872>
- Mirrahimi, S. et al. (2016) 'The effect of building envelope on the thermal comfort and energy saving for high-rise buildings in hot-humid climate', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1508–1519. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.055>
- Santamouris, M. and Vasilakopoulou, K. (2021) 'Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation', *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>
- Sari, L. H. et al. (2018) 'A review of spatial comfort in shophouse in humid tropics', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012066>
- Tong, S. et al. (2021) 'Impact of facade design on indoor air temperatures and cooling loads in residential buildings in the tropical climate', *Energy & Buildings*, 243(112), 110972. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110972>
- Wu, Z. and Wagner, A. (2024) 'Thermal comfort of students in naturally ventilated secondary schools in countryside of hot summer cold winter zone, China', *Energy and Buildings*, 305(January), 113891. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113891>
- Zain, Z. M., Taib, M. N. and Baki, S. M. S. (2007) 'Hot and humid climate: prospect for thermal comfort in residential building', *Desalination*, 209(1-3 SPEC. ISS.), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.036>