

Kinerja Kenyamanan Termal Rumah Adat Dulohupa

Rahmayanti¹, Niniek Pratiwi², Mohammad Imran³

Program Vokasi D4 Arsitektur Bangunan Gedung, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia^{1,2,3}

Email Korespondensi: rahmayanti@ung.ac.id

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima	02-10-2026
Disetujui	07-10-2026
Diterbitkan	15-10-2026

ABSTRACT

Vernacular architecture in humid-tropical climates relies on passive strategies such as elevated floors, steep roofs, and cross-ventilation to achieve comfort without mechanical cooling. Empirical verification of this performance remains scarce for Gorontalo's traditional buildings, including Dulohupa, a customary adat hall. This study evaluated Dulohupa's thermal comfort and compared model predictions with occupants' perception. A mixed-methods case study combined measurement of air temperature, relative humidity, and air velocity at six points over three days (29–31 August 2026) with a Thermal Sensation Vote (TSV) questionnaire (n=18). Predicted Mean Vote/Predicted Percentage of Dissatisfied (PMV/PPD) were computed with the ASHRAE 55 model and cross-checked using the CBE Thermal Comfort Tool. Indoor air temperature (Points 3 and 5) averaged 32.5°C, exceeding the SNI 03-6572-2001 comfort range (20.5–27.1°C). PMV/PPD indicated severe discomfort (PPD>90%) at low-airflow points (0.08–0.09 m/s) but near-neutral conditions at outdoor points (>2.0 m/s). Despite this, TSV skewed slightly cool (mean=−0.78) and 94.4% of respondents felt comfortable, revealing a model–perception gap consistent with adaptive comfort theory. Air velocity, rather than air temperature, emerged as the dominant factor. Naturally ventilated tropical vernacular buildings should therefore be evaluated with adaptive comfort standards (ASHRAE 55) rather than static PMV/SNI thresholds alone.

Keywords: Adaptive comfort; natural ventilation; PMV/PPD; thermal comfort; vernacular architecture

ABSTRAK

Arsitektur vernakular di iklim tropis lembap mengandalkan strategi pasif, seperti rumah panggung, atap curam, dan ventilasi silang, untuk mencapai kenyamanan termal tanpa pendinginan mekanis. Pembuktian empiris atas kinerja tersebut masih terbatas untuk bangunan tradisional Gorontalo, termasuk Dulohupa, balai adat yang digunakan untuk musyawarah adat. Penelitian ini mengevaluasi kenyamanan termal Dulohupa dan membandingkan prediksi model dengan persepsi penghuni. Studi kasus *mixed methods* ini memadukan pengukuran kontinu suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan udara pada enam titik selama tiga hari (29–31 Agustus 2026) dengan kuesioner *Thermal Sensation Vote* (TSV) (n=18). *Predicted Mean Vote/Predicted Percentage of Dissatisfied* (PMV/PPD) dihitung dengan model ASHRAE 55 dan diverifikasi silang memakai *CBE Thermal Comfort Tool*. Suhu udara dalam ruang (Titik 3 dan 5) rerata 32,5°C, melampaui rentang nyaman SNI 03-6572-2001 (20,5–27,1°C). PMV/PPD mengindikasikan ketidaknyamanan berat (PPD>90%) pada titik berkecepatan udara rendah (0,08–0,09 m/s), namun mendekati netral pada titik luar (>2,0 m/s). Meski demikian, data TSV condong sedikit sejuk (rerata=−0,78) dan 94,4% responden merasa nyaman, sehingga tampak kesenjangan model–persepsi yang konsisten dengan teori kenyamanan adaptif. Kecepatan udara, bukan suhu udara, menjadi faktor dominan. Bangunan vernakular tropis berventilasi alami karena itu perlu dievaluasi dengan standar adaptif (ASHRAE 55), bukan ambang

PMV/SNI yang statis.

Kata Kunci: Arsitektur vernakular; kenyamanan termal; kenyamanan adaptif; pmv/ppd; ventilasi alami

Bagaimana Cara Sitasi Artikel ini:

Rahmayanti, R., Pratiwi, N., & Imran, M. (2026). Kinerja Kenyamanan Termal Rumah Adat Dulohupa. LANCAH: Jurnal Inovasi Dan Tren, 4(2), 881-898. <https://doi.org/10.35870/ljit.v4i2.8871>

PENDAHULUAN

Kajian mengenai kenyamanan termal pada bangunan vernakular menunjukkan bahwa strategi pasif seperti konfigurasi ruang, ventilasi alami, dan karakteristik selubung bangunan berperan penting dalam merespons kondisi iklim lokal. Evaluasi kenyamanan termal bangunan vernakular tropis perlu mempertimbangkan hubungan antara kondisi fisik lingkungan dan adaptasi pengguna terhadap lingkungan termalnya (Supriyono et al., 2018).

Bangunan vernakular di kawasan tropis lembap secara historis mengandalkan strategi desain pasif panggung, atap tinggi, dan bukaan lebar untuk merespons tantangan iklim tanpa bergantung pada sistem pengkondisian udara mekanis (Rapoport, 1969; Oliver, 1997). Ventilasi alami menjadi kunci utama pada iklim ini karena kelembapan tinggi membatasi efektivitas evaporasi keringat sebagai mekanisme pelepasan panas tubuh (Givoni, 1992). Berbagai kajian kontemporer telah mengevaluasi kinerja termal tipologi rumah vernakular di Indonesia: Nugroho (2021) pada rumah Bugis, Nugroho (2022) pada Joglo Puhti, Nugroho (2024) pada rumah Samin, Maulinda (2023) pada rumah tradisional Aceh, Caesariadi (2019) pada rumah Melayu Pontianak, serta Alkausar dan Susetyarto (2019) pada rumah Banjar Balai Bini. Kajian-kajian tersebut secara konsisten menunjukkan bahwa kinerja termal bangunan vernakular sangat bergantung pada konfigurasi ventilasi dan material selubungnya, dan tidak selalu berada pada rentang nyaman di sepanjang waktu.

Di Gorontalo, kajian atas Bantayo Pobo'ide menggunakan pendekatan *wind support comfort* menemukan angin pada ruang tengah stagnan pada 0,1 m/s karena rasio bukaan belum mencapai 40% dari luas dinding (Rahmayanti & Haisah, 2020). Penelitian lokal lain menegaskan relevansi simulasi kinerja bangunan dan PMV pada iklim panas-lembap (Pratiwi et al., 2025), serta efektivitas material selubung reflektif (Djafar et al., 2024), menunjukkan bahwa ventilasi minim bukan kasus tunggal di Gorontalo. Signifikansi kajian ini semakin menguat karena subsektor bangunan gedung di Indonesia kini dikenai kewajiban manajemen energi (ambang ≥ 500 TOE per tahun) dan pada 2024 tercatat menghemat energi listrik sebesar 34 GWh (Kementerian ESDM, 2025). Bukti efektivitas desain pasif pada arsitektur vernakular tropis dengan demikian mendukung pelestarian budaya sekaligus perancangan bangunan hemat energi.

Di Gorontalo, Eka dan Imran (2022) telah mendokumentasikan makna filosofis Rumah Adat Dulohupa dan Bantayo Pobo'ide, sementara Attaufiq et al. (2014) mengukur kenyamanan termal Bantayo Pobo'ide dan menemukan suhu ruang dalam mencapai 30,3–35,2°C selama pengukuran satu hari penuh, jauh melampaui ambang nyaman. Meski demikian, Dulohupa sendiri merupakan bangunan adat Gorontalo dengan tipologi arsitektural serupa, namun fungsi historis sebagai balai musyawarah dan peradilan adat

yang berbeda belum pernah menjadi objek pengukuran termal kuantitatif. Kesenjangan ini relevan untuk diisi mengingat kajian arsitektur vernakular Gorontalo selama ini didominasi pendekatan kualitatif-filosofis, sementara verifikasi empiris atas kinerja fisik-termalnya masih sangat terbatas.

Selain kesenjangan objek kajian, terdapat pula kesenjangan metodologis pada literatur kenyamanan termal bangunan vernakular tropis secara umum: mayoritas studi mengandalkan model *Predicted Mean Vote* (PMV) Fanger (1970) sebagai satu-satunya kerangka evaluasi, meskipun penelitian sebelumnya (de Dear & Brager, 1998; Feriadi & Wong, 2004; Nicol & Humphreys, 2002) telah lama mengindikasikan model ini cenderung kurang akurat pada bangunan berventilasi alami di iklim tropis, karena dikembangkan dari eksperimen ruang iklim terkendali yang tidak merepresentasikan pola adaptasi perilaku penghuni tropis. Model PMV pada dasarnya dirumuskan berdasarkan enam parameter: empat parameter lingkungan (suhu udara, suhu radian rata-rata, kelembapan relatif, kecepatan udara) dan dua parameter individu (laju metabolisme, insulasi pakaian) yang diasumsikan berlaku seragam pada kondisi *steady-state*, sebuah asumsi yang problematik pada bangunan tropis dengan fluktuasi kondisi lingkungan yang dinamis sepanjang hari. Studi-studi terbaru (Gou et al., 2018; López-Pérez et al., 2019; Rahman et al., 2021; Chai et al., 2020; Le et al., 2025) menegaskan pentingnya memadukan prediksi PMV dengan data persepsi termal aktual (*Thermal Sensation Vote*/TSV) untuk memperoleh gambaran kenyamanan yang valid secara kontekstual, alih-alih bertumpu pada satu model semata.

Berdasarkan kedua kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) mengevaluasi kesesuaian kondisi termal aktual Dulohupa terhadap ambang SNI 03-6572-2001 (Badan Standardisasi Nasional, 2001); (2) mengidentifikasi elemen arsitektural yang paling berpengaruh terhadap kinerja termalnya; dan (3) membandingkan prediksi model PMV dengan persepsi termal aktual pengguna untuk menilai relevansi perspektif adaptif bagi evaluasi bangunan vernakular tropis. Signifikansi penelitian ini tidak hanya terletak pada pengisian kekosongan data empiris bagi Dulohupa secara spesifik, tetapi juga pada kontribusinya bagi diskusi metodologis yang lebih luas mengenai keterbatasan model PMV konvensional pada konteks bangunan tropis berventilasi alami sebuah isu yang semakin relevan seiring meningkatnya perhatian pada strategi bangunan hemat energi di tengah tren pemanasan global. Artikel ini disusun dalam tiga bagian utama setelah pendahuluan: metode penelitian, hasil dan pembahasan yang memadukan data fisik dan persepsi, serta simpulan dan rekomendasi bagi strategi desain pasif kontemporer.

Penelitian ini memiliki kontribusi pada analisis kesenjangan antara prediksi model kenyamanan termal dan persepsi aktual pengguna pada bangunan vernakular tropis. Pendekatan penelitian tidak hanya menilai kondisi termal berdasarkan indeks PMV/PPD, tetapi juga membandingkannya dengan *Adaptive Thermal Comfort Method* serta respons subjektif pengguna melalui *Thermal Sensation Vote* (TSV) dan *Thermal Comfort Vote* (TCV).

Karakteristik analisis penelitian menggunakan *dataset* kuesioner kenyamanan termal dengan 18 responden. Variabel subjektif yang dianalisis meliputi *Thermal Sensation Vote* (TSV), *Thermal Comfort Vote* (TCV), penerimaan termal, preferensi temperatur, persepsi kecepatan udara, dan persepsi kelembapan. Data subjektif dianalisis bersama data lingkungan untuk memahami hubungan antara kondisi fisik ruang dan pengalaman termal pengguna.

KAJIAN TEORI

Kenyamanan Termal PMV/PPD

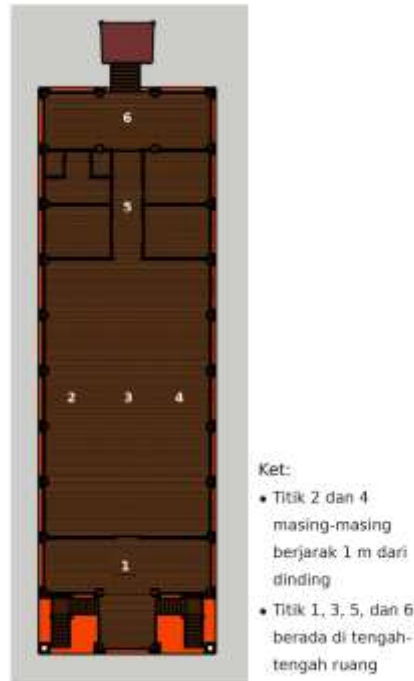
PMV adalah singkatan dari *Predicted Mean Vote*. Fanger (1970) mengembangkan indeks ini untuk memperkirakan rata-rata rasa panas atau dingin yang dirasakan sekelompok orang pada suatu ruang. Skalanya membentang dari -3 (sangat dingin) sampai +3 (sangat panas), dengan angka 0 berarti netral atau nyaman. PPD adalah singkatan dari *Predicted Percentage of Dissatisfied*. Angka ini menunjukkan perkiraan persentase orang yang akan merasa tidak nyaman pada kondisi tersebut. Semakin jauh nilai PMV dari angka 0, semakin tinggi pula nilai PPD-nya.

Fanger (1970) menghitung PMV berdasarkan enam faktor. Empat faktor berasal dari lingkungan, yaitu suhu udara, suhu radiasi sekitar, kelembapan udara, dan kecepatan udara. Dua faktor lainnya berasal dari manusia, yaitu tingkat aktivitas tubuh (disebut *met*) dan jenis pakaian yang dipakai (disebut *clo*). Model ini banyak dipakai di seluruh dunia. Namun demikian, Feriadi dan Wong (2004) sudah memperingatkan bahwa model ini dibuat dari percobaan di ruang laboratorium yang kondisinya tidak berubah-ubah, sehingga hasilnya bisa kurang tepat jika diterapkan pada bangunan yang memakai angin alami di daerah tropis.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain studi kasus pada Rumah Adat Dulohupa, Kota Gorontalo. Data dikumpulkan melalui dua hal, yaitu pengukuran fisik instrumen dan penilaian persepsi termal pengguna yang selanjutnya dianalisis secara terintegrasi untuk menilai kesesuaian antara prediksi model dan pengalaman termal aktual.

Pengukuran fisik dilaksanakan selama tiga hari berturut-turut (29–31 Agustus 2026) pukul 10.00–17.00 WITA, menggunakan rangkaian sensor berbasis mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi sensor DHT22 (suhu udara dan kelembapan relatif), anemometer mangkuk tiga (kecepatan udara), dan *wind direction sensor* (arah angin), merekam data otomatis setiap satu menit. Enam titik ukur ditetapkan berdasarkan konfigurasi ruang: Titik 2, 3, dan 4 mewakili aula utama tertutup (Titik 2 dan 4 masing-masing berjarak 1 m dari dinding, Titik 3 di tengah ruang); Titik 5 mewakili koridor dalam; sedangkan Titik 1 (ambang pintu masuk) dan Titik 6 (koridor menuju balkon) mewakili kondisi luar/semi-terbuka sebagai pembanding. Dimensi fisik bangunan diverifikasi dari data vektor gambar kerja arsitektur, menunjukkan denah berukuran 40 m × 12 m dengan modul struktural 4 m × 4 m pada dua lantai.



Gambar 1: Denah sebaran enam titik ukur (Titik 1–6) pada Rumah Adat Dulohupa
(Sumber: Penulis, 2026)

Penilaian persepsi termal dilakukan melalui kuesioner *Thermal Sensation Vote* (TSV) skala tujuh poin, dilengkapi penilaian *Thermal Comfort Vote* (TCV), preferensi termal, persepsi dan preferensi kecepatan udara, persepsi kelembapan, serta data pakaian responden yang dikonversi menjadi nilai *clo*. Kuesioner diisi oleh 18 responden pada tanggal 29, 30, dan 31 Agustus 2026 menggunakan pendekatan *occupancy simulation*, yaitu responden sementara ditempatkan pada objek penelitian selama rentang waktu pengukuran berlangsung.

Penelitian ini melibatkan 18 responden yang mengisi kuesioner persepsi termal secara anonim dengan risiko minimal bagi partisipan, sehingga dikecualikan dari tinjauan komite etik.

Analisis data mengacu pada tiga kerangka. Pertama, kesesuaian terhadap ambang kenyamanan SNI 03-6572-2001. Kedua, indeks *Predicted Mean Vote/Predicted Percentage of Dissatisfied* (PMV/PPD) dihitung menggunakan model ASHRAE 55 melalui pustaka *pythermalcomfort* berbasis Python (asumsi $met=1,1$; $clo=0,5$ untuk data rerata tiga hari), yang selanjutnya diverifikasi silang pada dua kondisi ekstrem (suhu minimum dan maksimum harian) menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool* (*Center for the Built Environment*, University of California, Berkeley) dengan input laju metabolisme dan insulasi pakaian aktual dari data kuesioner ($met=1,0$; $clo=0,61$). Ketiga, korelasi Pearson dan Spearman antara skor TSV dan variabel lingkungan terukur pada subset responden dengan data pasangan waktu identik ($n=16$); korelasi Spearman diprioritaskan mengingat sifat data TSV yang ordinal.

Untuk memastikan keandalan data, setiap titik ukur didokumentasikan secara fotografis guna merekam posisi peletakan instrumen relatif terhadap elemen ruang di sekitarnya, sehingga proses pengukuran dapat ditelusuri kembali (*traceable*) pada tahap analisis. Sensor ditempatkan pada ketinggian 0,5–1 m dari lantai untuk merepresentasikan zona aktivitas pengguna (setara ketinggian duduk hingga

berdiri), serta dihindarkan dari paparan langsung matahari maupun sumber panas lokal lainnya agar data yang diperoleh mencerminkan kondisi termal ruang secara representatif, bukan kondisi mikro pada satu titik panas tertentu. Data mentah kecepatan udara, suhu, dan kelembapan direkam dalam interval satu menit sepanjang tujuh jam per hari, menghasilkan basis data *time-series* yang kemudian diintegrasikan ke dalam tiga periode representatif pagi (sebelum pukul 12.00), siang (12.00–14.59), dan sore (15.00 ke atas) untuk menangkap variasi kondisi termal akibat pergerakan matahari dan pola aktivitas sepanjang hari. Seluruh prosedur pengolahan data, termasuk perhitungan PMV/PPD dan uji korelasi, dilakukan secara terprogram untuk meminimalkan kesalahan input manual dan memungkinkan replikasi oleh peneliti lain.

Pengumpulan data lapangan dilaksanakan oleh tim peneliti bersama mahasiswa Program Vokasi D4 Arsitektur Bangunan Gedung, dengan supervisi langsung untuk memastikan konsistensi prosedur pemasangan sensor pada setiap titik ukur dan setiap hari pengukuran. Baterai dan panel surya kecil berkapasitas memadai digunakan untuk menjaga kontinuitas daya pada rangkaian sensor ESP32 selama tujuh jam pengukuran berlangsung tanpa gangguan pencatatan data harian.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kondisi Termal Terukur dan Kesesuaian terhadap SNI 03-6572-2001

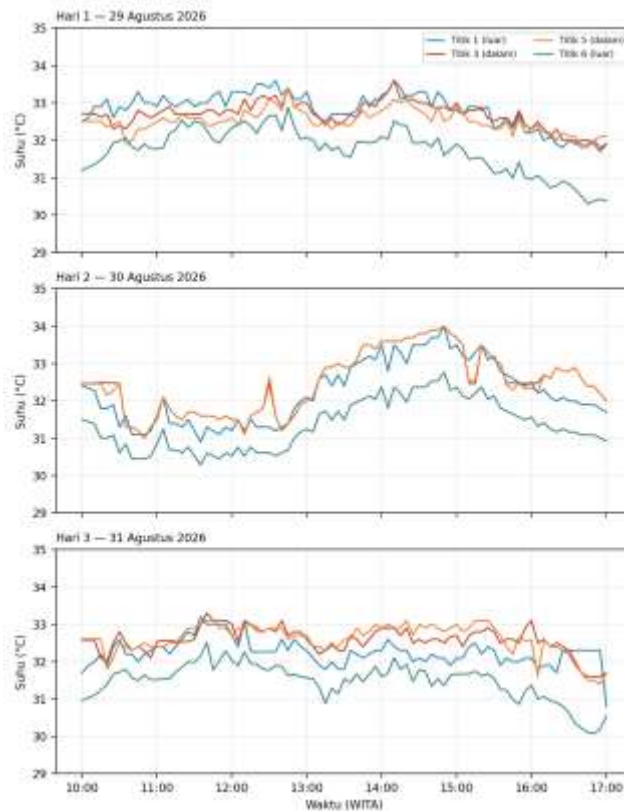
Tabel 1 menyajikan kondisi termal pada enam titik ukur. Angka pada tabel merupakan rata-rata dari tiga hari pengukuran dan tiga waktu pengukuran, yaitu pagi, siang, dan sore.

Tabel 1: Kondisi Termal Rerata per Titik Ukur (29-31 Agustus 2026)

Titik dan peran	Kondisi terukur	Evaluasi PMV/PPD
1. Luar (ambang pintu)	Suhu 32,40°C; RH 55,2%; v 2,03 m/s	PMV 0,90; PPD 22,1%; Hangat sedang
2. Dalam (tepi aula)	v 0,58 m/s	Tidak dapat dihitung
3. Dalam (tengah aula)	Suhu 32,55°C; RH 54,6%; v 0,09 m/s	PMV 2,49; PPD 93,1%; Sangat tidak nyaman
4. Dalam (tepi aula)	v 0,06 m/s	Tidak dapat dihitung
5. Dalam (koridor)	Suhu 32,49°C; RH 53,7%; v 0,08 m/s	PMV 2,46; PPD 92,4%; Sangat tidak nyaman
6. Luar (koridor balkon)	Suhu 31,48°C; RH 49,7%; v 2,41 m/s	PMV 0,51; PPD 10,5%; Hampir netral

(Sumber: Penulis, 2026)

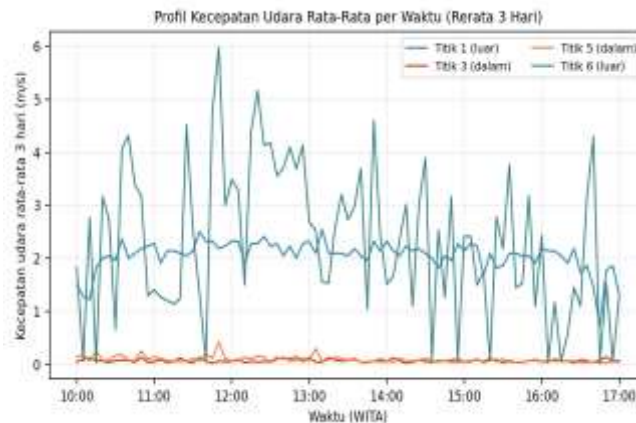
Hasil pengukuran pada Tabel 1 menunjukkan pola yang menarik. Suhu udara rerata pada keempat titik yang memiliki data suhu (Titik 1, 3, 5, dan 6) berkisar antara 31,5°C sampai 32,6°C, dengan suhu rerata di dalam ruang (Titik 3 dan Titik 5) sekitar 32,5°C. Angka ini melebihi batas atas standar kenyamanan SNI 03-6572-2001 untuk ruang dalam, yaitu 20,5°C sampai 27,1°C. Meskipun demikian, nilai PMV dan PPD antar-titik ternyata berbeda jauh, padahal selisih suhu antar-titik sangat kecil. Titik 3 dan Titik 5 mempunyai kecepatan udara yang sangat rendah, yaitu hanya 0,08 sampai 0,09 meter per detik. Kedua titik ini mencatat PPD di atas 90 persen, artinya lebih dari 90 dari 100 orang diperkirakan akan merasa tidak nyaman di sana. Sebaliknya, Titik 1 dan Titik 6 mempunyai kecepatan udara yang jauh lebih tinggi, yaitu 2,03 sampai 2,41 meter per detik. Nilai PMV di kedua titik ini mendekati netral, dan PPD-nya di bawah 23 persen.



Gambar 2: Suhu udara pada Titik 1, 3, 5, dan 6, dicatat setiap hari selama tiga hari pengukuran
(Sumber: Penulis, 2026)

Perbedaan besar yang ditimbulkan oleh kecepatan udara berkaitan erat dengan mekanisme tubuh manusia dalam melepaskan panas. Tubuh mengurangi panas melalui proses penguapan keringat dan perpindahan panas melalui kontak antara kulit dengan aliran udara. Menurut Givoni (1992), kondisi udara pada wilayah tropis lembap memiliki kandungan uap air yang tinggi sehingga proses penguapan keringat menjadi kurang efektif. Dalam kondisi tersebut, pergerakan udara menjadi faktor penting dalam membantu pelepasan panas tubuh. Semakin tinggi kecepatan udara yang mengenai permukaan kulit, semakin besar kemampuan udara dalam membawa panas dari tubuh ke lingkungan sekitar. Oleh karena itu, Titik 1 dan Titik 6 menunjukkan tingkat kenyamanan termal yang lebih baik dibandingkan Titik 3 dan Titik 5 meskipun memiliki suhu udara yang relatif serupa.

Gambar 2 menunjukkan pola suhu udara sepanjang hari. Pola harian pada ketiga hari pengukuran tidak sepenuhnya sama. Pada Hari 1 dan Hari 3, suhu naik pada pagi hari, mencapai puncaknya sekitar pukul 12.00 sampai 14.00, lalu turun kembali menjelang pukul 17.00. Pada Hari 2, suhu pagi lebih rendah, kemudian terus naik hingga mencapai puncaknya sekitar pukul 15.00, lalu turun. Pola semacam ini wajar terjadi pada bangunan berdinding kayu yang tipis, karena dinding tipis cepat menyesuaikan diri dengan suhu di luar bangunan. Titik 6 selalu mencatat suhu paling rendah pada ketiga hari tersebut. Titik 1, 3, dan 5 mempunyai suhu yang saling berdekatan. Hari kedua, yaitu tanggal 30 Agustus, mencatat suhu tertinggi selama penelitian, mencapai 34,0°C pada Titik 3 dan Titik 5 sekitar pukul 15.00.



Gambar 3: Kecepatan udara rata-rata tiga hari pada Titik 1, 3, 5, dan 6, menurut jam pengukuran
(Sumber: Penulis, 2026)

Perbedaan karakteristik antar titik pengukuran tampak lebih nyata pada Gambar 3 dibandingkan dengan Gambar 2. Titik 6 menunjukkan perubahan kecepatan udara yang sangat dinamis, dengan nilai yang pada beberapa periode pengukuran mencapai lebih dari 3 hingga 6 meter per detik. Sebaliknya, Titik 1 memiliki pola pergerakan udara yang lebih konsisten dengan kisaran kecepatan sekitar 2 hingga 2,5 meter per detik. Berbeda dengan kedua titik tersebut, Titik 3 dan Titik 5 hampir sepanjang tujuh jam pengamatan memiliki kecepatan udara di bawah 0,3 meter per detik, serta menunjukkan perubahan yang sangat kecil dari pagi hingga sore hari. Variasi aliran udara yang signifikan tersebut menjadi faktor utama yang menjelaskan perbedaan kenyamanan termal antar titik di Dulohupa. Dengan demikian, perbedaan kenyamanan yang terjadi lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi pergerakan udara daripada variasi suhu udara yang relatif lebih kecil.

Selain melakukan perhitungan PMV menggunakan metode standar, penelitian ini juga melakukan analisis tambahan terhadap dua kondisi suhu ekstrem di Titik 3, yaitu kondisi dengan suhu terendah dan tertinggi selama periode pengukuran harian. Analisis tambahan tersebut menggunakan *CBE Thermal Comfort Tool* yang dikembangkan oleh *Center for the Built Environment*, University of California, Berkeley. Dalam proses perhitungan ini, nilai met dan clo tidak ditentukan berdasarkan asumsi umum, tetapi menggunakan data aktual yang diperoleh dari respons kuesioner partisipan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi suhu minimum sebesar 30,8°C, nilai PMV mencapai +1,87 dengan tingkat PPD sebesar 70 persen. Sementara itu, pada kondisi suhu maksimum sebesar 34,0°C, nilai PMV meningkat menjadi +2,98 dengan nilai PPD mencapai 99 persen.

Di sisi lain, penelitian ini juga mempertimbangkan penggunaan model kenyamanan termal adaptif yang diperkenalkan oleh de Dear dan Brager (1998) dan dikembangkan untuk bangunan berventilasi alami di iklim panas-lembap oleh Toe dan Kubota (2013). Model adaptif memiliki pendekatan yang berbeda dengan PMV karena mempertimbangkan kemampuan manusia dalam menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan termal di sekitarnya. Model ini menjelaskan bahwa individu yang terbiasa berada pada kondisi suhu luar tertentu cenderung memiliki rentang kenyamanan yang lebih luas terhadap variasi suhu. Model adaptif membagi tingkat penerimaan kenyamanan menjadi dua kategori, yaitu zona penerimaan 80 persen dan zona penerimaan 90 persen, dengan batas kenyamanan yang berubah mengikuti suhu rata-rata lingkungan luar. Berdasarkan pendekatan model adaptif, kondisi suhu terendah di Dulohupa sebesar 30,8°C masih berada dalam batas zona penerimaan 80 persen. Namun, kondisi suhu tertinggi sebesar 34,0°C telah

berada di luar kedua zona penerimaan tersebut. Temuan ini sejalan dengan penelitian terbaru yang dilakukan oleh Adnan et al. (2026) pada hunian di Malaysia, yang menunjukkan bahwa ruang dengan kecepatan udara kurang dari 0,10 meter per detik dapat melampaui batas zona penerimaan 90 persen. Selain itu, penelitian Faheem et al. (2023) pada bangunan asrama di India juga menunjukkan bahwa suhu nyaman mengalami perubahan mengikuti kondisi suhu lingkungan luar.

Hasil perhitungan juga menunjukkan adanya perbedaan menarik ketika penelitian menggunakan nilai *clo* aktual dari responden sebesar 0,61 dibandingkan dengan nilai asumsi umum sebesar 0,5 seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Penggunaan nilai *clo* aktual menghasilkan nilai PMV yang lebih tinggi. Kondisi ini terjadi karena tingkat ketebalan pakaian yang lebih besar dapat menghambat pelepasan panas dari tubuh sehingga meningkatkan sensasi panas yang dirasakan pengguna. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan data pakaian aktual dari responden sangat penting dalam analisis kenyamanan termal. Penggunaan nilai *clo* yang sesuai dengan kondisi lapangan dapat menghasilkan perhitungan PMV yang lebih akurat dan mampu menggambarkan pengalaman termal pengguna secara lebih nyata.

Bentuk Fisik Dulohupa yang Berkaitan dengan Kondisi Termal

Sebelum membahas hasil kuesioner, perlu dijelaskan dahulu bentuk fisik Dulohupa secara singkat, karena bentuk ini berkaitan erat dengan hasil pengukuran. Dulohupa berdiri di atas selasar dasar yang sekarang berupa kolom-kolom dari batu dan semen. Di atas selasar itu berdiri bangunan utama yang terbuat dari kayu. Susunan dua lapis semacam ini berbeda dari gambaran rumah panggung kayu yang biasa diceritakan dalam kisah lama tentang Dulohupa. Meskipun begitu, susunan ini sesuai dengan hasil pengamatan langsung di lapangan pada penelitian ini. Atap Dulohupa berbentuk pelana lebar dengan tepi atap yang menjorok keluar. Tepi atap ini melindungi jendela dari sinar matahari langsung dan air hujan. Di bagian atas dinding segitiga atap, serta di atas jendela kayu berkisi, terdapat lubang angin permanen berbentuk belah ketupat. Lubang ini membuat udara tetap bisa masuk dan keluar bangunan, bahkan saat jendela utama sedang ditutup oleh penghuni karena alasan privasi atau cuaca.

Pengukuran gambar kerja arsitektur menunjukkan denah bangunan berukuran sekitar 40 m × 12 m pada kedua lantainya, tersusun dari struktur 4 meter kali 4 meter berulang sepuluh kali. Tinggi kolom selasar 2,70 meter, tinggi ruang lantai pertama 3,60 meter, dan tinggi total bangunan 11,44 meter. Bangunan sebesar ini membutuhkan jalur angin yang cukup agar udara di tengah ruangan tidak diam saja, sebagaimana tampak pada perbedaan kecepatan udara antar-titik pada Tabel 1.

Persepsi Responden dan Perbedaannya dengan Prediksi Model

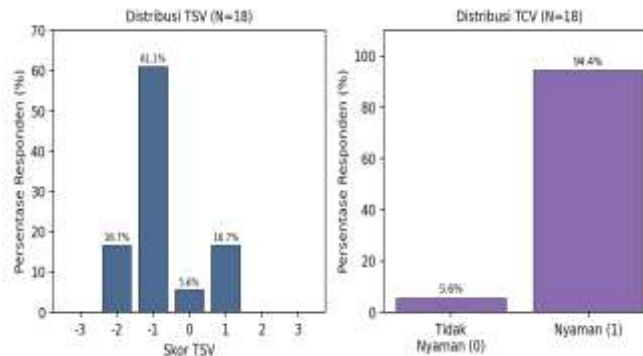
Selain mengukur udara dengan alat, penelitian ini juga bertanya langsung kepada 18 orang responden tentang perasaan mereka terhadap suhu ruangan. Pertanyaan ini disebut *Thermal Sensation Vote*, disingkat TSV, yaitu skor yang menunjukkan sensasi panas atau dingin yang dirasakan seseorang, dengan skala -3 sampai +3, sama seperti skala PMV. Selain TSV, responden juga menjawab pertanyaan *Thermal Comfort Vote*, disingkat TCV, yaitu apakah mereka merasa nyaman atau tidak nyaman pada saat itu. Tabel 2 merangkum hasil kedua jenis pertanyaan tersebut.

Tabel 2: Ringkasan Persepsi Termal Responden (TSV/TCV)

Variabel	Nilai	Keterangan
Rerata TSV (skala -3 s.d. +3)	-0,78	Condong sejuk
Simpangan baku TSV	0,94	Cukup tinggi
Proporsi nyaman (TCV)	94,4%	17 dari 18 responden

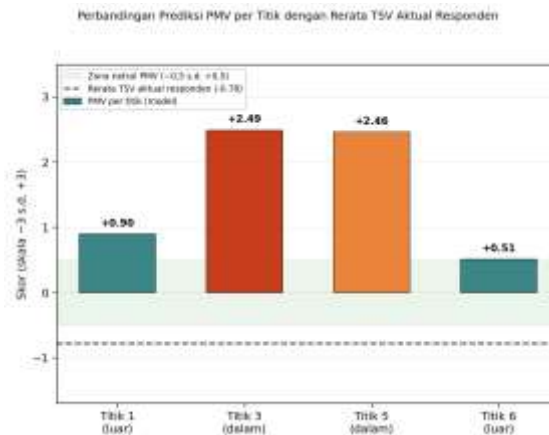
Variabel	Nilai	Keterangan
Proporsi menerima kondisi termal	94,4%	Sejalan dengan TCV
Preferensi ingin lebih sejuk	72,2%	Meski TSV sudah condong sejuk
Korelasi Spearman TSV–suhu (n=16)	$\rho = -0,444$ (p=0,085)	Negatif, moderat, belum signifikan

(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 4: Sebaran skor TSV dan TCV dari 18 responden
(Sumber: Penulis, 2026)

Gambar 4 menampilkan hasil yang sama secara visual. Sebagian besar responden, yaitu 61,1 persen, memberi skor TSV -1, yang berarti sedikit sejuk. Hanya satu responden yang memberi skor netral, yaitu 0. Tidak ada satu pun responden yang memberi skor pada sisi hangat ekstrem, yaitu +2 atau +3. Sementara itu, hasil TCV menunjukkan hal yang berbeda. Hampir semua responden, yaitu 17 dari 18 orang, menyatakan dirinya nyaman. Hanya satu orang yang menyatakan tidak nyaman.



Gambar 5: Nilai PMV hasil perhitungan pada tiap titik dibandingkan dengan rata-rata TSV dari seluruh responden
(Sumber: Penulis, 2026)

Gambar 5 memperlihatkan nilai PMV hasil perhitungan pada Titik 3 dan Titik 5 berada jauh di atas angka 2, yang berarti model memprediksi kondisi panas. Namun, rata-rata skor TSV dari seluruh responden justru berada di angka -0,78, yang berarti kebanyakan orang merasa sedikit sejuk, bukan panas. Perbedaan besar antara prediksi model dan perasaan responden yang sebenarnya inilah yang disebut kesenjangan model-persepsi. Kesenjangan ini menjadi temuan penting dalam penelitian ini, dan akan dibahas lebih

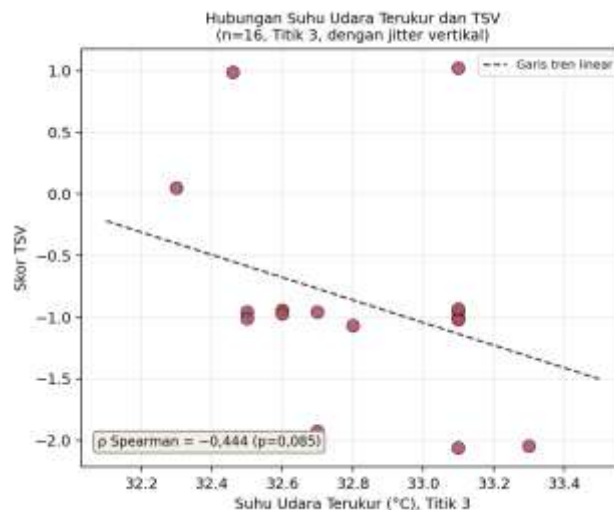
dalam pada bagian berikutnya.

Uji statistik juga dilakukan untuk melihat hubungan antara suhu udara dan skor TSV. Uji ini memakai 16 responden yang datanya bisa dipasangkan langsung dengan waktu pengukuran suhu. Uji korelasi Spearman dipilih karena skor TSV berbentuk peringkat, bukan angka biasa. Hasilnya adalah ρ (rho) sebesar -0,444, dengan nilai p sebesar 0,085. Angka ρ yang negatif berarti semakin tinggi suhu, semakin rendah skor TSV, yang sesuai dengan dugaan awal. Akan tetapi, nilai p yang lebih besar dari 0,05 berarti hubungan ini belum bisa dikatakan signifikan secara statistik. Dengan kata lain, hasil ini masih perlu dibuktikan lagi dengan jumlah responden yang lebih banyak. Korelasi Spearman antara TSV dan kelembapan relatif ($\rho = 0,187$; $p = 0,488$) serta antara TSV dan kecepatan udara ($\rho = 0,007$; $p = 0,980$) juga tidak signifikan, sehingga pada data 16 pasangan ini hanya suhu udara yang menunjukkan kecenderungan hubungan dengan TSV.

Tabel 3: Korelasi TSV dengan Variabel Terukur (n=16, Data Berpasangan Waktu)

Variabel Ukur	n	Pearson r	Spearman ρ	p (Spearman)
Temperatur	16	-0,320	-0,444	0,085
Kelembapan Relatif	16	0,23	0,187	0,488
Kecepatan Angin	16	-0,06	0,007	0,980

(Sumber: Penulis, 2026)



Gambar 6: Hubungan antara suhu udara terukur dan skor TSV pada Titik 3 (n=16), dilengkapi garis tren
(Sumber: Penulis, 2026)

Gambar 6 menampilkan sebaran data yang menjadi dasar perhitungan korelasi Spearman di atas. Garis tren pada gambar menunjukkan arah yang sesuai dengan hipotesis, yaitu garis menurun dari kiri ke kanan. Namun, titik-titik data pada rentang suhu 32,3°C sampai 33,3°C tersebar cukup lebar, tidak berkumpul rapat pada satu garis. Sebaran yang lebar ini sejalan dengan jumlah sampel yang masih terbatas, yaitu 16 orang, serta simpangan baku skor TSV yang cukup tinggi, yaitu 0,94 pada Tabel 2. Dua responden bahkan memberi skor TSV +1, yaitu sedikit hangat, pada suhu 32,5°C, padahal kebanyakan responden lain pada suhu serupa memberi skor sejuk. Perbedaan ini menunjukkan bahwa faktor pribadi, seperti jenis pakaian, kegiatan sebelum mengisi kuesioner, dan selera masing-masing orang, juga ikut memengaruhi

jawaban responden, di luar pengaruh suhu udara semata.

Kesenjangan antara prediksi model dan perasaan responden yang ditemukan dalam penelitian ini bukanlah hal baru dalam ilmu kenyamanan termal. Beberapa penelitian lain menemukan pola serupa. Feriadi dan Wong (2004) meneliti 525 titik data pada rumah-rumah berangin alami di Indonesia. Mereka menemukan bahwa model PMV cenderung memprediksi rasa panas yang lebih tinggi daripada yang sebenarnya dirasakan penghuni. Gou et al. (2018) menemukan bahwa penghuni daerah tropis mampu menerima suhu yang cukup tinggi, asalkan mereka bisa menyesuaikan diri, misalnya dengan menambah aliran udara. Rahman et al. (2021) meneliti bangsal rumah sakit, dan López-Pérez et al. (2019) meneliti gedung sekolah, keduanya di daerah beriklim panas dan lembap. Kedua penelitian ini juga menemukan pergeseran suhu yang terasa nyaman menurut penghuni dan suhu yang diprediksi nyaman oleh model PMV. Chai et al. (2020) meneliti data dalam jumlah sangat besar, yaitu 5.512 titik data, dan menyimpulkan bahwa rasa nyaman seseorang dipengaruhi banyak hal sekaligus, yaitu keadaan lingkungan, keadaan pribadi, dan kemampuan menyesuaikan diri. Le et al. (2025) meneliti rumah berpendingin mode campuran (*mixed-mode cooled*) di Kota Danang, Vietnam, dan menemukan bahwa kebanyakan penghuni tetap merasa puas meskipun kondisi ruangnya melewati batas standar ASHRAE 55. Karena objeknya bukan bangunan berventilasi alami murni seperti Dulohupa, studi ini hanya dijadikan pembandingan terbatas. Dengan demikian, temuan pada Dulohupa memperkuat pola yang sudah ditemukan oleh penelitian-penelitian tersebut.

Bagian Bangunan yang Paling Berpengaruh terhadap Kenyamanan

Berdasarkan seluruh data di atas, bagian bangunan yang paling berpengaruh terhadap kenyamanan termal Dulohupa adalah bagian yang mengatur aliran udara. Bagian ini meliputi ukuran dan letak jendela, jalur angin yang melintasi ruangan, serta selasar yang terbuka di sekeliling bangunan. Suhu udara dan bahan bangunan ternyata tidak terlalu berpengaruh dibandingkan aliran udara. Sebagai contoh, Titik 2 dan Titik 4, yang letaknya hanya 1 meter dari dinding, masing-masing mencatat kecepatan udara yang berbeda jauh, yaitu 0,58 meter per detik pada Titik 2 dan 0,06 meter per detik pada Titik 4, dibandingkan Titik 3 yang berada tepat di tengah ruangan (0,09 meter per detik). Titik 2 lebih tinggi daripada Titik 3, tetapi Titik 4 justru lebih rendah. Dugaan bahwa kecepatan udara semakin berkurang saat semakin jauh dari dinding menuju ke tengah ruangan karena itu hanya didukung oleh satu dari dua titik tepi, sehingga pengaruh jarak dari dinding belum dapat disimpulkan dan perlu dikaji lebih lanjut, misalnya dengan memperhatikan letak bukaan di sekitar masing-masing titik. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan standar SNI 03-6572-2001 maupun model PMV pada bangunan beraliran udara alami perlu memperhatikan perbedaan letak di dalam ruangan, bukan hanya menilai satu ruangan sebagai satu kesatuan yang seragam.

Dulohupa juga bisa dibandingkan dengan Bantayo Pobo'ide, yaitu rumah adat Gorontalo lain yang bentuknya mirip. Attaufiq et al. (2014) mengukur suhu ruang dalam Bantayo Pobo'ide pada 8 April 2014 pukul 07.00–18.00 dan mendapatkan kisaran 30,3°C sampai 35,2°C. Angka ini merupakan kisaran suhu sesaat, sehingga pembandingnya adalah kisaran suhu sesaat di Titik 3 Dulohupa dalam penelitian ini, yaitu 30,8°C sampai 34,0°C, bukan rerata tiga hari (sekitar 32,5°C). Kedua kisaran tersebut sebanding, dan kedua bangunan adat Gorontalo ini sama-sama mengalami suhu tinggi yang tidak nyaman pada siang hari. Kesamaan juga tampak pada hubungan antara model dan persepsi penghuni. Attaufiq et al. (2014) membagikan kuesioner kepada lima orang dewasa dan menemukan bahwa nilai PMV hasil perhitungan lebih tinggi satu sampai dua skala daripada hasil kuesioner (simpangan rata-rata 1,9 skala), sedangkan skala DISC lebih mendekati kuesioner (simpangan rata-rata 0,75 skala). Pola ini searah dengan temuan pada

Dulohupa, yaitu PMV memprediksi kondisi jauh lebih panas daripada skor TSV responden. Perbedaan jumlah responden (lima orang berbanding 18 orang) serta metode (simulasi TRNSYS berbanding pengukuran langsung) membuat kedua hasil ini hanya dapat dibandingkan secara kualitatif.

Kesamaan antara Dulohupa dan Bantayo Pobo'ide ternyata tidak berhenti pada suhu udara saja. Rahmayanti & Haisah (2020) meneliti keefektifan jendela pada Bantayo Pobo'ide memakai metode yang disebut wind support comfort. Mereka menemukan bahwa kecepatan angin di ruang tengah bangunan tersebut hanya 0,1 meter per detik, karena luas jendela belum mencapai 40 persen dari luas dinding. Angka ini hampir sama persis dengan kecepatan udara pada Titik 3 dan Titik 5 Dulohupa dalam penelitian ini, yaitu 0,08 sampai 0,09 meter per detik. Kesamaan dua hasil penelitian yang berdiri sendiri-sendiri, pada dua bangunan Gorontalo yang berbeda, memperkuat dugaan bahwa udara yang diam di ruang tengah bukan masalah satu bangunan saja, melainkan masalah yang melekat pada bentuk rumah panggung Gorontalo pada umumnya. Oleh karena itu, standar seperti SNI 03-6572-2001, maupun saran luas jendela 40 persen dari Rahmayanti & Haisah (2020), sebaiknya dipakai bersama-sama sebagai acuan untuk menjaga dan mengevaluasi kedua bangunan tersebut.

Manfaat Temuan bagi Perancangan dan Pelestarian Bangunan Tropis

Temuan di atas memberi dua manfaat sekaligus. Manfaat pertama berkaitan dengan pelestarian Dulohupa sebagai warisan budaya yang masih dipakai untuk upacara adat dan kunjungan wisata. Penelitian ini menunjukkan bahwa selasar yang terbuka dan letak jendela yang ada sekarang sudah membantu kenyamanan pada titik-titik yang lebih dekat dengan udara luar, yaitu Titik 1 dan Titik 6. Oleh sebab itu, setiap rencana perbaikan atau pemugaran Dulohupa di masa depan sebaiknya mempertimbangkan dahulu dampaknya terhadap jalur angin tersebut, sebelum pekerjaan dimulai.

Manfaat kedua berkaitan dengan perancangan bangunan tropis pada masa kini. Temuan bahwa kecepatan udara lebih berpengaruh daripada suhu udara sejalan dengan teori lama tentang desain bangunan tropis. Olgyay (1963) dan Givoni (1992) sudah lama menyarankan agar bangunan tropis mengutamakan jalur angin silang sebagai cara utama mendinginkan ruangan. Selain itu, penelitian ini juga mengingatkan bahwa menilai kenyamanan hanya dengan angka PMV saja bisa membuat kondisi terlihat lebih buruk daripada yang sebenarnya dirasakan penghuni bangunan beraliran udara alami di daerah tropis. Kesalahan penilaian semacam ini bisa berakibat buruk, misalnya membuat perancang memutuskan memakai pendingin ruangan padahal sebenarnya tidak diperlukan. Padahal, data lapangan pada penelitian ini justru menunjukkan bahwa cara alami berupa pengaturan angin saja sudah bisa membuat sebagian besar penghuni merasa nyaman.

Keterbatasan Penelitian

Beberapa keterbatasan perlu diperhatikan dalam membaca temuan di atas. Pertama, jumlah responden TSV hanya 18 orang, lebih sedikit dari target awal sebanyak 30 orang. Selain itu, hanya 16 dari 18 responden itu yang datanya bisa dipasangkan langsung dengan waktu pengukuran suhu. Oleh karena itu, hasil uji korelasi pada Tabel 3 masih bersifat awal dan kekuatan buktinya terbatas. Kedua, penelitian ini tidak mengukur suhu radiasi, karena alat *globe thermometer* tidak tersedia. Akibatnya, seluruh perhitungan PMV dan PPD memakai anggapan bahwa suhu radiasi sama dengan suhu udara, padahal anggapan ini bisa kurang tepat pada ruangan yang permukaannya mempunyai suhu berbeda-beda. Ketiga, pengecekan memakai *CBE Thermal Comfort Tool* hanya dilakukan pada dua kondisi ekstrem di satu titik saja, yaitu Titik 3, bukan pada seluruh waktu dan seluruh titik ukur. Oleh sebab itu, hasil pengecekan ini perlu ditafsirkan secara hati-hati. Keempat, pengukuran fisik hanya berlangsung tiga hari dalam satu musim,

sehingga perbedaan antara musim hujan dan musim kemarau belum terlihat dalam data. Kelima, perbandingan dengan Bantayo Pobo'ide memakai hasil penelitian orang lain yang dilakukan pada waktu, cara, dan alat yang berbeda, bukan pengukuran langsung dan bersamaan pada kedua bangunan. Oleh karena itu, perbandingan tersebut baru bersifat gambaran awal. Penelitian selanjutnya disarankan mengatasi kelima keterbatasan ini, supaya penerapan standar kenyamanan termal, baik SNI 03-6572-2001 maupun model adaptif ASHRAE 55, pada bangunan tradisional tropis dapat dirumuskan dengan bukti yang lebih kuat.

Implikasi arsitektural dari penelitian ini menunjukkan bahwa strategi pasif Rumah Adat Dulohupa perlu dipertahankan melalui pengelolaan bukaan, ventilasi silang, dan pergerakan udara alami. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa desain tropis tidak dapat dievaluasi hanya melalui satu indikator termal, tetapi perlu mempertimbangkan hubungan antara kondisi fisik bangunan dan pengalaman pengguna.

Strategi Arsitektur Pasif Rumah Adat Dulohupa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenyamanan termal Dulohupa tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur udara, tetapi juga oleh karakteristik desain bangunan. Elemen arsitektur seperti bukaan alami, ruang terbuka, dan pola sirkulasi udara berperan dalam mendukung adaptasi pengguna terhadap kondisi iklim tropis. Oleh karena itu, pelestarian elemen desain pasif menjadi bagian penting dalam pengembangan bangunan tropis berkelanjutan.

KESIMPULAN

Suhu udara rerata di dalam ruang Rumah Adat Dulohupa (Titik 3 dan Titik 5) sekitar 32,5°C, dan pada Titik 3 berkisar antara 30,8°C sampai 34,0°C selama pengukuran, sehingga seluruhnya berada di luar batas nyaman SNI 03-6572-2001 (20,5°C sampai 27,1°C). Meskipun begitu, sebanyak 94,4 persen responden tetap menyatakan nyaman dan menerima kondisi tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa sekadar tidak sesuai standar SNI belum tentu berarti bangunan benar-benar tidak nyaman bagi penggunanya, sehingga penilaian kenyamanan bangunan tradisional tropis sebaiknya tidak hanya bersandar pada satu standar suhu yang kaku.

Bagian bangunan yang paling memengaruhi kenyamanan termal Dulohupa adalah bagian yang mengatur aliran udara, bukan suhu udara atau bahan bangunan. Kesimpulan ini didasarkan pada nilai PMV dan PPD yang berbeda jauh antar-titik, padahal suhu udaranya hampir sama. Titik-titik yang langsung berhubungan dengan udara luar, yaitu Titik 1 dan Titik 6, mempunyai kondisi yang mendekati nyaman. Sebaliknya, titik di tengah aula (Titik 3) dan koridor dalam (Titik 5) mempunyai tingkat ketidaknyamanan paling tinggi. Hal ini menegaskan bahwa letak jendela dan jalur angin silang berperan penting dalam menentukan kenyamanan bangunan ini.

Hasil perhitungan model PMV/PPD ternyata cukup berbeda dari perasaan responden yang sebenarnya (TSV). Perbedaan ini sejalan dengan temuan penelitian lain pada bangunan tropis (Feriadi & Wong, 2004; Gou et al., 2018; Chai et al., 2020). Model kenyamanan adaptif yang dikembangkan oleh de Dear dan Brager (1998) lebih cocok untuk menjelaskan perasaan nyaman yang sebenarnya dialami penghuni dibandingkan model PMV yang bersifat tetap, terutama pada bangunan berventilasi alami yang penghuninya sudah terbiasa dengan iklim tropis setempat.

SARAN/REKOMENDASI

Bagi pengelola cagar budaya, disarankan agar selasar terbuka dan letak jendela yang ada sekarang tetap dipertahankan pada setiap rencana perbaikan Dulohupa di masa depan. Selasar dan jendela ini terbukti membantu aliran udara pada Titik 1 dan Titik 6. Penilaian kenyamanan termal secara berkala pada ruang-ruang yang masih dipakai untuk upacara adat dan kunjungan wisata sebaiknya memakai dua standar sekaligus, yaitu SNI 03-6572-2001 sebagai patokan resmi nasional, dan model adaptif ASHRAE 55 sebagai pelengkap yang mempertimbangkan kebiasaan penghuni terhadap iklim setempat. Kedua standar ini sebaiknya dipakai bersama, bukan hanya salah satu saja.

Bagi perancang dan penilai bangunan tropis pada masa kini, temuan ini menunjukkan pentingnya mengutamakan jalur angin silang sejak tahap perancangan. Perspektif kenyamanan adaptif juga perlu dipertimbangkan secara jelas dalam menilai maupun merancang bangunan beraliran udara alami, tidak hanya mengandalkan kepatuhan terhadap angka PMV atau SNI semata. Kombinasi antara jendela yang bisa dibuka-tutup penghuni dan lubang angin permanen, seperti yang dijumpai pada jendela kayu berkisi dan ventilasi belah ketupat Dulohupa, dapat dijadikan contoh rancangan. Kombinasi semacam ini memberi keleluasaan bagi penghuni untuk menyesuaikan diri, sekaligus menjamin udara tetap berganti sepanjang waktu.

Penelitian selanjutnya disarankan menambah jumlah responden TSV supaya mendekati target ideal, yaitu minimal 30 orang. Penelitian selanjutnya juga sebaiknya mencakup pengukuran pada musim hujan dan musim kemarau, serta melengkapi pengukuran suhu radiasi memakai *globe thermometer* dan pengukuran dimensi bangunan yang lebih teliti. Langkah-langkah ini akan memperkuat kesimpulan penelitian ini secara lebih luas. Penelitian sejenis juga disarankan dilakukan pada bangunan adat Gorontalo lainnya, termasuk Bantayo Pobo'ide, dengan pengukuran langsung dan bersamaan pada kedua bangunan, bukan sekadar membandingkan dengan hasil penelitian orang lain. Langkah ini akan memperkaya pemahaman tentang kesesuaian standar kenyamanan termal pada arsitektur tradisional Gorontalo secara menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Universitas Negeri Gorontalo melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) atas dukungan pendanaan melalui **Program Riset Akselerasi Kolaboratif Perguruan Tinggi, Skema Riset Akselerasi Publikasi Nasional (RAPN), Pendanaan PNB/BLU Universitas Negeri Gorontalo Tahun Anggaran 2026**, berdasarkan **Keputusan Rektor Universitas Negeri Gorontalo Nomor 847/UN47/HK.02/2026 tanggal 30 April 2026**. Dukungan tersebut memungkinkan pelaksanaan penelitian Kinerja Kenyamanan Termal Rumah Adat Dulohupa sebagai Arsitektur Vernakular di Iklim Tropis dapat terlaksana dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada pengelola Rumah Adat Dulohupa, seluruh responden, yang terlibat dalam pengumpulan data lapangan, serta semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini.

Penulis juga mengungkapkan bahwa teknologi kecerdasan artifisial (AI), yaitu Claude, digunakan sebagai alat bantu dalam penyuntingan bahasa, pemeriksaan tata bahasa, dan penyempurnaan struktur penulisan. AI tidak digunakan untuk menghasilkan, memanipulasi, atau menganalisis data penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

Rahmayanti dan Niniek Pratiwi berkontribusi dalam konseptualisasi penelitian, perancangan metodologi, analisis data (perhitungan PMV/PPD dan uji korelasi), interpretasi hasil, kajian pustaka, serta penyusunan dan penyuntingan naskah. Mohammad Imran berkontribusi dalam pengumpulan data lapangan dan pengukuran fisik. Seluruh penulis telah meninjau dan menyetujui versi akhir naskah serta bertanggung jawab atas seluruh aspek pekerjaan yang berkaitan dengan penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan, baik secara finansial maupun nonfinansial, yang dapat memengaruhi pelaksanaan penelitian, analisis data, penyusunan, maupun publikasi artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Alkausar, & Susetyarto, M. B. (2019). Analisis kondisi kenyamanan termal pada ruangan dalam rumah Banjar Balai Bini di tepian Sungai Kuin Utara, Banjarmasin. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 4(2), 91–97. <https://doi.org/10.25105/pdk.v4i2.5222>
- Attaufiq, M., Sangketadi, & Waani, J. O. (2014). Kenyamanan termal pada sebuah rumah adat tradisional Gorontalo. *Media Matrasain*, 11(1), 55–65. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jmm/article/view/4985>
- Badan Standardisasi Nasional. (2001). *SNI 03-6572-2001: Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondision udara pada bangunan gedung*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Caesariadi, T. W. (2019). Pengaruh tata ruang pada penghawaan alami rumah vernakular Melayu Pontianak. *Langkau Betang: Jurnal Arsitektur*, 6(1). <https://doi.org/10.26418/lantang.v6i1.33160>
- Chai, Q., Wang, H., Zhai, Y., & Yang, L. (2020). Using machine learning algorithms to predict occupants' thermal comfort in naturally ventilated residential buildings. *Energy and Buildings*, 217, 109937. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109937>
- de Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 145–167.
- Djafar, A. G., Pratiwi, N., Mutmainnah, N., & Kaharu, A. (2024). Thermal performance of Beccool-roof coating in reducing heat gain on fisherman's settlement of Gorontalo City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1404(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1404/1/012004>
- Eka, R., & Imran, M. (2022). Makna filosofis rumah adat Gorontalo (Dulohupa dan Bantayo Pobo'ide). *RADIAL: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 10(1), 95–105. <https://doi.org/10.37971/radial.v10i1.273>
- Faheem, M., Bhandari, N., & Tadevall, S. (2023). Adaptive thermal comfort in naturally ventilated hostels of warm and humid climatic region, Tiruchirappalli, India. *Energy and Built Environment*, 4(5),

- 530–542. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.04.002>
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press.
- 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>
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis, and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11–23.
- Gou, Z., Gamage, W., Lau, S. S.-Y., & Lau, S. S.-B. (2018). An investigation of thermal comfort and adaptive behaviors in naturally ventilated residential buildings in tropical climates: A pilot study. *Buildings*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.3390/buildings8010005>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2025, 25 November). *Perkuat kepatuhan manajemen energi nasional, PPSDM KEBTKE dan Ditjen EBTKE latih 80 peserta*. BPSDM ESDM. <https://bpsdm.esdm.go.id/posts/2025/11/25/perkuat-kepatuhan-manajemen-energi-nasional-ppsdm-kebtke-dan-ditjen-ebtke-latih-80-peserta/4141>
- Le, D., Tanaka, I., Zhang, Q., & Mayama, R. (2025). Thermal comfort in mixed-mode cooled houses: A field study in the hot-humid climate of Danang, Vietnam. *Energy and Buildings*, 345, 116091. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116091>
- López-Pérez, L. A., Flores-Prieto, J. J., & Rios-Rojas, C. (2019). Adaptive thermal comfort model for educational buildings in a hot-humid climate. *Building and Environment*, 150, 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.011>
- Maulinda, M. (2023). Analisis kenyamanan termal terhadap rumah tradisional Aceh. *Arsitekno*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.29103/arj.v10i1.8922>
- Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)
- Nugroho, A. M. (2021). Performance of bioclimatic architecture in Bugis vernacular housing: A case study of Jida and Lammada houses. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 48(2), 131–140. <https://doi.org/10.9744/dimensi.48.2.131-140>
- Nugroho, A. M. (2022). Kinerja pendinginan alami pada arsitektur tradisional Jawa: Studi kasus Rumah Joglo Puhti, Ngawi, Jawa Timur. *Jurnal Arsitektur dan Perencanaan (JUARA)*, 5(1), 57–67. <https://doi.org/10.31101/juara.v5i1.2150>
- Nugroho, A. M. (2024). Passive design strategy in vernacular house of Samin, Indonesia. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 51(1), 17–27. <https://doi.org/10.9744/dimensi.51.1.17-27>
- Olgyay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- Oliver, P. (Ed.). (1997). *Encyclopedia of vernacular architecture of the world*. Cambridge University Press.
- Pratiwi, N., Djafar, A. G., Rahmayanti, R., Mutmainnah, N., & Kaharu, A. (2025). Sustainable building: Achieving thermal comfort in hot and humid climate using building performance simulation. *Sustine: Journal of Environment and Sustainability*, 9(1). <https://doi.org/10.22515/sustine.jes.v9i1.460>
- Rahman, N. M. A., Haw, L. C., Fazlizan, A., Hussin, A., & Imran, M. (2021). Thermal comfort assessment

- of naturally ventilated public hospital wards in the tropics. *Building and Environment*, 207, 108480. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108480>
- Rahmayanti, R., & Haisah, S. T. (2020). Efektivitas bukaan pada rumah Bandayo Pobo'ide terhadap kenyamanan fisiologis. *Jurnal Teknik*, 18(2), 82–90. <https://doi.org/10.37031/jt.v18i2.117>
- Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. Prentice-Hall.
- Supriyono, S., Rejeki, V. G. S., Ardiyanto, A., & Hapsari, H. (2018). Kenyamanan termal rumah tinggal vernakular di wilayah lereng gunung: Studi kasus Dusun Kabelukan, Desa Candi Yasan, Kecamatan Kertek, Kabupaten Wonosobo, Jawa Tengah. *Tesa Arsitektur*, 16(1), 49–61. <https://doi.org/10.24167/tesa.v16i1.1673>
- Toe, D. H. C., & Kubota, T. (2013). Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database. *Frontiers of Architectural Research*, 2(3), 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.06.003>