

Pengembangan Model Desain Adaptif untuk Rumah Tinggal Eksisting di Pabuaran Kabupaten Subang Berdasarkan Analisis Risiko Panas Ekstrem

Development of an Adaptive Design Model for Existing Residential Buildings in Pabuaran, Subang Regency Based on Extreme Heat Risk Analysis

Gusti Ananta Satria R¹, Purnama Sakhrial Pradini²

¹ Arsitektur, Teknik, Universitas Pelita Bangsa

² Arsitektur, Teknik, Universitas Pelita Bangsa

¹gustikim5579@gmail.com, ²purnama_sakhrial@pelitabangsa.ac.id*

Abstract

Thermal comfort is a fundamental aspect in residential design within tropical climates, where high ambient temperatures often reduce indoor comfort and increase dependence on mechanical cooling systems. This study aims to evaluate indoor thermal conditions of residential buildings and formulate adaptive design recommendations based on passive architectural strategies. The research focuses on two residential houses with different floor plan configurations to identify spatial characteristics that influence indoor temperature distribution. A quantitative method was applied through direct measurement of indoor air temperature in selected rooms, followed by spatial analysis based on building layout, room orientation, and natural ventilation patterns. The results show that House 1 demonstrates better thermal performance, with indoor temperatures ranging from 28.3°C to 30.0°C, while House 2 records higher temperatures between 29.1°C and 32.0°C. These variations are influenced by room arrangement, effectiveness of cross-ventilation, and vertical placement of ventilation openings. Based on the findings, adaptive façade design recommendations were developed using climate-responsive materials and increased ventilation height to accelerate heat release. The study concludes that optimizing floor plan configuration and natural ventilation strategies can significantly improve indoor thermal comfort in tropical residential buildings without relying on mechanical cooling systems.

Keywords: *thermal comfort, residential building, adaptive design, natural ventilation, tropical climate*

Abstrak

Kenyamanan termal merupakan aspek penting dalam perancangan rumah tinggal di wilayah beriklim tropis, di mana suhu lingkungan yang tinggi sering menurunkan kualitas kenyamanan ruang dalam dan meningkatkan ketergantungan terhadap pendingin mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi termal ruang dalam bangunan rumah tinggal serta merumuskan rekomendasi desain adaptif berbasis strategi pasif. Studi dilakukan pada dua rumah tinggal dengan konfigurasi denah yang berbeda untuk mengidentifikasi pengaruh tata ruang terhadap distribusi suhu udara dalam ruang. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui pengukuran langsung suhu udara ruang, yang selanjutnya dianalisis secara spasial berdasarkan orientasi ruang, susunan denah, serta pola ventilasi alami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Rumah 1 memiliki kinerja termal yang lebih baik dengan rentang suhu antara 28,3°C hingga 30,0°C, sedangkan Rumah 2 mencatat suhu yang lebih tinggi, yaitu antara 29,1°C hingga 32,0°C. Perbedaan ini dipengaruhi oleh efektivitas ventilasi silang, konfigurasi ruang, dan posisi ketinggian bukaan. Berdasarkan hasil tersebut, disusun rekomendasi desain fasad adaptif melalui pemilihan material yang sesuai iklim tropis serta peningkatan ketinggian ventilasi untuk mempercepat pelepasan udara panas. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan desain pasif yang responsif terhadap iklim mampu meningkatkan kenyamanan termal rumah tinggal secara terukur tanpa ketergantungan pada sistem pendingin buatan.

Kata kunci: kenyamanan termal, rumah tinggal, desain adaptif, ventilasi alami, iklim tropis

Pendahuluan

Peningkatan suhu udara sebagai dampak perubahan iklim global telah meningkatkan frekuensi dan intensitas panas ekstrem, yang berdampak langsung pada kenyamanan termal dan kualitas hunian rumah tinggal eksisting di wilayah tropis [1], [2]. Di Indonesia, banyak rumah tinggal dibangun tanpa mempertimbangkan adaptasi jangka panjang terhadap kenaikan suhu, khususnya di kawasan non-perkotaan seperti Kecamatan Pabuaran, Kabupaten Subang. Kondisi ini diperparah oleh penggunaan material bangunan dengan daya serap panas tinggi, sistem ventilasi alami yang terbatas, serta desain atap yang kurang adaptif, sehingga meningkatkan kerentanan bangunan terhadap panas ekstrem pada siang hari [3], [4].

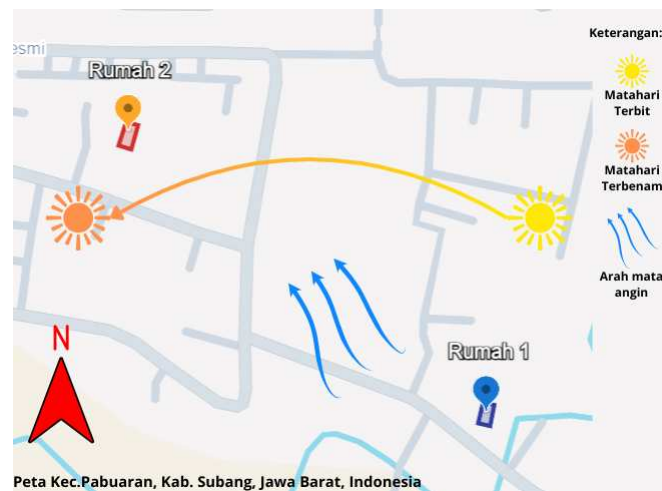
Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan desain pasif dan konsep kenyamanan termal adaptif berperan penting dalam mereduksi beban panas pada bangunan hunian di iklim tropis [5], [6]. Namun demikian, studi mengenai performa termal bangunan umumnya masih berfokus pada bangunan baru atau berbasis simulasi desain ideal, sementara kajian berbasis pengukuran lapangan pada rumah tinggal eksisting relatif terbatas. Sejumlah penelitian telah mengidentifikasi pengaruh material atap, tinggi ruang, dan ventilasi alami terhadap suhu dalam ruang [7], [8], tetapi belum banyak yang mengaitkan hasil pengukuran empiris tersebut secara langsung dengan pengembangan model desain adaptif yang aplikatif dan kontekstual pada kondisi rumah tinggal eksisting di tingkat lokal.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kesenjangan penelitian terkait kurangnya model desain adaptif yang disusun berdasarkan data suhu aktual elemen bangunan dan suhu ruang dalam pada rumah tinggal eksisting, khususnya di wilayah yang rentan terhadap panas ekstrem [9], [10]. Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui pengembangan model desain adaptif berbasis hasil pengukuran suhu permukaan dan suhu ruang pada dua rumah tinggal eksisting dengan karakteristik fisik berbeda di Kecamatan Pabuaran. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi elemen bangunan yang paling berkontribusi terhadap peningkatan suhu ruang serta perumusan strategi adaptif yang realistis dan sesuai dengan kondisi iklim lokal [11], [12].

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja termal rumah tinggal eksisting berdasarkan pengukuran suhu permukaan elemen bangunan dan suhu ruang pada periode panas puncak, serta merumuskan konsep desain adaptif berbasis strategi pasif untuk meningkatkan kenyamanan termal dan ketahanan rumah tinggal terhadap risiko panas ekstrem [5], [13].

Metode Penelitian

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus komparatif pada rumah tinggal eksisting. Rancangan kegiatan penelitian difokuskan pada pengukuran langsung kondisi termal bangunan untuk memahami perbedaan kinerja termal ruang berdasarkan variasi karakteristik fisik bangunan. Pendekatan studi kasus dipilih untuk memungkinkan analisis mendalam terhadap respons termal bangunan dalam kondisi nyata, khususnya pada lingkungan permukiman dengan karakteristik iklim tropis panas yang rentan terhadap peningkatan suhu ekstrem.



Gambar 1 Analisis matahari dan arah angin tapak
 (Sumber: google earth)

Gambar 1 digunakan sebagai dasar analisis kondisi lingkungan tapak yang memengaruhi kinerja termal bangunan, khususnya terkait paparan radiasi matahari dan pola pergerakan angin dominan. Analisis ini bertujuan untuk memahami konteks mikroklimat sekitar rumah tinggal yang menjadi objek penelitian, sehingga hasil pengukuran suhu dapat diinterpretasikan secara lebih komprehensif. Informasi mengenai lintasan matahari dan arah angin dimanfaatkan untuk mengidentifikasi potensi paparan panas pada elemen selubung bangunan serta peluang terjadinya ventilasi alami, yang selanjutnya menjadi pertimbangan dalam membandingkan respons termal antar studi kasus dan dalam merumuskan strategi desain adaptif berbasis kondisi tapak.

Tabel 1 . Karakteristik Sampel Penelitian

No	Parameter	Rumah 1	Rumah 2
1	Koordinat	6°24'44"S 107°35'31"E	6°24'35"S 107°35'21"E
2	Luas bangunan	112,5 m ²	137,5 m ²
3	Orientasi bangunan	Arah Selatan	Arah Selatan

Berdasarkan karakteristik sampel penelitian, kedua rumah berada pada lokasi geografis yang berdekatan di Kecamatan Pabuaran, Kabupaten Subang, dengan koordinat yang relatif serupa, sehingga diasumsikan memiliki kondisi iklim mikro yang sebanding. Rumah 1 memiliki luas bangunan sebesar 112,5 m², sedangkan Rumah 2 memiliki luas bangunan yang lebih besar, yaitu 137,5 m², yang berpotensi memengaruhi distribusi panas dan volume udara dalam ruang. Meskipun terdapat perbedaan luasan bangunan, kedua rumah memiliki orientasi bangunan yang sama, yaitu menghadap ke arah selatan, sehingga paparan radiasi matahari utama pada fasad relatif sebanding. Kesamaan orientasi ini memperkuat analisis komparatif karena perbedaan kondisi termal yang teridentifikasi lebih dominan dipengaruhi oleh karakteristik fisik bangunan dan material, bukan oleh perbedaan arah orientasi bangunan.



Gambar 2 Termometer inframerah & Termometer digital

Selain data suhu, karakteristik fisik bangunan dicatat melalui observasi langsung yang mencakup konfigurasi ruang, tinggi ruang, jenis dan dimensi bukaan, serta sistem ventilasi alami. Evaluasi terhadap sistem ventilasi dilakukan dengan mengacu pada prinsip perancangan penghawaan bangunan gedung yang berlaku di Indonesia sebagai acuan dalam menilai kecukupan ventilasi alami dalam mereduksi akumulasi panas di dalam ruang [14]. Data karakteristik fisik ini digunakan untuk mendukung interpretasi hasil pengukuran termal dan memahami hubungan antara kondisi bangunan dengan variasi suhu ruang yang teridentifikasi.

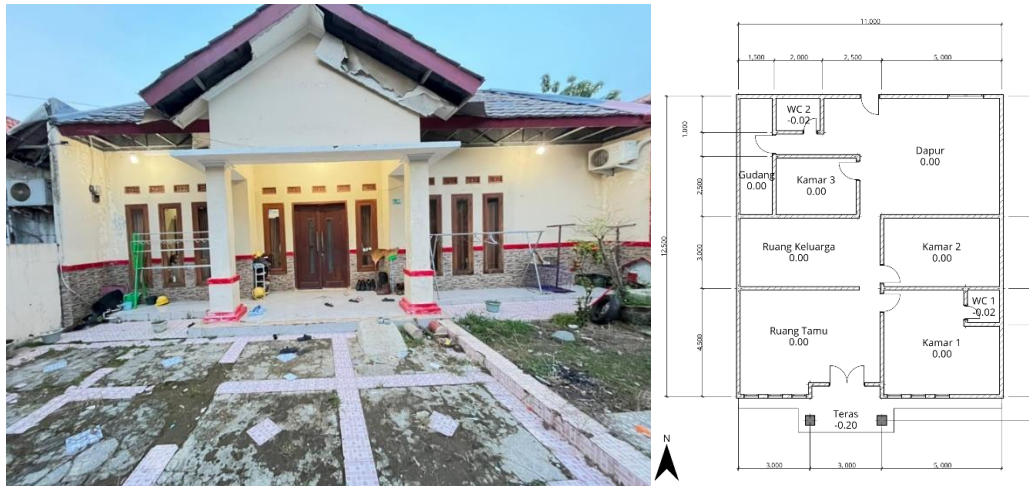
Teknik analisis penelitian dilakukan secara deskriptif dan komparatif dengan membandingkan suhu permukaan dan suhu udara antar ruang serta antar studi kasus rumah tinggal. Analisis difokuskan pada identifikasi pola distribusi panas dan tingkat potensi risiko panas ekstrem di dalam bangunan. Hasil analisis selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perumusan model desain adaptif rumah tinggal eksisting berbasis strategi pasif yang kontekstual terhadap kondisi iklim lokal Kecamatan Pabuaran, Kabupaten Subang.

Hasil dan Pembahasan



Gambar 3 Kondisi eksisting dan denah Rumah 1

Rumah 1 memiliki luas bangunan sebesar 112,5 m² dengan tinggi ruang 3,75 meter. Sistem ventilasi diterapkan pada seluruh sisi bangunan dengan posisi bukaan sekitar 1 meter dari plafon, sehingga memungkinkan terjadinya sirkulasi udara silang dan pembuangan udara panas secara efektif. Konfigurasi ini mendukung pergerakan udara vertikal dan horizontal yang optimal, sehingga panas yang terakumulasi di bagian atas ruang dapat dilepaskan dengan lebih cepat. Meskipun memiliki luasan bangunan yang lebih kecil dibandingkan Rumah 2, kombinasi tinggi ruang dan ventilasi menyeluruh menjadikan Rumah 1 memiliki kinerja termal yang lebih baik.



Gambar 4 Kondisi eksisting dan denah Rumah 2

Rumah 2 memiliki luas bangunan sebesar 137,5 m² dan tinggi ruang 3 meter. Sistem ventilasi hanya terdapat pada dua sisi bangunan, yaitu sisi utara dan selatan, dengan posisi sekitar 0,5 meter dari plafon. Konfigurasi ventilasi yang terbatas serta tinggi ruang yang lebih rendah menyebabkan sirkulasi udara panas kurang optimal, sehingga panas cenderung terperangkap di dalam ruang.

Tabel 2 Karakteristik material Rumah 1

No	Ruang	Material Atap	Material Dinding	Material Lantai	Material Pintu	Material Jendela	Material Ventilasi
1	Teras	Genteng beton	Batu bata (cat putih)	Granite 60x60 cm	Kayu 150x200 cm	Kayu 2x(50x170 cm)	Kayu 5x(30x15 cm)
2	Ruang Tamu	Genteng beton	Batu bata (cat putih)	Granite 60x60 cm	Kayu 150x200 cm	Kayu 2x(50x170 cm)	Kayu 7x(30x15 cm)
3	Ruang Keluarga	Genteng beton	Batu bata (cat putih)	Granite 60x60 cm	Kayu 80x200 cm	Kayu 2x(50x150 cm)	Kayu 8x(30x15 cm)
4	Kamar 1	Genteng beton	Batu bata (cat abu-abu)	Granite 60x60 cm	Kayu 80x200 cm	Kayu 3x(50x170 cm)	Kayu 3x(30x15 cm)
5	Kamar 2	Genteng beton	Batu bata (cat putih)	Granite 60x60 cm	Kayu 80x200 cm	Kayu 2x(50x150 cm)	Kayu 2x(30x15 cm)
6	Kamar 3	Genteng beton	Batu bata (cat krem)	Granite 60x60 cm	Kayu 80x200 cm	Kayu 2x(50x150 cm)	Kayu 2x(30x15 cm)
7	WC 1	Genteng beton	Batu bata (keramik)	Keramik 25x25 cm	PVC 60x180 cm	-	Kaca 2x(30x15 cm)
8	WC 2	Genteng beton	Batu bata (keramik)	Keramik 25x25 cm	PVC 60x180 cm	-	Kaca 2x(30x15 cm)
9	WC 3	Genteng beton	Batu bata (keramik)	Keramik 25x25 cm	PVC 60x180 cm	-	Kaca 3x(30x15 cm)
10	Dapur	Genteng beton	Batu bata (cat krem)	Granite 60x60 cm	Kayu 80x200 cm	Kayu 50x150 cm	Kayu 6x(30x15 cm)

Kondisi ini menunjukkan bahwa material bangunan pada Rumah 1 secara umum didominasi oleh konstruksi konvensional rumah tinggal di iklim tropis lembap, dengan penggunaan atap berbasis beton, dinding pasangan bata, serta bukaan berbahan kayu. Karakteristik material tersebut menunjukkan

kecenderungan massa termal yang cukup besar, terutama pada elemen atap dan dinding, yang berpotensi menyimpan panas dan memengaruhi kondisi termal ruang dalam apabila tidak diimbangi dengan strategi ventilasi yang memadai. Dalam konteks iklim panas, material bermassa tinggi dapat meningkatkan risiko akumulasi panas siang hari dan pelepasan panas tertunda pada sore hingga malam hari, sehingga berdampak pada kenyamanan termal penghuni [1], [2], [3].

Di sisi lain, variasi material lantai, bukaan, dan ventilasi antar ruang menunjukkan adanya perbedaan respons termal sesuai fungsi ruang. Penggunaan lantai berlapis keras seperti granit dan keramik berkontribusi terhadap stabilitas suhu permukaan, sementara sistem ventilasi alami berbasis bukaan kayu dan kaca berperan penting dalam mendukung pergerakan udara silang. Strategi ini sejalan dengan prinsip desain pasif tropis yang menekankan optimasi ventilasi alami untuk mengurangi ketergantungan pada sistem mekanis serta menurunkan risiko panas berlebih di dalam bangunan hunian eksisting [4], [5], [6]. Temuan ini memperkuat pentingnya integrasi antara pemilihan material dan konfigurasi bukaan dalam pengembangan model desain adaptif yang kontekstual terhadap iklim lokal.

Tabel 3 Karakteristik material Rumah 2

No	Ruang	Material Atap	Material Dinding	Material Lantai	Material Pintu	Material Jendela	Material Ventilasi
1	Teras	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Kayu 120x200 cm	Kayu 5x(50x170 cm)	Kayu 9x(30x15 cm)
2	Ruang Tamu	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Kayu 120x200 cm	Kayu 5x(50x170 cm)	Kayu 9x(30x15 cm)
3	Ruang Keluarga	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Kayu 80x200 cm	-	-
4	Kamar 1	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Kayu 80x200 cm	Kayu 3x(50x170 cm)	Kayu 4x(30x15 cm)
5	Kamar 2	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Kayu 80x200 cm	-	Kayu 80x50 cm
6	Kamar 3	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Kayu 80x200 cm	-	Kayu 80x50 cm
7	WC 1	Genteng alumunium	Batu bata (keramik)	Keramik 25x25 cm	PVC 60x180 cm	-	Kaca 2x(30x15 cm)
8	WC 2	Genteng alumunium	Batu bata (keramik)	Keramik 25x25 cm	PVC 60x180 cm	-	Kaca 2x(30x15 cm)
9	Dapur	Genteng alumunium	Batu bata (keramik)	Keramik 40x40 cm	Kayu 70x180 cm	Kayu 2x(50x50 cm)	Kayu 100x50 cm
10	Gudang	Genteng alumunium	Batu bata (cat krem)	Keramik 40x40 cm	Alumunium 70x180 cm	Kayu 2x(50x50 cm)	Kayu 100x50 cm

Karakteristik material pada Rumah 2 menunjukkan kecenderungan penggunaan elemen bangunan dengan kapasitas serap panas yang relatif tinggi, terutama pada komponen atap dan dinding. Penggunaan genteng aluminium sebagai penutup atap pada seluruh ruang berpotensi meningkatkan beban panas radiasi ke dalam bangunan karena sifat konduktivitas termalnya yang lebih tinggi dibandingkan genteng beton atau tanah liat, khususnya pada periode puncak siang hari. Kondisi ini sejalan dengan temuan Santamouris yang menyebutkan bahwa material atap berdaya serap panas tinggi berkontribusi signifikan terhadap peningkatan suhu ruang dalam bangunan di iklim panas-lembap [1]. Dinding bata dengan *finishing* cat krem atau keramik juga berperan dalam akumulasi panas, meskipun warna terang relatif membantu mengurangi absorptansi radiasi matahari dibandingkan warna gelap [2].

Pada elemen lantai, dominasi material keramik berukuran sedang hingga besar berkontribusi terhadap efek penyimpanan panas (*thermal mass*) yang dapat memperlambat pelepasan panas pada sore hingga malam hari. Sementara itu, variasi pada elemen bukaan seperti pintu, jendela, dan ventilasi menunjukkan perbedaan kapasitas aliran udara antar ruang. Ruang dengan bukaan dan ventilasi yang lebih terbatas berpotensi mengalami akumulasi panas yang lebih besar dibandingkan ruang dengan ventilasi silang yang memadai. Hal ini sesuai dengan konsep kenyamanan termal adaptif yang menekankan peran ventilasi alami dalam menjaga suhu ruang tetap berada pada batas kenyamanan tanpa ketergantungan pada sistem mekanis [3], [4]. Dengan demikian, kombinasi material berkonduktivitas tinggi dan keterbatasan sistem ventilasi pada beberapa ruang Rumah 2 menjadi faktor penting yang memengaruhi risiko panas ekstrem dan menjadi dasar perlunya pengembangan strategi desain adaptif berbasis pendekatan pasif.

Tabel 4 Hasil pengukuran suhu permukaan dan ruangan Rumah 1

No	Ruang	Suhu Permukaan Dinding (°C)	Suhu Permukaan Atap (°C)	Suhu Udara (°C)
1	Teras	33,0	46,0	30,1
2	Ruang Tamu	30,6	31,1	30,0
3	Ruang Keluarga	26,9	32,1	29,8
4	Kamar 1	29,9	33,3	30,0
5	Kamar 2	28,2	33,2	28,3
6	Kamar 3	26,1	31,5	29,2
7	WC 1	29,9	33,3	29,7
8	WC 2	28,2	33,2	28,3
9	WC 3	26,1	31,5	29,2
10	Dapur	28,8	41,5	28,9

Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan respons termal antar ruang di Rumah 1 yang dipengaruhi oleh paparan panas matahari, jenis material, serta posisi dan fungsi ruang. Ruang-ruang yang berada di area transisi dan memiliki kontak langsung dengan lingkungan luar memperlihatkan kecenderungan suhu permukaan yang lebih tinggi, terutama pada elemen atap. Kondisi ini mengindikasikan bahwa radiasi matahari yang diterima atap menjadi sumber utama peningkatan beban panas bangunan pada periode siang hari. Fenomena tersebut sejalan dengan kajian Santamouris yang menyatakan bahwa atap merupakan elemen paling dominan dalam transfer panas pada bangunan rendah di iklim tropis, khususnya ketika menggunakan material dengan kapasitas isolasi termal terbatas [1].

Pada ruang-ruang dalam, suhu permukaan dinding cenderung lebih rendah dibandingkan suhu permukaan atap, sementara suhu udara ruang relatif mendekati suhu permukaan dinding. Hal ini menunjukkan peran massa termal dinding bata yang mampu meredam fluktuasi panas dan menjaga stabilitas suhu ruang dalam batas tertentu. Temuan ini konsisten dengan teori bangunan tropis yang menekankan fungsi dinding bermassa sebagai elemen penyangga panas (*thermal buffer*), terutama ketika dipadukan dengan ventilasi alami yang memadai [2], [3]. Meskipun demikian, pada beberapa ruang dengan suhu atap yang sangat tinggi, panas tetap terakumulasi dan berpotensi meningkatkan ketidaknyamanan termal jika tidak diimbangi oleh strategi pelepasan panas yang efektif.

Secara keseluruhan, variasi suhu permukaan dan suhu ruang pada Rumah 1 mencerminkan mekanisme adaptasi pasif yang masih bekerja secara parsial. Kondisi ini mendukung konsep kenyamanan termal adaptif, di mana penghuni dapat mentoleransi suhu ruang yang relatif tinggi selama terdapat sirkulasi udara dan perbedaan suhu antar elemen bangunan yang tidak ekstrem [4], [5]. Oleh karena itu, data ini menjadi dasar penting dalam pengembangan rekomendasi desain adaptif, khususnya terkait optimalisasi material atap, peningkatan ventilasi silang, dan pengendalian radiasi panas pada bangunan rumah tinggal eksisting.

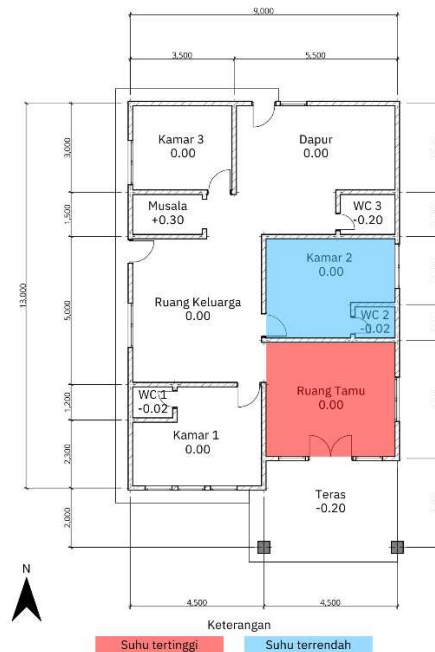
Tabel 5 Hasil pengukuran suhu permukaan dan ruangan Rumah 2

No	Ruang	Suhu Permukaan Dinding (°C)	Suhu Permukaan Atap (°C)	Suhu Udara (°C)
1	Teras	37,4	51,1	32,1
2	Ruang Tamu	29,7	32,9	32,0
3	Ruang Keluarga	29,0	36,4	30,9
4	Kamar 1	32,6	32,9	29,1
5	Kamar 2	29,0	32,6	29,2
6	Kamar 3	29,7	36,4	30,9
7	WC 1	32,6	32,9	29,1
8	WC 2	35,2	36,4	29,1
9	Dapur	37,4	36,4	31,0
10	Gudang	35,2	43,6	30,9

Hasil pengukuran pada Rumah 2 menunjukkan kecenderungan suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan Rumah 1, terutama pada elemen atap dan dinding ruang-ruang yang berhubungan langsung dengan lingkungan luar. Penggunaan material atap berbahan aluminium memperlihatkan kontribusi signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan, yang kemudian berdampak pada suhu udara ruang di bawahnya. Kondisi ini sejalan dengan temuan Santamouris yang menyebutkan bahwa material atap dengan konduktivitas termal tinggi dan kapasitas isolasi rendah cenderung mempercepat perpindahan panas ke dalam bangunan, khususnya pada periode siang hari dengan intensitas radiasi matahari tinggi [1].

Pada ruang-ruang utama seperti ruang tamu, ruang keluarga, dan kamar tidur, suhu udara ruang relatif mendekati atau bahkan melebihi suhu kenyamanan termal adaptif untuk iklim tropis lembap. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat bukaan dan ventilasi, mekanisme pendinginan pasif belum sepenuhnya efektif dalam mereduksi akumulasi panas. Temuan ini konsisten dengan konsep kenyamanan termal adaptif yang dikemukakan oleh de Dear dan Brager, bahwa toleransi penghuni terhadap suhu tinggi sangat dipengaruhi oleh kualitas ventilasi alami dan kemampuan bangunan dalam membuang panas tersimpan [2], [3].

Ruang-ruang servis seperti dapur dan gudang memperlihatkan kecenderungan suhu permukaan yang lebih ekstrem, baik pada dinding maupun atap, yang berimplikasi pada meningkatnya suhu udara ruang secara keseluruhan. Kondisi ini menunjukkan adanya akumulasi panas akibat minimnya ventilasi silang dan tingginya beban panas dari material serta aktivitas di dalam ruang. Fenomena tersebut memperkuat teori bangunan tropis yang menyatakan bahwa ruang dengan ventilasi terbatas dan material berdaya serap panas tinggi berpotensi menjadi titik panas (*hot spot*) dalam bangunan rumah tinggal [4], [5]. Oleh karena itu, data Rumah 2 menegaskan urgensi penerapan strategi desain adaptif yang lebih agresif, khususnya pada pengendalian panas atap, optimalisasi ventilasi, dan pemilihan material selubung bangunan yang lebih responsif terhadap iklim lokal.



Gambar 5 Titik suhu ruang tertinggi dan terendah pada denah Rumah 1

Gambar 5 menggambarkan sebaran titik suhu ruang tertinggi dan terendah pada denah Rumah 1, yang memperlihatkan adanya variasi kondisi termal antar ruang dalam satu unit rumah tinggal. Visualisasi ini digunakan untuk mengidentifikasi ruang-ruang yang cenderung mengalami akumulasi panas lebih besar serta ruang yang relatif lebih stabil secara termal. Pola sebaran tersebut menunjukkan bahwa posisi ruang terhadap lingkungan luar, keterhubungan dengan teras, serta konfigurasi ruang dalam bangunan berperan dalam membentuk perbedaan respons termal, sebagaimana dijelaskan dalam kajian kinerja termal bangunan hunian di iklim tropis [7], [9].

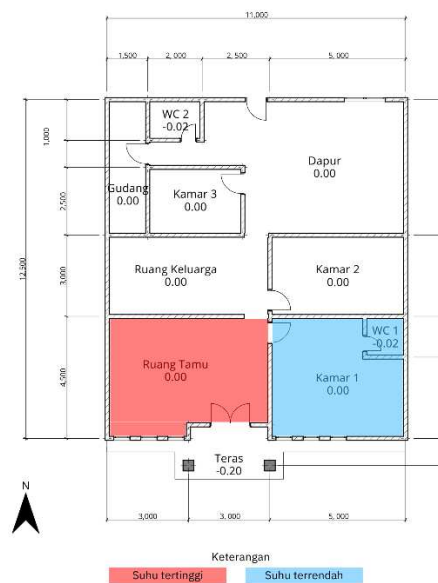


Gambar 6 Pengukuran suhu tertinggi dan terendah Rumah 1

Pengukuran suhu ruang dilakukan secara langsung pada periode panas puncak untuk menangkap kondisi termal aktual yang dialami penghuni. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu ruang tertinggi pada

Rumah 1 mencapai sekitar 30,0 °C, sedangkan suhu ruang terendah berada pada kisaran 28,3 °C. Rentang suhu ini merepresentasikan kondisi termal alami bangunan tanpa bantuan pendingin mekanis dan mencerminkan interaksi antara material bangunan, ventilasi, serta pengaruh radiasi matahari. Pendekatan pengukuran lapangan seperti ini umum digunakan dalam studi kenyamanan termal adaptif untuk memperoleh gambaran nyata kondisi ruang hunian [1], [3], [10].

Meskipun perbedaan suhu antar ruang relatif tidak ekstrem, keberadaan ruang dengan suhu mendekati batas atas kenyamanan menunjukkan potensi risiko panas pada ruang tertentu, terutama yang berhubungan langsung dengan lingkungan luar. Menurut konsep kenyamanan termal adaptif, suhu dalam rentang tersebut masih dapat ditoleransi oleh penghuni iklim tropis lembap, namun sangat bergantung pada kualitas ventilasi alami dan kemampuan bangunan dalam melepaskan panas tersimpan [1], [2]. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan pentingnya strategi desain adaptif berbasis pendekatan pasif, seperti pengendalian panas pada selubung bangunan dan optimalisasi ventilasi silang, untuk menjaga kestabilan suhu ruang dan meningkatkan ketahanan rumah tinggal eksisting terhadap panas ekstrem [7], [8].



Gambar 7 Titik suhu tertinggi dan terendah pada denah Rumah 2

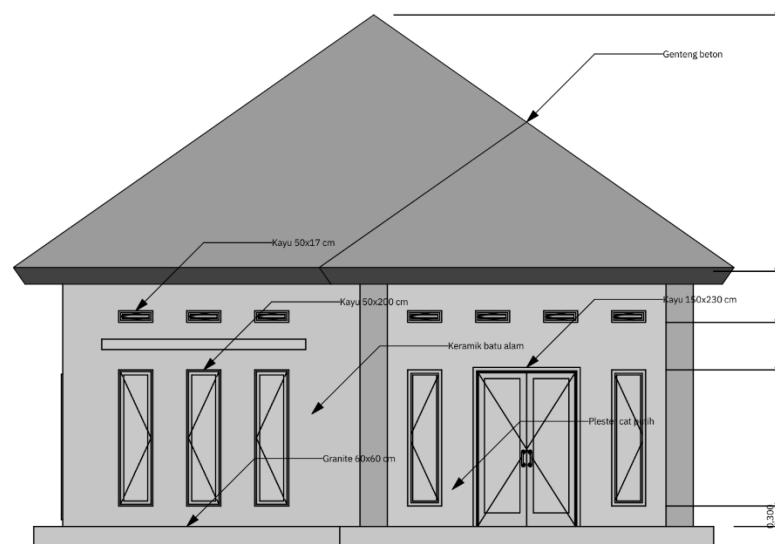
Gambar 7 memperlihatkan distribusi titik suhu ruang tertinggi dan terendah pada denah Rumah 2, yang menunjukkan perbedaan kondisi termal antar ruang yang lebih kontras dibandingkan Rumah 1. Visualisasi ini menegaskan adanya ruang-ruang yang berfungsi sebagai titik akumulasi panas, terutama pada area yang memiliki keterbukaan langsung terhadap lingkungan luar dan paparan radiasi matahari yang lebih intens. Pola sebaran suhu tersebut mencerminkan pengaruh konfigurasi ruang, posisi bukaan, serta karakteristik material selubung bangunan terhadap kinerja termal hunian, sebagaimana banyak dibahas dalam studi bangunan hunian di iklim tropis panas [7], [9].



Gambar 8 Pengukuran suhu tertinggi dan terendah Rumah 2

Pengukuran suhu ruang pada Rumah 2 dilakukan pada periode panas puncak untuk menangkap kondisi termal aktual bangunan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu ruang tertinggi mencapai sekitar 32,0 °C, sedangkan suhu ruang terendah berada pada kisaran 29,1 °C. Rentang suhu ini mengindikasikan tingkat panas dalam ruang yang relatif tinggi dan mendekati, bahkan melampaui, ambang kenyamanan termal adaptif untuk bangunan hunian tanpa pendingin mekanis. Pendekatan pengukuran lapangan seperti ini umum digunakan untuk mengevaluasi performa termal aktual bangunan eksisting dan dampaknya terhadap kenyamanan penghuni [1], [3], [10].

Perbedaan suhu antar ruang yang cukup signifikan pada Rumah 2 menunjukkan adanya akumulasi panas yang lebih besar, khususnya pada ruang dengan paparan langsung terhadap panas atap dan ventilasi yang kurang efektif. Menurut konsep kenyamanan termal adaptif, kondisi suhu pada kisaran tersebut meningkatkan risiko ketidaknyamanan termal, terutama ketika kemampuan bangunan untuk melepaskan panas tersimpan terbatas [1], [2]. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa material atap ringan dengan konduktivitas termal tinggi dan minim insulasi berkontribusi terhadap peningkatan suhu ruang di bawahnya [7], [8]. Oleh karena itu, hasil ini menegaskan urgensi penerapan strategi desain adaptif yang lebih intensif pada Rumah 2, terutama dalam pengendalian panas atap, peningkatan ventilasi silang, dan optimalisasi desain selubung bangunan agar lebih responsif terhadap iklim lokal.



Gambar 9 Rekomendasi fasad rumah tampak depan

Berdasarkan hasil pembahasan kinerja termal sebelumnya, denah Rumah 1 dipilih sebagai dasar pengembangan konsep adaptif karena menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mereduksi akumulasi panas dibandingkan Rumah 2. Pilihan ini kemudian diterjemahkan ke dalam rekomendasi fasad tampak depan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, yang menekankan respons bangunan terhadap iklim tropis panas melalui pengendalian radiasi matahari, ventilasi alami, dan pemilihan material selubung. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip arsitektur adaptif yang menempatkan desain pasif sebagai strategi utama dalam meningkatkan kenyamanan termal hunian tanpa ketergantungan pada sistem mekanis [1], [7].

Salah satu rekomendasi utama pada fasad adaptif ini adalah penyesuaian posisi dan ketinggian ventilasi, di mana ventilasi ditempatkan pada jarak sekitar 750 cm dari plafon. Penempatan ventilasi pada elevasi yang lebih tinggi bertujuan untuk mempercepat pelepasan udara panas yang terakumulasi di lapisan atas ruang, mengingat udara panas memiliki densitas lebih ringan dan cenderung bergerak ke atas. Strategi ini mendukung mekanisme *stack effect* yang terbukti efektif dalam meningkatkan sirkulasi udara alami dan menurunkan suhu ruang dalam bangunan hunian di iklim tropis [2], [9]. Dengan demikian, perubahan posisi ventilasi ini merupakan penyempurnaan dari konfigurasi sebelumnya, tanpa mengubah organisasi ruang dasar yang telah terbukti lebih adaptif secara termal.

Selain pengaturan ventilasi, rekomendasi fasad juga mencakup pemilihan material dan komposisi elemen bangunan yang memiliki respons termal lebih baik, seperti penggunaan atap genteng beton dengan kemiringan yang memadai, elemen kayu sebagai peneduh, serta perlakuan dinding yang tidak meningkatkan penyerapan panas secara berlebihan. Kombinasi elemen tersebut diarahkan untuk mendukung kinerja termal bangunan secara pasif sekaligus menyesuaikan dengan kondisi iklim setempat. Rekomendasi ini tidak hanya bertujuan menurunkan suhu ruang secara kuantitatif, tetapi juga memperkuat kualitas kenyamanan ruang hunian melalui pendekatan desain yang adaptif, kontekstual, dan aplikatif terhadap hasil pengamatan lapangan serta karakter lingkungan tropis [15].



Gambar 10 Rekomendasi fasad rumah 3D

Berdasarkan rekomendasi dan tujuan desain adaptif yang telah dirumuskan pada pembahasan sebelumnya, visualisasi rumah 3D pada Gambar 10 merepresentasikan penerapan strategi arsitektur pasif secara terpadu dan kontekstual. Komposisi fasad dirancang untuk merespons iklim tropis melalui penggunaan bukaan horizontal berukuran memanjang pada bagian atas dinding, yang berfungsi sebagai jalur pelepasan udara panas sekaligus mendukung ventilasi alami vertikal. Posisi ventilasi yang ditempatkan lebih tinggi dari bidang aktivitas ruang memungkinkan akumulasi panas di bagian atas ruangan dapat dikeluarkan secara lebih efektif, sehingga mendukung penurunan suhu ruang dalam secara pasif sebagaimana ditunjukkan oleh hasil pengukuran termal sebelumnya. Elemen teras yang menjorok ke depan dengan kolom penyangga juga berperan sebagai pelindung fasad utama dari paparan radiasi matahari langsung, khususnya pada siang hari, sehingga membantu mengurangi beban panas yang masuk ke ruang tamu sebagai area dengan suhu tertinggi pada denah terpilih.

Pemilihan material pada fasad, seperti kombinasi dinding bertekstur batu alam dan plesteran berwarna terang, turut memperkuat kinerja termal bangunan dengan meminimalkan penyerapan panas berlebih serta meningkatkan kapasitas pelepasan panas permukaan. Atap limasan dengan overstek yang cukup lebar dirancang untuk melindungi dinding dan bukaan dari hujan serta radiasi matahari, sekaligus mendukung pergerakan udara di sekitar bangunan. Secara keseluruhan, rekomendasi desain rumah 3D ini tidak hanya menegaskan keunggulan denah Rumah 1 dalam mereduksi panas, tetapi juga menerjemahkan hasil evaluasi suhu ruang menjadi solusi desain adaptif yang aplikatif, terukur, dan relevan dengan karakter iklim tropis, sejalan dengan tujuan peningkatan kenyamanan termal hunian secara pasif [15].

Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian analisis yang telah dilakukan, penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan konfigurasi denah, orientasi bangunan, serta strategi ventilasi memiliki pengaruh nyata terhadap kinerja termal hunian. Hasil pengukuran suhu ruang memperlihatkan bahwa Rumah 1 memiliki rentang suhu yang lebih rendah dan stabil dibandingkan Rumah 2, dengan suhu tertinggi mencapai $30,0^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah $28,3^{\circ}\text{C}$, sedangkan Rumah 2 mencatat suhu tertinggi $32,0^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah $29,1^{\circ}\text{C}$. Kondisi tersebut menegaskan bahwa denah Rumah 1 lebih efektif dalam mereduksi akumulasi panas, terutama melalui pengaturan ruang, bukaan, dan potensi aliran udara. Temuan ini kemudian menjadi dasar dalam perumusan

rekomendasi desain adaptif, khususnya pada fasad dan sistem ventilasi, termasuk penyesuaian ketinggian ventilasi untuk mempercepat pembuangan udara panas. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan strategi desain pasif yang responsif terhadap iklim lokal mampu meningkatkan kenyamanan termal ruang hunian secara terukur tanpa ketergantungan pada sistem pendingin mekanis. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengukuran dalam rentang waktu yang lebih panjang serta pengujian variabel tambahan seperti kelembapan udara dan kecepatan angin dalam ruang guna memperoleh gambaran kinerja termal yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- [1] De Dear Richard and Brager GS., "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference," *ASHRAE Trans.*, vol. 104, Part, 1988, [Online]. Available: <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>
- [2] G. S. Brager and R. J. de Dear, "Thermal adaptation in the built environment: a literature review," *Energy Build.*, vol. 27, no. 1, pp. 83–96, Feb. 1998, doi: 10.1016/S0378-7788(97)00053-4.
- [3] J. F. Nicol and M. A. Humphreys, "Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings," *Energy Build.*, vol. 34, no. 6, pp. 563–572, Jul. 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00006-3.
- [4] ASHRAE, *ASHRAE Handbook - Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/>
- [5] "Adaptation to Climate Change: Heat Stress and the Built Environment," Nairobi, 2021. [Online]. Available: <https://www.unep.org/>
- [6] "Housing and Health Guidelines," Geneva, 2018. [Online]. Available: <https://www.who.int/>
- [7] M. Santamouris, "Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change," *Energy Build.*, vol. 207, p. 109482, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109482.
- [8] M. et al. Santamouris, "Passive cooling and urban heat mitigation techniques to fight extreme heat events," *Energy Build.*, vol. 223, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110132.
- [9] Y. Y., Z. Z., and W. L., "Thermal performance of residential buildings under extreme heat conditions in tropical climates," *Build. Environ.*, vol. 180, 2020, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107089.
- [10] Chen S., W. J., L. Y., and Zhang X., "Evaluation of indoor thermal comfort in naturally ventilated residential buildings during heat waves," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 65, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102573.
- [11] T. A., "Outdoor thermal comfort and heat stress mitigation in residential areas," *Build. Environ.*, vol. 195, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107746.
- [12] A. F., B. N., D. M. R. F., M. G. M., and V. G. P., "Adaptive building envelopes for thermal comfort under climate change scenarios," *Appl. Energy*, vol. 281, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116019.
- [13] Z. H., C. Y., W. Z., and L. X., "Thermal resilience of residential buildings under future extreme heat events," *Energy Build.*, vol. 253, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111511.
- [14] Badan Nasional Standarisasi, "SNI 03-6572-2001: Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung," Jakarta, 2011.
- [15] Badan Nasional Standarisasi, "SNI 1726:2020 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," Jakarta, 2020.