



Kajian Penggunaan *Coating* Atap terhadap Termal Bangunan Studi Kasus Rumah Bali Kontemporer

Study of Roof Coating Usage on Building Thermal a Case Study of Contemporary Balinese House

I Kadek Agus Darmayoga^{1*}, I Putu Weka Wendyputra¹, Ni Made Yudiantini¹, Try Ramadhan²

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali¹
Pendidikan Teknik Arsitektur, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung²

*Corresponding author: darmayoga049@unud.ac.id

Article history

Received: 04 Feb 2024
Accepted: 21 Aug 2024
Published: 30 Oct 2024

Abstract

Bali is one of the tropical locations where urban heat islands are felt. An alternative that may be discussed in an effort to lessen solar heat radiation in buildings in order to improve thermal comfort without having a detrimental effect on the environment is solar reflecting paint. This study uses the Autodesk Ecotect Analysis 2011 software simulation method to demonstrate the impact of applying a layer of solar reflecting paint coating (Solar Reflectance Index = 106) on the roof of a contemporary Balinese structure. The thermal comfort of the original model and the model covered in reflective paint were compared using simulation data in the form of Mean Radiant Temperature (MRT), Predicted Mean Vote (PMV), and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). A decline in the MRT, PMV, and PPD values is indicative of a change in the average thermal conditions of buildings, according to the research findings.

Keywords: coating; contemporary Bali; thermal comfort

Abstrak

Urban heat island dirasakan berbagai kawasan di daerah tropis, termasuk di daerah Bali. Pembahasan mengenai cat reflektif surya dapat menjadi alternatif dalam upaya mengurangi radiasi panas matahari ke dalam bangunan guna meningkatkan kenyamanan termal tanpa memberikan dampak negatif kepada lingkungan. Tujuan penelitian ini untuk membuktikan pengaruh penggunaan lapisan *coating* cat reflektif surya (*Solar Reflectance Index* = 106) pada atap bangunan Kontemporer Bali dengan metode simulasi software *Autodesk Ecotect Analysis 2011*. Data simulasi berupa *Mean Radiant Temperature* (MRT), *Predicted Mean Vote* (PMV), dan *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD), yang digunakan sebagai variabel pembanding kenyamanan termal model *existing* dengan model terlapis cat reflektif. Hasil penelitian menunjukkan adanya perkembangan kondisi termal rata-rata bangunan yang ditunjukkan dengan penurunan nilai MRT, PMV, dan PPD.

Kata kunci: coating; kontemporer Bali; kenyamanan termal

1. PENDAHULUAN

Dasar penerapan arsitektur tradisional adalah hasil pengalaman iklim yang telah membuktikan kemampuan merespon iklim dengan baik (DD dkk., 2016). Kenyataannya, rumah masa kini jarang mempertimbangkan prinsip-prinsip tersebut. Ditambah maraknya modernisasi dan urbanisasi yang terjadi di Indonesia dan menimbulkan dampak perubahan iklim dan tutupan lahan (Wirayuda dkk., 2023). Perubahan iklim berdampak pada lebih tingginya temperatur wilayah perkotaan dibandingkan pinggiran kota yang disebut fenomena *Urban Heat Island* (Chairuman, M., Wihadanto, A., & Rusdiyanto, E., 2023). Bali menjadi salah satu daerah terdampak fenomena ini akibat gencarnya urbanisasi yang merusak kelestarian prinsip rumah tradisional serta ketersediaan ruang terbuka hijau, sesuai pernyataan Arnowo. H., (2023) yang mengemukakan kondisi terkini ruang terbuka hijau di Indonesia yang nyatanya jauh dari harapan. Evolusi menuju gaya arsitektur Kontemporer Bali menimbulkan isu termal pada bangunan yang diakibatkan kenaikan suhu global dan penggunaan teknologi modern dengan konsumsi energi lebih banyak dan peningkatan emisi karbon.

Pada hakikatnya, arsitektur Kontemporer Bali memiliki prinsip yang berkaitan erat dengan arsitektur berkelanjutan yaitu mempertimbangkan dampak didirikannya bangunan terhadap lingkungan. Arsitektur Kontemporer Bali yaitu arsitektur yang tumbuh, berkembang, serta mampu dipertahankan di Bali yang kemudian dikenal dengan istilah arsitektur Bali (Susanta & Wiryawan, 2016 dalam Sianipar, E. D. P., & Primanizar, R., 2024). Arsitektur Kontemporer Bali memiliki ciri kebebasan berekspresi, inovatif, serta berupa kombinasi dari beberapa aliran arsitektur. Belakangan ini muncul isu pada bangunan Bali yaitu menyempitnya lahan pembangunan yang disebabkan perkembangan modernisme. Massa majemuk yang menjadi ciri khas bangunan Bali menjadi faktor timbulnya isu tersebut, yang berdampak pada munculnya desain bangunan tanpa jarak memadai untuk sirkulasi udara. Isu ini memengaruhi peletakan ventilasi udara hanya pada sisi depan yang tidak memungkinkan terjadinya *cross ventilation*. Inovasi pun mulai

bermunculan dalam upaya memberikan kenyamanan termal tanpa mengubah massa bangunan *existing*, contohnya melalui penerapan lapisan atau *coating* material yang digunakan dalam perencanaan bangunan bergaya Kontemporer Bali yang juga dapat memperpanjang umur suatu material bangunan.

Penggunaan *coating* pada material telah menjadi topik penting dalam konteks *sustainable architecture*. Arsitektur berkelanjutan memiliki prinsip meminimalisir penggunaan material dengan *embodied energy* yang tinggi pada bagian konstruksi. *Sustainable architecture* memperhatikan aspek efisiensi energi, penggunaan material, kualitas udara, serta kesesuaian dengan lingkungan untuk menciptakan bangunan yang optimal (Kirana dkk., 2023). Di Indonesia, perkembangan konsep desain berkelanjutan telah mengalami kemajuan signifikan dan diadopsi dalam beragam praktik arsitektur. Hal ini dipertegas oleh konteks iklim tropis Indonesia yang menuntut adaptasi terhadap paparan sinar matahari sepanjang tahun. Bangunan dengan konsep desain berkelanjutan terlihat dari penggunaan energi yang efisien, material penyusun, serta pada elemen pencahayaan dan penghawaan.

Coating merupakan salah satu bentuk upaya mengurangi dampak yang diakibatkan lingkungan terhadap bangunan serta mengurangi biaya perawatan dan operasional berkaitan dengan penggunaan material prinsip *sustainable architecture*. Kriteria bangunan berkelanjutan salah satunya adalah pemilihan material terbaru dan efektif (*Improve Lifespan of Materials*) (Vezzoli & Manzini, 2008). *Coating* dilakukan melalui penambahan lapisan terhadap permukaan material yang mampu meningkatkan kualitas fisik mekanik material menjadi lebih baik. (Setiawan, 2022). Material *coating* memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat termal bangunan karena mampu menambah daya tahan material di bawahnya. Hal ini berdampak terhadap optimalisasi kinerja bangunan dikarenakan dapat terlindung dari suhu ekstrem akibat pemanasan global yang kian meningkat.

Atap bangunan menjadi elemen yang paling berpengaruh dalam transfer radiasi panas ke dalam ruangan untuk bangunan yang bertingkat

rendah seperti yang banyak terdapat di Bali. Pelapisan material atap dengan material reflektif menjadi salah satu solusi meningkatkan efisiensi energi dikarenakan material tersebut akan berkontribusi dalam mereduksi panasnya matahari yang menuju ke bangunan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Sofyan, A. (2024) yang menyatakan salah satu strategi untuk meminimalisir masuknya radiasi panas matahari melalui atap yaitu dengan memberikan lapisan cat atap. Cat reflektif surya merupakan jenis *coating* yang dapat diaplikasikan pada atap dan mampu memecahkan permasalahan panas matahari terutama di daerah tropis. Cat jenis ini memiliki kemampuan reflektansi panas matahari yang sangat tinggi. Akibatnya, ruangan menjadi lebih dingin karena atap meneruskan sedikit panas.

Penelitian mengenai kenyamanan termal interior bangunan sudah mulai dilakukan, seperti analisis kenyamanan termal yang berfokus pada interior kompleks bangunan pendidikan di tengah perkotaan yang menggunakan metode simulasi *software ENVI-met* (Ramadhan dkk., 2021). Penelitian tersebut menguji kondisi kenyamanan termal eksterior gedung dengan indeks *Predicted Mean Vote* (PMV) sebagai indikator pengukur. Terdapat juga penelitian yang membahas mengenai kenyamanan termal pada bangunan dengan fungsi hunian berbentuk *cluster* (Mahdi, N. Z., & Syam, S., 2023). Penelitian tersebut dilakukan dengan metode simulasi melalui *software Autodesk Ecotect Analysis 2011* guna mencari data kondisi termal bangunan yang menghasilkan data nilai termal, distribusi termal, serta perbandingan elemen selubung dalam menghalau panas matahari. *Ecotect* merupakan perangkat lunak yang dikembangkan *Autodesk* dan kerap digunakan untuk menganalisis termal, penggunaan energi, serta pencahayaan guna merancang bangunan yang berkelanjutan (Marzuki, Z., & Purwanto, L. M. F., 2024).

Telah banyak terdapat penelitian yang menggunakan simulasi *Ecotect* dalam mencari data temperatur, seperti penelitian mengenai pengaruh ventilasi pada selubung bangunan terhadap kenyamanan termal hunian tipe 70 (Rahmat dkk., 2020). Penelitian tersebut mengevaluasi kondisi temperatur dan

kelembapan rumah tinggal yang selanjutnya disimulasikan guna mengintervensi bukaan bangunan untuk menemukan kenyamanan termal optimal. Penelitian yang membahas mengenai dampak *coating* material atap juga sudah terlaksana. Misalnya penelitian mengenai pengaruh aplikasi cat pada bahan penutup atap seng dan genting (Wibowo, 2017). Penelitian tersebut berupa uji coba perbandingan kemampuan atap yang diberi lapisan dan tidak diberi lapisan cat dalam menahan panas. Didapatkan hasil bahwa pemberian lapisan cat mampu mereduksi panas dan cukup efektif dalam mereduksi panas hingga 5°-7° pada interior bangunan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan lapisan *coating* cat reflektif surya pada atap bangunan Kontemporer Bali dengan menggunakan perhitungan *software Ecotect*. Penelitian ini berfokus pada komparasi keadaan termal pada interior bangunan. Model yang dikomparasi yaitu bangunan *existing* dan bangunan alternatif baru dengan atap berlapis cat reflektif surya untuk menemukan solusi terbaik dalam menangani transfer panas matahari dari atap ke dalam bangunan. Penelitian ini menyediakan hasil komparasi yang diharapkan dapat memberikan masukan bagi pengembangan elemen atap pada arsitektur Kontemporer Bali. Secara garis besar, penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam penyediaan ilmu pengetahuan terkait pengaruh material atap terhadap kenyamanan termal interior bangunan hunian khususnya di daerah Bali.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pendekatan komparatif melalui perbandingan hasil simulasi *Ecotect*. Metode ini bertujuan untuk mencari perbedaan variabel-variabel yang diteliti untuk menunjukkan unsur sama dan berbeda (Ramadhan, M., 2021). Simulasi *Ecotect* bertujuan untuk mendapatkan nilai *Mean Radiant Temperature* (MRT), *Predicted Mean Vote* (PMV), serta *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD). Simulasi dengan pemodelan bangunan semirip mungkin dengan kondisi *existing* akan mendapatkan hasil bangunan yang optimal. (Lisa, N. P., & Qamar, S., 2022). Metode pengolahan data yang

dilakukan seperti observasi lapangan untuk memperoleh hasil dimensi bangunan, material penyusun, dan aktivitasnya. Selanjutnya metode dokumentasi untuk memperoleh gambar keadaan bangunan yang kemudian diterjemahkan ke dalam *software Autodesk Ecotect Analysis 2011* berupa 3D model. Metode kepustakaan untuk mengumpulkan data terkait penelitian seperti data Arsitektur Bali Kontemporer serta kenyamanan termal. Pendekatan penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk mengetahui dampak penggunaan *coating* atap terhadap termal menggunakan *software Ecotect* yang tersaji secara tabulasi. Adapun data kuantitatif simulasi dijabarkan secara deskriptif dengan bantuan gambar dan grafik.

1. MRT (Mean Radiant Temperature)

Mean Radiant Temperature (MRT) adalah suatu konsep yang digunakan dalam mengukur panas radiasi antara lingkungan dan manusia dengan tujuan memahami kenyamanan personal yang dipengaruhi rata-rata suhu permukaan objek sekitar tubuh manusia. MRT membantu pada saat mengukur pengaruh antara suhu permukaan bangunan dan lingkungan sekitar terhadap kenyamanan *civitas*. MRT secara keseluruhan merupakan konsep yang sangat penting dalam menganalisis kenyamanan termal dan memiliki keuntungan dalam menghasilkan desain ruang yang nyaman dan sehat.

2. PMV (Predicted Mean Vote)

PMV merupakan indeks yang dikenalkan oleh Professor Fanger dari *University of Denmark* yang mewakili perasaan panas atau dingin yang dirasakan manusia yang diwakili dengan nilai +3 hingga -3. PMV adalah indeks yang digunakan sebagai prediksi nilai rata-rata suara sekelompok orang dengan tujuh poin sensasi termal lihat Tabel 1 (Alahudin, M dalam Cetta, E. M. dkk, 2023). Nilai ini dipengaruhi beberapa faktor seperti temperature rata-rata, kecepatan angin, kelembapan, aktivitas dalam ruangan, serta insulasi pakaian *civitas*.

3. PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)

Predicted Percentage of Dissatisfied merupakan metrik untuk mengukur proporsi individu yang menyatakan suatu situasi atau

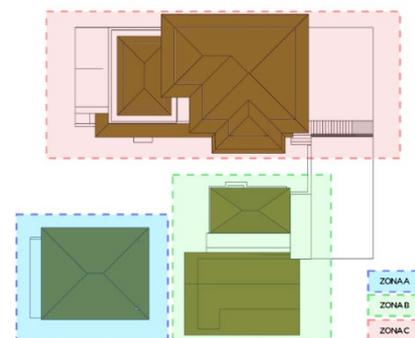
lingkungan tidak memuaskan (Tabel 1). Dalam konteks kenyamanan termal, PPD digunakan untuk menilai ketidakpuasan terhadap kondisi termal di lingkungan tertentu. Kontribusi PPD terhadap desain arsitektur adalah guna memberikan informasi penyesuaian ventilasi, pendingin udara (HVAC).

Tabel 1. Hubungan Nilai PMV, PPD, dan Sensasi Termal

PMV	Sensasi Termal	PPD (%)
+3	Hot	100
+2	Warm	75
+1	Slightly Warm	25
0	Neutral	0
-1	Slightly Cool	25
-2	Cool	75
-3	Cold	100

Sumber: Sumaryata dkk. (2019)

Penelitian mengambil lokasi di Jalan Beraban No.2 Ling. Taman, Kerobokan Kelod, Badung, Bali dengan letak koordinat 8°40'39.7" Lintang Selatan dan 115°09'51.9" Bujur Timur, pada rumah tinggal bergaya Arsitektur Bali Kontemporer. Rumah tinggal ini masih menggunakan aturan Arsitektur Tradisional Bali di mana terdapat bangunan bermassa majemuk dalam satu kawasan (gambar 1). Bangunan memiliki 3 massa bangunan yang kemudian disebut zona, yaitu Zona A (zona kotor), Zona B (zona tamu), dan Zona C (zona privat) (gambar 1).



Gambar 1. Layout Pembagian Zona Bangunan

Zona A terdiri dari dapur, ruang cuci, garasi, kamar mandi luar, dan gudang. Zona B terdiri dari ruang *gym*, *bale delod*, dan parkir motor. Zona C merupakan bangunan 2 lantai, pada lantai 1 terdapat 2 kamar tidur anak, 2 kamar mandi dalam, teras, dan gudang. Sedangkan

pada lantai 2 terdapat kamar tidur orang tua, kamar mandi dalam, dan balkon. Bentuk *existing* bangunan dapat dilihat di Gambar 2.



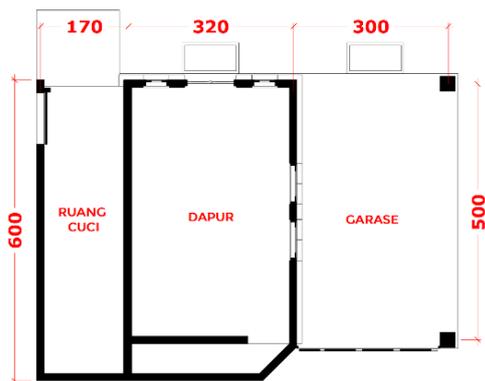
Gambar 2. Perspektif *Existing* 3D bangunan

Data yang diperlukan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi:

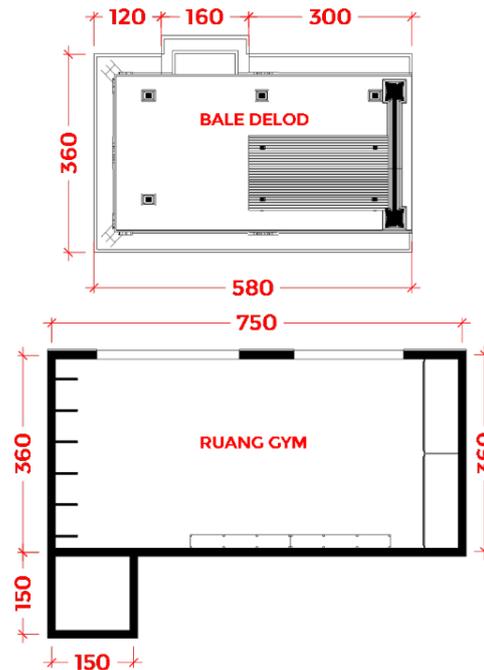
1. Data Primer, yaitu data yang diperoleh dari proses pengamatan langsung di lapangan yang meliputi:

a. Ukuran bangunan

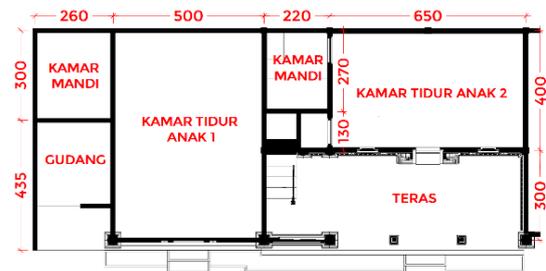
Luas total tapak lokasi bangunan yaitu 1200 m², dengan luas area bangunan 738 m² dan berorientasi ke selatan. Rumah ini berukuran cukup luas karena dahulunya berupa rumah tradisional Bali yang menuntut tapak yang luas. Ukuran setiap zona disajikan sebagai gambar denah beserta ukuran dibantu *software Sketchup 2022* (Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6). Pengumpulan data menggunakan metode observasi langsung dengan pengukuran lingkungan fisik (panjang, lebar, dan tinggi) beserta bukaan sebagai model simulasi menggunakan meteran *roll* dan *laser measuring tools*.



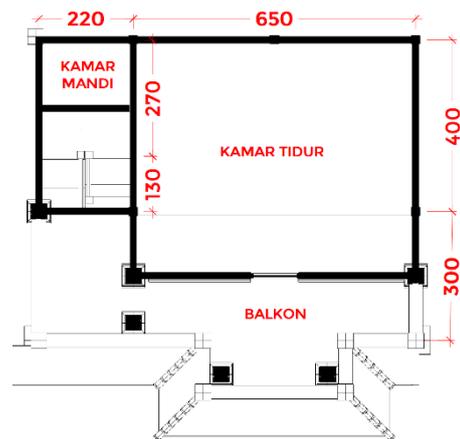
Gambar 3. Ukuran Zona A



Gambar 4. Ukuran Zona B



Gambar 5. Ukuran Zona C



Gambar 6. Ukuran Zona C lantai 2

b. Material Atap

Analisis material mengambil material atap yang menjadi fokus pada penelitian ini. Bangunan menggunakan 2 jenis atap secara keseluruhan,

yaitu atap genting keramik dan atap dak beton. Atap jenis ini kerap digunakan di lingkungan tropis karena memiliki ketahanan terhadap cuaca yang baik. Material genting keramik dan beton pada rumah ini belum maksimal dalam memantulkan panas matahari, sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pengaplikasian *coating* cat reflektif surya pada material genting yang diuji menggunakan *software Ecotect* untuk mengetahui apakah terjadi penurunan temperatur pada interior bangunan. Pengujian melalui simulasi memiliki maksud untuk mempermudah proses mencari perbedaan dan menguji peningkatan kenyamanan termal yang terjadi dalam ruangan. Agar mendapatkan variabel terikat, maka dibuat penyamaan terhadap ukuran bangunan dan material selain atap pada model *existing* dan model alternatif.

c. Kondisi termal

Menurut *American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers* (Standard, 1992), pengertian kenyamanan termal adalah kondisi ketika seseorang berada dalam keadaan nyaman terhadap temperatur lingkungannya, di mana seseorang tidak merasa panas maupun dingin. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi kondisi kenyamanan termal yaitu suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, temperatur radiant, insulasi pakaian, dan aktivitas. Pengukuran langsung melalui observasi dilakukan untuk mengetahui nilai masing-masing faktor yang memengaruhi kenyamanan termal. Temperatur udara adalah indikator yang paling awal untuk menguji kenyamanan. Temperatur dan kelembapan udara memiliki hubungan yang sangat erat. Kelembapan dalam arsitektur merujuk pada keadaan lingkungan yang disebabkan oleh uap air. *Relative Humidity* dapat mewakili pengertian dari kelembapan. (Lagiyono, 2012 dalam Indarwati dkk., 2019)

2. Data Sekunder, yaitu data yang didapatkan dari sumber terkait berupa literatur, buku-buku, dan informasi penunjang yang berhubungan dengan penelitian. Simulasi

menggunakan *software Ecotect* memerlukan input data berupa data iklim lokasi objek beserta data bangunan yang meliputi dimensi, material, dan orientasi bangunan.

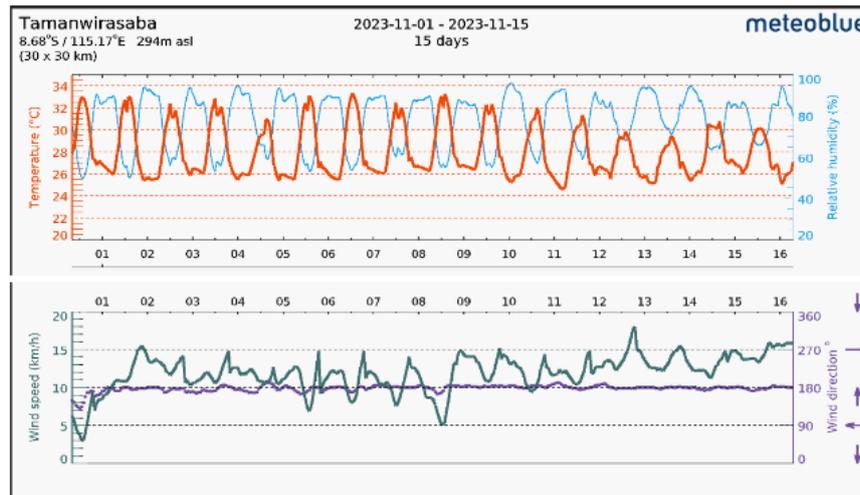
a. Data cuaca objek penelitian.

Data Temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembapan udara pada lokasi objek yaitu pada Jl. Beraban No. 2 Lingk. Taman. Kerobokan Kelod. Data cuaca didapatkan melalui *website meteoblue.com* yaitu pada daerah Taman Wirasaba yang merupakan dusun lokasi bangunan. Waktu pengambilan data pada bulan November karena merupakan bulan dengan rata-rata temperatur terpanas dalam 30 tahun terakhir menurut *meteoblue.com*. Pada data 15 hari pertama pada bulan November bahwa temperatur luar terendah yaitu 25°C dan yang tertinggi mencapai angka 33°C. Kecepatan angin rata-rata *outdoor* untuk 15 hari pertama bulan November yaitu ±14 km/h.

Data iklim yang digunakan sebagai *input* pada simulasi *Ecotect* didapat melalui *website ladybug* dengan titik pengambilan berada pada Bandara Internasional Ngurah Rai. Pada Tabel 2, temperatur rata-rata terpanas pada lokasi kajian jatuh pada tanggal 14 November. Gambar 7 juga menyajikan hal serupa di mana bulan November memiliki temperatur rata-rata terpanas sepanjang tahun 2023. Data inilah yang diolah dalam simulasi *software* untuk menghasilkan analisis yang mendekati keadaan nyata di lapangan.

b. Standar Acuan

Menurut Standar Nasional (Nasional, 2001) Indonesia kenyamanan termal berada pada rentang suhu 20,5°C-27,1°C kelembapan 40% hingga 50% dan kecepatan angin 0,25 m/s. Rentang suhu 20.5°C hingga 22.8°C dikategorikan sebagai sejuk-nyaman. Rentang suhu 22.8°C –25.8°C dikategorikan sebagai nyaman optimal. Rentang suhu 25.8°C–27.1°C dikategorikan sebagai hangat-nyaman. (SNI 03-6572-2001



Gambar 7. Data Cuaca 15 Hari Pertama Bulan November 2023
 Sumber: *meteoblue.com*, 2024

Tabel 2. Data Cuaca *Input Simulasi Ecotect*

Data Iklim/Bulan	Bulan											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatur <i>max.</i>	30,5	31,8	32,0	31,8	31	30	29,9	29,5	29,8	31	31,9	31,7
temperatur rata-rata	27,7	27,6	28	27,9	27,9	27	26,8	26,4	26,5	26,5	28,2	28,2
Temperatur <i>min.</i>	23,7	23,4	24,3	23,5	24	22,6	24,1	21	22,1	22,4	25,1	24
Relative Humidity 9 am	79	80	80	76	81	77	90	76	73	75	78	78
Relative Humidity 3 pm	76	73	74	70	72	70	79	70	70	72	76	74

Sumber: *Ladybug.com* (2024)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

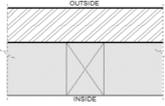
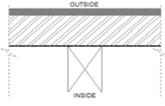
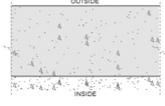
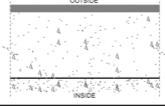
Terdapat 2 model bangunan yang akan disimulasikan menggunakan *software Ecotect* yaitu model bangunan *existing* dan model alternatif yang diberikan pengaplikasian cat reflektif surya pada atapnya. Model *existing* menggunakan atap keramik dan dak beton tanpa ada penambahan cat *coating*. Model alternatif menambahkan cat reflektif surya pada lapisan terluar atap dengan tujuan mengurangi panas masuk ke dalam ruangan. Pengujian dilakukan untuk menemukan angka peningkatan kenyamanan termal yang terjadi setelah penggunaan cat reflektif.

3.1 Simulasi Material Atap Bangunan

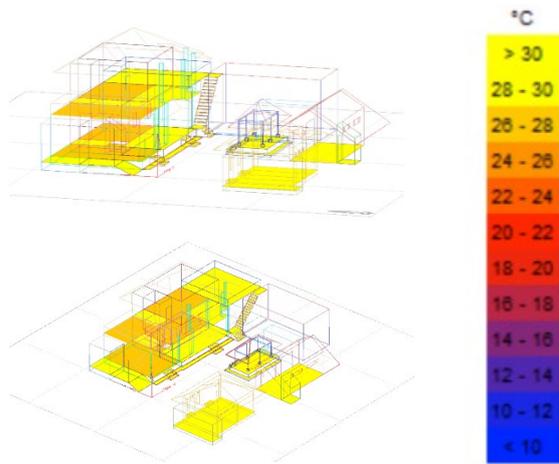
Simulasi dilakukan terhadap lantai 1 dan lantai 2 secara terpisah guna memberikan data yang lebih akurat. Lantai 1 mencakup zona A dan B dengan sebagian zona C. Atap yang digunakan pada lantai 1 adalah kombinasi atap genteng

keramik terakota dan dak beton dengan warna eksternal abu-abu (lihat pada Tabel 3). Lantai 2 mencakup Zona C dengan tambahan *sanggah* (ruang ibadah). Lantai 2 menggunakan atap genteng keramik berwarna terakota. Aplikasi cat reflektif surya dengan nilai *solar absorption* lebih kecil diharapkan mampu mengurangi panas yang masuk ke dalam ruangan (dapat dilihat pada Tabel 3). Selaras dengan hal tersebut, Sofyan, A. (2024) menyebutkan salah satu strategi untuk meminimalisir masuknya radiasi panas matahari yaitu dengan memberikan lapisan cat pada atap. Pemilihan atap sebagai hal yang dikaji karena atap adalah bagian utama bangunan yang bertanggung jawab dalam melindungi hunian dari paparan sinar matahari (Budhyowati, M. N., 2022), pada bangunan Bali Kontemporer berlantai rendah seperti studi kasus penelitian ini, atap difungsikan sebagai elemen perisai untuk menghalau panas matahari yang memiliki penampang terluas pada bangunan.

Tabel 3. Detail Material Atap Berdasarkan Klasifikasi

Klasifikasi Atap	Aplikasi	Karakteristik			Warna	Lapisan Material Sumber: <i>Ecotect Analysis</i>
		Tebal (cm)	<i>Solar absorption</i>	<i>External emissivity</i>		
Genteng Keramik	Lantai 1 dan Lantai 2	12,5	0,6	0,9	Terakota	
Genteng Keramik + cat reflektif surya	Lantai 1 dan Lantai 2	13,5	0,1	0,9	Putih	
Dak Beton	Lantai 1	12	0,5	0,9	Abu-abu	
Dak Beton + cat reflektif surya	Lantai 1	13	0,1	0,9	Putih	

Simulasi Zone Temperature



Gambar 8. Zone Temperature Existing dan Alternatif

Sumber: *Ecotect*, 2024

Simulasi temperature zona menemukan mayoritas temperatur rata-rata berada di atas angka 30°C. Namun terdapat ruangan seperti ruang tidur dengan nilai temperatur berada di kisaran 25°C - 28°C sebab didukung faktor penghawaan buatan AC (*Air Conditioner*) yang mampu mengendalikan suhu. Maka dari itu, diperlukan upaya untuk mengurangi transfer panas yang masuk ke dalam ruangan, dalam kasus ini menggunakan *coating* material pada atap bangunan. Pada pengukuran bangunan alternatif setelah penggunaan *coating* cat

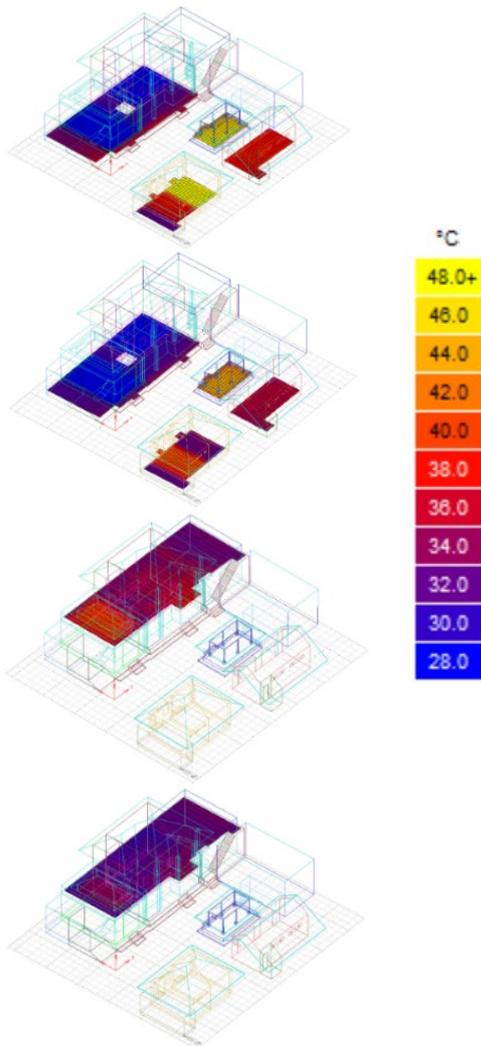
reflektif surya, tidak ditemukan perbedaan signifikan yang ditunjukkan gradasi warna pada Gambar 8. Sehingga diperlukan simulasi yang lebih terperinci dengan fokus pada masing-masing ruangan untuk mendapatkan akurasi data yang diinginkan.

3.2 Simulasi Spatial Comfort

Data simulasi *spatial comfort* menghasilkan variabel pembanding tingkat kenyamanan termal yang akan dikomparasi pada penelitian ini, yaitu MRT, PMV, dan PPD. Gambar 9 menyajikan gradasi warna yang mewakili angka MRT pada setiap bangunan. Pada gambar terlihat adanya perubahan warna yang berarti terdapat perubahan terhadap nilai MRT pada bangunan. Apabila dirinci menggunakan data pada *software Ecotect*, nilai MRT bangunan *existing* yaitu sebesar 35,41°C, sedangkan nilai MRT desain alternatif menunjukkan angka 32,71°C. Penurunan yang terjadi melalui penggunaan cat reflektif surya yaitu sebesar 2,7°C, di mana hal ini cukup baik, karena nilai penurunan ini dicapai hanya melalui penambahan material saja. Kasus serupa terjadi pada simulasi lantai 2, di mana kondisi *existing* menunjukkan angka MRT 35°C dan kondisi setelah pengaplikasian cat reflektif surya menjadi 32,39°C. Penurunan yang terjadi berada di angka 2,61°C, lebih kecil dibandingkan penurunan angka MRT lantai 1. Hal ini sebab lantai 1 memiliki perbandingan

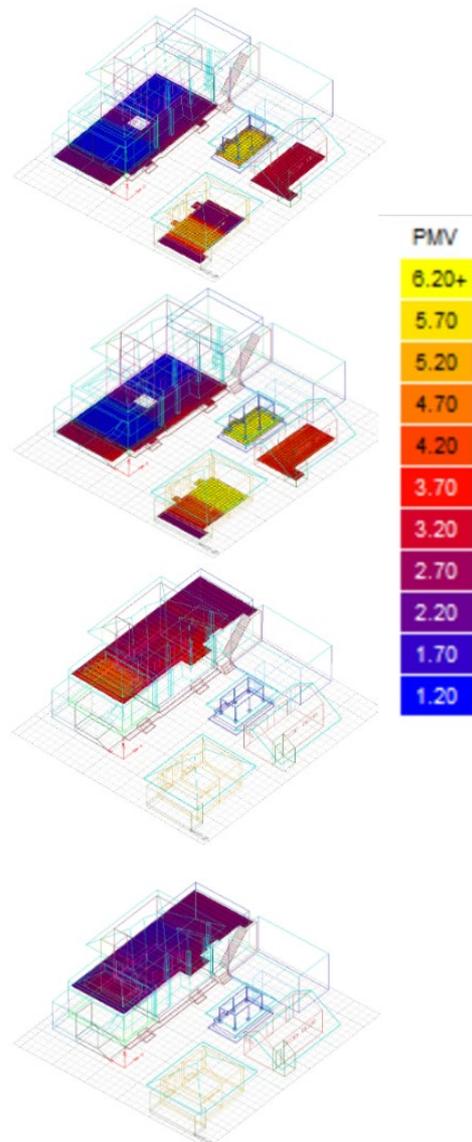
penampang atap dengan luas bangunan yang lebih kecil, sehingga atap memiliki pengaruh krusial dalam menangkal panas menuju ke dalam ruangan. Namun penurunan nilai MRT ini belum cukup memberikan kenyamanan termal sesuai SNI 03-6572-2001 dengan rentang suhu 20,5°C-27,1°C.

termasuk tidak nyaman dan menimbulkan sensasi melebihi panas (lihat Tabel 1). Desain alternatif memiliki nilai PMV 2,67 dengan sensasi termal hangat (lihat Tabel 1). Pengukuran lantai 2 menunjukkan bahwa pada kondisi *existing*, nilai PMV yaitu 3,15 (melebihi panas) dan desain alternatif pada angka 2,39 (hangat). Penurunan yang terjadi yaitu sebesar 0,76, di mana menunjukkan penggunaan cat reflektif surya cukup optimal dalam meningkatkan sensasi nyaman kepada pengguna bangunan ini.

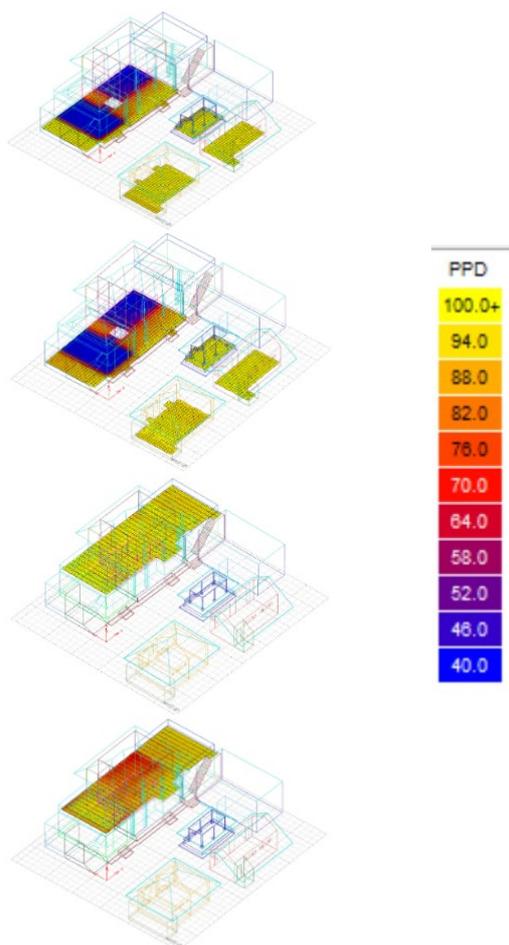


Gambar 9. MRT Existing dan Alternatif
Sumber: Ecotect, 2024

Pengukuran PMV bermaksud untuk mencari tingkat kenyamanan yang dirasakan pengguna dengan nilai berkisar antara +3 hingga -3, mengacu pada data hubungan PMV dengan sensasi termal pada Tabel 1. Gambar 10 menyajikan gradasi warna yang mewakili perubahan angka PMV pada bangunan. Simulasi bangunan *existing* lantai 1 menghasilkan PMV dengan nilai 3,54. Nilai ini



Gambar 10. PMV Existing dan Alternatif
Sumber: Ecotect, 2024



Gambar 11. PPD Existing dan Alternatif
Sumber: Ecotect, 2024

PPD digunakan untuk mengetahui tingkat ketidakpuasan pengguna terhadap performa termal bangunan. Gambar 11 berisi ilustrasi gradasi warna yang mewakili perubahan angka MRT pada setiap bangunan. Pada bangunan *existing* lantai 1 diperoleh nilai PPD yaitu 81,86%. Hasil pengukuran PPD menunjukkan nilai ketidakpuasan rata-rata yang tinggi pada area lantai 1 dengan sensasi termal mulai memasuki panas (lihat Tabel 1). Setelah pengaplikasian *coating* cat reflektif surya, diperoleh penurunan sebesar 2,06%, menjadi 79,8%. Angka ini masih tinggi mengingat kenyamanan termal bangunan diukur melalui tingkat ketidaknyamanan pengguna terhadap performa bangunan. Sementara itu pada pengukuran bangunan *existing* lantai 2, diperoleh angka mencapai 98,08%. Pengaplikasian desain alternatif cukup membuahkan hasil, di mana nilai PPD menjadi 89,57% dan mengalami penurunan sebesar 8,51%. Angka penurunan untuk pengukuran

MRT, PMV, dan PPD menunjukkan bahwa penggunaan *coating* pada atap bangunan kontemporer Bali menghasilkan perubahan terhadap termal bangunan ke arah yang lebih optimal (tabel 4).

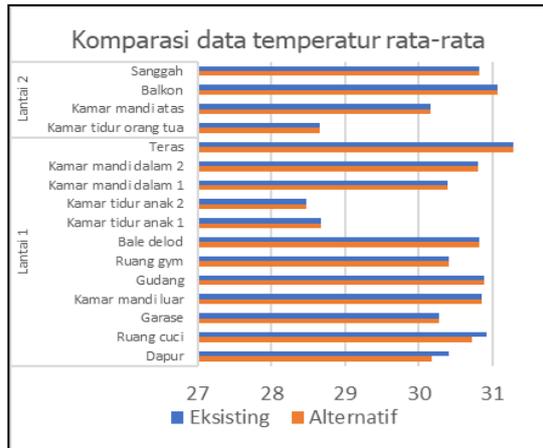
Tabel 4. Rekapitulasi Penurunan Nilai MRT, PMV, PPD

Lantai	Kondisi	MRT	PMV	PPD
LT1	<i>Existing</i>	35.41	3.54	81.86
	Alternatif	32.71	2.67	79.8
Nilai selisih		2.7	0.87	2.06
LT2	<i>Existing</i>	35	3.15	98.08
	Alternatif	32.39	2.39	89.57
Nilai selisih		2.61	0.76	8.51

Ecotect menyediakan data grafik temperatur pada setiap jam dihitung dalam satu hari penuh. Mengikuti hari simulasi yang dilakukan pada 14 November, didapatkan data grafik seperti pada Gambar 12. Berbeda dengan nilai yang diuji sebelumnya, nilai ini berupa penjabaran lebih lanjut dari rata-rata temperatur setiap ruangan (Tabel 5). Hal ini memungkinkan untuk mendapat hasil data Peningkatan kenyamanan termal dengan indikator temperatur yang lebih akurat.

Tabel 5. Data Simulasi Setiap Ruangan pada 14 November 2023

Jenis ruang	Temperatur rata-rata		
	<i>Existing</i>	Alternatif	Selisih
Dapur	30.418	30.170	0.248
Ruang cuci	30.914	30.714	0.200
Garase	30.300	30.277	0.023
Kamar mandi luar	31.000	30.855	0.145
Gudang	31.000	30.886	0.114
Ruang gym	30.591	30.409	0.182
<i>Bale delod</i>	30.827	30.823	0.005
Kamar tidur anak 1	28.668	28.668	0.000
Kamar tidur anak 2	28.473	28.473	0.000
Kamar mandi dalam 1	30.391	30.391	0.000
Kamar mandi dalam 2	30.805	30.805	0.000
Teras	31.400	31.277	0.123
Kamar tidur orang tua	28.650	28.650	0.000
Kamar mandi atas	30.155	30.155	0.000
Balkon	31.060	31.059	0.001
Ruang Ibadah	30.823	30.823	0.000



Gambar 12. Grafik Temperatur Rata-rata Zona

Analisis dengan simulasi *software Ecotect* menunjukkan hasil bahwa performa termal bangunan Kontemporer Bali pada kasus ini masih di bawah standar nyaman di Indonesia. Setelah aplikasi cat reflektif pada atap bangunan, terjadi penurunan nilai MRT, PMV dan PPD (Gambar 12). Hasil ini sesuai dengan penelitian serupa oleh Wibowo (2017) yang berhasil mereduksi panas pada interior bangunan melalui pelapisan atap genteng. Ruang yang paling terdampak adalah dapur, ruang cuci, ruang *gym*, serta teras. Kesamaan ruangan ini adalah menggunakan atap genteng keramik dan terletak pada lantai 1. Karakteristik ruangan memiliki perbandingan yang kecil antara luas ruangan dengan selubung atapnya, sehingga rekayasa material atap sangat berpengaruh terhadap termal. Hasil ini sejalan dengan penelitian Setiawan (2022) yang menyebutkan bahwa aplikasi material pelapis bertujuan untuk meningkatkan kualitas fisik mekanik material yang pada kasus ini yaitu peningkatan daya reflektif atap keramik.

4. KESIMPULAN

Existing Bangunan Kontemporer Bali yang digunakan sebagai objek kajian memiliki nilai kenyamanan termal yang masih jauh di bawah standar kenyamanan SNI. Penelitian ini mengukur kenaikan kenyamanan termal melalui pengaplikasian cat reflektif surya. Hasil yang didapatkan melalui solusi optimalisasi temperatur ruangan melalui penggunaan material *coating* cat reflektif surya pada atap bangunan Kontemporer Bali mampu membuktikan bahwa solusi ini dapat menurunkan temperatur interior ruangan

dengan nilai yang baik, hanya saja belum mencapai standar kenyamanan SNI 03-6572-2001. Hal ini dapat dipengaruhi adanya pengabaian faktor lain yang seperti konteks bukaan, vegetasi, dan bangunan sekitar yang juga memengaruhi performa termal bangunan kajian. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan tinjauan terhadap termal bangunan dengan mengikutsertakan konteks lingkungan seperti vegetasi, letak bukaan dan bangunan sekitar yang mampu memberikan andil dalam kenyamanan termal suatu bangunan dengan menggunakan *software Ecotect* atau bahkan *software* lainnya.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis pertama berkontribusi sebagai pencetus ide penelitian, pelaksana observasi, penyusun kajian pustaka dan penganalisis data penelitian. Penulis kedua, ketiga, serta keempat berkontribusi dalam penentuan ide penelitian, validasi data, verifikator teori dan hasil penelitian serta mendukung penyusunan manuskrip.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pihak yang telah membantu keberlangsungan penelitian. Penelitian ini mendapatkan dukungan pendanaan dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) melalui kegiatan Penelitian/Riset Kampus Merdeka Universitas Udayana. Terima kasih disampaikan kepada pemilik rumah objek kajian berupa rumah kontemporer Bali yang telah memberikan izin kepada penulis untuk menggunakan rumah tersebut sebagai objek penelitian serta bersedia memfasilitasi kegiatan observasi.

REFERENSI

- Arnowo, H. (2023). Strategi Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Ditinjau dari Aspek Pertanian. *Jurnal Pertanian*, 13(1), 28-38.
- Budhyowati, M. N. (2022). Kajian Konstruksi Atap Bangunan Hemat Energi. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 4(2), 45-57.
- Chairuman, M., Wihadanto, A., & Rusdiyanto, E. (2023). Perubahan penggunaan lahan

- Perkotaan dan fenomena urban heat island di Kota Tangerang Selatan. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, 7(2), 142-152.
- DD, P. J. A., Antaryama, I. G. N., & NE, S. N. (2016). Kinerja Termal Rumah Niang di Dataran Tinggi Tropis Lembab di Distrik Manggarai. *ATRIUM: Jurnal Arsitektur*, 2(1), 43–54.
- Indarwati, S., Respati, S. M. B., & Darmanto, D. (2019). Kebutuhan daya pada air conditioner saat terjadi perbedaan suhu dan kelembapan. *Majalah Ilmiah Momentum*, 15(1).
- Kirana, S. N., Baidhowi, M. F., Maharani, R. T., & Harmunisa, Y. R. (2023). THE CONCEPT OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE IN SWALLOW HOUSE DESIGN. *ADBE*, 3(1), 57-64.
- Lisa, N. P., & Qamar, S. (2022). Simulasi Konsumsi Energi Bangunan Berbentuk Dome Sebagai Upaya Optimalisasi Desain. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(2).
- Mahdi, N. Z., & Syam, S. (2023). Kondisi Termal Dengan Aplikasi Ecotect Pada Rumah Tipe Cluster Alamanda. *Prosiding Temu Ilmiah*, 11(1), H001-H008.
- Marzuki, Z., & Purwanto, L. M. F. (2024). Peningkatan Efisiensi Energi Bangunan Melalui Modifikasi Fasad Menggunakan Software Ecotect Gedung Fakultas Teknik Unkris: Sebuah Pendekatan Eksperimental. *Arsitekta: Jurnal Arsitektur dan Kota Berkelanjutan*, 6(01), 30-45.
- Nasional, B. S. (2001). SNI 03-6572-2001 Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional*.
- Rahmat, A., Cahyanudin, I., & Ramadhan, T. (2020). Pengaruh Bukaian Pada Ruang Rumah Tinggal Type 70 Terhadap Kenyamanan Termal. *Jurnal Ilmiah Arsitektur*, 10(2), 35–45.
- Ramdhan, M. (2021). *Metode penelitian*. Cipta Media Nusantara.
- Ramadhan, T., Jurizat, A., Syafrina, A., & Rahmat, A. (2021). Investigating outdoor thermal comfort of educational building complex in urban area: A case study in Universitas Kebangsaan, Bandung city. *Geographica Pannonica*, 25(2).
- Setiawan, F. (2022). The Effect of Time Variations in the Hot Dipping Alumunizing Coating Stainless Steel 304 Process on Material Characteristics and Thermal Conductivity. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 6(1), 32–47.
- Sofyan, A. (2024). Uji Laboratorium Pelapis Permukaan Bahan Penutup Atap Terhadap Faktor Insulasi Panas Ruang Dalam Bangunan.
- Standard, A. (1992). Thermal environmental conditions for human occupancy. *ANSI/ASHRAE*, 55, 5.
- Sumaryata, M. A., Afriesta, C. L. B., & Koerniawan, M. D. (2019). Kenyamanan Termal Pada Koridor Kampus Institut Teknologi Bandung Dengan Analisis Rayman. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, 8(3), 118–125.
- Sianipar, E. D. P., & Primanizar, R. (2024). Konsep Lokalitas Bali pada Desain Arsitektur Green School Bali. *Pawon: Jurnal Arsitektur*, 8(02), 287-302.
- Vezzoli, C., & Manzini, E. (2008). *Design for environmental sustainability*. Springer.
- Wibowo, A. P. (2017). Pengaruh Pemberian Lapisan Cat Pada Bahan Penutup Atap Seng Dan Genting. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 11, 123–129.
- Wirayuda, I. K. A. K., Widayani, P., & Sekaranom, A. B. (2023). Urban Green Space Analysis and its Effect on the Surface Urban Heat Island Phenomenon in Denpasar City, Bali. *Forest and Society*, 7(1), 150–168.