

Efektivitas Coating Reflektif dalam Menurunkan Temperatur Permukaan Atap Bangunan Tropis

Ahmad Solihin^{*1}, Kamin Sumardi², Ega Taqwali Berman³

^{1,2,3}Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia

Email: ¹ahmadsolihin.07@upi.edu, ²kaminsumardi@upi.edu, ³egatb@upi.edu

Abstrak

Peningkatan temperatur global dan fenomena *urban heat island* meningkatkan beban pendinginan bangunan di wilayah tropis, sehingga diperlukan strategi pendinginan pasif yang efektif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi secara eksperimental efektivitas coating reflektif BeCool dalam menurunkan temperatur permukaan atap dan udara dalam bangunan tropis serta menganalisis implikasinya terhadap potensi pengurangan beban pendinginan. Metode yang digunakan adalah eksperimen lapangan dengan desain *before-after comparison* pada bangunan struktur ringan di Kabupaten Subang, Jawa Barat. Pengukuran temperatur dilakukan pada tiga titik (udara ruang, atap sisi timur, dan atap sisi barat) menggunakan data logger selama enam hari pada kondisi cuaca cerah. Hasil menunjukkan bahwa aplikasi coating menurunkan temperatur rata-rata permukaan atap sisi timur sebesar 10,5°C (27%), sisi barat sebesar 5,2°C (13,9%), dan temperatur udara ruang sebesar 3,9°C (12,3%). Secara keseluruhan terjadi reduksi temperatur rata-rata sebesar 6,5°C (17,7%). Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan reflektansi surya dan emisivitas termal secara signifikan mengurangi akumulasi panas pada bangunan tropis ringan serta berpotensi menurunkan beban energi sistem pendinginan.

Kata kunci: *bangunan tropis, cool roof, efisiensi energi, reflektansi surya, temperatur.*

The Effectiveness of Reflective Coatings in Reducing the Surface Temperature of Tropical Building Roofs

Abstract

Global temperature increases and the urban heat island phenomenon increase the cooling load of buildings in tropical regions, necessitating effective passive cooling strategies. This study aims to experimentally evaluate the effectiveness of BeCool reflective coating in reducing roof surface and indoor air temperatures in tropical buildings and to analyze its implications for potential cooling load reduction. The method used was a field experiment with a before-after comparison design on a lightweight structure building in Subang Regency, West Java. Temperature measurements were taken at three points (indoor air, east roof, and west roof) using data loggers for six days in sunny weather conditions. The results showed that the application of the coating reduced the average temperature of the east roof surface by 10.5°C (27%), the west roof surface by 5.2°C (13.9%), and the room air temperature by 3.9°C (12.3%). Overall, there was an average temperature reduction of 6.5°C (17.7%). These findings indicate that increasing solar reflectance and thermal emissivity significantly reduces heat accumulation in light tropical buildings and has the potential to reduce the energy load on cooling systems.

Keywords: *cool roof, energy efficiency, solar reflectance, temperature, tropical buildings.*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan temperatur global dan fenomena *urban heat island* (UHI) menyebabkan kenaikan beban pendinginan bangunan, khususnya di wilayah tropis dengan intensitas radiasi matahari tinggi sepanjang tahun. Sektor bangunan menyumbang porsi signifikan terhadap konsumsi energi global, terutama untuk sistem refrigerasi dan tata udara (HVAC), sehingga strategi pendinginan pasif menjadi krusial dalam mendukung target efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon sebagaimana ditekankan dalam SDGs 7 (*Affordable and Clean Energy*) dan 11 (*Sustainable Cities and Communities*) [1]. Teknologi *cool roof* berbasis coating reflektif menjadi salah satu solusi yang banyak diteliti karena mampu meningkatkan reflektansi surya dan emisivitas termal permukaan atap sehingga mengurangi akumulasi panas pada selubung bangunan [2].

Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa aplikasi *cool roof coating* mampu menurunkan temperatur permukaan atap secara signifikan. Studi lapangan di Australia menunjukkan penurunan suhu permukaan hingga 8,7–34,2 °C setelah aplikasi coating reflektif [3]. Penelitian lain melaporkan bahwa peningkatan reflektansi dapat menurunkan temperatur atap 9,4–14 °C dan menghemat energi pendinginan hingga 5,5% dibanding atap konvensional [4]. Dalam konteks tropis Indonesia, aplikasi cat cool roof pada atap logam mampu menurunkan temperatur permukaan hingga 6,6 °C serta menurunkan suhu udara dalam ruang hingga 1,2 °C [5]. Hasil serupa juga ditunjukkan pada sistem atap beton ringan dengan coating reflektif yang menurunkan temperatur hingga 7,3 °C [6].

Dari sisi performa energi, penerapan material reflektif pada bangunan operasional terbukti menurunkan kebutuhan energi pendinginan sebesar 11,3% serta meningkatkan persepsi kenyamanan termal penghuni [7]. Di wilayah beriklim panas dan lembap, penggunaan *cool roof* menghasilkan penghematan energi tahunan hingga 25–34% dibanding atap gelap konvensional [8]. Studi di kawasan GCC bahkan menunjukkan potensi penghematan energi tahunan hingga 34% pada bangunan residensial dengan aplikasi cat berindeks reflektansi surya (SRI) tinggi [9]. Secara teoritis dan eksperimental, peningkatan albedo dari 0,1 menjadi 0,9 dapat menurunkan temperatur permukaan hingga 11 °C dan mengurangi fluks panas bersih secara signifikan [10].

Meskipun demikian, literatur menunjukkan bahwa performa jangka panjang coating reflektif dapat terpengaruh oleh proses aging dan akumulasi debu yang menurunkan nilai reflektansi surya hingga 13–36% dalam beberapa tahun pertama [11]–[9]. Selain itu, sebagian besar studi di Indonesia masih berbasis simulasi atau pengujian material generik tanpa mengevaluasi produk komersial tertentu secara eksperimental di kondisi tropis lembap [12]. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian empiris berbasis pengukuran langsung terhadap performa termal coating reflektif spesifik yang beredar di pasar nasional.

Salah satu produk komersial yang beredar di Indonesia adalah cat reflektif **BeCool**, yang diklaim memiliki nilai *Solar Reflectance Index* (SRI) sebesar 106, reflektansi surya 0,77, dan emisivitas termal 0,88. Nilai SRI di atas 100 mengindikasikan performa reflektif yang sangat tinggi, bahkan melebihi standar referensi permukaan putih konvensional menurut ASTM E1980. Secara komposisional, coating reflektif jenis ini umumnya memanfaatkan pigmen anorganik beralbedo tinggi dan aditif keramik mikrosferis yang berfungsi meningkatkan hamburan radiasi serta menurunkan konduktivitas termal lapisan. Kombinasi reflektansi tinggi dan emisivitas besar secara teoritis memungkinkan reduksi absorpsi radiasi matahari sekaligus percepatan pelepasan panas ke lingkungan.

Namun demikian, klaim performa produk berbasis parameter laboratorium belum tentu sepenuhnya merepresentasikan kondisi lapangan, khususnya pada bangunan tropis dengan paparan radiasi intens, kelembapan tinggi, serta potensi akumulasi debu dan polutan atmosfer. Hingga saat ini, data ilmiah berbasis pengujian eksperimental lapangan terhadap performa termal cat BeCool pada bangunan tropis masih terbatas.

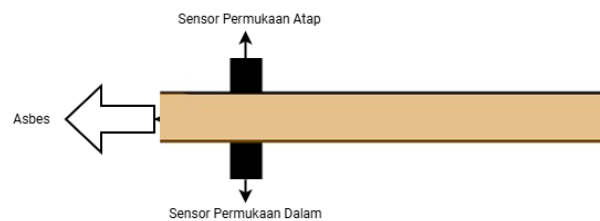
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara eksperimental efektivitas coating reflektif BeCool dalam menurunkan temperatur permukaan atap bangunan tropis serta menganalisis implikasinya terhadap potensi pengurangan beban pendinginan sistem refrigerasi dan tata udara.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen lapangan kuantitatif yang dikombinasikan dengan tinjauan sistematis literatur. Eksperimen dilakukan pada struktur ringan berlantai satu di Kabupaten Subang, Jawa Barat, selama enam hari. Atap terbuat dari lembaran asbes bergelombang dengan rangka baja galvanis, mewakili kondisi tropis dengan massa termal rendah dan paparan radiasi langsung. Kabupaten Subang dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik iklim tropis lembap dengan intensitas radiasi matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun, suhu udara harian yang fluktuatif, serta tingkat kelembapan yang cukup tinggi. Kondisi ini representatif untuk menguji kinerja termal coating reflektif pada bangunan ringan yang rentan terhadap peningkatan suhu akibat paparan radiasi matahari langsung. Selain itu, dalam beberapa tahun terakhir wilayah Kabupaten Subang mengalami transformasi tata guna lahan menuju kawasan industri, yang disertai dengan peningkatan luas area terbangun dan berkurangnya tutupan vegetasi akibat aktivitas pembukaan lahan dan penebangan pohon. Perubahan ini berpotensi meningkatkan suhu lingkungan lokal melalui efek pulau panas (urban heat island) skala kawasan serta menurunkan kapasitas pendinginan alami oleh vegetasi. Oleh karena itu, lokasi ini dinilai relevan untuk mengkaji efektivitas coating reflektif sebagai strategi mitigasi panas pasif pada bangunan ringan dalam konteks perubahan lingkungan dan perkembangan kawasan. Desain eksperimen ditunjukkan pada gambar 1 dan penempatan sensor ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1. Rancangan Eksperimen



Gambar 2. Posisi Alat

Material yang digunakan adalah cat reflektif BeCool berbasis ACV Microspheres Nano-Insulator (SRI 106, reflektansi 0,77, emisivitas 0,88), diaplikasikan dua tahap (primer dan top coat) setelah pembersihan permukaan, dengan pengeringan 24 jam sebelum pengambilan data. Produk cat yang digunakan diunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Cat yang diaplikasikan

Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan Elitech Data Logger RC-4 pada tiga titik yaitu permukaan atap sisi timur, sisi barat, dan udara ruang di bawah atap. Data dicatat dengan interval setiap satu jam dari pukul 07.00–17.00 WIB selama tiga hari untuk masing-masing kondisi. Desain penelitian menggunakan before-after comparison antara kondisi baseline dan intervensi pada cuaca cerah.

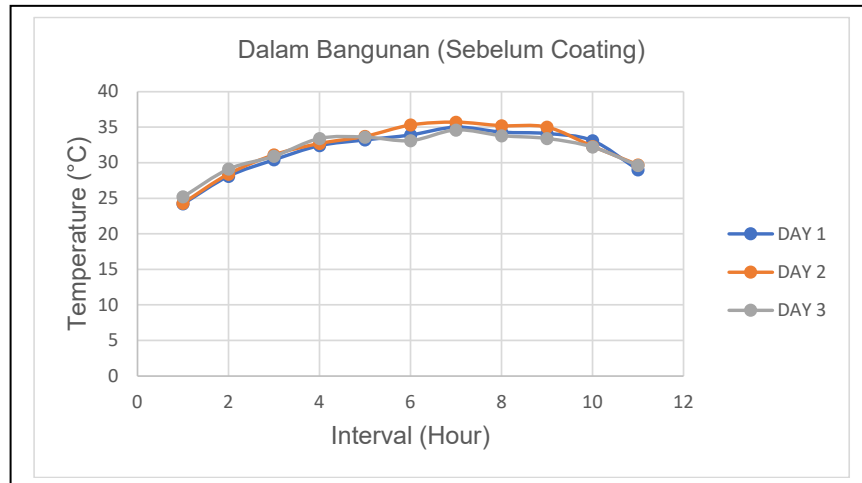
Variabel yang dianalisis meliputi temperatur permukaan atap dan udara ruang. Data diolah untuk memperoleh rata-rata harian, suhu maksimum, dan fluktuasi temperatur. Efektivitas termal dihitung dari selisih rata-rata temperatur sebelum dan sesudah perlakuan, dianalisis deskriptif komparatif, dan dievaluasi implikasinya terhadap pengurangan beban pendinginan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Hasil penelitian disajikan dalam bentuk deskripsi kuantitatif yang didukung oleh grafik pengukuran temperatur sebelum dan sesudah aplikasi coating reflektif. Enam grafik yang ditampilkan menggambarkan perubahan temperatur pada tiga titik pengamatan (dalam bangunan, atap sisi timur, dan atap sisi barat) untuk kondisi sebelum dan sesudah coating selama tiga hari pengamatan.

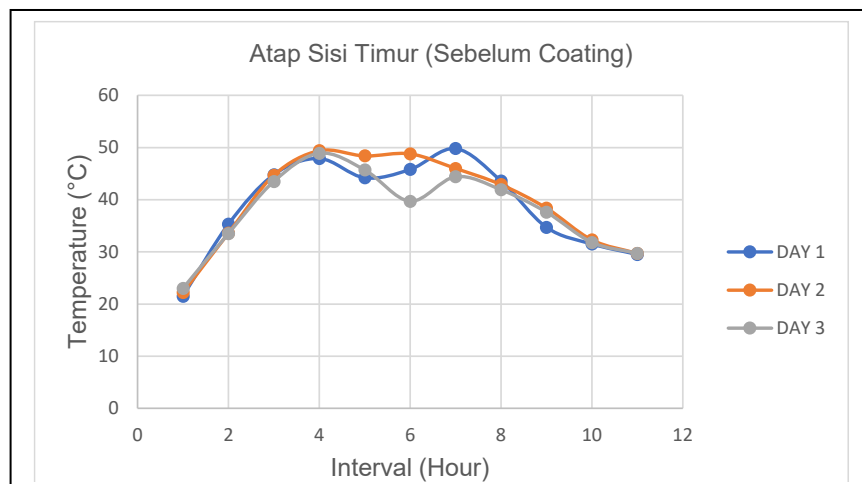
HASIL

Pada kondisi sebelum aplikasi coating, temperatur udara dalam bangunan menunjukkan kenaikan bertahap sejak pukul 08.00 WIB dan mencapai puncak pada kisaran 33–35°C sekitar pukul 12.00–14.00 WIB, sebagaimana terlihat pada gambar 4. Fluktuasi harian relatif tinggi dengan kecenderungan mengikuti pola radiasi matahari.



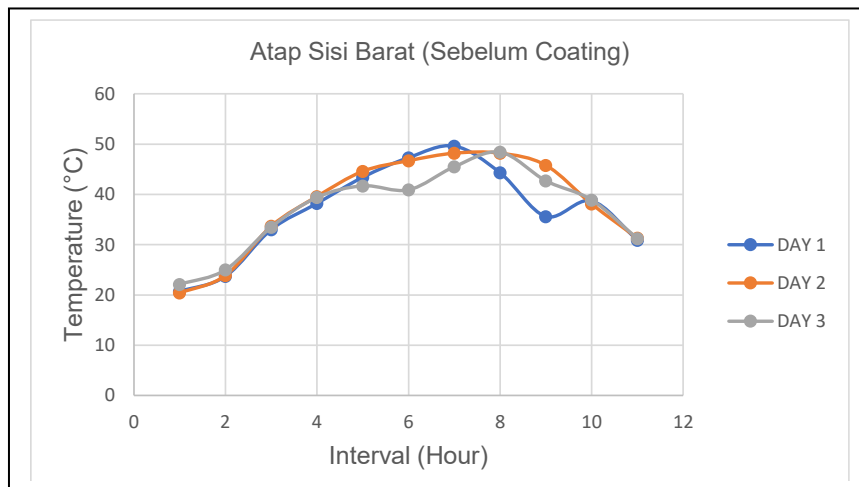
Gambar 4. Temperatur Udara Dalam Bangunan Sebelum Coating

Temperatur permukaan atap sisi timur sebelum coating (gambar 5) menunjukkan kenaikan signifikan sejak pagi hari dan mencapai temperatur maksimum 48–50°C. Puncak temperatur terjadi pada interval 12.00–13.00 WIB, dengan rentang fluktuasi lebih dari 25°C dari pagi ke siang hari.



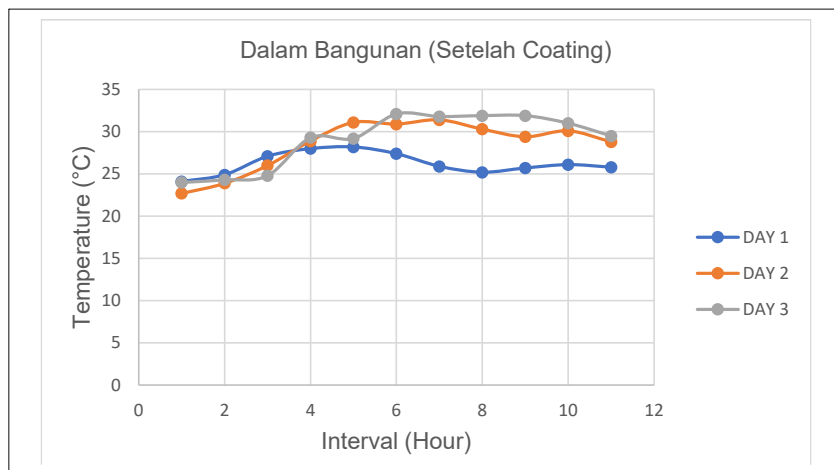
Gambar 5. Temperatur Atap Sisi Timur Sebelum Coating

Pada atap sisi barat sebelum coating (gambar 6), temperatur maksimum mencapai 47–49°C dengan puncak pada pukul 13.00–15.00 WIB. Pola ini menunjukkan pergeseran puncak akibat orientasi terhadap posisi matahari.



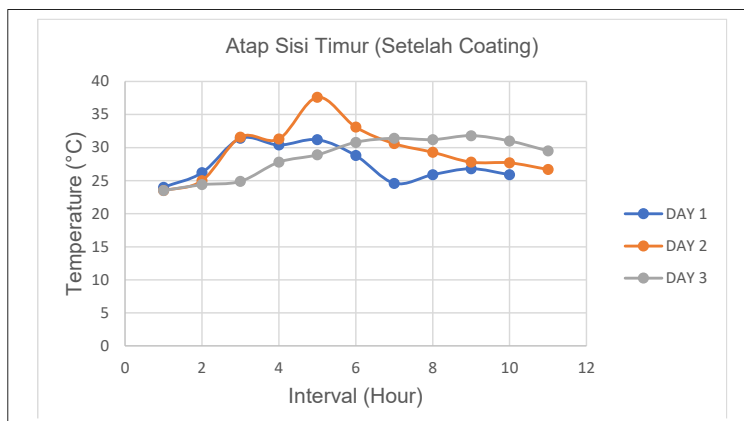
Gambar 6. Temperatur Atap Sisi Barat Sebelum Coating

Setelah aplikasi coating reflektif, terjadi penurunan temperatur yang konsisten pada seluruh titik pengamatan. Temperatur udara dalam bangunan (gambar 7) menurun menjadi kisaran 26–31°C dengan rata-rata penurunan sekitar 3–5°C dibanding kondisi awal. Selain itu, fluktuasi temperatur harian menjadi lebih stabil.



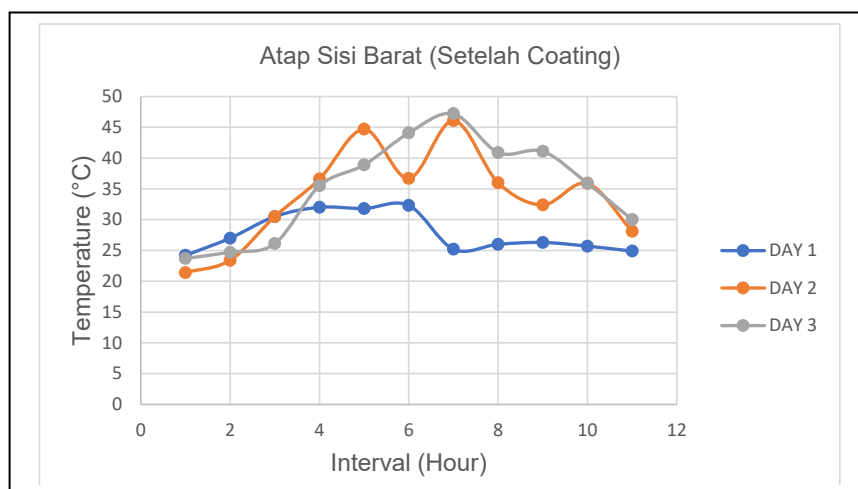
Gambar 7. Temperatur Udara Dalam Bangunan Setelah Coating

Pada atap sisi timur setelah coating (gambar 8), temperatur maksimum turun menjadi 30–37°C. Penurunan rata-rata maksimum mencapai 12–15°C dibandingkan kondisi sebelum perlakuan.



Gambar 8. Temperatur Atap Sisi Timur Setelah Coating

Pada atap sisi barat setelah coating (Gambar 9), temperatur maksimum berada pada kisaran 32–46°C, dengan penurunan rata-rata 8–14°C dibandingkan kondisi awal.



Gambar 9. Temperatur Atap Sisi Barat Setelah Coating

Secara kuantitatif, rekapitulasi rata-rata temperatur sebelum dan sesudah aplikasi coating reflektif ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata Penurunan dan Efisiensi Temperatur

Titik Pengamatan	Sebelum (°C)	Sesudah (°C)	Penurunan (°C)	Efisiensi Penurunan (%)
Dalam Bangunan	31,8	27,9	3,9	12,3
Atap Sisi Timur	38,9	28,4	10,5	27
Atap Sisi Barat	37,4	32,2	5,2	13,9
Rata-rata total	36	29,5	6,5	17,7

Berdasarkan tabel 1, penurunan temperatur terbesar terjadi pada atap sisi timur dengan reduksi rata-rata sebesar 10,5°C atau 27%. Temperatur udara dalam bangunan menurun sebesar 3,9°C atau 12,3%, sedangkan atap sisi barat mengalami penurunan sebesar 5,2°C atau 13,9%. Secara keseluruhan, rata-rata total temperatur menurun sebesar 6,5°C dengan efisiensi reduksi 17,7%.

Temuan ini menunjukkan bahwa coating reflektif memberikan dampak termal yang signifikan terhadap bangunan tropis ringan.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi coating reflektif BeCool secara konsisten menurunkan temperatur permukaan atap dan temperatur udara dalam bangunan. Temuan ilmiah utama dari penelitian ini adalah bahwa peningkatan reflektansi surya dan emisivitas termal secara signifikan mengurangi akumulasi panas pada selubung bangunan ringan di iklim tropis lembap. Penurunan temperatur terbesar terjadi pada atap sisi timur (27%), diikuti sisi barat (13,9%), serta ruang dalam (12,3%). Pola ini menunjukkan bahwa efektivitas coating tidak hanya bergantung pada nilai reflektansi material, tetapi juga dipengaruhi oleh orientasi bangunan dan dinamika radiasi matahari harian. Temuan ini sejalan dengan studi eksperimental pada bangunan tropis Indonesia yang melaporkan bahwa peningkatan reflektansi atap secara signifikan menurunkan temperatur permukaan dan *heat flux* ke dalam ruang [12]-[13].

Secara fisika bangunan, temperatur permukaan atap ditentukan oleh keseimbangan energi antara radiasi matahari masuk, radiasi terpantul, radiasi gelombang panjang yang dipancarkan kembali, serta perpindahan panas konduksi dan konveksi. Coating reflektif dengan reflektansi 0,77 berarti 77% radiasi gelombang pendek dipantulkan kembali ke atmosfer, sehingga fraksi energi yang diserap permukaan menurun secara signifikan. Dengan emisivitas tinggi (0,88), panas yang terserap juga lebih cepat dilepaskan kembali dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Kombinasi kedua parameter ini menjelaskan penurunan temperatur permukaan hingga 10,5°C pada sisi timur. Mekanisme ini konsisten dengan temuan penelitian cool roof di wilayah tropis yang menunjukkan bahwa material ber-SRI tinggi efektif menurunkan temperatur permukaan melalui peningkatan refleksi dan emisi

termal [14]. Menerapkan cat reflektif surya pada atap bangunan dapat lebih jauh meningkatkan kenyamanan termal dan mengurangi kebutuhan pendinginan buatan [15]-[16].

Penurunan yang lebih besar pada sisi timur dibanding sisi barat dapat dijelaskan oleh karakteristik sudut datang radiasi matahari dan termal lingkungan. Pada pagi hari, radiasi langsung mengenai permukaan dengan sudut relatif optimal dan temperatur lingkungan masih lebih rendah, sehingga mekanisme refleksi bekerja lebih efektif. Sebaliknya, pada sore hari, sisi barat menerima radiasi ketika temperatur ambien sudah tinggi dan terjadi akumulasi panas konduktif sepanjang hari. Penelitian mengenai orientasi bangunan di iklim tropis lembap menunjukkan bahwa distribusi radiasi dan puncak temperatur sangat dipengaruhi oleh arah hadap bangunan, yang berdampak pada variasi performa termal selubung [17]. Hal ini memperkuat bahwa efektivitas coating reflektif bersifat kontekstual terhadap orientasi.

Penurunan temperatur udara dalam sebesar $3,9^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa reduksi panas pada permukaan atap secara langsung menurunkan fluks panas konduksi ke ruang dalam. Berdasarkan hukum Fourier, laju perpindahan panas konduksi berbanding lurus dengan gradien temperatur. Dengan berkurangnya temperatur permukaan atap, selisih temperatur antara luar dan dalam ruang menurun sehingga aliran panas konduksi berkurang secara proporsional. Studi eksperimental pada bangunan pendidikan dan hunian tropis menunjukkan bahwa penggunaan cat reflektif mampu menurunkan suhu ruang serta mengurangi kebutuhan pendinginan mekanis [5].

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan penurunan temperatur permukaan $8,7-34,2^{\circ}\text{C}$ pada aplikasi *cool roof* [3] serta reduksi $9,4-14^{\circ}\text{C}$ pada atap reflektif [4]. Penurunan suhu ruang sebesar $3,9^{\circ}\text{C}$ dalam penelitian ini lebih tinggi dibanding temuan Citraningrum et al. (2024)[5] yang melaporkan penurunan $1,2^{\circ}\text{C}$ pada bangunan tropis, mengindikasikan bahwa coating dengan SRI 106 memiliki performa termal yang kompetitif. Secara energi, hasil ini juga konsisten dengan laporan penghematan $11,3\%-34\%$ pada bangunan beriklim panas dan lembap [9]-[8]-[7]. Analisis dinamika temperatur atap pada bangunan ringan di Indonesia mengonfirmasi bahwa modifikasi sifat optik permukaan lebih efektif dibanding peningkatan massa termal pada kondisi tanpa insulasi [18].

Jika dikaitkan dengan teori albedo permukaan, peningkatan reflektansi secara signifikan menurunkan fluks panas bersih pada permukaan bangunan [10]. Dalam penelitian ini, rata-rata reduksi temperatur total sebesar $6,5^{\circ}\text{C}$ ($17,7\%$) menunjukkan bahwa coating reflektif efektif pada bangunan dengan massa termal rendah seperti atap asbes bergelombang. Hal ini penting karena bangunan ringan umumnya memiliki respons termal cepat terhadap radiasi matahari sehingga intervensi pada permukaan atap memberikan dampak signifikan. Pada skala kawasan, peningkatan reflektansi permukaan bangunan secara kolektif juga berkontribusi terhadap mitigasi urban heat island. Penelitian mengenai material reflektif di kawasan perkotaan Indonesia menunjukkan bahwa peningkatan albedo dapat menurunkan temperatur mikroklimat dan mengurangi akumulasi panas lingkungan [19]. Hal ini relevan mengingat lokasi penelitian berada pada wilayah transisi menuju kawasan industri, di mana intensitas aktivitas dan potensi polutan partikulat relatif lebih tinggi dibanding kawasan permukiman murni. Akumulasi debu dan partikel industri pada permukaan atap dalam jangka panjang berpotensi menurunkan nilai reflektansi efektif, sehingga aspek pemeliharaan dan pembersihan berkala menjadi faktor penting dalam menjaga performa termal coating.

Meskipun kondisi atap asbes pada bangunan penelitian masih dalam keadaan baik dan layak fungsi, karakteristik mekanis material yang relatif rapuh terhadap beban titik (*point load*) menjadi tantangan selama proses aplikasi coating. Risiko terjadinya retak atau pecah akibat distribusi beban yang tidak merata memerlukan prosedur kerja yang hati-hati, termasuk pengaturan distribusi beban secara merata dan pembatasan tekanan langsung pada satu titik tertentu. Tantangan teknis ini penting dicatat karena kerusakan mikro pada material dapat memengaruhi integritas atap sekaligus homogenitas lapisan coating.

Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi secara jangka panjang pengaruh penuaan material (*aging*), degradasi akibat radiasi ultraviolet, serta perubahan nilai reflektansi akibat akumulasi debu dan polutan industri. Dalam konteks iklim tropis lembap dengan intensitas radiasi dan curah hujan tinggi, faktor-faktor tersebut berpotensi memengaruhi stabilitas performa termal coating dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, studi lanjutan yang melibatkan pemantauan durabilitas dan pengukuran konsumsi energi aktual sistem HVAC akan memperkuat validasi manfaat energi secara kuantitatif.

Secara teoretis, penelitian ini memperkuat model konseptual *cool roof* pada bangunan tropis ringan dengan menunjukkan bahwa kombinasi reflektansi tinggi dan emisivitas tinggi bekerja secara sinergis dalam menurunkan temperatur permukaan dan ruang dalam. Secara terapan, hasil ini menunjukkan bahwa aplikasi coating reflektif komersial dapat menjadi strategi pendinginan pasif yang efektif, relatif mudah diterapkan, dan berpotensi mengurangi konsumsi energi sistem HVAC.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menjawab hipotesis bahwa coating reflektif BeCool efektif menurunkan temperatur permukaan atap dan temperatur ruang dalam bangunan tropis, tetapi juga menunjukkan implikasi yang lebih luas terhadap efisiensi energi bangunan serta mitigasi panas kawasan pada wilayah tropis lembap, termasuk area transisi menuju kawasan industri.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini secara eksperimental membuktikan bahwa aplikasi coating reflektif BeCool efektif menurunkan temperatur permukaan atap dan temperatur udara dalam bangunan tropis ringan. Peningkatan reflektansi surya dan emisivitas termal secara signifikan mengurangi energi radiasi bersih yang diserap oleh selubung bangunan, sehingga menurunkan fluks panas konduksi ke ruang dalam. Efektivitas terbesar teridentifikasi pada permukaan dengan paparan radiasi langsung yang optimal, menegaskan bahwa orientasi bangunan dan dinamika radiasi harian merupakan variabel penting dalam menentukan kinerja termal coating reflektif.

Secara konseptual, temuan ini mengonfirmasi teori keseimbangan energi permukaan (*surface energy balance*), di mana peningkatan reflektansi mengurangi absorptansi radiasi gelombang pendek, sementara emisivitas tinggi mempercepat pelepasan panas dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Kombinasi kedua parameter tersebut bekerja secara sinergis dalam menurunkan temperatur permukaan dan mengurangi gradien temperatur antara luar dan dalam bangunan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas termal coating reflektif pada bangunan tropis serta menganalisis implikasinya terhadap potensi pengurangan beban pendinginan telah tercapai secara empiris dan teoretis.

Penurunan temperatur ruang dalam yang diperoleh menunjukkan indikasi kuat adanya potensi pengurangan beban pendinginan mekanis. Secara termodinamika bangunan, reduksi temperatur permukaan atap berimplikasi langsung pada penurunan laju perpindahan panas konduksi, sehingga berpotensi menekan konsumsi energi sistem HVAC. Walaupun penelitian ini belum mengukur konsumsi listrik secara langsung, hasil temperatur yang diperoleh memberikan dasar kuantitatif yang rasional untuk estimasi efisiensi energi pada bangunan tropis ringan.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penyediaan bukti empiris berbasis pengukuran lapangan terhadap produk komersial spesifik pada kondisi iklim tropis lembap, yang masih relatif terbatas dalam literatur nasional. Penelitian ini juga memperkuat model penerapan *cool roof* pada bangunan bermassa termal rendah dengan menunjukkan bahwa intervensi pada lapisan permukaan atap melalui peningkatan sifat optik material memberikan dampak signifikan terhadap performa termal keseluruhan bangunan.

Dari sisi implementasi, coating reflektif dapat dipertimbangkan sebagai strategi pendinginan pasif yang sederhana, adaptif, dan relatif ekonomis untuk bangunan eksisting maupun konstruksi baru di Indonesia, khususnya pada bangunan dengan sistem atap ringan tanpa insulasi tambahan. Untuk mendorong adopsi yang lebih luas, diperlukan integrasi teknologi ini dalam pedoman teknis bangunan hemat energi, standar performa selubung bangunan, serta insentif kebijakan pada sektor perumahan dan bangunan komersial skala kecil-menengah. Pada skala kawasan, peningkatan reflektansi permukaan atap secara kolektif berpotensi meningkatkan albedo lingkungan dan berkontribusi terhadap mitigasi fenomena *urban heat island*, terutama di wilayah perkotaan dan zona transisi industri yang mengalami akumulasi panas tinggi.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan evaluasi jangka panjang guna mengkaji pengaruh penuaan material (*aging*), akumulasi debu dan partikulat, serta degradasi nilai reflektansi terhadap stabilitas performa termal. Pengukuran langsung konsumsi energi sistem pendinginan, pemodelan neraca panas bangunan yang lebih rinci, serta analisis biaya-manfaat (*cost-benefit analysis*) juga diperlukan untuk memperkuat validasi manfaat energi dan kelayakan ekonomi secara komprehensif. Integrasi antara pengujian performa termal, ketahanan material, dan analisis dampak lingkungan akan menjadi arah pengembangan penting untuk memastikan keberlanjutan aplikasi coating reflektif dalam jangka panjang pada konteks bangunan tropis Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Chung-Camargo, J. González, M. Chen Austin, C. Carpino, D. Mora, and N. Arcuri, "Advances in Retrofitting Strategies for Energy Efficiency in Tropical Climates: A Systematic Review and Analysis," *Buildings*, vol. 14, no. 6, p. 1633, 2024, doi: 10.3390/buildings14061633.
- [2] C. Aggarwal and S. Molleti, "State-of-the-Art Review – Effects of Using Cool Building Cladding Materials on Roofs," July 2024, doi: 10.20944/preprints202407.0431.v1.
- [3] C. Y. Wai, H.-W. Chau, P. Paresi, and N. Muttill, "Experimental Analysis of Cool Roof Coatings as an Urban Heat Mitigation Strategy to Enhance Thermal Performance," 2025. doi: 10.3390/buildings15050685.
- [4] S. Zhao, G. Hai, and X. Zhang, "An Analysis of the Influence of Cool Roof Thermal Parameters on Building Energy Consumption Based on Orthogonal Design," *Buildings*, vol. 14, no. 1, p. 28, 2023, doi: 10.3390/buildings14010028.
- [5] A. Citraningrum, W. Iyati, and J. Wardoyo, "Effect of Cool Roof Paint Application on Metal Roof Surface Temperature and Indoor Air Temperature in Tropical Climates," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1404, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1404/1/012038.

-
- [6] H. Ling, Y. Chian, Y. Kun, S. Huat, and Y. Hong, "Influences of Lightweight Foam Concrete Roof Tile Hollow Sections and Thermal Reflective Coating in Cool Roof System," *J. Kejuruter.*, 2023, doi: 10.17576/jkukm-2023-35(3)-09.
- [7] T. Wang, M. Zhao, Y. Lan, and S. Hu, "Numerical Evaluation of Cooling Energy Saving and Indoor Thermal Comfort for Building Energy Retrofit with Reflective Materials," *Buildings*, 2025, doi: 10.3390/buildings15183387.
- [8] Hamed H Saber, "Hygrothermal performance of cool roofs with reflective coating material subjected to hot, humid and dusty climate," *J. Build. Phys.*, vol. 45, no. 4, pp. 457–481, Apr. 2021, doi: 10.1177/17442591211001408.
- [9] T. Nutakki, W. Kazim, K. Alamara, T. Salameh, and M. Abdelkareem, "Experimental Investigation on Aging and Energy Savings Evaluation of High Solar Reflective Index (SRI) Paints: A Case Study on Residential Households in the GCC Region," *Buildings*, 2023, doi: 10.3390/buildings13020419.
- [10] S. Chen *et al.*, "Physics-Informed Regression Modelling for Vertical Facade Surface Temperature: A Tropical Case Study on Solar-reflective Material," 2025, doi: 10.48550/arXiv.2507.16174.
- [11] K. Dornelles, "Effect of aging on solar reflectance of white cool roof coatings: natural weathering and the influence on building energy needs for different climate conditions in Brazil," *J. Adv. Environ. Stud. Energy Res.*, vol. 4, 2021, doi: 10.30564/jaeser.v4i2.2812.
- [12] A. Budhiyanto and A. Tampubolon, "A Comparative Study of Cool Roof and Green Roof Performance in Tropical Area of Indonesia," *J. Archit. Res. Des. Stud.*, 2025, doi: 10.20885/jars.vol9.iss1.art1.
- [13] F. Xu, H. Wang, D. Tian, Z. Gao, and J. Zhang, "Factors affecting the daytime cooling effect of cool materials: A case study combining experiment and simulation," *Building and Environment*, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111213.
- [14] B. N. Firtescu, "Advancements in super cool roofs," pp. 305–309, Feb. 2023, doi: 10.1201/9781003384830-38
- [15] I. K. A. Darmayoga, I. P. W. Wendyputra, N. M. Yudiantini, and T. Ramadhan, "Kajian Penggunaan Coating Atap terhadap Termal Bangunan Studi Kasus Rumah Bali Kontemporer," *Arsitektura : Jurnal Ilmiah Arsitektur & Lingkungan Binaan*, vol. 22, no. 2, pp. 251–251, Oct. 2024, doi: 10.20961/arst.v22i2.84333.
- [16] S. E. Febrina, T. W. Setiati, M. B. W. Pratama, and S. Kurnia, "Penggunaan Cat Reflektif Surya pada Atap Bangunan untuk Menurunkan Suhu Ruang pada Bangunan Sekolah," *Deleted Journal*, vol. 14, no. 02, pp. 227–233, Oct. 2024, doi: 10.47709/elektriese.v14i02.4847.
- [17] J. Cárdenas, G. Osma-Pinto, and J. Jaramillo, "Evaluation of Constructive Parameters to Minimize the Effects of Solar Radiation in Households with Tropical Climate," vol. 2, pp. 146–150, July 2024, doi: 10.24084/ej24.398
- [18] I. A. Wardah and N. A. Basyarach, "Effect of roof and wall material on energy usage for house cooling system in hot-humid climate," *JEMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering)*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, Nov. 2022, doi: 10.22219/jemmme.v7i1.22574.
- [19] S. Afroditi, "The impact of heat mitigation on energy demand," pp. 175–211, Jan. 2024, doi: 10.1016/b978-0-443-13502-6.00006-3.