

Inovasi Komposit HDPE dan PCM Sebagai Material Genteng Adaptif Iklim Tropis

Devnama Reihan Saputra*, Juanita

Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Indonesia

Email: devtamareihan@gmail.com*, juanita@ump.ac.id

Keywords:	Abstract
HDPE, PCM, Composite Tiles.	<i>Building thermal comfort in tropical regions is an important issue, particularly due to high solar radiation intensity that increases indoor temperatures and energy consumption for artificial cooling. On the other hand, HDPE (High Density Polyethylene) plastic waste continues to increase alongside growing plastic product consumption, yet its reuse as a value-added material remains suboptimal. This condition opens opportunities for utilizing HDPE as a sustainable alternative construction material, in line with circular economy principles in the construction industry. This research examines the potential of HDPE-PCM composite as a roof tile material capable of adapting to temperature fluctuations in tropical climates, serving as a dual solution to environmental problems and building thermal comfort. One approach involves combining HDPE with PCM (Phase Change Material), which absorbs and releases latent heat during phase changes, thereby passively stabilizing roof surface temperature without additional energy. Factors considered in developing this composite include HDPE's mechanical properties such as tensile strength and weather resistance, PCM's thermal characteristics including melting point and latent heat capacity, and composite material development in the construction field. Integrating PCM into the HDPE matrix has potential to enhance the material's ability to stabilize under-roof space temperature, though composition balance must be considered so PCM addition does not reduce the tile's structural strength or mechanical durability. Thus, HDPE-PCM composite holds significant potential to be developed as an innovative roof tile material that not only improves building thermal comfort in tropical climates but also supports sustainable plastic waste reduction and future environmentally friendly construction material development.</i>
Kata Kunci:	Abstrak
HDPE, PCM, Genteng Komposit	Permasalahan kenyamanan termal bangunan di wilayah tropis menjadi isu penting, terutama akibat tingginya intensitas radiasi matahari yang berdampak pada peningkatan suhu ruang dan konsumsi energi untuk pendinginan buatan. Di sisi lain, limbah plastik jenis HDPE (High Density Polyethylene) terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan konsumsi produk plastik, namun pemanfaatannya kembali sebagai material bernilai tambah masih belum optimal. Kondisi ini membuka peluang pemanfaatan HDPE sebagai material konstruksi alternatif yang lebih berkelanjutan, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dalam industri konstruksi. Riset ini bertujuan mengkaji potensi komposit HDPE dan PCM sebagai material genteng yang mampu beradaptasi terhadap fluktuasi suhu iklim tropis, sekaligus menjadi solusi ganda bagi permasalahan lingkungan dan kenyamanan termal bangunan. Salah satu pendekatan yang dilakukan adalah mengombinasikan HDPE dengan PCM (Phase Change Material) yang mampu menyerap dan melepaskan panas laten saat perubahan fase, sehingga dapat menstabilkan suhu permukaan atap secara pasif tanpa energi tambahan. Faktor yang dipertimbangkan dalam pengembangan komposit ini antara lain sifat

mekanik HDPE seperti kekuatan tarik dan ketahanan cuaca, karakteristik termal PCM meliputi titik leleh dan kapasitas panas laten, serta pengembangan material komposit bidang konstruksi. Integrasi PCM dalam matriks HDPE berpotensi meningkatkan kemampuan material menstabilkan suhu ruang di bawah atap, meskipun perlu memperhatikan keseimbangan komposisi agar penambahan PCM tidak menurunkan kekuatan struktur maupun ketahanan mekanik genteng. Dengan demikian, komposit HDPE-PCM memiliki peluang besar untuk dikembangkan sebagai material genteng inovatif yang tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kenyamanan termal bangunan di iklim tropis, tetapi juga mendukung upaya pengurangan limbah plastik secara berkelanjutan serta pengembangan material konstruksi ramah lingkungan di masa mendatang.

PENDAHULUAN

Permasalahan sampah plastik di Indonesia masih menjadi isu lingkungan yang serius dengan dampak yang semakin meluas. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa plastik menyumbang sekitar 15% dari total timbunan sampah nasional, dengan tingkat pengelolaan yang belum optimal sehingga sebagian besar masih berakhir di tempat pembuangan akhir (KLHK, 2023). Berdasarkan laporan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), pada tahun 2022 timbunan sampah plastik di Indonesia mencapai 6.340.505,35 ton per tahun, menjadikannya sebagai salah satu penyumbang terbesar permasalahan lingkungan di tanah air. Jenis plastik yang paling dominan digunakan adalah HDPE (*High Density Polyethylene*), yaitu polimer termoplastik berdensitas tinggi yang umum digunakan pada botol, jerigen, pipa, dan berbagai kemasan rumah tangga karena sifatnya yang kuat, tahan air, serta tahan terhadap bahan kimia (Abeyasinghe et al., 2021). Namun, karakteristik HDPE yang sulit terdegradasi secara alami menyebabkan material ini cenderung menumpuk di lingkungan dan belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai material bernilai guna tinggi (Rafiq, 2021).

Di sisi lain, sektor bangunan di wilayah tropis menghadapi tantangan besar terkait kenyamanan termal akibat tingginya intensitas radiasi matahari sepanjang tahun. Bangunan di iklim tropis mengalami fluktuasi suhu harian yang signifikan, dengan suhu permukaan atap yang dapat mencapai 47°C hingga 50°C pada siang hari, sehingga berdampak pada peningkatan suhu ruang dalam bangunan. Kondisi ini menyebabkan penurunan kenyamanan termal penghuni dan peningkatan penggunaan pendingin ruangan, yang pada akhirnya berdampak pada konsumsi energi listrik yang lebih besar. Menurut penelitian terkini, konsumsi energi untuk pendinginan ruangan di wilayah tropis dapat mencapai 30-60% dari total konsumsi energi bangunan, sehingga diperlukan solusi material bangunan yang mampu mengurangi beban pendinginan secara pasif.

Upaya pemanfaatan limbah HDPE dalam bidang konstruksi telah mulai dikembangkan sebagai solusi alternatif yang berkelanjutan. Penelitian oleh Hamzah et al., (2024) menunjukkan bahwa genteng komposit polimer berbasis HDPE dengan serat rumput teki mampu menurunkan perpindahan panas radiasi, dengan temperatur permukaan bawah genteng terendah mencapai 41,6°C pada komposisi serat 20%. Penelitian serupa oleh (Pongoh & Masjud, 2024) mengeksplorasi pemanfaatan limbah HDPE sebagai bahan baku papan partikel, sementara (Taufiqurrahman, 2025) menguji substitusi agregat halus pada beton ringan menggunakan limbah HDPE. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada

aspek mekanik, sementara kajian terkait peningkatan kinerja termal material berbasis HDPE secara signifikan masih terbatas. Hal ini menjadi celah penting mengingat kebutuhan material atap yang tidak hanya kuat secara struktural tetapi juga mampu meredam panas untuk meningkatkan kenyamanan termal bangunan di iklim tropis.

Salah satu pendekatan yang berpotensi mengatasi keterbatasan termal HDPE adalah integrasi PCM (*Phase Change Material*) ke dalam matriks polimer. PCM merupakan material yang mampu menyimpan dan melepaskan energi panas melalui proses perubahan fase, misalnya dari padat ke cair atau sebaliknya. Saat suhu lingkungan meningkat, PCM menyerap panas laten sehingga dapat menunda kenaikan suhu, dan saat suhu menurun, panas tersebut dilepaskan kembali ke lingkungan (Alvarado, 2021). Penelitian oleh (Arivazhagan et al., 2025) menunjukkan bahwa integrasi PCM pada plafon bangunan mampu menurunkan suhu udara dalam ruangan hingga 5,79°C dibandingkan ruangan tanpa PCM, dengan pemanfaatan energi panas laten mencapai 31,4%. (Messenger et al., 2023) juga mengonfirmasi bahwa komposit PCM/HDPE memberikan manfaat penyimpanan termal yang signifikan, meskipun penambahan PCM menyebabkan penurunan sifat mekanik material.

Penelitian terkini dari Liu et al., (2025) menyoroti pentingnya konfigurasi PCM yang optimal dalam selubung bangunan untuk meningkatkan kinerja termal dan energi di wilayah tropis. Studi tersebut menemukan bahwa lokasi dan ketebalan PCM sangat memengaruhi efektivitasnya dalam mengurangi beban pendinginan, dengan ketebalan 15-20 mm dianggap paling efektif. Sementara itu, penelitian oleh Ahmad et al. (2023) menunjukkan bahwa komposit HDPE/TiO₂ memiliki stabilitas termal dan kapasitas panas spesifik yang lebih baik dibandingkan material komersial, sehingga berpotensi sebagai material alternatif di negara tropis. Namun, studi-studi tersebut belum secara spesifik menguji aplikasi komposit HDPE-PCM dalam bentuk genteng untuk iklim tropis, sehingga terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan antara pengembangan material komposit secara umum dengan aplikasi spesifik sebagai elemen atap.

Berdasarkan uraian tersebut, urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak akan material genteng yang mampu mengatasi dua permasalahan sekaligus: pengelolaan limbah plastik HDPE yang terus meningkat dan peningkatan kenyamanan termal bangunan di iklim tropis. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka konseptual komposit HDPE-PCM yang secara spesifik dirancang sebagai material genteng adaptif iklim tropis, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara sifat mekanik dan kinerja termal. Pendekatan ini belum banyak dieksplorasi secara komprehensif dalam literatur yang ada, yang umumnya masih membahas pemanfaatan HDPE dan PCM secara terpisah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi komposit HDPE dan PCM sebagai material genteng yang adaptif terhadap iklim tropis, dengan menekankan pada peluang peningkatan kinerja termal sekaligus pemanfaatan limbah plastik secara lebih optimal.

Kontribusi penelitian ini mencakup aspek teoritis dan praktis. Secara teoritis, penelitian ini memberikan sintesis literatur yang menghubungkan karakteristik HDPE, kinerja termal PCM, dan aplikasi material komposit dalam konstruksi, sehingga memperkaya khazanah keilmuan di bidang material bangunan berkelanjutan. Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengembangan produk genteng komposit inovatif yang tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kenyamanan termal bangunan dan pengurangan konsumsi energi, tetapi juga mendukung upaya pengurangan limbah plastik secara

berkelanjutan serta membuka peluang diversifikasi produk konstruksi ramah lingkungan di Indonesia. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi para pemangku kepentingan, termasuk perumus kebijakan, pengembang properti, dan industri konstruksi, dalam mengadopsi material alternatif yang lebih berkelanjutan untuk pembangunan di wilayah tropis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi literatur dengan pendekatan kualitatif yang bertujuan untuk mensintesis temuan-temuan dari berbagai sumber ilmiah terkait karakteristik HDPE, PCM, dan komposisinya sebagai material genteng adaptif iklim tropis. Data yang digunakan berasal dari artikel jurnal ilmiah terindeks Scopus dan Google Scholar, prosiding konferensi, serta laporan teknis yang dipublikasikan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir (2015-2025). Populasi data mencakup seluruh publikasi ilmiah yang relevan dengan topik HDPE, PCM, aplikasi material komposit dalam konstruksi, serta kinerja termal bangunan di iklim tropis. Sampel data dipilih secara purposif dengan kriteria inklusi: (1) membahas sifat mekanik atau termal HDPE sebagai material konstruksi; (2) membahas karakteristik dan aplikasi PCM pada elemen bangunan; (3) mengkaji komposit HDPE-PCM untuk penyimpanan energi termal; serta (4) membahas pengembangan material genteng alternatif berbasis polimer. Teknik pengambilan sampel menggunakan metode *snowball sampling* untuk memastikan kelengkapan referensi dengan menelusuri daftar pustaka dari artikel-artikel kunci yang telah teridentifikasi.

Instrumen penelitian berupa lembar sintesis literatur (*literature review matrix*) yang memuat aspek-aspek yang dikaji, yaitu: (1) sifat mekanik HDPE (kekuatan tarik, modulus elastisitas, ketahanan bentur); (2) kinerja termal PCM (suhu transisi fase, panas laten, konduktivitas termal); (3) karakteristik komposit HDPE-PCM (homogenitas distribusi, stabilitas bentuk, kompatibilitas antarmuka); dan (4) potensi aplikasi sebagai material genteng tropis. Uji validitas data dilakukan melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan temuan dari minimal tiga studi berbeda untuk memastikan konsistensi informasi dan menghindari bias. Uji reliabilitas dilakukan melalui pembacaan ulang dan peninjauan kembali sintesis data secara sistematis (*inter-coder reliability*) dengan melibatkan dua peneliti independen untuk memverifikasi kategorisasi temuan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur sistematis menggunakan kata kunci "HDPE", "high density polyethylene", "phase change material", "PCM", "composite", "thermal energy storage", "building material", "roof tile", "tropical climate", "kenyamanan termal", dan "genteng komposit" pada basis data akademik seperti Scopus, Google Scholar, ScienceDirect, dan SpringerLink.

Prosedur penelitian terdiri dari enam tahapan sistematis, yaitu: (1) identifikasi topik dan pertanyaan penelitian berdasarkan permasalahan limbah HDPE dan kebutuhan material genteng adaptif iklim tropis; (2) pencarian dan pengumpulan literatur menggunakan kata kunci terstruktur dengan operator Boolean (AND/OR) untuk memaksimalkan hasil penelusuran; (3) seleksi literatur berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi melalui penilaian abstrak dan teks lengkap; (4) ekstraksi data ke dalam lembar sintesis yang telah disiapkan; (5) sintesis dan analisis tematik untuk mengidentifikasi pola, kesenjangan, dan keterkaitan antartemuan; serta (6) penarikan kesimpulan mengenai potensi aplikasi komposit HDPE-PCM sebagai material genteng tropis. Perangkat lunak yang digunakan untuk manajemen referensi adalah

Mendeley dan Zotero, sedangkan analisis konten dibantu dengan perangkat lunak pengolah data untuk mengidentifikasi frekuensi kemunculan tema dan pola temuan. Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan metode analisis tematik, yaitu mengidentifikasi, mengkode, dan mengelompokkan pola-pola temuan ke dalam tema-tema utama yang meliputi: (a) karakteristik HDPE sebagai material konstruksi; (b) peran PCM dalam peningkatan kinerja termal; (c) interaksi dan kompatibilitas komposit HDPE-PCM; (d) tantangan homogenitas dan modifikasi antarmuka; (e) potensi aplikasi genteng tropis; serta (f) implikasi lingkungan dan ekonomi. Data yang terkumpul dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk mengidentifikasi kesamaan, perbedaan, dan keterbatasan dari masing-masing studi, serta untuk merumuskan sintesis komprehensif mengenai potensi aplikasi komposit HDPE-PCM sebagai material genteng adaptif iklim tropis yang belum banyak dieksplorasi secara spesifik dalam literatur yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik HDPE sebagai Material Konstruksi

Penelitian ini mengkaji karakteristik High Density Polyethylene (HDPE) sebagai material konstruksi alternatif berdasarkan sintesis dari berbagai studi literatur. HDPE menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai material bangunan karena sifatnya yang ringan, tahan terhadap air, serta memiliki ketahanan kimia yang baik. Material ini juga relatif mudah dibentuk ulang melalui proses pemanasan, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan menjadi berbagai bentuk elemen bangunan termasuk genteng. Penelitian oleh Simanjuntak et al. menunjukkan bahwa genteng komposit berbasis HDPE dengan penambahan serat tandan kosong kelapa sawit mencapai karakteristik optimum pada komposisi tertentu dengan nilai kerapatan 1379 kg/m^3 , daya serap air 2,10%, kekuatan tarik 2,38 MPa, kekuatan lentur 12,04 MPa, dan kekuatan impak $14,58 \text{ kJ/m}^3$. Temuan ini mengindikasikan bahwa HDPE daur ulang dapat dimanfaatkan sebagai bahan komposit dengan performa mekanik yang cukup stabil untuk aplikasi genteng.

Hasil kajian menunjukkan bahwa kualitas HDPE daur ulang sangat dipengaruhi oleh kondisi limbah dan proses pengolahannya. Penelitian oleh Desriantomy et al. (2025) mengevaluasi penggunaan limbah HDPE sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran aspal dan menemukan bahwa tingkat substitusi maksimum yang diizinkan adalah 42%, dengan stabilitas tertinggi dicapai pada substitusi 45% ($1176,696 \text{ kg}$). Temuan ini memperkuat potensi pemanfaatan HDPE dalam berbagai aplikasi konstruksi, meskipun setiap aplikasi memerlukan optimasi komposisi dan metode pengolahan yang spesifik.

Karakteristik termal HDPE menjadi perhatian utama dalam aplikasinya sebagai material atap di iklim tropis. Berdasarkan kajian literatur, HDPE memiliki keterbatasan dalam mengendalikan perpindahan panas karena material ini cenderung tidak mampu meredam fluktuasi suhu secara signifikan. Penelitian tentang kinerja termal atap di wilayah tropis menunjukkan bahwa material atap konvensional seperti genteng beton dan genteng metal memiliki kemampuan peredaman panas yang terbatas tanpa adanya insulasi tambahan. Hal serupa juga berlaku untuk HDPE yang jika digunakan secara tunggal sebagai material atap, masih berpotensi menyebabkan peningkatan suhu ruang pada kondisi terpapar radiasi matahari secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi atau penambahan material lain untuk meningkatkan kinerja termal HDPE.

Peran PCM dalam Meningkatkan Kinerja Termal

Phase Change Material (PCM) dikenal memiliki kemampuan menyimpan dan melepaskan panas melalui mekanisme perubahan fase dari padat ke cair atau sebaliknya . Messenger et al. (2023) mengkarakterisasi komposit PCM/HDPE dan menemukan bahwa PCM dapat menyerap panas laten dalam jumlah besar pada suhu yang hampir konstan saat mengalami perubahan fase . Karakterisasi yang dilakukan meliputi kekuatan tarik, modulus elastisitas pada suhu ruang dan saat PCM sepenuhnya meleleh dalam komposit, kekerasan, panas laten peleburan, suhu transisi fase, dan konduktivitas termal . Analisis mikrostruktur komposit mendukung temuan bahwa PCM dalam komposit PCM/HDPE memberikan manfaat penyimpanan termal meskipun menyebabkan penurunan sifat mekanik .

Penelitian oleh Liu et al. (2025) menyoroti pentingnya konfigurasi PCM dalam selubung bangunan untuk meningkatkan kinerja termal dan energi di wilayah tropis . Studi tersebut menemukan bahwa lokasi dan ketebalan PCM sangat memengaruhi efektivitasnya dalam mengurangi beban pendinginan, dengan ketebalan 15-20 mm dianggap paling efektif . Temuan ini relevan untuk aplikasi PCM pada genteng, mengingat atap merupakan permukaan bangunan yang menerima beban radiasi matahari paling tinggi sepanjang hari. Penelitian tentang kinerja termal bangunan di iklim tropis menunjukkan bahwa integrasi PCM dalam elemen bangunan mampu menurunkan suhu puncak serta memperlambat laju perubahan temperatur .

Penelitian oleh Gounden et al. (2024) tentang bata plastik-pasir berbasis HDPE menemukan bahwa penambahan Kaolin Clay dapat mengisi rongga antar partikel, meningkatkan integritas struktural, dan menurunkan daya serap air hingga 0,39% . Meskipun penelitian ini tidak secara spesifik membahas PCM, temuan tentang modifikasi material HDPE memberikan wawasan tentang strategi peningkatan kinerja komposit yang relevan untuk pengembangan HDPE-PCM. Studi ini juga mengkonfirmasi bahwa material komposit berbasis HDPE memiliki resistansi listrik yang mengklasifikasikannya sebagai isolator, yang merupakan karakteristik menguntungkan untuk material bangunan .

Analisis Komposit HDPE-PCM

Penggabungan HDPE dan PCM dalam satu sistem komposit memberikan peluang untuk menggabungkan keunggulan mekanik dan termal secara bersamaan . HDPE berperan sebagai matriks yang memberikan kekuatan dan bentuk struktural, sedangkan PCM berfungsi sebagai agen penyimpan panas. Messenger et al. (2023) mengeksplorasi sifat mekanik dan termal dari berbagai rasio komposit PCM/HDPE yang diproduksi dengan metode injection molding . Hasil penelitian menunjukkan bahwa PCM dalam komposit PCM/HDPE memberikan manfaat penyimpanan termal tetapi menyebabkan penurunan sifat mekanik . Temuan ini mengkonfirmasi bahwa keseimbangan komposisi menjadi faktor krusial dalam menentukan performa komposit.

Kajian literatur menunjukkan bahwa penambahan PCM dalam jumlah terbatas dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan panas tanpa mengganggu struktur material secara signifikan. Sebaliknya, jika kandungan PCM terlalu tinggi, material cenderung mengalami penurunan kekuatan mekanik dan berpotensi menjadi lebih rapuh . Penelitian tentang komposit polimer-PCM menunjukkan bahwa fraksi PCM yang optimal bervariasi tergantung pada jenis PCM dan matriks polimer yang digunakan. Studi tentang HDPE/parafin sebagai komposit

PCM bentuk-stabil untuk penyimpanan energi termal menunjukkan bahwa kompatibilitas antara HDPE dan parafin memengaruhi stabilitas bentuk dan kinerja termal komposit .

Tantangan homogenitas menjadi perhatian utama dalam pengembangan komposit HDPE-PCM. Perbedaan sifat permukaan antara HDPE yang bersifat hidrofobik dengan PCM, terutama PCM organik berbasis parafin, menyebabkan potensi pemisahan fase selama proses pencampuran . Penelitian tentang morfologi dan sifat termal komposit polietilen/parafin menunjukkan bahwa struktur kristal dan distribusi parafin dalam matriks polietilen sangat memengaruhi kinerja penyimpanan energi termal . Strategi modifikasi antarmuka seperti penggunaan compatibilizer atau agen kopling, serta teknik mikroenkapsulasi PCM, dinilai menjanjikan untuk mengatasi tantangan homogenitas dan mencegah kebocoran PCM saat mengalami perubahan fase cair.

Potensi Aplikasi sebagai Material Genteng Tropis

Dalam konteks aplikasi sebagai genteng, komposit HDPE-PCM memiliki potensi yang cukup menjanjikan berdasarkan sintesis literatur. Dari sisi mekanik, penelitian tentang genteng komposit polimer berbasis HDPE menunjukkan bahwa material ini mampu memenuhi persyaratan mekanik untuk elemen atap . Simanjuntak et al. menemukan bahwa penambahan serat tandan kosong kelapa sawit sebesar 5% meningkatkan kekuatan tarik hingga 46,32%, kekuatan lentur hingga 49,22%, dan kekuatan impak hingga 217,39% . Temuan ini menunjukkan bahwa HDPE dapat diperkuat dengan bahan pengisi untuk mencapai karakteristik mekanik yang sesuai untuk genteng.

Dari sisi termal, keberadaan PCM dalam komposit dapat membantu meredam panas yang diterima dari radiasi matahari, sehingga suhu di bawah atap menjadi lebih stabil . Penelitian tentang kinerja termal bangunan di iklim tropis menunjukkan bahwa integrasi PCM dalam selubung bangunan mampu menurunkan suhu puncak dan memperlambat laju perubahan temperatur . Studi oleh Liu et al. (2025) tentang konfigurasi PCM yang paling efisien untuk meningkatkan kinerja termal dan energi selubung bangunan beton di wilayah tropis menemukan bahwa lokasi dan ketebalan PCM sangat memengaruhi efektivitasnya dalam mengurangi beban pendinginan .

Karakteristik iklim tropis Indonesia, dengan intensitas radiasi matahari tinggi sepanjang tahun dan fluktuasi suhu harian yang signifikan antara siang dan malam, menjadikan kebutuhan terhadap material atap dengan kemampuan buffering termal semakin relevan. Penelitian tentang kinerja termal atap di wilayah tropis menunjukkan bahwa material atap konvensional memiliki keterbatasan dalam mengatasi fluktuasi suhu . Genteng berbasis komposit HDPE-PCM secara konseptual dapat berperan sebagai elemen pasif dalam mendinginkan bangunan, sejalan dengan prinsip desain bangunan tropis yang mengutamakan efisiensi energi tanpa bergantung sepenuhnya pada sistem pendingin mekanis.

Perbandingan dengan Material Genteng Konvensional

Perbandingan dengan material genteng konvensional menunjukkan bahwa komposit HDPE-PCM menawarkan sejumlah keunggulan yang saling melengkapi. Genteng tanah liat memiliki kapasitas termal yang cukup baik, namun bobotnya relatif berat dan rentan retak, sedangkan genteng metal memiliki bobot ringan namun konduktivitas panasnya tinggi sehingga cenderung membuat ruang di bawahnya cepat panas . Penelitian tentang berbagai jenis atap dan insulasi di wilayah tropis menunjukkan bahwa genteng beton dan genteng

keramik memiliki kinerja termal yang bervariasi tergantung pada ketebalan dan sudut pemasangan .

Komposit HDPE-PCM berpotensi menggabungkan keunggulan bobot ringan seperti genteng metal dengan kapasitas peredaman panas yang mendekati atau bahkan melampaui genteng tanah liat, berkat mekanisme penyimpanan panas laten dari PCM . Penelitian tentang kinerja termal atap dengan insulasi dan genteng albedo tinggi menunjukkan bahwa kombinasi strategi pasif dapat secara signifikan mengurangi perpindahan panas diurnal ke dalam bangunan . Meskipun perbandingan performa secara kuantitatif masih memerlukan pengujian eksperimental langsung, potensi posisi komposit ini di antara kategori material atap yang telah ada menjadikannya alternatif yang layak dipertimbangkan lebih lanjut.

Implikasi dan Kebaruan Penelitian

Integrasi HDPE dan PCM dalam satu material komposit menawarkan pendekatan baru dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan. Kebaruan terletak pada fokus pemanfaatan limbah HDPE yang dikombinasikan dengan PCM sebagai material genteng yang tidak hanya memiliki kekuatan struktural, tetapi juga kemampuan adaptif terhadap perubahan suhu lingkungan. Penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik dalam konstruksi menunjukkan bahwa pendekatan ini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan limbah, tetapi juga menyediakan alternatif material yang lebih berkelanjutan .

Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kinerja termal bangunan, tetapi juga memberikan nilai tambah terhadap pengolahan limbah plastik yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian oleh Gounden et al. (2024) menunjukkan bahwa limbah HDPE dapat digunakan untuk memproduksi bata plastik-pasir yang ramah lingkungan, dengan temuan bahwa rasio pasir:plastik 60:40 menghasilkan daya serap air terendah . Temuan serupa menunjukkan potensi pengembangan material komposit berbasis HDPE untuk berbagai aplikasi konstruksi.

Kebaruan penelitian ini semakin diperkuat oleh belum adanya kajian yang secara eksplisit memosisikan komposit HDPE-PCM sebagai solusi terintegrasi antara pengelolaan limbah plastik, efisiensi energi bangunan, dan diversifikasi produk material atap di wilayah tropis. Penelitian tentang aplikasi PCM dalam bangunan di iklim tropis masih terbatas dan sebagian besar berfokus pada dinding daripada atap . Dengan merangkum temuan dari berbagai bidang kajian yang selama ini berkembang secara terpisah, riset ini menawarkan kerangka konseptual awal yang dapat menjadi landasan bagi pengembangan produk genteng komposit yang lebih adaptif terhadap tantangan iklim sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan.

Keterbatasan dan Arah Penelitian Lanjutan

Perlu ditegaskan bahwa kajian ini bersifat konseptual dan didasarkan pada sintesis studi literatur, sehingga belum menghasilkan data eksperimental langsung terkait performa komposit HDPE-PCM dalam bentuk genteng. Penelitian tentang komposit PCM/HDPE oleh Messenger et al. (2023) telah memberikan landasan eksperimental tentang karakterisasi mekanik dan termal material ini, namun belum menguji aplikasinya dalam bentuk genteng . Beberapa agenda penelitian lanjutan yang relevan untuk ditindaklanjuti meliputi: (1) karakterisasi termal PCM menggunakan differential scanning calorimetry (DSC) untuk menentukan titik leleh dan kapasitas panas laten yang optimal bagi kondisi iklim tropis; (2) pengujian mekanik komposit sesuai standar yang berlaku, seperti SNI genteng plastik maupun ASTM terkait, untuk mengukur kekuatan lentur dan ketahanan beban.

Penelitian tentang konfigurasi PCM yang paling efisien untuk selubung bangunan di wilayah tropis menunjukkan bahwa uji eksperimental diperlukan untuk memvalidasi temuan simulasi. Liu et al. (2025) menekankan pentingnya pengujian langsung menggunakan prototipe skala nyata untuk mengevaluasi efektivitas peredaman suhu secara nyata. Rangkaian agenda penelitian tersebut diharapkan dapat menjembatani kajian konseptual ini menuju tahap pengembangan produk genteng komposit HDPE-PCM yang siap diuji dan diaplikasikan secara nyata.

KESIMPULAN

Limbah plastik HDPE memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai material konstruksi alternatif karena sifatnya yang ringan, tahan air, dan cukup stabil secara mekanik. Namun, keterbatasan HDPE dalam mengendalikan perpindahan panas menjadi tantangan utama dalam aplikasinya sebagai material bangunan, khususnya pada iklim tropis.

Integrasi PCM ke dalam matriks HDPE menunjukkan potensi dalam meningkatkan kinerja termal material melalui mekanisme penyimpanan panas laten. Kombinasi kedua material ini memungkinkan terbentuknya komposit yang tidak hanya memiliki kekuatan struktural, tetapi juga mampu meredam fluktuasi suhu secara pasif. Meskipun demikian, keseimbangan komposisi antara HDPE dan PCM menjadi faktor penting agar tidak menurunkan stabilitas mekanik material.

Secara umum, komposit HDPE-PCM berpotensi dikembangkan sebagai material genteng yang adaptif terhadap iklim tropis serta mendukung pemanfaatan limbah plastik secara lebih optimal. Namun, diperlukan penelitian lanjutan secara eksperimental untuk menguji performa mekanik dan termal secara langsung, sehingga dapat memastikan kelayakan material ini untuk diaplikasikan secara luas dalam bidang konstruksi.

REFERENSI

- Abeyasinghe, S., Gunasekara, C., Bandara, C., Nguyen, K., Dissanayake, R., & Mendis, P. (2021). Engineering performance of concrete incorporated with recycled high-density polyethylene (HDPE)—A systematic review. *Polymers*, 13(11), 1885.
- Alvarado, J. (2021). Phase change materials in building envelopes: A review. *Energy and Buildings*, 233, 110650.
- Hendrayana, A., Susanti, R., & Fauziyah, S. (2024). Pemanfaatan limbah high density polyethylene (HDPE) geomembrane sebagai campuran beton normal. *Jurnal Sipil dan Arsitektur*, 2(2), 25–34.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). Laporan pengelolaan sampah nasional 2023. KLHK.
- Kulkarni, P., Ravekar, V., Rao, P. R., Waigokar, S., & Hingankar, S. (2022). Recycling of waste HDPE and PP plastic in preparation of plastic brick and its mechanical properties. *Cleaner Materials*, 1(5), 100113. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100113>
- Messenger, M. A., Troxler, C. J., Melendez, I., Freeman, T. B., Reed, N., Rodriguez, R. M., & Boetcher, S. K. S. (2023). Mechanical and thermal characterization of phase-change material and high-density polyethylene functional composites for thermal energy storage. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 145(6), 061005.
- Mohan, A., & Deepak, P. (2021). Effects of alkali treatment on polymer composite interfaces. *Materials Today: Proceedings*, 45, 824–829.

- Mustakim, M., Rahima, R., Muis, A., & Sulfanita, A. (2023). Studi perbandingan kuat tekan paving block berbahan dasar limbah plastik. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 20(1), 41–50. <https://doi.org/10.30630/jirs.v20i1.1022>
- Pongoh, I. M., & Masjud, Y. I. (2024). The study of high-density polyethylene (HDPE) waste utilization into particle board. *Applied Environmental Science*, 1(2).
- Rafiq, M. (2021). Recycled plastic as construction material: Performance and durability. *Journal of Building Engineering*, 43, 102551.
- Rahmalina, D., Miftahudin, I. C., & Ismail, I. (2023). Peningkatan performa termal phase change material dengan komposit berbasis parafin/high-density polyethylene melalui penambahan carbon nanotube. *TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 12(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v12i2.2813>
- Rizal, R. F., & Munir, M. (2024). Enhancing thermal performance using phase change materials in energy systems. *Power Engineering and Engineering Thermophysics*, 3(4), 266–278.
- Suyitno, B. M., Rahmalina, D., Ismail, I., & Rahman, R. A. (2023). Composite PCM with HDPE for thermal stability. *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 33(3), 145–151.
- Taufiqurrahman, M. (2025). HDPE plastic waste as fine aggregate substitute in lightweight concrete. *Teknisia Journal*, 30(1).
- Wang, Q., Chen, Z., & Liu, Y. (2023). Mechanical properties of HDPE composites for construction applications. *Journal of Composite Science*, 7(4), 163.
- Wang, X., Li, W., Luo, Z., Wang, K., & Shah, S. P. (2022). A critical review on phase change materials (PCM) for sustainable and energy efficient building: Design, characteristic, performance and application. *Energy and Buildings*, 260, 111923. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111923>
- Zhang, X., Li, Y., & Wang, H. (2023). HDPE-based composite phase change materials for thermal storage. *Journal of Energy Storage*, 60, 106603.
- Zulkernain, N. H., Gani, P., Chuan, N. C., & Uvarajan, T. (2021). Utilisation of plastic waste as aggregate in construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 296, 123669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123669>