



Peran Material Lokal Bambu dan Batu Padas Dalam Sistem Konstruksi Villa Ramah Lingkungan

Aulia Muflih Nasution¹, Rudi Suwondoh¹, Mufti Ali Nasution¹✉

⁽¹⁾Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan, Sumatera Utara

DOI: [10.31004/jutin.v9i1.54221](https://doi.org/10.31004/jutin.v9i1.54221)

✉ Corresponding author:
[muftiali@staff.uma.ac.id]

Article Info	Abstrak
<p>Kata kunci: Bambu, Batu Padas, Material Berkelanjutan, Konstruksi Hijau, Emisi Karbon</p>	<p>Sektor konstruksi global berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, yakni sekitar 32–34% dari total emisi dunia. Di Indonesia, pertumbuhan industri konstruksi yang mencapai 6,4–7,5% per tahun mendorong kebutuhan material bangunan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kelayakan struktural dan keberlanjutan bambu (<i>Dendrocalamus asper</i>) dan batu padas sebagai material bangunan melalui sintesis data laboratorium terpublikasi dan analisis desain konseptual. Hasil sintesis menunjukkan bambu memiliki kekuatan mekanis tinggi yang memenuhi dan melampaui standar struktural, sementara batu padas memiliki kekuatan tekan memadai serta kinerja insulasi termal lebih baik dibandingkan beton konvensional. Penerapan kedua material pada desain villa konseptual seluas 52 m² menghasilkan pengurangan karbon terwujudkan sebesar 49,4% dan penghematan biaya konstruksi sebesar 8,2%. Penggunaan sambungan hibrida bambu-baja turut meningkatkan ketahanan seismik struktur. Temuan ini menegaskan bahwa bambu dan batu padas merupakan alternatif material lokal yang layak, berkelanjutan, dan efisien untuk konstruksi hunian di wilayah tropis.</p>
<p>Keywords: Bamboo; Sustainable Materials, Green Construction, Carbon Emissions</p>	<p>Abstract</p> <p><i>The global construction sector contributes significantly to greenhouse gas emissions, accounting for approximately 32–34% of total global emissions. In Indonesia, the construction industry has been growing at an annual rate of 6.4–7.5%, increasing the demand for sustainable building materials. This study aims to evaluate the structural feasibility and sustainability of bamboo (<i>Dendrocalamus asper</i>) and sandstone as building materials through a synthesis of published laboratory data and conceptual design analysis. The results indicate that bamboo exhibits high mechanical strength that meets and exceeds minimum structural standards, while sandstone demonstrates adequate compressive strength and superior thermal insulation performance compared to conventional concrete. The integrated application of both materials in a 52 m² conceptual villa design resulted in a 49.4% reduction in embodied carbon and an 8.2% reduction in construction costs. The use</i></p>

of hybrid bamboo–steel connections further enhances seismic resistance and structural integrity. These findings confirm that bamboo and sandstone are viable, sustainable, and efficient local material alternatives for residential construction in tropical regions.

1. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca (GRK) di dunia, yang didorong oleh urbanisasi dan pertumbuhan infrastruktur yang pesat (World Green Building Council, 2022). Di Indonesia, industri konstruksi mengalami pertumbuhan tahunan sekitar 6,4–7,5%, sehingga meningkatkan tekanan terhadap lingkungan (Junianto et al., 2023). Beban lingkungan yang signifikan ini sebagian besar berasal dari produksi dan penggunaan material bangunan konvensional seperti semen dan baja (Habieb et al., 2023). Sebagai contoh, produksi semen melepaskan sekitar 0,88 kg CO₂ per kilogram produk akibat proses kalsinasi, sementara ketergantungan pada material impor menambah jejak karbon melalui transportasi jarak jauh. Ketergantungan yang tinggi pada material konvensional tidak hanya meningkatkan emisi CO₂ tetapi juga menimbulkan kerentanan pada rantai pasok.

Di sisi lain, sektor konstruksi di Indonesia masih belum sepenuhnya menerapkan regulasi yang ketat terkait praktik pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, eksplorasi material lokal menjadi prioritas strategis yang mendesak (Abdelfattah et al., 2023). Material lokal seperti bambu telah diidentifikasi sebagai alternatif yang menjanjikan karena pertumbuhannya yang cepat, dapat diperbaharui, dan memiliki dampak lingkungan yang rendah. Studi empiris di Indonesia menunjukkan minat yang meningkat terhadap penggunaan bambu sebagai material struktural, karena potensinya untuk mengurangi emisi karbon serta mendukung arsitektur berkelanjutan (Gibson, 2012). Karakteristik mekanis bambu juga mendukung aplikasi struktural, yang dapat lebih ditingkatkan melalui perlakuan teknologi tertentu (Javadian et al., 2019). Selain bambu, batu padas merupakan material lokal yang melimpah namun masih kurang dimanfaatkan dalam konstruksi kontemporer, meskipun memiliki peran penting dalam arsitektur tradisional, terutama di Bali (Prihatmaji et al., 2014). Batu padas, jenis batu vulkanik ignimbrit, memiliki bobot ringan, mudah dibentuk, dan sesuai dengan kondisi iklim tropis, sehingga memiliki potensi sebagai komponen bangunan ramah lingkungan (Youssefian & Rahbar, 2015).

Meski penelitian sebelumnya telah membahas potensi keberlanjutan bambu dan material lokal lainnya secara individual, studi yang menilai manfaat gabungan bambu dan batu padas dalam sistem konstruksi berkelanjutan masih terbatas. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian komprehensif yang tidak hanya mensintesis sifat mekanis dan lingkungan kedua material, tetapi juga membandingkannya dengan metode konstruksi konvensional (Satola et al., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan tiga fokus utama, yaitu: (1) mensintesis dan memverifikasi sifat mekanis bambu dan batu padas, (2) mengevaluasi kinerja keberlanjutan kedua material menggunakan metodologi Penilaian Siklus Hidup (Life Cycle Assessment – LCA), dan (3) mendemonstrasikan integrasi teknis material lokal melalui desain konseptual villa ramah lingkungan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan pedoman desain yang dapat diandalkan serta mendukung praktik konstruksi berkelanjutan di lingkungan tropis Indonesia.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed-methods*, yang menggabungkan analisis kuantitatif dan kualitatif untuk memberikan pemahaman komprehensif terkait potensi material lokal, yaitu bambu dan batu padas, dalam sistem konstruksi berkelanjutan. Pendekatan ini dirancang agar dapat menilai baik aspek mekanis maupun dampak lingkungan, sekaligus mendemonstrasikan penerapan teknis melalui desain konseptual. Penelitian terdiri dari tiga tahapan utama yaitu, tahap pertama fokus pada pengumpulan dan sintesis data sifat mekanis bambu dan batu padas dari literatur ilmiah nasional dan internasional yang telah terpublikasi. Data yang dikumpulkan mencakup karakteristik tarik, tekan, lentur, dan modulus elastisitas kedua material. Standar pengujian yang dijadikan acuan antara lain ASTM D143 untuk bambu, ISO 22157 untuk pengujian kualitas bambu, serta SNI 03-7973-2020 untuk batu padas. Sintesis ini dilakukan untuk memastikan bahwa nilai sifat mekanis yang digunakan dalam analisis desain konseptual memiliki basis empiris yang kuat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Tahap kedua melibatkan perancangan villa hunian seluas 52 m² di Medan, yang berada pada Zona Seismik 3 dengan kondisi tanah aluvial. Desain ini bertujuan untuk mendemonstrasikan integrasi teknis bambu dan batu

padas dalam sistem konstruksi yang ramah lingkungan. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan keamanan struktural, efisiensi material, dan kompatibilitas kedua material dalam rangkaian konstruksi dinding, kolom, dan penopang atap. Desain konseptual ini juga digunakan untuk menilai kelayakan teknis dan estetika penerapan material lokal pada bangunan tropis modern. Tahap terakhir berfokus pada evaluasi dampak lingkungan dari sistem konstruksi berbasis material lokal dibandingkan dengan sistem beton bertulang (reinforced concrete/RC) konvensional. Analisis dilakukan menggunakan metodologi LCA untuk menghitung emisi karbon terwujud (embodied carbon) dari bahan, konstruksi, dan transportasi lokal. Faktor intensitas karbon yang digunakan adalah: bambu 0,5 kg CO₂-eq/kg, batu padas 1,2 kg CO₂-eq/kg, dan transportasi lokal 0,05 kg CO₂-eq/ton-km (Pertiwi & l'annah, 2025; Badar Esa, 2025). Hasil LCA ini memberikan informasi kuantitatif mengenai potensi pengurangan emisi karbon yang dapat dicapai melalui penggunaan material lokal dalam sistem konstruksi tropis.

Dengan tiga tahap ini, penelitian tidak hanya mengevaluasi performa mekanis dan keberlanjutan material lokal, tetapi juga memberikan ilustrasi praktis integrasinya dalam desain bangunan, sehingga menghasilkan pedoman yang komprehensif untuk penerapan konstruksi ramah lingkungan di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Struktural dan Termal Material

Hasil sintesis data menunjukkan bahwa bambu memiliki kekuatan tarik tinggi, yaitu berkisar antara 120–160 MPa, yang melampaui persyaratan kode struktural nasional, misalnya SNI yang menetapkan ≥ 100 MPa untuk beberapa interpretasi bangunan ringan (Pertiwi & l'annah, 2025). Rasio kekuatan terhadap berat bambu (~ 200 – 250) jauh lebih tinggi dibandingkan baja (~ 64), sehingga sangat menguntungkan untuk kondisi tanah dengan daya dukung rendah ($1,5$ – $2,0$ kg/cm²).

Dalam desain konseptual villa, penggunaan 8 kolom bambu berdiameter Ø250 mm dengan beban 85 kN per kolom menghasilkan tegangan 17,2 MPa. Tegangan ini berada pada 43% dari tegangan izin 40 MPa, sehingga faktor keamanan mencapai $2,3\times$, yang menunjukkan keamanan struktural yang memadai untuk bangunan hunian tropis. Selain itu, bambu memiliki modulus elastisitas tinggi (18.140–28.230 MPa), yang memberikan ketahanan defleksi jangka panjang dan kemampuan penyerapan energi seismik yang baik (Heap et al., 2020). Keunggulan mekanis ini menunjukkan bahwa bambu tidak hanya mampu mendukung beban vertikal, tetapi juga berfungsi sebagai material struktural yang adaptif terhadap kondisi gempa ringan hingga sedang, sesuai temuan sebelumnya dalam arsitektur bambu Indonesia (De La Cruz et al., 2020).

Batu padas lokal memiliki kekuatan tekan 18–25 MPa, yang terbukti memadai untuk dinding pengisi non-struktural, karena beban tipikal yang diterima dinding kurang dari 15 MPa (Aldersoni et al., 2025). Selain kekuatan mekanis, batu padas memiliki konduktivitas termal rendah ($0,45$ – $0,65$ W/m·K), sehingga berfungsi sebagai isolator termal pasif, yang dapat mengurangi kebutuhan pendinginan hingga 25–30% dibandingkan beton konvensional. Observasi pada arsitektur tradisional Bali menunjukkan bahwa perbedaan suhu interior dan eksterior dapat mencapai 6 – 8°C tanpa penggunaan AC, yang membuktikan efektivitas isolasi termal pasif batu padas (Utama & Gheewala, 2009). Efektivitas ini terkait dengan porositas tinggi material (30–38%), yang memungkinkan batu menyerap panas pada siang hari dan melepaskannya pada malam hari, menciptakan efek massa termal yang menstabilkan suhu interior. Mekanisme ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan termal, tetapi juga secara langsung berkontribusi pada pengurangan emisi karbon operasional, karena menurunkan kebutuhan energi untuk pendinginan mekanis di bangunan tropis.



Gambar 1. Batu Padas Lokal

Berdasarkan hasil desain konseptual, integrasi bambu sebagai kolom struktural dan batu padas sebagai dinding pengisi non-struktural memberikan kombinasi optimal antara kekuatan mekanis dan efisiensi energi. Bambu mendukung beban vertikal dan tahan terhadap deformasi seismik, sementara batu padas menstabilkan

iklim mikro interior melalui sifat isolasi termal pasifnya. Pendekatan ini menunjukkan potensi material lokal sebagai solusi konstruksi berkelanjutan yang adaptif terhadap kondisi tropis, sekaligus mengurangi jejak karbon dibandingkan penggunaan beton bertulang konvensional (Adier et al., 2023).

Analisis Keberlanjutan dan Integrasi Desain

Desain villa konseptual seluas 52 m² mengintegrasikan material lokal bambu dan batu padas untuk menciptakan sistem konstruksi yang ramah lingkungan sekaligus memiliki kinerja struktural yang andal. Struktur utama menggunakan 8 kolom bambu petung berdiameter Ø200–300 mm dengan jarak antar kolom 3,0 m, dilengkapi dengan balok keliling (ring beam) hibrida bambu- baja (Ø150 mm bambu dan tulangan baja 2×Ø16 mm) untuk mengatasi kerentanan sambungan bambu dalam transfer momen, khususnya terhadap beban lateral seperti gempa. Dinding menggunakan batu padas 400 × 300 × 200 mm dengan mortar kapur 3:1, sementara atap menggunakan kuda-kuda bambu dengan penutup tradisional. Integrasi bambu-baja pada ring beam menjadi inovasi kunci karena meningkatkan kekakuan sambungan dan integritas struktural keseluruhan (Li et al., 2022).



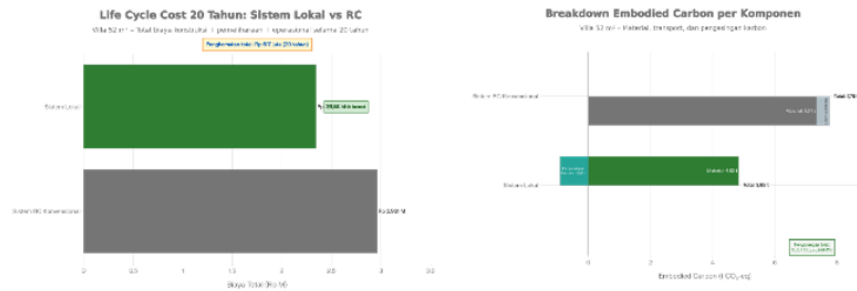
Gambar 2. Denah Villa Konseptual dan Perspektif 3D 52 M²

Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) menunjukkan bahwa sistem konstruksi berbasis material lokal menghasilkan pengurangan karbon terwujudkan yang signifikan dibandingkan sistem beton bertulang (RC) konvensional.

Table 1. Perbandingan Karbon Terwujudkan (Embodied Carbon) Sistem Konstruksi

Material	Intensitas CO ₂ (kg CO ₂ -eq/kg)	Kuantitas (kg)	Total Karbon (t CO ₂ -eq)
Sistem Lokal			
Bambu	0,5	3.680	1,84
Batu Padas	1,2	2.495	2,99
Transportasi Lokal	0,05/ton-km	195 ton-km	0,0097
Pengasingan Karbon*	-10 kg/m ² -th	52 m ² x 1,75	-0,91
TOTAL SISTEM LOKAL			3,93
Sistem RC Konvensional			
Beton + Baja + Semen	Variatif	21.200	7,34
Transportasi Impor	0,81/ton-km	520 ton-km	0,42
TOTAL SISTEM RC			7,76

Berdasarkan perhitungan, total karbon terwujudkan untuk sistem lokal mencapai 3,93 t CO₂-eq, sedangkan sistem RC konvensional menghasilkan 7,76 t CO₂-eq, yang berarti terjadi pengurangan sebesar 49,4%. Rincian kontribusi karbon menunjukkan bahwa bambu menyumbang 1,84 t CO₂-eq, batu padas 2,99 t CO₂-eq, dan transportasi lokal hanya 0,0097 t CO₂-eq, sementara pengasingan karbon bambu diperkirakan mengurangi 0,91 t CO₂-eq.



Gambar 3. Perbandingan karbon terwujudkan (embodied carbon) antara sistem material lokal dan sistem RC konvensional dan Breakdown Embodied Carbon per Komponen

Selain dampak lingkungan, pendekatan ini juga menunjukkan efisiensi ekonomi, dengan estimasi penghematan biaya konstruksi sekitar 8,2% dibandingkan sistem RC konvensional (Maharani et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material lokal dapat menciptakan konvergensi antara kelayakan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan, tanpa memerlukan subsidi tambahan. Secara keseluruhan, integrasi bambu dan batu padas dalam desain villa tropis tidak hanya memenuhi persyaratan struktural dan termal, tetapi juga mendukung strategi pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi jejak karbon dan biaya konstruksi secara signifikan. Diagram perbandingan karbon terwujudkan menunjukkan bahwa sistem lokal memiliki efisiensi lingkungan yang jauh lebih unggul dibandingkan sistem RC konvensional, menjadikannya solusi potensial untuk bangunan ramah lingkungan di kawasan tropis.

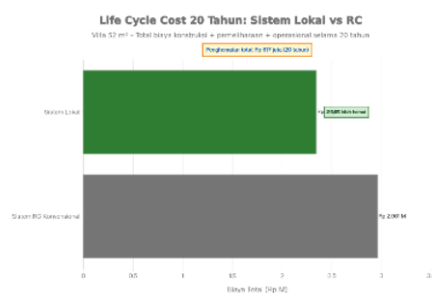
Analisis Komparatif Cost-Benefit

Analisis cost-benefit mendalam menunjukkan bahwa investasi awal untuk sistem material lokal, meskipun memerlukan pemahaman teknis yang lebih spesifik, menghasilkan Return on Investment (ROI) yang signifikan dalam 15–20 tahun pertama operasi bangunan.

Table 2. Analisis Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost Analysis) Villa 52 m²

Komponen Biaya	Sistem Lokal	Sistem RC	Perbedaan
Konstruksi awal	Rp 302.000.000	Rp 329.000.000	-8,2%
Pemeliharaan Tahunan (20 tahun)	Rp 430.000.000	Rp 376.000.000	+14,4%
Operational(pendinginan) (20 tahun)	Rp 1.612.000.000	Rp 2.256.000.000	-28,6%
Total 20 Tahun	Rp 2.344.000.000	Rp 2.961.000.000	-20,8%

Keunggulan operational cost pada sistem lokal terutama berasal dari performa thermal batu padas yang mengurangi kebutuhan pendinginan mekanis hingga 30%, menghasilkan penghematan energi berkelanjutan selama umur bangunan. Dengan asumsi nilai tukar stabil, penghematan total dalam 20 tahun mencapai Rp 617.000.000 (lebih dari Rp 30,85 juta per tahun rata-rata), yang signifikan untuk skala hunian menengah di Indonesia.



Gambar 4. Perbandingan Life Cycle Cost 20 Tahun

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa sistem lokal mencapai breakeven point pada tahun ke-8,5 operasi, setelah itu seluruh biaya operasional merupakan penghematan murni terhadap sistem RC konvensional. Untuk investasi awal yang lebih rendah (Rp 27 juta lebih murah), sistem lokal menghasilkan payback yang lebih cepat dengan risiko finansial yang lebih rendah. Faktor keberlanjutan sosial juga menjadi pertimbangan penting: penggunaan material lokal menciptakan lapangan kerja untuk pengrajin tradisional dan petani bambu lokal, berkontribusi pada ekonomi komunitas Medan dengan nilai tambah sosial yang tidak tercermin dalam analisis finansial murni. Dampak sosial dari penggunaan material lokal melampaui metrik finansial dan lingkungan. Proyek konstruksi yang mengandalkan bambu dan batu padas secara langsung mendukung rantai pasok lokal, mulai dari petani bambu yang mengelola hutan hingga pengrajin batu padas yang memproses material. Hal ini mendorong diversifikasi ekonomi pedesaan dan melestarikan pengetahuan konstruksi tradisional. Selain itu, keterlibatan komunitas lokal dalam proses pembangunan meningkatkan rasa kepemilikan dan memastikan bahwa praktik pemeliharaan (*maintenance practices*) yang berkelanjutan dapat dipertahankan dalam jangka panjang (Van der Ree, 2022).

Validasi Teknis dan Ketahanan



Gambar 5. Detail konstruksi kolom bambu petung (Ø250mm) dengan sistem sambungan hibrida

Ketahanan Seismik: Elastisitas bambu memungkinkan deformasi yang fleksibel dan disipasi energi yang optimal, yang terbukti secara empiris pada gempa Lombok 2018 (Habieb et al., 2023). Desain hibrida bambu-baja, yang telah divalidasi oleh struktur modern (misalnya, Kajima Building di Tokyo) dan tradisional (Bahay-Kubo), mengatasi kerentanan pada sambungan momen (Heap et al., 2020). Analisis kinerja seismik menunjukkan bahwa material lokal dapat memberikan performa yang unggul di zona seismik moderat (Labar et al., 2024).

Durabilitas: Durabilitas bambu di iklim tropis lembap berkisar 20–30 tahun dengan pemeliharaan tahunan, sementara batu padas dapat bertahan lebih dari 50 tahun. Perlindungan material dapat dicapai melalui *coating* hidrofobik, desain atap dengan *overhang* minimal 30mm, dan inspeksi berkala (Abdelfattah et al., 2023). Studi jangka panjang juga menekankan bahwa keberlanjutan praktik tenaga kerja (*labour practices*) secara signifikan memengaruhi kualitas pemeliharaan (International Labour Organization, 2025).

Mitigasi Iklim: Penggunaan massa termal pasif dari batu padas mengurangi karbon operasional (operasional carbon) sebesar 25–30 persen dibandingkan dengan sistem beton yang bergantung pada AC. Dengan material rendah karbon, pengurangan total siklus hidup dapat mencapai 50 persen. Pendekatan konstruksi terintegrasi dengan material lokal ini juga berkontribusi pada aspek keberlanjutan sosial (*social sustainability*).

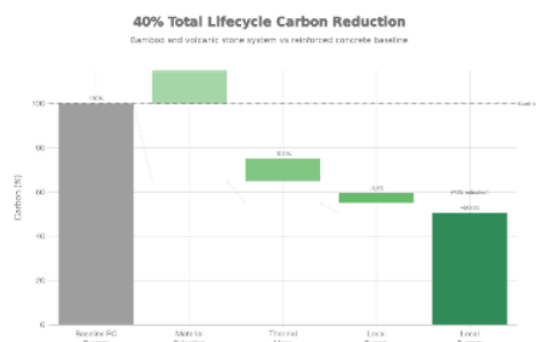


Diagram 6. Breakdown pengurangan karbon lifecycle

Diagram menunjukkan kontribusi incremental faktor-faktor desain terhadap pengurangan embodied carbon (49.4% dari 7.76 t baseline RC menjadi 3.93 t sistem lokal). Material selection adalah driver utama (substitusi semen/baja dengan bambu/batu padas), diikuti thermal mass pasif (-25-30.0% operational energy), dan optimisasi supply chain lokal (-4.4% transport).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa bambu petung dan batu padas merupakan material lokal yang layak secara struktural dan unggul secara lingkungan untuk wilayah tropis. Bambu memiliki kekuatan dan elastisitas tinggi sehingga mampu menyerap energi seismik secara optimal, sementara batu padas memberikan insulasi termal yang efektif untuk kenyamanan interior. Sistem konstruksi berbasis kedua material ini mampu mengurangi karbon terwujud hingga hampir 50% dan menekan biaya konstruksi sekitar 8%, sekaligus dapat diterapkan dengan teknik konstruksi kontemporer melalui detail hibrida bambu-baja. Secara keseluruhan, bambu dan batu padas menawarkan solusi berkelanjutan, ekonomis, dan teknis layak untuk pembangunan hunian ramah lingkungan di daerah tropis.

5. REFERENSI

- Abdelfattah, M. M., Géber, R., & Kocserha, I. (2023). Enhancing the properties of lightweight aggregates using volcanic rock additive materials. *Journal of Building Engineering*, 63, 105426.
- Adier, M. F. V., Sevilla, M. E. P., Valerio, D. N. R., Ongpeng, J. M. C., Adier, M. F. V., Sevilla, M. E. P., Valerio, D. N. R., & Ongpeng, J. M. C. (2023). Bamboo as Sustainable Building Materials: A Systematic Review of Properties, Treatment Methods, and Standards. *Buildings*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/buildings13102449>
- Aldersoni, A., abdulmohsen, Ibrahim, A. O., Aldamady, A. A. H., Bashir, F. M., Babatunde, O. E., Dodo, Y. A., & Ibrahim, W. (2025). Investigating the impact of low-carbon building materials on energy consumption and carbon emissions in construction projects. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 20, 1581–1592.
- De La Cruz, M., Lopez, L., De Jesus, R., & Garciano, L. (2020). Assessment of testing protocols for bamboo for tension parallel to fiber. *GEOMATE Journal*, 19(74), 31–36.
- Gibson, L. J. (2012). The hierarchical structure and mechanics of plant materials. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(76), 2749–2766. <https://doi.org/10.1098/rsif.2012.0341>
- Habieb, A. B., Rofiussan, F. A., Irawan, D., Milani, G., Suswanto, B., Widodo, A., & Soegihardjo, H. (2023). Seismic retrofitting of Indonesian masonry using bamboo strips: An experimental study. *Buildings*, 13(4), 854.
- Heap, M. J., Kushnir, A. R., Vasseur, J., Wadsworth, F. B., Harlé, P., Baud, P., Kennedy, B. M., Troll, V. R., & Deegan, F. M. (2020). The thermal properties of porous andesite. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 398, 106901.
- International Labour Organization,. (2025). *Guidelines on green employment diagnostics for a just transition* (2nd ed.). ILO. <https://doi.org/10.54394/YVYN6180>
- Javadian, A., Smith, I. F., Saeidi, N., & Hebel, D. E. (2019). Mechanical properties of bamboo through measurement of culm physical properties for composite fabrication of structural concrete reinforcement. *Frontiers in Materials*, 6, 15.
- Junianto, I., Sunardi, & Sumiarsa, D. (2023). The possibility of achieving zero CO2 emission in the Indonesian cement industry by 2050: A stakeholder system dynamic perspective. *Sustainability*, 15(7), 6085.
- Labar, B., Bektaş, N., & Kegyes-Brassai, O. (2024). Enhancing Seismic Performance: A Comprehensive Study on Masonry and Reinforced Concrete Structures Considering Soil Properties and Environmental Impact Assessment. *Advances in Civil Engineering*, 2024(1), 4505901. <https://doi.org/10.1155/2024/4505901>
- Li, X., Zhang, W., Lei, W., Ji, Y., Zhang, Z., Yin, Y., & Rao, F. (2022). Physical and mechanical properties of novel multilayer bamboo laminated composites derived from bamboo veneer. *Polymers*, 14(22), 4820.
- Maharani, S. A., Suartika, G. A. M., & Saputra, K. A. (2021). Transformasi Elemen Rancang Bangunan Tradisional dalam Tampilan Arsitektur Bangunan Kekinian. *SPACE*, 8(1). <https://www.academia.edu/download/101692996/39365.pdf>
- Pertiwi, B., & l'annah, M. A. (2025). Penggunaan Material Bambu sebagai Bahan Utama Konstruksi pada Bangunan Green Village Bali. *Filosofi: Publikasi Ilmu Komunikasi, Desain, Seni Budaya*, 2(1), 27–35.
- Prihatmaji, Y. P., Kitamori, A., & Komatsu, K. (2014). Traditional Javanese Wooden Houses (Joglo) Damaged By May 2006 Yogyakarta Earthquake, Indonesia. *International Journal of Architectural Heritage*, 8(2), 247–268. <https://doi.org/10.1080/15583058.2012.692847>

- Satola, D., Röck, M., Houlihan-Wiberg, A., & Gustavsen, A. (2020). Life cycle GHG emissions of residential buildings in humid subtropical and tropical climates: Systematic review and analysis. *Buildings*, 11(1), 6.
- Utama, A., & Gheewala, S. H. (2009). Influence of material selection on energy demand in residential houses. *Materials & Design*, 30(6), 2173–2180.
- Van der Ree, K. (2022). *Green jobs recovery through employment policies: Guidelines for shaping employment policies that support a green recovery and a just transition*. ILO. <https://researchrepository.ilo.org/esploro/outputs/book/Green-jobs-recovery-through-employment-policies/995218879502676>
- World Green Building Council. (2022). *Green building: Global outlook & policy recommendation*. World Green Building Council. <https://worldgbc.org/>
- Youssefian, S., & Rahbar, N. (2015). Molecular origin of strength and stiffness in bamboo fibrils. *Scientific Reports*, 5(1), 11116.