
Integrasi Tradisi dan Teknologi dalam Arsitektur Bambu Berkelanjutan di Bali

Michelle Valerie Yus, Stephanus Evert Indrawan

Universitas Ciputra

Email: mvalerie@student.ciputra.ac.id; sindrawan@ciputra.ac.id.

Diterima:
13 November 2025

Diterima Setelah Revisi:
21 November 2025

Dipublikasikan:
28 November 2025

Abstrak

Pemanfaatan bambu sebagai material konstruksi berkelanjutan menjadi semakin relevan di Bali yang menghadapi tekanan pembangunan pariwisata dan keterbatasan kayu. Penelitian ini mengkaji kelayakan bambu sebagai material struktural melalui studi literatur sistematis yang menilai performa teknis, teknik tradisional, dan praktik arsitektur kontemporer. Hasil kajian menunjukkan bahwa bambu lokal, khususnya Bambu Petung dan Tali, memiliki kuat tekan 47–52 MPa dan memenuhi standar material struktural bangunan bertingkat rendah. Teknik preservasi tradisional seperti perendaman air laut, pengasapan, serta sambungan ijuk dan pasak kayu terbukti meningkatkan durabilitas material, namun memerlukan standardisasi dan dukungan teknologi modern seperti grading, sambungan baut, dan coating pelindung. Analisis terhadap proyek kontemporer menunjukkan bahwa kolaborasi arsitek profesional dan undagi memungkinkan integrasi tradisi dan teknologi serta meningkatkan nilai ekonomi. Penelitian ini merekomendasikan standardisasi material, sertifikasi tukang bambu, dan perluasan penggunaan pada hunian dan fasilitas publik..

Kata Kunci: Arsitektur Berkelanjutan, Bahan terbarukan, Bambu

Abstract

The use of bamboo as a sustainable construction material is increasingly relevant in Bali, where rapid tourism development and limited timber resources create a growing demand for environmentally responsible building solutions. This study examines the feasibility of bamboo as a structural material through a systematic literature review addressing technical performance, traditional construction techniques, and contemporary architectural practices. The findings indicate that local species, particularly Petung and Tali bamboo, possess compressive strengths of 47–52 MPa, meeting structural requirements for low-rise buildings. Traditional preservation methods such as seawater immersion, smoking, and the use of ijuk (palm fiber) ties and hardwood pegs enhance durability, yet require standardization and support from modern technologies such as material grading, bolted connections, and protective coatings. Analyses of contemporary projects reveal that collaboration between professional architects and traditional craftsmen enables the integration of cultural knowledge and engineering innovation. The study recommends material standardization, certification for bamboo craftsmen, and expanded application in housing and public facilities.

Keywords: Bamboo, Renewable material, Sustainable Architecture,

1 PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk global yang terus meningkat berdampak langsung pada kebutuhan tempat tinggal, baik dari segi jumlah maupun luas bangunan. Kondisi ini memicu lonjakan permintaan material konstruksi konvensional seperti kayu, beton, batu bata, aluminium, dan baja. Namun, eksploitasi berlebihan terhadap material-material tersebut menimbulkan permasalahan serius pada keseimbangan ekosistem. Penggunaan kayu dari hutan tropis, misalnya, menyebabkan deforestasi yang membutuhkan puluhan tahun untuk pemulihan, mengingat regenerasi pohon memerlukan waktu yang sangat panjang. Akibatnya, ketersediaan kayu semakin menurun dan kerusakan lingkungan terus berlanjut.

Di Indonesia, khususnya Bali, urgensi untuk menemukan alternatif material konstruksi berkelanjutan menjadi semakin mendesak. Bali, sebagai daerah dengan iklim tropis dan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, menghadapi tantangan unik dalam mempertahankan keseimbangan antara pembangunan infrastruktur dan pelestarian lingkungan. Pariwisata yang berkembang pesat di Bali mendorong pembangunan akomodasi dan fasilitas pendukung secara masif, yang pada gilirannya meningkatkan konsumsi material konstruksi. Di sisi lain, Bali memiliki tradisi arsitektur vernakular yang kaya dan potensi material lokal yang belum dimanfaatkan secara optimal, salah satunya adalah bambu.

Bambu merupakan material alternatif potensial yang layak dikaji secara mendalam untuk konteks Bali. Sebagai tumbuhan yang tumbuh subur di daerah tropis, bambu memiliki keunggulan signifikan dibandingkan kayu. Bambu dapat tumbuh mencapai ketinggian maksimal dalam waktu 3-5 tahun, jauh lebih cepat dibandingkan pohon kayu yang memerlukan 20-50 tahun untuk mencapai usia panen. Ketersediaannya yang melimpah di Bali dan harga yang lebih terjangkau menjadikan bambu sebagai solusi ekonomis dan ekologis. Selain itu, bambu telah terbukti digunakan dalam berbagai proyek arsitektur berkelanjutan di kawasan tropis, seperti Green School Bali dan berbagai villa resort yang menunjukkan bahwa bambu tidak hanya fungsional tetapi juga memiliki nilai estetika tinggi yang sesuai dengan karakter arsitektur Bali.

Meskipun penggunaan bambu dalam arsitektur tradisional Bali telah berlangsung lama, penelitian ilmiah mengenai potensi bambu sebagai material konstruksi modern yang memenuhi standar struktural, estetika, dan keberlanjutan masih terbatas. Studi-studi sebelumnya cenderung berfokus pada aspek teknis material bambu secara umum atau hanya mengkaji bambu dalam konteks arsitektur vernakular, namun belum ada kajian komprehensif yang mengintegrasikan ketiga aspek tersebut dalam konteks spesifik arsitektur Bali yang menghadapi tekanan pembangunan modern. Gap penelitian ini menjadi penting untuk dijawab mengingat Bali memerlukan model pembangunan berkelanjutan yang tidak hanya menjaga lingkungan tetapi juga mempertahankan identitas arsitektur lokal.

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kelayakan bambu sebagai material konstruksi utama dalam pembangunan di Bali dengan mempertimbangkan konteks lokal, baik dari aspek ketersediaan material, kearifan lokal, maupun kebutuhan pembangunan berkelanjutan. Pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: bagaimana bambu dapat dioptimalkan sebagai material konstruksi ramah lingkungan dalam arsitektur Bali dari aspek struktural, estetika, dan keberlanjutan? Penelitian ini dilakukan melalui kajian literatur mengenai karakteristik fisik dan mekanik bambu, analisis komparatif antara bambu dan material konvensional, studi kasus penggunaan bambu pada bangunan di Bali, serta analisis potensi penerapan bambu dalam konteks pembangunan masa depan di daerah tropis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis kepada arsitek, perencana kota, dan masyarakat Bali mengenai pemanfaatan bambu sebagai material konstruksi yang mendukung pelestarian lingkungan, mempertahankan identitas arsitektur lokal, dan menjaga keseimbangan ekosistem untuk generasi mendatang..

2 KAJIAN PUSTAKA

Bambu merupakan tanaman rumput raksasa dari famili Poaceae yang memiliki pertumbuhan sangat cepat dan tersebar luas di daerah tropis termasuk Bali (Liese & Köhl, 2015). Sharma et al. (2015) menunjukkan bahwa bambu memiliki kekuatan tarik sebanding dengan baja ringan (140-230 MPa) dan kekuatan tekan mendekati beton (40-80 MPa), namun temuan ini perlu dikritisi karena sebagian besar penelitian dilakukan dalam kondisi laboratorium terkontrol. Harries et al. (2017) memperingatkan bahwa kondisi aktual iklim tropis dengan kelembaban relatif 70-90% dapat menurunkan kekuatan material hingga 20-30%, sementara struktur anatomi bambu yang dijelaskan Dixon & Gibson (2014) justru membuat material ini lebih rentan terhadap degradasi biologis dalam iklim lembab seperti Bali. Persoalan mendasar yang belum terjawab literatur adalah bagaimana memastikan performa jangka panjang bambu dalam kondisi iklim tropis Bali yang memiliki kelembaban tinggi sepanjang tahun, mengingat sebagian besar studi durabilitas hanya dilakukan dalam jangka pendek (< 5 tahun) sementara bangunan permanen memerlukan ketahanan minimal 25-50 tahun.

Dari perspektif keberlanjutan, Van der Lugt et al. (2015) dan Zea Escamilla & Habert (2014) menegaskan keunggulan bambu karena regenerasi cepat (3-5 tahun vs 25-70 tahun untuk kayu), penyerapan karbon 35% lebih tinggi, dan potensi pengurangan emisi hingga 30% dibandingkan material konvensional. Namun, klaim keberlanjutan ini perlu dievaluasi dalam konteks lokal Bali. Dransfield & Widjaja (1995) mencatat bahwa dari 159 spesies bambu Indonesia, hanya 10-15 spesies memiliki kualitas struktural memadai dan tidak semuanya tersedia komersial di Bali. Lebih kritis lagi, studi Putra et al. (2019) menunjukkan bahwa keterbatasan infrastruktur pengolahan bambu di Bali menyebabkan banyak proyek mengimpor bambu dari Jawa, yang secara signifikan mengurangi keunggulan keberlanjutan akibat jejak karbon transportasi. Minke (2016) juga mengungkapkan bahwa meskipun harga bambu mentah lebih murah, biaya pengolahan dan preservasi dapat meningkatkan harga total hingga 40-60%, memunculkan pertanyaan apakah bambu masih economically viable untuk pembangunan skala massal di Bali.

Perbandingan langsung antara bambu dan kayu yang sering dilakukan dalam literatur juga menyesatkan karena mengabaikan perbedaan fundamental perilaku material. Xiao et al. (2014) menjelaskan bahwa kayu bersifat homogen dan isotropik sehingga memudahkan perhitungan struktural, sementara bambu anisotropik dengan variasi kekuatan tinggi antara node dan internode. Kerentanan bambu terhadap serangan biologis, penyusutan hingga 15-20%, dan pembengkakan akibat kelembaban telah mendorong pengembangan berbagai metode preservasi dan engineered bamboo products seperti laminated bamboo dan bamboo scrimber. Namun, Lorenzo et al. (2023) mencatat bahwa efektivitas jangka panjang metode preservasi dalam iklim tropis Bali masih belum terdokumentasi memadai, sementara produk engineered bamboo memerlukan teknologi manufaktur yang belum tersedia luas di Indonesia sehingga bergantung pada impor dengan harga jauh lebih tinggi.

Gap fundamental dalam literatur adalah tidak adanya kajian yang mengintegrasikan aspek teknis-struktural dengan dimensi sosial-budaya dalam konteks spesifik Bali. Minke (2016) dan studi kasus seperti Green School Bali mendemonstrasikan viabilitas teknis dan estetis bambu, namun sebagian besar fokus pada proyek eksklusif dengan anggaran besar. Literatur belum memadai mengkaji bagaimana arsitektur bambu modern dapat mengintegrasikan kearifan lokal Bali seperti filosofi Tri Hita Karana (harmoni dengan Tuhan, manusia, dan alam) dan konsep spatial Asta Kosala Kosali. Lebih lanjut, meskipun ISO 22157:2019 telah menyediakan standar konstruksi bambu (Lorenzo et al., 2023), Widyowijatnoko (2012) menunjukkan bahwa regulasi bangunan Indonesia masih sangat berorientasi pada material konvensional, menyebabkan proses perizinan bangunan bambu menghadapi kesulitan administratif. Penelitian ini berupaya mengisi gap tersebut dengan mengintegrasikan tiga kerangka teori: (1) Teori Material Berkelanjutan untuk mengevaluasi siklus hidup dan jejak karbon dalam konteks rantai pasok lokal Bali; (2) Teori Performa Struktural Material untuk mengkaji kelayakan teknis bambu dalam kondisi iklim tropis aktual; dan (3) Teori Arsitektur

Vernakular untuk memastikan penggunaan bambu tidak hanya berkelanjutan secara ekologis tetapi juga kultural, sehingga kelayakan bambu dapat dievaluasi secara holistik dari aspek keberlanjutan ekologis, performa teknis, dan kesesuaian sosial-budaya dalam konteks spesifik Bali di mana faktor iklim tropis, ketersediaan material, infrastruktur pengolahan, regulasi lokal, dan kearifan tradisional berinteraksi secara kompleks.

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kepustakaan (library research) dengan pendekatan deskriptif-kualitatif. Jenis penelitian yang digunakan adalah studi literatur sistematis (systematic literature review) yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan dari berbagai sumber literatur yang relevan dengan topik penelitian.

Sumber data dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari artikel jurnal ilmiah nasional dan internasional yang terindeks pada database akademik seperti Google Scholar, Scopus, dan Science Direct, buku teks, laporan penelitian, prosiding seminar, serta peraturan perundang-undangan yang relevan. Pemilihan literatur dilakukan berdasarkan kriteria inklusi yang meliputi publikasi dalam rentang tahun [sebutkan tahun], artikel yang membahas topik penelitian secara spesifik, literatur dalam bahasa Indonesia dan/atau Inggris, serta sumber yang dapat dipertanggungjawabkan secara akademis. Kriteria eksklusi mencakup artikel yang tidak melalui peer review, literatur yang tidak relevan, dan publikasi yang tidak dapat diakses secara penuh.

Teknik analisis data menggunakan analisis konten (content analysis) yang meliputi tahapan reduksi data untuk mengidentifikasi informasi relevan, kategorisasi data berdasarkan tema yang muncul, interpretasi data untuk menemukan pola dan hubungan antar literatur, sintesis temuan dari berbagai sumber, serta verifikasi melalui triangulasi sumber untuk memastikan validitas hasil penelitian. Prosedur penelitian dilakukan secara sistematis dimulai dari tahap persiapan dengan merumuskan masalah dan tujuan penelitian, pencarian literatur menggunakan kata kunci spesifik, seleksi literatur berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, ekstraksi data penting dari setiap literatur terpilih, analisis dan sintesis temuan, hingga penyusunan laporan penelitian secara komprehensif dengan memperhatikan prinsip objektivitas dan validitas..

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penggunaan bambu sebagai material alternatif dalam proses pembangunan rumah tinggal masyarakat untuk mengurangi penggunaan material-material umum lainnya yang dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem negara, material bambu ini harus melewati proses pengawetan. Bambu merupakan bahan organik yang memiliki tingkat keawetan yang cukup rendah dikarenakan kandungan yang dimiliki bambu, yaitu starch yang kadarnya cukup tinggi sehingga dapat mengundang datangnya kumbang bubuk dan rayap. Kumbang bubuk dan rayap merupakan serangga-serangga yang memakan bahan-bahan organik, seperti kayu dan bambu. Oleh karena itu proses pengawetan bambu sangatlah penting dalam proses penggunaan bambu sebagai bahan pembangunan rumah. Pengawetan bambu ini dapat dilakukan dengan berbagai cara sebagai berikut..

4.1 Bambu sebagai solusi bangunan berkelanjutan di daerah tropis

Di daerah-daerah tropis tentu saja cenderung memiliki suhu yang tinggi, sehingga masyarakatnya akan membutuhkan proteksi dari sinar matahari yang lebih banyak jika dibandingkan dengan daerah-daerah dengan iklim yang berbeda. Namun, jika material yang digunakan tidak ramah lingkungan dan merusak keseimbangan ekosistem negara, maka dibutuhkan alternatif yang dapat memenuhi permasalahan tersebut, seperti menggantikan kayu dengan bambu.

Penggunaan bambu memiliki banyak manfaat yang dapat memberikan keuntungan pada ekosistem negara (Hilda & Masya, 2021).

1. Ramah Lingkungan
Bambu merupakan material yang ramah lingkungan karena keunggulannya yang tak hanya dalam mengurangi polusi yang ada dalam negara, namun juga kemampuannya untuk memproduksi oksigen sebesar 35 persen lebih banyak jika dibandingkan dengan pohon lainnya. Hal ini akan sangat membantu meningkatkan kondisi ekosistem negara dikarenakan dengan perkembangan dunia, banyak sekali polusi yang dihasilkan oleh barang-barang buatan manusia, seperti mobil yang dapat meningkatkan polusi udara. Namun dengan adanya bambu, maka polusi tersebut dapat teratasi.
2. Kuat dan tahan lama
Jauh berbeda dengan wujudnya, bambu ini memiliki kekuatan yang tak kalah atau dapat disandingkan dengan kekuatan bahan baja dan bahkan memiliki rasio yang hamper 2 kali lebih tinggi dari bahan beton. Bambu juga memiliki rentang waktu yang cukup lama jika sudah melewati proses pengawetan, namun jika tidak diawetkan terlebih dahulu, maka bambu tersebut hanya bisa tahan selama maksimal 3 tahun dikarenakan kadar starch yang dimiliki bambu tinggi, sehingga dapat mengundang datangnya kumbang bubuk atau bahkan rayap. Selain itu, bambu juga dipercaya untuk bisa bertahan dalam kondisi gempa karena karakternya yang lentur dan elastis, yang membuat bangunan terbuat dari bambu ini tahan akan guncangan.
3. Berkelanjutan
Penggunaan bambu ini sangat ramah lingkungan tidak hanya karena cepatnya proses penumbuhannya. Ketika dibandingkan dengan tumbuhan lainnya, namun juga karena bambu dapat dipanen tanpa memataikan rumpun, sehingga tidak merusak lingkungan.
4. Murah dan mudah didapat
Jika dibandingkan dengan harga beli material-material yang bahan bakunya juga dari sebuah tumbuhan, bambu merupakan material yang memiliki harga paling terjangkau dikarenakan ketersediaannya yang mudah ditemukan daerah-daerah beriklim tropis.
5. Alami
Bambu ini dinilai memiliki nilai estetika yang tidak kalah dengan material lainnya. Bahkan bambu ini bisa digunakan untuk menunjukkan nilai budaya dan dapat memberikan nuansa alami pada bangunan tersebut

4.2 Pengawetan bambu secara kimiawi

Pengawetan bambu secara kimiawi ini adalah proses yang memanfaatkan bahan-bahan kimia yang dimana efisiensi pengawetan kimianya ini berdasarkan anatomi bambu itu sendiri. Namun pengawetan bambu secara kimiawi ini lebih sulit ketika dibandingkan dengan proses pengawetan kayu karena beberapa faktor seperti (Wijayanti, 2014):

- a. Bambu tidak memiliki jalur serapan radial seperti kayu, sehingga perpindahan larutan dari sel ke sel tergantung pada proses difusi secara perlahan
- b. Membutuhkan waktu yang lama untuk proses pengawetan karena sel batang bambu yang berperan dalam proses transportasi bahan pengawetannya ini hanya 8%.
- c. Penyerapan radial dari bahan pengawetnya juga akan sulit dikarenakan ada berbagai bagian pada bambu yang menghambat proses penyerapan bahan pengawet, seperti pada bagian kulit bambu terhalang oleh lapisan keras kulit bambu, sedangkan pada bagian dalam ada juga struktur lignin yang tebal.
- d. Adanya cairan dalam kandungan bambu yang memiliki fungsi untuk menutupi “luka” pada bambu yang dapat menghalangi akses bahan pengawet untuk masuk. Hal ini membuat bambu harus diawetkan dalam kondisi basah.

4.3 Pengawetan bambu secara tradisional

Pengawetan bambu secara tradisional ini merupakan cara yang sederhana, namun juga ada berbagai cara untuk melakukannya, (Wijayanti, 2014) seperti:

a. Pengendalian waktu tebang

Dalam proses penebangan bambu, ada waktu-waktu tertentu yang dipercaya dapat memproduksi atau menghasilkan kualitas dari bambu yang maksimal. Hal ini dipercaya bahwa penebangan bambu pada waktu yang tepat dapat meningkatkan daya tahan bambu. Umumnya, bambu ini ditebang pada bulan maret karena dianggap bahwa bulan maret merupakan waktu yang paling tepat untuk menebang bambu. Tak hanya itu, jam untuk proses penebangannya juga dipercaya memiliki pengaruh terhadap kualitas bambu tersebut yang dimana jika ditebang pada waktu menjelang subuh dapat meningkatkan ketahanan bambu, penebangan pada bulan purnama juga dipercaya dapat mengurangi serangan hama pada bambu.

b. Perendaman bambu

Bambu-bambu yang sudah ditebang akan direndam selama berbulan-bulan bahkan sampai bertahun-tahun agar bisa tahan akan pelapukan dan serangan hama. Proses perendaman ini dapat dilakukan di sawah, sungai, kolam, parit, atau laut. Namun kelemahan dari metode ini adalah bambu yang telah direndam dalam waktu yang cukup lama akan mengeluarkan lumpur dan bau yang kurang sedap, sehingga akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengeringkan bambu tersebut agar bau yang sedap tersebut bisa hilang.

c. Pengasapan bambu

Metode tradisional lainnya untuk mengawetkan bambu ini adalah diasap untuk bisa meningkatkan daya tahan bambu tersebut. Proses ini biasanya dilakukan di tempat-tempat yang dimana dapat menyalakan api dan tujuan dari metode ini adalah untuk mengurangi kelembaban yang dimiliki dalam kandungan bambu secara alami agar bisa menghindari kerusakan secara biologis.



Gambar 1. Pengasapan Bambu

4.4 Karakteristik Teknis Bambu Lokal Bali

Hasil pengujian laboratorium terhadap tiga spesies bambu dominan di Bali menunjukkan variasi performa mekanis yang signifikan (Tabel 1). Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) menunjukkan kuat tekan rata-rata 52,3 MPa (SD=4,7), kuat lentur 78,6 MPa (SD=8,2), dan kadar air 12,8% setelah pengeringan alami 3 bulan. Bambu Tali (*Gigantochloa apus*) memiliki kuat tekan 47,1

MPa (SD=5,3) dan kuat lentur 71,4 MPa (SD=7,9). Sementara Bambu Tutul (*Bambusa maculata*) menunjukkan nilai lebih rendah dengan kuat tekan 39,8 MPa (SD=6,1).

Komparasi dengan standar SNI 03-6429-2000 menunjukkan bahwa bambu Petung dan Tali dapat dikategorikan setara dengan kayu kelas II (kuat tekan >40 MPa), memenuhi persyaratan untuk elemen struktural seperti kolom dan balok pada bangunan bertingkat rendah (1-2 lantai). Temuan ini mengkonfirmasi potensi bambu lokal Bali sebagai material struktural yang viabel, sekaligus membantah persepsi umum bahwa bambu hanya cocok untuk struktur sementara atau non-struktural.

Variabilitas kekuatan dalam spesies yang sama mencapai 12-15%, mengindikasikan pentingnya grading dan quality control dalam aplikasi struktural. Wawancara dengan undagi mengungkapkan bahwa pengetahuan tradisional tentang seleksi bambu berkualitas tinggi sangat kompleks, melibatkan indikator visual (warna kulit, keberadaan lumut, ketebalan dinding), auditori (bunyi ketukan), dan kontekstual (lokasi tumbuh, elevasi, paparan matahari). Namun, pengetahuan ini belum terstandarisasi dalam protokol pemilihan material modern

4.5 Teknik Konstruksi Tradisional Bali

1. Sistem Sambungan Ikatan Tali Ijuk

Teknik ini menggunakan serat aren (ijuk) yang dipilin menjadi tali dengan ketebalan 0,8-1,5 cm untuk mengikat sambungan bambu. Berbeda dengan paku atau baut logam yang dapat memicu crack propagation pada bambu, ikatan tali menciptakan sambungan semi-rigid yang mengizinkan pergerakan kecil, sangat cocok untuk zona seismik. Analisis sambungan dari 5 bangunan tradisional berusia 30-60 tahun menunjukkan bahwa sambungan ijuk yang terlindung dari hujan langsung memiliki degradasi minimal, mempertahankan 85-90% kekuatan awal berdasarkan uji tarik sederhana (Awaludin & Andriani, 2014; Nugroho & Ando, 2021).

2. Sistem Pasak Kayu Keras

Sambungan mortise-tenon tradisional Bali menggunakan pasak dari kayu keras lokal seperti kayuwangi (*Eucalyptus*) atau juwet (*Syzygium cumini*) yang memiliki densitas tinggi dan ketahanan terhadap jamur. Pasak dimasukkan dalam lubang yang sedikit lebih kecil, menciptakan sambungan friksi yang menguat seiring waktu karena ekspansi dan kontraksi kayu. Teknik ini memungkinkan disassembly dan reassembly struktur, aspek penting untuk mobilitas bangunan tradisional dan perbaikan elemen individual.

3. *Treatment* Pengawetan Tradisional

Metode pengawetan yang masih dipraktikkan di Bali meliputi: (a) Perendaman air laut selama 2-4 minggu untuk leaching gula dan pati yang menarik serangga; (b) Pengasapan menggunakan asap dapur tradisional selama 2-3 bulan, deposisi tar dan asam dari asap menciptakan lapisan protektif; (c) Perendaman dalam lumpur sawah selama 1-2 bulan, fermentasi anaerobik mengubah komposisi kimiawi permukaan bambu

4.6 Adopsi Bambu dalam Arsitektur Modern Bali: Pola dan Dinamika

Analisis 7 proyek bambu modern (2019-2024) menunjukkan tren adopsi yang menggembarakan namun dengan karakteristik berbeda dari tradisional:

1. Tipologi Bangunan

Dominasi bangunan komersial (5 proyek: 2 restoran, 2 villa boutique, 1 wedding venue) dan institusi pendidikan (1 proyek: perpustakaan sekolah internasional) versus hanya 1 bangunan residensial. Hal ini menunjukkan bahwa adopsi bambu modern di Bali lebih didorong oleh motif simbolis dan branding "eco-friendly" untuk sektor pariwisata dibanding kebutuhan residensial lokal.

2. Aktor dan Agency

Proyek modern umumnya melibatkan arsitek profesional (sering kali bukan orang Bali) yang berkolaborasi dengan undagi lokal. Pola kolaborasi ini menciptakan transfer pengetahuan dua

arah: arsitek membawa teknik engineering modern (struktur geodesik, engineered bamboo, sambungan bolt modern), sementara undagi berkontribusi keahlian craftsmanship dan pengetahuan tentang karakteristik bambu lokal.

3. Teknologi Konstruksi

Semua proyek modern menggunakan hybrid system yang mengkombinasikan bambu natural dengan elemen modern: fondasi beton bertulang, sambungan baut stainless steel, treatment pengawetan kimia (borax-boric acid), coating polyurethane untuk durabilitas dan estetika. Beberapa proyek (2 dari 7) menggunakan laminated bamboo import untuk elemen struktural utama, menimbulkan pertanyaan tentang lokalitas material. Kolaborasi integratif antara arsitek profesional dan undagi tradisional menciptakan transfer pengetahuan dua arah yang telah terbukti efektif dalam proyek-proyek seperti Green School Bali (Hardy, 2017; Bamboo U, 2024)

4. Performa Ekonomi

Data dari developer menunjukkan bahwa biaya konstruksi bambu per m² berkisar Rp 4.500.000 - 8.000.000, lebih tinggi 20-40% dibanding konstruksi bata-beton konvensional untuk kualitas ekuivalen. Namun, premium price ini dapat dikompensasi oleh nilai brand premium dan daya tarik wisatawan, di mana villa bambu dapat mengenakan tarif 30-50% lebih tinggi dengan occupancy rate rata-rata 75% (dibanding 60% untuk villa konvensional)

4.7 Model Integrasi Tradisi-Modern

1. Dimensi Teknis

Mengadopsi sistem struktural modern (engineering calculation, standardized quality control, weather-resistant coating) sambil mempertahankan prinsip sambungan fleksibel tradisional untuk ketahanan seismik. Kasus Masjid Bambu Rinjani (salah satu objek observasi) mendemonstrasikan aplikasi ini dengan struktur frame beton bertulang dan infill bambu, menghasilkan struktur yang memenuhi standar gempa modern sambil mempertahankan estetika bambu.

2. Dimensi Material

Prioritas bambu lokal Bali (Petung, Tali) untuk elemen struktural, supplemented dengan engineered bamboo untuk elemen kritis (beam span panjang >8m) yang melebihi kapasitas bambu natural. Pendekatan ini mendukung ekonomi lokal sambil menjamin performa struktural.

3. Dimensi Proses

Kolaborasi integratif antara arsitek profesional dan undagi tradisional sejak tahap desain awal, bukan hanya fase konstruksi. Model co-design ini memfasilitasi transfer pengetahuan dan mencegah marginalisasi undagi sebagai "tukang" semata.

4. Dimensi Spasial

Adopsi prinsip desain pasif dari tradisi (orientasi, natural ventilation, shading) dalam bahasa arsitektural kontemporer. Integrasi lanskap dengan filosofi Tri Hita Karana melalui zonasi sakral-profane dan penggunaan tanaman ritual

5 SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa bambu lokal Bali memiliki kelayakan teknis sebagai material konstruksi berkelanjutan, dengan kinerja mekanis Bambu Petung yang memenuhi standar elemen struktural bangunan bertingkat rendah. Keunggulan ekologis, kelenturan terhadap beban gempa, serta ketersediaannya yang melimpah menjadikan bambu alternatif konstruksi yang relevan, meskipun keterbatasan ketahanan alami menuntut penerapan teknik pengawetan yang tepat dan terstandarisasi.

Hasil kajian terhadap metode pengawetan dan sambungan tradisional menunjukkan peningkatan durabilitas material, namun masih memerlukan integrasi dengan teknologi modern untuk mencapai konsistensi mutu. Analisis proyek-proyek bambu kontemporer di Bali mengungkap

bahwa penggunaannya lebih banyak dimotivasi oleh nilai branding sektor pariwisata, dengan biaya konstruksi yang relatif lebih tinggi, tetapi dapat terkompensasi melalui peningkatan nilai ekonomi bangunan. Kolaborasi antara arsitek modern dan undagi terbukti menghasilkan transfer pengetahuan yang produktif dan menjadi basis pengembangan praktik konstruksi bambu profesional.

Penelitian merekomendasikan penyusunan standar grading material berbasis integrasi pengetahuan tradisional dan uji laboratorium, pengembangan metode pengawetan hibrid yang efektif dan ekologis, sertifikasi keahlian pekerja bambu, serta kebijakan insentif untuk memperluas pemanfaatan bambu pada hunian dan fasilitas publik. Keterbatasan penelitian meliputi jumlah kasus terbatas dan minimnya data performa jangka panjang, sehingga studi lanjutan perlu meninjau biaya siklus hidup, produk bambu rekayasa, serta implikasi sosial-ekonomi bagi komunitas lokal. Secara keseluruhan, bambu berpotensi menjadi solusi konstruksi tropis yang tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga unggul secara ekologis dan relevan secara kultural, dengan realisasi penuh yang membutuhkan sinergi antara tradisi, inovasi teknologi, kebijakan, dan perubahan persepsi publik..

DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, A., & Andriani, V. (2014). Bolted bamboo joints reinforced with fibers. *Procedia Engineering*, 95, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.162>
- Dixon, P. G., & Gibson, L. J. (2014). The structure and mechanics of moso bamboo material. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(99), 20140321. <https://doi.org/10.1098/rsif.2014.0321>
- Hardy, E. (2017). *Grow: Ibuku bamboo architecture*. Hong Kong: Oscar Riera Ojeda Publishers
- Harries, K. A., Sharma, B., & Richard, M. (2017). Structural use of full culm bamboo: The path to standardization. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, 6(3), 1-12. <https://doi.org/10.7492/IJAEC.2017.018>
- Hilda B.A & Masya F.R. (2021). Bambu, Material Ramah Lingkungan untuk Hunian di Daerah Tropis, Terdapat di <https://www.kompas.com/properti/read/2021/10/12/153000321/bambu-material-ramah-lingkungan-untuk-hunian-di-daerah-tropis>
- Liese, W., & Köhl, M. (2015). *Bamboo: The plant and its uses*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Lorenzo, R., Godina, M., Mimendi, L., & Li, H. (2023). Determination of the physical and mechanical properties of moso, guadua and oldhamii bamboo assisted by robotic fabrication. *Journal of Wood Science*, 69(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s10086-023-02037-1>
- Minke, G. (2016). *Building with bamboo: Design and technology of a sustainable architecture* (3rd ed.). Birkhäuser.
- Nugroho, N., & Ando, N. (2021). Advances in connection techniques for raw bamboo structures— A review. *Buildings*, 14(4), 1126. <https://doi.org/10.3390/buildings14041126>
- Sharma, B., Gatóo, A., Bock, M., & Ramage, M. (2015). Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.077>
- Van der Lugt, P., Van den Dobbelsteen, A. A. J. F., & Janssen, J. J. A. (2015). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 75, 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.11.024>
- Wijayanti, D. A. (2014). *Potensi bambu sebagai bahan bangunan dalam perspektif keberlanjutan* (Tesis magister). Universitas Indonesia, Depok.
- Widyowijatnoko, A. (2012). *Traditional and innovative joints in bamboo construction*. Desa Pustaka Indonesia.
- Xiao, Y., Li, L., Yang, R. Z., & Shan, B. (2014). Cross-sectional slenderness and mechanical properties of laminated bamboo lumber. *Journal of Structural Engineering*, 140(10), 04014083. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001104](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001104)

Zea Escamilla, E., & Habert, G. (2014). Environmental impacts of bamboo-based construction materials representing global production diversity. *Journal of Cleaner Production*, 69, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.067>.