



PENGEMBANGAN DESAIN MODULAR ELEMEN DINDING MATERIAL BETON RINGAN BERTULANG BAMBU PADA BANGUNAN RUMAH SEDERHANA

Moh. Faisal Faris¹, Suci Lestari², Tiya Suryadi Putri³, Ayu Komalasari Dewi⁴,
Rifa Salsabila An Najwa⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik - Universitas Lampung

Email: mohfaisalfaris@eng.unila.ac.id

Received: (9 Juni 2025)

Accepted: (12 Juni 2025)

Published : (25 Juni 2025)

Abstract

The modular system allows for accelerated construction with a high level of precision, reduces material waste, and facilitates assembly on-site. This study employs a literature review and concludes with design recommendations for lightweight concrete wall panels reinforced with bamboo. The lightweight concrete material for wall panels has a specific weight ranging around 950 kg/m³. The selection of lightweight concrete type must be adjusted according to the application needs on-site, such as non-structural panels with a specific weight <1,000 kg/m³ and compressive strength >5 MPa. The tensile strength values of bamboo are not uniform, varying from 95 MPa to 285 MPa. Before serving as reinforcement, it undergoes treatments such as coating with paint or melamine to ensure waterproofness and applying sand to improve concrete adhesion. The design of the lightweight concrete wall panel reinforced with bamboo places significant emphasis on the elements of component repetition, uniformity of size, joint models, and ease of execution. The joint model for the wall panels utilizes angle steel plates and bolts, with an effective panel size of 50 cm x 300 cm and a weight of approximately 145 kg.

Keywords: Panel, Wall, Lightweight Concrete, Bamboo Reinforcement, Fabrication

Abstrak

Sistem modular memungkinkan percepatan pembangunan dengan tingkat presisi tinggi, mengurangi limbah material, dan memudahkan perakitan di lapangan. Penelitian ini menggunakan *literatur review* dan disimpulkan kedalam rekomendasi desain panel dinding beton ringan bertulang bambu. Material beton ringan untuk panel dinding memiliki berat jenis kisaran angka 950 kg/m³. Pemilihan jenis beton ringan harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dilapangan seperti panel non-struktural dengan berat jenis <1.000 kg/m³ dengan kuat tekan >5 MPa. Hasil nilai kuat tarik bambu tidak seragam mulai dari 95 MPa hingga 285 MPa. Treatment sebelum dilakukan sebagai tulangan yaitu dengan dilapisi cat atau melamin agar kedap air dan diberi pasir agar meningkatkan kelekatan pada beton. Desain panel dinding beton ringan bertulang bambu menekankan pada unsur repetisi komponen, keseragaman ukuran, model sambungan, dan kemudahan dalam pelaksanaan. Model sambungan pada panel dinding menggunakan plat baja siku dan baut, dengan ukuran panel yang efektif yaitu 50 cm x 300 cm dengan berat perpanel sekitar 145 kg.

Kata Kunci: Panel, Dinding, Beton Ringan, Tulangan Bambu, Fabrikasi

To cite this article:

Moh Faisal Faris, Suci Lestari, Tiya Suryadi Putri, Ayu Komalasari Dewi, Rifa Salsabila An Najwa. (2025). Pengembangan Desain Modular Elemen Dinding Material Beton Ringan Bertulang Bambu Pada Bangunan Rumah Sederhana. Jurnal SENDI. Vol:06(1); 12-19.

PENDAHULUAN

Tantangan terbesar di Indonesia dari segi hunian adalah ketersediaannya dan kelayakan akan hunian sebagai salah satu kebutuhan utama penduduknya. Badan Pusat Statistik (BPS) 2023 mengemukakan data defisit rumah sederhana sehat di Indonesia mencapai sekitar 11,4 juta unit, sedangkan data kebutuhan sekitar 800.000–1 juta unit per tahun. Sementara itu, kolaborasi pemerintah dan swasta dalam pemenuhan kebutuhan akan rumah tinggal hingga saat ini hanya berkisar 500.000–600.000 unit per tahun, sehingga terjadi kesenjangan antara permintaan dan pemenuhan yang signifikan. Sementara dilain sisi data menunjukkan pemenuhan rumah sekitar 40% rumah rakyat di Indonesia masih dikategorikan belum layak huni, dengan masalah utama pada kualitas material dan ketahanan struktur (Baidarus, dkk, 2023).

Terdapat alternatif solusi atas permasalahan ini yaitu pengembangan sistem konstruksi yang efisien, modular dan berbahan lokal. Implementasi sistem konstruksi modular, khususnya pada elemen dinding, yang dapat mengurangi waktu konstruksi hingga 5% sampai 15% dibanding metode konvensional, serta dapat meningkatkan kualitas pelaksanaan pekerjaan proyek di Indonesia (Adinda, 2021). Studi yang dilakukan oleh Lopes et al. (2017) menunjukkan bahwa penggunaan *prefabricated wall panels* dapat menurunkan biaya konstruksi hingga 20% sekaligus meningkatkan konsistensi kualitas. Di Indonesia, sistem modular dinding beton pracetak sudah mulai diterapkan, namun masih terbatas pada proyek skala menengah keatas karena biaya material dan logistik yang lebih besar.

Bambu sebagai material yang tumbuh melimpah di Indonesia, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam konstruksi. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023) menunjukkan bahwa Indonesia memiliki luas hutan bambu sekitar 2,1 juta hektar, dengan lebih dari 160 jenis bambu yang dapat dimanfaatkan. Bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi (hingga 370 MPa, lebih kuat dari beberapa jenis kayu serta memiliki sifat elastis yang baik untuk struktur (Janssen, 2000). Namun, penggunaan bambu sebagai tulangan masih terbatas karena kerentanannya terhadap pelapukan dan serangan rayap. Sebagai upaya dalam meningkatkan daya tahan bambu pada konstruksi, perlu dikembangkan material komposit yang menggabungkan bambu dengan beton ringan. Beton ringan dengan berat jenis sekitar 1.200–1.600 kg/m³ dapat mengurangi beban struktur rumah sederhana hingga 30% dibandingkan beton konvensional (Nawy, 2008). Kombinasi tulangan bambu dengan beton ringan dalam sistem modular elemen dinding dapat menjadi solusi konstruksi yang cepat, ekonomis, dan ramah lingkungan. Sistem modular memungkinkan percepatan pembangunan dengan tingkat presisi tinggi, mengurangi limbah material, dan memudahkan perakitan di lapangan (Smith, 2016).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan desain modular elemen dinding material beton ringan bertulang bambu untuk rumah sederhana. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat dihasilkan solusi konstruksi yang terjangkau, berkelanjutan, dan mudah diaplikasikan, sehingga berkontribusi pada pemenuhan kebutuhan perumahan layak huni bagi masyarakat.

TELAAH PUSTAKA

Rumah Sederhana

Rumah sederhana sering dikaitkan dengan karakteristik desain yang tidak kompleks dan kecenderungan ditujukan untuk masyarakat dengan penghasilan rendah. Sesuai SNI 03-1733-2004 tentang tata cara perencanaan lingkungan perumahan di perkotaan, disebutkan bahwasannya rumah tinggal sederhana setidaknya memiliki luas lantai 36 m² dengan kapasitas huni 4 orang. Hal ini sesuai dengan pedoman rumah sehat No.403/KPTS/2002 terkait rumah sederhana dimana luas lantai minimal yaitu 9 m² per jiwa.

Secara lebih lanjut Rumah sederhana didefinisikan sebagai hunian yang memenuhi standar kelayakan dasar dengan biaya terjangkau bagi masyarakat berpenghasilan rendah (UN-Habitat, 2012). Di Indonesia, Kementerian PUPR mengklasifikasikan rumah sederhana sebagai: (a) Rumah Sederhana Sehat RSH: Luas bangunan 36–60 m², dengan struktur memenuhi persyaratan teknis minimal. (b) Rumah Sangat Sederhana RSS: Luas 21–36 m², diperuntukkan bagi masyarakat berpenghasilan di bawah 80% upah minimum regional (PUPR No. 14/2018).

Material Beton Ringan Bertulang Bambu

Beton ringan atau *lightweight concrete* merupakan material konstruksi inovatif yang memiliki berat jenis signifikan lebih rendah dibanding beton konvensional, yakni berkisar antara 1.200–1.600 kg/m³, sementara beton biasa memiliki berat jenis 2.300–2.500 kg/m³ (Nawy, 2008). Menurut standar ACI 213R-14, beton ringan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu beton ringan struktural yang mampu menahan beban dengan kekuatan tekan di atas 17 MPa, dan beton ringan non-struktural yang umumnya digunakan untuk aplikasi partisi, panel dinding, atau insulasi termal dengan kekuatan tekan antara 3–17 MPa. Komposisi material beton ringan non-struktural didominasi oleh penggunaan agregat ringan seperti batu apung (*pumice*), *expanded clay*,

polistiren, atau material daur ulang seperti abu sekam padi dan *slag*, yang memiliki densitas rendah sekitar 400–800 kg/m³ (Zhang & Gjorv, 1991). Selain itu, material pengikat seperti semen *Portland* atau semen *pozzolanik* digunakan sebagai matriks utama, sementara aditif seperti *foaming agent* seperti serbuk aluminium ditambahkan untuk menciptakan gelembung udara yang mengurangi berat beton hingga 30% (Mindess et al., 2003).

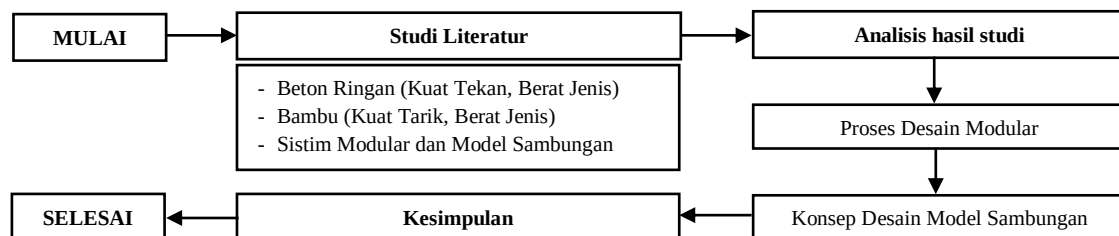
Desain Modular Elemen Dinding

Pabrikasi material diterapkan pada sistem modular elemen dinding dengan komponen terstandarisasi untuk mencapai efisiensi waktu, biaya, dan kualitas. Menurut Warszawski (1999), sistem ini didefinisikan sebagai perakitan elemen dinding berbasis modul tiga dimensi atau panel yang diproduksi diluar lokasi proyek dengan toleransi presisi tinggi (± 2 mm/m). Smith (2016) menambahkan bahwa karakteristik utama sistem modular terletak pada repetisi komponen, interoperabilitas sambungan, dan kemudahan dekonstruksi, yang sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular. Penggunaan material, Gibb (2001) mengklasifikasikan sistem modular dinding menjadi tiga tipe utama: (1) *panel-based system*, seperti halnya beton precast atau AAC, (2) *frame-panel hybrid* yaitu struktur rangka dengan pengisi panel ringan, dan (3) *volumetric modular* atau unit ruang utuh.

Karakteristik performa sistem modular dinding ditinjau dari tiga aspek kritis. Pertama, aspek struktural dimana ditekankan pada desain sambungan mekanis (*bolt*, *shear key*, atau *grouted connection*) untuk menahan beban lateral dan diferensial settlement, dengan kekakuan struktur konvensional. Kedua, aspek produksi yang mengoptimasi lean manufacturing melalui standarisasi ukuran panel yang seragam akan mereduksi penggunaan material. Ketiga, aspek termal-akustik dimana bahwasanya panel modular multilayer misalnya beton ringan dan insulasi aerogel mencapai nilai U 0,35 W/m²K dan STC 52 dB, melampaui persyaratan ISO 19467:2017 untuk dinding eksterior. Ketiga aspek penting ini dapat menjadi acuan dalam penerapan desain modular elemen dinding yang akan digunakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan studi literatur (*literatur review*) atau pendekatan berdasarkan beberapa riset terkait pengujian material yang sudah ada terdahulu. Riset terkait dengan pengujian betor ringan dan pengujian material bambu sebagai tulangan. Kemudian dilakukan analisa dan diterapkan dalam konsep desain modul elemen dinding beton ringan bertulang bambu. Metode penelitian yang digunakan yaitu deskriptif kuantitatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui desain modular elemen dinding yang praktis dan ringan berbahan dasar kombinasi mortar beton ringan dengan tulangan bambu. Setelah diperoleh hasil data terkait terhadap material penyusun beton ringan bertulang bambu. Kemudian dilakukan desain modular elemen dinding bangunan. Berikut adalah gambar diagram alur proses penelitian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur proses penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat jenis dan kuat tekan beton ringan dengan penambahan *form agent*

Berdasarkan hasil studi literatur terkait dengan hasil penelitian yang ada baik dari dalam dan luar negeri, terkait penggunaan beton ringan dengan *foam agent* telah berkembang sebagai solusi konstruksi berkelanjutan yang menjawab tantangan efisiensi material, biaya, dan lingkungan. Secara umum, temuan riset menunjukkan bahwa penggunaan *foam agent* 0.3–1.5% secara konsisten mengurangi berat jenis beton hingga 750–1,400 kg/m³, dengan penurunan kuat tekan yang beragam mulai 2.9 MPa hingga 9.1 MPa. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi material penyusunnya. Hasil riset menunjukkan penggunaan bahan tambahan *foam agent* memberikan pengaruh signifikan pada dua komposisi utama berat jenis dan kekuatan tekan dari material beton ringan. Penggunaan beton ringan dapat mengurangi beban mati dari bangunan itu sendiri. Mengingat kontribusi berat bangunan terbesar didominasi elemen non struktur seperti dinding. Penggunaan material yang ringan memberikan dampak terhadap efektifitas pelaksanaan pekerjaan. Selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Table 1. Komparasi berbagai hasil pengujian beton ringan

Komposisi Campuran Sampel Benda Uji	Data Hasil Pengujian			Sumber Data	
	Foam Agent (%)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Kuat Tekan (Mpa)	Penelitian	Tahun
Penyusun Utama (Perbandingan)					
Semen : Expanded Clay (1:3)	0,3	1.400	9,1	Jones & McCarthy	2016
Semen : Slag : Pasir (1:1:1)	0,6	1.100	6,7	Kearsley & Wainwright	2017
Semen : Pasir (1:2)	0,5	1,200	7,8	Zhang et al.	2018
Semen : Pasir : Sekam Padi (1:1,5:0,5)	1,0	800	3,5	Nambiar & Ramamurthy	2019
Semen : Fly Ash (1:1)	0,8	950	5,2	Amran et al.	2020
Semen : Serbuk Batu Apung (1:2)	1,2	900	4,8	Wijaya & Santoso	2021

Sumber: hasil tabulasi dari berbagai sumber

Jenis beton ringan diklasifikasikan berdasarkan nilai kuat tekan, nilai berat beton, dan agregat penyusunnya sesuai dengan SNI 03-3449-2002. Hasil klasifikasi dikelompokkan kedalam 3 kelompok utama yaitu: beton ringan struktur dengan berat jenis 1.400 kg/m³ hingga 1.850 kg/m³ dengan kuat tekan diatas 17,24 MPa. Beton ringan struktur ringan dengan berat jenis 800 kg/m³ hingga 1.400 kg/m³ dengan kekuatan tekan dibawah 17,24 MPa hingga minimum 6,89 MPa. Sementara itu kelompok terakhir yaitu beton sangat ringan dengan berat jenis dibawah 800 kg/m³. Temuan ini menjadi dasar bahwa pemilihan formulasi beton ringan harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dilapangan seperti panel non-struktural dengan berat jenis <1.000 kg/m³ atau elemen semi-struktural dengan kuat tekan >5 MPa.

Berat jenis dan kuat tarik tulangan bambu

Setelah dilakukan penelusuran terkait dengan hasil pengujian kuat mekanik berbagai jenis bambu yang umum digunakan di Indonesia, terdapat beberapa hal yang dapat menjadi acuan dalam pemanfaatan bambu sebagai material tulangan. Mengingat bambu merupakan material alam yang kekuatannya sangat dipengaruhi kondisi dan karakteristik dari sifat materialnya. Hal ini yang menjadikan hasil uji mekanik kekuatan tarik bambu sangat beragam. Kontrol kekuatan material bambu sangat sulit dilakukan sebagai upaya pendekatan terhadap kekuatan tariknya. Pengujian terhadap material bambu dibedakan dengan berbagai model yaitu area luar mendekati kulit, area dalam mendekati inti, area dengan buku bambu, area tanpa buku bambu, area pangkal batang, area tengah batang, dan area ujung batang. Amiruddin, A,dkk (2022) menyatakan semakin rendah kadar air, semakin tinggi kekuatan tarik bambu. Pada bambu dengan kadar air lebih rendah di bagian atas batang, kekuatan tariknya lebih tinggi dibanding bagian bawah dan tengah batang. Hasil perbandingan berbagai jenis bambu seperti pada tabel 2.

Table 2. Komparasi berbagai hasil pengujian bambu

Jenis Bambu (Nama Latin)	Data Hasil Pengujian			Sumber Data	
	Berat Jenis (Kg/m ³)	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastisitas (Gpa)	Penelitian	Tahun
Bambu Apus (<i>Gigantochloa apus</i>)	680-790	145-225	11-17	Apriyanto et al.	2020
Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	720-780	144-172	14-19	MF Faris	2016
Bambu Ori (<i>Bambusa blumeana</i>)	620-740	155-210	10-15	Ghavami	2005
Bambu Wulung (<i>Gigantochloa atroviolacea</i>)	820-930	210-285	19-24	Aprianti et al.	2018
Bambu Kuning (<i>Bambusa vulgaris</i>)	520-640	95-170	7-12	Kamthai & Puthson.	2021
Bambu Andong (<i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i>)	750-850	195-265	18-22	Liese & Kohl	2015

Sumber: hasil tabulasi dari berbagai sumber

Penerapan bambu sebagai tulangan pada beton bukan merupakan hal yang baru. Berbagai riset telah dilakukan untuk mengetahui potensi bambu sebagai material pengganti baja atau besi dalam komposisi beton bertulang. Pada penerapannya perlu dilakukan treatmen atau pemeliharaan dan perlakuan khusus terhadap bambu sebagai material tulangan. Pemeliharaan bambu sebagai tulangan pada beton sangat penting untuk memastikan daya tahan dan kinerja struktur. Bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan ramah lingkungan, namun sifat alaminya seperti penyerapan air, perubahan dimensi, dan degradasi dalam lingkungan alkali beton dapat menurunkan kekuatan dan daya rekatnya. Bala, A., & Gupta, S. (2023) menyatakan untuk mengatasi hal ini, beberapa metode pemeliharaan yang direkomendasikan meliputi perlakuan kimia seperti pelapisan dengan epoxy, aspal, atau larutan air-replant, pengeringan, serta perlakuan permukaan seperti pembuatan alur atau

corrugation untuk meningkatkan daya lekat dengan beton dan mencegah slip. Berikut adalah gambar pemeliharaan bambu sebagai tulangan dengan menggunakan cat melamin dan pasir seperti pada gambar 2.

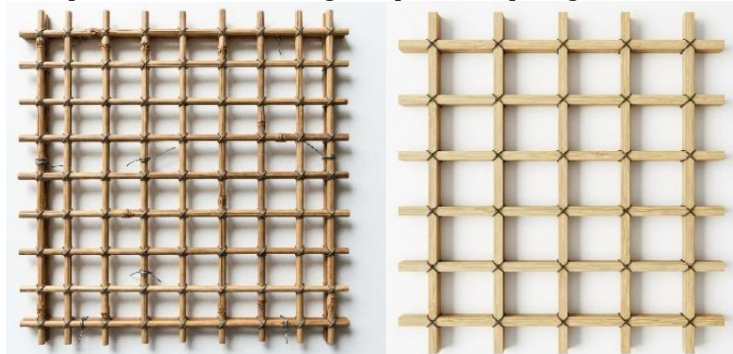


Gambar 2. Treatment bambu sebagai tulangan
Sumber: dokumentasi MF Faisal (2016)

Pemeliharaan pada tulangan bambu dengan melapisi menggunakan cat atau melamin bertujuan untuk menutup pori-pori serat material. Hal ini bertujuan untuk mengurangi risiko susut akibat proses alami bambu yang melepaskan kandungan airnya. Sehingga ada kemungkinan saat bambu dicor dalam beton, bambu akan meresap dan menyerap air semen. Pada saat beton kering bambu melepaskannya sehingga terjadi crack akibat dari muai dan susut yang terjadi. Sehingga untuk mengurangi dampak itu perlu dilakukan treatment dengan pelapisan anti air. Sedangkan pasir ditaburkan pada tulangan bertujuan untuk meningkatkan daya ikat antara tulangan dengan beton. Penggunaan cat termasuk cat berbasis lateks atau polimer pada permukaan bambu membantu mengurangi penyerapan air, melindungi bambu dari degradasi akibat lingkungan alkali beton, dan meningkatkan daya rekat antara bambu dan matriks beton. Sementara itu, Li, Y., dkk (2024) menyatakan penambahan pasir pada permukaan bambu biasanya bersama pelapis seperti epoxy atau cat berfungsi untuk meningkatkan kekasaran permukaan, sehingga memperkuat ikatan mekanis antara bambu dan beton serta mencegah terjadinya slip atau pergeseran tulangan di dalam beton

Desain Modular Elemen Dinding

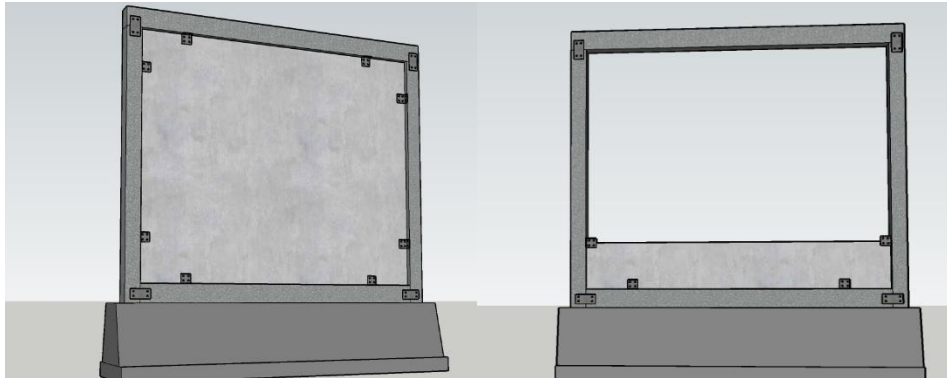
Desain modular elemen dinding menggunakan material beton ringan sesuai dengan hasil riset Amran, Y. (2020) dengan komposisi campuran semen, fly ash (1:1) dan bahan tambahan form agent 0,8%. Sementara tulangan bambu yang digunakan bebas sesuai dengan ketersediaan yang ada di lapangan. Hal yang disyaratkan adalah treatment pada material bambu agar optimal kinerjanya pada beton ringan. Material bambu yang digunakan dibuat menjadi tulangan dengan ukuran penampang mendekati persegi panjang ukuran 1 cm x 0,5 cm. Kemudian disusun menjadi pola terakit seperti penulangan plat atau wiremesh dengan jarak pasang masing-masing 10 cm x 10 cm. Kemudian penulangan bambu diikat menggunakan material kawat bendrat. Pada prinsipnya perlakuan tulangan bambu dengan tulangan besi pada proses perakitan tidak terdapat perbedaan. Namun hal penting yang perlu diperhatikan yaitu sebelum disusun menjadi tulangan bambu yang terikat, material bambu diberikan perlakuan khusus dengan menambahkan melamin dan pasir gambar 2. Penyusunan tulangan dan implementasinya kedalam panel modular beton ringan dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 3. Pola penulangan bambu
Sumber: dokumentasi peneliti



Gambar 4. Visualisasi panel beton ringan bertulang bambu
Sumber: dokumentasi peneliti



Gambar 5. Visualisasi panel dinding utuh (Tipe A) kiri (Tipe B) kanan dan sambungannya
Sumber: dokumentasi peneliti

Panel dinding beton ringan bertulang bambu memiliki berat per panel tipe A dengan ukuran 3m x 3m yaitu berkisar diangka 855 kg. Sehingga hal ini dalam pelaksanaannya akan memerlukan alat bantu untuk pemasangan dilapangan. Hal ini dapat disiasati dengan penerapan bilah panel dengan ukuran yang lebih kecil tipe B yaitu kelipatan 0,5m x 3m dengan perkiraan berat per panel dinding sekitar 145 kg. Berdasarkan betukan panel dinding modular yang didesain baik tipe A dan tipe B memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Tipe A selain praktis dan efisien dikarenakan segmen modularnya yang besar sehingga dapat efisien dari segi waktu, namun memerlukan perhatian khusus dalam proses pelaksanaannya. Desain panel tipe B yang relatif lebih kecil memerlukan jumlah alat sambung plat siku yang lebih banyak dan waktu pelaksanaan yang lebih lama dari pada tipe A. Namun pada tipe B masih dapat mengakomodir pemasangan manual dengan tenaga manusia. Material yang digunakan sebagai join antara elemen struktur kolom dan balok dengan elemen modular dinding menggunakan plat siku custom. Hal ini disesuaikan dengan desain dan model sambungannya. Seperti pada visual gambar 5. Model sambungan disesuaikan dengan ukuran panel dinding yang dibuat. Ukuran yang diterapkan pada desain yaitu 10 cm x 5 cm untuk bidang yang bersentuhan dengan elemen struktur dan ukuran 10 cm x 10 cm pada area yang bersentuhan dengan panel dinding. Sementara join antar elemen struktur menggunakan plat 10 cm x 20 cm.

Desain panel dinding disesuaikan dengan ukuran umum pada rumah tinggal sederhana sesuai dengan yang umum ditemui dilapangan. Rumah tinggal sederhana untuk 4 orang penghuni masing-masing standar kebutuhan ruangnya yaitu 9 m² sehingga kebutuhan luas area hunian yaitu 36 m². Rumah dengan luasan tersebut juga disebut tipe 36 sebagai upaya dalam menciptakan ukuran modul panel dinding yang seragam dan memudahkan dalam proses pembuatannya sehingga desain penataan ruang untuk rumah tipe 36 mengacu pada ukuran lebar 6 m dan panjang 6 m sehingga modul panel dinding yang dibuat tidak banyak jenis. Dengan penyesuaian ukuran modular yang diproduksi terhadap desain rumah yang tipikal akan meningkatkan efektifitas proses pemasangan. Semakin sedikit jenis atau variasi ukuran modul panel dinding akan semakin murah biaya yang dikeluarkan untuk produksinya. Ferreira, S (2023) menyatakan karakteristik utama sistem modular terletak pada repetisi komponen dan model sambungannya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat jenis material beton ringan sangat beragam dipengaruhi dari komposisi campuran penyusunnya. Material beton ringan untuk panel dinding memiliki berat jenis kisaran angka 950 kg/m³. Pemilihan jenis

- beton ringan harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dilapangan seperti panel non-struktural dengan berat jenis $<1.000 \text{ kg/m}^3$ dengan kuat tekan $>5 \text{ MPa}$.
2. Material tulangan bambu sebagai pengganti tulangan besi sangat potensial untuk digunakan. Beberapa hal yang menjadi catatan adalah keseragaman dari nilai kuat tarik bambu yang bervariasi mulai dari 95 MPa hingga 285 MPa, treatment sebelum dilakukan sebagai tulangan perlu dilapisi cat atau melamin agar kedap air dan diberi pasir agar meningkatkan kelekatan pada beton.
 3. Desain panel dinding beton ringan bertulang bambu sangat berfokus pada unsur repetisi komponen atau keseragaman ukuran panel, model sambungan, dan kemudahan dalam pelaksanaan. Kemudahan dalam pelaksanaan dipengaruhi oleh berat material dan ketepatan ukuran modul dindingnya.

REFERENSI/DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 213 (2003) ACI 213R-87. Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Adinda, N., Dwipriyoko, E., Kusuma, D., Henong, S., Nuryono, B., Haris, S., & Mahardhika, A. (2021). *Analysis of Modular House Fabrication Technology Application in Subsidized Housing Construction Based on Project Planning*. Journal of Physics: Conference Series, 1933. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1933/1/012099>.
- Amiruddin, A., Parung, H., Sibela, N., Fajar, M., & Arifin, H. (2022). The Effect of Bamboo Water Content on The Tensile Strength of Bamboo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1117. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1117/1/012008>.
- Amran, Y. (2020). Influence of structural parameters on the properties of fibred-foamed concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-0262-8>.
- Aprianti, T., Supriati, R., & Purwanto. (2018). Karakteristik mekanis bambu wulung (*Gigantochloa atroviolacea*) sebagai material konstruksi berkelanjutan. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 45-54. <https://doi.org/10.31815/jp.2020.15.43-53>
- Apriyanto, M., Sudarmanto, & Hartono, R. (2020). Analisis sifat fisik dan mekanik bambu apus (*Gigantochloa apus*) dari Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Kayu Indonesia*, 18(1), 12-20.
- Baidarus, M., Febriano, D., Mubarak, D., & Ramadhani, M. (2023). Kajian Sistematis Kebijakan Skema Pembiayaan Kerja Sama Pemerintah Dengan Badan Usaha (Kpbu) Pada Sektor Perumahan Guna Mengatasi Backlog Di Indonesia. *Jurnal BPPK: Badan Pendidikan dan Pelatihan Keuangan*. <https://doi.org/10.48108/jurnalbppk.v16i1.711>.
- Bala, A., & Gupta, S. (2023). Engineered bamboo and bamboo-reinforced concrete elements as sustainable building materials: A review. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132116>.
- Faris Moh Faisal. 2016. Kapasitas Geser Balok Tinggi Beton Bertulang Bambu dengan Variasi Jenis Bahan Sengkang Besi dan Bambu. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.
- Ferreira, S., Morais, M., Costa, V., Velosa, A., Vela, G., Teles, J., & Pereira, T. (2023). Modular sandwich panel system for non-loadbearing walls – Experimental mechanical, fire and acoustic testing. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107642>.
- Ghavami, K. (2005). Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cement and Concrete Composites*, 27(6), 637-649. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.09.004>
- Gibb, A.G.F. (2001). Standardization and Pre-assembly in Construction. *Journal. Construction Management and Economics* February 2001 19(3):307-315. <https://doi.org/10.1080/01446190010020435>.
- Janssen, J.J.A. (2000) Designing and Building with Bamboo. International Network for Bamboo and Rattan, p. 208 (Technical Report). Technical University of Eindhoven. The Netherlands.
- Jones, M. R., K. Ozlutas, and L. Zheng. 2017. *High-volume, ultra-low-density fly ash foamed concrete*. *Mag. Concr. Res.* 69 (22): 1146–1156. <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00063>
- Kamthai, S., & Puthson, P. (2021). Physical and mechanical properties of Bambusa vulgaris for green construction. *Journal of Natural Fibers*, 18(8), 1125-1135. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1691116>
- Kearsley, E. P. and Mostert H. F. 2017. *The Effect of Polypropylene Fibers on the Properties of Foamed Concrete*. Proceedings of International Symposium; Role of Concrete in Sustainable Development, Dundee, Scotland, (2003), pp. 557 - 566.
- Liese, W., & Kohl, M. (2015). *Bamboo: The plant and its uses*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6>
- Lopes, G., Vicente, R., Azenha, M., & Ferreira, T. (2017). *A systematic review of Prefabricated Enclosure Wall Panel Systems: Focus on technology driven for performance requirements*. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2017.12.027>.
- Nambiar, E.K., & Ramamurthy, K. (2019). Rice Husk Ash in Foamed Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012012>.
- Nawy, E.G. (2008) *Concrete Construction Engineering Handbook*. 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420007657>.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E., & Ranjani, G. (2019). A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement & Concrete Composites*, 31, 388-396. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2009.04.006>.

- Smith, Ryan, E. (2016). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Jhon Wiley and Sonc.Inc. Hoboken. New Jersey. USA. ISBN 978-0-470-88044-9 (ebk). NA8480.S66 2011.
- SNI 03-3449-2002. (2002). *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*, Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 03-1733-2004 (2004). *Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- UN-Habitat, (2012). *Going Green: A Handbook of Sustainable Housing Practices*, First Published in Nairobi in 2012 by UN-Habitat. www.unhabitat.org.
- Warszawski, A. (1999). *Industrialized and Automated Building Systems*. Edition, 2 ; Publisher, Publisher Taylor & Francis E&FN Spon.Press LLC. London.
- Wijaya, D., & Santoso, E. (2021). Beton Ringan berbasis Batu Apung Lombok dengan Foam Agent. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*.4(2):165–71.
- Li, Y., Yuan, Z., Li, M., Gu, S., Wang, C., & Cheng, H. (2024). Replacing plastic automotive interiors with bamboo: a study on the mechanical and flame-retardant properties of melamine polyphosphate-modified bamboo fiber-reinforced composites. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-024-10227-0>.
- Zhang, L., et al. (2018). Effect of Foaming Agent on Lightweight Concrete Properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 490, Issue 3. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/3/03203>.