

Elemen Struktur Beton Bertulang Berwawasan Lingkungan untuk Rumah Sederhana

Muhtar^{1,2*}, Latifa Mirzatika Al-Rosyid¹, Arief Alihudien^{1,2}, Kasih Imani Putri Sugiarto¹, Moh. Novan Riyanto¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jalan Karimata 49 Jember, Jember, 68121, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember, Jalan Karimata 49 Jember, Jember, 68121, Indonesia

*Email: muhtar@unmuhjember.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan bahan bangunan berbasis fosil yang terus-menerus cenderung merusak dan mencemari lingkungan. Penggunaan bahan terbarukan dan berkelanjutan sangat penting dilakukan. Bambu merupakan bahan terbarukan, berkelanjutan, murah, dan berwawasan lingkungan. Dua tujuan penelitian ini adalah (1) menarik minat masyarakat untuk menggunakan bahan bangunan berbasis lingkungan, dan (2) menganalisis kelayakan dan potensi bambu untuk digunakan sebagai tulangan elemen struktur pelat pondasi. Empat specimen pondasi dengan dimensi 70 x 70 x 15 cm³ yang terdiri dari tiga pelat pondasi beton bertulang bambu (PDB) dan satu pelat pondasi beton bertulang baja (PDS). Dimensi tulangan bambu 15 x15 mm² dan diameter tulangan baja 10 mm. Variasi jarak tulangan bambu sebesar 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Jarak tulangan baja sebesar 130 mm. Pondasi diuji dengan beban terpusat pada titik tengahnya. Hasil penelitian menunjukkan pondasi PDB dengan jarak tulangan 100 mm mempunyai kapasitas lebih tinggi 3.16% dari pelat pondasi PDS dengan diameter tulangan 10 mm dengan jarak 13 mm. Pelat pondasi PDB mempunyai kesamaan pola keruntuhan dengan pondasi PDS sebagai pondasi kontrol. Pondasi PDB layak diusulkan untuk pondasi rumah-rumah sederhana pedesaan yang banyak bambu.

Kata kunci: Bambu; Beton, Lingkungan; Pondasi; Rumah Sederhana



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

PENDAHULUAN

Salah satu factor penyebab perubahan iklim akibat ulah manusia adalah penggunaan bahan fosil yang terus menerus. Penggunaan bahan industri yang bersumber dari bahan baku fosil telah menyebabkan rusaknya lingkungan dan perubahan iklim. Pengembangan bahan bangunan berkelanjutan dan sistem elemen struktur rendah karbon sangat penting untuk dikedepankan dalam dunia konstruksi. Pemanfaatan bahan konstruksi yang ramah lingkungan harus terus dilakukan untuk menjaga keseimbangan alam. Pemanfaatan bahan bangunan ramah lingkungan merupakan program Perserikatan Bangsa-Bangsa dalam mengurangi dampak Pemanasan Global, serta mencapai energi bersih dan hemat biaya yang sejalan dengan *program Sustainable Development Goals* (SDGs). Konferensi Perubahan Iklim PDBB COP28 di Dubai berfokus pada perlunya revolusi energi terbarukan yang adil dan setara untuk melindungi planet bumi ([UN Climate Change, 2023](#)). Hal ini menunjukkan relevansi transisi dari ekonomi berbasis bahan bakar fosil ke sumber energi ramah lingkungan seperti bambu, dengan mempertimbangkan masyarakat dan komunitas yang rentan. Bambu merupakan bahan energi terbarukan yang ekonomis dan berkelanjutan yang tumbuh subur di daerah pedesaan. Rumpun bambu melepaskan 35% oksigen lebih banyak daripada rumpun bambu lainnya, menyerap CO₂, dan meningkatkan kualitas udara lingkungan ([Prajodi Andaru, 2021](#)). Bambu juga dicirikan oleh sifat elastis dengan kekuatan tarik yang tinggi sekitar 284 Mpa ([Sae-Long et al., 2024](#)), sehingga cocok untuk tulangan beton yang digunakan untuk konstruksi rumah yang murah, layak huni, dan aman secara teknis di masyarakat berpenghasilan rendah.

Bambu, dengan sifat-sifatnya yang ramah lingkungan, telah menjadi pemain kunci dalam mendukung inisiatif industri berkelanjutan, termasuk bambu laminasi yang direkatkan dan beton bertulang bambu. Namun, Penting untuk mempertimbangkan karakteristik unik bambu dan perilaku struktur yang dibangun dari bahan ini, seperti kerentanannya terhadap retak ([Wu et al., 2023](#)), dan pergeseran relatif antara segmen bambu dan beton ([Xu et al., 2022](#)). Dampak dari fase operasi dan produksi konstruksi bambu perlu mendukung program ramah lingkungan dan berkelanjutan. [Liu et al., \(2023\)](#) melakukan penelitian tentang siklus hidup bangunan tempat tinggal pedesaan yang dibangun menggunakan struktur bambu rekayasa, dengan fokus pada emisi karbon. Hasilnya mengungkapkan bahwa fase operasional adalah penyumbang utama emisi karbon, diikuti oleh fase produksi. Estimasi rata-rata emisi karbon siklus hidup untuk bangunan tempat tinggal pedesaan yang dibangun dengan bahan bambu rekayasa adalah sekitar 1035 kgCO_{2eq}/m². [Zhang et al., \(2023\)](#) menyimpulkan bahwa tahap produksi merupakan penyumbang terbesar emisi karbon, biaya, dan konsumsi energi, dan berikutnya adalah tahap operasi.

Rumah sederhana pedesaan banyak mengalami kerusakan akibat gempa dikarenakan tidak menggunakan pondasi dan struktur rangka beton bertulang. Penggunaan struktur beton bertulang sangat terbatas, karena mayoritas masyarakat desa miskin pengetahuan dan lemah secara ekonomi, sehingga

keselamatan jiwa menjadi nomor dua. Contoh pembangunan rumah sederhana pedesaan diperlihatkan pada [Gambar 1](#). Pemanfaatan bambu sebagai tulangan elemen struktur beton bertulang seperti pelat pondasi rumah sederhana merupakan salah satu solusi dalam membantu masyarakat dengan bahan murah, terbarukan, ramah lingkungan, dan banyak tumbuh di wilayah pedesaan ([Muhtar et al., 2024](#)). Namun demikian pemanfaatan bambu sebagai tulangan beton tetap harus memperhatikan aspek biaya treatment. Beberapa langkah treatment bambu yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya direndam dalam air $\pm$ 20-30 hari, diberi lapis kedap air ([Anto et al., 2023](#); [Muhtar and Gunasti, 2023](#)) seperti cat No-drop, dan dilaburi pasir ([Dey and Chetia, 2018](#); [Javadian et al., 2020a, 2020b](#))



Gambar 1. Rumah sederhana pedesaan tidak menggunakan pondasi dan struktur rangka beton bertulang

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan bambu dan kinerja pelat atau panel dari beton bertulang bambu telah banyak dibahas. [Mali and Datta \(2018\)](#) melakukan eksperimen kinerja panel pelat bertulang bambu, hasil pengujiannya menunjukkan bahwa ada peningkatan kapasitas beban dan deformasi panel pelat beton dibandingkan dengan pelat PCC dan pelat RCC. Selain itu perilaku struktural pelat menggunakan tulangan bambu menunjukkan peningkatan kinerja lentur yang signifikan dan sedikit lebih baik daripada pelat RCC dengan tulangan baja sebagai tulangan utama. [Thangaraj and Madasamy \(2023\)](#) meneliti kinerja pelat beton bertulang bambu yang dimodifikasi dengan *epoxy-filler* dan menyimpulkan bahwa pelat beton bertulang bambu yang dimodifikasi dengan *epoxy-filler* mengalami peningkatan kapasitas beban hampir 89% dibanding pelat control. [Kantharuban et al. \(2021\)](#) menulis bahwa tulangan bambu merupakan alternatif yang dapat diterima untuk slab.

Dari segi biaya serta kelayakan pelat atau panel beton bertulang bambu untuk perumahan murah telah banyak dibahas oleh para peneliti. [Puri et al. \(2017\)](#) meneliti panel dinding pracetak dari beton bertulang bambu dan menyimpulkan bahwa panel dinding dari beton bertulang bambu memiliki kekuatan yang baik dibanding dinding bata dan memiliki potensi besar untuk rumah murah. [Bala and Gupt, \(2023\)](#)

mereview makalah tentang pemanfaatan bambu, dalam kesimpulannya menulis bahwa panel BRC sangat cocok untuk membangun sistem walling yang ringan dan hemat biaya untuk memenuhi permintaan rumah murah yang terus meningkat. Subramaniam (2015) memanfaatkan bambu sebagai tulangan panel *Fence Walls*, dalam kesimpulannya menulis bahwa fence walls lebih murah 25 hingga 30%, dan berdampak pada meningkatnya kebutuhan bambu yang mengarah pada pertumbuhan lingkungan yang berkelanjutan.

Dari uraian dan pendapat peneliti menunjukkan bahwa pelat atau panel dari beton bertulang bambu layak dari segi teknis maupun biaya untuk perumahan sederhana murah, namun belum menyentuh permasalahan nyata perumahan masyarakat pedesaan. Permasalahan utama perumahan masyarakat desa adalah terjadi keruntuhan mendadak jika gempa terjadi, salah satunya disebabkan tidak menggunakan pondasi dan kolom beton bertulang. Permasalahan kedua adalah factor ekonomi dan tingginya harga besi. Makalah ini mengusulkan pelat beton bertulang bambu untuk pondasi rumah sederhana pedesaan yang murah, ramah lingkungan, layak secara teknis. Pelat Pondasi beton bertulang bambu dibuat dengan ukuran standart perumahan sederhana yaitu 700 mm x 700 mm dengan tulangan bambu 15 mm x 15 mm dengan variasi jarak 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Sebagai control kelayakan dibuat pondasi ukuran sama dengan tulangan baja diameter 10 mm jarak 130 mm. Pondasi control merupakan pondasi beton bertulang baja yang biasa digunakan masyarakat pedesaan. Selanjutnya pelat pondasi diuji beban terpusat dengan kondisi penempatan tumpuan paling kritis yaitu pada empat sudut specimen pondasi. Kapasitas beban, pola retak, daktilitas, dan kekakuan dibahas. Hipotesis penelitian ini adalah pelat pondasi beton bertulang bambu layak secara teknis digunakan untuk pondasi rumah sederhana masyarakat.

BAHAN DAN METODE

2.1. Persiapan bahan dan benda uji

Benda uji pelat pondasi beton bertulang bambu dan pelat pondasi beton bertulang baja terbuat dari beton normal dengan proporsi campuran 1 PPC: 1.9 pasir: 2.9 agregat kasar: 0.5 air. Hasil uji tekan beton pada umur 28 hari didapatkan rata-rata sebesar 29.50 MPa, dengan rata-rata modulus elastisitas 24803 MPa. Hasil uji tarik tulangan baja menggunakan mesin UTM didapat kuat tarik sebesar 391,50 MPa dengan modulus elastisitas 207725 MPa. Dari hasil uji Tarik tulangan bambu didapat kuat tarik rata-rata sebesar 126,65 MPa dengan modulus elastisitas rata-rata sebesar 17230 MPa. Uji Tarik bambu petung (*Dendrocalamus asper*) (Muhtar, 2020, 2019) dilakukan pada sampel ruas bambu tanpa node dan dengan node. Hal ini disebabkan bambu dengan node mempunyai sifat mekanik paling lemah dan kuat tarik lebih rendah (Cai et al., 2023; Hao et al., 2023). Sifat-sifat bahan beton, tulangan baja, dan tulangan bambu dapat dilihat pada Table 1.

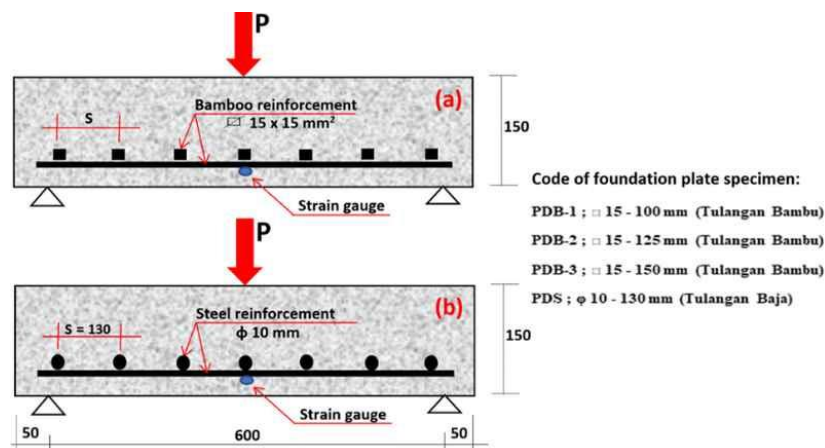
Tabel 1. Sifat-sifat bahan beton, tulangan baja, dan tulangan bambu

Material	Baja	Bambu	Beton
Ukuran (mm)	φ 10	15 x 15	-
Kuat Tarik (MPa)	391.50	126.65	-
Modulus Elastisitas, E (MPa)	207725	17230	24803
Kuat Tekan, f_c (MPa)	-	-	29.50
Poisson's ratio	0.25	0.2	0.3

Tulangan bambu untuk pelat pondasi dibuat dari pohon bambu (*Dendrocalamus Asper*) yang berumur 3-5 tahun. Bagian bambu yang dipakai sebagai tulangan pelat pondasi diambil sepanjang 6 meter dari dasar pohon bambu. Tulangan bambu dibuat dengan ukuran 15 mm x 15 mm dengan panjang disesuaikan dengan ukuran pelat pondasi. Bambu sebelum digunakan ditreatment terlebih dahulu seperti direndam dalam air $\pm$ 20-30 hari, dikeringkan pada udara bebas, dipotong sesuai ukuran pelat pondasi, diberi lapis kedap air seperti No-Drop, dan dilaburi pasir (Muhtar, 2021; Muhtar et al., 2019). Langkah-langkah treatment bambu untuk tulangan pelat pondasi beton ditunjukkan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Langkah-langkah tretmen tulangan bambu

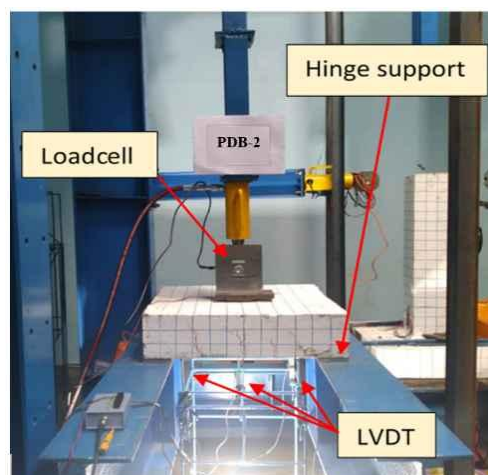
Benda uji pelat pondasi dibuat sebanyak empat buah, yang terdiri dari 3 buah pelat pondasi beton bertulang bambu (PDB), dan 1 buah pelat pondasi beton bertulang baja (PDS). Ukuran benda uji pelat pondasi dibuat 700 mm x 700 dengan tebal 150 mm. Pelat pondasi PDB menggunakan tulangan bambu dengan ukuran 15 mm x 15 mm, dengan variasi jarak tulangan (s) sebesar 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Sedangkan tulangan pelat pondasi PDS menggunakan baja diameter 10 mm dengan jarak tulangan 130 mm. Detail penulangan pelat pondasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail penulangan pelat pondasi (a) pelat pondasi beton bertulang bambu, (b) pelat pondasi beton bertulang baja

2.2. Pengaturan uji pondasi

Uji lentur pelat pondasi menggunakan dua metode pembacaan. Pembacaan pertama menggunakan metode load control dimana pembacaan berdasarkan tahapan pembebanan pelat pondasi. Metode kedua menggunakan metode displacement control, dimana pembacaan data uji berdasarkan lendutan yang terjadi setelah beban maksimum tercapai. Untuk load control menggunakan penambahan beban secara konstan dengan interval setiap 2 kN. Sementara displacement control dimulai setelah pelat mencapai beban maksimum dan mengalami penurunan kemampuan menahan beban. LVDT diletakkan di tengah bentang untuk merekam lendutan yang terjadi pada pelat. *Strain gauge* ditempel pada tulangan bambu dan beton untuk mengukur regangan yang terjadi. Regangan tulangan bambu dan beton dibaca melalui data logger. Tumpuan pelat berukuran 50 mm x 50 mm x 12 mm diletakkan pada keempat titik sudut pelat, sedangkan keempat sisi pelat dibiarkan bebas. Pengaturan Pembebanan dan pengujian pelat pondasi diperlihatkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Pengaturan benda uji pelat pondasi

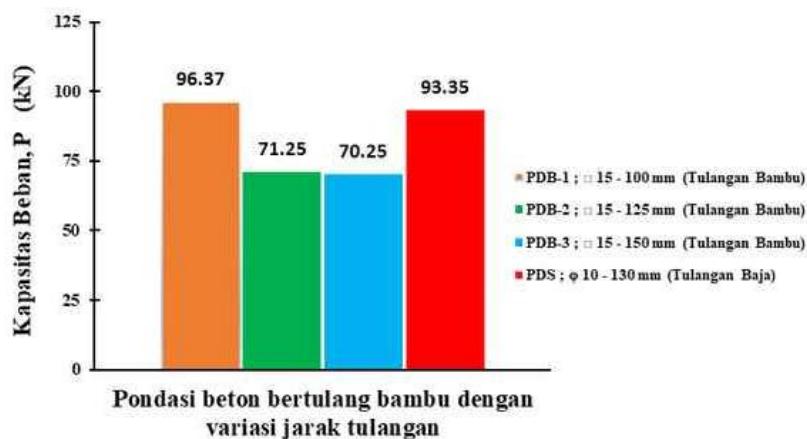
HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kapasitas pondasi

Tabel 2 dan Gambar 5 menunjukkan data hasil uji lentur pelat pondasi beton bertulang bambu (PDB) dan pelat pondasi beton bertulang baja (PDS) sebagai kontrol. Pondasi PDB-1 menggunakan tulangan bambu 15 x 15 mm² dengan jarak 100 mm melampaui kapasitas beban runtuh pondasi PDS menggunakan tulangan baja diameter 10 mm dengan jarak 130 mm. Dimana pondasi PDB-1 mempunyai nilai beban runtuh 96.30 kN dan pondasi PDS mempunyai nilai beban runtuh 93,35 kN. Pondasi PDB-2 dan PDB-3 mempunyai kapasitas beban runtuh hampir sama yaitu berturut-turut 71.25 kN dan 70.25 kN sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 5. Kontribusi jarak tulangan bambu terhadap kapasitas beban pondasi cukup besar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Sebagai pembanding dan control, kapasitas beban pelat pondasi PDB dihitung secara teoritis berdasar berdasarkan pada luas geser tulangan bambu (Ghavami, 2005; Javadian et al., 2016). Perbedaan hasil perhitungan kapasitas beban retak awal secara teoritis dengan eksperimen cukup kecil rata-rata 8%, sedangkan untuk kapasitas beban ultimate berbeda sekitar 25%. Hal ini disebabkan unsur ketidakpastian dari nilai sifat-sifat mekanik bambu pada batang bambu berbeda, seperti panjang ruas, node, umur, termasuk bagian pangkal dan ujung bambu. Kapasitas pondasi PDB menggunakan tulangan bambu 15x15 mm² dengan jarak tulangan 10 cm lebih tinggi 3.16% dibanding kapasitas pondasi PDS menggunakan tulangan baja diameter ϕ 10 mm dengan jarak 13 cm. Hal ini menunjukkan bahwa bambu cukup layak digunakan sebagai tulangan pelat pondasi rumah sederhana di pedesaan yang banyak bambu. Dengan catatan bambu yang digunakan harus ditreatment dengan baik dan benar. Tulangan bambu tanpa treatment tidak mempunyai pengaruh yang nyata.

Tabel 2. Data hasil uji lentur plat pondasi

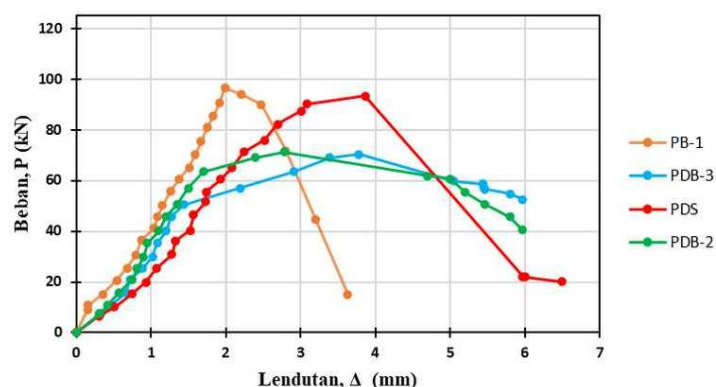
Pelat Pondasi	Perhitungan Teoritis		Hasil Eksperimen			Catatan
	Beban retak awal (kN)	Beban ultimit berdasarkan luas geser tulangan bambu (kN)	Beban retak awal (kN)	Beban ultimit (kN)	Defleksi maksimu m (mm)	
PDB-1	53.30	126.86	60.25	96.30	1.99	Retakan awal terjadi pada beban 60 kN. Retakan dimulai dari titik berat pondasi hingga ke 4 sisi tengah bentang dengan panjang retakan 5 cm.
PDB-2	53.06	126.19	55.75	71.25	2.78	Retakan awal terjadi pada beban 46 kN. Retakan dimulai dari pusat gravitasi pondasi dan menjalar ke arah keempat sisi bentang pondasi dengan panjang retakan 7-10 cm.
PDB-3	52.82	100.95	45.30	70.25	3.78	Retakan awal terjadi pada beban 45 kN. Retakan dimulai dari pusat gravitasi pondasi dan menjalar ke arah keempat sisi bentang pondasi dengan panjang retakan 10 cm.
PDS	52.11	220.32	60.10	93.35	3.86	Retakan awal terjadi pada beban 60 kN. Retakan dimulai dari pusat gravitasi pondasi dan menjalar ke keempat sisi bentang pondasi dengan panjang retakan rata-rata 7 cm.



Gambar 5. Hubungan kapasitas vs. variasi tulangan pondasi beton bertulang bambu

3.2. Kekakuan dan daktilitas

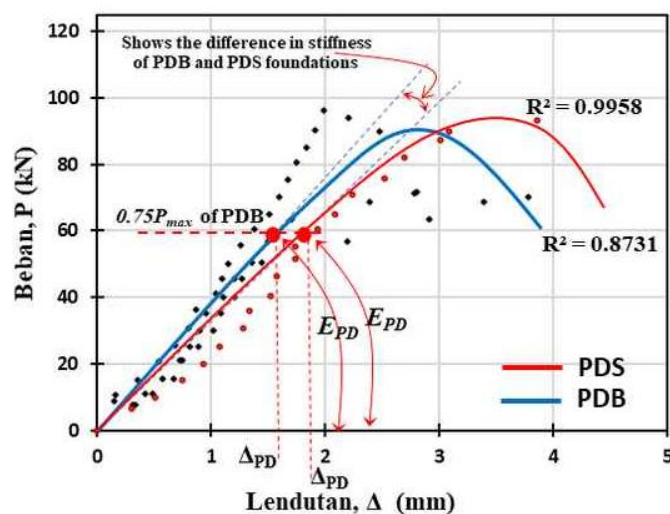
Gambar 6 menunjukkan hubungan beban vs. displasmen pondasi PDB dan pondasi PDS. Jika dilihat secara parsial terhadap masing-masing specimen pondasi menunjukkan perilaku linier antara kekakuan dengan jarak tulangan, semakin dekat jarak tulangan bambu semakin naik kekakuan pondasi PDB. **Gambar 6** menunjukkan kekakuan pondasi PDB terus naik seiring dengan dekatnya jarak tulangan, berturut-turut naik dari jarak 150 mm, 125 mm, dan 100 mm, masing-masing untuk pondasi PDB-3, PDB-2, dan PDB-1. Pondasi PDS sebagai control mempunyai kekakuan paling rendah, namun mempunyai kapasitas beban runtuh yang tinggi, melampaui pondasi PDB-2 dan pondasi PDB-3. Pondasi PDB-2 dan PDB-3 mempunyai kapasitas beban paling kecil namun mempunyai daktilitas yang bagus, hal ini sesuai dengan sifat elastis bambu yang tinggi. Jika dibanding dengan pondasi PDB-1 dengan jarak tulangan 100 mm, pondasi pondasi PDB-2 dan PDB-3 mempunyai selisih beban lebih rendah sekitar 25%, namun jika dilihat pada **Gambar 6** dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak tulangan pada pondasi PDB semakin turun daktilitasnya. Perilaku runtuh mendadak dan penurunan kemampuan secara dratis pasca beban maksimum pada pondasi PDB-1 dimungkinkan adanya energi terpusat pada titik node tulangan bambu pada saat penambahan beban sebelum beban maksimum tercapai sehingga terjadi konsentrasi tegangan dan keruntuhan tulangan bambu secara mendadak. Beberapa pendapat peneliti menyimpulkan bahwa titik node bambu merupakan bagian terlemah dalam menerima tegangan tarik (Cai et al., 2023; Chen and Luo, 2020; Harries, 2023; Kaiser et al., 2020).



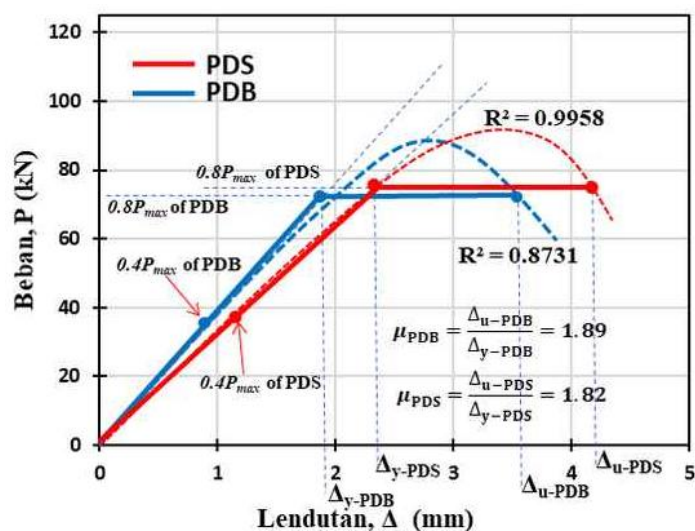
Gambar 6. Hubungan beban vs. defleksi pondasi

Jika kita analisis secara umum terhadap seluruh specimen pondasi PDB dan pondasi PDS sebagai kontrol, kekakuan dan daktilitas menunjukkan nilai kesamaan. [Gambar 7](#) menunjukkan kekakuan pelat pondasi PDB sedikit lebih tinggi dari pondasi PDS. Sebagai contoh mengukur kekakuan kedua pondasi dilakukan dengan mengambil garis horizontal pada nilai beban $0,75P_{max}$ pondasi PDB, dari pertemuan garis horizontal dengan garis persamaan hubungan beban vs. lendutan pondasi PDB dan PDS akan didapatkan nilai lendutan kedua pondasi tersebut, yaitu Δ_{PDB} dan Δ_{PDS} . Dari [Gambar 7](#) menunjukkan bahwa nilai Δ_{PDS} lebih besar dari nilai Δ_{PDB} , sehingga nilai kekakuan E_{PDS} lebih kecil dari kekakuan E_{PDB} .

Penentuan nilai daktilitas dan idialisasi kurva hubungan beban (P) vs. lendutan (Δ) pondasi PDB dan PDS berdasarkan ASTM E 2126-09 ([ASTM E 2126-09, 2009](#)). Idialisasi grafik hubungan beban dan lendutan ditunjukkan pada [Gambar 8](#). Penentuan lendutan saat titik leleh pertama Δ_y dan lendutan maksimum Δ_u dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut: (1) menarik garis linier dari titik koordinat P dan Δ sama dengan 0,0 ke titik $0,4P_{max}$; (2) menarik garis horizontal pada beban $0,8P_{max}$; (3) dari pertemuan garis linier langkah ke (1) dengan garis horizontal langkah (2) merupakan titik koordinat (Δ_y, P_y). Dari penentuan titik leleh pertama pada hubungan beban vs lendutan untuk pondasi PDB dan PDS didapatkan nilai Δ_{y-PDB} dan Δ_{y-PDS} . Begitu juga akan didapatkan nilai lendutan maksimum Δ_{u-PDB} dan Δ_{u-PDS} . Dari hasil analisis didapatkan nilai daktilitas pondasi PDB (μ_{PDB}) lebih besar sedikit dari daktilitas pondasi PDS (μ_{PDB}) dengan nilai sebesar 1,89 berbanding 1,82. Dari perhitungan dan analisis terhadap kinerja pondasi beton bertulang bambu dapat disimpulkan bahwa pondasi PDB cukup layak digunakan untuk rumah-rumah sederhana pedesaan.



Gambar 7. Kekakuan pelat pondasi PDB dan PDS



Gambar 8. Nilai daktilitas pondasi PDB dan PDS

KESIMPULAN

Setelah melakukan eksperimen dan analisa data dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Bambu petung dan bambu ori dapat digunakan sebagai bahan konstruksi ramah lingkungan dan berkelanjutan, khususnya sebagai tulangan elemen struktur beton rumah sederhana seperti pondasi.
2. Bambu untuk dapat digunakan sebagai tulangan pondasi rumah sederhana harus ditreatmen terlebih dahulu melalui perendaman dalam air, dikeringkan diudara bebas, dan diberi lapis kedap air dan pasir. Direkomendasikan bahwa spesies bambu yang cocok digunakan sebagai tulangan pelat pondasi adalah bambu petung (*Dendrocalamus Asper*) atau bambu ori (*Bambusa blumeana*).
3. Dari hasil ekeperimen menunjukkan bahwa pondasi PDB mempunyai kapasitas beban, kekakuan, daktilitas, dan pola keruntuhan hampir sama dengan dengan pondasi PDS sebagai kontrol. Bahkan

pondasi PDB-1 mempunyai kapasitas beban lebih tinggi sampai 3.16% dari kapasitas beban pondasi PDS.

UNGKAPAN

Terima kasih disampaikan kepada LPPM dan Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember yang telah memberikan pendanaan sepenuhnya pada penelitian ini.

REFERENSI

- Anto, A., Augustin, A., Ratheesh, R., Belarmin Xavier, C.S., (2023). Flexural behavior of the untreated plain bambu reinforced concrete beam under four-point loading. *Mater Today Proc.* <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.543>
- ASTM E 2126-09, (2009). *Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Vertical Elements of the Lateral Force Resist.*
- Bala, A., Gupta, S., (2023). Engineered bambu and bambu-reinforced concrete elements as sustainable building materials: A review. *Constr Build Mater* 394, 132116. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132116>
- Cai, X., Wang, M., Lu, Y., Noori, A., Chen, J., Chen, F., Chen, L., Jiang, X., Zhang, Q., (2023). Experimental study on the dynamic tensile failure of bambu. *Constr Build Mater* 392, 131886. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131886>
- Chen, G., Luo, H., (2020). Effects of node with discontinuous hierarchical fibers on the tensile fracture behaviors of natural bambu. *Sustainable Materials and Technologies* 26, e00228. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00228>
- Dey, A., Chetia, N., (2018). Experimental study of Bambu Reinforced Concrete beams having various frictional properties. *Mater Today Proc* 5, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.103>
- Ghavami, K., (2005). Bambu as reinforcement in structural concrete elements. *Cem Concr Compos* 27, 637–649. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002>
- Hao, J.-P., Cai, Z.-P., Kou, Y.-F., (2023). Effect of diagonal bambu strips on seismic behavior of sprayed composite mortar-original bambu composite walls: An experimental study. *Journal of Building Engineering* 79, 107829. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107829>
- Harries, K.A., (2023). Material characterisation of bambu for glued-laminated products. *Advances in Bambu Science* 3, 100023. <https://doi.org/10.1016/j.bambu.2023.100023>
- Javadian, A., Smith, I.F.C., Hebel, D.E., (2020a). Application of sustainable bambu-based composite reinforcement in structural-concrete beams: Design and evaluation. *Materials* 13, 1–26. <https://doi.org/10.3390/ma13030696>
- Javadian, A., Wielopolski, M., Smith, I.F.C., Hebel, D.E., (2016). Bond-behavior study of newly developed bambu-composite reinforcement in concrete. *Constr Build Mater* 122, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.084>
- Kantharuban, K., Mani, A., Krishnaiah, R.V., (2021). *A Comparative Performance Study on Bambu Reinforced Concrete Slab, Volatiles & Essent. Oils.*
- Liu, Y., Zhang, J., Xu, J., Wang, Y., Li, B., Zhang, S., (2023). Carbon emission-based life cycle assessment of rural residential buildings constructed with engineering bambu: A case study in China. *Journal of Building Engineering* 76, 107182. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107182>

- Mali, P.R., Datta, D., (2018). Experimental evaluation of bambu reinforced concrete slab panels. *Constr Build Mater* 188, 1092–1100. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.162>
- Muhtar, (2019). Experimental data from strengthening bambu reinforcement using adhesives and hose-clamps. *Data Brief* 27, 104827. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104827>
- Muhtar, (2020). Numerical validation data of tensile stress zones and crack zones in bambu reinforced concrete beams using the Fortran PowerStation 4.0 program. *Data Brief* 29. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105332>
- Muhtar, (2021). The measurement of the local slip in bambu-reinforced concrete beams using moment-curvature and bond-stress. *J Renew Mater* 9, 1631–1646. <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S2164632521000500>
- Muhtar, Dewi, S.M., Wisnumurti, Munawir, A., (2019). Enhancing bambu reinforcement using a hose-clamp to increase bond-stress and slip resistance. *Journal of Building Engineering* 26. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100896>
- Muhtar, Gunasti, A., (2023). Experimental evaluation of axial compression performance of precast panels from bambu-reinforced concrete. *Applications in Engineering Science* 16, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2023.100155>
- Muhtar, Gunasti, A., Manggala, A.S., (2024). Utilization of bambu for concrete columns in earthquake-resistant simple houses in Indonesia. *Case Studies in Construction Materials* 20, e02941. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02941>
- Prajodi Andaru, (2021). 8 Pohon Penghasil Oksigen Terbanyak Udara Jadi Makin Bersih [WWW Document]. *Jendela360*. URL <https://jendela360.com/info/pohon-penghasil-oksigen/> (accessed 27.08.2025).
- Puri, V., Chakraborty, P., Anand, S., Majumdar, S., (2017). Bambu reinforced prefabricated wall panels for low cost housing. *Journal of Building Engineering* 9, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.11.010>
- Qaiser, S., Hameed, A., Alyousef, R., Aslam, F., Alabduljabbar, H., (2020). Flexural strength improvement in bambu reinforced concrete beams subjected to pure bending. *Journal of Building Engineering* 31, 101289. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101289>
- Sae-Long, W., Chompoorat, T., Limkatanyu, S., Hansapinyo, C., Buakla, A., Sukontasukkul, P., Chaowana, P., Chaowana, K., Chub-Uppakarn, T., (2024). Investigation on the tensile strength of *Dendrocalamus sericeus*, *Phyllostachys makinoi*, and *Thyrsostachys oliveri* bambu: Experiment and simulations. *Case Studies in Construction Materials* 20, e03205. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03205>
- Subramaniam, S., M., V., (2015). Bambu Reinforced Concrete Slabs for Fence Walls. *J Sustain Dev* 8.
- Thangaraj, S., Madasamy, M., (2023). Performance of an Epoxy-Filler-Modified Bambu-Reinforced Concrete Slab. *Materiali in tehnologije* 57.
- UN Climate Change, (2023). UN Climate Change Conference - United Arab Emirates.
- Wu, Y., Liu, S., Li, Z., Xu, J., Xu, W., (2023). Experimental investigation on translaminal fracture behavior of cross-laminated bambu. *Constr Build Mater* 393, 132112. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132112>
- Xu, J.J., Xiong, W.W., Shan, B., Wen, J., Xiao, Y., (2022). Bending stiffness of bambu-concrete composite (BCC) beams under short-term loads. *Journal of Building Engineering* 60, 105170. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105170>
- Zhang, J., Xu, J., Wu, Y., Xie, T., Bo, L., Li, Z., (2023). Life cycle assessment of steel-glued laminated bambu (GluBam) hybrid truss in China. *Energy Build* 294, 113218. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113218>