

**Perkuatan Hubungan Balok-Kolom Interior Portal Beton Bertulang Bambu
Menggunakan Tulangan Baja**
*Strengthening of Beam-Column Connection in Bamboo Reinforced Concrete Portal Frame
Using Steel Reinforcement*

Indrian Dwi Jayanto¹⁾, Muhtar²⁾, Setiyo Ferdi Yanuar³⁾

¹Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Tekni, Universitas Muhammadiyah Jember
email: indrian590@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: muhtar@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: setiyo@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Hubungan balok-kolom merupakan elemen penting dalam struktur bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban secara efektif. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas beban lateral, daktilitas, dan kekakuan dari perkuatan pada hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu dengan tambahan tulangan baja. Metode yang digunakan meliputi pengujian eksperimental terhadap beberapa variasi perkuatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas beban lateral meningkat hingga lebih dari 30,86% dibandingkan dengan HBK tanpa perkuatan. Kapasitas beban lateral untuk TP INTERIOR adalah 111 kN. Sedangkan PK INTERIOR X5 mencapai 131,98 kN. Berbeda dengan PK INTERIOR X6 terjadi kegagalan pada kolom, sehingga kapasitas HBK tak dapat terdeteksi. Selain itu, daktilitas meningkat secara signifikan hingga lebih dari 75% dibandingkan dengan hubungan tanpa perkuatan. Nilai daktilitas TP INTERIOR adalah 4,00, sementara PK INTERIOR X5 dan PK INTERIOR X6 masing-masing memiliki daktilitas sebesar 5,00 dan 7,00. Peningkatan daktilitas ini menunjukkan bahwa penambahan perkuatan memberikan efek yang positif terhadap ketahanan deformasi struktur sebelum mengalami kegagalan. Berdasarkan segi kekakuan, hubungan balok-kolom dengan perkuatan tulangan baja menunjukkan nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan hubungan tanpa perkuatan, yang ditunjukkan melalui sudut kemiringan hasil pengujian.

Kata Kunci: Interior; Perkuatan; Portal Beton; Tulangan Baja; Tulangan Bambu.

Abstract

The beam-column connection is a crucial element in building structures, functioning to effectively transfer loads. This study was conducted to determine the lateral load capacity, ductility, and stiffness of the reinforcement in interior beam-column connections of bamboo reinforced concrete portal frames with additional steel reinforcement. The method used includes experimental testing of several reinforcement variations. The test results show that the lateral load capacity increased by more than 30.86% compared to the unreinforced beam-column connection (HBK). The lateral load capacity for TP INTERIOR is 111 kN, while PK INTERIOR X5 reached 131.98 kN. In PK INTERIOR X6, column failure occurred, so the HBK capacity could not be detected. Additionally, ductility increased significantly by more than 75% compared to the unreinforced connection. The ductility value for TP INTERIOR is 4.00, while PK INTERIOR X5 and PK INTERIOR X6 have ductility values of 5.00 and 7.00, respectively. This increase in ductility indicates that the additional reinforcement has a positive effect on the structure's deformation resistance before failure occurs. In terms of stiffness, the beam-column connection with steel reinforcement shows higher stiffness values compared to the unreinforced connection, as indicated by the test results' slope angle.

Keywords: Interior; Reinforcement; Concrete Portal; Steel reinforcement; Bamboo reinforcement.

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan bertingkat tinggi, penggunaan baja sebagai tulangan beton masih belum tergantikan. Namun untuk bangunan sederhana terdapat beberapa material yang telah digunakan, diantaranya adalah bambu. Bambu umumnya digunakan sebagai struktur bangunan tradisional maupun jembatan, akan tetapi banyak peneliti telah mencoba menerapkan bambu sebagai tulangan dalam beton guna menggantikan kuat tarik beton yang bisa disebut struktur beton bertulang bambu (Wedyantadji dan Aditama, 2023).

Suatu bangunan gedung terdapat beberapa komponen penting guna menunjang kekokohan suatu struktur bangunan gedung, adapun beberapa komponen tersebut adalah balok, kolom, shear wall, dan hubungan balok-kolom (HBK). Pada struktur rangka beton bertulang daerah hubungan balok-kolom merupakan daerah kritis yang harus didesain secara khusus (Yudha, 2021). Daerah hubungan balok-kolom akan mengalami gaya geser horizontal dan vertikal yang besar, hal ini disebabkan oleh momen kolom diatas, dan momen kolom dibawahnya, serta momen dari balok pada saat memikul beban gempa. Perancangan hubungan balok-kolom dirancang mampu menahan beban lateral yang ditimbulkan dari gempa, disaat kapasitas beban dari sambungan balok-kolom tidak sanggup menahan beban lateral maka sambungan balok-kolom menjadi rusak dan juga akan sukar untuk diperbaiki. Berdasarkan hal tersebut maka saya akan meneliti suatu inovasi yakni perkuatan daerah sambungan balok-kolom beton bertulang bambu menggunakan tulangan baja. Dimana objek penelitian kali ini ialah konstruksi beton bertulang bambu yang dibuat menjadi hubungan balok-kolom, yang nanti akan diberikan perkuatan menggunakan tulangan baja pada daerah sambungannya.

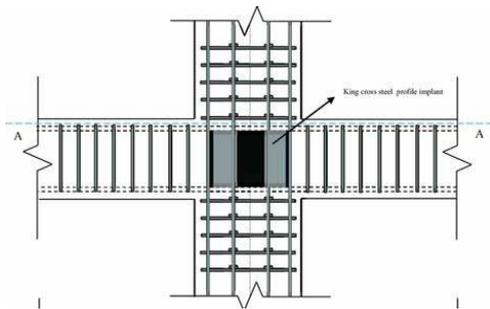
Berdasarkan penjelasan di atas maka kita akan meneliti bagaimana kapasitas beban lateral, daktilitas, hingga kekakuan dari hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu sebelum dan setelah adanya penambahan perkuatan menggunakan tulangan baja. Batasan masalah Penelitian ini hanya membahas kapasitas beban lateral, daktilitas,

dan kekakuan dari hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu menggunakan perkuatan tulangan baja. Selain itu penelitian ini dilakukan dilaboratorium serta penelitian ini hanya membahas 2 variasi perkuatan yaitu menggunakan perkuatan tulangan baja $\varnothing 5$ mm dan $\varnothing 6$ mm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas beban lateral, daktilitas, dan kekakuan dari hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu menggunakan perkuatan tulangan baja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Hubungan Balok-Kolom

Balok dan kolom menjadi satu kesatuan yang kokoh dan sering disebut sebagai kerangka (portal) dari suatu gedung. Portal merupakan kerangka utama dari struktur bangunan, khususnya bangunan gedung. Portal digambarkan dalam bentuk garis-garis horizontal disebut: balok dan vertikal disebut: kolom yang saling bertemu/berpotongan pada titik buhul (*joint*). Irawan et al., (2024) menjelaskan, integritas menyeluruh Sistem Rangka Pemikul Momen sangat tergantung pada hubungan balok dan kolom. Penurunan pada hubungan balok dan kolom akan menghasilkan deformasi lateral besar yang dapat menyebabkan kerusakan berlebihan hingga keruntuhan. Beberapa ketentuan dalam perencanaan hubungan balok-kolom dijelaskan dalam pasal 23.5 SNI 03-2847-2002 sebagai berikut: (1) gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka hubungan balok-kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah 1,25 kali tegangan leleh tulangan ($1,25 \times f_y$); (2) kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar 0,8; (3) apabila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal, dan tidak kurang dari 26 kali diameter tulangan longitudinal untuk beton ringan. Adapun penggambaran pertemuan balok dan kolom interior dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Hubungan Balok-Kolom Interior
Sumber: Researchgate, 2014.

B. Kriteria Desain Hubungan Balok-Kolom Interior

a. Kriteria desain

Kriteria desain yang disarankan dalam perencanaan sambungan balok kolom pada struktur rangka beton bertulang di daerah rawan gempa sebagai berikut:

- Kekuatan join tidak boleh kurang dari kekuatan maksimum yang diperlukan agar terjadi mekanisme sendi plastis pada frame. Hal ini dapat mengeliminasi keperluan perbaikan pada bagian yang sulit dijangkau serta dapat menjamin terjadinya disipasi energi oleh mekanisme join, yang akan mengalami degradasi (penurunan) kekakuan dan kekuatan akibat beban siklik inelastik.
- Kapasitas kolom tidak boleh terpengaruh oleh penurunan kekakuan pada join. Join harus berperilaku sebagai bagian integral kolom.
- Selama terjadi gempa sedang, join diharapkan berperilaku elastis.
- Deformasi pada join tidak boleh mempengaruhi story drift secara signifikan.

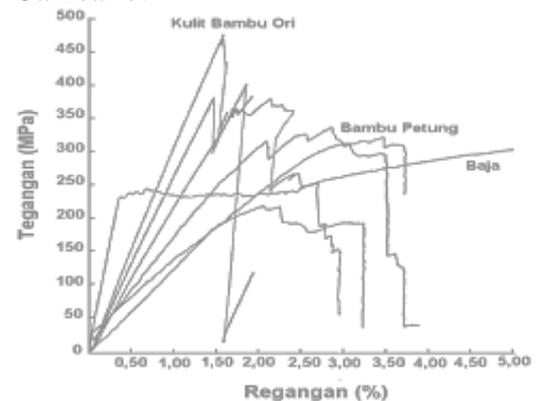
C. Bambu Petung

Bambu merupakan bahan bangunan yang sangat berpotensi untuk dikembangkan penggunaannya pada konstruksi bangunan. Berdasarkan segi ekonomi bambu sangat menguntungkan karena harganya yang murah dan mudah di dapat sedangkan jika dilihat dari segi konstruksi bambu memiliki kekuatan yang cukup baik (Muhtar, 2024). Bambu petung dapat dijumpai didaerah dataran rendah hingga dataran tinggi. Contoh bambu petung dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Bambu Petung
Sumber: Ebed, 2016.

Kuat tarik bambu petung tanpa buku dan dengan buku masing-masing adalah 1900 kg/cm² dan 1160 kg/cm², sedangkan berdasarkan posisinya bambu petung memiliki kuat tarik sebesar 2278 kg/cm² (pangkal), 1770 kg/cm² (tengah), dan 2080 kg/cm² (ujung) (Condorelli et al., 1999). Morisco (1999) melakukan pengujian kuat tarik Bambu Ori (Bambusa Blumeana), Bambu petung (Dendrocalamus asper Back.), dan jenis bambu lainnya terhadap kuat tarik baja tulangan. Hasil yang didapatkan adalah kuat tarik bambu Ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, atau sekitar dua kali tegangan luluh baja. Hasil pengujian kuat tarik rata-rata bambu petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja, yaitu dapat mencapai 300 MPa. Perbedaan tegangan-regangan bambu dengan baja dapat dilihat pada **Gambar 3**.

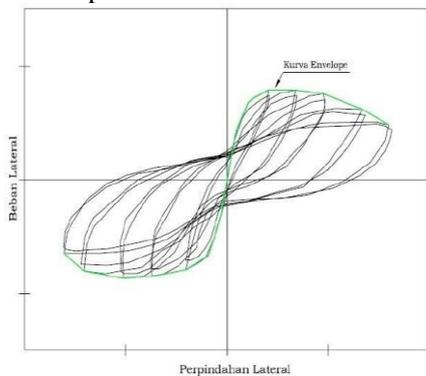


Gambar 3. Grafik Tegangan Regangan Bambu dan Baja
Sumber: Morisco, 1999.

D. Beban Siklik

Beban siklik atau cyclic load ialah suatu pembebanan berulang pada suatu bagian, yang terkadang dapat mengakibatkan fraktur kelelahan (fatigue). Menurut Pawlak (2022),

beban siklik yang terus menerus mengakibatkan terjadinya penurunan kapasitas daya tekan batang. Oleh sebab itu, keruntuhan yang terjadi pada suatu struktur akibat beban siklik dikarenakan terjadinya kegagalan *fatigue*, yakni terjadi ketika beton pecah karena mengalami beban berulang. Menurut wijaya pengetesan struktur terhadap beban siklik memberi hasil kurva histerik. Pada kurva histerik dapat diketahui kapasitas struktur yang terjadi akibat beban siklik seperti: kapasitas kekuatan tinggi, kekakuan, energi disipasi dan daktilitas. Perlakuan struktur terhadap beban siklik dapat dilihat pada **Gambar 4**.

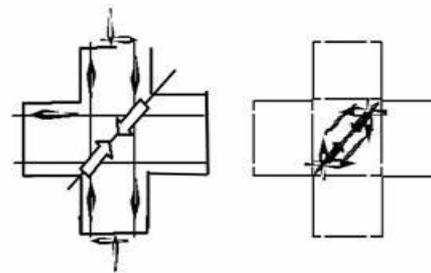


Gambar 4. Kurva Histerik Perilaku Struktur Terhadap Beban Siklik
 Sumber: 123dok, 2021.

E. Hubungan Beban Geser Horizontal dan Perpindahan

Hubungan antara beban horizontal dan perpindahan sangat penting dalam memahami perilaku bangunan dibawah beban lateral, seperti yang disebabkan oleh gempa bumi. Dalam analisis struktur, beban geser horizontal digunakan untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan gaya-gaya lateral dan untuk menentukan perpindahan struktur yang terjadi akibat gempa. Beban ini digunakan dalam analisis struktur untuk mengetahui efek gaya-gaya lateral pada struktur dan untuk menentukan perluasan yang terjadi akibat gempa bumi. Dalam desain struktur, beban geser horizontal digunakan untuk menentukan ukuran dan bentuk struktur yang sesuai dengan kebutuhan, serta untuk menentukan jumlah tulangan yang diperlukan untuk menahan gaya-gaya lateral. Tulangan ini dapat berupa tulangan geser, tulangan lentur, atau tulangan rotasi,

tergantung pada jenis struktur dan gaya-gaya yang diterapkan.



a.gaya-gaya pada joint b. crack pada joint

Gambar 5. Contoh Pola Retak akibat Beban Geser Horizontal
 Sumber: 123dok, 2017.

Gambar 5. merupakan contoh pola retak akibat beban geser horizontal. Pola retak beban geser horizontal dapat dipengaruhi oleh variasi letak tulangan horizontal, jarak antar tulangan dan gaya-gaya lateral yang diterapkan. Dalam sintesis, pola retak beban geser horizontal pada dinding geser dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu retak geser, retak punter dan retak lekatan.

F. Kekakuan

Nilai kekakuan, menurut Gere dan Timoshenko (1985), adalah kemiringan garis hubungan antara hubungan lendutan dan beban. Kekakuan ditentukan oleh kemiringan garis yang menghubungkan puncak beban maksimum positif dan negative dari kurva hubungan beban dan lendutan dalam siklus yang sama.

G. Daktilitas

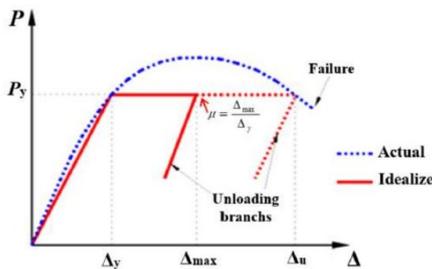
Daktilitas merupakan suatu kemampuan struktur untuk mengalami lendutan yang besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum mengalami keruntuhan (park & paulay, 1975). Pada **Gambar 6** adalah contoh kurva actual dan ideal suatu daktilitas dari respons structural. Untuk mengetahui nilai daktilitas menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

Dimana : μ = rasio daktilitas

Δ_u = defleksi lateral maksimum

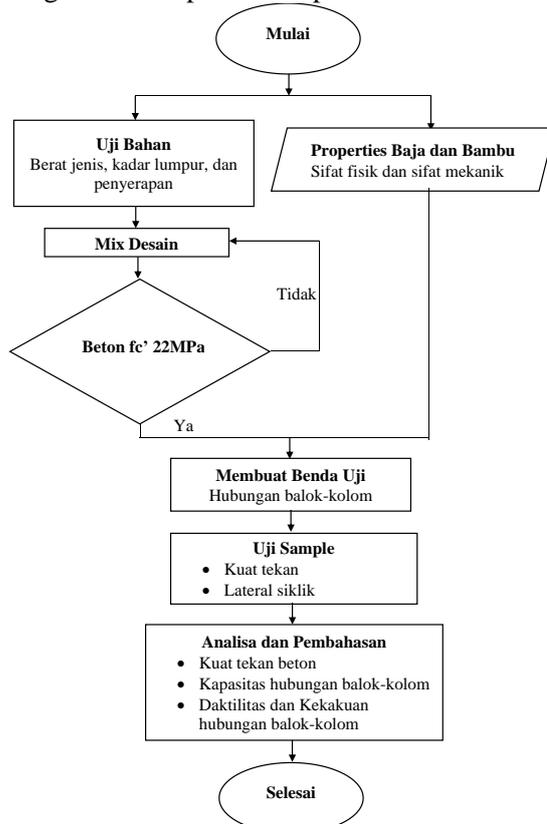
Δ_y = defleksi lateral saat leleh



Gambar 6. Kurva Actual dan Ideal dari *Respons Structural*
 Sumber: Muhtar, 2024.

3. METODE PENELITIAN

Suatu metodologi/diagram alir dibutuhkan agar penelitian tentang kekuatan hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu menggunakan tulangan baja berjalan sesuai dengan harapan. Metode yang digunakan oleh peneliti adalah pengujian eksperimental terhadap beberapa variasi kekuatan. Adapun tahapan penelitian secara sistematis dalam diagram alir dapat dilihat pada **Gambar 7**.

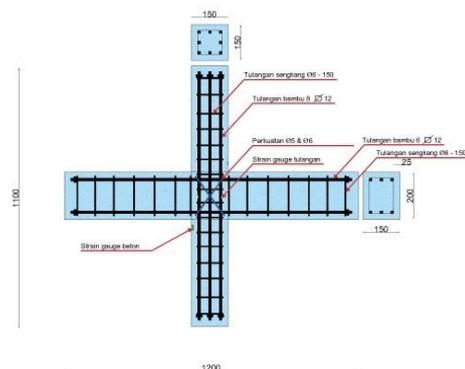


Gambar 7. Diagram Alir Penelitian
 Sumber: Data Penelitian, 2024.

Alur penelitian ini dimulai dari mencari referensi dengan membaca jurnal-jurnal yang berkaitan. Selanjutnya merancang penelitian dengan diiringi pengujian bahan yang akan dipakai dalam penelitian ini. Lalu peneliti membuat benda uji sesuai rancangan dan uji bahan yang sudah di analisis menggunakan mix desain. Diantukan dengan pengujian dan analisis hasil pengujian, maka akan mendapatkan kesimpulan untuk hasil penelitian ini dan saran untuk penelitian selanjutnya.

A. Rancangan Penelitian

Benda uji terdiri dari 3 benda uji hubungan balok-kolom yang mempunyai dimensi kolom 1100 mm x 150 mm x 150 mm dan dimensi balok 1200 mm x 200 mm x 150 mm. Benda uji terdiri dari tulangan bambu dimensi 12 x 12 mm pada tulangan utama dan tulangan baja Ø6 mm pada tulangan sengkang serta tambahan kekuatan tulangan baja. Tulangan kekuatan berbentuk (x) menyilangi sambungan dan memiliki 2 variasi yaitu dari besi Ø5 mm dan besi Ø6 mm. Benda uji memiliki tebal selimut 25 mm dengan jarak sengkang 150 mm. Mutu beton yang dipakai dengan f_c' 20-25 MPa, kuat tarik baja (f_y) besi tulangan Ø6 mm = 200-240 MPa, besi tulangan Ø5 mm = 200-240 MPa, kuat tarik sengkang (t_s) besi tulangan Ø6 mm = 240 MPa, kuat tarik bambu (f_t) 170-204 MPa. Rancangan benda uji penelitian dapat dilihat pada **Gambar 8**.



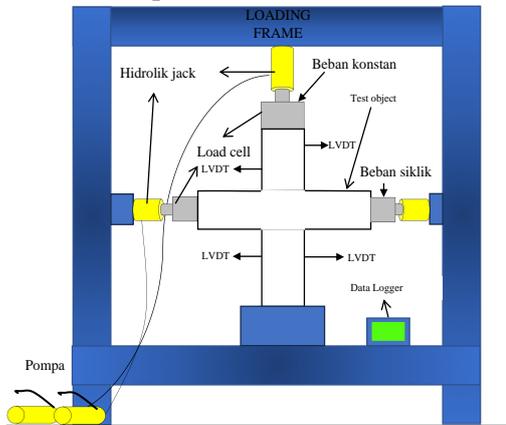
Gambar 8. Detail Geometri dan Tulangan
 Sumber: Data Penelitian, 2024.

Rancangan penelitian diatas akan dijadikan sebagai acuan peneliti dalam membuat benda uji dan analisa hasil penelitian. Dimana peneliti membuat sesuai referensi yang telah dikumpulkan. Peneliti juga membuat rancangan penelitian ini dengan maksud memudahkan

peneliti selanjutnya dalam merancang penelitian selanjutnya.

B. Set-up Pengujian

Pada pengujian hubungan balok-kolom ini pembebanan dilakukan menggunakan dua jenis beban yakni beban tekan konstan dan siklik, pada pengujian terdapat titik beban konstan yang berada pada bagian kolom dan titik beban siklik terdapat pada bagian baloknya. Pengujian ini menggunakan beberapa alat yakni alat pengukur regangan (strain gauge) yang terpasang pada tulangan bambu yang terdapat pada bagian tengah hubungan balok-kolom dan di permukaan beton area hubungan balok-kolom sesuai pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Set-up Pengujian
 Sumber: Data Penelitian, 2024.

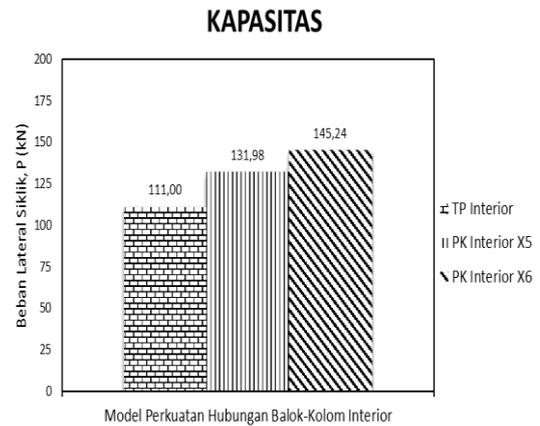
Pengujian beban tekan konstan dan siklik ini menggunakan dongkrak hidrolik yang diukur menggunakan load cell (pengukur beban). LVDT digunakan untuk mengukur defleksi yang terjadi pada benda uji. Dan seluruh data pengujian akan direkam oleh data logger. Pola retak diamati untuk mengetahui jenis penyebab keruntuhan yang terjadi menggunakan crack detector microscope.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kapasitas Hubungan Balok-Kolom Interior

Penelitian tentang perilaku keruntuhan hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu pada rumah sederhana, terutama akibat beban siklik atau beban gempa. Hal ini sangatlah penting karena dampak kegagalan sambungan balok-kolom begitu signifikan terhadap elemen struktur lainnya.

Perbedaan besarnya kapasitas beban lateral dapat dilihat pada **Gambar 10**, dimana HBK tanpa perkuatan (TP interior) memiliki kapasitas beban lateral lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas HBK yang menggunakan perkuatan (PK Interior X5 & X6).



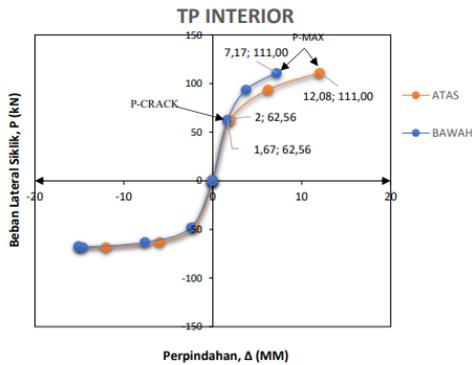
Gambar 10. Grafik Perbedaan Kapasitas akibat Beban Lateral Siklik
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar diatas menunjukkan pengaruh dari perkuatan menggunakan tulangan baja berbentuk (X) mendapatkan kenaikan nilai kapasitas hingga lebih dari 30,86%. Hal ini disebabkan karna pengaruh dari baja tulangan yang terikat pada area sambungan balok-kolom ikut menahan beban yang tersalurkan. Namun pada benda uji PK INTERIOR X6 kolom mengalami keruntuhan lebih awal dari HBK yang mengakibatkan kapasitas HBK tidak dapat terbaca. Hal ini dapat disimpulkan bahwasanya kapasitas HBK pada benda uji TP INTERIOR sebesar 111 kN, pada benda uji PK INTERIOR X5 mengalami kenaikan sebesar 18,89% yakni menjadi 131,98 kN, lalu untuk kapasitas pada benda uji PK INTERIOR X6 kapasitas HBK mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu lebih dari 30,86% atau lebih dari 145,24 kN, dimana kolom mengalami keruntuhan sehingga kapasitas HBK tidak dapat terdeteksi.

B. Hubungan P-Δ

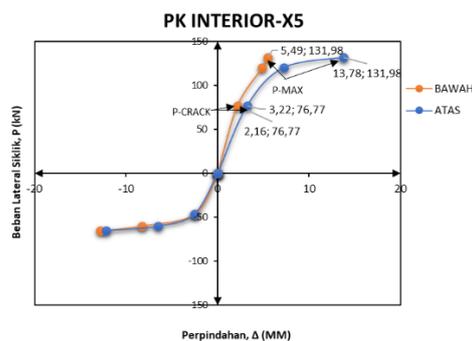
Hubungan P-Delta adalah konsep dalam analisis struktural yang menjelaskan interaksi antara beban lateral siklik (P) dan perpindahan (Δ) pada struktur bangunan. Hubungan ini penting dalam mendesain struktur yang stabil dan aman. Untuk grafik hubungan P-Delta dapat

dilihat pada **Gambar 11** sampai **Gambar 13** dibawah:



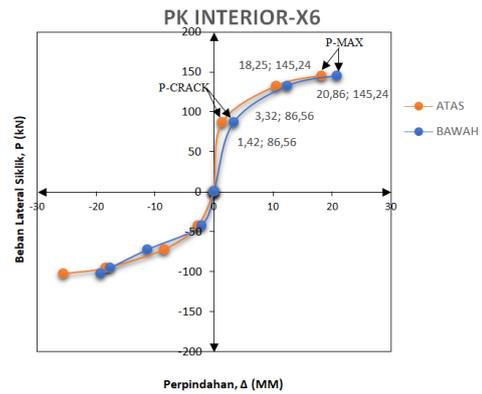
Gambar 11. Grafik Hubungan P-Δ pada Benda Uji TP Interior
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 11 menunjukkan bahwa pada benda uji TP interior untuk retak awal terjadi pada beban 62,56 kN dengan perpindahan 2 mm pada sisi bagian atas kolom dan 1,67 mm pada sisi bagian bawah kolom. Sedangkan beban maksimal pada benda uji TP interior berada pada beban 111,00 kN dengan perpindahan 12,08 mm pada bagian sisi atas kolom dan 7,17 mm pada bagian sisi bawah kolom.



Gambar 12. Grafik Hubungan P-Δ pada Benda Uji PK Interior X5
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 12 menunjukkan bahwa pada benda uji PK interior X5 untuk retak awal terjadi pada beban 76,77 kN dengan perpindahan 3,22 mm pada bagian sisi atas kolom dan 2,16 mm pada bagian sisi bawah kolom. Hal ini menunjukkan kenaikan P-crack dari TP INTERIOR sebesar 22,7%. Sedangkan beban maksimal pada benda uji PK interior X5 berada pada beban 131,98 kN dengan perpindahan 13,78 mm pada bagian sisi atas kolom dan 5,49 mm pada bagian sisi bawah kolom.



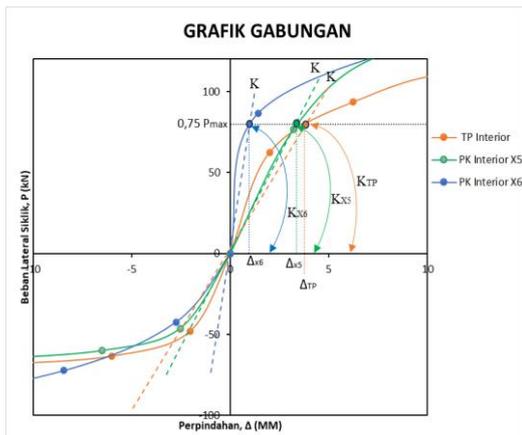
Gambar 13. Grafik Hubungan P-Δ pada Benda Uji PK Interior X6
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 13 menunjukkan bahwa pada benda uji PK interior X6 untuk retak awal terjadi pada beban 86,56 kN dengan perpindahan 1,42 mm pada bagian sisi atas kolom dan 3,32 mm pada bagian sisi bawah kolom. Hal ini menunjukkan kenaikan P-crack dari TP INTERIOR sebesar 38,4%. Sedangkan beban maksimal pada benda uji PK interior X6 berada pada beban 145,24 kN dengan perpindahan 18,25 mm pada bagian sisi atas kolom dan 20,86 mm pada bagian sisi bawah kolom.

Dari data analisis hubungan P-Δ diatas, didapatkan beban dan perpindahan pada benda uji saat beban siklik horizontal dari kanan dan dari kiri. Kapasitas beban horizontal siklik dari kanan menunjukkan beban dan perpindahan yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh penurunan energi kolom pasca beban horizontal dari kanan.

C. Kekakuan

Kekakuan adalah kemampuan untuk menahan perpindahan lateral dan deformasi akibat beban yang bekerja. Kekakuan dapat ditentukan dari kurva hubungan beban dan perpindahan. Nilai perbedaan kekakuan dari seluruh variasi hubungan balok kolom interior diambil dari perpotongan titik pertemuan antara garis linier yang diambil dari 0,0 hingga 0,75Pmax sehingga didapatkan nilai Δ_y dengan beban lateral 80 kN sebagai acuan sudut horizontal masing-masing sample.



Gambar 14 Grafik Gabungan Kekakuan
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 14 grafik gabungan, terdapat perbedaan kekakuan yang dipengaruhi oleh penambahan perkuatan, Dimana pada benda uji tanpa perkuatan memiliki nilai kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan benda uji yang memiliki perkuatan.

D. Daktilitas

Daktilitas ditentukan dari kurva hubungan beban lateral dengan lendutan berdasarkan ASTM E 2126-09. Daktilitas merupakan rasio perbandingan antara lendutan maksimum dengan lendutan saat leleh awal, lendutan maksimum Δ_u didapat dari titik perpotongan antara pertemuan garis horizontal $0,8P_{max}$ dengan kurva masing-masing benda uji, sedangkan lendutan saat leleh awal Δ_y didapat dari titik pertemuan antara garis linier yang diambil dari 0,0 sampai 0,75 P_{max} dengan perpotongan 0,8 P_{max} .

Tabel 1. Analisis Nilai Daktilitas

No	Kode Benda Uji	Δ_u	Δ_y	Ductility
1	TP INTERIOR	20	5	4,00
2	PK INTERIOR X5	25	5	5,00
3	PK INTERIOR X6	21	3	7,00

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Perhitungan daktilitas melalui kurva hubungan antara beban lateral dan perpindahan ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Gambar 15**. Dari hasil perhitungan daktilitas dari benda uji dengan kode TP INTERIOR sebesar 4,00 untuk benda uji dengan kode PK INTERIOR X5 sebesar 5,00 sedangkan benda uji dengan kode PK INTERIOR X6 sebesar 7,00.

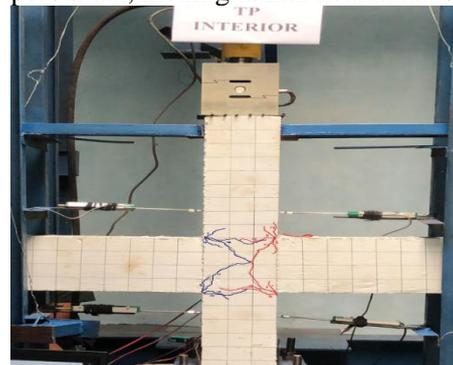


Gambar 15. Grafik Gabungan Daktilitas
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Hasil analisis parsial pada masing-masing benda uji untuk benda uji dengan tambahan perkuatan menunjukkan peningkatan daktilitas pada benda uji dengan perkuatan, terutama pada benda uji yang memiliki diameter tulangan lebih besar dengan peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan perkuatan berpengaruh terhadap peningkatan daktilitas sambungan dan semakin besar diameter tulangan perkuatan maka daktilitas akan semakin tinggi.

E. Pola Retak Dan Keruntuhan

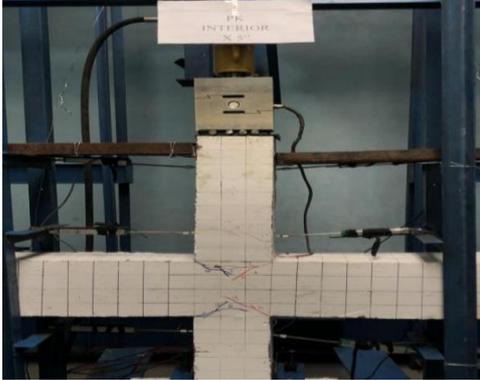
Pola retak adalah distribusi dan karakteristik retak pada struktur bangunan yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti beban, tekanan, korosi, atau kerusakan. Pola retak dapat membantu dalam mengidentifikasi penyebab kerusakan, menentukan tingkat keparahan kerusakan, mengembangkan strategi perbaikan, meningkatkan keamanan struktur.



Gambar 16. Pola Retak TP INTERIOR
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 16 menunjukkan pola retak hubungan balok-kolom TP INTERIOR. Pada benda uji TP INTERIOR retak awal terjadi dibagian sisi pojok sambungan sebelah kiri sisi atas kolom pada beban 62,56 kN, retakan diawali dengan retak tarik akibat beban horizontal sebelah kanan. Pada beban 93 kN

retakan menyebar dan timbul retakan baru hingga terjadinya indikasi tulangan patah, selanjutnya benda uji mengalami pelebaran retak pada beban hingga beban maksimum pada benda uji sebesar 111 kN dan benda uji mengalami keruntuhan.



Gambar 17. Pola Retak PK INTERIOR X5
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 17 menunjukkan pola retak hubungan balok-kolom PK INTERIOR X5. Pada benda uji PK INTERIOR X5 mengalami retakan awal dibagian sisi atas sambungan kolom pada beban 76,77 kN dengan jumlah 4 retakan yang menyebar dibagian sisi atas hingga sisi samping sambungan, selanjutnya pada beban 125 kN retakan baru muncul disekeliling area sambungan sejumlah 11 retakan menyilang dari pojok ke pojok, sehingga pada beban 132 kN benda uji menemui titik maksimumnya dengan jumlah retakan keseluruhan 22 retakan.



Gambar 18. Pola Retak PK INTERIOR X6
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 18 menunjukkan pola retak hubungan balok-kolom PK INTERIOR X6. Pada benda uji PK INTERIOR X6 dimana retak awal dapat dilihat pada beban 86,56 kN dengan

jumlah 5 retakan, lalu pada beban 130 kN terdeteksi 12 retakan akibat beban horizontal kanan dan 10 retakan akibat beban horizontal dari kiri, dilanjutkan pelebaran retak hingga benda uji mengalami keruntuhan pada kolom sisi atas dengan beban 145,24 kN yang mengakibatkan retakan pada area HBK tidak dapat terdeteksi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kapasitas beban lateral hubungan balok-kolom interior portal beton bertulang bambu menggunakan perkuatan tulangan baja memiliki kapasitas lebih besar hingga lebih dari 30,86% dibandingkan dengan hubungan balok-kolom tanpa perkuatan. Hubungan balok-kolom tanpa perkuatan mempunyai kapasitas 111 kN. Sedangkan untuk hubungan balok-kolom dengan perkuatan besi 5 mm memiliki kapasitas 131,98 kN. Kemudian untuk hubungan balok-kolom dengan perkuatan besi 6 mm mengalami keruntuhan pada kolom akibat beban yang diberikan melebihi kapasitas kolom sehingga kapasitas HBK pada benda uji ini tidak dapat terdeteksi. Daktilitas hubungan balok-kolom interior dengan perkuatan tulangan baja memiliki daktilitas lebih besar hingga 75% dibandingkan dengan hubungan balok-kolom interior tanpa perkuatan. Daktilitas hubungan balok-kolom tanpa perkuatan memiliki daktilitas 4,00, sedangkan untuk hubungan balok-kolom dengan perkuatan besi 5 mm memiliki daktilitas 5,00, kemudian untuk hubungan balok-kolom dengan perkuatan besi 6 mm memiliki daktilitas 7,00. Kekakuan hubungan balok-kolom interior dengan perkuatan tulangan baja menunjukkan kekakuan yang lebih tinggi dari pada hubungan balok-kolom interior tanpa perkuatan. Dimana, sudut kemiringan dari benda uji dengan penambahan perkuatan memiliki sudut lebih besar dibandingkan dengan benda uji tanpa perkuatan. Berdasarkan analisis kapasitas beban lateral, daktilitas, dan kekakuan terdapat peningkatan secara terus-menerus, sehingga dapat disimpulkan peningkatan terjadi karena pengaruh dari penambahan perkuatan pada area sambungan.

B. Saran

Penelitian selanjutnya sebaiknya fokus pada pengembangan metode kekuatan lainnya, seperti penggunaan material komposit atau teknologi baru dalam kekuatan hubungan balok-kolom. Selain metode, penting untuk mengeksplorasi berbagai variasi kekuatan, seperti kekuatan eksternal, internal, atau kombinasi keduanya. Penelitian ini dapat mencakup analisis biaya serta manfaat dari setiap variasi. Disarankan untuk melakukan studi kasus yang lebih mendalam mengenai pengaplikasian kekuatan hubungan balok-kolom pada struktur portal. Hal ini akan membantu dalam memahami tantangan dan solusi spesifik yang dihadapi dalam aplikasi nyata.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Budi, A.S., dan Sugiarto. 2013. *Model Balok Beton Bertulangan Bambu Sebagai Pengganti Tulangan Baja*. Edisi 7. Konferensi Nasional Teknik Sipil. Surakarta.
- Gunasti, A., Muhtar, M., dan Sanosra, A. 2023. Pelatihan Me-Retrofit Rumah Sederhana dengan Teknologi Ferosemen Bagi Tukang Bangunan di Kabupaten Jember. *Jurnal Abdi Insani*. 10 (3): 1902-1912.
- Lesmana, Y. 2021. *Handbook Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang (SRPMB, SRPMM, SRPMK) Berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019*. Nas Media Pustaka (IKAPI). Makassar.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Muhtar. 2024. The Use of a Bamboo Reinforced Concrete Foundation for a Simple Environmentally Friendly House in Indonesia. *Advances in Bamboo Science*. 6 (4): 1391-2773. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.10.0056>.
- Muhtar., Gunasti, A., dan Manggala, A. S. 2024. Utilization of Bamboo for Concrete Columns in Earthquake-Resistant Simple Houses in Indonesia. *Case Studies in Construction Materials*. 20 (4): 2214-5095. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02941>.
- Muhtar., Gunasti, A., Manggala, A. S., dan N, Ardi, F.P. 2020. Jembatan Pracetak Beton Bertulang Bambu Untuk Meningkatkan Roda Perekonomian Masyarakat Desa Sukogidri Ledokombo Jember. *Jurnal Pengabdian Masyarakat IPTEKS*. 6 (2): 161-170.
- Muhtar., Hanafi, H., Umarie, I., dan Gunasti, A. 2023. PKM Tukang Bangunan Desa Sukogidri Melalui Teknik Penulangan Struktur Rangka Beton Bertulang Bambu. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*. 7 (3): 1900.
- Nawy, E.G. 1996. *Reinforced Concrete: Fundamental Approach*. 3 rd Edition. Prentice – Hall Inc.
- Nugroho, R.F., Gunasti, A., dan Yanuar, S.F. 2024. Identifikasi dan Analisa Awal Keterlambatan Progres Sampai Dengan Puncak Deviasi Progres Dalam Proyek Menggunakan Fault Tree Analysis Dan Failure Mode And Effect Analysis (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Sidodadi – Sumberrejo). *Jurnal Smart Teknologi*. 6 (1): 10-16.
- Park, R. and Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. 10 rd Edition. John Wiley & Sons. New Zealand.
- Pawlak, A. M., Górný, T., Dopierała, Ł., dan Paczos, P. 2022. The Use of CFRP for Structural Reinforcement—Literature Review. *Metals*. 12 (9): 1470. <https://doi.org/10.3390/met12091470>
- Putri, P Y. 2003. *Analisis Perilaku Join Interior Balok UShell-Kolom Pracetak di Bawah Beban Siklis*. Tesis Magister Jurusan Teknik Sipil ITB.
- Syukriati, R. 2022. Studi Eksperimental Perbandingan Perilaku Lentur Komposit Beton-Baja Ringan Dengan Beton-Bertulang Pada Pelat Satu Arah. Tesis. Universitas Andalas.
- Wedyantadji, B., dan Aditama, V. 2023. Studi Eksperimental dan Numerik Pelat Beton Dengan Perkuatan Tulangan Bambu. *Prosiding SEMSINA*. 4 (01): 253-260.