

Pengaruh Penambahan Bahan Mil Terhadap Kapasitas Lentur Panel Pracetak Beton Bertulang Bambu
Effect of Addition of Mil Materials on the Flexural Capacity of Bamboo Reinforced Concrete Precast Panels

Ahmad Zaki Nur Fawaid Rizal¹⁾, Muhtar²⁾, Hilfi Harisan Ahmad³⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ahmad.zaki4901@gmail.com¹

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: muhtar@unmuhjember.ac.id²

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: hilfiharisana@unmuhjember.ac.id³

Abstrak

Pertumbuhan penduduk Indonesia yang pesat memicu peningkatan kebutuhan akan hunian terjangkau, sehingga diperlukan bahan bangunan alternatif ekonomis dan ramah lingkungan, serta efisiensi waktu dan tenaga. Bambu adalah salah satu bahan yang memenuhi persyaratan karena merupakan material yang berkelanjutan, hemat biaya dan ramah lingkungan. Panel pracetak yang efisien dapat memanfaatkan bahan ringan seperti mil dengan berat jenis 2,71 g/cm³ - 2,93 g/cm³ untuk mengurangi beban struktural, mempercepat pembangunan, dan menekan biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis, kapasitas lentur dan pola retak panel pracetak beton bertulang bambu dengan penambahan bahan mil. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen yang dilakukan di laboratorium dengan pengujian kapasitas lentur panel. Hasil dari penelitian menunjukkan berat jenis panel dengan penambahan bahan mil lebih ringan dibanding panel normal, semakin ringan seiring bertambahnya mil dalam campuran beton. Sedangkan untuk kapasitas lentur, panel normal memiliki kapasitas lentur optimum dengan beban lentur 6,615 kN, jika dibandingkan dengan panel mil yang memiliki beban lentur terendah 4,507 kN diperoleh selisih sebesar 31% lebih kecil. Panel mil memiliki pola retak lebih banyak dari pada panel normal, cenderung bertambah dan menyebar seiring bertambahnya campuran mil dalam panel dan posisinya menyebar dari tengah ke sisi kanan dan kiri.

Kata kunci: Beton Bertulang Bambu; Kapasitas Lentur; Mil; Panel Pracetak.

Abstract

Indonesia's rapid population growth triggers an increased need for affordable housing, so there is a need for economical and environmentally friendly alternative building materials, as well as time and labor efficiency. Bamboo is one such material that meets the requirements as it is sustainable, cost-effective and environmentally friendly. Efficient precast panels can utilize lightweight materials such as mil with a specific gravity of 2,71 g/cm³ - 2,93 g/cm³ to reduce structural loads, speed up construction, and reduce production costs. This research aims to determine the specific gravity, flexural capacity and crack pattern of bamboo reinforced concrete precast panels with the addition of mil material. The research method used is experimental which is carried out in the laboratory by testing the flexural capacity of the panel. The results showed that the specific gravity of the panels with the addition of mil material was lighter than the normal panels, getting lighter with the increase of mil in the concrete mixture. As for the flexural capacity, the normal panel has the optimum flexural capacity with a flexural load of 6.615 kN, when compared to the mil panel which has the lowest flexural load of 4.507 kN, the difference is 31% smaller. The mil panel has more crack patterns than the normal panel, tending to increase and spread as the mil mixture in the panel increases and its position spreads from the center to the right and left sides.

Keywords: Bamboo Reinforced Concrete; Flexural Capacity; Mil; Precast Panels.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan Indonesia akan jalan dan akses gedung semakin meningkat, tetapi tidak diimbangi dengan pertumbuhan ekonomi yang seimbang. Oleh karena itu, dicari suatu alternatif yang berbiaya rendah untuk membuat strukturnya kuat dan ringan. Bambu adalah sumberdaya yang berkelanjutan dan mudah beradaptasi karena pertumbuhannya yang cepat, ditandai dengan kekuatan tarik tinggi, kuat lentur yang cukup baik dan mudah dikerjakan dengan menggunakan alat sederhana (Rohimah & Walujodjati, 2022). Bambu yang dapat digunakan minimal berusia 2-3 tahun dari masa tanam dan dapat di panen kembali tanpa menanam Kembali (Muhtar, 2019). Jenis bambu yang digunakan yaitu bambu petung (*Dendrocalamus asper*) yang memiliki kuat tarik tinggi (Suardika, dkk, 2023)

Beton dengan berbagai variasinya saat ini menjadi saat ini menjadi bahan bangunan yang paling banyak dipakai didunia. Semakin banyak ditemukan beton baru merupakan hasil modifikasi, contohnya beton pracetak/precast yang digunakan pada struktur suatu bangunan (Mudjarnako, dkk, 2019). Panel pracetak merupakan inovasi dalam dunia konstruksi yang mengutamakan efisiensi dan kecepatan pemasangan. Dengan menggunakan bahan-bahan ringan seperti mil atau kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai salah satu komponen utama, panel ini menawarkan solusi yang tidak hanya mengurangi beban struktural, tetapi juga mempercepat proses pembangunan. Mil, yang memiliki berat jenis sekitar 2.71 g/cm^3 hingga 2.93 g/cm^3 , memberikan kontribusi signifikan terhadap kekuatan dan stabilitas panel pracetak, sekaligus menurunkan biaya produksi karena harganya yang ekonomis.

Penggunaan mil dalam panel pracetak tidak hanya meningkatkan kualitas produk akhir, tetapi juga mendukung keberlanjutan dalam konstruksi modern. Dengan sifatnya yang mudah dicampur dan kemampuannya untuk meningkatkan daya tahan material, mil memungkinkan pembuatan panel dengan permukaan halus dan presisi tinggi. Selain itu, penggunaan bahan ini mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam, menjadikannya

pilihan yang ramah lingkungan. Dengan demikian, kombinasi antara panel pracetak dan mil menciptakan solusi konstruksi yang efisien, kuat, dan berkelanjutan, memenuhi kebutuhan pembangunan yang semakin kompleks di era modern ini. Peneliti melakukan inovasi dengan melakukan penambahan bahan mil sebagai pengganti pasir ke dalam campuran panel pracetak beton bertulang bambu.

Penelitian ini akan memeriksa perilaku dan kapasitas lentur panel tambahan mil pracetak beton bertulang bambu. Panel tambahan mil pracetak beton bertulang bambu dan panel (normal) pracetak beton bertulang bambu masing-masing memiliki kapasitas lentur yang berbeda. Oleh karena itu, panel pracetak beton bertulang bambu akan diuji untuk kapasitas lenturnya sehingga menghasilkan sebuah perbandingan antara panel tambahan mil dengan panel normal bertulang bambu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan campuran antara bahan agregat halus dan kasar dengan pasta semen (kadang-kadang juga ditambahkan admixtures), yang apabila dituangkan ke dalam cetakan dan kemudian didiamkan, akan menjadi keras seperti batuan. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi antara air dengan semen yang terus berlangsung dari waktu ke waktu. Hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan waktu. Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus, serta bahan tambah (Nugraha & Kadir, 2019).

Beton normal diklasifikasikan menjadi dua golongan, yaitu beton normal dan beton ringan. Beton normal tergolong beton yang memiliki densitas sekitar $2,2 \text{ gr/cm}^3$ - $2,4 \text{ gr/cm}^3$ dan kekuatannya tergantung pada komposisi campuran beton (mix design), sedangkan untuk beton ringan memiliki densitas $< 1,8 \text{ gr/cm}^3$, begitu juga dengan kekuatannya sangat bervariasi dan sesuai dengan penggunaan dan pencampuran bahan bakunya (Ginting, 2023).

Bambu dengan nama botani dan atau bahasa Latin *Dendrocalamus asper* di Indonesia dikenal dengan nama bambu petung. Bambu jenis ini mempunyai rumpun agak rapat,

dapat tumbuh didataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 meter di atas permukaan air laut (Bethony, 2019).

Bambu petung atau bambu betung (*Dendrocalamus asper*) adalah salah satu jenis bambu yang memiliki ukuran lingkaran batang yang cukup besar dan termasuk ke dalam suku rumput-rumputan. Bambu betung memiliki nama lokal yang berbeda di setiap wilayah atau daerah di Indonesia seperti sebutan awi bitung (Sunda), pring petung (Jawa), awo petung (Bugis), bambu swanggi (Papua), dan pattung (Toraja). Tumbuhan bambu petung yang masih muda ditutupi oleh lapisan berwarna coklat dan bertekstur seperti kain beludru. Tinggi bambu betung dapat mencapai 10 kaki sedangkan lingkaran batangnya dapat mencapai 8 inci. Bambu betung memiliki batang berkayu dan berdinding tebal yaitu antara 11 sampai 20 mm. Bagian batang bambu betung bagian bawah terdapat node dan terdapat akar udara. Batang bambu betung terdiri dari ruas-ruas, panjang setiap ruas bambu antara 20 hingga 45 cm serta berwarna hijau pucat dan tertutup rambut coklat pendek. Daun tumbuhan ini berbentuk tombak dengan panjang sekitar 15 cm hingga 30 cm dan lebarnya antara 10 mm hingga 25 mm. (Bethony, 2019).

Selain itu tanaman bambu mempunyai ketahanan yang luar biasa. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Priyanto & Yasin (2019) yang menyatakan bambu petung dapat digunakan sebagai bahan bangunan. Pada pengujian kuat tekan, didapatkan kuat tekan sejajar serat rata-rata adalah 26,85 MPa dan kuat tekan tegak lurus serat adalah 9,62 MPa. Pada pengujian kuat tarik, didapatkan nilai rata-rata kuat tarik bambu petung adalah 226,39 MPa.

Mil atau kalsium karbonat adalah senyawa kimia dengan formula CaCO_3 merupakan bahan yang umum di jumpai pada batu di semua bagian dunia, dan merupakan komponen utama organisme laut, siput bola arang, mutiara, dan kulit telur. Sifat kalsium karbonat atau kapur yang gampang mengeras serta memberi kekuatan mengikat membuat kapur banyak digunakan di industri konstruksi beberapa bahan bangunan, seperti mortar, plesteran, pembuatan kawat,

kaca, hingga keramik. Kalsium karbonat atau batu kapur yang di bakar pada tungku berputar dengan suhu 800°C - 1200°C akan terurai menjadi kalsium oksida dan karbonat dioksida $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (Nugraha & Kadir, 2019). Berat jenis kalsium karbonat yaitu $2,71 \text{ g/cm}^3$ sampai $2,93 \text{ g/cm}^3$.

Kalsium karbonat adalah senyawa kimia dengan rumus kimia CaCO_3 yang biasa disebut kapur. Kapur dapat dijadikan sebagai material pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Kapur dihasilkan berdasarkan proses kimia dan mekanis di alam. kalsium karbonat adalah butiran micron berwarna putih. Kalsium karbonat sering digunakan sebagai microfiller untuk pembuatan material komposit bersama dengan resin poliester sebagai bahan pengikat. (Haq & Kadir, 2019).



Gambar 1. Mil (Kalsium Karbonat).
Sumber: Data Penelitian, 2024.

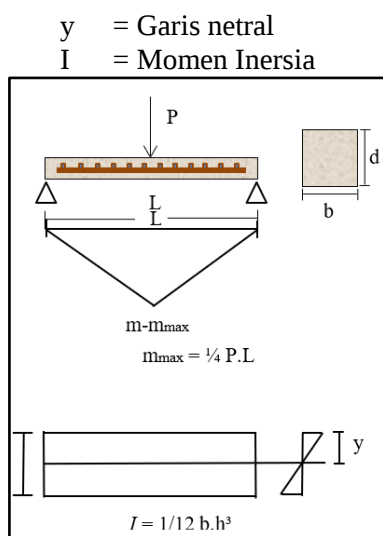
Uji lentur yang biasanya digunakan untuk menganalisis kekuatan, lendutan, pola retak, atau kehancuran bahan dengan bahan berbagai perlakuan tambahan atau dengan bahan tambah lain. Pengujian menggunakan pembebanan satu titik berdasarkan. Penelitian lentur dilakukan dengan meletakkan pembebanan satu titik di tengah bentang (Muhtar & Gunasti, 2023). Untuk mengetahui kapasitas lentur dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus:

$$F_u = \frac{m \cdot y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4}PL\right) \cdot \frac{1}{2}d}{\frac{1}{12}bh^3}$$

Dimana:

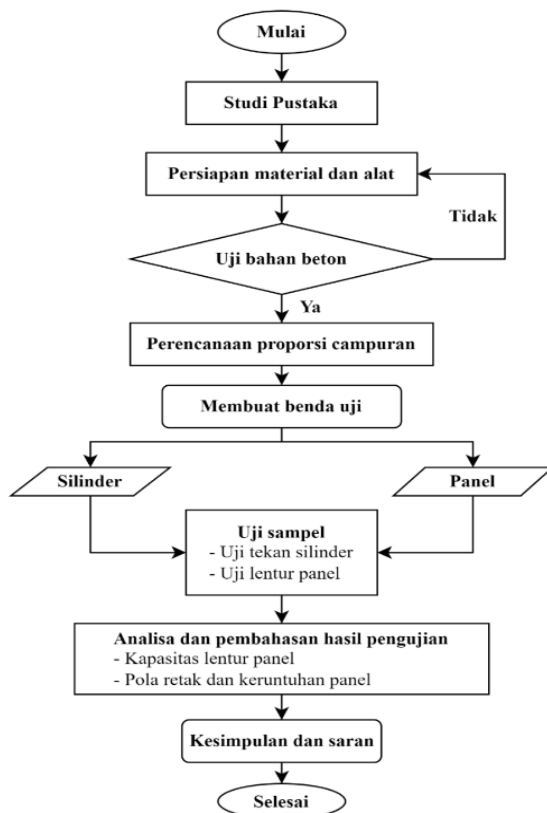
- F_u = Kuat-lentur panel-(MPa)
- L = Bentang panel-(mm)
- d = Tebal panel-(mm)
- P = Beban lentur-(N)
- b = Lebar panel-(mm)
- m = Momen



Gambar 2. Momen Gaya.
Sumber: Data Penelitian, 2024.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan dilaboratorium dengan pengujian kapasitas lentur panel. Tahapan penelitian disajikan secara sistematis.

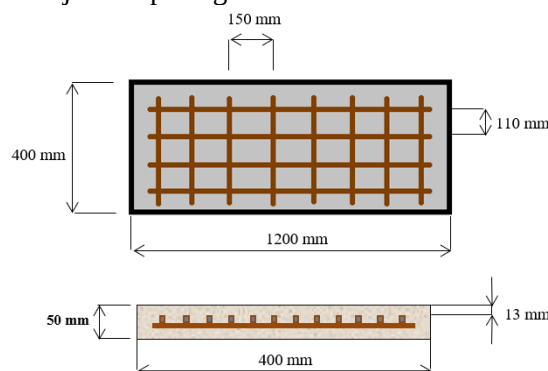


Gambar 3. Rancangan Tahapan Penelitian.
Sumber: Data Penelitian, 2024.

Material yang digunakan pada penelitian meliputi:

- 1.Semen Portland Komposit (PCC)
- 2.Agregat Halus (Pasir)
- 3.Agregat Kasar (Batu Split 10 x 10 mm)
- 4.Bambu Petung (Dimensi Tulangan 12 mm)
- 5.Bahan tambahan mil

Benda uji terdiri dari 4 panel mempunyai dimensi 1200 mm x 400 mm x 50 mm, untuk tulangan bambu dipasang sebagai tulangan tarik. Pada benda uji ini menggunakan variasi campuran yang digunakan 1:4:1 (normal) sebagai kontrol dalam perbandingan hasil penelitian. Dan variasi campuran 1:1:3:1; 1:2:2:1; 1:3:1:1 (semen : mil : pasir : koral). Proporsi campuran dan jarak tulangan bambu ditunjukkan pada gambar dan tabel berikut:



Gambar 4. Ukuran Panel.
Sumber: Data Penelitian, 2024.

Gambar 4 merupakan detail penulangan pada panel pracetak beton bertulangan bambu. Proporsi campuran beton dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

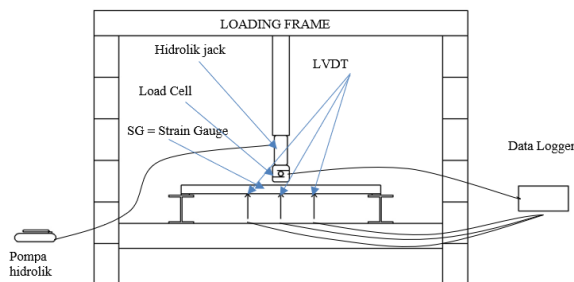
Tabel 1. Proporsi Campuran Beton.

Jenis Beton	Proporsi	PPC	Mil	Agregat	
		Kg/m ³	Kg/m ³	Halus	Kasar
PNL-MIL-1:4:1	1:0:4:1	13	-	52	13
PNL-MIL-1:1:3:1	1:1:3:1	13	13	39	13
PNL-MIL-1:2:2:1	1:2:2:1	13	26	26	13
PNL-MIL-1:3:1:1	1:3:1:1	13	39	13	13

Sumber: Hasil analisis, 2024.

Metode eksperimen sampel kontrol, panel menggunakan campuran beton normal 1 semen 4 pasir 1 koral (1:4:1) bertulang bambu dengan dimensi tulangan diameter 12 x 12 mm memiliki jarak antar tulangan yang memanjang 110 mm dan jarak antar tulangan pendek 150 mm. Pengujian lentur panel beton pracetak dibutuhkan beberapa alat sebagai berikut:

- Loading frame
- Hydraulic jack
- Hydraulic pump
- Loadcell
- Data logger
- Strain gauge
- LVDT



Gambar 5. Set Up Pengujian.

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pada pengujian beban lentur panel pracetak ini menggunakan 2 titik tumpuan yang diatur sedemikian rupa, dan pada pengujian terdapat satu titik beban merata yang terletak dibagian sisi lebar dan sisi panjang panel dinding. Pada pengujian ini terdapat alat pengukur regangan (*strain gauge*) yang terpasang di tulangan bambu yang berada di bagian tengah panel dinding pracetak tepatnya berada di bagian bawah tulangan bambu. Pengukur regangan, dan *Loading frame* dipakai sebagai sarana utama untuk melakukan pengujian. pengujian beban lentur menggunakan dongkrak hidrolik dan *loadcell* yang dicatat menggunakan pengukur beban. Seluruh data uji dan direkam pada alat *data logger*. Beban diberikan secara bertahap. Beban ditambah sampai pada *ultimate* atau terjadi keruntuhan benda uji. Pembacaan regangan beton dan tulangan bambu dilakukan pada strain meter untuk mengetahui/mengontrol regangan leleh. Alat pencatat defleksi benda uji menggunakan LVDT. Pola retak diamati secara langsung untuk mengetahui jenis penyebab keruntuhan yang terjadi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini menggunakan beton dengan komposisi agregat (Pasir dan Koral dengan ukuran 1x1 cm), semen, dan air serta penambahan mil. Agregat yang digunakan, sebelumnya telah diuji di Laboratorium Beton Muhammadiyah Jember. Dalam pengujian

agregat kasar dan agregat halus di dapatkan data analisa ayakan, berat jenis, berat volume, kadar air, kadar lumpur, penyerapan air dan loss angeles.

Perhitungan berat jenis panel:

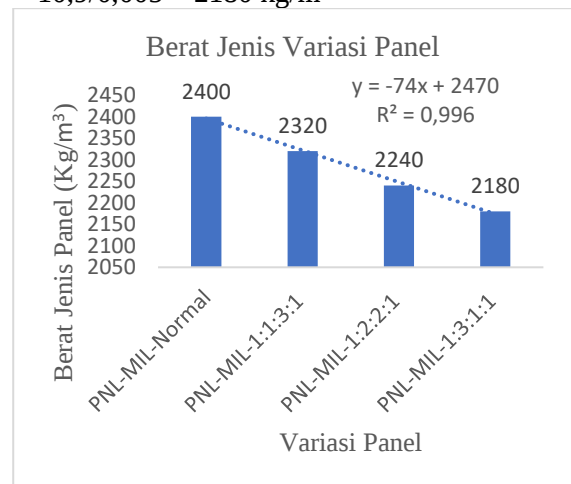
$$\text{Volume silinder} = 0,25 \times \pi \times d^2 \times t = 0,25 \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,3 = 0,005 \text{ m}^3$$

Berat silinder:

$$\text{Panel 1:1:3:1} = \text{berat silinder} / \text{volume silinder} = 11,6 / 0,005 = 2320 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Panel 1:2:2:1} = \text{berat silinder} / \text{volume silinder} = 11,2 / 0,005 = 2240 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Panel 1:3:1:1} = \text{berat silinder} / \text{volume silinder} = 10,9 / 0,005 = 2180 \text{ kg/m}^3$$



Gambar 6. Grafik Berat Jenis Panel.

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berat jenis panel didapatkan persamaan linear dengan R^2 sebesar 0,996. Hal ini menunjukkan bahwa 99,6% penurunan berat jenis panel disebabkan oleh penambahan bahan mil. Persentase turunnya berat jenis variasi panel bahan mil terhadap panel normal :

$$\text{a) Panel 1:1:3:1 terhadap panel normal} = \frac{2400 - 2320}{2400} \times 100 = 3,33 \%$$

$$\text{b) Panel 1:2:2:1 terhadap panel normal} = \frac{2400 - 2240}{2400} \times 100 = 6,66 \%$$

$$\text{c) Panel 1:3:1:1 terhadap panel normal} = \frac{2400 - 2180}{2400} \times 100 = 9,16 \%$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan persentase menurunnya berat jenis panel semakin membesar seiring bertambahnya campuran bahan mil.

Pada pengujian lentur panel dinding dan panel pagar dibuat dengan ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm. Untuk tulangan pokok

menggunakan jarak 110 mm dan untuk tulangan begel/senggang menggunakan jarak 150 mm, serta tebal selimut sebesar 13 mm dengan menggunakan tulangan bambu. Dari perhitungan teoritis masing-masing panel dibuat dengan variasi campuran yang berbeda, perhitungan teoritis didapat pada retak awal dan maksimum.

A. Kapasitas Lentur pada Retak Awal

Ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm:

1) PNL-Normal

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm

Tebal panel (d) = 50 mm

Beban lentur (P) = 2,000 kN

Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

$$F_u = \frac{m.y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P.L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b.h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 2000.1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400.50^3}$$

$$= \frac{15.000.000}{4.166.666,665}$$

$$= 3,6 \text{ MPa}$$

2) PNL-MIL-1:1:3:1

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm

Tebal panel (d) = 50 mm

Beban lentur (P) = 1,500 kN

Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

$$F_u = \frac{m.y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P.L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b.h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 1500.1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400.50^3}$$

$$= \frac{11.250.000}{4.166.666,665}$$

$$= 2,7 \text{ MPa}$$

3) PNL-MIL-1:2:2:1

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm

Tebal panel (d) = 50 mm

Beban lentur (P) = 1,200 kN

Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

$$F_u = \frac{m.y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P.L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b.h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 1200.1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400.50^3}$$

$$= \frac{9.000.000}{4.166.666,665}$$

$$= 2,16 \text{ MPa}$$

4) PNL-MIL-1:3:1:1

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm

Tebal panel (d) = 50 mm

Beban lentur (P) = 1,100 kN

Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

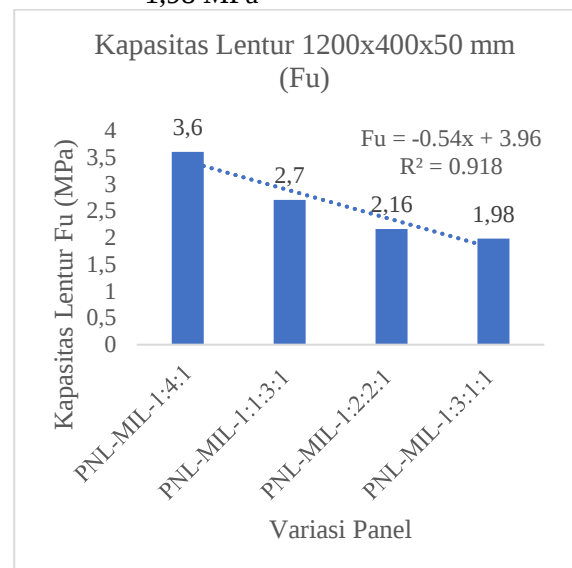
$$F_u = \frac{m.y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P.L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b.h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 1100.1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400.50^3}$$

$$= \frac{8.250.000}{4.166.666,665}$$

$$= 1,98 \text{ MPa}$$



Gambar 7. Grafik Kapasitas Lentur pada Retak Awal.

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pada kode panel PNL-MIL-1:4:1 mempunyai kapasitas lentur sebesar 3,6 Mpa, lebih tinggi dari variasi panel lainnya. Kode panel PNL-MIL-1:1:3:1 mempunyai nilai sebesar 2,7 MPa, kode panel PNL-MIL 1:2:2:1 mempunyai nilai sebesar 2,16 MPa, dan kode panel PNL-MIL-1:3:1:1 mempunyai nilai sebesar 1,98 MPa. Didapatkan persamaan linear

dengan R^2 sebesar 0,918. Dapat disimpulkan bahwa 91,8% penurunan kapasitas lentur panel disebabkan oleh tambahan kalsium karbonat (mil), sedangkan 8,2% disebabkan oleh variabel lainnya.

Dari perhitungan proporsi campuran beton yang telah didapat, panel normal memiliki berat jenis tertinggi sebesar 2400 Kg/m³. Sedangkan panel mil 1:3:1:1 memiliki berat jenis terendah sebesar 2180 Kg/m³ dengan persentase penurunan sebesar 9 % terhadap panel normal.

B. Kapasitas Lentur pada Retak Maksimum

Ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm:

1. PNL-MIL-Normal

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm
Tebal panel (d) = 50 mm
Beban lentur (P) = 6,615 kN
Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

$$F_u = \frac{m \cdot y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P \cdot L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b \cdot h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 6615 \cdot 1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400 \cdot 50^3}$$

$$= \frac{49.612.500}{4.166.666,665}$$

$$= 11,907 \text{ MPa}$$

2. PNL-MIL-1:1:3:1

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm
Tebal panel (d) = 50 mm
Beban lentur (P) = 4,841 kN
Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

$$F_u = \frac{m \cdot y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P \cdot L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b \cdot h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 4841 \cdot 1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400 \cdot 50^3}$$

$$= \frac{36.307.500}{4.166.666,665}$$

$$= 8,71 \text{ MPa}$$

3. PNL-MIL-1:2:2:1

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm
Tebal panel (d) = 50 mm

Beban lentur (P) = 5,108 kN

Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

$$F_u = \frac{m \cdot y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P \cdot L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b \cdot h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 5108 \cdot 1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400 \cdot 50^3}$$

$$= \frac{38.310.000}{4.166.666,665}$$

$$= 9,194 \text{ MPa}$$

4. PNL-MIL-1:3:1:1

Diketahui :

Bentang panel (L) = 1200 mm
Tebal panel (d) = 50 mm
Beban lentur (P) = 4,507 kN
Lebar panel (b) = 400 mm

Perhitungan kuat lentur panel (F_u) :

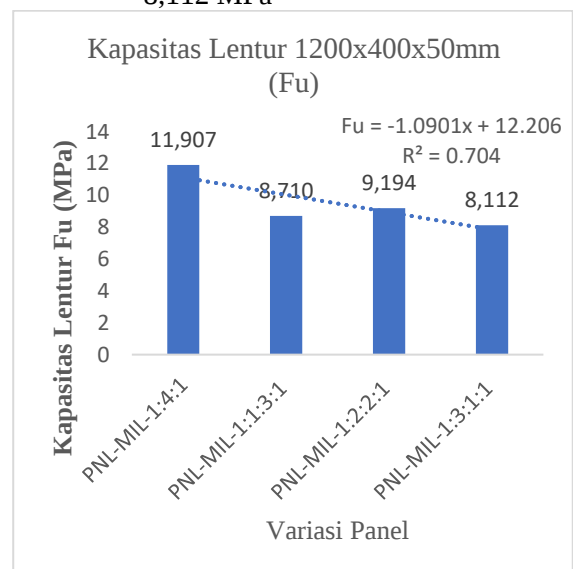
$$F_u = \frac{m \cdot y}{I}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} P \cdot L\right) \frac{1}{2} d}{\frac{1}{12} b \cdot h^3}$$

$$F_u = \frac{\left(\frac{1}{4} 4507 \cdot 1200\right) \frac{1}{2} 50}{\frac{1}{12} 400 \cdot 50^3}$$

$$= \frac{33.802.500}{4.166.666,665}$$

$$= 8,112 \text{ MPa}$$



Gambar 8. Grafik Kapasitas Lentur pada Retak Maksimum.

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Gambar 8. menunjukkan grafik hubungan kapasitas lentur dengan variasi panel pada beban maksimum. Kode panel PNL-MIL-1:4:1

mempunyai kapasitas lentur sebesar 11,907 MPa. Kode panel PNL-MIL-1:4:1 lebih tinggi dari panel kode PNL-MIL-1:2:2:1 dengan kapasitas lentur 8,71 MPa, panel kode PNL-MIL-1:1:3:1 dengan kapasitas lentur 9,194 MPa dan panel kode PNL-MIL 1:3:1:1 dengan kapasitas lentur 8,112 MPa. Pada Gambar 4.4 didapatkan persamaan linear dengan R^2 sebesar 0,704. Dapat disimpulkan bahwa 70,4 % penurunan kapasitas lentur panel disebabkan oleh penambahan bahan mil, sedangkan 29,6% disebabkan oleh variabel lainnya.

Pola retak panel dinding dan pagar disebabkan oleh pembebanan awal sampai flexure ultimate atau lentur maksimum. Semakin besar pembebanannya retak baru yang terjadi akan menyebar atau terjadi pelebaran retakan, maka akan terdapat pola retak yaitu retak lentur. Mutu beton yang lebih tinggi berkorelasi dengan peningkatan kapasitas retak awal, yang berarti retakan awal pada panel cenderung muncul lebih lambat. Selain itu, kuat lentur panel juga memengaruhi ketahanan terhadap keruntuhan. Semakin tinggi kuat lentur panel, semakin lama panel akan mengalami keruntuhan.

Analisa uji kapasitas lentur dengan pengamatan pola retak secara langsung pada panel normal dengan kode PNL-MIL-1:4:1

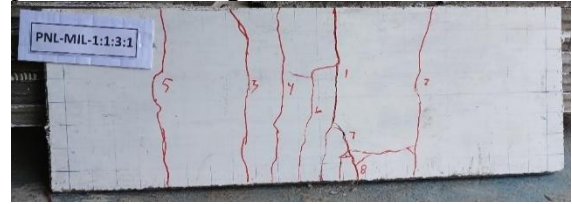


Gambar 10. Pola Retak Panel Normal.
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pada Gambar 10 dimana panel dinding dan pagar tulangan bambu dengan ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm, kode panel yaitu PNL-MIL-1:4:1. retak lentur adalah retakan awal disebabkan oleh beban. Retak awal terjadi pada beban 2 kN. Pada beban 2,5 kN retakan semakin menyebar dan juga terjadi retak baru. Selanjutnya lentur maksimum atau terjadi keruntuhan pada 6,615 kN.

Analisa uji kapasitas lentur dengan pengamatan pola retak secara langsung pada

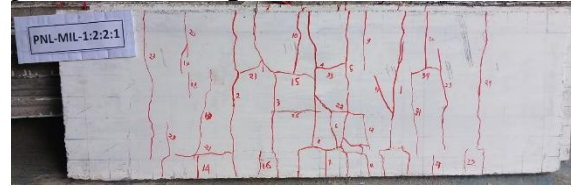
panel normal dengan kode PNL-MIL-1:1:3:1.



Gambar 11. Pola Retak Panel Mil 1:1:3:1.
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pada Gambar 11 dimana panel dinding dan pagar tulangan bambu tambahan mil dengan ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm, kode panel yaitu PNL-MIL-1:1:3:1 retak lentur adalah retakan awal disebabkan oleh beban. Retak awal terjadi pada beban 1,5 kN. Selanjutnya lentur maksimum atau terjadi keruntuhan pada 4,841 kN.

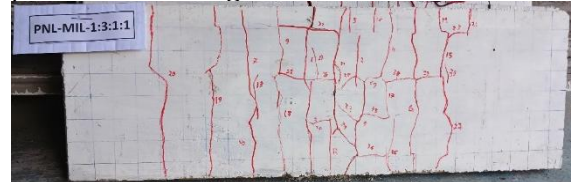
Analisa uji kapasitas lentur dengan pengamatan pola retak secara langsung pada panel normal dengan kode PNL-MIL-1:2:2:1.



Gambar 12. Pola Retak Panel Mil 1:2:2:1.
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pada Gambar 12 dimana panel dinding dan pagar tulangan bambu tambahan mil dengan ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm, kode panel yaitu PNL-MIL-1:2:2:1 retak lentur adalah retakan awal disebabkan oleh beban. Retak awal terjadi pada beban 1,2 kN. Retakan mulai menyebar dan ada retak geser pada beban 2 kN. Selanjutnya lentur maksimum atau terjadi keruntuhan pada 5,108 kN.

Analisa uji kapasitas lentur dengan pengamatan pola retak secara langsung pada panel normal dengan kode PNL-MIL-1:3:1:1.



Gambar 13. Pola Retak Panel Mil 1:3:1:1.
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Pada gambar 13 dimana panel dinding dan pagar tulangan bambu tambahan mil dengan ukuran 1200 mm x 400 mm x 50 mm, kode panel yaitu PNL-MIL-1:3:1:1 retak lentur

adalah retakan awal disebabkan oleh beban. Retak awal terjadi pada beban 1,1 kN. Pada beban 2,5 kN terjadi 19 retak baru dan semakin melebar pada sisi kanan dan kiri. Pada beban 4 kN juga terjadi retak baru dan perpanjangan retak. Selanjutnya lentur maksimum atau terjadi keruntuhan pada 4,507 kN

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kapasitas lentur panel pracetak beton bertulang bambu normal lebih besar dibandingkan dengan panel tambahan mil. Pada panel normal memiliki kapasitas lentur optimum dengan beban lentur 6,615 kN, jika dibandingkan dengan panel mil 1:3:1:1 dengan beban lentur yang terendah 4,507 kN diperoleh selisih kapasitas lentur sebesar 31 % lebih kecil. Sehingga dapat disimpulkan panel normal memiliki kapasitas lentur optimum, sedangkan panel mil memiliki kecenderungan menurunkan kapasitas lentur panel.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan mutu beton yang berbeda atau membandingkan dengan merek semen yang berbeda
2. Pada pengujian selanjutnya atau yang akan datang bisa menggunakan penambahan bahan adiktif sebagai campuran

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, H. H., Yanuar, S. F., & Hamduwibawa, R. B. 2022. Studi Pengaruh Jenis Semen Pada Campuran Beton 1: 2: 3. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*. 7(2): 74-77.
- Ahmad, H. H., Yanuar, S. F., & Dewi, I. C. 2024. Studi Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Untuk Pembangunan Masjid di Sumenep. *Jurnal Smart Teknologi*. 5(2): 193-199.
- Bethony, F. R. 2019. Analisis Tegangan Bending dan Struktur Mikro Strip Bambu Petung (*Dendrocalamus Asper*) Akibat Perlakuan Perendaman Air Belerang Dingin. *Journal Dynamic Saint*. 4(1): 748-755.
- Ginting, B. E. 2023. Analisa Perbandingan Beton Normal Dengan Beton Ringan Berdasarkan Berat Jenis Dan Kuat Tekan Dengan FC 10, 38 MPA. Disertasi. Universitas Quality).
- Haq, S. M., & Kadir, Y. 2019. Kajian Pengaruh Penambahan Kalsium Karbonat Sebagai Microfiller Terhadap Kuat Tekan Beton Polimer. In *Prosiding SoBAT (Seminar Sosial Politik, Bisnis, Akuntansi dan Teknik)*. Universitas Sangga Buana YPKP. LPPM Universitas Sangga Buana YPKP. 1(1):78-84.
- Mudjanarko, S. W., Mangi, S. A., Jaya, R. P., Ibrahim, M. H. W., Rasidi, N., & Zacoeb, A. 2021. *Panduan Pembuatan Panel Beton*. Narotama University Press.
- Muhtar., Dewi S.M., Wisnumurti., & Munawir., A. 2019. *Enhancing Bamboo Reinforcement Using a Hose-Clamp to Increase Bond-Stress and Slip Resistance*. *Journal of Building Engineering*. 26(100896): 1-19.
- Muhtar, M., Gunasti, A., Manggala, A. S., & N, Ardhi 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, M., Hanafi, H., Umarie, I., & Gunasti, A. 2023. PKM Tukang Bangunan Desa Sukogidri Melalui Teknik Penulangan Struktur Rangka Beton Bertulang Bambu. SELAPARANG: *Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*. 7(3): 1900-1905.
- Nugraha, G. S., & Kadir, Y. 2019. Kajian Pengaruh Kalsium Karbonat Dan Limbah Adukan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah. *Simtek (Sistem Infrastruktur Teknik Sipil)*. Universitas Sangga Buana YPKP. 1(2): 58-61.
- Priyanto, A., & Yasin, I. 2019. Pemanfaatan Laminasi Bambu Petung Untuk Bahan Bangunan. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. 5(2): 23-39.
- Rohimah, R. S., & Walujodjati, E. 2022. Eksperimen Pelat Beton Bertulang Bambu Ampel. *Jurnal Konstruksi*, 20(2), 281–288.

<https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-2.1211>

Suardika, I. M. A. Y., Widnyana, I. N. S., & Artana, I. W. 2023. Balok Laminasi Kombinasi Bambu Petung (*Dendroclamus Asper*) Dan Bambu Ater (*Gigantochloa Atter*) Sebagai Bahan Konstruksi Alternatif. *Widya Teknik*. 19(1): 55-63.