

Pengaruh Pumice Aggregate Terhadap Kapasitas Lentur Panel Pracetak Beton Bertulang Bambu
Influence of Pumice Aggregate on the Flexible Capacity of Bamboo Reinforced Concrete Panels

Antoni Darmawan¹⁾, Muhtar²⁾, Totok Kuryanto³⁾

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember
email: antonidarmawan03@gmail.com

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

³Dosen Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember
email: totok@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Beton dengan berbagai variasinya saat ini menjadi bahan bangunan yang paling banyak dipakai didunia, contohnya beton pracetak/precast yang digunakan pada struktur suatu bangunan, dan saat ini terus diupayakan untuk inovasi material. Inovasi material yang digunakan seperti menggunakan batu apung. Batu apung adalah batuan beku luar yang terbentuk dari magma yang membeku dengan cepat, pada dasarnya batu apung memiliki pori-pori yang cukup besar sehingga berpengaruh terhadap berat jenis batu apung batu apung sendiri memiliki berat jenis sebesar 1,47%. Inovasi ini bertujuan untuk menciptakan panel pracetak yang lebih ringan akan tetapi memiliki kapasitas lentur yang baik. Disini menggunakan variasi campuran batu apung panel normal, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dari eksperimen variasi campuran panel mengalami penurunan berat untuk panel normal 54,7 kg sedangkan untuk yang 100% dengan berat 44,8 kg. Untuk membuktikan penelitian ini dengan menggunakan metode uji kuat lentur dengan beban terpusat untuk mengetahui kapasitas lentur panel. Pengujian kali ini menggunakan *load cell*, *hydraulic jack*, *hydraulic pump*, *LVDT* dan *data logger*. Pembebanan dilakukan secara bertahap sampai mencapai *P ultimate*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa panel 25% mendapatkan hasil paling optimum dengan hasil 5,810 kN dibandingkan dengan panel normal dengan hasil 5,459 kN.

Kata kunci: Batu apung, Kapasitas lentur, Panel pracetak

Abstract

Concrete with its various variation is currently the most widely used building material in the world, for example precast concrete used in the structure of a building, and currently continues to be pursued for material innovation. Material innovation used such as using pumice. Pumice is an outer igneous rock formed from magma that freezes quickly, basically pumice has pores that are large enough to affect the specific gravity of pumice itself has a specific gravity of 1,47%. This innovation aims to create precast panels that are lighter but have good flexural capacity. Here using a mixture variation of normal panel pumice, 25%, 50%, 75%, and 100%. From the experiments, the panel mixture variation decreased in weight for normal 54,7kg while for 100% with a weight of 44,8 kg. To prove this research by using the flexural strength test method with a centralized load to determine the flexural capacity of the panel. This test uses a load cell, hydraulic jack, hydraulic pump, LVDT and data logger. Loading is done gradually until it reaches P ultimate. The result showed that the 25% panel obtained the most optimum result with a result of 5,810 kN compared to the normal panel with a result of 5,459 kN.

Keywords: *Pumice, Flexural Capacity, Precast panel*

1. PENDAHULUAN

Pemakaian beton semakin banyak dijumpai untuk berbagai macam konstruksi bangunan. Dalam perkembangan bidang perekayasa material, saat ini terus diupayakan dan inovasi material termasuk material untuk bangunan atau komponen struktur. Harga tulangan baja semakin mahal karena ketersediaan bahan dasarnya semakin terbatas. Penggunaan bambu sebagai material konstruksi selama ini masih bersifat sekunder seperti perancah, reng, atap, dinding. Kenyataan ini lebih disebabkan minimnya pengetahuan masyarakat mengenai sifat-sifat mekanik dan fisik struktur bambu. Dalam penelitian ini bambu digunakan sebagai pengganti tulangan untuk beton bertulang (Fahrina & Gunawan, 2014).

Bambu adalah salah satu bahan alternatif yang telah digunakan oleh manusia sejak lama untuk konstruksi (I Made Anom Yudistira Suardika¹, 2023). Dari segi kekuatan, kuat tarik bambu relatif tinggi. Dari segi ekonomi, harga bambu jauh lebih murah dari harga tulangan baja untuk tingkat kekuatan yang sama. Sedangkan dari segi ketersediaannya, bambu mudah didapat, mudah ditanam, dapat tumbuh dengan cepat, dan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. 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 (I Made Anom Yudistira Suardika¹, 2023). Panel pracetak beton bertulang yang umumnya memakai tulangan baja diganti menggunakan tulangan bambu. Mengapa menggunakan bambu jenis petung dikarenakan bambu ini mudah didapat dan juga memiliki kuat tarik yang cukup besar sehingga cocok untuk mengganti tulangan baja. Dengan inovasi tulangan bambu bisa menciptakan penurunan harga 50-60% lebih rendah dari pada tulangan baja (Muhtar, 2024).

Batu apung atau pumice aggregate adalah istilah tekstural untuk batuan vulkanik yang merupakan lava berbuih terpadatkan yang tersusun atas piroklastik kaca yang amat

mikrovesikular dengan dinding batuan gunung berapi ekstruktif yang bergelembung amat tipis dan tembus cahaya. Batu apung adalah produk umum letusan gunung dan umumnya berbentuk zona-zona di bagian atas lava silikat. Batu apung bervariasi dalam hal kepadatannya menurut ketebalan bahan padat antargelombang banyak sampel yang mengapung di air (Muhammad et al., 2023).

Beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (off site fabrication), terkadang komponen-komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (pre-assembly), dan selanjutnya dipasang dilokasi (installation), dengan demikian sistem pracetak ini akan berbeda dengan konstruksi monolit terutama pada aspek perencanaan yang tergantung atau ditentukan pula oleh metode pelaksanaan dari fabrikasi, penyaruhan dan pemasangannya serta ditentukan pula oleh teknis perilaku sistem pracetak dalam hal cara penyambungan antar komponen join (SNI 03-2847-2002). Beton pracetak dapat mempercepat waktu pengerjaan, efisiensi biaya, dan meminimalkan sisa material konstruksi (Adisa m et al, 2014).

Dalam penelitian kali ini dibahas bagaimana pengaruh pumice agregat terhadap kapasitas lentur panel pracetak beton bertulang bambu. Untuk tulangan yang dipakai pada penelitian kali ini yaitu dari bambu. Untuk mengetahui kapasitas lentur panel beton bertulang bambu yang dilakukan di laboratorium guna mendapatkan hasil sesungguhnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah bahan padat yang dibuat dengan mencampur agregat kasar, agregat halus, semen portland, dan air dengan atau tanpa bahan tambah (admixture atau additive) yang kemudian saling mengikat sehingga, menjadi massa padat (Khairul Amna & Amna, 2014). Dalam (Standar Nasional Indonesia, 2012) beton dibedakan menjadi tiga jenis yaitu beton normal yang memiliki berat isi 2200 kg/m³-2500 kg/m³, beton yang mempunyai berat isi <

2500 kg/m³ dan beton massa yang mempunyai dimensi penampang yang besar, bisa juga dikatakan sebagai beton yang memiliki dimensi lebih besar dari 60 cm. Untuk mendapatkan beton dengan kualitas baik perlu memperhatikan kuat tekan beton. Semakin besar kuat tekan beton maka kualitas beton semakin baik pula (Triana et al., 2015).

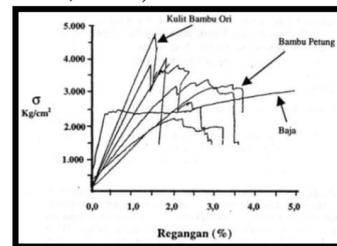
Beton dengan berbagai variasinya saat ini menjadi saat ini menjadi bahan bangunan yang paling banyak dipakai di dunia. Semakin banyak ditemukan beton baru merupakan hasil modifikasi, contohnya beton pracetak/precast yang digunakan pada struktur suatu bangunan (Mudjarnako, 2019). Panel dinding pracetak beton bertulang bambu memiliki kekuatan dan kinerja yang baik dibandingkan dengan jenis batako. Pagar beton digunakan di area industri, perumahan umum, pabrik untuk meningkatkan keamanan lingkungan. Pagar beton precast terdiri dari panel beton dan tiang beton, ukuran panel beton 50 x 400 x 1200 mm, sedangkan ukuran tiang beton 170 x 180 x 2100 mm. Sedangkan berat panel industri dengan ukuran 2400 mm x 400 mm x 50 mm memiliki berat sekitar 115 kg.

Beton sebagai bahan konstruksi untuk bangunan sipil paling banyak digunakan saat ini. Beton memiliki banyak keuntungan untuk digunakan dalam pembuatan infrastruktur, seperti kuat tekan yang relatif tinggi, kemudahan pembuatan, ekonomis, tahan lama, dan ketahanan yang lebih baik terhadap berbagai kondisi lingkungan (Pujianto et al., 2021). Beton juga memiliki kekurangan dari segi kuat tarik, oleh karena itu banyak inovasi yang dilakukan untuk meningkatkan kuat tarik beton salah satunya adalah dengan menggunakan beton bertulang (Anggreini et al., 2019).

Bambu merupakan dapat dijadikan sebagai pengganti tulangan baja yang memiliki kuat tarik yang cukup tinggi (Perwira et al., n.d., 2017). Bambu petung memiliki sifat mekanis yang baik, ringan, dinding yang tebal dan kokoh selain itu juga bambu petung mudah didapat, digunakan dan harga yang relatif murah (Arifin et al., 2017). Sejak beberapa abad yang lalu masyarakat daerah tropis telah memanfaatkan bambu sebagai bahan struktur

bangunan dan dapat digunakan sebagai elemen structural maupun non structural.

Bambu memiliki sifat yang baik untuk dimanfaatkan seperti batangnya yang ringan sehingga mudah dibawa, kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk, dan mudah dikerjakan. Bambu juga dapat bertahan lama dan tidak mudah terserang penyakit. Dalam sebuah penelitian menunjukkan bahwa kulit bambu petung memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi mencapai 490 MPa (Morisco et al., 1996).



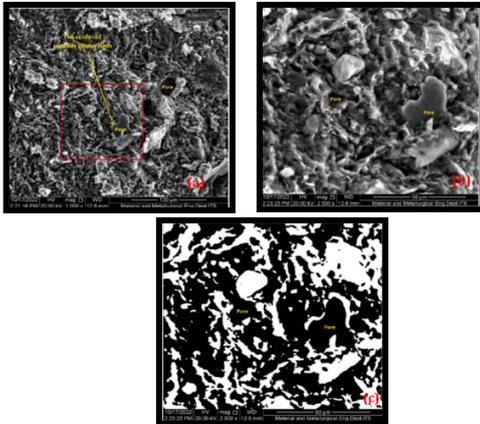
Gambar 1. Diagram Tegangan Rengangan Tulangan Bambu Dan Baja

Sumber: Condorelli et al., 1999.

Batu apung adalah batuan beku luar (ekstrusif) yang terbentuk dari magma yang membeku dengan cepat. Proses pembekuan agregat batu apung terjadi ketika magma asam naik ke permukaan dan tiba-tiba bersentuhan dengan udara. Proporsi tertinggi pumice aggregate adalah O dan Si, disusul Al, C, Fe, Ca, Mg, K, Na, dan Cl. Unsur yang paling melimpah pada batu apung adalah O sebesar 43,49% dan Si sebesar 27,32%.

Hasil uji X-RD pada pumice aggregate menunjukkan komposisi mineral atau senyawa didominasi oleh feldspar, sebesar 59%, dan anorthite sodian (Na, Cl) (Al, Si), pada 41%. Feldspar mengkristal dari magma batuan beku intrusif dan ekstrusif dalam bentuk urat. Feldspar biasanya ditemukan pada berbagai jenis batuan metamorf dan sendimen. Batuan yang Sebagian besar tersusun dari kalsium plagioklas feldspar disebut juga anorthosit. Ciri fisik mineral anorthite adalah warna putih dan abu-abu, kilau kaca, keuletan getas, dan tembus cahaya-buram dengan belahan satu arah. Anorthite mempunyai patahan konkoidak dengan kekerasan 6-6,5. Anorthite merupakan mineral yang termasuk dalam kelompok plagioklas dengan komposisi kimia sekitar 90% kalsium termasuk dan 10 % natrium. Anorthite adalah mineral yang banyak ditemukan pada

batuan beku dasar seperti gabbro dan basalt, serta batuan metamorf, dan batu apung sendiri memiliki berat jenis sebesar 1,47% (Muhtar, 2023).



Gambar 2 Mikroskop SEM Pumice Agregat (A) Diperbesar 1000 Kali; (B) Diperbesar 2500kali; (C) Hasil Ambang Batas Menggunakan Program Lunak Image-J Yang Diperbesar 2500 Kali.

Sumber: Muhtar, 2023.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kekakuan lentur balok bertulang dengan memeriksa kekuatan tekan beton yang berbeda serta hubungan antara kekuatan tekan dan kekuatan lentur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menurut

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:

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

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

Dimana:

F_u = Kuat-lentur panel-(MPa)

L = Bentang panel-(mm)

d = Tebal panel-(mm)

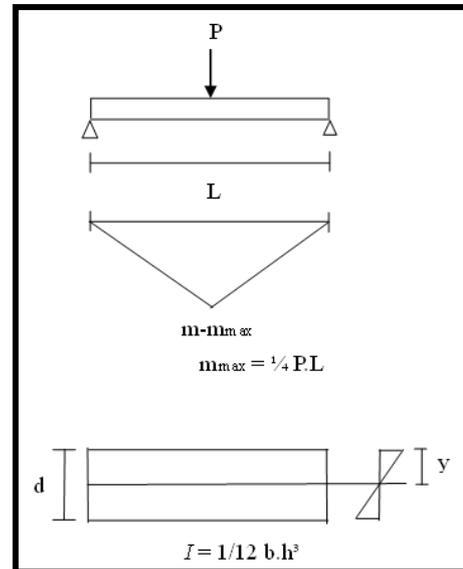
P = Beban lentur-(N)

b = Lebar panel-(mm)

m = Momen

y = Garis netral

I = Momen Inersia

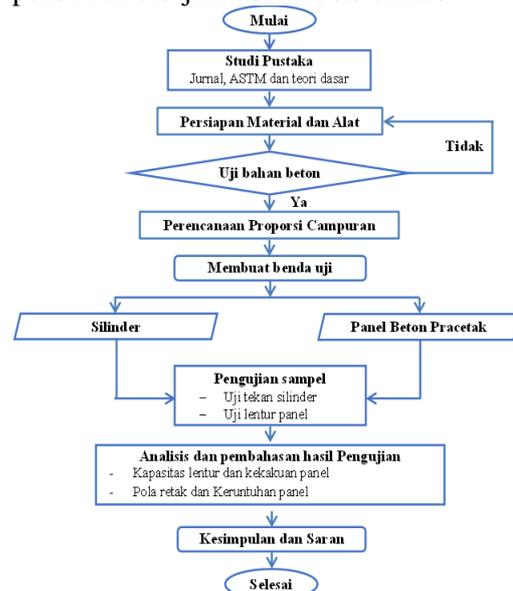


Gambar 3 Momen Gaya

Sumber: Hasil Analisis, 2024.

3. METODE PENELITIAN

Dalam perencanaan penyusunan tugas akhir ini, maka diperlukan suatu metodologi/diagram alur agar analisa pengaruh pumice aggregate terhadap kapasitas lentur panel pracetak beton bertulang bambu berjalan sesuai dengan harapan. Adapun tahapan penelitian disajikan secara sistematis.



Gambar 4 Rancangan penelitian

Sumber: hasil analisis 2024

Pada penelitian memakai 5 sampel dengan menggunakan variasi campuran. Pada benda uji menggunakan variasi campuran batu apung dengan persentase 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dengan proporsi campuran normal 1:4:1, campuran 25% batu apung 1:4:0,75:0,25, dimana pada campuran 50% batu apung membuat dua sampel 1:4:0,5:0,5, campuran 75% batu apung 1:4:0,25:0,75, campuran 100% batu apung 1:4:1.

Material penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Semen Portland Komposit (PPC)
2. Agregat Halus (pasir)
3. Agregat kasar (batu split 10 x 10 mm)
4. Batu apung 10 x 10 mm
5. Bambu petung (ukuran Tulangan 12 mm)

Tabel 1 Rancangan Proposi Campuran

Jenis Beton	Proporsi campuran	PPC	Agregat halus	Agregat kasar	Agregat batu apung
		kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
0%-PA	1:4:1:0	12.5	49.5	12.5	0
25%-PA	1:4:0,75:0,25	12.5	49.5	9.3	3.2
50%-PA	1:4:0,50:0,50	12.5	49.5	6.3	6.3
75%-PA	1:4:0,25:0,75	12.5	49.5	3.3	9.3
100%-PA	1:4:0:1	12.5	49.5	0	12.5

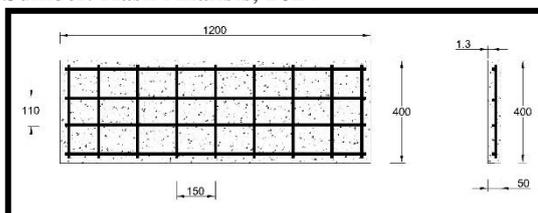
Sumber: Hasil Analisis, 2024

Metode eksperimen Sampel control panel menggunakan proporsi campuran normal 1:4:1 menggunakan jarak tulangan begel/Sengkang 150 mm dan tulangan pokok 110 mm dengan tebal selimut beton 130 mm.

Tabel 2 Rancangan Penulangan

Jenis panel	Ukuran panel mm	Ukuran tulangan mm	Jarak tulangan	
			Pokok	Begel
			mm	mm
PNL-0%-PA	1200 x 400 x 50	□ 12 x 12	110	150
PNL-25%-PA	1200 x 400 x 50	□ 12 x 12	110	150
PNL-50%-PA	1200 x 400 x 50	□ 12 x 12	110	150
PNL-75%-PA	1200 x 400 x 50	□ 12 x 12	110	150
PNL-100%-PA	1200 x 400 x 50	□ 12 x 12	110	150

Sumber: Hasil Analisis, 2024



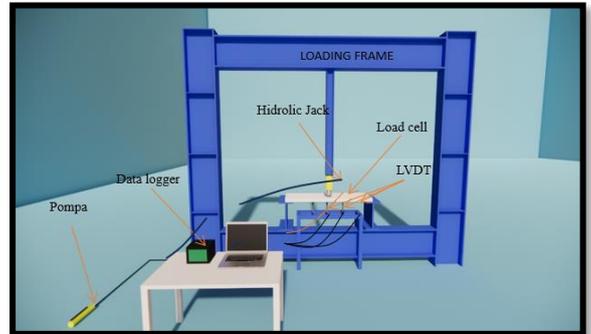
Gambar 5 Ukuran Rancangan Panel

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Pada pengujian lentur pada panel beton pracetak dibutuhkan beberapa alat pengujian sebagai berikut:

- a) Loading frame
- b) Hydraulic jack
- c) Loadcell

- d) Hydraulic pump
- e) LVDT
- f) Strain gauge bamboo
- g) Data logger



Gambar 6 Set Up Pengujian

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Pada pengujian beban lentur panel pracetak ini menggunakan 2 titik tumpuan yang diatur sedemikian rupa, dan pada pengujian terdapat satu titik beban terpusat yang terletak dibagian tengah (middle) panel. pada pengujian ini terdapat alat pengukur regangan (strain gauge) yang terpasang di tulangan bambu yang berada di bagian tengah panel pracetak tepatnya berada di bagian bawah tulangan bambu. 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 pultimate 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 untuk mengetahui jenis penyebab keruntuhan yang diamati secara langsung

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Agregat yang dipakai dalam penelitian kali yaitu pasir, koral 10 x 10 mm, dan batu apung dengan ukuran 10 x 10 mm. Agregat yang digunakan untuk campuran benda uji telah di uji di Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Jember. Dalam pengujian

agregat halus, agregat kasar, dan batu apung (pumice aggregate) didapatkan hasil kadar air, penyerrapan air, kadar lumpur, berat jenis, berat volume, analisa ayakan, dan los angeles.

Tabel 3. Pengujian *Pumice Aggregate*

Jenis pengujian	Satuan	Hasil
Kadar air	%	1.420
Penyerapan air	%	1.420
Berat jenis	gram/cm ³	1.293
Berat volume	gram/cm ³	0.448
Analisa ayakan	%	0.210
Los angeles	%	73.19

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Dari hasil pengujian batu apung atau *pumice aggregate* yang pada dasarnya batu apung memiliki pori-pori yang cukup besar (Muhtar, 2023) sehingga berpengaruh terhadap berat jenis batu apung. Berat jenis batu apung memperoleh prosentase 1,293 gram/cm³ berbanding terbalik dengan agregat kasar normal yang mendapatkan prosentase 2,584 gram/cm³. Pengaruh berat jenis yang menyebabkan panel dan silinder menjadi lebih ringan. Pada Tabel 4.5 berat untuk panel normal yaitu 54,8 kg sedangkan untuk panel dengan 100% batu apung memiliki berat 44,8 kg memiliki selisih 22%.

Tabel 4. Berat Panel Dan Silinder

Proporsi Campuran	Berat panel	Berat silinder
	kg	kg
1:4:1	54.8	11.7
1:4:0,75:0,25	49.8	11.2
1:4:0,50:0,50	47.5	10.8
1:4:0,25:0,75	47.3	10.8
1:4:1	44.8	10.3

Sumber: Hasil Analisis, 2024

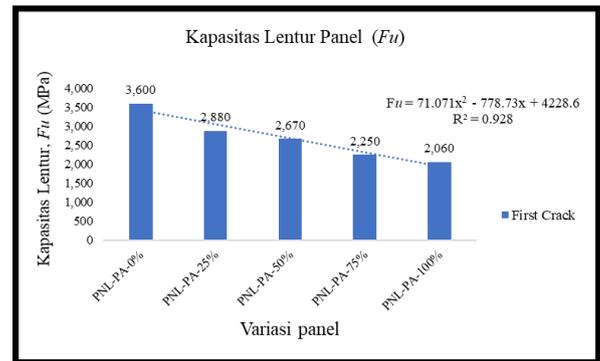
Perbandingan kapasitas beban lentur panel bertulang bambu dari hasil eksperimen dengan ukuran panel 1200 mm x 400 mm x 50 mm. Melalui pengujian dan analisis eksperimen ini terhadap kuat lentur pada beban retak awal dan pada beban maksimum. Pada beban maksimum panel dengan kode PNL-25%-PA mendapatkan hasil paling optimum memiliki kapasitas lentur 6,4% lebih tinggi dari pada panel dengan kode PNL-0%-PA sedangkan pada beban retak awal panel dengan kode PNL-0%-PA mendapatkan hasil paling tinggi yaitu 3,614 MPa. Hubungan antara kapasitas lentur dengan kuat tekan adalah jika kuat tekan beton tinggi maka kapasitas

lentur cenderung tinggi, karena keduanya berkaitan dengan struktur dan kepadatan beton.

Dari perhitungan kapasitas lentur Perhitungan teoritis panel dibuat dengan variasi campuran, perhitungan teoritis dengan menggunakan beban terpusat, didapatkan hasil sebagai berikut:

A. Kapasitas Lentur Pada *First Crack*

Pada Gambar 7. menunjukkan grafik hubungan kapasitas lentur dengan variasi panel pada saat beban retak awal.



Gambar 7. Grafik Kapasitas Lentur Pada *Frist Crack*

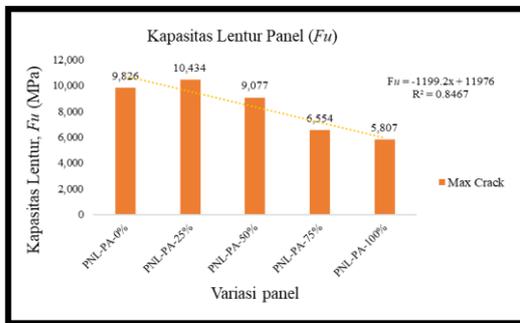
Sumber: Hasil Analisi, 2024

Persamaan linier $F_u = 71,071x^2 - 778,73 + 4228,6$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.928. Hal ini menunjukkan bahwa 92% penurunan kapasitas lentur dipengaruhi oleh pumice aggregate dan sisanya dipengaruhi variabel lain (Muhtar et al., 2024). Pada grafik dengan kode panel PNL-PA-0% mempunyai kapasitas lentur lebih tinggi 33% dari panel dengan kode PNL-PA-25%. Hal ini berkolerasi dengan pengujian kuat tekan silinder pada pada beton normal mendapatkan hasil tertinggi yaitu 378 kN.

B. Kapasitas Lentur Pada *Max Crack*

Gambar 8. menunjukkan hubungan kapasitas lentur dengan variasi panel pada saat beban maksimum. Kapasitas lentur dapat didekati dengan persamaan linier $F_u = -1199,2x + 11976$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,8467. Hal ini menunjukkan 84% penurunan kapasitas lentur dipengaruhi oleh pumice aggregate dan sisanya dipengaruhi variabel lain. Pada kode panel PNL-PA-25% mempunyai kapasitas lebih

tinggi dari panel dengan kode PNL-PA-0% atau panel normal. Hal ini diakibatkan oleh absorpsi atau penyerapan sehingga daya rekat dari batu apung yang lebih tinggi dan berkolerasi dengan tulangan bambu yang memiliki kuat elastis yang tinggi.



Gambar 8. Grafik Kapasitas Lentur Pada *Max Crack*

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Namun di satu sisi penambahan batu apung di atas 25% memiliki kecenderungan menurunkan kapasitas lentur karena pumice aggregate mempunyai pori-pori yang lebih besar dari pada agregat normal. Penurunan ini juga berbanding lurus dengan hasil uji los angles, batu apung mempunyai kekerasan yang lebih rendah 72% dari agregat.

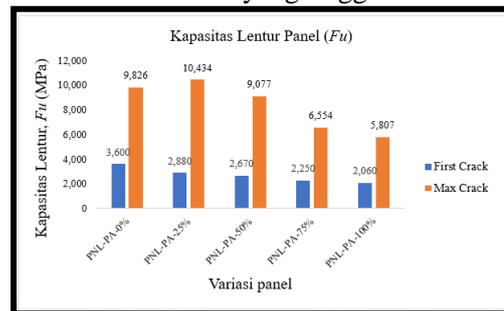
Tabel 5 Hasil Seluruh Perhitungan Kapasitas Lentur

No	KODE PANEL	KAPASITAS LENTUR F_u (MPa)	
		EKSPERIMEN	
		<i>First Crack</i>	<i>Max Crack</i>
1	PNL-0%-PA	3,600	9,826
2	PNL-25%-PA	2,880	10,434
3	PNL-50%-PA	2,670	9,077
4	PNL-75%-PA	2,250	6,554
5	PNL-100%-PA	2,060	5,807

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tabel 5 menunjukkan retak awal (*first crack*) memiliki kecenderungan kuat lentur yang lebih rendah menggunakan campuran pumice aggregate dibandingkan dengan yang menggunakan agregat normal. Hal ini disebabkan karena pumice aggregate memiliki kekuatan los angles lebih rendah dibandingkan dengan agregat normal. Pada campuran 25% turun kuat lenturnya sebesar 33% pada campuran 50% turun 33% pada campuran 75% turun 59% dan pada campuran 100% turun sebesar 73%. Kapasitas lentur pada *first crack* dipengaruhi oleh pumice aggregate karena mempunyai pori-pori yang besar dibandingkan dengan agregat normal. Hal ini juga berkolerasi

dengan hasil uji los angeles yang menunjukkan perbedaan antara agregat normal dengan agregat batu apung (*pumice aggregate*) sebesar 72% dan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Pada retak maksimum (*max crack*) panel dengan kode PNL-PA-25% memiliki kuat lentur tertinggi dibandingkan dengan panel dengan kode PNL-PA-0%. Hal ini diakibatkan oleh absorpsi atau penyerapan sehingga daya rekat dari batu apung yang lebih tinggi dan berkolerasi dengan tulangan bambu yang memiliki kuat elastis yang tinggi.



Gambar 9. Grafik Kapasitas Lentur Panel Gabungan

Sumber: Hasil Analisis, 2024

5. KESIMPULAN

Pengaruh pumice aggregate terhadap kapasitas lentur panel pracetak beton bertulang bambu menunjukkan tren menurun positif. Pada panel beton normal dengan kode panel PNL-PA-0% didapatkan beban lentur 5,459 kN sedangkan panel dengan kode PNL-PA-25% didapatkan hasil 5,810 kN hal ini menunjukkan selisih kuat lentur sebesar 6%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan pumice aggregate 25% mempunyai kapasitas lentur optimum, sedangkan penambahan di atas 25% memiliki kecenderungan menurunkan kapasitas lentur panel. Penurunan kapasitas lentur panel secara berurutan sebesar 8% untuk panel dengan kode PNL-PA-50%, 47% untuk panel dengan kode PNL-PA-75%, dan 67% untuk panel dengan kode PNL-PA-100%. Pengambilan pumice aggregate di tambah batu kotakan situbondo.

6. DAFTAR PUSTAKA

Anggreini, F., Servie, K., Dapas, O., & Mondoringin, M. R. I. A. J. 2019. Pemeriksaan Kuat Tarik Langsung Beton

- Serat Kawat Bendrat Dengan Variasi Sudut Tekuk. *Jurnal Sipil Statik*, 7(6), 673–680.
- Badan standarisasi Nasional. 2012. *Badan Standardisasi Nasional SNI 7833:2012. Teknologi Beton* www.bsn.go.id
- Condorelli, G., Morisco, C., Stassi, G., Notte, A., Farina, F., Sgaramella, G., De Rienzo, A., Roncarati, R., Trimarco, B., & Lembo, G. 1999. Increased Cardiomyocyte Apoptosis and Changes in Proapoptotic and Antiapoptotic Genes bax and bcl-2 During Left Ventricular Adaptations to Chronic Pressure Overload in the Rat. *The American Journal of Cardiology* <http://www.circulationaha.org>
- Fahrina, R., & Gunawan, I. 2014. Pemanfaatan Bambu Betung Bangka Sebagai Pengganti Tulangan Balok Beton Bertulangan Bambu. In *Jurnal Fropil* .Vol. 2, (1).
- Fakhrul Arifin, A., Manik, P., & Joko Sisworo, S. 2017. Pengaruh Suhu Kempa Dan Waktu Kempa Terhadap Kualitas Balok Laminasi Bambu Petung Untuk Komponen Konstruksi Kapal Kayu *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4), 890. <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- I Made Anom Yudistira Suardika1*, I. N. S. W. I. W. A. 2023. Balok Laminasi Kombinasi Bambu Petung (*Dendroclamus Asper*) Dan Bambu Ater (*Gigantochloa Atter*) Sebagai Bahan Konstruksi Alternatif. *Jurnal Widya Teknik*, 19(1).
- Morisco, C., Cuocolo, A., Romano, M., Nappi, A., Iaccarino, G., Volpe, M., Salvatore, M., & Trimarco, B. 1996. Influence of digitalis on left ventricular functional response to exercise in congestive heart failure. *The American Journal of Cardiology*, 77(7), 480–485. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(97\)89341-1](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(97)89341-1)
- Rusydi, I, Rizal S, Syukri Z, Muhammad, Thaib R, Zulkarnain J, & Razali Thaib. 2023. Pengolahan Dan Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Bahan Campuran Alternatif Pada Pembuatan Bata Beton (Paving Block) Guna Meningkatkan Pendapatan Masyarakat. *Jurnal Pengabdian Bangsa*, 2(2), 21–28. <https://doi.org/10.61992/jpb.v2i2.94>
- Muhtar. 2019. Experimental data from strengthening bamboo reinforcement using adhesives and hose-clamps. *elsevier*, 27, 104827. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104827>
- Muhtar. 2023. Performance-based experimental study into quality zones of lightweight concrete using pumice aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, *elsevier* 18. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01960>
- Muhtar. 2024. The use of a bamboo reinforced concrete foundation for a simple environmentally friendly house in Indonesia. *Advances in Bamboo Science, Elsevier*,6. <https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100056>
- Muhtar, & Gunasti, A. 2023. Experimental evaluation of axial compression performance of precast panels from bamboo-reinforced concrete. *Applications in Engineering Science, elsevier* 16. <https://doi.org/10.1016/j.apples.2023.100155>
- Muhtar, Gunasti, A., & Manggala, A. S. 2024. Utilization of bamboo for concrete columns in earthquake-resistant simple houses in Indonesia. *Case Studies in Construction Materials, elsevier* 20. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02941>
- Khairul Amna, P., & Amna, K. 2014. Pengaruh Penambahan Serat Tandan Sawit Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton. *Teras Jurnal*, 4(2).
- Perwira, E., Setiya Budi, A., & Utomo, B. 2017. *Kajian Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu Petung Dengan Takikan Tidak Sejajar*.
- Pujianto, A., Faizah, R., Wijaya, D. A., Abdurazak, J., Prayuda, H., & Wijaya, H. 2021. Kuat Tekan dan Tarik Belah Beton Serat Menggunakan Agregat Ringan. *Semesta Teknika*, 24(1). <https://doi.org/10.18196/st.v24i1.12084>
- Trian, Y., Sumajouw, D. M. D. J., & Windah, R. S. 2015. Pengaruh Kuat Tekan

Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 341–350.