

PENGARUH SERAT BAMBU TERHADAP KAPASITAS LENTUR PELAT BETON CAMPURAN *STYROFOAM* DENGAN PERKUATAN TULANGAN *WIREMESH*

Aderico Hosea¹, Ester Priskasari², dan Vega Aditama³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang

Email: 1921013.adericohosea@gmail.com

ABSTRACT

Lightweight concrete is a concrete technology innovation that is currently developing. The advantage of lightweight concrete is that it uses less time and costs compared to concrete in general but has the disadvantage of lower strength. This research aims to determine the effect of adding bamboo fiber on the flexural capacity of lightweight concrete slabs mixed with Styrofoam. The lightweight concrete mixture used is Styrofoam at 50% of the weight of the mixed aggregate. Variations in adding bamboo fiber with a diameter of 1 mm and a length of 40 mm are 0% and 0.5% of the cement weight. The test object consists of a lightweight concrete plate measuring 50 cm x 150 cm x 8 cm with wire mesh reinforcement with a diameter of 8 mm. Tests were carried out when the concrete was 28 days old by applying an even load gradually until the slab collapsed. From the test results, at a loading of 300 kg, the average deflection value for lightweight concrete slabs with reinforcement reinforcement with 0% bamboo fiber was 1.18 mm and for lightweight concrete slabs with 0.5% bamboo fiber was 1.57 mm. Lightweight concrete slabs mixed with bamboo fiber have a greater deflection than lightweight concrete slabs without a mix of bamboo fiber. This shows that the addition of bamboo fiber to lightweight concrete slabs does not increase the flexural capacity of the slab. The difference between theoretical calculations and testing is due to the theoretical calculation formula used in this research not taking into account the content and properties of Styrofoam in the plates. The two variations of concrete slabs used in the test did not experience any cracks and met the maximum allowable deflection requirements at loads reaching 300 kg.

Keywords: lightweight concrete, deflection, bending, Plates, Styrofoam, Wiremesh

ABSTRAK

Beton ringan merupakan inovasi teknologi beton yang sedang berkembang saat ini. Kelebihan beton ringan yaitu menggunakan waktu dan biaya yang lebih sedikit dibandingkan dengan beton pada umumnya tetapi mempunyai kelemahan yaitu kekuatan yang lebih rendah. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat bambu terhadap kapasitas lentur pada pelat beton ringan campuran *styrofoam*. Campuran beton ringan yang digunakan adalah Styrofoam sebanyak 50% dari berat agregat campuran. Variasi penambahan serat bambu dengan diameter 1 mm dan panjang 40 mm sebesar 0% dan 0,5% dari berat semen. Benda uji terdiri dari pelat beton ringan ukuran 50 cm x 150 cm x 8 cm dengan perkuatan wiremesh diameter 8 mm. Pengujian dilakukan pada umur beton mencapai 28 hari dengan cara memberikan beban merata secara bertahap sampai pelat mengalami keruntuhan. Dari hasil pengujian, pada pembebanan 300 kg didapat nilai lendutan rata-rata pada pelat beton ringan perkuatan tulangan dengan 0% serat bambu sebesar 1,18 mm dan pada pelat beton ringan dengan 0,5% serat bambu sebesar 1,57 mm. Pelat beton ringan dengan campuran serat bambu memiliki lendutan yang lebih besar daripada pelat beton ringan tanpa campuran serat bambu. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat bambu pada pelat beton ringan tidak menambah kapasitas lentur pada pelat tersebut. Perbedaan antara perhitungan teoritis dan pengujian dikarenakan rumus perhitungan teori yang digunakan dalam penelitian ini tidak memperhitungkan kandungan dan sifat *Styrofoam* pada pelat. Kedua variasi pelat beton yang digunakan dalam pengujian tidak ada yang mengalami retak dan memenuhi persyaratan lendutan izin maksimum pada pembebanan mencapai 300 kg.

Kata kunci: beton ringan, lendutan, lentur, Pelat, Styrofoam, Wiremesh

1. PENDAHULUAN

Penggunaan produk beton pracetak sebagai pelat lantai, relatif sudah banyak dijumpai disini. Demi menghemat penggunaan penggunaan bekisting dan perancah maka digunakan beton pracetak guna menghemat waktu pelaksanaan. Namun demikian, kekurangan penggunaan beton pada suatu bangunan adalah berat sendiri yang cukup tinggi, sehingga beban mati pada suatu struktur menjadi besar. Perkembangan teknologi alternatif untuk mengurangi berat sendiri pelat antara lain adalah pelat beton ringan. Bahan pembentuk beton ringan salah satunya adalah penggunaan styrofoam yang berfungsi untuk membentuk rongga udara pada beton akan membuat beton menjadi lebih ringan dengan menambah ukuran volume beton. Pengurangan massa jenis beton tidak boleh melampaui berat jenis beton 1850 kg/m³ dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan beton ringan untuk tujuan struktural (SNI 03-3449-2002). Kelebihan beton ringan yaitu memiliki berat sendiri yang lebih kecil dan menggunakan waktu dan biaya yang lebih sedikit dibandingkan dengan beton pada umumnya, tetapi mempunyai kelemahan yaitu kekuatan yang lebih rendah dari beton biasa, terutama beton sangat lemah terhadap gaya tarik tetapi sangat kuat terhadap gaya tekan. Untuk melengkapi kekurangan tersebut digunakan baja guna menahan gaya tarik sehingga satu balok komposit suatu konstruksi bangunan dapat kuat menahan gaya tekan serta gaya tarik. Untuk menambah ketahanan terhadap lentur, biasanya orang menambahkan serat-serat sebagai tulangan mikro atau tulangan sekunder yang biasanya disebar secara acak. Banyak mikro atau tulangan sekunder yang biasanya disebar secara acak. Banyak jenis serat yang dapat digunakan diantaranya serat alami dan serat sintetis, contoh serat alami adalah serat bambu. Serat bambu memiliki beberapa kelebihan yang dapat digunakan sebagai tulangan sekunder, diantaranya adalah memiliki sifat yang lentur, tahan asam dan garam, mudah didapatkan dan murah harganya.

Dalam penelitian ini mencoba mengaplikasikan pembuatan pelat beton ringan campuran styrofoam dengan menggunakan serat bambu sebagai bahan campur beton serat ditujukan untuk menganalisis kapasitas lentur dan pola retak yg terjadi pada panel pelat beton ringan berserat bambu. Benda uji didesain untuk pelat sistem satu arah yang ditumpu dengan tumpuan sendi sepanjang kedua sisinya dengan simulasi pembebanan merata berupa pasir. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan penambahan beban tiap 30 kg. pembebanan dilakukan sampai akhirnya pelat mengalami keruntuhan. Setiap penambahan beban dilakukan, dial gauge harus dibaca dan direkam.

2. LANDASAN TEORI

Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton biasanya diperoleh melalui pengujian kuat tekan pada silinder beton. Tata cara pengujian yang biasa digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI 03-1974 2011). Tegangan tekan beton adalah perbandingan antara gaya yang dapat ditahan oleh benda uji silinder terhadap luas penampang dasar silinder.

Berdasarkan SK SNI 1974:2011 adapun rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

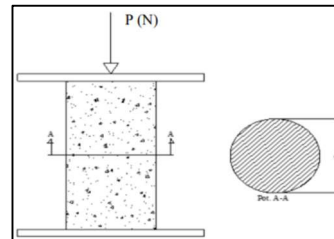
$$f'c = \frac{P}{A}$$

dimana :

$f'c$: Tegangan tekan beton (MPa)

P : Besarnya gaya yang mampu ditahan silinder

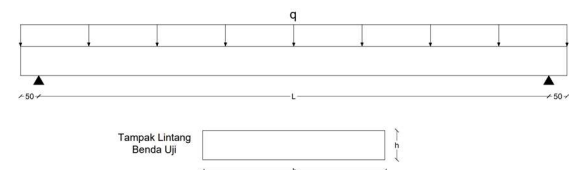
A : Luas penampang silinder (mm²)



Gambar 2. 1 Uji Kuat Tekan Beton

Kuat Lentur

Regangan yang diakibatkan oleh beban luar menyebabkan lentur pada balok maupun pelat. Ketika beban meningkat, struktur akan mengalami deformasi tambahan dan regangan lebih lanjut yang dapat mengakibatkan retakan di sepanjang bentang balok atau pelat. Apabila beban terus bertambah, akhirnya terjadi keruntuhan pada elemen struktur.



Gambar 2. 2 Perletakan balok dengan pembebanan merata

Berdasarkan gambar perletakan diatas didapatkan tumpuan sebagai berikut :

$$R = \frac{q \times L \times \left(\frac{1}{2}L\right)}{L}$$

$$R = \frac{q \times L}{2}$$

Dari rumus diatas, didapat rumus momen yaitu :

$$Mx = \left(Rv \times \frac{L}{2}\right) - \left(q \times \frac{L}{2} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{2}\right)\right)$$

$$Mx = \left(\left(\frac{q \times L}{2} \right) \times \frac{L}{2} \right) - \left(q \times \frac{L}{2} \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{L}{2} \right) \right)$$

$$Mx = \left(\frac{q \times L^2}{4} \right) - \left(\frac{q \times L^2}{8} \right)$$

$$Mx = \frac{2(q \times L^2) - (q \times L^2)}{8}$$

$$Mx = \frac{1}{8} \times q \times L^2$$

Rumus dari tegangan lentur adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{Mx \times y}{I}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{1}{8} \times q \times L^2 \right) \times \left(\frac{1}{2} \times H \right)}{\frac{1}{12} \times b \times h^3}$$

$$\sigma = \frac{\frac{1}{16} \times q \times L^2}{\frac{1}{12} \times b \times h^2}$$

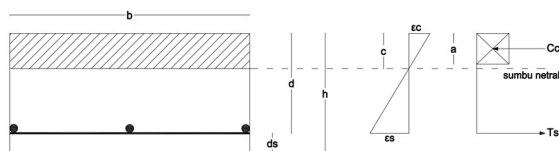
Dari persamaan diatas, didapat rumus kuat lentur beton :

$$\sigma = \frac{3 \cdot q \cdot L^2}{4 \cdot b \cdot h^2}$$

Keterangan :

- σ = Kuat Lentur (MPa)
- y = Garis Netrar (mm)
- I = Momen Inersia (mm⁴)
- P = Beban hancur (N)
- L = Jarak antar tumpuan (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

Dengan memperlakukan pelat satu arah sama seperti balok, berlaku keadaan keseimbangan gaya/horizontal pada penampang. Hal ini menyebabkan gaya tekan beton (Cc) akan diimbangi oleh gaya tarik tulangan baja (Ts). Pada kondisi batas kekuatan lentur tulangan baja pada pelat, umumnya telah mencapai tegangan leleh, sehingga berlaku persamaan berikut ini :



Gambar 2. 3 Diagram regangan dan gaya pada pelat beton bertulang

$$Cc = Ts$$

$$Cc = 0,85 \times f'c \times a \times b$$

$$Ts = As \times fs' = As \times fy \text{ (asumsi tulangan baja leleh)}$$

Dengan prinsip keseimbangan gaya $Cc = Ts$ dapat diperoleh nilai a .

Kekuatan lentur nominal penampang adalah :

$$\begin{aligned} Mn &= Ts \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) = Cc \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) \\ &= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \left(d - \frac{1}{2} \cdot a \right) \end{aligned}$$

Lendutan

Lendutan harus diperiksa apabila pelat memikul konstruksi yang akan mengalami kerusakan akibat lendutan yang besar. Batasan lendutan yang ditentukan berdasarkan SNI 2847 : 2019 pasal 24.2.2 adalah :

Tabel 2. 1 Lendutan Ijin Maksimum

Jenis Komponen Struktur	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$l/180$
lantai		Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen nonstruktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup $l/480$ $l/240$

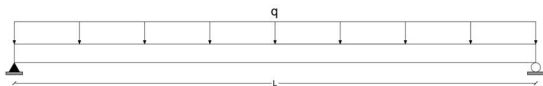
Kondisi benda uji pada penelitian ini untuk pelat yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non struktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar, dengan lendutan seketika akibat beban hidup, batas lendutannya adalah sebesar:

$$\Delta h = \frac{l}{360}$$

Dimana :

- Δh : lendutan maks tengah bentang pelat (mm)
- l : panjang bentang (mm)

Perhitungan Lendutan seketika untuk pelat yang ditumpu oleh tumpuan sederhana dengan beban merata sepanjang bentang adalah :



Gambar 2. 4 Skema pembebanan merata

Besarnya lendutan akibat beban merata dihitung dengan rumus :

$$\delta = \frac{5 q \cdot L^4}{384 E \cdot I}$$

Keterangan :

- δ = Lendutan yang terjadi pada pelat beton (mm)
- q = Beban merata (N/mm)
- L = Jarak antar tumpuan (mm)
- E = modulus elastisitas beton (MPa)
- I = Momen inersia (mm⁴)

Sedangkan untuk menghitung momen inersia adalah sebagai berikut (SNI 2847-2019 pasal 24.2.3.5) :

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right\} \times I_{cr}$$

Tetapi tidak boleh lebih dari I_g

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

Inersia penampang retak :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times b \times y^3 + n \times A_s \times (d - y)^2$$

Dengan M_{cr} dihitung sebagai :

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t}$$

Dan modulus retak pada beton ringan :

$$f_r = 0,62\lambda \sqrt{f'c}$$

Letak garis netral (y) :

$$y = \frac{n \times A_s}{b} \times \left\{ \sqrt{1 + \frac{2bd}{n \times A_s}} - 1 \right\}$$

Keterangan :

- I_g = Momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbunya, dengan mengabaikan tulangan, (mm⁴)
- I_e = Momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan, (mm⁴)
- I_{cr} = Momen Inersia penampang retak yang ditransformasikan menjadi beton, (mm⁴)
- M_{cr} = Momen retak, (Nmm)
- M_a = Momen yang terjadi, (Nmm)
- f_r = Modulus keruntuhan lentur beton, (MPa)
- y_t = Jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan tulangan, keserat tarik terluar, (mm)

Pola Retak

Bentuk retak yang terjadi pada struktur beton bertulang dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu retak yang disebabkan akibat adanya beban retak lentur (*flexural crack*) dan retak geser (*shear crack*). Kategori retak tersebut dapat diidentifikasi dengan melihat pola retak yang terjadi pada permukaan bawah pelat.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, pendekatan nilai kuat tarik beton sering kali dinyatakan dalam suatu nilai yang disebut modulus of rupture (f_r), yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'c}$$

Momen retak berdasarkan SNI 03-2847-2002, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$M_{cr} = \frac{f_r}{y_t} \cdot I$$

3. METODE PERENCANAAN

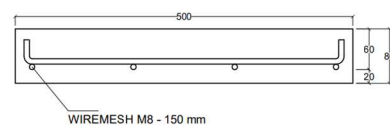
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di pabrik beton PT. Eternit Kerang yang berada di Jalan Raya Malang - Gempol.

Benda Uji

Pada Penelitian ini digunakan benda uji berupa 2 jenis pelat. Jenis pelat yang pertama adalah pelat beton ringan dimensi 500 mm x 1500 mm x 80 mm dengan perkuatan *wiremesh* diameter 8 mm tanpa campuran serat bambu dan kedua adalah pelat beton ringan dimensi 500 mm x 1500 mm x 80 mm dengan perkuatan *wiremesh* diameter 8 mm dengan campuran serat bambu sebanyak 0,5% dari berat semen. Variasi pelat beton ringan dibuat dengan campuran beton dengan kandungan Styrofoam 50% dari berat agregat campuran. Berikut ini adalah spesifikasi masing-masing benda uji :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Benda Uji

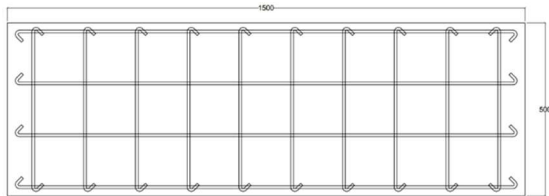
Benda Uji	Dimensi	Jenis Pengujian	Jmlh
Silinder beton	100 mm x 200 mm	Kuat tekan	3
Pelat Beton Ringan Variasi serat 0%	500 mm x 1500 mm x 80 mm	Kuat lentur	2
Pelat Beton Ringan Variasi serat 0,5%	500 mm x 1500 mm x 80 mm	Kuat lentur	2



Gambar 3. 1 Penampang Melintang Penulangan Pelat Beton Ringan



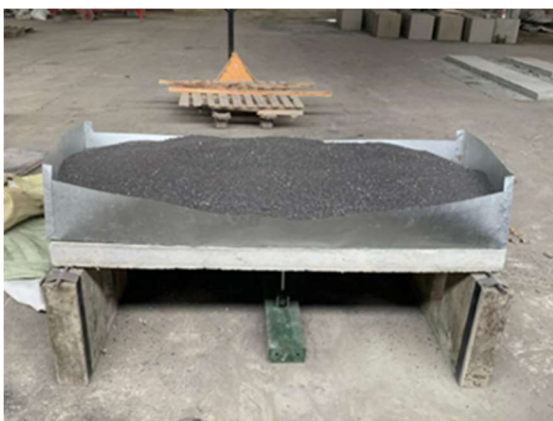
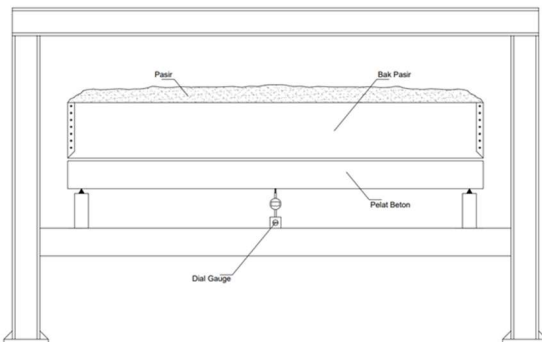
Gambar 3. 2 Penampang Memanjang Penulangan Pelat Beton Ringan



Gambar 3. 3 Tampak Atas Penulangan Pelat Beton Ringan

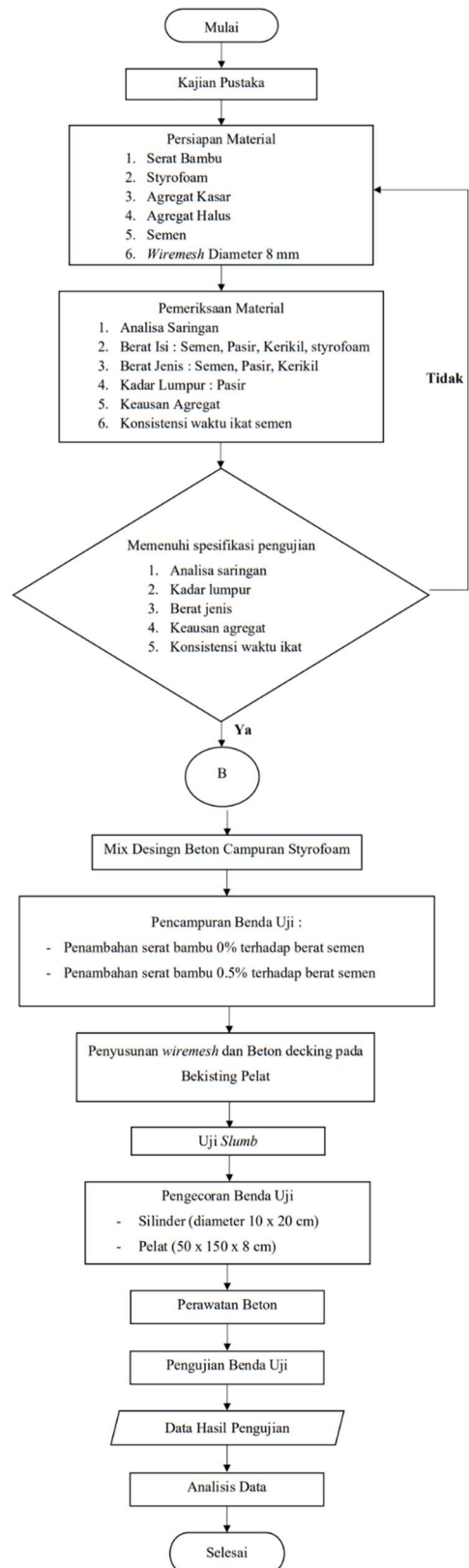
Pengujian Pelat

Pengujian terhadap sampel pelat dilakukan pada saat pelat berumur 28 hari. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kapasitas lentur pelat terhadap lendutan dan pola retak yang terjadi akibat pengaruh dari penambahan serat bambu pada campuran pelat beton. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban merata secara bertahap dengan penambahan beban tiap 30kg.



Gambar 3. 4 Gambar Posisi Alat Uji

Diagram Alir



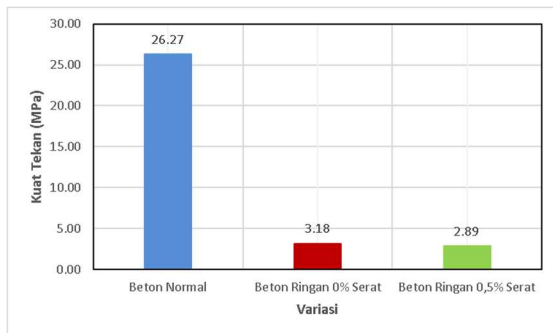
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian

4. ANALISA PERENCANAAN

Hasil Pengujian

Tabel 4. 1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder Umur 28 Hari

Kode	Umur (hari)	Berat (kg)	Tekan Hancur (kN)	Tekan Hancur (MPa)	Tekan Hancur (MPa)
BN	28	3,82	212	26,99	26,27
BN	28	3,71	204	25,97	
BN	28	3,65	203	25,85	
ST 0%	28	2,28	33	4,20	3,78
ST 0%	28	2,39	28	3,57	
ST 0%	28	2,28	28	3,57	
ST 0,5%	28	2,34	25	3,18	3,40
ST 0,5%	28	2,23	29	3,89	
ST 0,5%	28	2,31	26	3,31	



Grafik 4. 1 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Rata-Rata

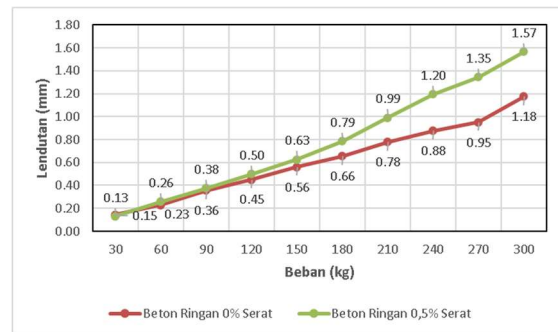
Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadinya penurunan nilai kuat tekan pada beton ringan dapat disebabkan dari presentase tambahan bahan styrofoam sebagai pengganti sebagian agregat, akibatnya beton semakin ringan namun kuat tekannya akan berkurang. Pola retak yang terjadi pada beton ringan tidak merata hanya pada bagian atas silinder beton. Hal tersebut juga diakibatkan karena rongga udara yang dibentuk oleh styrofoam pada beton sehingga gaya yang diterima tidak terdistribusi merata pada beton.



Gambar 4. 1 Pola Retak Pada Silinder Beton Ringan

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kuat Lentur Pelat Beton Umur 28 Hari

No	Beban (kg)	Beban (kg/m)	Lendutan (mm)	
			Beton Ringan 0% Serat	Beton Ringan 0,5% Serat
1	30	20	0,15	0,13
2	60	40	0,23	0,26
3	90	60	0,36	0,38
4	120	80	0,45	0,50
5	150	100	0,56	0,63
6	180	120	0,66	0,79
7	210	140	0,78	0,99
8	240	160	0,88	1,20
9	270	180	0,95	1,35
10	300	200	1,18	1,57



Grafik 4. 2 Grafik hubungan antara beban dan lendutan hasil pengujian pelat beton

Pada pengujian lentur dengan penambahan beban merata sebesar 300 kg pada pada setiap variasi pelat beton tidak ada yang mengalami retak. Kedua variasi pelat masih mampu menahan beban diatas 300 kg. Pada pembebanan 300 kg pelat beton ringan dengan kandungan serat bambu 0% mempunyai lendutan sebesar 1,18 mm dan pelat beton ringan dengan kandungan serat bambu 0,5% mempunyai lendutan sebesar 1,57 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pencampuran 0,5% serat bambu pada pelat beton ringan mengurangi kekuatan pelat beton tersebut terhadap lendutan

Perbandingan Lendutan Teoritis dan Lendutan Eksperimental

Berikut perhitungan dan perbandingan hasil teoritis dan hasil pengujian.

- 1) Pelat Beton Ringan dengan Kadar Serat Bambu 0%

Perhitungan pembebanan 300 kg pada pelat

$$q_D = B_j \text{ Beton} \times b \times h$$

$$= 1474,84 \times 0,5 \times 0,08$$

$$\begin{aligned}
 &= 58,99 \text{ kg/m} \\
 &= 0,579 \text{ N/mm} \\
 q_L &= \frac{\text{Beban yang bekerja}}{L} \\
 &= \frac{300}{1,5} \\
 &= 200 \text{ kg/m} \\
 &= 1,962 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_U &= q_D + q_L \\
 &= 0,579 + 1,962 \\
 &= 2,541 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan lendutan teoritis pelat

$$\begin{aligned}
 E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f'c'} \\
 &= 1474,84^{1,5} \times 0,043 \sqrt{3,78} \\
 &= 4733,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

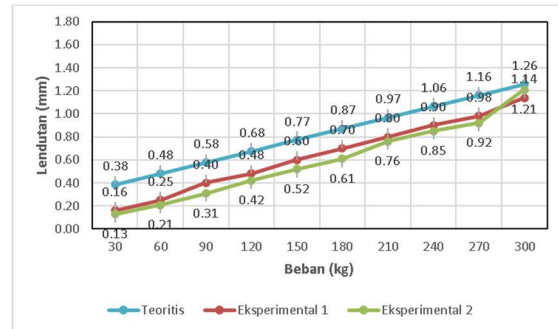
$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{12} \times 500 \times 80 \\
 &= 2133333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{teoritis}} &= \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E \times I} \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{2,54 \times 1500^4}{4733,4 \times 2133333} \\
 &= 1,259 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\delta_{\text{eksperimen}} = 1,14 \text{ mm}$$

Tabel 4. 3 Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimental Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0%

Beban (kg/m)	Beban (N/mm)	Berat Sendiri (N/mm)	Beban Total (N/mm)	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	
					1	2
20	0,196	0,579	0,775	0,384	0,16	0,13
40	0,392	0,579	0,971	0,481	0,25	0,21
60	0,589	0,579	1,167	0,578	0,40	0,31
80	0,785	0,579	1,364	0,675	0,48	0,42
100	0,981	0,579	1,560	0,773	0,60	0,52
120	1,177	0,579	1,756	0,870	0,70	0,61
140	1,373	0,579	1,952	0,967	0,80	1,15
160	1,570	0,579	2,148	1,064	0,90	2,27
180	1,766	0,579	2,345	1,161	0,98	1,43
200	1,962	0,579	2,541	1,259	1,14	1,57



Grafik 4. 3 Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimental Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0%

2) Pelat Beton Ringan dengan Kadar Serat Bambu 0,5%

Perhitungan pembebanan 300 kg pada pelat

$$\begin{aligned}
 q_D &= B_j \text{ Beton} \times b \times h \\
 &= 1474,84 \times 0,5 \times 0,08 \\
 &= 58,99 \text{ kg/m} \\
 &= 0,579 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_L &= \frac{\text{Beban yang bekerja}}{L} \\
 &= \frac{300}{1,5} \\
 &= 200 \text{ kg/m} \\
 &= 1,962 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_U &= q_D + q_L \\
 &= 0,579 + 1,962 \\
 &= 2,541 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan lendutan teoritis pelat

$$\begin{aligned}
 E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f'c'} \\
 &= 1474,84^{1,5} \times 0,043 \sqrt{3,40} \\
 &= 4487,7 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

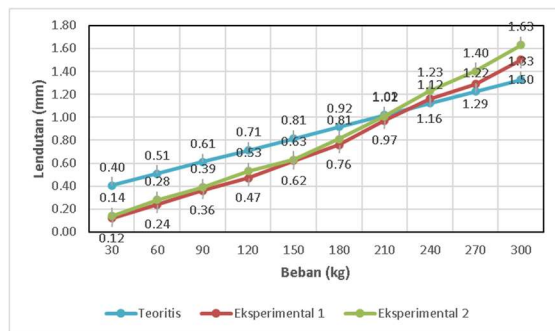
$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{12} \times 500 \times 80 \\
 &= 2133333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{\text{teoritis}} &= \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E \times I} \\
 &= \frac{5}{384} \times \frac{3,79 \times 1500^4}{4487,7 \times 2133333} \\
 &= 1,979 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\delta_{\text{eksperimen}} = 1,50 \text{ mm}$$

Tabel 4. 4 Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimental Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0,5%

Beban (kg/m)	Beban (N/mm)	Berat Sendiri (N/mm)	Beban Total (N/mm)	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	
					1	2
20	0,196	0,579	0,775	0,405	0,12	0,14
40	0,392	0,579	0,971	0,507	0,24	0,28
60	0,589	0,579	1,167	0,610	0,36	0,39
80	0,785	0,579	1,364	0,712	0,47	0,53
100	0,981	0,579	1,560	0,815	0,62	0,63
120	1,177	0,579	1,756	0,917	0,76	0,81
140	1,373	0,579	1,952	1,020	0,97	1,01
160	1,570	0,579	2,148	1,122	1,16	1,23
180	1,766	0,579	2,345	1,225	1,29	1,40
200	1,962	0,579	2,541	1,327	1,50	1,63



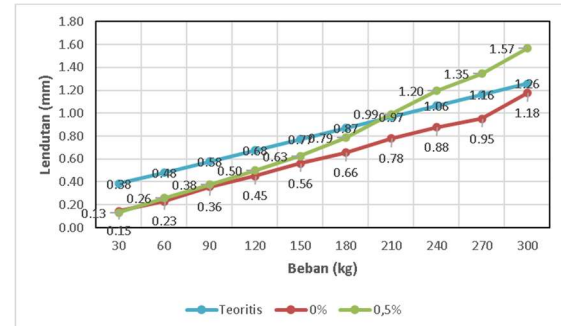
Grafik 4. 4 Perbandingan Lendutan Teoritis dan Eksperimental Pelat Beton Ringan dengan Kadungan Serart Bambu 0,5%

Perbandingan lendutan pelat beton ringan dengan kandungan serat bambu 0% dan pelat beton ringan dengan kandungan serat bambu 0,5%

Tabel 4. 5 Perbandingan Lendutan Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0% dan 0,5%

No	Beban (kg)	Beban (kg)	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	
				0%	0,5%
1	30	20	0,384	0,15	0,13
2	60	40	0,481	0,23	0,26
3	90	60	0,578	0,36	0,38
4	120	80	0,675	0,45	0,50
5	150	100	0,773	0,56	0,63
6	180	120	0,870	0,66	0,79
7	210	140	0,967	0,78	0,99

8	240	160	1,064	0,88	1,20
9	270	180	1,161	0,95	1,35
10	300	200	1,259	1,18	1,57



Grafik 4. 5 Perbandingan Lendutan Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0% dan 0,5%

Dari grafik 4.5 tersebut dapat dilihat jika setiap pelat beton dalam pengujian mempunyai lendutan yang tidak jauh berbeda dari lendutan teoritis yang telah diperhitungkan. Akan tetapi lendutan yang terjadi pada pelat beton ringan dengan kandungan serat bambu 0,5% lebih besar daripada pelat beton ringan dengan kandungan serat bambu 0%. Hal tersebut menunjukkan jika pencampuran 0,5% serat bambu pada pelat beton ringan mengurangi kekuatan pelat beton tersebut terhadap lendutan.

Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Untuk perhitungan lendutan izin maksimum suatu pelat beton mengikuti SNI 2847:2019. Untuk perhitungan beban direncanakan sesuai beban yang dilakukan pada pengujian pelat dengan beban terbesar 300 kg.

- a) Pelat Beton Ringan dengan Kadar Serat Bambu 0%

$$\begin{aligned} \Delta(\text{ijin}) &= \frac{Lt}{360} \\ &= \frac{1500}{360} \\ &= 4,167 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \delta_{\text{eksperimental}} &< \delta_{\text{izin}} \\ 1,14 &< 4,167 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

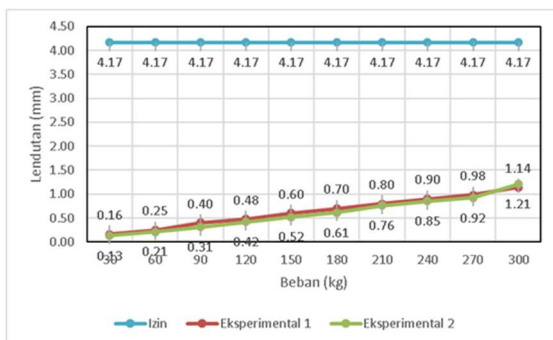
Dari perhitungan di atas didapat lendutan maksimum yang diizinkan sebesar 4,167 mm sedangkan lendutan pada saat pembebanan 300 kg didapat lendutan maksimum sebesar 1,14 mm. Maka dari itu, pelat ringan dengan kandungan serat bambu 0% dengan perkuatan tulangan baja memenuhi syarat lendutan izin.

Tabel 4. 6 Kontrol Lendutan Izin Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0% (Benda Uji 1)

Beban (kg)	Lendutan Izin (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	Kontrol Lendutan
30	4,167	0.160	Memenuhi
60	4,167	0.250	Memenuhi
90	4,167	0.400	Memenuhi
120	4,167	0.480	Memenuhi
150	4,167	0.600	Memenuhi
180	4,167	0.700	Memenuhi
210	4,167	0.800	Memenuhi
240	4,167	0.900	Memenuhi
270	4,167	0.980	Memenuhi
300	4,167	1.140	Memenuhi

Tabel 4. 7 Kontrol Lendutan Izin Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0% (Benda Uji 2)

Beban (kg)	Lendutan Izin (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	Kontrol Lendutan
30	4,167	0.130	Memenuhi
60	4,167	0.210	Memenuhi
90	4,167	0.310	Memenuhi
120	4,167	0.420	Memenuhi
150	4,167	0.520	Memenuhi
180	4,167	0.610	Memenuhi
210	4,167	0.760	Memenuhi
240	4,167	0.850	Memenuhi
270	4,167	0.920	Memenuhi
300	4,167	1.210	Memenuhi



Grafik 4. 6 Kontrol Lendutan Izin Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0%

b) Pelat Beton Ringan dengan Kadar Serat Bambu 0,5%

$$\Delta(ijin) = \frac{Lt}{360} = \frac{1500}{360} = 4,167 \text{ mm}$$

Kontrol

$$\delta_{eksperimental} < \delta_{izin}$$

$$1,50 < 4,167 \text{ (Memenuhi)}$$

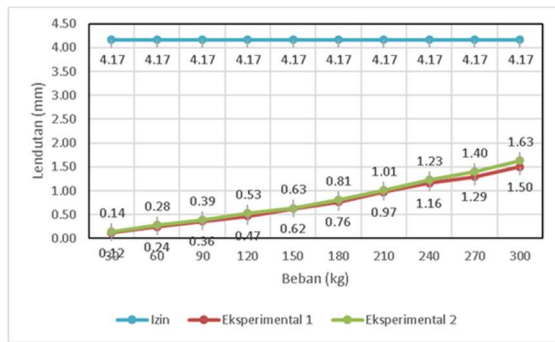
Dari perhitungan di atas didapat lendutan maksimum yang diizinkan sebesar 4,167 mm sedangkan lendutan pada saat pembebanan 300 kg didapat lendutan maksimum sebesar 1,50 mm. Maka dari itu, pelat beton normal dengan perkuatan tulangan baja memenuhi syarat lendutan izin

Tabel 4. 8 Kontrol Lendutan Izin Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0,5% (Benda Uji 1)

Beban (kg)	Lendutan Izin (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	Kontrol Lendutan
30	4,167	0.120	Memenuhi
60	4,167	0.240	Memenuhi
90	4,167	0.360	Memenuhi
120	4,167	0.470	Memenuhi
150	4,167	0.620	Memenuhi
180	4,167	0.760	Memenuhi
210	4,167	0.970	Memenuhi
240	4,167	1.160	Memenuhi
270	4,167	1.290	Memenuhi
300	4,167	1.500	Memenuhi

Tabel 4. 9 Kontrol Lendutan Izin Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0,5% (Benda Uji 2)

Beban (kg)	Lendutan Izin (mm)	Lendutan Eksperimental (mm)	Kontrol Lendutan
30	4,167	0.140	Memenuhi
60	4,167	0.280	Memenuhi
90	4,167	0.390	Memenuhi
120	4,167	0.530	Memenuhi
150	4,167	0.630	Memenuhi
180	4,167	0.810	Memenuhi
210	4,167	1.010	Memenuhi
240	4,167	1.230	Memenuhi
270	4,167	1.400	Memenuhi
300	4,167	1.630	Memenuhi



Grafik 4. 7 Kontrol Lendutan Izin Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0,5%

Kapasitas Nominal Pelat

- a) Pelat beton ringan dengan kadar serat bambu 0%
 Luas Tulangan ada

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n$$

$$= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 8^2 \times 4$$

$$= 201,1 \text{ mm}$$

Dengan prinsip keseimbangan gaya $C_c = T_s$ dapat diperoleh nilai a.

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{201,1 \times 500}{0,85 \times 3,78 \times 500}$$

$$= 40,94 \text{ mm}$$

Gaya daerah tekan pada beton

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 3,78 \times 40,94 \times 500$$

$$= 100571,43 \text{ N}$$

Gaya daerah tarik pada tulangan

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$= 201,1 \times 500$$

$$= 100571,43 \text{ N}$$

Kontrol keseimbangan gaya

$$C_c = T_s$$

$$100571,43 = 100571,43$$



Gambar 4. 2 Diagram Gaya Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0%

Maka momen nominal kapasitas penampang pelat

$$M_n = T_s \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 100571,43 \times \left(56 - \frac{40,94}{2}\right)$$

$$= 3573255,395 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 3573255,4$$

$$= 3215929,86 \text{ Nmm}$$

Menghitung maksimal yang bekerja

$$q_U = 2,541 \text{ N/mm}$$

$$M_U = \frac{1}{8} \times q_U \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 2,541 \times 1500^2$$

$$= 714579,07 \text{ Nmm}$$

Kontrol

$$M_u < \phi M_n$$

$$714579,07 < 3215929,9 \text{ (Menehuni)}$$

- b) Pelat beton ringan dengan kadar serat bambu 0,5%

Luas Tulangan ada

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n$$

$$= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 8^2 \times 4$$

$$= 201,1 \text{ mm}$$

Dengan prinsip keseimbangan gaya $C_c = T_s$ dapat diperoleh nilai a.

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{201,1 \times 500}{0,85 \times 3,40 \times 500}$$

$$= 43,82 \text{ mm}$$

Gaya daerah tekan pada beton

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 3,40 \times 43,82 \times 500$$

$$= 100571,43 \text{ N}$$

Gaya daerah tarik pada tulangan

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$= 201,1 \times 500$$

$$= 100571,43 \text{ N}$$

Kontrol keseimbangan gaya

$$C_c = T_s$$

$$100571,43 = 100571,43$$



Gambar 4. 3 Diagram Gaya Pelat Beton Ringan dengan Kandungan Serat Bambu 0,5%

Maka momen nominal kapasitas penampang pelat

$$\begin{aligned} M_n &= T_s \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 100571,43 \times \left(56 - \frac{43,82}{2}\right) \\ &= 3428380,775 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 3428380,8 \\ &= 3085542,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menghitung maksimal yang bekerja
 $q_U = 2,541 \text{ N/mm}$

$$\begin{aligned} M_U &= \frac{1}{8} \times q_U \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 2,541 \times 1500^2 \\ &= 714579,07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol
 $M_u < \phi M_n$
 $714579,07 < 3085542,7$ (*Memenuhi*)

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Nilai rata-rata kuat tekan silinder beton dari hasil pengujian.
 - a. beton normal sebesar 26,27 MPa.
 - b. beton ringan dengan kandungan serat bambu 0% sebesar 3,78 MPa.
 - c. beton ringan dengan kandungan serat bambu 0,5% sebesar 3,40 MPa.

Beton ringan memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dari beton normal karena adanya kandungan styrofoam yang membentuk rongga udara pada beton. Kuat tekan beton ringan campuran Styrofoam tidak memenuhi persyaratan sebagai beton ringan struktural.
2. Nilai rata-rata lendutan yang terjadi pada pengujian dengan pembebanan maksimal sebesar 300 kg.
 - a. Pelat beton ringan dengan kandungan 0% serat bambu sebesar 1,18 mm.
 - b. Pelat beton ringan dengan kandungan 0,5% serat bambu sebesar 1,57 mm.

Pelat beton ringan dengan campuran serat bambu memiliki lendutan yang lebih besar daripada pelat beton ringan tanpa campuran serat bambu. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat bambu pada pelat beton ringan tidak menambah kapasitas lentur pada pelat tersebut
3. Perbedaan antara perhitungan teoritis dan pengujian dikarenakan rumus perhitungan teori yang digunakan dalam penelitian ini tidak memperhitungkan kandungan dan sifat *Styrofoam* pada pelat.

4. Kedua jenis pelat beton yang digunakan dalam pengujian tidak ada yang mengalami retak karena pengujian hanya dilakukan dengan beban maksimal sebesar 300 kg dan berdasarkan perhitungan lendutan izin maksimum, pelat beton yang digunakan pada pengujian memenuhi persyaratan lendutan izin maksimum yaitu tidak lebih dari 4,167 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Anonim. (2002). *ACI Committee 544 State of the art report on fiber reinforced concrete - Report*. American Concrete Intitute.
- Anonim. (2008). *SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Anonim. (2011). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Anonim. (2012). *ASTM C-150 Standard specification for portland cement*. Association of Standard Testing Materials.
- Anonim. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- Dipohusodo, I. (1994). *STRUKTUR BETON BERTULANG*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Jonathan Aaron, & Widodo Kushartomo. (2023). *Pengaruh Kerapatan Wiremesh Terhadap Kapasitas Lentur Pelat Beton Ringan Komposit*. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 6(2), 207–216.
- Kurniati, D. (2020). *Desain dan Perencanaan Pelat dan Balok* (A. H. Pamungkas & P. Ramadani (ed.)).
- Lestari, D. D. (2022). *Pengaruh Variasi Campuran Serat Bambu Pada Kuat Tekan Beton Serat*. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), 1–7.
- Mansyur, M., Yusmartini, E. S., & Kharismadewi, D. (2021). *Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Kualitas Beton K-255*. *Distilasi*, 6(2), 1–6.
- Mulyono, T. (2015). *TEKNOLOGI BETON: Dari Teori Ke Praktek* (Nomor June). Lembaga Pengembangan Pendidikan - UNJ.
- Priskasari, E., Wedyantadji, B., Erfan, M., Aditama, V., & Sunarwadi, H. S. W. (2023). *Studi Eksperimental Dan Numerik Pelat Beton Dengan Perkuatan Tulangan Bambu*. *Prosiding SEMSINA*, 4(01), 253–260.
- Sintiawan, A. O., Kushartomo, W., & Leman, S. (2023). *Analisis Kapasitas Pelat Beton Ringan Menggunakan Aplikasi Midas Fea*. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 611–618.