

**INTERAKSI KEKUATAN LENTUR DAN BERAT VOLUME
PELAT BETON RINGAN TUMPUAN SEDERHANA
BERTULANGAN BAMBU**

PUBLIKASI ILMIAH

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MOCHAMAD HADI SASMITA

NIM. 125060100111068

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

INTERAKSI KEKUATAN LENTUR DAN BERAT VOLUME PELAT BETON RINGAN TUMPUAN SEDERHANA BERTULANGAN BAMBU

Mochamad Hadi Sasmita, Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya

Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, Indonesia - Telp. : (0341) 567710, 587711
E-mail: hadisasmita7@gmail.com

ABSTRAK

Berada di daerah rawan gempa, meningkatnya kebutuhan manusia dan terbatasnya sumberdaya alam menuntut adanya alternatif pada dunia konstruksi. Teknologi tahan gempa memerlukan adanya inovasi yaitu beton ringan. Beton ringan adalah beton yang memiliki berat volume lebih ringan daripada beton konvensional. Dengan menggunakan beton ringan dapat mengurangi berat struktur dan berdampak pada desain struktur itu sendiri. Penelitian ini dirancang dengan dua benda uji pelat dengan dimensi 100 x 80 x 5 cm dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) / AXH dan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) / BXH. Pengujian diletakkan diatas dua tumpuan sederhana. Berdasarkan hasil penelitian, pelat BXH dengan berat volume 2085,932 kg/m³ mampu menahan beban vertikal maksimum 54,7% lebih besar dibandingkan pelat AXH yang memiliki berat volume 2109,932 kg/m³. Pada saat kondisi elastis pelat AXH memiliki defleksi 19,62% lebih besar dibandingkan pelat BXH. Pelat BXH memiliki kekakuan lebih tinggi dibanding pelat AXH. Terdapat selisih kekakuan sebesar 17%. Pada pengamatan pola retak, keruntuhan terjadi pada momen maksimum yang berada ditengah bentang, dimana pola retak ini sesuai dengan teori garis leleh akibat beban terpusat garis ditengah bentang.

Kata kunci : pelat, kuat lentur, berat volume, beton ringan, tulangan bambu.

ABSTRACT

Located in earthquake prone areas, increasing human needs and limited natural resources in the world requires the existence of alternative construction purposes. Earthquake resistant technology innovations that require lightweight concrete. Lightweight concrete is concrete that has a volume weight lighter than conventional concrete. By using lightweight concrete can reduce the weight of the structure and impact on the design of the structure. The study was designed with two specimen slab with dimensions of 100 x 80 x 5 cm with a minimum reinforcement ratio (ρ_{min}) / AXH and half of the maximum reinforcement ratio ($0,5 \rho_{maks}$) / BXH. The slab is placed on two beam with the assumption simple supported slab. Based on the research results, BXH slab with volume weight 2085,932 kg/m³ is able to withstand the maximum vertical load 54,7% higher than AXH slab which have volume weight 2109,932 kg/m³. At elastic condition, deflection AXH slab have 19,62% bigger than BXH slab. BXH plate has a stiffness higher than AXH plate. There is a difference in stiffness by 17%. In observation of crack patterns, collapse occurred in the maximum moment at the center of the span, where the crack pattern is consistent with the theory of yield lines due to concentrated force in middle span.

Keywords : slab, flexural strength, volume weight, lightweight concrete, bambu reinforcement.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi rekayasa beton yang berkembang sangat pesat, pemanfaatan material bambu sebagai alternatif pengganti baja, perencanaan bangunan tahan gempa, serta kebutuhan pembangunan yang terus menuntut adanya inovasi, yang kemudian memberikan gagasan akan plat beton bertulang bambu. Namun demikian, gagasan ini masih perlu dikaji secara mendalam dan berkelanjutan guna mendapatkan karakteristik teknis yang diharapkan.

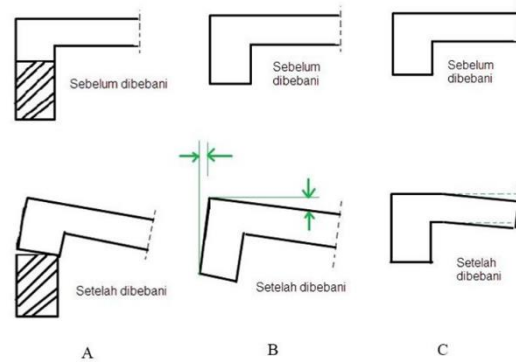
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelat

Pelat beton bertulang adalah struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal, dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. (Asroni, 2010).

Dalam perencanaan pelat perlu diperhatikan tumpuan dan sambungan di tumpuan. Aspek tersebut menentukan besarnya momen lentur yang terjadi pada pelat. Ada tiga jenis perletakan pelat pada balok, yaitu:

1. Terletak Bebas
Suatu pelat terletak bebas, jika pelat diletakkan begitu saja di atas balok tanpa pengekangan, atau antara balok dan pelat tidak dicor monolit, sehingga terjadi rotasi bebas pada tumpuan.
2. Terjepit Elastis
Suatu pelat terjepit elastis, bila pelat dan balok dicor monolit, tetapi balok tidak kuat menahan rotasi akibat pelat karena dimensinya cukup kecil.
3. Terjepit Penuh
Suatu pelat terjepit penuh, bila pelat dan balok dicor monolit, dimensi balok cukup besar sehingga mampu menahan rotasi.



(a) pelat terletak bebas (b) pelat terjepit elastis (c) pelat terjepit penuh

Gambar 2.1 Perletakan balok pada pelat
Sumber : Ali Asroni (2010)

Sistem perencanaan terbagi menjadi sistem perencanaan pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*). Sistem perencanaan pelat satu arah adalah pelat dengan tulangan utama pada satu arah karena momen lentur hanya bekerja pada satu arah saja. Untuk menghindari terjadinya perpindahan posisi tulangan utama maka perlu dipasang tulangan bagi.

Sedangkan sistem perencanaan pelat dua arah merupakan pelat dengan tulangan pokok terdapat pada dua arah karena momen lentur bekerja pada kedua arah bentang. Namun, pada daerah tumpuan hanya bekerja momen satu arah saja, sehingga perlu dipasang tulangan bagi.

2.2 Beton Komposit

Beton sendiri merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). (Mulyono, 2005).

Pada prinsipnya struktur komposit adalah struktur yang tergabung dari beberapa bahan dasar yang bekerja sama membentuk sebuah kesatuan struktur untuk memenuhi kebutuhan lingkungan (Dewi S. M., 2008), yang mengadopsi sifat dan interaksi antar komponen penyusunnya secara fisik, kimia, maupun mekanik.

Penelitian pelat beton menggunakan tulangan bambu. memerlukan peninjauan terhadap luas tulangan bambu. Karena besar modulus elastisitas dari beton (E_c) lebih besar dari tulangannya (E bambu), maka dilakukan perhitungan dengan mengganti luas beton dengan luas bambu, menggunakan nilai perbandingan modulus elastisitas berikut:

$$\frac{E_c}{E \text{ bambu}} \quad (2-1)$$

Sehingga diperoleh luas penampang transformasinya:

$$A = b \cdot h + (n - 1) \cdot A_s \quad (2-2)$$

2.3 Bambu

Bambu adalah salah satu tanaman jenis rumput-rumputan yang memiliki batang keras, berongga, berserat dan memiliki ruas di batangnya. Di Indonesia, bambu merupakan salah satu material yang serbaguna, biasa dijumpai sebagai meja, kursi, interior, dan sebagainya. Namun masih jarang jika membicarakan bambu sebagai elemen struktural bangunan gedung. Untuk itulah perlu pengkajian secara mendalam dan berkelanjutan terkait aspek teknis bambu sebagai elemen struktural tersebut, karena perlu pertimbangan mengenai kekuatan, kelebihan dan kekurangannya.

Kelemahan bambu adalah serangan serangga dan sifat kembang susut. Untuk masalah serangga dapat diatasi dengan melakukan pengawetan, misalnya dengan merendam bambu dalam air (Ghavami, 2004). Sedangkan sifat kembang susut, diminimalkan dengan lapisan kedap air yang dapat berupa melamin, sikadur, cat, atau vernis. Pada penelitian ini, dipilih lapisan cat, dengan mempertimbangkan daya lekat, cara mengaplikasikan, dan kemampuan membentuk kohesif *film*, serta tahan terhadap cuaca.

Kekuatan bambu berbeda pada setiap bagiannya, antara pangkal, tengah dan ujungnya. berikut disajikan hasil beberapa penelitian terdahulu yang dapat menginterpretasikan kekuatan bambu:

Tabel 2.1 Kuat tarik rata rata bambu pada berbagai posisi

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (MPa)
Petung	Pangkal	288
	Tengah	177
	Ujung	208
Tutul	Pangkal	239
	Tengah	292
	Ujung	449
Galah	Pangkal	192
	Tengah	335
	Ujung	232
Apus	Pangkal	144
	Tengah	137
	Ujung	174

Sumber : Morisco (1999)

Tabel 2.2 Kuat tekan rata-rata bambu bulat

Jenis Bambu	Bagian	Kuat Tarik (MPa)
Petung	Pangkal	277
	Tengah	409
	Ujung	548
Tutul	Pangkal	532
	Tengah	543
	Ujung	464
Galah	Pangkal	327
	Tengah	399
	Ujung	405
Apus	Pangkal	215
	Tengah	288
	Ujung	335

Sumber : Morisco (1999)

Tabel 2.3 Modulus elastisitas lentur

Jenis Bambu	Minimum (MPa)		Maksimum (MPa)		Rata - rata (MPa)	
	Dengan buku	Tanpa buku	Dengan buku	Tanpa buku	Dengan buku	Tanpa buku
Apus	4467	7796	16105	24455	8908	15225
Temen	9193	2435	23984	89845	16091	29638
Petung	12533	18989	19516	82645	14864	32079

Sumber : Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (1984)

2.4 Berat Volume

Berat volume merupakan rasio antara berat dan volume yang ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2-3)$$

2.5 Kekakuan

Pada dasarnya hubungan beban dan defleksi dari balok beton bertulang dapat diidealisasikan menjadi bentuk tiga garis lurus. Hubungan tiga garis lurus ini

meliputi tiga tahap sebelum terjadinya kondisi runtuh, yang terbagi menjadi tahap praretak di mana elemen struktural masih belum retak, tahap pascaretak di mana elemen struktural sudah mengalami retak namun masih dapat ditoleransi, dan tahap *post-serviceability* di mana tulangan tarik pada elemen struktural sudah mencapai tegangan leleh.

Kekakuan merupakan perbandingan antara beban dengan defleksi pada saat plat beton dalam keadaan elastis penuh atau dapat diidentifikasi sebagai kemiringan garis grafik hubungan beban dan defleksi pada tahap praretak. Sehingga kekakuan dapat dihitung dengan persamaan:

$$k = \frac{P}{\Delta} \quad (2-4)$$

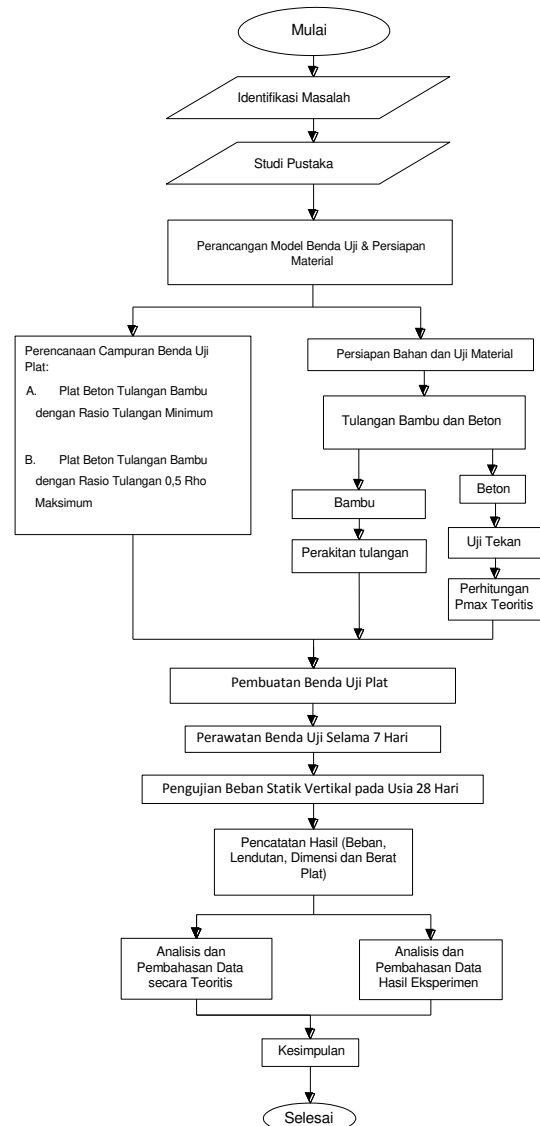
2.6 Defleksi

Defleksi batang struktural merupakan suatu fungsi dari panjang bentang, perletakan atau kondisi ujung-ujungnya (misalnya jenis tumpuan atau adanya tahanan karena hubungan batang-batang), jenis beban (beban terpusat atau beban merata), dan kekakuan lentur (EI) dari suatu elemen. Dalam penelitian ini kemudian ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\Delta_{maks} = \frac{P.l^3}{48.EI} \quad (2-5)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

1. Persiapan benda uji pelat beton bertulangan bambu ukuran 80 x 100 x 5 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 1 x 0,5 cm. Pada benda uji ini digunakan rasio tulangan minimum (ρ_{min}). Benda uji sebanyak 3 buah.
2. Persiapan benda uji pelat beton bertulangan bambu ukuran 80 x 100 x 5 cm dengan dimensi penampang tulangan bambu 1 x 0,5 cm. Pada benda uji ini digunakan komposisi tulangan 0,5 rasio tulangan

maksimum ($0,5 \rho_{maks}$). Benda uji sebanyak 3 buah.

3. Pembuatan bekisting.
4. Pengecoran benda uji pelat.
5. Pengambilan sampel silinder beton berukuran 15 cm sejumlah 3 buah pada masing-masing pengecoran.
6. Perawatan benda uji selama 7 hari dengan cara disiram dan ditutup karung basah.
7. Pengujian kuat tekan beton dari sampel pelat setelah berumur 28 hari.
8. Pengujian pelat beton yang berusia 28 hari dilakukan dengan beban statik vertikal bertahap hingga mencapai beban maksimum aktual.
9. Rekap dan analisis data.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat hubungan antara variabel A dan variabel B. Variabel A adalah variabel bebas (*antecedent*) dan variabel B adalah variabel terikat (*dependent*).

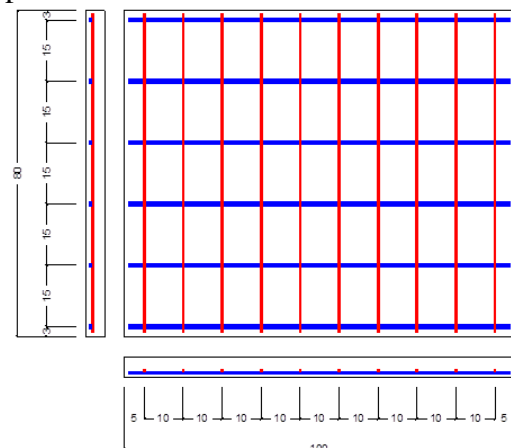
Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas (*antecedent*)
 - Benda uji terdiri atas 2 jenis, yaitu 3 buah pelat beton ringan dengan rasio tulangan bambu minimum (ρ_{min}) dan 3 buah pelat beton ringan dengan tulangan bambu 0,5 rasio tulangan maksimum ($0,5 \rho_{max}$).
- b. Variabel terikat (*dependent*)
 - Besar beban
 - Nilai defleksi
 - Berat volume

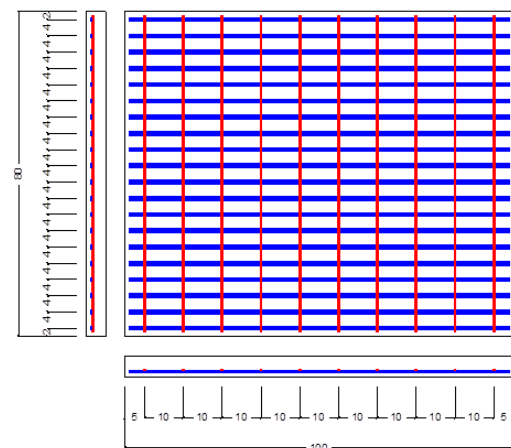
3.4 Benda Uji

Benda uji berupa pelat beton ringan dengan rasio tulangan bambu minimum (ρ_{min}) sebanyak 3 buah dan pelat beton ringan dengan komposisi 0,5 rasio tulangan bambu maksimum ($0,5 \rho_{max}$) sebanyak 3 buah. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu petung. Dimensi tulangan bambu 1x0,5 cm dengan panjang 98 cm untuk tulangan utama dan 0,5x0,5 cm dengan panjang 78 cm untuk tulangan bagi. Beton dicor secara konvensional

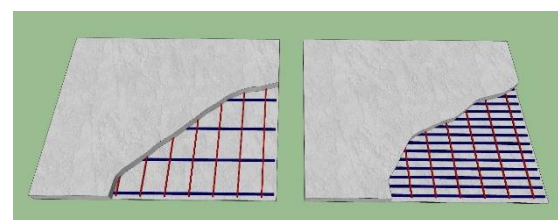
dengan campuran semen, pasir, dan batu split.



Gambar 3.2 Detail benda uji dengan rasio tulangan minimum



Gambar 3.3 Detail benda uji dengan tulangan 0,5 rasio maksimum

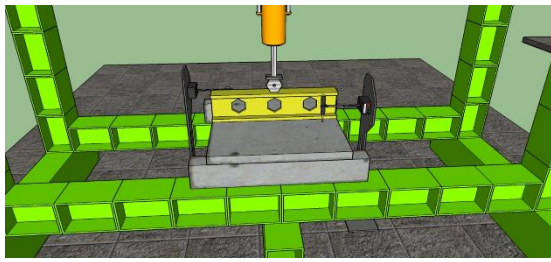


Gambar 3.4 Tampak 3D (a) pelat beton dengan rasio tulangan minimum (b) pelat beton dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum

3.5 Setting Up

Setting up untuk pengujian pelat beton dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Sebelum pengujian dilakukan, dilakukan kalibrasi skala pembacaan beban dan defleksi. Benda uji diletakkan pada balok tumpuan di kedua sisi pelat

dan diberikan beban hingga mencapai keruntuhan, kemudian diperoleh data besar beban, defleksi, dan dimensi pelat.



Gambar 3.5 *Setting up* Pengujian Pelat Beton (tumpuan tanpa kekangan)

3.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah:

1. Pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan minimum akan menahan beban vertikal maksimum lebih kecil dibandingkan pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum.
2. Pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan minimum akan memiliki defleksi lebih besar dibandingkan pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum.
3. Pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan minimum akan memiliki berat volume lebih besar dibandingkan pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum.
4. Pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan minimum akan memiliki kekakuan lebih kecil dibandingkan pelat beton bertulangan bambu dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum.
5. Pelat beton bertulangan bambu dengan kondisi tumpuan tak terkekang akan menahan beban vertikal maksimum lebih kecil dibandingkan pelat beton bertulangan bambu dengan kondisi tumpuan terkekang.
6. Pada kondisi elastis pelat beton bertulangan bambu dengan tumpuan terkekang memiliki defleksi lebih

kecil dibandingkan dengan pelat beton bertulangan bambu dengan tumpuan tak terkekang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Material Penyusun Pelat

❖ *Slump Test*

Pengujian Slump dilaksanakan untuk mengetahui *workability* beton segar. Nilai slump diperoleh dengan cara mengukur penurunan permukaan dari puncak kerucut abrams. Dari hasil pengujian didapatkan nilai slump sebesar 91,75 mm dimana nilai tersebut masih memenuhi dari target yang diinginkan yaitu 100 ± 20 mm.

❖ **Pengujian Resapan Air Terhadap Bambu**



Gambar 4.1 Pengujian resapan bambu terhadap air

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa tinta tidak meresap ke dalam tulangan bambu yang telah direndam selama 3 hari. Hal ini membuktikan bahwa pelapisan cat dan penaburan pasir berhasil mengurangi sifat higroskopis bambu yang mencegah air meresap ke dalam bambu.

❖ **Kuat Tekan Beton**

Dalam pengujian kuat tekan beton ini digunakan 8 buah silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk 6 buah pelat, dimana 3 pelat pertama untuk pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) dan 3 buah pelat kedua untuk pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum (ρ_{\max}). Berikut adalah hasil pengujian kuat tekan beton.

Tabel 4.1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Berat (kg)	Luas (mm ²)	Volume (m ³)	Berat Isi (kg/m ³)	P _{Maks} (N)	Kuat Tekan (MPa)
A	11,45	17678,571	0,0053	2158,923	408000	23,079
B	11,30	17678,571	0,0053	2130,640	531000	30,036
C	11,35	17678,571	0,0053	2140,067	648000	36,655
D	11,50	17678,571	0,0053	2168,350	648000	36,655
E	11,20	17678,571	0,0053	2111,785	551000	31,168
F	11,60	17678,571	0,0053	2187,205	541000	30,602
G	11,40	17678,571	0,0053	2149,495	683000	38,634
H	11,75	17678,571	0,0053	2215,488	569000	32,186
f _{cm}						32,377
SD						4,962

Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata untuk perbandingan 1:3:1 sebesar 32,377 MPa.

4.2. Kekuatan Lentur Satu Arah

❖ Tegangan Leleh Bambu

Terdapat dua nilai tegangan leleh dimana salah satu nilai tegangan leleh berasal dari data sekunder yang diperoleh dari penelitian Nindyawati (2014) sebesar 60,27 MPa sedangkan satu lagi berasal dari data beban maksimum. Berikut adalah nilai tegangan leleh dari beban maksimum.

Tabel 4.2 Tegangan leleh tulangan bambu

No.	Benda Uji	P _{Maks} (kg)	F _{Friksi} (kg/cm ²)	f _y Ekuivalen (MPa)
1	AXH-1	950	10,696	157,224
2	AXH-2	900	9,447	138,875
3	AXH-3	800	9,344	137,351
Rata - Rata				144,483
1	BXH-1	1400	4,697	69,053
2	BXH-2	2550	8,690	127,750
3	BXH-3	1900	6,408	94,194
Rata - Rata				96,999

Pada pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum (0,5 ρ_{maks}) memiliki jumlah tulangan lebih banyak tetapi nilai friksinya lebih kecil karena pada saat pelat terbebani beton yang bergesekan dengan tulangan mengalami kerusakan karena jarak yang berdekatan.

❖ Kekuatan Lentur Satu Arah Teoritis

Berdasarkan perhitungan teoritis pelat dengan f_y = 60,27 MPa, pelat dengan

rasio tulangan minimum (ρ_{min}) mampu menahan beban maksimum rata – rata 346,780 kg. Sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum (0,5 ρ_{maks}) menahan beban maksimum sebesar 1220,742 kg.

❖ Kekuatan Lentur Satu Arah Aktual

Pengujian balok dilakukan pada saat umur beton mencapai 28 hari. Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data seperti pada tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.3 Beban maksimum aktual pelat rasio minimum (ρ_{min})

No	Benda Uji	P _{Maks} (kg)				(%)	(%)
		Aktual	Rata - Rata	Teoritis 1	Teoritis 2		
1	AXH-1	950					
2	AXH-2	900	883,333	346,780	883,213	60,742	0,014
3	AXH-3	800					

Tabel 4.4 Beban maksimum aktual pelat rasio 0,5 rasio maksimum (0,5 ρ_{maks})

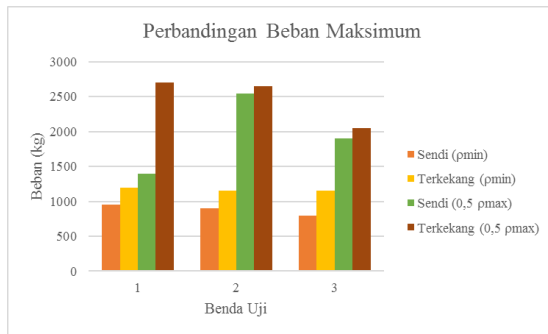
No	Benda Uji	P _{Maks} (kg)				(%)	(%)
		Aktual	Rata - Rata	Teoritis 1	Teoritis 2		
1	BXH-1	1400					
2	BXH-2	2550	1950	1220,742	1955,659	37,398	0,290
3	BXH-3	1900					

Berdasarkan tabel diatas pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum (0,5 ρ_{maks}) menahan beban maksimum 54,7% lebih besar dibandingkan pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}). Hal ini dikarenakan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum (0,5 ρ_{maks}) memiliki jumlah tulangan lebih banyak sehingga kapasitas lenturnya lebih tinggi.

❖ Perbandingan Kekuatan Lentur Tumpuan Sendi dan Terkekang

Tabel 4.5 Tabel perbandingan kuat lentur tumpuan sendi dan terkekang

No	Benda Uji	Rasio Minimum		0,5 Rasio Maksimum	
		Sendi (kg)	Terkekang (kg)	Sendi (kg)	Terkekang (kg)
1	BU-1	950	1200	1400	2700
2	BU-2	900	1150	2550	2650
3	BU-3	800	1150	1900	2050
Rata-Rata		883,333	1166,667	1950	2466,667



Gambar 4.2 Grafik perbandingan kuat lentur tumpuan sendi dan terkekang

Berdasarkan tabel tersebut pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) dengan kondisi tumpuan terkekang menahan beban 24,29% lebih besar, sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) dengan tumpuan terkekang menahan beban 20,95% lebih besar. Pelat dengan kondisi terkekang menerima beban lebih besar karena adanya kekangan pada daerah tumpuan.

4.3. Berat Volume

❖ Berat Volume

Tabel 4.6 Perhitungan berat volume pelat rasio minimum (ρ_{min})

No	Benda Uji	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m^3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m^3)
1	AXH-1	99,800	80,067	5,850	0,0467	98,20	2100,745
2	AXH-2	100,433	80,200	6,200	0,0499	101,30	2028,456
3	AXH-3	100,167	80,233	5,700	0,0458	97,15	2120,752
4	AYR-1	100,133	80,033	5,667	0,0454	99,45	2189,916
5	AYR-2	99,967	79,933	5,767	0,0461	89,95	1952,060
6	AYR-3	100,000	79,633	5,467	0,0435	91,80	2108,750
Rata - Rata							2109,724

Tabel 4.7 Perhitungan berat volume pelat rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$)

No	Benda Uji	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Volume (m^3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m^3)
1	BXH-1	100,183	80,000	5,841	0,0468	95,60	2042,139
2	BXH-2	100,300	80,250	5,900	0,0475	98,75	2079,405
3	BXH-3	100,000	80,267	5,834	0,0468	99,30	2120,424
4	BYR-1	100,100	80,100	5,933	0,0476	100,00	2102,009
5	BYR-2	99,667	80,033	5,800	0,0463	96,90	2094,474
6	BYR-3	99,833	79,867	5,667	0,0452	93,85	2077,139
Rata - Rata							2085,932

Berdasarkan tabel 4.6 dan tabel 4.7 dapat diketahui bahwa pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki berat volume lebih ringan 1,13% dibanding pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}). Hal ini dikarenakan pada

pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki komposisi tulangan lebih banyak.

4.4. Kekakuan

❖ Modulus Elastisitas

Dari perhitungan penampang komposit diperoleh nilai EI komposit pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) sebesar 302236940,362 $kg.cm^2$ sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki nilai EI komposit sebesar 300643482,192 $kg.cm^2$.

Pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki nilai lebih kecil karena pelat tersebut memiliki luas tulangan lebih banyak, dimana luas penampang sangat berpengaruh terhadap nilai EI komposit.

❖ Rotasi

Tabel 4.8 Rotasi pelat beton rasio minimum (ρ_{min})

No	Benda Uji	$P_{Elastis}$ (kg)	Rotasi ($^{\circ}$)			%
			Aktual	Rata - Rata	Teoritis	
1	AXH-1	500	0,05			
2	AXH-2	500	0,05	0,050	0,054	7,496
3	AXH-3	500	0,05			

Tabel 4.9 Rotasi pelat beton rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$)

No	Benda Uji	$P_{Elastis}$ (kg)	Rotasi ($^{\circ}$)			%
			Aktual	Rata - Rata	Teoritis	
1	BXH-1	500	0,05			
2	BXH-2	500	0,05	0,033	0,054	61,734
3	BXH-3	500	0			

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki rotasi lebih kecil dibanding pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) karena memiliki kekuatan lentur lebih tinggi.

❖ Defleksi

Tabel 4.10 Defleksi pelat beton rasio minimum (ρ_{\min})

No	Benda Uji	P_{Elastis} (kg)	Lendutan (mm)			%
			Aktual	Rata - Rata	Teoritis	
1	AXH-1	500	1			
2	AXH-2	500	0,62	0,782	0,280	64,238
3	AXH-3	500	0,725			

Tabel 4.11 Defleksi pelat beton rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\text{maks}}$)

No	Benda Uji	P_{Elastis} (kg)	Lendutan (mm)			%
			Aktual	Rata - Rata	Teoritis	
1	BXH-1	500	0,575			
2	BXH-2	500	0,705	0,628	0,280	55,370
3	BXH-3	500	0,605			

Dari tabel diatas diketahui bahwa pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\text{maks}}$) memiliki defleksi lebih kecil daripada pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) karena memiliki jumlah tulangan lebih banyak.

Terdapat perbedaan antara nilai aktual dan teoritis karena nilai modulus elastis teoritis dan aktual yang berbeda akibat kurang sempurnanya lekatan antara beton dan tulangan bambu.

❖ Perbandingan Defleksi Tumpuan Sendi dan Tumpuan Terkekang

Tabel 4.12 Perbandingan defleksi tumpuan sendi dan terkekang

No	Benda Uji	Rasio Minimum		0,5 Rasio Maksimum	
		Sendi (mm)	Terkekang (mm)	Sendi (mm)	Terkekang (mm)
1	BU-1	1	0,37	0,575	0,565
2	BU-2	0,62	0,585	0,705	0,28
3	BU-3	0,725	0,59	0,605	0,665
	Rata-Rata	0,782	0,515	0,628	0,503

Berdasarkan tabel dapat diketahui bahwa defleksi pelat dengan tumpuan terkekang lebih kecil dari pelat dengan tumpuan sendi. Tetapi ada satu benda uji dengan tumpuan terkekang yang memiliki defleksi lebih besar akibat ketidak sempurnaan pelaksanaan. Pelat dengan kondisi tumpuan terkekang memiliki kekakuan yang lebih besar sehingga memiliki lendutan lebih kecil.

❖ Kekakuan Lentur

Nilai kekakuan dapat diperoleh dari rasio beban (P) dan lendutannya (Δ) pada kondisi elastis. Secara teoritis pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) memiliki kekakuan lentur 1788,674 kg/mm sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\text{maks}}$) sebesar 1813,020 kg/mm.

Nilai perbandingan teoritis dan aktual dapat dilihat pada tabel berikut

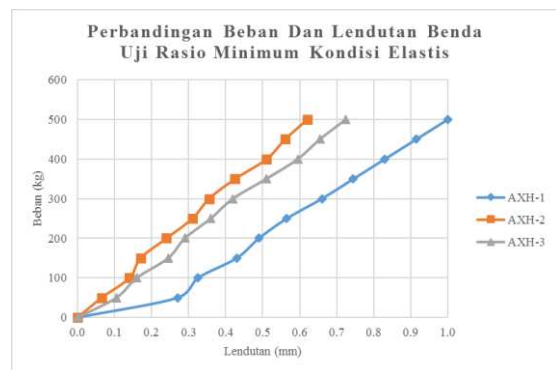
Tabel 4.13 Kekakuan pelat beton rasio minimum (ρ_{\min})

No	Benda Uji	P_{Elastis} (kg)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kg/mm)			%
				Aktual	Rata - Rata	Teoritis	
1	AXH-1	500	1	500			
2	AXH-2	500	0,620	806,452	665,369	1788,674	168,82
3	AXH-3	500	0,725	689,655			

Tabel 4.14 Kekakuan pelat beton rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\text{maks}}$)

No	Benda Uji	P_{Elastis} (kg)	Lendutan (mm)	Kekakuan (kg/mm)			%
				Aktual	Rata - Rata	Teoritis	
1	BXH-1	500	0,575	869,565			
2	BXH-2	500	0,705	709,220	801,744	1813,020	126,13
3	BXH-3	500	0,605	826,446			

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\text{maks}}$) lebih kaku dibandingkan pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) karena memiliki jumlah tulangan lebih banyak.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan beban dan lendutan benda uji rasio minimum (ρ_{\min}) kondisi elastis



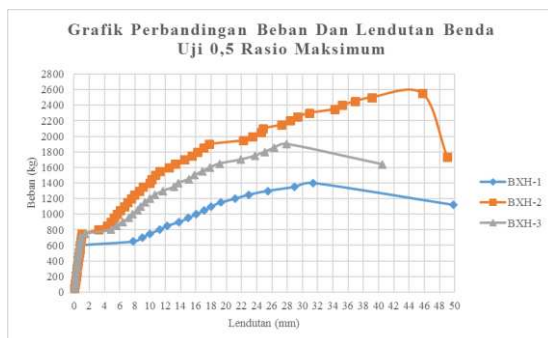
Gambar 4.4 Grafik perbandingan beban dan lendutan benda uji rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) kondisi elastis

Terdapat perbedaan antara nilai kekakuan teoritis dan aktual, hal ini disebabkan karena pelat terdiri dari beton dan bambu yang memiliki karakteristik berbeda. Padahal pada perhitungan teoritis pelat dianggap monolit sempurna.

❖ Grafik Perbandingan P – Δ



Gambar 4.5 Grafik perbandingan beban dan lendutan benda uji rasio minimum (ρ_{min})



Gambar 4.6 Grafik perbandingan beban dan lendutan benda uji rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$)

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pelat dengan rasio tulangan

minimum (ρ_{min}) memiliki beban elastis sebesar 500 kg dengan beban maksimum rata-rata 883,333 kg dengan lendutan rata-rata maksimum 1,352 cm. Sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki beban elastis sebesar 600 kg dengan beban maksimum rata-rata 1950 dengan lendutan rata-rata 35,022 mm.

Dengan membandingkan kedua grafik diatas dapat diketahui bahwa pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) bersifat getas, sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) bersifat duktail.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan beban dan lendutan benda uji rasio minimum (ρ_{min}) rata – rata kondisi elastis



Gambar 4.8 Grafik perbandingan beban dan lendutan benda uji rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) rata – rata kondisi elastis

Dari grafik diatas dapat dibandingkan kekakuan aktual dan teoritis pelat pada kondisi elastis. Terdapat perbedaan yang signifikan antara aktual dan teoritis karena pada perhitungan teoritis pelat diasumsikan monolit sempurna.

4.5. Interaksi Kekakuan Lentur dan Berat Volume

Tabel 4.15 Interaksi kekuatan lentur dan berat volume

No	Benda Uji	P _{maks} (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	ρ
1	Rasio minimum	883,333	2109,724	0,0078
2	Rasio 0,5 maksimum	1950,000	2085,932	0,0289

Dari data diatas dicari hubungan antara berat volume dan rasio tulangan dengan metode eliminasi.

Persamaan eliminasi sebagai berikut :

$$2109,724 \alpha_1 + 0,0078 \alpha_2 = 883,333$$

$$2085,932 \alpha_1 + 0,0289 \alpha_2 = 1950,00$$

$$\text{Diperoleh nilai } \alpha_1 = 0,2308 \text{ m}^3$$

$$\alpha_2 = 50813,2196 \text{ kg}$$

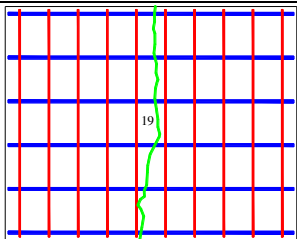
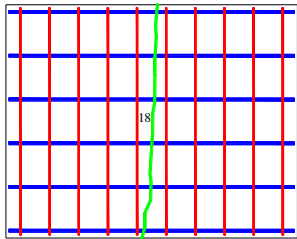
Dari nilai tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut :

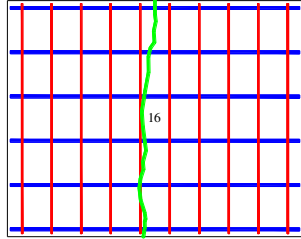
$$P = 0,2308 \text{ Berat Volume} + 50813,2196 \rho$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa berat volume tidak berpengaruh dibandingkan pengaruh rasio.

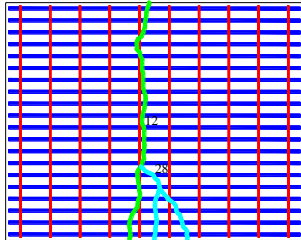
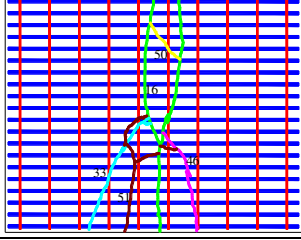
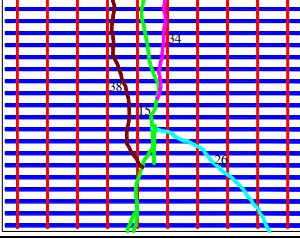
4.6. Pola Retak

Tabel 4.16 Pola retak pelat beton rasio minimum (ρ_{\min})

Benda Uji	Pola Retak	P _{maks} (kg)
AXH-1		950
AXH-2		900

AXH-3		800
-------	--	-----

Tabel 4.17 Pola retak pelat beton rasio 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\max}$)

Benda Uji	Pola Retak	P _{maks} (kg)
BXH-1		1400
BXH-2		2550
BXH-3		1900

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) memiliki pola retak lebih sedikit dibanding pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\max}$). Hal ini terjadi karena pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) kekuatannya lebih dominan ditahan oleh beton sedangkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{\max}$) kekuatan pelat ditahan oleh beton dan tulangan sehingga memiliki waktu runtuh lebih lama.

Pola retak yang terjadi pada kedua pelat memiliki pola yang sama yaitu pelat runtuh ditengah bentang searah dengan beban garis yang diberikan. Pola retak memanjang ini sesuai dengan teori garis leleh akibat beban terpusat garis yaitu

keruntuhan terjadi pada daerah momen maksimum yaitu ditengah bentang.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pelat beton dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) menahan beban vertikal maksimum lebih kecil dibandingkan pelat beton dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$). Pada penelitian ini pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) mampu menahan beban 54,7% lebih tinggi dibanding pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}).
2. Pelat beton dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) memiliki defleksi lebih besar dibandingkan pelat beton dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$). Hal ini dapat diketahui bahwa defleksi aktual rata-rata pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) sebesar 0,782 mm sedangkan pada pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) defleksi yang dihasilkan sebesar 0,628 mm. Terdapat selisih defleksi sebesar 19,62%.
3. Pelat beton dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) memiliki berat volume lebih besar dibandingkan pelat beton dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$). Hal ini dapat diketahui bahwa berat volume aktual rata-rata pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) sebesar 2109,724 kg/m³ sedangkan pada pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki berat volume sebesar 2085,932 kg/m³. Terdapat selisih berat volume sebesar 1,13%.
4. Pelat beton dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) memiliki kekakuan aktual lebih kecil dibandingkan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$). Hal ini dapat diketahui bahwa kekakuan aktual rata-rata pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) sebesar 665,369 kg/mm sedangkan pada pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki kekakuan sebesar 799,198 kg/mm. Terdapat selisih kekakuan aktual sebesar 17%.
5. Pelat beton bertulangan bambu dengan kondisi tumpuan terkekang menahan beban vertikal maksimum lebih besar dibanding pelat beton dengan kondisi tumpuan sendi. Pelat beton dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) tumpuan terkekang menahan beban maksimum 24,29% lebih besar. Sedangkan pelat beton dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) tumpuan terkekang menahan beban maksimum 20,95% lebih besar.
6. Pada saat elastis pelat beton bertulangan bambu dengan kondisi tumpuan terkekang memiliki defleksi lebih kecil dibanding pelat beton dengan kondisi tumpuan sendi. Pelat beton dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) tumpuan terkekang memiliki defleksi 34,12% lebih kecil. Sedangkan pelat beton dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) tumpuan terkekang memiliki defleksi 19,89% lebih kecil.
7. Pola retak yang terjadi pada pengujian kuat lentur satu arah dapat disimpulkan pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) dan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) memiliki pola retak yang sama yaitu memanjang searah dengan beban garis yang diberikan. Pola retak ini sesuai dengan teori garis leleh akibat beban terpusat garis yaitu keruntuhan terjadi pada momen maksimum yang berada di tengah bentang.
8. Berdasarkan grafik pengujian ($P - \Delta$) terdapat perbedaan karakteristik pelat. Pelat dengan rasio rasio tulangan minimum (ρ_{min}) memiliki karakteristik getas. Berbeda dengan pelat dengan rasio tulangan 0,5 rasio maksimum ($0,5 \rho_{maks}$), pelat ini bersifat daktail, pada saat terjadi retak pelat tersebut tidak

langsung runtuh, tetapi masih mampu untuk menahan beban lebih tinggi lagi hingga mencapai beban runtuh. Jadi perbedaan jumlah tulangan dapat mempengaruhi daktilitas dari pelat tersebut.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ada beberapa saran dan catatan yang perlu diperhatikan dan menjadi pertimbangan dalam penelitian – penelitian dengan topik sejenis :

1. Dalam melakukan proses pengecoran seharusnya benar – benar diperhatikan sehingga antara beton dengan tulangan dapat benar – benar monolit seperti yang diharapkan.
2. Memperhitungkan tiap bagian material karena material tulangan bambu yang tidak seragam nilai kekuatannya. Kekuatan pada bagian nodal atau ruas bambu memiliki kekuatan yang berbeda dibanding dengan batangnya.
3. Pengukuran rotasi sebaiknya menggunakan alat yang lebih akurat dan meletakkannya dengan benar
4. Sebaiknya dilakukan pengukuran lendutan ketika pelat mengalami retak pertama kali sehingga didapatkan penurunan grafik $P - \Delta$ antara kondisi elastis dan inelastis.
5. Dalam hal dokumentasi sebaiknya benar – benar dipersiapkan untuk alat dan prosesnya sehingga semua hal-hal penting selama proses persiapan hingga pengujian selesai dapat terekam dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Dewi, S. M. (2008). *Mekanika Struktur Komposit*. Malang: Bargie Media.
- Dewi, S. M. (2009). *Pelat dan Rangka Beton*. Malang: Bargie Media.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Ghavami, K. (2004). *Bambu as Reinforcement in Struktural Concrete Element, Cement & Concrete Composite*.
- Janssen, J. J. (2000). *Designing and Building with Bambu*. Technical Report No. 20. INBAR.
- Jati, D. G. (2013). Analisis Lentur Pelat Satu Arah Beton Bertulang Berongga Bola Menggunakan Metode Elemen Hingga Non Linier (051S). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*. Surakarta, 24-26 Oktober 2013: Universitas Sebelas Maret.
- McCormac, J. C. (2001). *Desain Beton Bertulang*. Bandung: Penerbit Erlangga.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Nindyawati. (2014). *Panel Dinding Beton Ringan Bertulangan Bambu*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nurlina, S. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- Pathurahman, J. F. (2003). Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil*, V(1):39-44.
- Putra, D. S. (2007). Kapasitas Lentur Pelat Beton Bertulangan Bambu. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 45-54.
- Schodek, D. L. (1998). *Struktur*. Bandung: PT Refika Aditama.
- SNI03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Suseno, H. (2010). *Bahana Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- Wang, C. K. (1994). *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Pradnya Paramita.