

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

PUBLIKASI ILMIAH

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ARISTO YONGHY ROBERTUS

NIM. 125060100111025

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

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

Aristo Yonghy Robertus, Sri Murni Dewi, Roland Martin Simatupang

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

ABSTRAK

Kontribusi massa pelat yang cukup besar dalam suatu struktur perlu dikurangi, yaitu dengan menggunakan teknologi beton ringan dimana komposisi material baja tarik digantikan dengan tulangan bambu. Beton ringan memiliki modulus Elastisitas (E) kecil sehingga defleksinya lebih besar dari beton konvensional, maka untuk memperkaku struktur dilakukan pengekangan pada tumpuannya. Percobaan dilakukan dengan dua jenis spesimen, yaitu pelat beton ringan satu arah dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) dan 0,5 rasio tulangan maksimum ($0,5 \rho_{maks}$). Ukuran benda uji 100x80x5 cm, perbandingan komposisi beton 1:3:1 dengan kuat tekan 32 MPa. Penelitian dilakukan dengan memberikan beban terpusat pada tengah bentang bertahap hingga pelat runtuh. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah berat volume pelat, beban maksimum (P_u) dan lendutan (Δ) yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa benda uji pelat dengan 0,5 ρ_{maks} mampu menahan beban lebih besar daripada ρ_{min} . Pelat dengan 0,5 ρ_{maks} memiliki lendutan dan berat jenis yang lebih kecil dan kekakuan yang lebih besar dibanding pelat dengan ρ_{min} . Pelat dengan tumpuan terkekang memiliki keandalan yang lebih dalam menahan beban vertikal dibanding tanpa kekangan. Diperoleh selisih beban vertikal maksimum (P_u) lebih dari 25% dan pada kondisi elastis terdapat selisih lendutan (Δ) sebesar 25%.

Kata kunci: Pelat, Tulangan Bambu, Berat Jenis, Beban Maksimum, Kekakuan.

ABSTRACT

Large enough mass contributions of slab in a structure needs to be reduced, by using lightweight concrete technology in which the material composition of the tensile steel reinforcement is replaced by bamboo. Lightweight concrete has a modulus of elasticity (E) is small, so that deflection is greater than conventional concrete. To rigidify structures do restraints on the pedestal. The experiments were performed with two types of specimens, one direction lightweight concrete slab with a minimum reinforcement ratio (ρ_{min}) and maximum reinforcement ratio 0.5 ($0.5 \rho_{max}$). The size of the test specimens 100x80x5 cm, concrete composition ratio of 1: 3: 1 with a compressive strength of 32 MPa. Research done by providing concentrated load at midspan gradually up to the slabs to collapse. The results obtained from this study is the volume-weight of slabs, maximum load (P_u) and the deflection (Δ). The results showed that the test specimens slabs with 0.5 ρ_{max} able to withstand loads greater than ρ_{min} . Slabs with 0.5 ρ_{max} has deflections and smaller volume-weight and greater rigidity than slabs with ρ_{min} . Slabs with unfettered pedestal has a greater reliability in the withstand a vertical load than without restraint. Maximum vertical load obtained by the difference (P_u) more than 25% and on condition there is a difference elastic deflection (Δ) by 25%.

Keywords: Slab, Bamboo Reinforcement, Density, Maximum Load, Stiffness.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan beton ringan untuk mengurangi massa pelat masih memiliki kekurangan, dimana modulus elastisitasnya kecil sehingga defleksi yang terjadi lebih besar. Penelitian ini dilakukan dengan menggantikan baja tarik dengan tulangan bambu dan mengekang pada kedua tumpuan pelat sehingga struktur lebih kaku. Diharapkan dalam penelitian ini mampu memberikan gambaran yang lebih luas mengenai cara – cara penggunaan beton ringan sehingga struktur menjadi ringan tetapi tetap memiliki keandalan dalam menahan beban.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelat

Pelat adalah elemen bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan (Nurlina, 2008:132).

Pelat dapat menumpu dalam 3 jenis yaitu:

1. Menumpu sederhana
2. Terjepit Elastis
3. Terjepit Penuh

2.2 Beton

Beton terbuat dari bahan semen Portland, agregat dalam proporsi perbandingan tertentu dengan atau tanpa bahan tambah pembentuk massa padat. Bahan – bahan tersebut memiliki sifat dan karakteristik yang bervariasi.

Berdasarkan tujuan pemakaiannya semen sebagai bahan bangunan dapat diklasifikasikan menjadi lima, yaitu :

- a. Jenis I adalah semen untuk pemakai konstruksi secara umum dan diproduksi paling banyak pada saat ini.
- b. Jenis II adalah semen untuk pemakaian konstruksi secara umum, namun dengan persyaratan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III adalah semen untuk pemakaian kekuatan awal tinggi dan digunakan pada struktur beton yang segera dioperasikan.
- d. Jenis IV adalah semen untuk pemakaian panas hidrasi rendah dan

digunakan pada beton masif dalam volume yang besar.

e. Jenis V adalah semen untuk pemakaian tahan sulfat dan digunakan pada beton di lingkungan sulfat ganas.

2.3 Tulangan Bambu

Bambu Petung dapat tumbuh hingga ketinggian mencapai 20 – 30 m , dan tebal batang mencapai 11 – 36 mm. Satu rumpun dewasa menghasilkan 10 – 12 batang baru per tahun (<http://jenis-architecth.blogspot.com>).

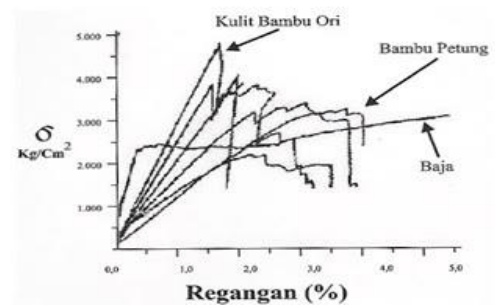
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Morisco pada tahun 1994 – 1999, kuat tarik bambu Petung (*Dendroculumus Asper*) juga lebih tinggi dari baja (kuat leleh 2400 kg/cm²), seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1.

Pada pengujian sifat fisik dan mekanik bambu petung diperoleh data-data sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat fisik dan mekanik bambu Petung

No	Sifat Fisik dan Mekanik	Satuan	Bambu petung
1	Kadar Air	%	12,5
2	Berat Jenis	gr/cc	0,63
3	MOE	kg/cm ²	166703
4	MOR	kg/cm ²	1490
5	Tekan Sejajar Serat	kg/cm ²	321,5
6	Tarik Sejajar Serat	kg/cm ²	1664
7	Poisson Ratio Longitudinal Radial		0,189
8	Poisson Ratio Longitudinal Tangensial		0,225

Sumber: Karyadi dan Susanto,2010 dan setyo ,dkk, 2013.



Gambar 2.2 Diagram tegangan – regangan bambu dan baja.

2.3.1 Uji *Pull-Out* Tulangan Bambu

Perhitungan kekuatan lekat tulangan yang dihitung berdasarkan pada uji tegangan *pull – out* kurang dari kekuatan lekat tulangan yang terjadi pada pelat. Uji kekuatan lekatan *pull – out* seharusnya disesuaikan untuk menghitung kekuatan lekat nyata tulangan pada pelat.

Hasil uji *pull – out* adalah berupa gaya friksi maksimum (f_u). Gaya friksi dibagi dengan luas friksi menghasilkan tegangan lekat:

$$\mu = \frac{P}{4.d.l_d}$$

dengan : μ = tegangan lekat; P = gaya *pull-out* ; d = tebal dan lebar tulangan (dimensi bambu persegi) ; l_d = panjang penyaluran. Rata – rata kekuatan lekat bambu pada beton adalah 0,41 MPa (Nindyawati, 2014).

Tabel 2.2 *Pull – out* test

S. No	Load (N)	Bond Strength (N/mm ²)
1	2500	0.33
2	4000	0.48
3	3000	0.39
4	3500	0.45
5	2600	0.34
6	3500	0.45

Sumber: Nindyawati, 2014

2.4 Mekanika Bahan

2.4.1 Komposit

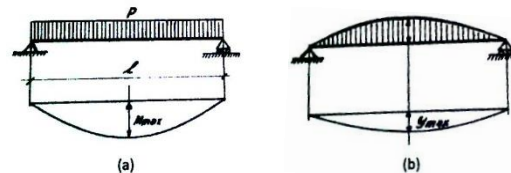
Dalam sistem komposit, setiap unsur penyusun modulus elastisitas yang berbeda. Modulus elastisitas dapat diartikan sebagai rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut (SNI 03-2847-2002).

Untuk memudahkan perhitungan terhadap tegangan – tegangan yang terjadi dapat digunakan metode penampang transformasi. Dengan metode ini, luasan dari kedua penampang ditransformasikan menjadi satu bahan yang sama (homogen) dengan tujuan untuk menyamakan perilaku dalam mekanisme menahan beban. Meskipun disadari bahwa kedua sifat material sangat berbeda, metode transformasi penampang dimaksudkan

untuk penyederhanaan dalam analisis lenturan menurut teori elastisitas (Dipohusodo, I., 2001).

2.4.2 Hubungan Beban (Gaya Luar) terhadap Defleksi

Defleksi pada suatu konstruksi batang dapat ditentukan sebagai bidang diagram momen M oleh beban diagram momen M_0 yang direduksi dengan $-1/EI$. Garis elastis menjadi garis sisi diagram momen M itu. Garis elastis adalah garis sumbu suatu batang yang lurus yang akan melengkung oleh gaya atau momen yang membebaninya. Pada gambar 2.5 dijelaskan bagaimana momen sangat berpengaruh pada defleksi.



Gambar 2.3 Defleksi balok tunggal dengan beban merata.

Sumber: Frick (1991).

(a) Bidang momen akibat beban merata
(b) Bidang Momen yang menjadi beban untuk memperoleh grafik defleksi

2.5 Kekakuan

Pada dasarnya hubungan beban dan lendutan dari balok beton bertulang atau pelat satu arah dapat diidealisasikan menjadi bentuk tiga garis lurus. Hubungan tiga garis lurus ini meliputi tiga tahap sebelum terjadinya kondisi runtuh.

Tiga tahap tersebut antara lain tahap praretak di mana elemen struktural masih belum retak, tahap pascaretak di mana elemen struktural sudah mengalami retak namun masih dapat ditoleransi, dan tahap pasca-serviceability di mana tulangan tarik pada elemen struktural tersebut sudah mencapai tegangan leleh.

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

$$k=P/\Delta$$

Dimana k = kekakuan
 P = beban
 Δ = lendutan

2.6 Berat Volume

Berat volume merupakan rasio perbandingan antara berat dan volume. Berat volume pelat (kg/m^3) adalah rasio perbandingan antara berat pelat (kg) dengan volume plat (m^3).

2.7 Pracetak

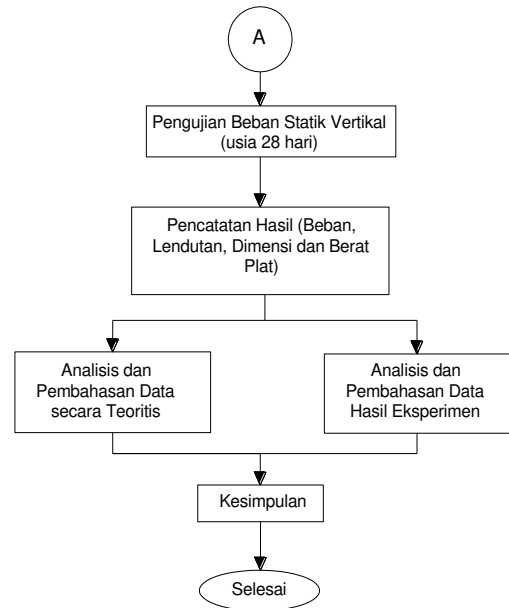
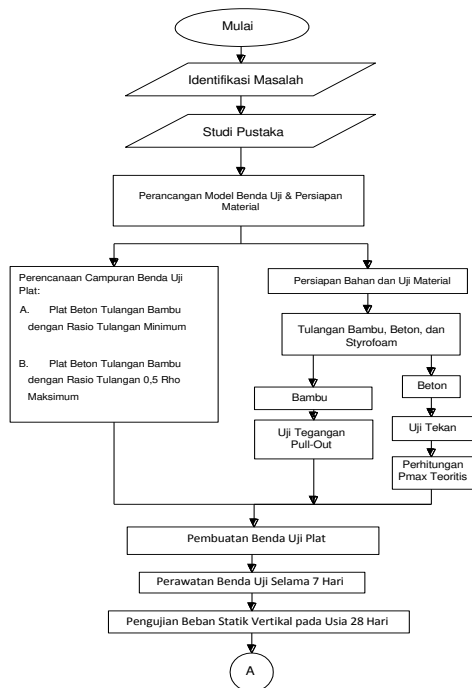
Precast concrete atau beton pracetak merupakan suatu hasil produksi dari beton yang fabrikasinya dilakukan di pabrik atau di lapangan sementara dengan penyelesaian akhir pemasangan (erection) di lapangan.

Precast concrete dapat diartikan beton yang diproduksi dengan kualitas tinggi yang dibuat dalam jumlah besar di pabrik. Dengan kata lain yang membedakan teknologi ini hanyalah proses produksinya dimana lokasi pembuatannya berbeda dengan lokasi dimana elemen yang akan digunakan (Maharsi,2008).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan dalam melakukan penelitian ini:

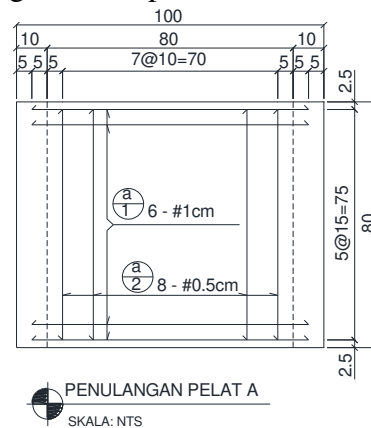


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.

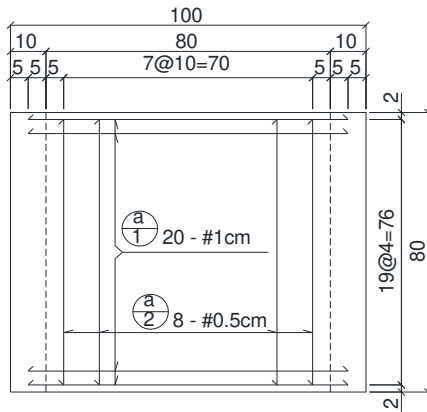
3.2 Desain Spesimen

Penelitian dilakukan dengan menggunakan benda uji pelat satu arah yaitu pelat dengan rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) dan rasio tulangan maksimum ($0,5 \rho_{\max}$). Tulangan yang digunakan merupakan tulangan bambu Petung yang sudah diberi perlakuan untuk mengurangi sifat higroskopisnya.

Masing masing 3 buah benda uji dengan ukuran $100 \times 80 \times 5$ cm. Perbandingan komposisi beton 1:3:1 dengan kuat tekan 32 MPa. Tumpuan pelat dikembang menggunakan pelat baja dan dimur. Selain itu pula terdapat benda uji pelat tanpa kekangan guna membandingkan hasil penelitian.



Gambar 3.2 Desain spesimen pelat ρ_{\min} .



PENULANGAN PELAT B
SKALA: NTS

Gambar 3.3 Desain spesimen pelat 0,5

ρ_{maks} .

3.3 Pembuatan Spesimen

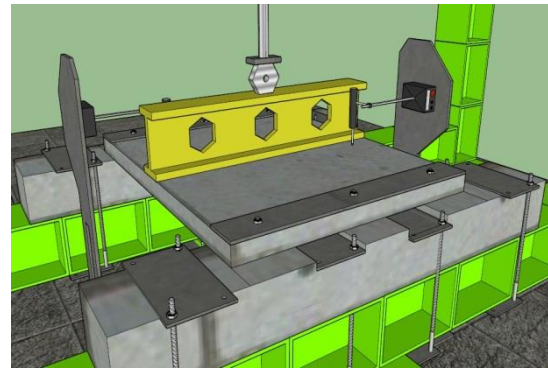
Proses pembuatan spesimen diawali dengan persiapan bahan dan material, pembuatan bekisting dan perakitan tulangan. Setelah persiapan selesai dilakukan proses pengecoran, *curing*, dan *finishing*. Selama proses pengecoran diambil 8 sampel campuran beton untuk uji tekan silinder. Kegiatan seluruhnya dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

3.4 Pengukuran Data

Proses pengukuran data dilakukan setelah spesimen berumur 28 hari. Dalam penelitian ini data yang diukur antara lain adalah dimensi dan berat pelat, beban maksimum (P_u), rotasi (θ), lendutan (Δ), serta pola retak yang terjadi akibat pembebanan. Berikut merupakan *set up* benda uji ketika dilakukan pengukuran data:



Gambar 3.4 *Set up* alat uji.



Gambar 3.4 Perspektif *Set up* alat uji.

Seperti terlihat pada gambar, alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *loading frame*, *load cell*, *LVDT*, *dial gauge*, klem, dan *hydraulic pump*, *hydraulic jack*, dan inklinometer.

3.5 Analisis Data

Setelah diperoleh data hasil percobaan secara studi literatur dan pengujian benda uji, maka dilakukan analisis data mengenai perbandingan kekakuan pelat beton ringan dengan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) dengan pelat beton ringan dengan 0,5 rasio tulangan maksimum ($0,5 \rho_{maks}$) serta perbandingan antara defleksi (Δ) pelat yang terkekang dengan tidak terkekang. Dari hasil pengujian pelat di laboratorium ini akan didapatkan nilai beban, lendutan, berat, dan dimensi dari pelat beton pelat beton bertulangan bambu.

3.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pelat beton ringan bertulangan bambu ρ_{min} akan menahan beban vertikal maksimum lebih kecil dibandingkan pelat 0,5 ρ_{maks} .
2. Pelat beton ringan bertulangan bambu ρ_{min} akan memiliki lendutan lebih besar dibandingkan dengan 0,5 ρ_{maks} .
3. Pelat beton ringan ρ_{min} akan memiliki berat volume lebih besar dibandingkan pelat beton ringan 0,5 ρ_{maks} .
4. Pelat beton ringan ρ_{min} akan memiliki kekakuan lebih kecil dibandingkan pelat beton ringan bertulangan bambu dengan 0,5 ρ_{maks} .
5. Pelat beton ringan 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 ringan bertulangan bambu dengan tumpuan terkekang memiliki lendutan lebih kecil dibandingkan dengan pelat beton bertulangan bambu dengan tumpuan tak terkekang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Beton Segar

Pengujian dilakukan guna mengetahui nilai *slump* pada beton, diperoleh nilai *slump* rata – rata sebesar 9 cm, selain itu pula dilakukan pengujian resapan air terhadap bambu, didapatkan hasil air berwarna tidak meresap pada permukaan bambu yang telah dilapisi cat dan ditaburi pasir.



Gambar 4.1 Pengujian Resapan Air

4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan ketika sampel sudah berumur 28 hari dimana sampel ini terdiri dari 8 buah sampel yang diperoleh dari proses pengecoran. Benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Tabel 4.1 Kuat tekan beton

Benda Uji	Berat (kg)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (fci) (MPa)
A	11.45	408000	23.079
B	11.30	531000	30.036
C	11.35	648000	36.655
D	11.50	648000	36.655
E	11.20	551000	31.168
F	11.60	541000	30.602
G	11.40	683000	38.634
H	11.75	569000	32.186

fc_m 32.377

dari 8 benda uji tersebut didapatkan kuat tekan rata – rata sebesar 32,377 MPa.

4.3 Modulus Elastisitas dan Inersia Pelat (EI)

Perhitungan EI digunakan dalam perhitungan rotasi dan lendutan dimana mempengaruhi nilai kekakuan pelat berdasarkan jumlah tulangan. didapatkan nilai EI masing – masing benda uji dengan menggunakan transformasi penampang sebagai berikut:

Tabel 4.2 Nilai EI pelat

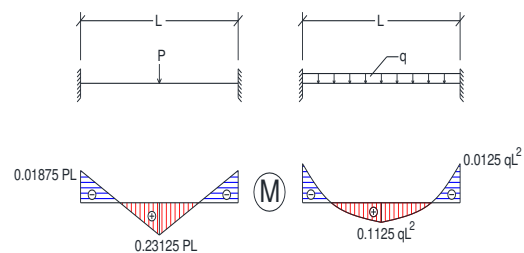
No	Benda Uji	BJ (kg/m ³)	E _{beton} (kg/cm ²)	E _{bambu} 10 ³ (kg/cm ²)	EI _{komposit} (kg.cm ²)
1	AYR-1	99.45	250741.7	18	325569187
2	AYR-3	91.80	236931.6	18	307719443
	Rata - rata	95.63	243836.6	18	316644315
3	BYR-1	100.00	235796.4	18	305180713
4	BYR-2	96.90	234529.6	18	303567635
5	BYR-3	93.85	231623.9	18	299867834
	Rata - rata	96.92	233983.3	18	302872060

4.4 Klasifikasi Tumpuan

Untuk mengklasifikasikan jenis tumpuan pada percobaan ini maka dilakukan analisis menggunakan *konjugate beam* yaitu dengan menjadikan beban luas bidang Momen/EI terhadap pelat untuk memperoleh nilai rotasi (θ) yang selanjutnya dibandingkan dengan nilai rotasi aktual yang diperoleh dari percobaan.

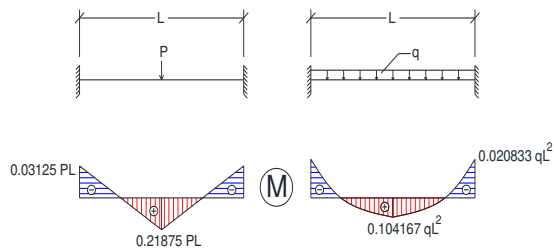
Kombinasi beban untuk metode *konjugate beam* bervariasi dari tumpuan sendi – sendi hingga ke jepit – jepit.

Dengan menggunakan metode tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4.2 Diagram momen benda uji

ρ_{min} .



Gambar 4.3 Diagram momen benda uji
0,5 ρ_{maks} .

4.5 Kapasitas Pelat

Perhitungan beban maksimum pelat dilakukan dengan analisis penampang persegi bertulangan tunggal. Pelat satu arah diasumsikan sebagai balok dengan tumpuan terkekang, dimana analisisnya menggunakan prinsip kesetimbangan gaya:

$$\text{GAYA TARIK} = \text{GAYA TEKAN}$$

Berdasarkan teori kekuatan batas (*ultimate*) diperoleh nilai beban maksimum sebagai berikut:

Tabel 4.3 $P_{ultimate}$ pelat

Pu Benda Uji ρ_{min}				
No	Benda Uji	Teoritis 1 (kg)	Teoritis 2 (kg)	Aktual (kg)
1	AYR - 1	358.37	1200	1200
2	AYR - 2	371.14	1150	1150
3	AYR - 3	344.27	1150	1150
Rata - rata		357.93	1166.67	1166.67
Pu Benda Uji 0,5 ρ_{maks}				
No	Benda Uji	Teoritis 1 (kg)	Teoritis 2 (kg)	Aktual (kg)
1	BYR - 1	1425.59	2700	2700
2	BYR - 2	1385.89	2650	2650
3	BYR - 3	1346.36	2050	2050
Rata - rata		1385.95	2466.67	2466.67

Dalam perhitungan $P_{ultimate}$ secara teoritis 1 terdapat perbedaan yang signifikan, hal ini disebabkan nilai tegangan friksi bambu (f_u) yang didapat dari data sekunder terlampaui jauh jika dibandingkan f_u aktual sehingga perbedaan antara P_{maks} aktual dan P_{maks} teoritis jauh berbeda. Sedangkan untuk perhitungan teoritis 2 menggunakan nilai tegangan friksi bambu (f_u) yang diperoleh dari perhitungan dari beban aktual sehingga selisihnya 0%.

4.6 Berat Jenis (BJ)

Analisis ini digunakan untuk mengetahui pengaruh jumlah tulangan terhadap berat jenis pelat ρ_{min} dan pelat 0,5 ρ_{maks} . Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dimensi pelat meliputi

panjang (L), lebar (B), dan tinggi pelat (H), serta berat benda uji tersebut. Hasil pengukuran dan perhitungan berat jenis (BJ) disajikan dalam tabel 4.4:

Tabel 4.4 Berat Jenis Pelat

No.	Benda Uji	Volume (m^3)	Berat (kg)	Berat Jenis (kg/m^3)
1	AYR-1	0.0454	99.45	2189.9164
2	AYR-2	0.0461	89.95	1952.0601
3	AYR-3	0.0435	91.8	2108.7505
4	AXH-1	0.0467	98.2	2100.745
5	AXH-2	0.0499	101.3	2028.4556
6	AXH-3	0.0458	97.15	2120.752
Rata - rata				2109.7239
7	BYR-1	0.0476	100	2102.0094
8	BYR-2	0.0463	96.9	2094.4739
9	BYR-3	0.0452	93.85	2077.1386
10	BXH-1	0.0468	95.6	2042.1386
11	BXH-2	0.0475	98.75	2079.4052
12	BXH-3	0.0468	99.3	2120.4243
Rata - rata				2085.9317

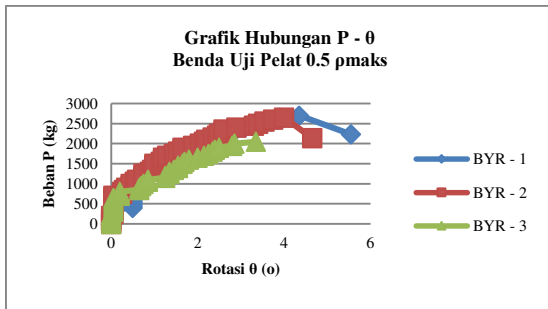
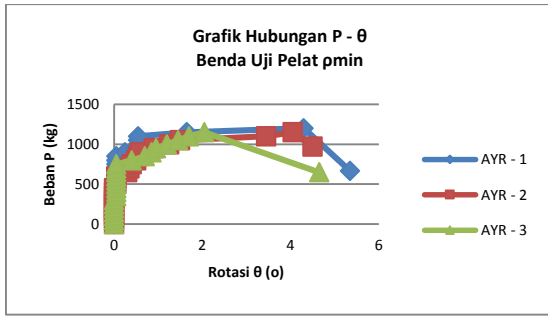
Dari hasil perhitungan diperoleh nilai berat jenis (BJ) rata - rata sebesar 2109,7239 kg/m^3 untuk pelat ρ_{min} . Sedangkan untuk benda uji pelat 0,5 ρ_{maks} memiliki rata - rata berat jenis (BJ) sebesar 2085,9317 kg/m^3 . Terdapat perbedaan berat jenis sebesar 23,7922 kg/m^3 atau 1,1406 %.

4.7 Rotasi

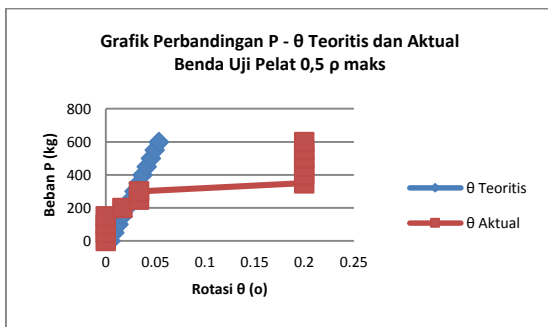
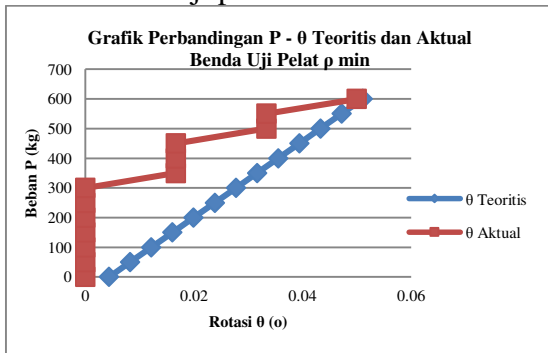
Rotasi sudut (θ) besarnya sama dengan luas bidang momen dibagi dengan EI. Dalam pelat terkekang terdapat dua arah momen yang berbeda yaitu momen positif (M+) dan momen negatif (M-) sehingga kedua luasan ini akan saling mengurangi. Dengan metode tersebut diperoleh nilai rotasi pelat sebagai berikut:

Tabel 4.5 Rotasi pelat

Rotasi (θ) Benda Uji ρ_{min}				
No	Benda Uji	Teoritis ($^\circ$)	Aktual ($^\circ$)	
1	AYR -1	0.04995	0.05000	
2	AYR -2	0.05880	0.05000	
3	AYR -3	0.05249	0.05000	
Rata - rata		0.05374	0.05000	
Rotasi (θ) Benda Uji 0,5 ρ_{maks}				
No	Benda Uji	Teoritis ($^\circ$)	Aktual ($^\circ$)	
1	BYR -1	0.0506	0.0500	
2	BYR -2	0.0508	0.0500	
3	BYR -3	0.0512	0.0500	
Rata - rata		0.0509	0.0500	



Gambar 4.4 Grafik perbandingan P – θ aktual benda uji pelat.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan P – θ teoritis dan aktual kondisi elastis.

4.8 Lentutan

Benda uji pelat akan mengalami lentutan atau defleksi (Δ) akibat proses pembebanan, lentutan dapat dicari dengan cara mengalikan luas bidang momen dengan statis momen yang dibagi dengan nilai EI.

Tabel 4.6 Lentutan Pelat

Lentutan (Δ) Benda Uji ρ_{min}			
No	Benda Uji	Teoritis (mm)	Aktual (mm)
1	AYR -1	0.1232	0.4350
2	AYR -2	0.1449	0.7350
3	AYR -3	0.1294	0.7150
Rata - rata		0.1325	0.6283
Lentutan (Δ) Benda Uji $0.5 \rho_{maks}$			
No	Benda Uji	Teoritis (mm)	Aktual (mm)
1	BYR -1	0.1199	0.7950
2	BYR -2	0.1203	0.4300
3	BYR -3	0.1214	0.9300
Rata - rata		0.1205	0.7183

Nilai lentutan secara teoritis jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan lentutan pada kondisi aktual, hal ini bisa saja diakibatkan oleh karena perbedaan kekakuan pada pelat. Secara teoritis memang diasumsikan pelat benar – benar monolit, sedangkan di lapangan sangat susah sekali mengontrol pembuatan beton hingga benar – benar monolit seperti halnya material penyusun lain yaitu baja misalnya.

Tabel 4.7 Lentutan Elastis Pelat

Lentutan (Δ) Pada P = 500 kg Benda Uji ρ_{min}			
No	Benda Uji	Sendi - sendi (mm)	Terkekang (mm)
1	BU - 1	1.000	0.325
2	BU - 2	0.620	0.530
3	BU - 3	0.725	0.540
Rata - rata		0.78	0.47
Lentutan (Δ) Pada P = 500 kg Benda Uji $0,5 \rho_{maks}$			
No	Benda Uji	Sendi - sendi (mm)	Terkekang (mm)
1	BU - 1	0.575	0.565
2	BU - 2	0.705	0.280
3	BU - 3	0.605	0.665
Rata - rata		0.63	0.50

Hasil ini juga bisa membuktikan bahwa lentutan aktual yang terjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan pelat tanpa kekangan, dapat dibuktikan dengan adanya kekangan selain beban yang lebih besar juga lentutannya relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan pelat tanpa kekangan.

4.9 Kekakuan

Kekakuan suatu struktur adalah gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan defleksi sebesar satu satuan dimana merupakan tangen sudut antara beban (P) dengan lentutan (Δ) yang diperoleh dari grafik hubungan P – Δ . Kekakuan yang akan dibandingkan dalam penelitian ini

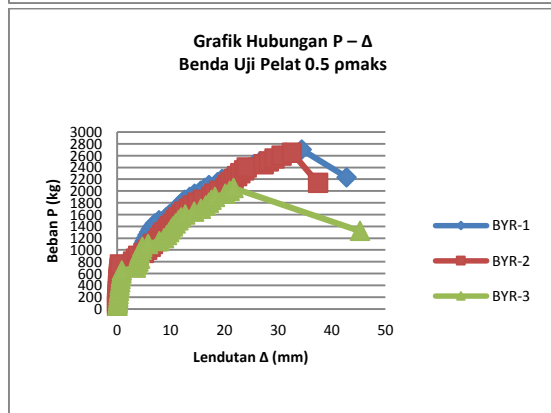
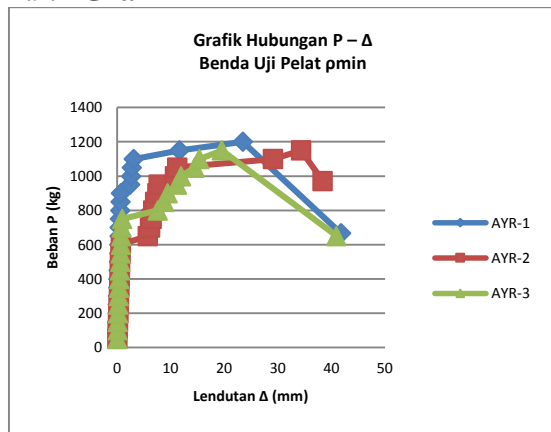
adalah kekakuan pelat pada saat masih dalam kondisi elastis penuh. Kekakuan tersebut disajikan pada tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Kekakuan pelat

Kekakuan Benda Uji ρ_{min}			
No	Benda Uji	Teoritis (kg/mm)	Aktual (kg/mm)
1	AYR -1	4868.4499	1359.2233
2	AYR -2	4140.5652	816.3265
3	AYR -3	4637.4521	839.1608
Rata - rata		4548.8224	1004.9036
Kekakuan Benda Uji 0,5 ρ_{maks}			
No	Benda Uji	Teoritis (kg/mm)	Aktual (kg/mm)
1	BYR -1	5419.5625	817.6101
2	BYR -2	5404.8669	1511.6279
3	BYR -3	5355.6566	698.9247
Rata - rata		5393.3620	1009.3876

Apabila dibandingkan dengan kekakuan aktual dari data percobaan maka akan terlihat selisih perbedaan nilai 78,0901 % untuk pelat dengan rasio tulangan minimum dan pelat dengan 0,5 rasio tulangan maksimum (0.5 ρ_{maks}) memiliki selisih nilai sebesar 81,2985 %.

4.9.1 Grafik P – Δ



Gambar 4.14 Grafik hubungan P – Δ .

Apabila dilihat pada tabel maka nampak bahwa pelat ρ_{min} lebih getas dibandingkan dengan pelat 0,5 ρ_{maks} . Pelat

dengan 0,5 ρ_{maks} masih memiliki kekakuan yang cukup untuk menerima beban lebih dari pelat ρ_{min} , kurang lebih sekitar dua kali lipat beban yang dapat diterima pelat 0,5 ρ_{maks} .

4.10 Pola Retak

Dalam suatu struktur pola retak menggambarkan mekanisme kerja suatu struktur, retak ini dapat terjadi karena adanya momen yang bekerja, baik itu momen positif (M+) maupun momen negatif (M-), dari pola retak ini maka mekanisme kerja dan mekanisme runtuh suatu struktur dapat dilihat dan dibandingkan dengan teori.



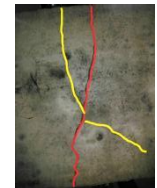
Gambar 4.15 Pola retak AYR – 1.



Gambar 4.16 Pola retak AYR – 2.



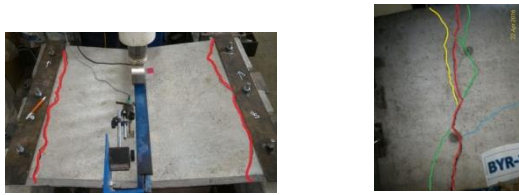
Gambar 4.17 Pola retak AYR – 3.



Gambar 4.18 Pola retak BYR – 1.



Gambar 4.19 Pola retak BYR – 2.



Gambar 4.20 Pola retak BYR – 3.

Pola retak pelat dengan tumpuan terkekang dapat terjadi pada serat atas dan serat bawah pelat. Pada serat atas terjadi retak karena adanya momen negatif (M^-) yang bekerja pada tumpuannya karena terkekang, sedangkan retak pada serat bawah dapat terjadi karena adanya momen positif (M^+) pada tengah bentang yang dibebani.

4.11 Interaksi Kuat Lentur dan Berat Volume

Berdasarkan data tersebut maka dapat dibuat suatu persamaan regresi secara matematis sehingga dari persamaan tersebut nantinya akan digunakan sebagai rumus untuk mencari nilai beban (P_u) berdasarkan berat jenis (BJ) dan rasio tulangan (ρ).

$$P = 0.3239 BJ + 61976.5506 \rho$$

Rumus ini merupakan rumus umum untuk mencari interaksi antara berat jenis (BJ) dan nilai rasio tulangan (ρ) untuk mencari nilai beban yang dapat ditahan (P_u), begitu pula sebaliknya.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan pada pelat beton ringan bertulangan bambu dengan tumpuan terkekang dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pelat beton ringan bertulangan bambu ρ_{min} mampu menahan beban vertikal maksimum lebih kecil dibandingkan pelat 0,5 ρ_{maks} yaitu dengan selisih sebesar 111,425%.
2. Pelat beton ringan ρ_{min} memiliki lendutan lebih besar dibandingkan pelat 0,5 ρ_{maks} dengan selisih nilai lendutan rata – rata sebesar 14,73%.
3. Pelat beton ringan ρ_{min} memiliki berat volume lebih besar dibandingkan pelat

0,5 ρ_{maks} yaitu dengan selisih nilai berat volume sebesar 1,14 %.

4. Pelat beton ringan ρ_{min} memiliki nilai kekakuan lebih kecil dibandingkan pelat 0,5 ρ_{maks} yaitu dengan selisih 0,44%.
5. Pelat beton ringan bertulangan bambu dengan kondisi tumpuan tak terkekang menahan beban vertikal maksimum lebih kecil dibandingkan pelat beton ringan bertulangan bambu dengan kondisi tumpuan terkekang yaitu dengan selisih nilai beban vertikal rata – rata sebesar 32,08% untuk pelat beton ringan ρ_{min} dan 26,496% untuk pelat 0,5 ρ_{maks} .
6. Pada kondisi elastis pelat beton ringan bertulangan bambu dengan tumpuan terkekang memiliki lendutan lebih kecil dibandingkan dengan pelat beton ringan bertulangan bambu dengan tumpuan tak terkekang yaitu dengan selisih nilai lendutan rata – rata 65,96% untuk pelat beton ringan ρ_{min} dan 26% untuk pelat 0,5 ρ_{maks} .
7. Berdasarkan grafik pengujian ($P-\Delta$) terdapat perbedaan karakteristik pelat. Pelat ρ_{min} memiliki karakteristik getas sehingga ketika pelat tersebut retak, pelat tersebut langsung runtuh. Sedangkan pelat 0,5 ρ_{maks} memiliki sifat yang relatif lebih daktail, pelat ini memiliki nilai kekakuan yang cukup sehingga mampu menahan beban yang lebih besar. Dengan demikian perbedaan jumlah tulangan dapat mempengaruhi tingkat daktilitas pelat tersebut.

5.2 Saran

1. Dalam melakukan proses pengecoran seharusnya benar – benar diperhatikan sehingga antara beton dengan tulangan dapat benar – benar monolit seperti yang diharapkan. Proses ini penting karena nantinya akan mempengaruhi nilai EI aktual sehingga hasil lendutan dan kekakuan antara teoritis dan aktual tidak terlalu signifikan.
2. Karena material tulangan bambu yang tidak seragam nilai kekuatannya, maka

untuk penelitian selanjutnya diperhitungkan tiap bagian material, sebab pada bagian nodal atau ruas bambu memiliki kekuatan yang berbeda dibanding dengan batangnya.

3. Pengukuran rotasi sebaiknya menggunakan alat yang lebih teliti lagi dan perletakkannya sebaiknya benar – benar pada tumpuan sehingga pengukuran yang didapat benar – benar akurat.
- 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 pendokumentasian 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

- Ali, Affandi M. 2004. Perbedaan sistem konvensional dengan sistem pracetak. www.ilmusipil.com.
- Dewi S.M. 2009. Pelat dan Rangka Beton. Malang: Bargie Media.
- Dipohusodo, Istimawan. 1993. Struktur Beton Bertulang. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Frick, H. 2004. Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu. Yogyakarta: Kanisius.
- Ghavami, K. 2004. *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, Journal, science and Direct Elsevier*, 2005.
- Karyadi, dkk. 2010. Uji Kapasitas Tekan Kolom Laminasi dari Bahan Kayu Sengon dan Bambu Petung Sebagai Alternatif Pengganti Kayu Komersial. Proseding Seminar Nasional Teknik Sipil VI-2010 ISBN 978-979-99327-5-4.
- Khare, L. 2005. *Performace Evaluatin of Bamboo Reinforced Concrete Beams, The University of Texas, Arlington*.
- Morisco, 1999. Rekayasa Bambu. Yogyakarta.
- Mulyono, T. 2004. Teknologi Beton. Yogyakarta : Andi Offset.
- Nawy, E., G., & Suryoatmono, B. (Penerjemah). 1998. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Nurlina, S. 2008. Struktur Beton. Malang: Bargie Media.
- Nindyawati, Sri Murni Dewi, Agoes Soehardjono, 2014. *The Comparison Between Pull-Out Test And Beam Bending Test To The Bond Strength Of Bamboo Reinforcement In Light Weight Concrete. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622*
- SNI 03-2847-2002, 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version). Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Suseno, H. 2010. Bahan Bangunan untuk Teknik Sipil. Malang: Bargie Media.
- Wang, C. K. & Salmon, C. 1994. Desain Beton Bertulang. Jakarta: Pradnya Paramita.