

**PENGARUH RASIO TULANGAN BAMBU TERHADAP KUAT  
LENTUR BALOK BETON BERTULANG BAMBU DENGAN  
CAMPURAN SERAT BAMBU DAN AGREGAT  
KASAR BATU APUNG**

**NASKAH TERPUBLIKASI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD FAIZAL**

**NIM. 125060107111026**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2016**

# **PENGARUH RASIO TULANGAN BAMBU TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG BAMBU DENGAN CAMPURAN SERAT BAMBU DAN AGREGAT KASAR BATU APUNG**

Muhammad Faizal, Sri Murni Dewi, Christin Remayanti N  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya  
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145 – Telp (0341) 567886  
Email: faizalmuhammad30@gmail.com

## **ABSTRAK**

Rumah tahan gempa memiliki berat sendiri yang ringan karena berat sendiri sangat berpengaruh terhadap gaya gempa. Peneliti berinovasi dengan menggunakan batu apung sebagai agregat kasar, menggunakan bambu sebagai tulangan, dan menambahkan serat bambu pada campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio tulangan bambu pada balok bertulang bambu dengan campuran serat bambu dan agregat kasar batu apung ditinjau dari kuat lentur balok. Penelitian ini menggunakan 12 benda uji balok beton. Penambahan serat bambu 40 dan 150 gr, komposisi semen dan agregat 1:2:1 dan 1:2,5:1,5, rasio tulangan 1% dan 1,5%. Rancangan benda uji menggunakan rancangan faktorial sebagian. Uji analisis varian satu arah digunakan dalam menentukan apakah rasio tulangan bambu berpengaruh terhadap kuat lentur balok beton bertulang bambu dengan campuran serat bambu dan agregat kasar batu apung. Hasil penelitian dengan menggunakan analisis varian satu arah (anova), menunjukkan adanya peningkatan dengan tingkat kepercayaan 61% ( $\alpha=39\%$ ) maka rasio tulangan memiliki pengaruh terhadap kuat lentur benda uji balok, namun tidak signifikan. Agar suatu perlakuan dapat dikatakan memberikan pengaruh yang nyata maka nilai tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha=5\%$ ).

**Kata kunci:** Batu apung, rasio tulangan, kuat lentur, lendutan, kekakuan

## **ABSTRACT**

*Earthquake-resistant building must has light self weight because self weight has huge effect on earthquake force. Researcher innovate using pumice as aggregate, bamboo reinforcement and add bamboo fiber into concrete mixture. This research is conducted to determine influence of bamboo reinforcement ratio on flexural strength of bamboo fiber concrete beam with bamboo reinforcement and pumice aggregate. The research uses twelve bamboo fiber concrete beam with bamboo reinforcement specimen and pumice aggregate. Fiber additions are 40 and 150 gr, cement and aggregate compositions are 1:2:1 and 1:2,5:1,5, bamboo reinforcement ratio are 1% and 1,5%. The design use partial factorial design. One-way variance test analysis is used to determine whether bamboo reinforcement ratio have an effect on flexural strength of bamboo fiber concrete beam with bamboo reinforcement and pumice aggregate. The results from this research, using analysis of variance one-way (Anova), showed an increase in confidence level about 61% ( $\alpha = 31\%$ ), bamboo reinforcement ratio has effect on flexural strength of beam, but it is not significant because it can be called significant if the value confidence level about 95% ( $\alpha = 5\%$ ).*

**Keywords:** Pumice, reinforcement ratio, flexural strength, deflection, stiffness

## **PENDAHULUAN**

Rumah tahan gempa memiliki berat sendiri yang ringan karena berat sendiri sangat berpengaruh terhadap gaya gempa yang terjadi. Untuk mencapai berat yang ringan maka digunakan beton ringan sebagai material strukturnya. Peneliti berinovasi dengan menggunakan batu apung sebagai agregat kasar, menggunakan bambu sebagai tulangan, dan menambahkan serat bambu pada campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio tulangan bambu pada balok bertulang bambu dengan campuran serat bambu dan agregat kasar batu apung ditinjau dari kuat lentur balok.

## **TUJUAN**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio tulangan bambu pada balok bertulang bambu dengan campuran serat bambu dan agregat kasar batu apung ditinjau dari kuat lentur balok serta lendutan dan kekakuan balok pada kondisi elastis.

## **KAJIAN PUSTAKA**

### **Beton Ringan**

Beton ringan struktural adalah beton yang memiliki agregat ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton  $1850 \text{ kg/m}^3$  dan harus memenuhi ketentuan kuat tekanan dan kuat tarik belah beton ringan untuk tujuan struktural.

Agregat kasar untuk beton ringan ada dua jenis yaitu : agregat ringan alami dan buatan. Agregat ringan alami adalah agregat yang didapat dari bahan – bahan alami seperti skoria, batu apung, atau tufa. Agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan melalui pemanasan bahan-bahan, seperti terak

dari peleburan besi, diatome, tanah liat, abu sabak, batu serpih, abu terang, perlit, vemikulit, dan batu lempung.

### **Batu Apung**

Batu apung merupakan jenis batuan yang berwarna terang dan mengandung buih yang terbuat dari gelembung ber dinding gelas, biasanya disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu apung banyak dijumpai di sekitar daerah gunung api.

Batu apung memiliki pori-pori yang mengakibatkan tingkat penyerapan air pada batu apung tergolong tinggi. Tingkat penyerapan air pada batu apung tergantung pada porositas dan ukurnannya, karena densitas rendah dan kekuatan yang relatif kuat, batu apung sendiri sering digunakan dalam pembuatan beton ringan struktural.

### **Beton Serat**

Beton serat adalah beton yang ditambahkan serat pada campurannya. Beton serat sendiri terdiri dari dua macam yaitu beton dengan serat buatan dan serat alami. Serat bambu termasuk serat alam yang memiliki kuat tarik yang tinggi dan mudah didapatkan.

Keuntungan dari pemakaian serat pada campuran beton antara lain meningkatkan kuat tarik dan ketahanan retak awal beton. mekanisme kerja serat beton sehingga dapat memperbaiki sifat beton dengan pendekatan teori sebagai berikut:

#### *a. Composit material concept*

Konsep pendekatan untuk memperkirakan kuat tarik dan lentur beton, dengan asumsi bahwa bahan penyusun beton saling melekat sempurna. Hal ini dilakukan dengan memperkirakan kekuatan material komposit saat timbul retak pertama (*first*

*crack strength*).

b. *Spacing concept*

Teori ini menyatakan bahwa agar beton lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar maka dilakukan pendekatan jarak antar serat dalam campuran beton. Namun, penyebaran serat di dalam adukan beton saling menindih dan sulit untuk dibuat beraturan, sehingga volume efektif potongan serat dapat dianggap 41% dari volume sebenarnya.

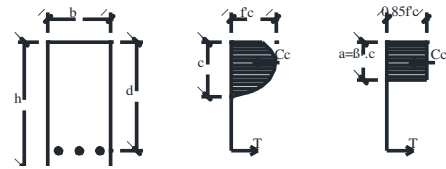
### Bambu

Bambu merupakan suatu bahan bangunan yang diperoleh dari hasil penebangan rumpun-rumpun bambu di hutan rimba alami atau hasil budidaya. Diameters dan ukuran panjang batang tergantung dari jenis bambu yang dapat tumbuh hampir di seluruh daerah Indonesia. Secara botani bambu adalah jenis rumput-rumputan monokotil yang tumbuh liar merumpun dan meraksasa.

Sifat mekanika bambu yaitu modulus elastisitas berkisar (2,38-10,10) GPa, kuat tekan sejajar serat berkisar (29,33-58,43)MPa, kuat tarik sejajar arah serat berkisar (115,3-309,3)MPa, kuat lentur bambu berkisar (12,83-66,3) MPa, kuat geser berkisar (3,95-6,14) MPa, dan kuat belah berkisar (4,14-5,82) MPa.

### Kuat Lentur Balok

Balok merupakan elemen struktur yang identik menahan lentur. Komponen-komponen balok beton bertulang yang berperan dalam menahan lentur yaitu tegangan beton, dan tegangan tulangan baja. Persamaan kesetimbangan gaya pada balok beton bertulang yaitu :



**Gambar 1** Distribusi tegangan

penampang balok

$$C_c = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y$$

Dimana :

$C_c$  = Gaya tekan beton (N)

$T$  = Gaya Tarik tulangan (N)

$f'_c$  = Kekuatan tekan beton (MPa)

$b$  = Lebar balok (mm)

$a$  = Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

$A_s$  = Luas tulangan tarik baja (mm<sup>2</sup>)

$f_y$  = Kekuatan leleh baja (MPa)

Untuk mencari nilai momen nominal penampang cukup mengkalikan gaya terhadap titik yang ditinjau.

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot (d-a/2) \\ &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a (d-a/2) \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} M_n &= T \cdot (d-a/2) \\ &= A_s \cdot f_y (d-a/2) \end{aligned}$$

## METODE PENELITIAN

### Rancangan Penelitian

Benda uji dibuat berdasarkan perhitungan sampel dengan percobaan faktorial sebagian. Rancangan faktorial yang digunakan adalah rancangan faktorial setengah.

Kombinasi perlakuan	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
abc	+	+	+	+	+	+	+
a	+	-	-	-	-	+	+
b	-	+	-	-	+	-	+
c	-	-	+	+	-	-	+
ab	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	-	+	-	+	-	-
bc	-	+	+	-	-	+	-
(1)	-	-	-	+	+	+	-

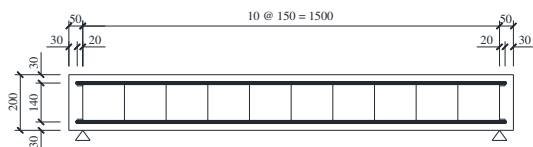
**Gambar 2** Rancangan faktorial sebagian

Penelitian ini dibutuhkan 8 benda uji *pullout*. Masing masing benda uji terdiri dari dua buah balok beton berukuran 150 x 250 x 270 mm  $A_1B_1C_1$ ,  $A_1B_2C_1$ ,  $A_2B_1C_1$ ,  $A_2B_2C_1$  dengan dua kali pengulangan tiap perlakuan.

Penelitian ini juga membutuhkan 12 benda uji balok beton bertulang. Masing-masing benda uji berukuran 150 x 200 x 1600 mm  $A_1B_1C_1$ ,  $A_1B_2C_2$ ,  $A_2B_1C_2$ ,  $A_2B_2C_2$  dengan tiga kali pengulangan tiap perlakuan.

**Tabel 1.** faktor dan keterangan perlakuan benda uji

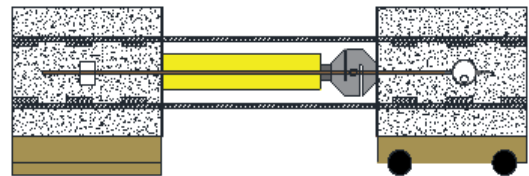
Faktor	Keterangan
A1 Serat bambu	40 gr/volume -
A2 Serat bambu	150 gr/volume +
B1 Komposisi semen dan agregat	1:2:1 -
B2 Komposisi semen dan agregat	1:2,5:1,5 +
C1 Rasio tulangan	1% -
C2 Rasio tulangan	1,5% +



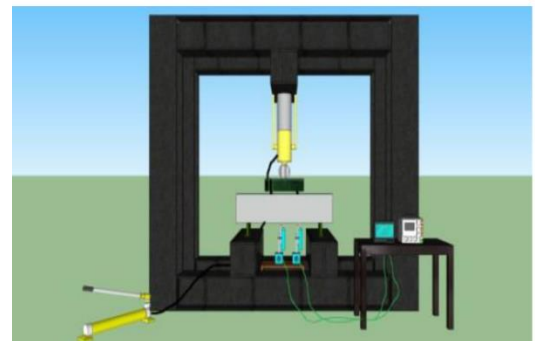
**Gambar 3** Rencana penulangan balok Cara Penelitian dan Pengujian

Tahapan - tahapan pelaksanaan

penelitian adalah pertama mempersiapkan bahan – bahan dan peralatan. Kedua, pengecatan dan pelumuran pasir untuk tulangan dan serat bambu dengan menggunakan cat polimer. Ketiga, pembuatan cetakan beton (bekisting). Keempat, perangkaian tulangan bambu. Kelima, pencampuran bahan beton. Keenam, pengukuran nilai *slump* dari tiap-tiap variasi. Ketujuh, memasukkan campuran adukan beton ke dalam bekisting. Kemudian dilakukan perawatan (*curing*), lalu pelepasan bekisting. Terakhir dilakukan pengujian benda uji *pullout*, balok beton bertulang dan silinder beton.



**Gambar 4** Skema pengujian benda uji *pullout*



**Gambar 5** Skema pengujian balok sederhana menggunakan LVDT

### Analisa Data

Dari hasil penelitian yang akan diperoleh dari pengujian, kemudian diolah dan dianalisis menggunakan prosedur analisis statistik. Ada tidaknya pengaruh rasio tulangan bambu dengan kuat lentur dinyatakan secara statistik melalui analisis berikut :

$$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2 = \mu_3^2 = \dots = \mu_k^2$$

$$H_1 : \mu_1^2 \neq \mu_2^2 \neq \mu_3^2 \neq \dots \neq \mu_k^2$$

Dengan  $H_0$ : hipotesis awal, yang

menyatakan tidak ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat,  $H_1$ : hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

**Tabel 2.** Matrix perlakuan benda uji

	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>	
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>

$$\text{Kontras } C = (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_2) - (A_1B_1C_1 + A_2B_2C_1)$$

Prosedur analisis ragam untuk percobaan faktorial yang terdiri dari tiga faktor (faktor A, B dan C) dengan menggunakan rancangan dasar RAL (Rancangan Acak Linier) dapat melalui tahap-tahap berikut:

1. Hitung FK, JKT, JKP, dan JKG.  

$$JKP = JKC$$

$$JKT = \sum \sum y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{\text{banyak benda uji}}$$

$$JKG = JKT - JKP$$
2. Tentukan derajat bebas (DB) masing-masing melalui:  

$$DB \text{ perlakuan} = abc - DB \text{ galat} = abc(r - 1)$$

$$DB \text{ total} = rabc - 1$$
3. Cari nilai jumlah kuadrat (JK) untuk pengaruh utama, sebagai berikut:  

$$JKC = \frac{(\text{Kontras} - C)^2}{2^2 n}$$
4. Menentukan kuadrat tengah (KT)  

$$KTC = JKC / DB$$
5. Menyusun daftar analisis ragam seperti dibawah ini:

**Tabel 3.** Analisis ragam

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	f hitung
Perlakuan				
C	a - 1	JKA	KTA	JKA/JKG
Galat	rabc - a	JKG	KTG	
Total	rabc - 1	JKT	-	

Apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$  berarti  $H_0$  ditolak  $H_1$  diterima. Demikian juga bila  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , maka kesimpulan yang terjadi adalah sebaliknya.

## PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Pullout Tulangan Bambu

**Tabel 4.** Hasil pengujian pullout

Benda Uji	Beban (kg)	Beban Rata-Rata (kg)	fy (MPa)
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	$\frac{1}{2} \begin{matrix} 1140 \\ 640 \end{matrix}$	890	0,185
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	$\frac{1}{2} \begin{matrix} 720 \\ 940 \end{matrix}$	830	0,173
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	$\frac{1}{2} \begin{matrix} 880 \\ 560 \end{matrix}$	720	0,150
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	$\frac{1}{2} \begin{matrix} 700 \\ 420 \end{matrix}$	560	0,117

Berdasarkan dari **Tabel 4**, hasil tegangan lekat bambu dengan menggunakan rasio tulangan rendah menunjukkan adanya penurunan kuat lekat pada pengaruh penambahan serat.

### Hasil Pengujian Beton

**Tabel 5.** Hasil pengujian silinder beton

Nama Benda Uji	fc (Mpa)	Berat Isi (kg/m <sup>3</sup> )
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	20,39	1978,92
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	16,08	1873,50
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	20,90	1995,27
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	19,29	1855,26
BK 1 (A <sub>0</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> )	14,93	1903,89
BK 2 (Beton Normal)	16,80	2287,12

Pada pengujian ini didapatkan nilai *slump* 100 mm. Selanjutnya nilai kuat tekan beton tersebut digunakan dalam analisis perhitungan beban maksimum (Pu) teoritis yang dapat ditahan oleh balok.

### Pengujian Balok Beton Bertulangan

**Tabel 6.** Hasil pengujian balok beton bertulang

	benda uji	Pmaks (Kg)			KR%	Selisih (%)
		Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis		
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	1	1850	1950,00	1665,22	14,6	11,4%
	2	1550				
	3	2450				
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	1	1650	2200,00	1838,18	16,45	
	2	2350				
	3	2600				
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1	1950	1900,00	1619,36	14,77	10,7%
	2	2150				
	3	1600				
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	1	2150	1716,67	1059,17	38,3	
	2	1250				
	3	1750				
Bk 1 (A <sub>0</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> )	1	950	950	1044,45	23,259	
Bk 2 (Beton Normal)	1	2850	2850	5707,05	50,0617	

Berdasarkan **Tabel 6.** didapatkan hasil bahwa kesalahan relatif 14,6% untuk perbandingan antara beban maksimum hasil eksperimen dengan teoritis. Salah satu penyebabnya adalah lekatan antara bambu dan beton yang lebih kuat dari data uji pullout yang digunakan. Dimana tulangan yang mengalami slip pada hasil uji *pull-out* rata-rata hanya satu tulangan saja, sedangkan tulangan yang digunakan saat uji *pull-out* ada dua sehingga nilai kuat lekatnya menjadi lebih kecil.

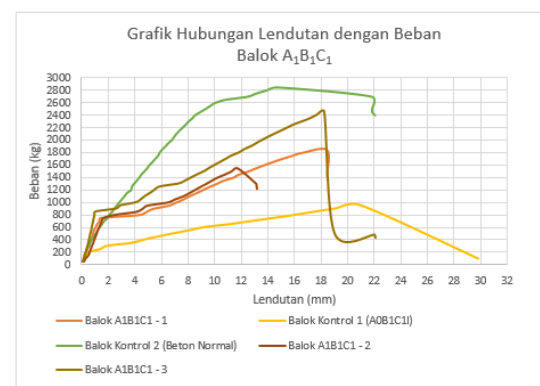
Dengan melihat **Tabel 6.** rasio tulangan memberikan pengaruh dalam peningkatan beban maksimum balok. Beban maksimum dapat bertambah 10,7%-11,4%. Hal ini dikarenakan dengan rasio yang lebih tinggi maka luas selimut tulangan yang berlekatan dengan beton akan semakin luas sehingga memperbesar nilai gaya tarik (T) penampang yang berakibat pada peningkatan kuat lentur balok.

### Analisis lendutan dan kekakuan Balok Beton Bertulangan

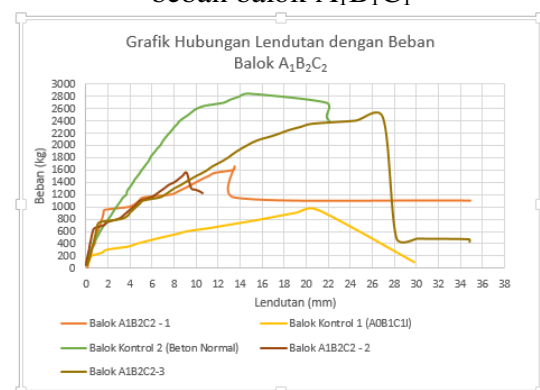
Perhitungan lendutan teoritis menggunakan metode *conjugate beam* dan menghitung kekakuan dengan membagi beban dengan lendutan.

**Tabel 7.** Lendutan teoritis

No	Benda Uji	Lendutan (mm)
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	0,074
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0,091
3	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	0,072
4	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	0,084
5	Bk 1 (A <sub>0</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> )	0,092
6	Bk 2 (Beton Normal)	0,066



**Gambar 6** Grafik antara lendutan dengan beban balok A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>



**Gambar 7** Grafik antara lendutan dengan beban A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>

Rata-rata keruntuhan balok diakibatkan oleh hilangnya lekatan antara tulangan bambu dengan beton atau selip. Berdasarkan gambar diatas terdapat beberapa benda uji setelah mengalami keruntuhan akibat beban maksimum, grafik benda uji tersebut sedikit mengalami kenaikan. Dikarenakan kuat



lekat dari tulangan bambu dengan beton yang tidak merata pada sepanjang tulangan sehingga diakhir keruntuhan terlihat seolah-olah balok kembali memiliki kekuatan untuk menahan beban.

**Tabel 8.** Perbandingan nilai lendutan teoritis dan kctual

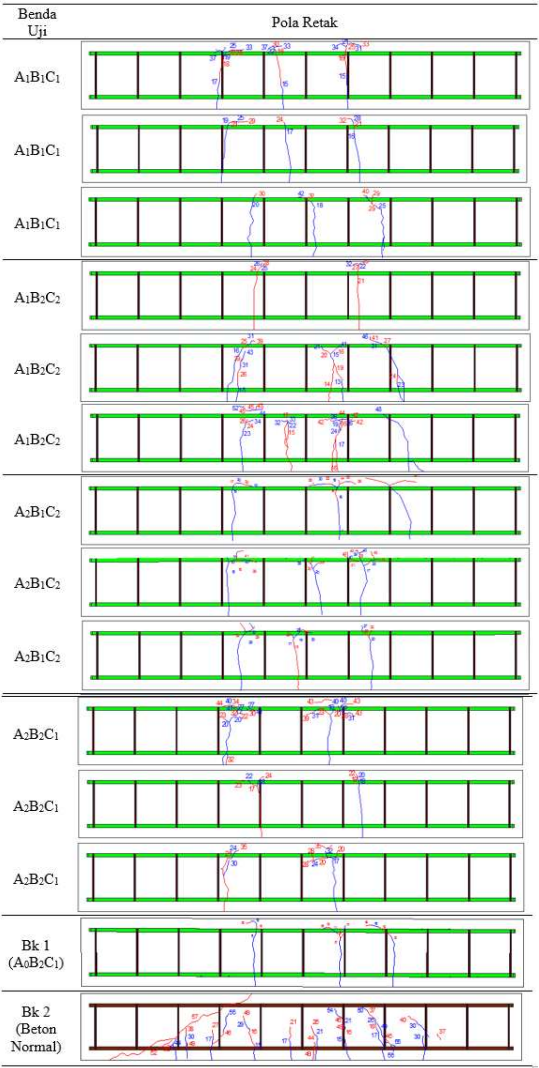
No	benda uji	P Elastis (kg)	Lendutan (mm)			KR%	Selisih (%)
			Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis		
A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	1	200	0,45	0,44	0,072	83,53	39,4%
	2		0,57				
	3		0,3				
A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	1	200	0,27	0,27	0,091	65,95	
	2		0,19				
	3		0,34				
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1	200	0,3	0,26	0,074	71,43	17,5%
	2		0,265				
	3		0,215				
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	1	200	0,31	0,32	0,084	73,29	
	2		0,395				
	3		0,24				
Bk 1 (A <sub>0</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> )	1	200	0,51	0,51	0,092	81,97	
Bk 2 (Beton Normal)	1	200	0,27	0,27	0,066	75,61	

Berdasarkan **Tabel 8.** nilai kesalahan relatif cukup signifikan yaitu 65,95%. Perbedaan nilai lendutan teoritis dan aktual yang cukup besar disebabkan oleh perbedaan nilai modulus elastisitas (E). Karena benda uji yang telah diberikan beban secara terus menerus akan mengalami keausan sehingga nilai E dari benda uji tersebut akan semakin berkurang.

Dengan melihat **Tabel 8.** rasio tulangan memberikan pengaruh dalam penurunan lendutan balok pada kondisi elastis. Semakin tinggi rasio dapat dilihat bahwa lendutan dapat berkurang 17,5%-39,4%. Hal ini dikarenakan dengan rasio yang lebih tinggi maka beban maksimum yang ditahan akan semakin besar sehingga lendutan yang terjadi pada beban yang sama jika dibandingkan maka rasio yang lebih tinggi akan memiliki lendutan yang lebih kecil.

### Pola Retak

**Tabel 7.** Tipe pola retak pada balok beton bertulang



Dari **Tabel 7.** terlihat hubungan antara pola retak dan beban vertikal maksimum yang dapat ditahan suatu balok beton bertulang. Pola yang terjadi yaitu balok mengalami keruntuhan lentur murni. Nilai a/d untuk benda uji penelitian ini yaitu 3,23. Maka keruntuhan lentur mulai bersifat dominan dan keruntuhan geser dimulai dengan retak lentur dan akan semakin miring jika semakin dekat ke perletakan yang tegangan gesernya semakin besar.

### Uji Anova Satu Arah

- Hasil penelitian beban maksimum untuk 3 kali pengulangan

**Tabel 8.** Beban maksimum untuk 3 kali pengulangan



	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>	
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
C <sub>1</sub>	1850			2150
	1550			1250
	2450			1750
C <sub>2</sub>		1650	1950	
		2350	2150	
		2600	1600	

Jumlah total beban = 23300 kg

- Hasil kuadrat beban maksimum

**Tabel 9.** Hasil kuadrat beban maksimum

	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>	
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
C <sub>1</sub>	3422500			4622500
	2402500			1562500
	6002500			3062500
C <sub>2</sub>		2722500	3802500	
		5522500	4622500	
		6760000	2560000	

Jumlah hasil kuadrat beban = 47065000 kg

- Rekapitulasi beban setiap rancangan benda uji

**Tabel 10.** Rekapitulasi beban setiap rancangan benda uji

Variasi sampel	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
	l	bc	ac	ab
Beban maks	1850	1650	1950	2150
	1550	2350	2150	1250
	2450	2600	1600	1750
Jumlah	5850	6600	5700	5150

- Kontras

$$\text{Kontras } C = (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_2) - (A_1B_1C_1 + A_2B_2C_1)$$

$$\text{Kontras } C = (6600 + 5700) - (5850 + 5150) = 1300$$

- $$JKC = \frac{(\text{kontras}-C)^2}{2^3n}$$

$$= \frac{(1300)^2}{2^3 \cdot 3}$$

$$= 140833$$

- $$JKT = \sum \sum \sum y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{\text{banyak benda uji}}$$

$$= 47065000 - \frac{(23300)^2}{12}$$

$$= 1824167$$

- $$JKG = JKT - JKP$$

$$= 1824167 - 140833$$

$$= 1683333$$

- $$KT(C) = JKC / DB$$

$$= 140833 / 1$$

$$= 140833$$

- $$KTG = JKG / DB$$

$$= 1683333 / 10$$

$$= 1688333,3$$

- $$F_{\text{hitung}} = \frac{KTC}{KTG}$$

$$= 140833 / 1688333,3$$

$$= 0,84$$

**Tabel 10.** Analisa ragam

Perilaku	JK	DB	KT	f hitung	F tabel	
					5%	39%
Pengaruh Utama						
C	140833,33	1	140833,33	0,84	4,96	0,81
Galat	1683333,33	10	168333,33			
Total	1824166,67	11				

Pada nilai ketidakpercayaan 5%  $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$  maka rasio tulangan tidak memiliki pengaruh terhadap beban maksimum balok beton. Namun dengan nilai ketidakpercayaan 39%  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ . Hal ini berarti terdapat pengaruh rasio tulangan bambu pada balok beton bertulang bambu dengan campuran serat bambu dan agregat kasar batu apung terhadap beban maksimum balok beton, namun tidak signifikan. Agar rasio tulangan memberikan pengaruh yang nyata terhadap beban maksimum balok maka nilai keyakinan yang digunakan harus 95%.

Kecilnya nilai keyakinan disebabkan oleh banyaknya data yang masuk ke dalam ragam dalam kelompok sehingga akurasi data menjadi berkurang. Ragam dalam kelompok yang besar dalam penelitian ini disebabkan oleh taraf perlakuan rasio tulangan yang terlalu dekat selisihnya serta faktor yang tidak terduga yang ternyata ikut berperan dalam hasil penelitian yaitu lekatan antara tulangan bambu dengan beton yang berbeda-beda antar masing-masing benda uji.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisis data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil eksperimental rasio tulangan bambu dapat

meningkatkan beban maksimum balok, namun tidak signifikan karena hanya 10,7%-11,4. Pada analisis statistik rasio tulangan bambu memiliki pengaruh pada peningkatan beban maksimum pada benda uji balok. Hal ini dibuktikan dengan analisis varian satu arah (anova) terhadap kuat lentur benda uji balok yang menunjukkan adanya peningkatan dengan tingkat kepercayaan 61% ( $\alpha=39\%$ ), namun pengaruh yang ada tidak signifikan. Agar suatu perlakuan dapat dikatakan memberikan pengaruh yang nyata maka nilai tingkat kepercayaan 95% ( $\alpha=5\%$ ).

2. Rasio tulangan bambu 1,5% dapat menurunkan lendutan yang terjadi pada benda uji balok saat kondisi elastis sebesar 17,5%-39,4%, serta meningkatkan kekakuan sebesar 18,5 %-62,9%. Nilai rata-rata lendutan dan kekakuan pada kondisi elastis yang dapat ditahan oleh balok dengan rasio tulangan bambu 1,5% sebesar 0,27 mm dan 793,87 kg/mm.

## SARAN

Berikut ini merupakan beberapa saran-saran yang berkaitan dengan penelitian balok beton bertulang bambu dengan campuran serat bambu dan agregat kasar batu apung :

1. Penelitian ini bisa dijadikan referensi, untuk selanjutnya variasi rasio tulangan tidak terlalu dekat selisihnya agar tidak terlalu banyak ragam dalam kelompok pada penelitian yang akan dilakukan
2. Dalam pelaksanaan, pemberian pasir pada tulangan bambu harus lebih merata dan banyak agar lekatan bambu dengan beton menjadi lebih kuat.
3. Perlu diadakan praktikum yang lebih detail dalam mengatasi selip antara tulangan bambu dengan

beton dan meningkatkan lekatan bambu dengan beton.

4. Kualitas tulangan bambu harus lebih diperhatikan, jangan sampai bambu yang dipakai telah lapuk. Tulangan bambu dipilih dengan baik agar data yang dihasilkan dapat maksimal.
5. Perlu diadakan praktikum yang lebih detail dalam mencari nilai kuat lekat bambu dengan bambu. Dikarenakan masih banyak kekurangan dalam uji pullout pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standards. (2004). *ASTM C 150 150 – 04 Standards Specification For Portland Cement*. West Conshohocken: ASTM International
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Ghavami, K. (2004). *Bambu as Reinforcement in Struktural Concrete Element, Cement & Concrete Composite*.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Nurlina, S. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.
- SNI 03-2461-2002. (2002). *Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-3449-2002. (2002). *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- SNI 15-2049-2004. (2004). *Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Soroushian & Bayasi. (1987). *Fibre Reinforced Concrete Design and application*. Seminar Proceeding Composite And Structure centre. Michigan State University
- Suseno, H. (2010). *Bahana Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- Walpole, Ronald E & Raymond H. Myers. (1995). *Ilmu Peluang Dan Statistika Untuk Insinyru Dan Ilmuwan*. Bandung: ITB.