

**INTERAKSI ANTARA SERAT BAMBU DENGAN KOMPOSISI
SEMEN DAN AGREGAT KASAR BATU APUNG TERHADAP
KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG BAMBU**

PUBLIKASI ILMIAH

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD HAMZAH
NIM. 125060100111058

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

INTERAKSI ANTARA SERAT BAMBU DENGAN KOMPOSISI SEMEN DAN AGREGAT KASAR BATU APUNG TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG BAMBU

Muhammad Hamzah, 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: muhammadhamzah1993@gmail.com

ABSTRAK

Pengembangan teknologi bahan yang sedang populer adalah beton ringan dan beton serat. Beton ringan sendiri adalah beton yang mempunyai berat isi lebih kecil dibandingkan beton normal. Sedangkan beton serat ialah beton yang diberikan material serat baik itu alami maupun buatan. Sehingga, dari kombinasi beton ringan dan beton serat diharapkan mampu menambah kuat tarik dan kuat tekan beton serta mengurangi berat volume itu sendiri. Pada eksperimen ini, dibuat 12 benda uji balok dengan dimensi 160 x 20 x 15 cm dan 8 buah benda uji *pull-out* dengan ukuran 27 x 25 x 15 cm. Benda uji dirancang dengan menggunakan rancangan setengah faktorial varian dua arah yang terdiri dari pengaruh penambahan serat bambu (40gr dan 150 gr tiap volume benda uji), komposisi semen dan agregat (1:2:1 dan 1:2,5:1,5), dan rasio tulangan (1% dan 1,5%). Pengujian balok diletakkan pada 2 tumpuan sederhana. Dari hasil pengujian, komposisi balok yang memiliki serat bambu rendah (40gr) akan menahan beban maksimum lebih besar, lendutan yang terjadi lebih besar, dan kekakuannya lebih kecil dibandingkan dengan kadar serat bambu tinggi. Sedangkan untuk komposisi balok dengan perbandingan semen, pasir, dan agregat 1:2:1 akan menahan beban maksimum lebih kecil, lendutan yang dihasilkan lebih kecil, dan kekakuannya lebih besar daripada komposisi semen dan agregat 1:2,5:1,5. Tetapi, jika dilihat dari pola retaknya, beban maksimum yang besar memiliki jumlah pola retak yang banyak. Sedangkan jika dilihat dari analisa statistik anova dan regresi, maka interaksi itu ada namun tidak signifikan.

Kata kunci : serat bambu, komposisi, kuat lentur, balok, tulangan bambu.

ABSTRACT

Materials technology development that are popular are lightweight concrete and fiber-reinforced concrete. Lightweight concrete itself is concrete that has a bulk density lower than normal concrete. While fiber-reinforced concrete is concrete that supplied fiber material both natural and artificial. Thus, from a combination of lightweight concrete and fiber-reinforced concrete is expected to add tensile strength and compressive strength and reduces weight volume itself. In this experiment, made 12 test object beam with dimensions of 160 x 20 x 15 cm and 8 specimens of pull-out size 27 x 25 x 15 cm. The test object is designed to use half-factorial design variants comprising a two-way effect of bamboo fiber (40gr and 150 g per volume of the test specimen), the composition of cement and aggregates (1 : 2 : 1 and 1 : 2.5 : 1.5) and reinforcement ratio (1% and 1.5%). Testing beam laid on two simple supported. From the test results, the composition of the bamboo fiber beams that have low (40gr) will hold a larger maximum load, deflection are greater, and rigidity is smaller than the high-grade bamboo fiber. As for the composition ratio of the beam with cement, sand and aggregate 1 : 2 : 1 will withstand the maximum load is smaller, the smaller the resulting deflection and greater rigidity than the composition of cement and aggregate 1 : 2.5 : 1.5. However, when seen from the breakdown of the pattern, the maximum load that large cracks had the number of patterns that much. Meanwhile, if viewed from a statistical analysis of ANOVA and regression, the interactions that exist but are not significant.

Keywords : Bamboo fiber, composition, flexural strength, beam, bamboo reinforcement.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, pengembangan teknologi bahan dibidang konstruksi yang kian lama makin berkembang pesat ialah beton ringan dan beton serat serta tulangan bambu. Dikarenakan beton ringan mampu membuat komponen struktural menjadi lebih ringan dari beton konvensional dan beton serat sendiri dapat meningkatkan mutu dari beton serta kekuatan tariknya juga bertambah, dan juga penggunaan bambu sebagai tulangan, guna mengurangi pemakaian besi pada pembangunan gedung atau jembatan maka dirancanglah sebuah penelitian mengenai balok yang mencakup ketiga hal tersebut, agar dapat mengamati lebih dalam tentang perilakunya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hipotesa

Hipotesa pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap kekuatan tarik dan tekan pada balok beton bertulang bambu.
2. Ada pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang bambu.
3. Ada pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap lendutan balok beton bertulang bambu.
4. Ada pengaruh dari penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice* terhadap kekakuan balok beton bertulang bambu.
5. Terdapat pengaruh yang signifikan dari interaksi penambahan serat bambu dan komposisi antara semen dengan batu *pumice*.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Eksperimen mengenai “Interaksi antara Serat Bambu dengan Komposisi

Semen dan Agregat Kasar Batu Apung terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Bambu” ini, dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan ini berkisar dari bulan April hingga Juni 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan alat-alat yang meliputi:

- Satu set ayakan
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr
- Mesin pencampur beton
- Tongkat pematik
- Alat uji slump
- *Vibrator*
- Ember
- Sekop
- Talam
- *Loading frame*
- *Hydraulic jack*
- *Proving ring* pembaca beban
- *LVDT*
- Baskom
- Alat penyaring
- Alat uji tekan silinder
- Kuas
- Bor
- *Screw*

Bahan-bahan yang dibutuhkan sebagai berikut:

1. Semen PPC
2. Agregat halus (pasir dari pasaran)
3. Agregat kasar (batu *pumice*)
4. Serat Bambu
5. Cat kayu
6. Tulangan bambu
7. Senggang polos Ø6 mm
8. Bendrat
9. Bekisting tebal 12 mm

3.3 Analisa Bahan yang Digunakan

➤ Semen

Semen yang digunakan dalam eksperimen ini adalah semen PPC dengan

berat jenis 3,15 kg/m³. Bahan ini tidak dilakukan pengujian khusus.

➤ **Air**

Air bersih PDAM Kota Malang adalah air yang digunakan dalam percobaan ini yang diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya. Untuk bahan ini tidak ada pengujian khusus.

➤ **Agregat Halus**

Pasir dari Lumajang adalah agregat halus yang dipakai dalam penelitian ini. Dimana, bahan ini diuji mengenai gradasi, berat jenis dan berat isi. Pasir harus tetap terjaga dari kotoran anorganik dan organik agar kualitasnya masih sama saat dibeli dari pasaran.

➤ **Agregat Kasar**

Batu apung atau *pumice stone* yang didapatkan dari Lombok dengan diameter maksimum 20 mm dan berat jenis 1080 kg/m³ adalah agregat kasar yang digunakan dalam percobaan ini. Dari hasil penelitian sebelumnya, bahwa agregat kasar ini diberi perlakuan dengan melapisi permukaannya menggunakan cat transparan. Hal tersebut dilakukan agar porositas dari batu apung makin mengecil sehingga beratnya juga makin ringan. Selain itu, beberapa pengujian yang mendukung data juga dilakukan pada agregat kasar ini seperti yang diuji pada agregat halus.

➤ **Tulangan Bambu**

Bambu ori yang didapatkan dipasaran adalah jenis dari bambu tulangan yang dipakai dalam eksperimen ini. Dimensi dari tulangan ini ialah panjang 154 cm, tinggi 1 cm, dan lebar 1,5 cm dan 2 cm. Tidak ada pengujian khusus pada bambu ini hanya diberi pasir pada permukaan tulangan yang sebelumnya dicat terlebih dahulu.

➤ **Serat Bambu**

Serat bambu didapatkan dari limbah pabrik tusuk sate yang memiliki ketebalan dan lebar yang sama namun panjangnya berbeda. Sehingga panjang yang digunakan adalah 1,5 hingga 2 kali dari diameter maksimum agregat kasar. Serat bambu diberi perlakuan khusus dengan

melapisi pasir pada permukaannya yang telah direndam pada lem beton.

3.4 Variabel Penelitian

Pada eksperimen ini, variabel yang dipakai sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*Independent variable*) ialah variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian kali ini yang merupakan variabel bebas adalah serat bambu dan komposisi semen dengan agregat.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu analisa kuat lentur pada beton bertulang bambu.

3.5 Rancangan Penelitian

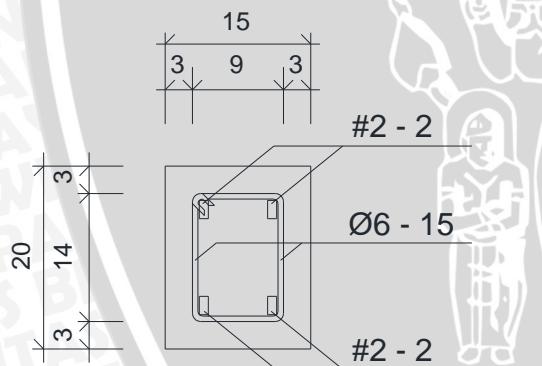
Pada penelitian kali ini, jumlah benda uji ada 12 buah dengan ukuran 15 x 20 x 160 cm dan benda uji *pull-out* sebanyak 8 buah dengan ukuran 15 x 25 x 27 cm, yang mana setiap benda ujinya dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rancangan Benda Uji

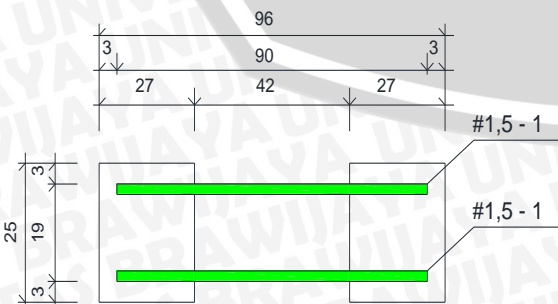
	Serat Rendah (A1)		Serat Tinggi (A2)	
	Komposisi Rendah (B1)	Komposisi Tinggi (B2)	Komposisi Rendah (B1)	Komposisi Tinggi (B2)
Rasio Rendah (C1)				
Rasio Tinggi (C2)				

- 3 balok bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, komposisi semen dan agregat 1:2:1, dan serat bambu sebanyak 40 gr/volume benda uji.
- 3 balok bertulang bambu dengan rasio tulangan 1,5%, komposisi semen dan agregat 1:2,5:1,5, dan serat bambu sebanyak 40 gr/volume benda uji.
- 3 balok bertulang bambu dengan rasio tulangan 1,5%, komposisi semen dan agregat 1:2:1, dan serat bambu sebanyak 150 gr/volume benda uji.

- 3 balok bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, komposisi semen dan agregat 1:2,5:1,5, dan serat bambu sebanyak 150 gr/volume benda uji.
- 2 balok *pull-out* bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, komposisi semen dan agregat 1:2:1, dan serat bambu sebanyak 40 gr/volume benda uji.
- 2 balok *pull-out* bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, komposisi semen dan agregat 1:2:1, dan serat bambu sebanyak 150 gr/volume benda uji.
- 2 balok *pull-out* bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, komposisi semen dan agregat 1:2,5:1,5, dan serat bambu sebanyak 40 gr/volume benda uji.
- 2 balok *pull-out* bertulang bambu dengan rasio tulangan 1%, komposisi semen dan agregat 1:2,5:1,5, dan serat bambu sebanyak 150 gr/volume benda uji.



Gambar 3.1 Potongan melintang benda uji balok



Gambar 3.2 Potongan melintang benda uji *pull-out*

3.6 Prosedur Penelitian

Dalam prosedur penelitian ini dilakukan beberapa langkah yang menunjang hasil dari penelitian. Langkah pertama yang dilakukan adalah persiapan. Persiapan dalam penelitian ini meliputi penyediaan material dan peralatan, pengecatan serat bambu beserta tulangan bambu dan batu apung, pelumuran pasir pada serat bambu dan tulangan bambu, pembuatan bekisting dan pengadaan tulangan.

Langkah kedua adalah analisa bahan agregat halus dan kasar. Agregat halus dan kasar yang didapatkan dari pasaran perlu dilakukan beberapa analisa seperti *specific gravity*, berat jenis, dan berat isi. Dari analisa tersebut, diperoleh data untuk merencanakan beton yang akan dibuat.

Langkah ketiga adalah uji tekan silinder. Pada hal ini, benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, yang didapat dari setiap kali pengecoran balok sejumlah 3 buah. Setelah silinder berumur 28 hari, uji tekan dapat dilaksanakan.

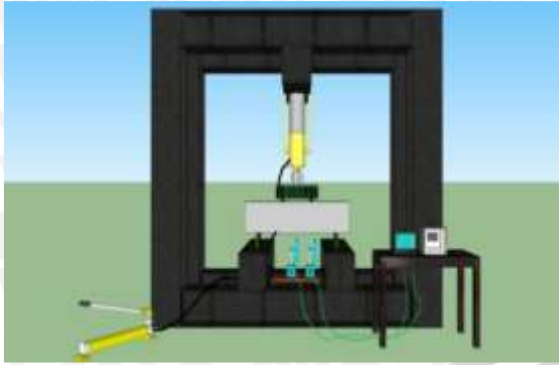
Langkah keempat adalah pembuatan balok yang meliputi penulangan, uji *slump*, pengecoran, dan *curing*.

Dan langkah yang terakhir adalah pembuatan benda uji *pull-out*, dimana benda uji ini dipergunakan untuk mengetahui kuat lekat antara tulangan bambu dengan beton.

3.7 Cara Penelitian dan Pengujian

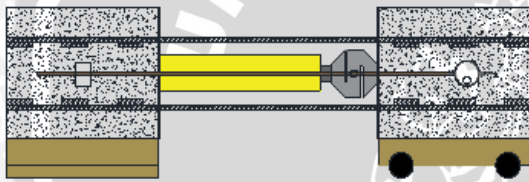
Pengujian dilakukan saat benda uji yang dicor telah berumur 28 hari atau lebih. Adapun cara dari pengujian percobaan ini adalah sebagai berikut:

- Balok diletakkan pada *loading frame* dengan 2 tumpuan. Balok diberi beban terusat vertikal yang sama besar pada *spreader beam* yang ada.
- Balok dibebani secara bertahap sampai dapat nilai beban maksimum dan lendutan.
- Pembacaan beban pada alat *load indicator* dan lendutan pada alat *LVCDT*.



Gambar 3.3 Setting pengujian balok

Pada benda uji *pull-out*, cara pengujian yang dilakukan sama dengan benda uji balok. Hanya saja benda uji diletakkan pada tanah rata atau bidang yang rata. Pembacaan beban dibaca pada alat *load indicator* sedangkan *displacement* nya dibaca pada alat *dial kit*.



Gambar 3.4 Setting pengujian *pull-out*

3.8 Analisa Data

➤ Analisa Statistik

Benda uji balok yang akan dibuat dalam penelitian ini menggunakan rancangan setengah faktorial. Dimana dalam 1 baloknya diberikan 3 pengaruh yang berbeda tingkat tarafnya.

Tabel 3.2 Faktor perlakuan benda uji

Faktor	Keterangan	
A1	Serat bambu	40 gr/volume benda uji -
A2	Serat bambu	150 gr/volume benda uji +
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% +

Keterangan (Asumsi):

- 1 = Taraf rendah (-)
- 2 = Taraf tinggi (+)

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

Gambar 3.5 Rancangan faktorial sebagian Kontras A = $(A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_1C_1 + A_1B_2C_2)$

Kontras B = $(A_1B_2C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_1C_1 + A_2B_1C_2)$

Kontras AB = $(A_1B_1C_1 + A_2B_2C_1) - (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_2)$

Prosedur analisis ragam untuk percobaan faktorial tersebut yang terdiri dari empat faktor (A, B, C, dan AB) dengan menggunakan RAL (Rancangan Acak Lengkap) dapat mengikuti langkah-langkah berikut:

▪ Tahap 1

Hitung FK (faktor kuadrat), JKT (jumlah kuadrat total), JKP (jumlah kuadrat pengaruh), dan JKG (jumlah kuadrat galat).

$$JKP = JKA = JKB = JKAB$$

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

$$JKG = JKT - JKP$$

▪ Tahap 2

Menentukan derajat bebas (DB) masing-masing

$$DB \text{ perlakuan} = abc - 1$$

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

$$DB \text{ total} = rabc - 1$$

▪ Tahap 3

Mencari nilai jumlah kuadrat pengaruh utama dan interaksi, sebagai berikut:

$$JKA = \frac{(\text{Kontras A})^2}{2^2n}$$

$$JKB = \frac{(\text{Kontras B})^2}{2^2n}$$

$$JKAB = \frac{(\text{Kontras AB})^2}{2^2n}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Beton

➤ Pengujian Beton Segar

Campuran dari semen, agregat halus dan agregat kasar yang baru dikeluarkan dari mesin pengadukan dinamakan beton segar. Angka yang menunjukkan sifat kelecakan dari beton segar disebut dengan nilai *slump*. Target angka *slump* pada pengujian ini mengikuti syarat dari PBI yaitu 75 mm hingga 150 mm.



Gambar 4.1 Pengujian *Slump*

➤ Pengujian Tegangan Pull-Out



Gambar 4.2 Setting pengujian *pull-out*

Pengujian tegangan *pull-out* dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tegangan lekatan antara bambu dengan beton. Hasil dari pengujian ini akan didapatkan nilai beban dan *displacement*, namun yang digunakan untuk perhitungan *pull-out* hanyalah beban (P) saja.

Tabel 4.1 Hasil pengujian *pull-out*

Benda Uji	Ukuran Pesampang			Ketling (cm)	No.	Beban Maksimum (kg)	Rata-Rata Beban (kg)	fy (Mpa)
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Panjang Persegi panjang (cm)					
A1B2C1	1,5	1	24	5	1	720	830	0,173
					2	940		
A2B2C1	1,5	1	24	5	1	700	560	0,117
					2	420		
A2B1C1	1,5	1	24	3	1	880	720	0,150
					2	560		
A1B1C1	1,5	1	24	3	1	1140	890	0,185
					2	640		
A0B2C1	1,5	1	24	3	1	650	625	0,130
					2	600		

Pada hasil tersebut, nilai tegangan lekat bambu untuk pengaruh penambahan serat menunjukkan penurunan kuat lekat dan itu juga terjadi pada pengaruh komposisi yang mengalami penurunan.

➤ Perencanaan Komposisi Beton

Pada percobaan ini tidak dilakukan perencanaan *mix design* dikarenakan beton yang digunakan menggunakan material yang ringan dan perencanaan *mix design* untuk beton ringan sendiri masih belum ada. Maka sebelum penelitian, dilakukan percobaan pendahuluan agar didapatkan komposisi yang tepat dan mutu beton yang sesuai rencana yaitu 15 Mpa hingga 20 Mpa.

Tabel 4.2 Berat isi material beton ringan

	Semen	Pasir	Batu Apung
Berat Isi (kg/m ³)	3150	1914	658

Dari data tersebut, dilakukan perhitungan kebutuhan komposisi untuk 1 balok sebagai berikut:

a. Menentukan nilai volume balok

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= p \times l \times t \\ &= 1,6 \times 0,15 \times 0,2 \\ &= 0,048 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Menentukan kebutuhan banyaknya bahan

Komposisi 1 : 2 : 1 (B1)

$$\begin{aligned} \text{Semen} &= \frac{1}{4} \times V \times W_c \\ &= \frac{1}{4} \times 0,048 \times 3150 \\ &= 37,80 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pasir} &= \frac{2}{4} \times V \times W_c \\ &= \frac{2}{4} \times 0,048 \times 1914 \\ &= 45,94 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batu Apung} &= \frac{1}{4} \times V \times W_c \\ &= \frac{1}{4} \times 0,048 \times 658 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 7,90 \text{ kg} \\ \text{Air} &= FAS \times \text{Berat Semen} \\ &= 0,4 \times 37,80 \\ &= 15,12 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda uji untuk pengujian kuat tekan beton ini dibuat berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pembuatan benda uji silinder dilakukan saat proses pengecoran balok beton dimana tiap 1 balok dihasilkan 3 buah silinder. Sehingga total silinder sebanyak 36 buah. Sedangkan untuk pengujiannya dilakukan saat beton sudah berumur 28 hari.

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)		(f _{ci} -fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²	
28	A2B1C2	176,715	422	42200	238,803	11,105	
29	A2B1C2	176,715	420	42000	237,671	19,929	
30	A2B1C2	176,715	447	44700	252,950	116,957	
31	A2B1C2	176,715	464	46400	262,570	417,577	
32	A2B1C2	176,715	361	36100	204,284	1432,726	
33	A2B1C2	176,715	425	42500	240,501	2,672	
34	A2B1C2	176,715	472	47200	267,097	623,091	
35	A2B1C2	176,715	450	45000	254,648	156,558	
36	A2B1C2	176,715	390	39000	220,695	459,705	
Jumlah						2179,220	3240,321
f _{cm}						242,136	
SD						20,128	
f _c (kg/cm ²)						209,029	
f _c (Mpa)						20,903	

Tabel 4.3 Hasil pengujian kuat tekan A1B2C2

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)		(f _{ci} -fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²	
1	A1B2C2	176,715	304	30400	172,029	355,806	
2	A1B2C2	176,715	328	32800	185,610	27,895	
3	A1B2C2	176,715	352	35200	199,191	68,884	
4	A1B2C2	176,715	332	33200	187,874	9,109	
5	A1B2C2	176,715	320	32000	181,083	96,210	
6	A1B2C2	176,715	301	30100	170,331	422,733	
7	A1B2C2	176,715	334	33400	189,005	3,558	
8	A1B2C2	176,715	407	40700	230,315	1554,194	
9	A1B2C2	176,715	358	35800	202,587	136,772	
Jumlah						1718,025	2675,159
f _{cm}						190,892	
SD						18,286	
f _c (kg/cm ²)						160,810	
f _c (Mpa)						16,081	

Tabel 4.4 Hasil pengujian kuat tekan A2B2C1

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)		(f _{ci} -fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²	
10	A2B2C1	176,715	385	38500	217,865	70,987	
11	A2B2C1	176,715	393	39300	222,393	167,766	
12	A2B2C1	176,715	367	36700	207,680	3,099	
13	A2B2C1	176,715	351	35100	198,625	116,957	
14	A2B2C1	176,715	349	34900	197,494	142,718	
15	A2B2C1	176,715	352	35200	199,191	105,038	
16	A2B2C1	176,715	392	39200	221,827	153,427	
17	A2B2C1	176,715	380	38000	215,036	31,315	
18	A2B2C1	176,715	362	36200	204,850	21,068	
Jumlah						1884,980	812,375
f _{cm}						209,440	
SD						10,077	
f _c (kg/cm ²)						192,863	
f _c (Mpa)						19,286	

Tabel 4.5 Hasil pengujian kuat tekan A1B1C1

No	Nama Benda Uji	Luas Penampang (cm ²)	Beban Maksimum		Kuat Tekan (kg/cm ²)		(f _{ci} -fcm) ²
			kN	kg	28 hari (fci)	kg/cm ²	
19	A1B1C1	176,715	363	36300	205,416	1466,239	
20	A1B1C1	176,715	440	44000	248,989	27,895	
21	A1B1C1	176,715	442	44200	250,121	41,131	
22	A1B1C1	176,715	409	40900	231,447	150,328	
23	A1B1C1	176,715	484	48400	273,888	910,862	
24	A1B1C1	176,715	464	46400	262,570	355,806	
25	A1B1C1	176,715	373	37300	211,075	1064,890	
26	A1B1C1	176,715	425	42500	240,501	10,283	
27	A1B1C1	176,715	476	47600	269,361	658,098	
Jumlah						2193,37	812,375
f _{cm}						243,207	
SD						24,201	
f _c (kg/cm ²)						203,897	
f _c (Mpa)						20,390	

Tabel 4.6 Hasil pengujian kuat tekan A2B1C2

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, untuk komposisi A1B2C2 dan A2B2C1 diperoleh nilai kuat tekan beton sebesar 16,081 Mpa dan 19,286 Mpa. Sedangkan mutu beton yang direncanakan berkisar dari 15 Mpa hingga 20 Mpa. Maka, hasil ini menunjukkan bahwa mutu beton tersebut telah sesuai dengan perencanaan. Akan tetapi, pada komposisi A1B1C1 dan A2B1C2 didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 20,390 Mpa dan 20,903 Mpa. Hasil ini tidak sesuai dengan mutu beton yang direncanakan.

4.2 Kekuatan Lentur Balok

➤ Beban Maksimum Teoritis

Perhitungan kuat lentur pada balok menggunakan cara analisa penampang. Dengan mengasumsikan balok bertulangan tunggal. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 P maksimum teoritis

No.	Benda Uji	P maks (kg)
1	A1B2C2	1884,850
2	A2B2C1	1086,799
3	A2B1C2	1661,179
4	A1B1C1	1708,187
5	BK 1	1201,187
6	BK 2	4467,918

➤ Beban Maksimum Aktual

Pengujian balok ini berdasarkan prosedur penelitian, dimana benda uji yang telah berumur 28 hari atau lebih dapat dilakukan pengujian ini. Hasil pengujian ini didapatkan nilai beban dan lendutan.

Tabel 4.8 Hasil P maks aktual dan teoritis

Benda Uji	No.	P maks (kg)			KR%
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	1650			14,33
	2	2350	2200,00	1884,85	
	3	2600			
A2B2C1	1	2150			36,69
	2	1250	1716,67	1086,8	
	3	1750			
A2B1C2	1	1950			12,57
	2	2150	1900,00	1661,18	
	3	1600			
A1B1C1	1	1850			12,40
	2	1550	1950,00	1708,14	
	3	2450			
BK 1 (A0B2C1)	1	950	950	1201,19	20,91
BK 2	1	2850	2850	4467,92	36,21

Berdasarkan tabel di atas, nilai P maks aktual lebih besar dibanding nilai P maks teoritis, hal ini disebabkan nilai kuat lekat bambu dari hasil uji *pull-out* yang berbeda dan tulangan bambu mengalami slip terlebih dahulu sehingga balok runtuh sebelum waktunya.

4.3 Berat Volume Balok

➤ Berat Volume Teoritis

Dalam perhitungan berat volume diperlukan data dari bahan penyusun seperti: dimensi tiap-tiap bahan, berat jenis setiap bahan dan jumlah bahannya. Untuk lebih jelasnya, perhitungan berat volume dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.9 Berat Volume A1B2C2

Benda Uji	Bahan	Berat Is (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A1B2C2	Bambu	1000	0,01	0,02	1,54	4	0,001232	1,232
	Beton	1873,5	0,15	0,2	1,6	1	0,048	89,93
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	92,172
							Berat Volume (kg/m ³)	1920,246

Tabel 4.10 Berat Volume A2B2C1

Benda Uji	Bahan	Berat Is (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A2B2C1	Bambu	1000	0,01	0,015	1,54	4	0,000924	0,924
	Beton	1855,3	0,15	0,2	1,6	1	0,048	89,05
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	90,989
							Berat Volume (kg/m ³)	1895,593

Tabel 4.11 Berat Volume A2B1C2

Benda Uji	Bahan	Berat Is (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A2B1C2	Bambu	1000	0,01	0,02	1,54	4	0,001232	1,232
	Beton	1995,3	0,15	0,2	1,6	1	0,048	95,77
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	98,017
							Berat Volume (kg/m ³)	2042,016

Tabel 4.12 Berat Volume A1B1C1

Benda Uji	Bahan	Berat Is (kg/m ³)	Dimensi (m)			n	Volume (m ³)	Berat (kg)
			Lebar	Tinggi	Panjang			
A1B1C1	Bambu	1000	0,01	0,015	1,54	4	0,000924	0,924
	Beton	1978,9	0,15	0,2	1,6	1	0,048	94,99
	Baja 6 mm	0,22			0,46	10	4,6	1,012
							Total (kg)	96,924
							Berat Volume (kg/m ³)	2019,251

➤ Berat Volume Aktual

Pengujian berat volume balok beton dalam penelitian ini diperlukan beberapa data, antara lain : berat, panjang, lebar, dan tinggi balok. Pengambilan data-data tersebut dilakukan dengan menggunakan alat, yaitu : meteran untuk mengukur dimensi dari balok dan timbangan untuk mendapatkan berat balok beton. Semua data tersebut dapat diambil ketika balok sudah berumur 28 hari dari masa pengecoran dan telah melewati proses perawatan serta siap untuk diuji beban vertikal.

Tabel 4.13 Berat volume aktual dan teoritis

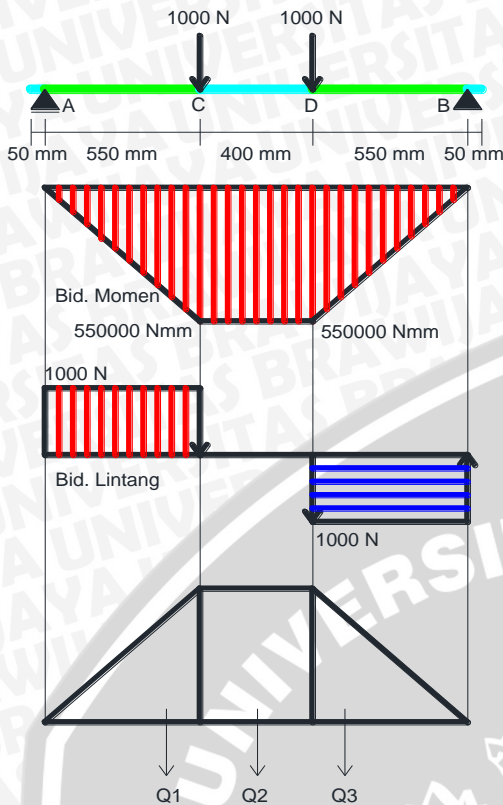
Benda Uji	No.	Berat Volume (kg/m ³)			KR%
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	1803,817			4,37
	2	1844,967	1836,31	1920,25	
	3	1860,161			
A2B2C1	1	1864,726			1,72
	2	1860,959	1863,04	1895,60	
	3	1863,443			
A2B1C2	1	1922,400			5,07
	2	1930,110	1938,41	2042,02	
	3	1962,732			
A1B1C1	1	1944,174			3,28
	2	1982,737	1953,01	2019,25	
	3	1932,106			
BK 1	1	1832,897	1832,90	1944,22	5,73
BK 2	1	2386,640	2386,64	2333,865	2,21

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa perbedaan antara teoritis dengan aktual tidak terlalu besar. Pada komposisi rendah memiliki berat volume yang lebih besar dibanding komposisi tinggi. Ini mungkin dipengaruhi oleh banyaknya bahan pada tiap komposisi dan berat isi dari beton.

4.4 Lendutan pada Balok

➤ Lendutan Teoritis

Lendutan teoritis dihitung dengan menggunakan cara *conjugate beam*. Agar didapatkan nilai lendutan, maka sebelum itu harus mengetahui nilai momen disetiap titik bentang balok dan mencari nilai Qnya.



Gambar 4.3 Conjugate Beam

Dan dari perhitungan diperoleh nilai lendutan untuk balok A1B2C2, A2B2C1, A1B1C1 dan A2B1C2 sebesar 0,09 mm, 0,08 mm, 0,07 mm, dan 0,07 mm.

➤ **Lendutan Aktual**

Nilai lendutan aktual diperoleh dari pengujian balok dengan membaca alat LVDT. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada hasil Tabel 4.14

Tabel 4.14 Lendutan aktual dan teoritis

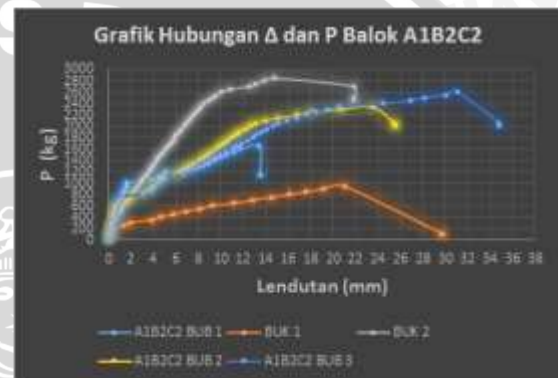
Benda Uji	No.	P Elastis (kg)	Lendutan (mm)			KR%
			Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	200	0,27	0,27	0,09	65,95
	2		0,19			
	3		0,34			
A2B2C1	1	200	0,31	0,32	0,08	73,29
	2		0,395			
	3		0,24			
A2B1C2	1	200	0,3	0,26	0,07	72,13
	2		0,265			
	3		0,215			
A1B1C1	1	200	0,45	0,44	0,07	83,12
	2		0,57			
	3		0,3			
BK 1	1	200	0,51	0,51	0,09	81,97
BK 2	1	200	0,27	0,27	0,07	75,61

Berdasarkan tabel tersebut, lendutan aktual nilainya lebih besar dibandingkan teoritis. Dan kesalahan reaktifpun juga ikut besar. Ini disebabkan nilai dari modulus

elastisitas beton teoritis dianggap sempurna, sedangkan pada aktual bahan penyusun beton kurang homogen sehingga nilai modulus elastisitasnya kecil.

4.5 Kekakuan Balok

Kekakuan dapat dilihat pada grafik ketika balok dalam kondisi elastis atau sebelum memasuki daerah plastis. Nilai kekakuan bisa didapatkan dengan cara membagi nilai beban maksimum dengan lendutan. Pada pengujian ini, nilai beban maksimum yang diambil adalah 200 kg.



Gambar 4.4 Grafik lendutan dengan beban maksimum pada balok A1B2C2

Tabel 4.15 Kekakuan aktual dan teoritis

Benda Uji	No.	Kekakuan (Kg/mm)			KR%
		Aktual	Rata-Rata Aktual	Teoritis	
A1B2C2	1	740,74	793,87	2202,79	63,96
	2	1052,63			
	3	588,24			
A2B2C1	1	645,16	661,61	2377,22	72,17
	2	506,33			
	3	833,33			
A2B1C2	1	666,67	783,87	2760,21	71,60
	2	754,72			
	3	930,23			
A1B1C1	1	444,44	487,33	2692,68	81,90
	2	350,88			
	3	666,67			
BK 1	1	392,16	392,1569	2174,59	81,97
BK 2	1	740,74	740,7407	3036,70	75,61

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kekakuan teoritis yang lebih besar dibanding aktual disebabkan oleh nilai modulus elastisitasnya. Karena saat perhitungan teoritis, nilai E dianggap sempurna sedangkan pada aktual belum tentu nilai E sempurna. Dan nilai kekakuan ini juga dipengaruhi dari nilai lendutan.

4.6 Korelasi Pola Retak dengan P maks

Pada awal pengujian, balok masi dalam kondisi elastis dan belum terjadi retakan. Namun saat balok memasuki keadaan plastis, retakan yang terjadi adalah retak lentur. Dan diakhir pengujian, retakan yang terjadi adalah retak geser.

Tabel 4.16 Korelasi pola retak dengan beban maksimum

Benda Uji	No.	Gambar Pola Retak	P maks (kg)
A1B2C2	1		1650
A1B2C2	2		2350
A1B2C2	3		2600
A2B2C1	4		2150
A2B2C1	5		1250
A2B2C1	6		1750
A2B1C2	7		1950
A2B1C2	8		2150
A2B1C2	9		1600
A1B1C1	10		1850
A1B1C1	11		1550
A1B1C1	12		2450
BK 1	13		950
BK 2	14		2650

Tabel 4.16 Hubungan jumlah pola retak dengan beban maksimum balok

Beban Maksimum (kg)	Jumlah Pola Retak		
	2	3	4
1650		2350	2600
2150		1950	
1250		2150	
1750		1600	
		1850	
		1550	
		2450	
Jumlah (kg)	6800	13903	2600
Rata-rata (kg)	1700	1986,14	2600



Gambar 4.5 Grafik antara jumlah pola retak dengan beban maksimum

Berdasarkan tabel dan gambar di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar beban maksimum yang ditahan oleh balok maka semakin banyak juga jumlah pola retak yang terjadi pada balok.

4.7 Analisa Statistika

➤ Interaksi Serat Bambu dengan Komposisi Semen dan Agregat terhadap Kuat Lentur

Dalam penelitian ini, percobaan dapat dikatakan berhasil apabila hipotesa yang direncanakan sesuai dengan hasilnya. Untuk dapat mengetahui apakah terdapat interaksi antara kedua perlakuan di atas, maka digunakan analisa statistika dengan rancangan setengah faktorial.

Hipotesis

- $H_{0A} : \alpha_1 = \alpha_2 = 0$
 H_{0A} : Tidak ada pengaruh serat bambu terhadap kuat lentur balok.
 $H_{1A} : \text{Sekurang - kurangnya satu } \alpha_i \neq \text{nol}$
 H_{1A} : Ada pengaruh pada serat bambu terhadap kuat lentur balok.

- b. $H_{0B} : \beta_1 = \beta_2 = 0$
 H_{0B} : Tidak ada pengaruh komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.
 H_{1B} : Sekurang – kurangnya satu $\beta_i \neq 0$
 H_{1B} : Ada pengaruh komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.
- c. $H_{0AB} : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = (\alpha\beta)_{13} = \dots = (\alpha\beta)_{bk} = 0$
 H_{0AB} : Tidak ada pengaruh interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.
 H_{1AB} : Sekurang – kurangnya satu $(\alpha\beta)_{bk} \neq 0$
 H_{1AB} : Ada pengaruh interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat kasar batu apung terhadap kuat lentur balok.

Tabel 4.17 Rancangan setengah faktorial beban maksimum

	A1		A2	
	B1	B2	B1	B2
C1	1850			2150
	1550			1250
	2450			1750
C2		1650	1950	
		2350	2150	
		2600	1600	
Jumlah (kg)	5850	6600	5700	5150
	23300			

Tabel 4.18 Hasil anova

Perlakuan	JK	DB	KT	F - hitung	F - tabel	
					5%	10%
Serat Bambu (A)	213333,33	1	213333,33	1,16	5,32	3,46
Komposisi Semen dan Batu Apung (B)	3333,33	1	3333,33	0,02	5,32	3,46
Interaksi (AB)	140833,33	1	140833,33	0,77	5,32	3,46
Galat	1405666,67	8	183333,33			
Total	1824166,67	11				

Berdasarkan hasil tersebut, Fhitung pada pengaruh A dan pengaruh B lebih kecil dari Ftabel baik pada taraf nyata 5% maupun 10%. Sehingga hipotesis awal yang menyatakan bahwa ada pengaruh pada serat bambu dan komposisi terhadap kuat lentur ditolak. Begitupun juga dengan interaksi antara kedua perlakuan tersebut. Fhitung < Ftabel membuat hipotesa awal ditolak juga.

Akan tetapi, jika dicari besarnya nilai taraf nyata pada interaksi A dan B maka

diperoleh sebesar 40,635% atau bisa dikatakan tingkat kepercayaannya sebesar 59,365%.

➤ Uji Regresi

Selain menggunakan analisa statistika rancangan setengah faktorial, suatu hipotesa juga bisa di analisa dengan uji regresi. Pada uji regresi ini, interaksi antara pengaruh A dan pengaruh B dapat dilihat dari tren yang terjadi antara beban maksimum dan tingkat taraf perlakuannya.



Gambar 4.6 Hubungan regresi untuk interaksi A1B2 dan A2B1



Gambar 4.7 Hubungan regresi untuk interaksi A1B1 dan A2B2

Dari kedua grafik tersebut, terlihat bahwa 2 garis atau 2 tren tiap grafik mengalami perpotongan. Sehingga dengan adanya perpotongan tersebut dapat dikatakan bahwa interaksi A dan B ada namun belum bisa dikatakan signifikan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan mengenai beton ringan dengan komposisi A1 (kadar serat 40 gr/ volume benda uji), A2 (kadar serat 150 gr/volume benda uji),

B1 {komposisi semen dan agregat 1:2:1 (mutu tinggi)}, B2 {komposisi semen dan agregat 1:2,5:1,5 (mutu rendah)}, C1 (rasio tulangan bambu 1% dengan dimensi 1,5 cm x 1 cm) dan C2 (rasio tulangan bambu dengan dimensi 2 cm x 1 cm), dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil ekperimental pada pengujian *pull-out*, nilai tegangan lekatan antar beton dengan tulangan bambu pada komposisi A1B2, A2B2, A2B1 dan A1B1 sebesar 0,173 Mpa, 0,117 Mpa, 0,150 Mpa dan 0,185 Mpa. Tetapi, dari pengujian kuat tekan didapatkan nilai mutu beton sebesar 16,08 Mpa, 19,29 Mpa, 20,90 Mpa, dan 20,39 Mpa. Maka, kadar serat yang rendah baik pada komposisi rendah maupun tinggi menghasilkan kekuatan tarik yang tinggi. Sebaliknya pada kuat tekan, komposisi yang rendah baik untuk kadar serat rendah maupun tinggi dihasilkan kuat tekan beton yang tinggi.
2. Semakin besar kadar serat bambu, maka semakin kecil beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Namun, semakin besar nilai mutu beton dari komposisi semen dan agregat, maka semakin besar pula kuat lenturnya. Sehingga, interaksi antara pengaruh serat bambu dan pengaruh komposisi untuk kekuatan lentur, dipengaruhi oleh serat bambu.
3. Nilai lendutan pada interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat dipengaruhi oleh kedua perlakuan tersebut. Sehingga dengan meningkatkan kadar atau nilai dari kedua perlakuan tersebut, maka lendutan yang dihasilkan akan semakin kecil.
4. Dua perlakuan yang terdapat dalam interaksi antara serat bambu dengan komposisi semen dan agregat, akan mempengaruhi nilai kekakuan balok. Hal ini ditunjukkan dari tren penambahan serat bambu dan penambahan komposisi. Sehingga dengan adanya kedua pengaruh tersebut

menjadikan nilai kekakuannya semakin besar.

5. Dari hasil uji analisis rancangan setengah faktorial varian dua arah, untuk interaksi dari pengaruh serat bambu dan komposisi dihasilkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, dengan tingkat kepercayaan sebesar 59,37%. Sehingga dapat dipastikan ada interaksi yang terjadi antara kedua pengaruh tersebut terhadap kuat lentur balok namun belum terlihat signifikan.

5.2 Saran

Di bawah ini terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan jika melanjutkan penelitian mengenai balok bertulang bambu dengan tambahan serat bambu dan komposisi semen dan agregat kasar batu apung:

1. Dalam pengujian *pull-out*, kesiapan mengenai alat dan metode yang akan dilakukan harus dipersiapkan dengan baik agar didapatkan data yang lebih akurat. Karena hasil dari pengujian *pull-out* sangat berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok.
2. Variasi untuk mutu beton dirancang dengan rentang yang lebih jauh sedangkan variasi pada serat bambu didesain dengan interval yang lebih dekat agar didapatkan hasil yang lebih kontras sehingga pengaruh dalam penelitian lebih signifikan.
3. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pemasangan pasak pada tulangan bambu agar mekanisme slip yang terjadi dapat diketahui.
4. Perlakuan terhadap tulangan bambu seperti pemberian pasir pada permukaan tulangan bambu perlu diperhatikan, mengingat lekatan antara tulangan bambu dengan beton sangat mempengaruhi balok dalam pengujian dan analisis teoritis.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI COMMITTEE 544. (1982). State of Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R-82). *Concrete International*. Vol. 4, No. 5: 9-30
- Annual Book of ASTM Standards. (2002). *Volume 04-02: Concrete and Aggregates*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM C33. (2002). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Book of ASTM. USA
- Dewi, S. M. & Djakfar, L. (2011). *Statistika Dasar untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Frick, H. (2004). *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Yogyakarta: Kanisius.
- Gaspersz, V. (1991). *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*. Bandung: Tarsito.
- Ghavami, K. (2004). Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, Cemen & Concrete Composite. *Journal Science and Direct Elsevier*. 27(2005): 637-649.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Myers, R. H. & Walpole, R. E. (1999). *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Edisi ke-4. Bandung: ITB.
- PBI. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971*. Bandung: Dinas Pekerjaan Umum.
- 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. & Kusuma, D. A. (2003). Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton. *Dimensi Teknik Sipil*, V(1):39-44.
- SK SNI T-09-1993-03. (1993) *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- 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.
- Tjokrodimulyo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Winter & Wilson, A. H. (1993). *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.