

**PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAMBU
TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BERTULANG BAMBU
DENGAN AGREGAT KASAR BATU *PUMICE***

PUBLIKASI ILMIAH

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

LEMBAR JUDUL



DWI PRASETYO AJI WIJAYA

NIM. 125060101111011

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

repository.ub.ac.id

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAMBU TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BERTULANG BAMBU DENGAN AGREGAT KASAR BATU *PUMICE*

Dwi Prasetyo Aji Wijaya, 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: dwiiprasetyo@gmail.com

ABSTRAK

Beton ringan adalah teknologi bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam bidang teknik sipil karena memiliki keunggulan yaitu berat jenisnya yang ringan dan batu *pumice* adalah salah satu material penyusun beton ringan. Perlu adanya tulangan untuk mengatasi kuat tarik yang lemah pada beton. Penggunaan tulangan bambu adalah salah satu alternatif pengganti tulangan baja. Penambahan serat bambu juga dapat membantu mengatasi retak-retak dini pada beton. Penelitian dilakukan dengan menggunakan setengah faktorial dengan empat jenis benda uji dengan ukuran 160x15x20cm yaitu $A_1B_2C_2$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ dan $A_1B_1C_1$. Dimana A_1 dan A_2 adalah kadar serat bambu sebesar 40 gr dan 150 gr, B_1 dan B_2 adalah perbandingan semen dan agregat sebesar 1:2:1 dan 1:2,5:1,5, serta C_1 dan C_2 yaitu rasio tulangan bambu 1% dan 1,5%. Selain itu dibuat dua buah balok kontrol sebagai pembanding yaitu beton *pumice* tanpa serat dan beton normal. Percobaan dilakukan dengan cara memberikan beban terpusat pada tengah bentang sampai balok mengalami keruntuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat dapat menambah kuat lentur balok. Dan kadar optimum penambahan serat adalah sebesar 40 gr. Balok dengan penambahan serat memiliki lendutan yang lebih kecil dan kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan beton *pumice* yang tidak ditambahkan serat.

Kata kunci : balok, serat, beban maksimum, komposisi, tulangan bambu

ABSTRACT

Lightweight concrete is a construction material technology that is widely used in civil engineering, because it has the advantage that its density is light and Pumice stone is one of the constituent materials for lightweight concrete. However, it should have a reinforcement to resolve the weak tensile strength on the concrete. The use of bamboo reinforcement is one alternative for steel reinforcement. The addition of bamboo fiber can also help to overcome early cracks in the concrete. The research was carried out by using a half-factorial with four types of specimens with the size 160x15x20 cm, these are $A_1B_2C_2$, $A_2B_2C_1$, $A_2B_1C_2$ and $A_1B_1C_1$. Where A_1 and A_2 are bamboo fiber content of 40 gr and 150 gr, B_1 and B_2 are the ratio of cement and aggregate of 1: 2: 1 and 1: 2,5: 1,5, C_1 and C_2 are bamboo reinforcement ratio 1% and 1.5%. In addition it has been created two control beams as the comparison that is pumice concrete without fiber and normal concrete. This experiment was done by providing concentrated load at middle span to the beam cracks. The results showed that the addition of fiber can increase a flexural strength of beam. And the optimum level of adding fiber is 40 grams. Beams with the addition of fiber have a smaller deflection and greater stiffness than the Pumice concrete not added fiber.

Keywords: beam, fiber, maximum load, composition, bamboo reinforcement

I. PENDAHULUAN

Beton ringan memiliki kelemahan yaitu lemah akan tarik. Perlu adanya tulangan untuk membantu kelemahan dari beton. Tulangan bambu merupakan inovasi baru yang digunakan untuk menggantikan peran tulangan baja. Mengingat bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi. Selain itu penambahan serat juga dapat membantu beton untuk menambah kekuatan tarik pada beton. Serat bambu dalam campuran beton akan memberikan pengaruh terhadap perilaku beton. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulangan bambu dengan agregat kasar batu *pumice*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Balok

Balok merupakan elemen pada struktur yang fungsinya untuk mentransfer beban vertikal secara horizontal (Schodek, 1998).

Penggunaan tulangan mutlak diperlukan untuk membantu beton dalam menahan beban yang bekerja. Tulangan tersebut bisa berupa tulangan memanjang, longitudinal, ataupun tulangan geser (Asroni, 2010).

2.2 Beton

Beton terbentuk dari campuran bahan semen, air, pasir, kerikil, ataupun bahan tambahan lain (*admixture*) yang mengeras akibat reaksi yang terjadi pada campuran bahan tersebut.

Untuk mendapatkan beton yang baik, maka bahan-bahan penyusun beton harus memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan sehingga didapatkan beton yang memenuhi kuat rencana, ekonomis, serta mudah dikerjakan.

2.3 Beton Ringan

Dalam SNI 03-3449-2002 disebutkan bahwa beton ringan merupakan beton yang memiliki berat isi maksimum 1850 kg/m^3 serta dibentuk dari material penyusun yang

ringan sebagai pengganti agregat yang biasa dipakai dalam campuran beton normal, serta harus memenuhi ketentuan kekuatan yang telah ditetapkan.

Agregat merupakan faktor yang memiliki pengaruh besar dalam pembuatan beton ringan, karena agregat memiliki persentase yang besar dalam mengisi volume dari beton. Agregat ini terdiri dari dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus, dan masing-masing bisa berupa agregat alami maupun buatan.

2.4 Beton Serat

Beton serat dapat diartikan sebagai beton yang terdiri dari bahan-bahan penyusun seperti air, semen, agregat, atau bahan tambahan lainnya, dan ditambahkan serat dalam campurannya. Jenis serat yang digunakan dalam campuran beton dapat dibedakan menjadi empat jenis serat, yaitu (Balaguru and Shah, 1992):

1. Serat logam, contohnya serat besi dan *stainless steel*.
2. Serat *polymeric*, contohnya serat contonya serat *nylon* dan serat *polypropylene*.
3. Serat mineral, contohnya serat fiberglass.
4. Serat alam, contohnya serabut kelapa, serat tebu, serat batang pohon pisang, dan serat bambu.

2.5 Tulangan Bambu

Bambu memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah kuat tariknya yang cukup tinggi sehingga memungkinkan bambu digunakan sebagai tulangan dalam beton sebagai inovasi pengganti tulangan baja yang selama ini banyak digunakan.

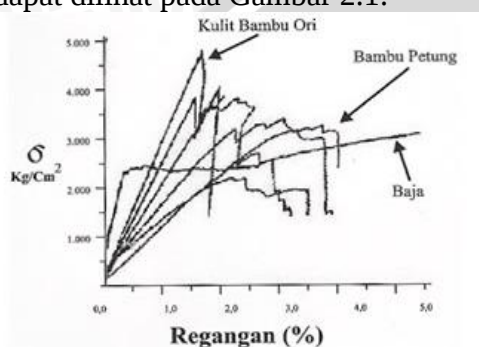
Morisco (1999) mengemukakan bahwa pemilihan bambu sebagai bahan bangunan didasarkan pada harga yang relatif rendah, pertumbuhan bambu yang cepat, mudah penanamannya, mudah dikerjakan, serta keunggulan spesifik yaitu memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Hasil pengujiannya dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Tegangan Tarik Bambu Oven

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Sumber: Morisco, 1999

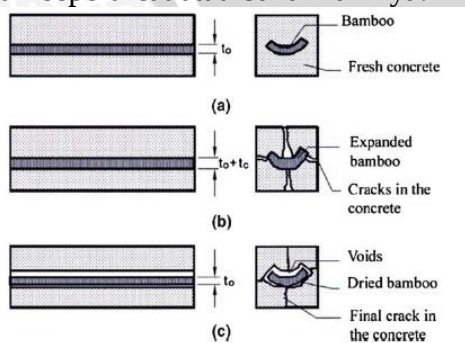
Dalam penelitian Morisco, juga dibuktikan bahwa beberapa bambu memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dari baja (kuat leleh 2400 kg/cm²), seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Sumber : Morisco,1999

Gambar 2.1 Diagram tegangan – regangan bambu dan baja.

Disamping banyak keunggulan yang dimiliki, bambu juga memiliki kelemahan berupa sifat kembang susut. Bambu dapat mengembang bila terkena air dan menyusut bila mengering, oleh karena itu perlu ada perlakuan khusus penggunaan bambu sebagai tulangan dalam beton. Dapat dilakukan dengan cara menutup permukaan bambu dengan lapisan kedap air seperti cat atau bahan lainnya.



Sumber: Ghavami (2004)

Gambar 2.2 Perilaku bambu yang tidak dilapisi lapisan kedap air

2.6 Batu Pumice

Batu *pumice* merupakan salah satu agregat penyusun beton ringan. Batu ini terbentuk dari letusan gunung merapi yang telah mendingin. Pori-pori yang tersebar pada seluruh bagian batu *pumice* ini menjadikan berat sendiri dari batu ini lebih ringan daripada batu pecah yang umum digunakan dalam pembuatan beton normal.

2.7 Uji Pull-Out Tulangan Bambu

Untuk mengetahui kekuatan lekatan tulangan bambu dengan beton maka perlu dilakukan uji *pull-out*.

Dari pengujian *pull-out* didapatkan besarnya gaya slip yang mampu ditahan oleh tulangan bambu.

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

dengan :

μ = tegangan lekat

P = gaya *pull-out*

d = tebal dan lebar tulangan (dimensi bambu persegi)

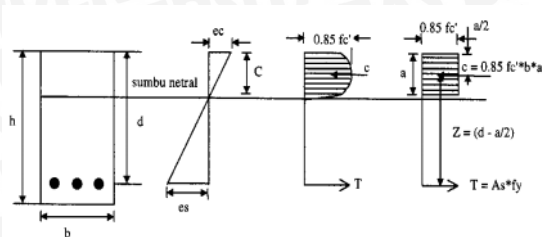
l_d = panjang penyaluran.

2.8 Lentur pada Balok Beton Bertulang

Beban luar yang terjadi pada balok akan menyebabkan timbulnya regangan dan lentur pada balok.

Menurut Nawy (1998), apabila ditambah beban, balok akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Beban yang terus ditambah akan menyebabkan terjadinya keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Untuk mendapatkan keseimbangan gaya horisontal, maka gaya tekan C pada beton dan gaya tarik T pada tulangan harus seimbang, maka $C = T$, distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Distribusi tegangan dan regangan pada penampang beton

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

$$Mn = Cc \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

atau

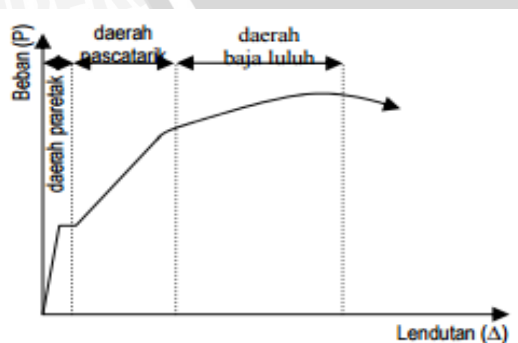
$$Mn = T \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

2.9 Lendutan

Lendutan merupakan perpindahan dalam arah y dari sembarang titik disumbu balok. Defleksi yang terjadi harus kurang dari batas yang disyaratkan merupakan konsep yang harus terpenuhi dalam mendesain suatu balok. Karena lendutan adalah salah satu faktor yang menentukan kemampuan layan (*serviceability*) suatu struktur.

Menurut Nawy (1998), hubungan beban-defleksi balok beton bertulangan pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Hubungan Beban-Lendutan pada Balok

2.10 Berat Volume

Rasio perbandingan berat balok (kg) dengan volume balok (m³) disebut dengan berat volume balok.

$$\gamma = w/V$$

Dimana :

γ = berat volume balok (kg/m³)

w = berat balok (kg)

V = volume balok (m³)

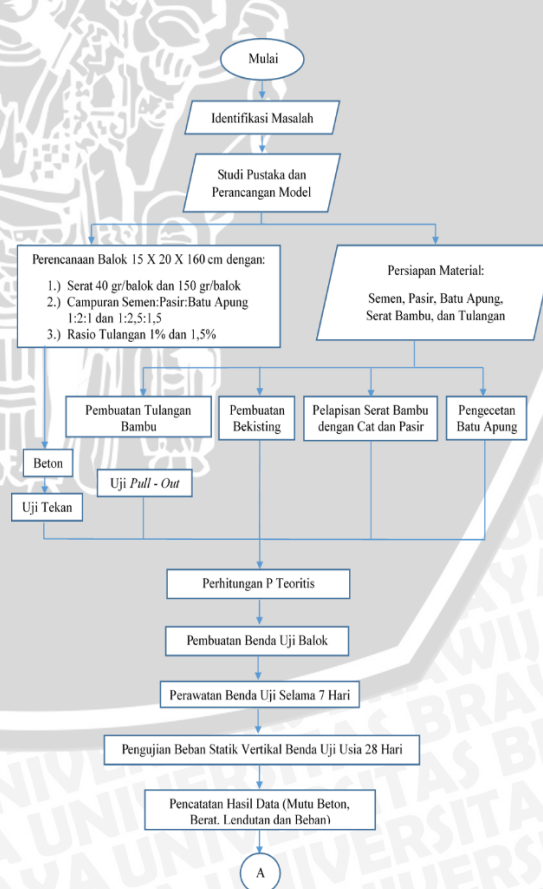
2.11 Hipotesis Penelitian

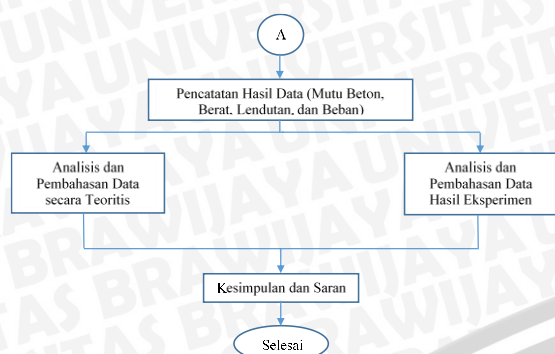
Hipotesis pada penelitian ini yaitu: Ada pengaruh penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan agregat kasar batu *pumice*.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Benda uji dibuat berdasarkan perhitungan sampel dengan percobaan faktorial sebagian. Balok beton bertulangan bambu berukuran 15 cm x 20 cm x 160 cm untuk masing-masing benda uji dengan variasi sampel sebagai berikut :

Tabel 3.1 Variabel Rancangan Faktorial Sebagian

	FAKTOR	KETERANGAN
A ₁	Kadar serat	40 gr -
A ₂	Kadar serat	150 gr +
B ₁	Komposisi semen dan agregat	1 : 2 : 1 -
B ₂	Komposisi semen dan agregat	1 : 2,5 : 1,5 +
C ₁	Rasio tulangan	1% -
C ₂	Rasio tulangan	1,5% +

Keterangan :

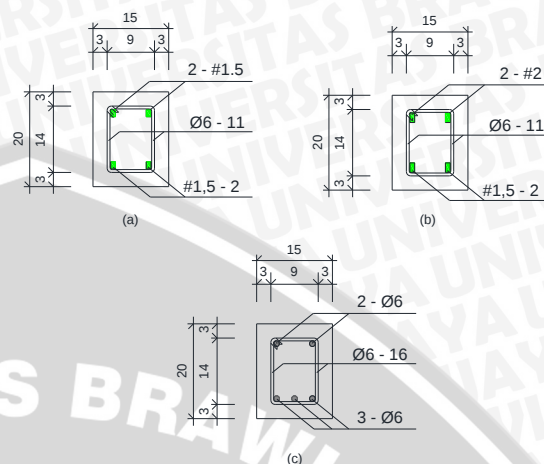
- 1 = Taraf rendah (-)
- 2 = Taraf tinggi (+)

Tabel 3.2 Rancangan Faktorial Sebagian

Variabel	A ₁		A ₂	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
C ₁	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₂ C ₁	A ₂ B ₁ C ₁	A ₂ B ₂ C ₁
C ₂	A ₁ B ₁ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂	A ₂ B ₁ C ₂	A ₂ B ₂ C ₂

Yang dipilih untuk menjadi rancangan percobaan dalam penelitian ini ditandai dengan warna biru. Dibuat pengulangan sebanyak tiga kali untuk masing-masing benda uji. Sebagai kontrol, dibuat juga benda uji tanpa ada penambahan serat dengan komposisi semen : pasir : agregat batu pumice 1 : 2,5 : 2,5 dan rasio tulangan bambu 1% (A₀B₂C₁). Untuk pembanding, beton normal juga dibuat dalam penelitian

ini dengan menggunakan agregat batu pecah biasa dan tulangan baja rasio 1% dan mutu yang direncanakan sebesar 16 Mpa.

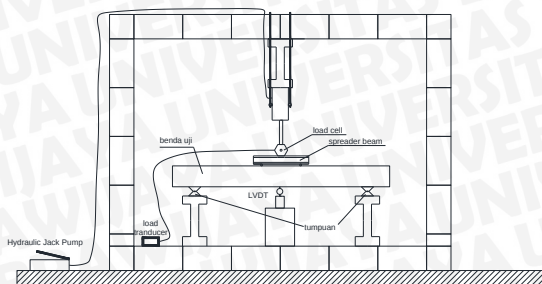


Gambar 3.2 Potongan melintang benda uji balok dengan tulangan bambu rasio 1% (a), 2% (b), dan balok tulangan baja rasio 1%.

Dibuat juga benda uji *pull-out* untuk mendapatkan data pendukung yaitu tegangan lekat antara bambu dengan beton yang nanti akan digunakan dalam perhitungan teoritis. Benda uji *pull-out* dibuat dengan menggunakan komposisi yang sama dengan benda uji balok hanya saja tulangan yang digunakan memiliki rasio satu macam yaitu sebesar 1% saja.

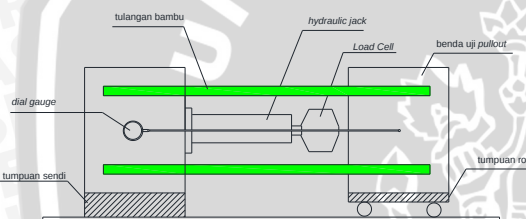
3.3 Setting Pengujian

Tahap pembuatan benda uji dimulai dengan pembuatan bekisting, dan menyiapkan bahan-bahan yang diperlukan. Setelah itu ditambahkan dengan serat bambu menggunakan alat pengaduk / molen (concrete mixer). Pencampuran serat ke dalam adukan diusahakan sedemikian rupa, sehingga diharapkan tidak terjadi pengumpulan serat. Pengujian benda uji dilakukan pada saat balok beton telah mencapai umur 28 hari. Gambar skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Setting Pengujian Balok

Sedangkan untuk pengujian *pull-out*, dipasang *piston* antara dua buah tulangan yang disambungkan dengan *load cell* pada ujung *piston*. Dari pengujian ini, didapatkan nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok tersebut hingga mengalami kondisi slip. Gambar skema pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema pengujian benda uji *pull-out*

3.4 Analisis Statistik

Analisis data dilakukan dengan model rancangan faktorial sebagian. Untuk menentukan kesimpulan ada tidaknya pengaruh penambahan serat bambu. Perhitungan analisis ragam untuk percobaan faktorial yang terdiri dari tiga faktor (Faktor A, B dan C) dengan menggunakan rancangan dasar RAL (Rancangan Acak Lengkap) dapat diikuti melalui tahap-tahap berikut :

- Perhitungan Kontras $A = (A_2B_1C_2 + A_2B_2C_1) - (A_1B_2C_2 + A_2B_1C_1)$
- Menyusun daftar analisis ragam seperti di bawah ini :

Tabel 3.3 Rancangan Tabel Anova

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F hitung
Perlakuan				
A	a - 1	JKA	KTA	JKA/JKG
Galat	Rabcd - a	JKG	KTG	
Total	Rabcd - 1	JKT	-	

Kriteria pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

- H_0 diterima apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$
- H_1 ditolak apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Slump

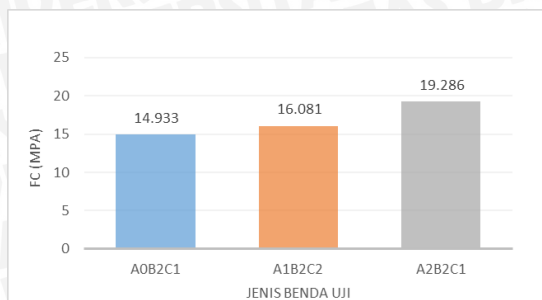
Dari pengujian slump didapatkan adanya penurunan nilai slump seiring dengan bertambahnya kadar serat pada adukan beton. Hal ini menunjukkan bahwa serat bambu menyerap air yang ada pada campuran beton segar.

Tabel 4.1 Nilai Uji Slump Beton

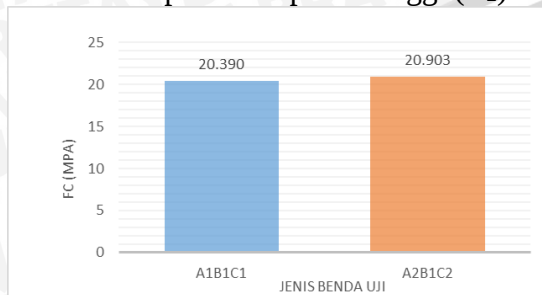
Benda Uji	No	FAS	Slump (cm)	Slump Rata-rata (cm)
A ₁ B ₂ C ₂	1	0.4	10	10.00
	2		10.3	
	3		9.5	
A ₂ B ₂ C ₁	1	0.4	7.8	7.8
	2		7.7	
	3		7.8	
A ₁ B ₁ C ₁	1	0.4	11.7	12.2
	2		12	
	3		12.8	
A ₂ B ₁ C ₂	1	0.4	9	9.00
	2		9.3	
	3		8.7	
A ₀ B ₂ C ₁		0.4	11.8	11.8
Beton Normal		0.4	12.3	12.3

4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Benda uji kuat tekan diambil sebanyak tiga sampel dari setiap pengecoran. Benda uji kuat tekan yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan ini dilakukan ketika benda uji silinder berumur 28 hari setelah melalui proses perawatan (*curing*).



Gambar 4.2 Grafik perbandingan kuat tekan beton pada komposisi tinggi (B₂)



Gambar 4.3 Grafik perbandingan kuat tekan beton pada komposisi rendah (B₁)

Penambahan serat bambu pada campuran beton dapat menambah kuat tekan bila dibandingkan dengan beton tanpa ada penambahan serat. Kuat tekan beton bertambah seiring dengan jumlah penambahan serat baik pada komposisi rendah (B₁) maupun tinggi (B₂).

4.3 Hasil Uji Pull-out

Pengujian *pull-out* dilaksanakan dengan cara meletakkan tabung *piston* diantara dua tulangan bambu yang telah tertanam di dalam beton. Pemberian beban dilakukan setiap kenaikan 20 kg hingga tulangan mengalami slip sehingga beban sudah tidak dapat bertambah lagi. Tulangan yang digunakan memiliki dimensi yang sama pada masing-masing benda uji, yaitu tinggi 1,5 cm, lebar 1 cm, dan panjang tulangan yang tertanam di dalam beton 24 cm. Tegangan lekat bambu dihitung berdasarkan persamaan seperti pada yang ada ditinjauan pustaka. Dan hasil beban maksimum dan tegangan lekatan untuk semua benda uji ditunjukkan pada Tabel 4.2.

$$f_y = \frac{P}{4 \times \text{keliling tulangan} \times l_d}$$

dengan:

f_y = Tegangan lekat bambu (Mpa)

P = Beban (kg)

l_d = Panjang penyaluran (cm²)

Tabel 4.2 Tegangan Lekat Tulangan Bambu dengan Beton

No	Benda Uji	Beban (kg)	f_y Mpa	f_y Rata-Rata (Mpa)
1	A ₁ B ₂ C ₁	720	0.300	0.346
		940	0.392	
2	A ₂ B ₂ C ₁	700	0.292	0.233
		420	0.175	
3	A ₂ B ₁ C ₁	880	0.367	0.300
		560	0.233	
4	A ₁ B ₁ C ₁	1140	0.475	0.371
		640	0.267	
5	A ₀ B ₂ C ₁	650	0.271	0.260

Nilai tegangan lekat bambu pada beton dengan kadar serat rendah (40 gr) memiliki nilai lebih besar dibandingkan beton dengan kadar serat tinggi (150 gr). Ini terjadi karena adukan beton pada saat pengecoran sudah mulai sulit dikerjakan, akibat dari kelecakan yang terlalu rendah. Sehingga pemadatan beton sulit dilakukan dan menyebabkan gaya lekat beton menjadi berkurang.

4.4 Hasil Pengujian Beban Vertikal Balok

Benda uji berupa balok yang telah berumur 28 hari disiapkan dan diletakkan di atas tumpuan sendi dan rol. Selanjutnya dilakukan *setting* peralatan pengujian sesuai dengan skema yang telah dibuat. Dan didapatkan data seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Beban Maksimum Balok (P_{maks})

No	Benda Uji		P maks (Kg)			KR%
			Aktual	Rata-Rata	Teoritis	
1.	A ₁ B ₂ C ₂	1	1650	2200.00	1884.85	14.33
		2	2350			
		3	2600			
2.	A ₂ B ₂ C ₁	1	2150	1716.67	1086.18	36.69
		2	1250			
		3	1750			
3.	A ₂ B ₁ C ₂	1	1950	1900.00	1661.18	12.57
		2	2150			
		3	1600			
4.	A ₁ B ₁ C ₁	1	1850	1950.00	1708.14	12.40
		2	1550			
		3	2450			
5.	A ₀ B ₂ C ₁	1	950	950	1201.19	20.9
6.	Beton Normal	1	2850	2850	4467.92	36.21

Penambahan serat bambu mampu menahan beban vertikal maksimum yang lebih besar bila dibandingkan dengan balok kontrol dimana tidak ada penambahan serat pada campuran betonnya. Peningkatan kekuatan beton tertinggi pada penambahan serat kadar rendah yaitu sebanyak 40 gram. Kadar ini sekaligus merupakan kadar optimum dari penambahan serat yang dicampurkan secara acak dalam penelitian ini. Penambahan serat kadar tinggi sebanyak 150 gram mengakibatkan penurunan kekuatan balok uji. Peningkatan kekuatan mulai menurun karena beton semakin sulit dikerjakan akibat kelecakannya menurun. Namun demikian kekuatannya masih di atas beton *pumice* tanpa serat.

4.5 Berat Volume Balok

Pada pengujian berat volume balok, diperlukan beberapa data yang akan diukur. Data- data tersebut meliputi berat, panjang, lebar, dan tinggi balok.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Berat Volume Aktual

No.	Benda Uji	L (cm)	B (cm)	H (cm)	Volume (m ³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rata-rata (kg/m ³)
1	A ₁ B ₂ C ₂	1	160.1	15.4	20.3	0.050	90.7	1819.468
		2	160.4	15.4	20.0	0.049	90.95	1844.967
		3	160.3	15.4	20.4	0.050	93.85	1860.161
2	A ₂ B ₂ C ₁	1	160.3	15.3	20.4	0.050	93.45	1864.726
		2	160.1	15.5	20.0	0.050	92.95	1876.467
		3	160.1	15.3	20.1	0.049	92.1	1863.443
3	A ₂ B ₁ C ₂	1	160.2	15.5	20.1	0.050	95.9	1922.4
		2	160.1	15.3	20.1	0.049	95	1930.11
		3	160.5	15.5	20.3	0.051	99.15	1962.732
4	A ₁ B ₁ C ₁	1	160.1	15.4	20.7	0.051	98.85	1944.174
		2	160.2	15.4	20.1	0.050	98.25	1982.737
		3	160.2	15.5	20.2	0.050	97.1	1932.106
5	A ₀ B ₂ C ₁	1	161.0	15.3	20.0	0.049	90.45	1832.897
6	Beton Normal	1	160.3	15.2	20.2	0.049	117.7	2386.64

Nilai rata-rata berat volume balok dengan komposisi rendah (B₁) memiliki berat volume yang lebih besar dibandingkan dengan balok dengan komposisi tinggi (B₂). Hal ini dikarenakan kebutuhan pasir dan semen pada saat pengecoran lebih banyak pada komposisi rendah daripada komposisi tinggi. Namun rata-rata berat volume dari balok beton ringan masih di bawah berat volume beton

normal. Penambahan serat tidak terlalu berpengaruh terhadap berat volume beton, karena beton memiliki berat isi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan tulangan ataupun serat bambu.

4.6 Lendutan

Analisa perhitungan lendutan teoritis pada penelitian ini dihitung dengan Metode *Conjugate Beam*. Sedangkan lendutan aktual didapatkan dari pembacaan *LVDT*.

Tabel 4.5 Nilai Lendutan

No.	Benda Uji	P Elastis (kg)	Lendutan (mm)			KR%
			Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis	
1.	A ₁ B ₂ C ₂	1	0.27	0.27	0.09	65.95
		2	0.19			
		3	0.34			
2.	A ₂ B ₂ C ₁	1	0.31	0.32	0.08	73.29
		2	0.395			
		3	0.24			
3.	A ₂ B ₁ C ₂	1	0.3	0.26	0.07	72.13
		2	0.265			
		3	0.215			
4.	A ₁ B ₁ C ₁	1	0.45	0.44	0.07	83.12
		2	0.57			
		3	0.3			
5.	A ₀ B ₂ C ₁	1	0.51	0.51	0.09	81.12
6.	Beton Normal	1	0.27	0.27	0.07	75.61

Banyaknya kadar serat tidak terlalu berpengaruh terhadap lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena pengaruh rasio tulangan yang cukup besar. Gaya slip pada tulangan yang sulit diprediksi membuat pengaruh kadar serat menjadi kurang dominan. Akan tetapi hasil lendutan ini juga bisa membuktikan bahwa lendutan aktual yang terjadi pada beton dengan penambahan serat jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan beton *pumice* tanpa serat.

4.7 Kekakuan Balok

Kekakuan yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah kekakuan balok pada saat masih dalam kondisi elastis penuh yang dapat diidentifikasi pada kemiringan grafik hubungan beban (P) dan lendutan (Δ). Perhitungan teoritis didapatkan dari persamaan berikut :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana,

k = nilai kekakuan kg/mm

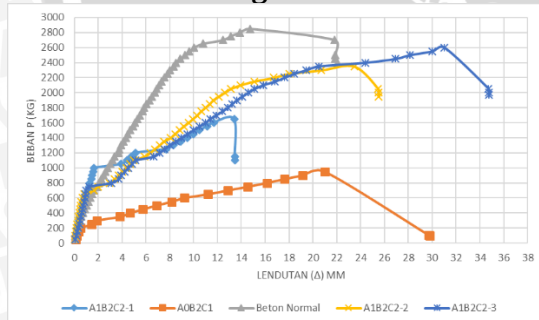
P = Besar beban pada saat kondisi elastis (kg)
 Δ = lendutan yang terjadi (mm)

Tabel 4.6 Kekakuan Balok

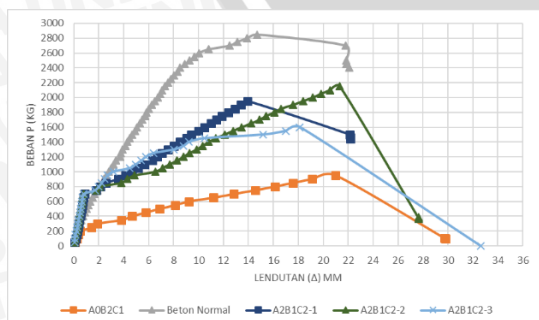
No	Benda Uji	P elastis (kg)	Kekakuan (kg/mm)			KR%
			Aktual	Rata-Rata aktual	Teoritis	
1	A ₁ B ₂ C ₂	1	740.74	793.87	2202.79	63.96
		2	1052.63			
		3	588.24			
2	A ₂ B ₂ C ₁	1	645.16	661.61	2377.22	72.17
		2	506.33			
		3	833.33			
3	A ₂ B ₁ C ₂	1	666.67	783.87	2760.21	71.60
		2	754.72			
		3	930.23			
4	A ₁ B ₁ C ₁	1	444.44	487.33	2692.68	81.90
		2	350.88			
		3	666.67			
5	A ₀ B ₂ C ₁	1	392.16	392.1569	2174.59	81.97
	Beton Normal	1	200	740.74	3036.70	75.61

Nilai rata-rata kekakuan balok beton *pumice* tanpa penambahan serat secara aktual maupun teoritis lebih kecil dibandingkan dengan benda uji lain, baik beton *pumice* dengan penambahan serat maupun dengan beton normal. Karena nilai kekakuan berbanding terbalik dengan lendutan, semakin kecil lendutan yang terjadi maka kekakuan yang dimiliki oleh balok akan menjadi besar, begitu juga dengan sebaliknya

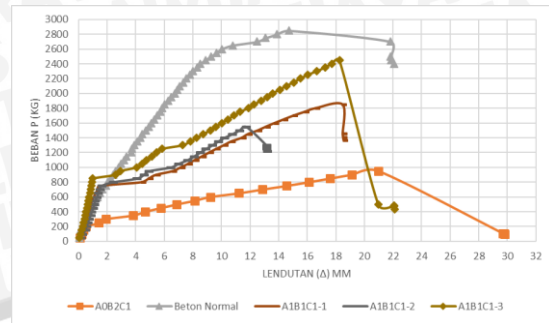
4.8 Grafik Hubungan P – Δ



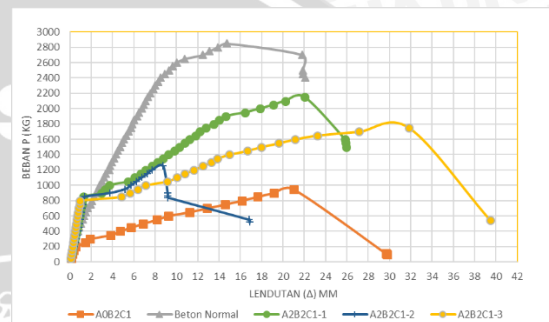
Gambar 4.4 Grafik perbandingan P – Δ balok A₁B₂C₂, A₀B₂C₁, dan beton normal



Gambar 4.5 Grafik perbandingan P – Δ balok A₂B₁C₂, A₀B₂C₁, dan beton normal



Gambar 4.6 Grafik perbandingan P – Δ balok A₁B₁C₁, A₀B₂C₁, dan beton normal



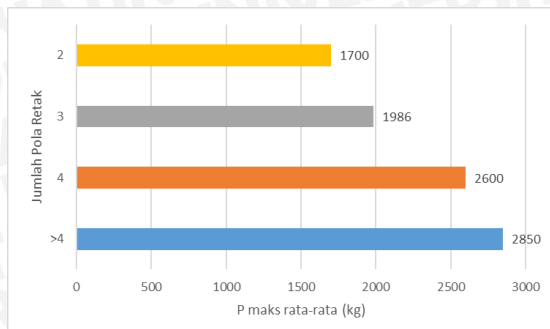
Gambar 4.7 Grafik perbandingan P – Δ balok A₂B₂C₁, A₀B₂C₁, dan beton normal

Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa rata-rata grafik balok beton *pumice* dengan penambahan serat bambu berada di atas balok *pumice* tanpa serat dan di bawah beton normal. Hal ini menandakan bahwa penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan beton, akan tetapi kekuatannya masih di bawah beton normal. Beban elastis yang dapat dicapai oleh beton dengan penambahan serat lebih tinggi daripada beton *pumice* yang tidak ditambahkan serat. Dapat dilihat pada grafik ditandai dengan besarnya gaya yang berbanding lurus dengan besarnya deformasi. Itu berarti penambahan serat efektif dalam mencegah timbulnya retak-retak awal pada beton. Hal ini diakibatkan karena beton mengandung serat sehingga terdapat ikatan-ikatan pada mortarnya.

4.3 Korelasi Retak dan Beban Maksimum

Pola retak dalam suatu elemen menggambarkan mekanisme kerja suatu struktur. Retak dapat terjadi karena adanya momen yang bekerja pada struktur tersebut. Terdapat korelasi antara jumlah

retakan dan beban yang mampu ditahan oleh balok.



Gambar 4.8 Grafik hubungan jumlah retak dengan P maks

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah retak yang terjadi maka semakin besar pula beban yang dapat ditahan oleh balok. Tulangan bambu yang memiliki lekatan yang baik maka jumlah retaknya semakin banyak. Karena energi yang dibutuhkan lebih besar untuk beton yang memiliki jumlah retak yang banyak.

4.4 Analisi Statistik

• Uji Anova

Tabel 4.7 Hasil Uji Anova

Perilaku	JK	DB	KT	f - hitung	f - tabel
					5% 28%
A (Serat Bambu)	213333.33	1	213333.33	1.32	4.96 1.30
Galat	1610833.33	10	161083.33		
Total	1824166.67	11			

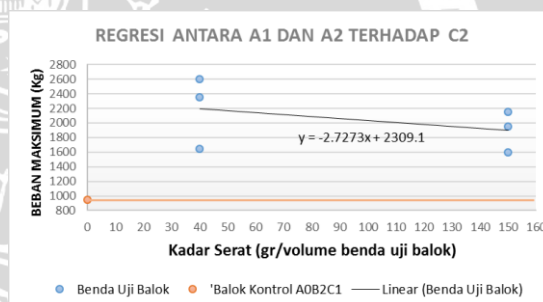
Berdasarkan hasil perhitungan uji anova didapatkan nilai f-hitung dari pengaruh serat bambu (A) lebih kecil dari f-tabel pada resiko kesalahan 5 % ($\alpha=5\%$). Ini berarti pengaruh serat tidak nyata karena nilai f-hitung yaitu sebesar 1.32 masih jauh dari nilai f-tabel yang besarnya 4.96. Deviasi di dalam kelompok yang terlalu besar menyebabkan pengaruh antar kelompok memiliki pengaruh yang kecil. Ini disebabkan munculnya faktor lain yang tidak sengaja divariasikan dalam percobaan dan memiliki pengaruh yang besar, yaitu lekatan bambu dengan beton. Selain itu, dalam pengujian statistik ini balok tanpa penambahan serat dan beton normal, tidak dimasukkan dalam uji anova. Karena kedua balok memang tidak masuk

di dalam rancangan setengah faktorial pada penelitian ini.

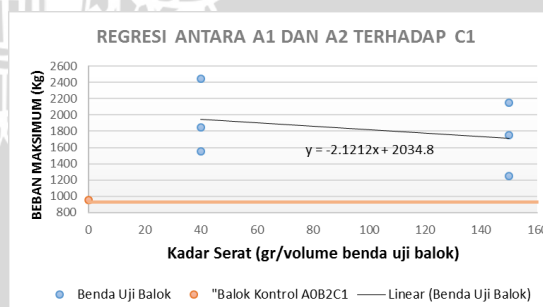
Namun pada dasarnya serat memiliki pengaruh terhadap kuat lentur, hanya saja pengaruh tersebut baru terlihat pada tingkat kepercayaan sebesar 72% yang berarti memiliki resiko kesalahan 28% ($\alpha=28\%$). Pada $\alpha=28\%$, nilai f - hitung lebih besar daripada f - tabel. Yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima.

• Uji Regresi

Uji regresi ini dilakukan untuk melihat tren pada pengaruh serat dengan membandingkan beban maksimum tiap benda uji dengan tingkat tarafnya. Dalam uji regresi ini akan dibedakan antara tulangan yang memiliki rasio tinggi (C_1) dan tulangan yang memiliki rasio tulangan rendah (C_2).



Gambar 4.9 Hubungan regresi untuk benda uji $A_1B_2C_1$ dan $A_2B_1C_1$



Gambar 4.10 Hubungan regresi untuk benda uji $A_1B_1C_2$ dan $A_2B_2C_2$

Terdapat hubungan antara penambahan kadar serat yang diberikan terhadap beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Tren garis linier yang menurun menandakan bahwa penambahan serat bambu pada kadar tinggi (150 gr) akan memberikan penurunan terhadap

beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Akan tetapi apabila dilihat dari garis benda uji balok kontrol, kadar serat rendah (40 gram) merupakan titik maksimum. Itu artinya pada kadar 40 gram inilah penambahan serat memiliki pengaruh yang optimum terhadap kuat lentur.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat pengaruh pada penambahan serat bambu terhadap kuat lentur balok bertulang bambu dengan agregat batu *pumice*. Penambahan serat bambu mampu meningkatkan kuat lentur balok *pumice* dengan nilai presentase kadar serat 40 gr merupakan kadar yang paling optimum dari penambahan serat yang didistribusikan secara acak dalam pengujian ini. Akan tetapi pengaruh serat bambu belum dapat dikatakan signifikan, karena pada uji analisis varians (anova) terhadap kuat lentur balok uji menunjukkan adanya pengaruh peningkatan kuat lentur pada tingkat kepercayaan sebesar 72% ($\alpha=28\%$).

5.2 Saran

1. Variasi untuk mutu beton direncanakan dengan rentang yang lebih jauh sedangkan variasi serat bambu direncanakan dengan interval yang lebih dekat agar didapatkan hasil yang lebih kontras sehingga pengaruh dalam penelitian lebih signifikan.
2. Dalam pengujian *pull-out*, alat dan metode yang akan dilakukan harus dipersiapkan dengan baik agar didapatkan data yang akurat.
3. Tulangan bambu yang digunakan harus benar-benar diperhatikan kekasarannya. Karena kinerja tulangan bambu sangat bergantung pada kekuatan lekatan antara bambu dengan beton
3. Perlu diadakan praktikum yang lebih detail dalam menentukan jenis dan panjang serat yang digunakan. Supaya

terdapat pengaruh yang lebih luas dalam penambahan serat bambu pada beton.

4. Dalam pelaksanaan, penaburan serat harus diperhatikan agar serat dapat didistribusikan secara merata di dalam beton.
5. Hendaknya komposisi yang digunakan dalam penelitian selanjutnya memiliki komposisi yang sama, agar pengaruh serat dapat dilihat dengan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2002). *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan dengan Agregat Ringan*, SNI 03-3449-2002, Yayasan LPMB, Bandung.
- Asroni, Ali. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Balaguru, P.N., dan Shah, S.P. (1992). *Fiber Reinforced Cement Composites*. Singapore:Mc Graw-Hill International Edition
- Ghavami, K. (2004). *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements, Journal, science and Direct Elsevier*, 2005.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, E., G., & Suryoatmono, B. (Penerjemah). (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Rivani A. & Maricar S. (2009). *Perilaku Dan Kapasitas Lentur Balok Beton Berserat Bambu*. Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 4
- Rusyanto, dkk. (2012). *Kajian Kuat Tarik Beton Serat Bambu*.
- Schodek, Daniel L. (1998). *Struktur*. Bandung: PT. Refika Aditama
- Sudarmoko. (1990). *Beton Serat. Suatu Bentuk Beton Baru. Seminar Permasalahan Mekanika Bahan Di Indonesia*. Yogyakarta: Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada