

**PENGARUH RASIO TULANGAN TERHADAP KUAT LENTUR
BALOK BETON BERTULANGAN BAMBU DENGAN KLEM SELANG**
*(Reinforcement Ratio Effect on Flexural Strength of Bamboo Reinforced Concrete Beams
with Hose Clamp)*

Rahmi Aulia, Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur-Indonesia
Email: rahmiaulia19@gmail.com

ABSTRAK

Beton bertulang adalah material utama yang banyak digunakan pada konstruksi saat ini. Tetapi pada penggunaannya beton memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik. Untuk mengatasi kelemahan tersebut dipadukanlah beton dengan tulangan yang memiliki kuat tarik tinggi. Jenis tulangan yang biasa digunakan adalah tulangan baja. Namun, harga yang relatif tinggi serta mudahnya terkena korosi menyebabkan perlunya alternatif tulangan lain yaitu bambu. Bambu memiliki nilai kuat tarik yang mendekati baja namun kuat lekatnya rendah. Rendahnya kuat lekat bisa diminimalisir dengan memberikan beberapa perlakuan pada tulangan bambu. Pada penelitian ini perlakuan pada tulangan bambu mencakup pemberian cat, sikadur 31-CF, pasir serta klem selang. Penelitian menggunakan balok berukuran 18x25x160 cm dan silinder dengan ukuran 15 cm dan tinggi 30 cm. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa rasio tulangan besar (1.5%) menyebabkan meningkatnya kekuatan lentur maksimum sebanyak 18.84% terhadap rasio tulangan kecil (0.96%). Kapasitas beban pada regangan 0.02 meningkat sebanyak 10.75% terhadap rasio tulangan kecil (0.96%). Penggunaan klem selang pada tulangan bambu menambah kuat lentur balok sebanyak 13.42% terhadap tulangan bambu Petung polos.

Kata kunci: kuat lentur, rasio tulangan, bambu, beton, klem selang

ABSTRACT

Concrete is the main material that widely used in construction. However, concrete has a low resistance to tension. In consequence of the low resistance to tension, concrete must be combined with bars that can withstand high tensile well. Steel is the bars that commonly used in building construction, but steel prices are quite expensive and steel can easily corrosion that causes an alternative solution like bamboo. Bamboo has high tensile strength as steel but has low bond strength between bamboo and concrete. To improve the bond between bamboo segments and concrete, treatment is need to the bamboo surface. In this studies, bamboo treatments includes application of a wood paints to the bamboo surface followed by coating of sikadur 31-CF, fine sand and addition of hose clamp. This experiments used concrete beam with size of 18x25x160 cm and cylinders with diameter 15 cm and hight 30 cm. The results showed that the large of reinforcement ratio (1.50%) increases mazimum bending capacity as much 18.84% againts the small of reinforcement ratio (0.96%). Load capacity at 0.02 strain increased by 10.75% againts the small of reinforcement ratio (0.96%). The addition of hose clamp contribute as much 13.42% on flexural strength of bamboo reinforced concrete beams with hose clamp to plain Petung bamboo.

Keywords: flexural strength, reinforcement ratio, bamboo, concrete, hose clamp

PENDAHULUAN

Salah satu material utama yang sering digunakan dalam konstruksi sampai saat ini adalah beton. Beton merupakan campuran antara air, semen, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir) dan bahan tambah lainnya (*admixture*). Beton memiliki keunggulan antara lain mudah dibentuk, memiliki kuat tekan yang tinggi, dan perawatan yang mudah. Namun beton masih memiliki kelemahan yaitu beton tidak mampu menahan gaya tarik. Untuk mengatasi kelemahan tersebut dipadukanlah beton dengan tulangan yang memiliki kuat tarik yang tinggi.

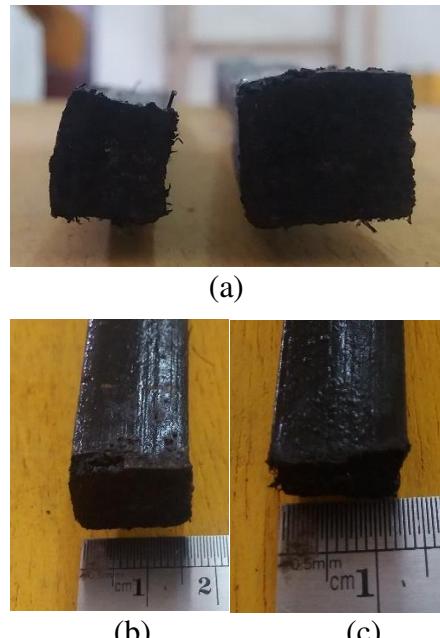
Penggunaan baja sebagai tulangan beton bertulang sangat banyak dijumpai namun harus diingat bahwa baja memiliki harga yang relatif tinggi, mudah terjadi korosi sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada beton dan baja juga bukan merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui. Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain untuk menggantikan baja. Salah satu material pengganti tulangan baja yang sudah banyak diteliti adalah bambu.

Bambu pada umumnya telah digunakan pada konstruksi bangunan di Indonesia sebagai material utama rumah-rumah pedesaan jawa dan sunda serta banyak juga dipakai sebagai jembatan darurat. Penggunaan bambu sebagai tulangan pengganti baja memiliki keunggulan dan kelemahan. Bambu unggul karena merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, laju pertumbuhan yang cepat dan harganya relatif murah. Namun bambu memiliki kelemahan yaitu kuat lekat antara beton dan bambu yang relatif rendah. Setelah pasta beton mengeras bambu tidak dapat menyerap air sehingga bambu akan mengalami penyusutan dan menimbulkan rongga udara. Rongga udara ini dapat mengurangi daya lekat antara bambu dan beton. Untuk mengatasi kelemahan dalam gaya lekatan dilakukan penelitian dengan menambahkan klem selang untuk meningkatkan kuat lekat antara bambu dengan beton. Penambahan klem selang ini lebih mudah dilakukan daripada pemberian

takikan, tonjolan maupun kait yang harus menggunakan lem sebagai alat penyambung. Pada penelitian dilakukan pengkajian mengenai pengaruh variasi tulangan terhadap kuat lentur balok.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian yang dilakukan merupakan pengujian kuat lentur balok dan pengujian mutu beton menggunakan alat tekan silinder dan *Hammer test*. Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah penggunaan rasio tulangan bambu dengan ukuran tulangan sebagai pembeda sebesar $1.2 \times 1.2 \text{ cm}$ (0.96%) dan $1.5 \times 1.5 \text{ cm}$ (1.5%). Sedangkan variabel terikat yang ditinjau adalah kuat lentur, lendutan serta pola retak.



Gambar 1. (a) Variasi rasio tulangan (b) Tulangan dengan rasio 0.96% (c) Tulangan dengan rasio 1.50%.

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan klem selang sebagai pelekatan beton dan tulangan. Klem selang yang digunakan berukuran $\frac{3}{4}''$ dan $\frac{7}{8}''$. Mutu beton yang digunakan adalah sebesar 30 MPa. Ragam yang terdapat pada penelitian melibatkan dua faktor yaitu faktor A (Jarak Klem Selang) dan faktor B (Rasio Tulangan). Faktor yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Benda Uji Kuat Lentur

	A ₀	A ₁	A ₂
B ₁	A ₀ B ₁	A ₁ B ₁	A ₂ B ₁
B ₂	A ₀ B ₂	A ₁ B ₂	A ₂ B ₂

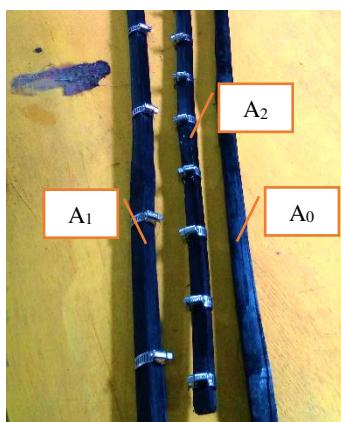
Keterangan :

- A₀ = Tanpa Klem Selang
- A₁ = Klem Selang Jarak 12 cm
- A₂ = Klem Selang Jarak 6 cm
- B₁ = Rasio Tulangan 0.96%
- B₂ = Rasio Tulangan 1.50%

Benda uji dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali ulangan dimana pengujian lentur balok dilaksanakan ketika beton berumur 28 hari dan pengujian kuat tekan silinder dilakukan ketika beton berumur 14 hari.

Tulangan Bambu

Penelitian dilakukan menggunakan tulangan bambu Petung dengan ukuran 1.2x1.2x154 cm dan 1.5x1.5x154 cm. Tulangan bambu yang telah sesuai kemudian dilapisi cat kemudian dikeringkan. Setelah itu diberi klem selang, sikadur serta ditaburi pasir. Uji kuat lentur dilakukan pada tiga buah variasi bambu yaitu pada tulangan bambu petung polos, tulangan bambu yang diberi klem selang dengan jarak 12 cm dan tulangan bambu yang diberi klem selang dengan jarak 6 cm. Modifikasi tulangan bambu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Modifikasi tulangan bambu

Penelitian menggunakan diameter klem selang yang berbeda. Klem selang dengan ukuran 3/4" digunakan untuk rasio tulangan 0.96% sedangkan klem selang dengan

ukuran 7/8" digunakan untuk rasio tulangan 1.50%. Detail pemasangan klem selang dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Detail pemasangan klem selang dengan jarak (a) 12 cm/A₁ dan (b) 6 cm/A₂

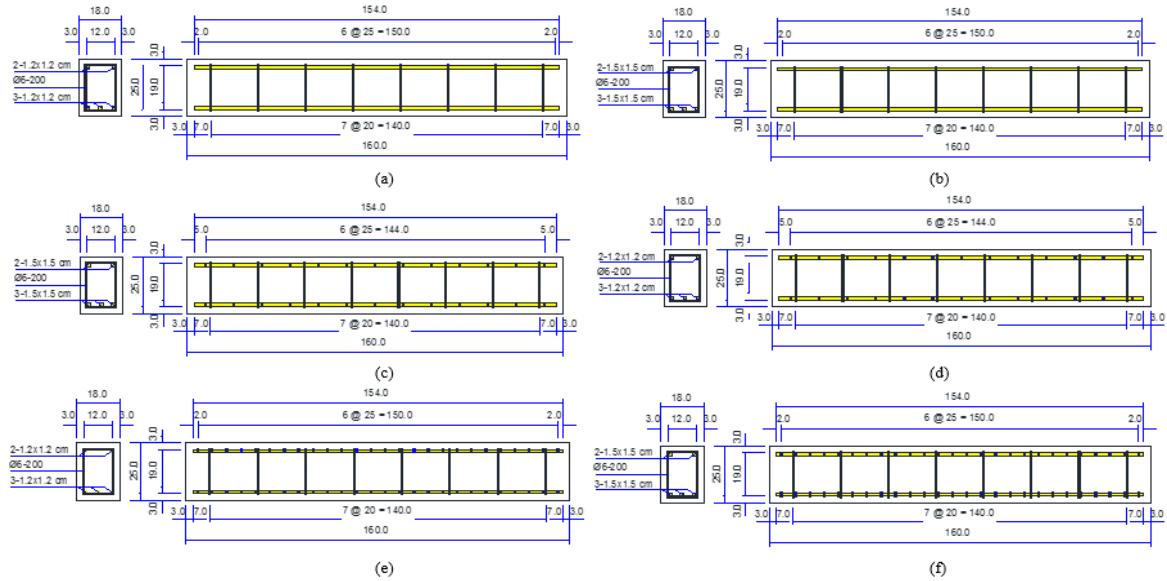
Balok Bertulangan Bambu

Balok beton bertulangan bambu dibuat menggunakan agregat maksimum sebesar 20 mm. Balok ini menggunakan 3 batang untuk tulangan tarik atau tulangan bawah dan 2 batang untuk tulangan tekan atau tulangan atas. Pada balok dipasang tulangan bagi dengan menggunakan tulangan baja berukuran 6 mm dan jarak pemasangan sebesar 200 mm. Detail pemasangan tulangan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemasangan Tulangan Balok

Rancangan benda uji balok dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan Benda Uji (a) A₀B₁ (b) A₀B₂ (c) A₁B₁ (d) A₁B₂ (e) A₂B₁ (d) A₂B₂

HASIL DAN PEMBAHASAN

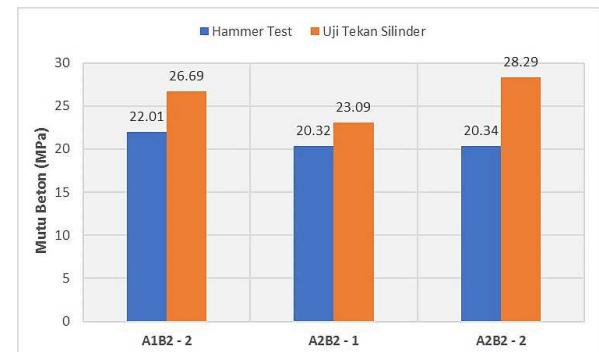
Pengujian Kuat Tekan Silinder

Benda uji beton silinder dibuat sebanyak satu buah tiap balok sebagai sampel untuk mendapatkan karakteristik campuran beton yang dimiliki balok. Total benda uji silinder berjumlah 18 buah dengan mutu 30 MPa. Benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm diuji ketika beton mencapai umur 14 hari. Hasil pengujian kuat tekan untuk mutu beton rencana 30 MPa ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Silinder

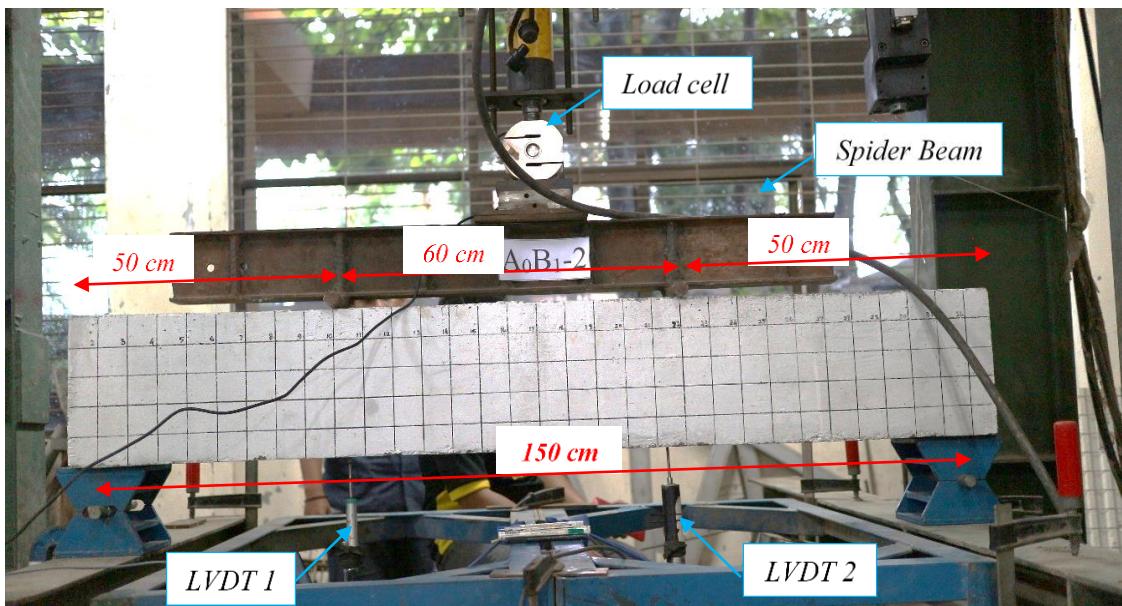
Benda Uji	Kuat Tekan (kg/cm ²)		Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²)
	14 hari	28 hari	
A ₀ B ₁	208.2454	236.643	212.421
	180.5171	205.133	
	172.0288	195.487	
A ₀ B ₂	201.4548	228.926	295.803
	273.3221	310.593	
	306.1434	347.890	
A ₁ B ₁	212.7725	241.787	266.223
	293.1280	333.100	
	196.9277	223.781	
A ₁ B ₂	237.6714	270.081	268.581
	234.8420	266.866	
	236.5396	268.795	
A ₂ B ₁	271.0586	308.021	279.298
	316.8952	360.108	
	149.3934	169.765	
A ₂ B ₂	203.1524	230.855	296.232
	248.9891	282.942	
	329.9105	374.898	
Kuat Tekan Rata-rata		26.976	

Hasil uji kuat tekan beton dari pengujian kuat tekan silinder kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian Hammer Test. Hammer Test dilakukan hanya sebagai pembanding kuat tekan silinder, oleh karena itu pengujian hanya dilakukan kepada 3 benda uji. Perbandingan hasil pengujian Hammer Test dan uji tekan silinder dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Hasil Pengujian Hammer Test dan Uji Tekan Silinder

Dari hasil kedua uji pengujian didapatkan mutu beton yang tidak sesuai dengan mutu beton rencana. Kesalahan-kesalahan seperti kurangnya kualitas bahan, kadar air serta slump yang tidak seragam pada setiap benda uji menjadi penyebab berkurangnya mutu beton. Pemakaian *vibrator* yang terlalu lama dapat menyebabkan *bleeding* yang



Gambar 7. Pemodelan Beban pada Benda Uji Balok

membentuk lapisan beton yang rapuh, lemah dan mempunyai durabilitas yang rendah.

Pengujian Lentur Balok

Pengujian lentur balok dengan menempatkan beban terpusat sebanyak 2 titik pada jarak 60 cm menghasilkan nilai beban dan nilai lendutan yang terjadi pada balok. Pemodelan pengujian lentur balok dapat dilihat pada Gambar 7.

Nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulangan bambu dengan berbagai variasi ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Beban Maksimum Balok

Benda Uji	Pmaks (kg)	Pmaks Rata-rata (kg)
A ₀ B ₁	1	5400
	2	5100
	3	6700
A ₀ B ₂	1	11500
	2	5900
	3	9000
A ₁ B ₁	1	6900
	2	8100
	3	6500
A ₁ B ₂	1	7200
	2	5900
	3	6500
A ₂ B ₁	1	6500
	2	6100
	3	6000
A ₂ B ₂	1	6800
	2	8000
	3	9800

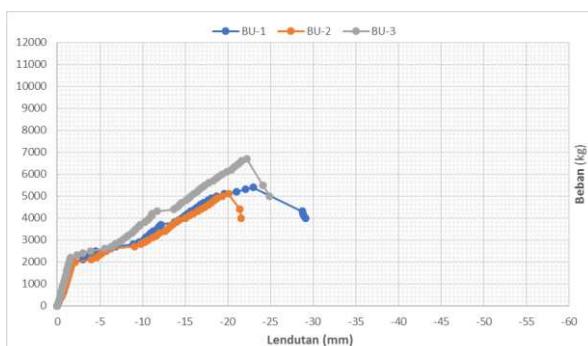
Dari hasil pengujian didapatkan bahwa rasio tulangan besar (1.50%) meningkatkan kuat beban maksimum balok sebanyak 34.84% pada balok tanpa klem selang/A₀ dan sebanyak 24.39% pada balok dengan klem selang jarak 6 cm/A₂. Pada balok dengan jarak klem selang 12 cm/A₁ mengalami penurunan sebesar 8.84%. Hasil yang lain yang didapatkan dalam pengujian lentur balok adalah nilai lendutan yang terjadi. Hasil lendutan maksimum pada masing-masing benda uji balok ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Lendutan Maksimum Balok

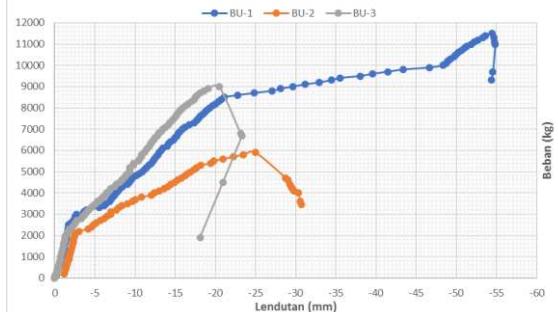
Benda Uji	Δ (mm) Titik 1	Δ (mm) Titik 2	Δ (mm) Rata-rata
A ₀ B ₁	1	-18.6	-27.33
	2	-15.99	-24.2
	3	-18.84	-25.54
A ₀ B ₂	1*	-66.83	-42.05
	2	-34.72	-15.2
	3	-28.36	-12.62
A ₁ B ₁	1	-40.44	-23.59
	2	-30.6	-15.21
	3	-23.84	-12.63
A ₁ B ₂	1	-23.97	-14.27
	2	-24.85	-13.76
	3	-26.23	-11.56
A ₂ B ₂	1	-23.97	-14.27
	2	-24.85	-13.76
	3	-26.23	-11.56

Benda Uji	Δ (mm) Titik 1	Δ (mm) Titik 2	Δ (mm) Rata-rata
A_2B_1	1*	-68.8	-16.87
	2	-20.74	-11.16
	3	-27.23	-25.35
A_2B_2	1	-22.38	-10.7
	2	-30.39	-21.11
	3	-31.57	-14.58
* Terjadi kesalahan dalam pengujian			

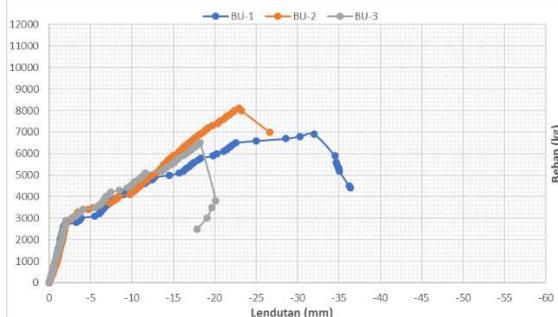
Nilai beban dan lendutan pada dua titik pembebahan dibuat grafik hubungan beban dan lendutan seperti pada Gambar 8-13.



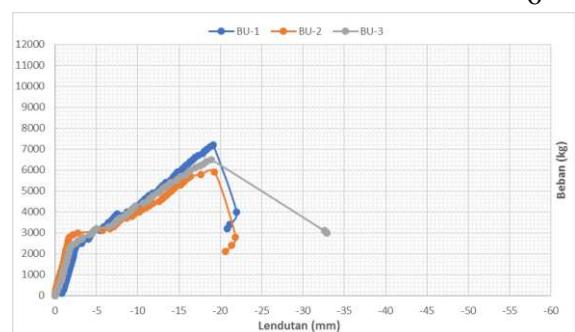
Gambar 8. Grafik Beban-Lendutan A₀B₁



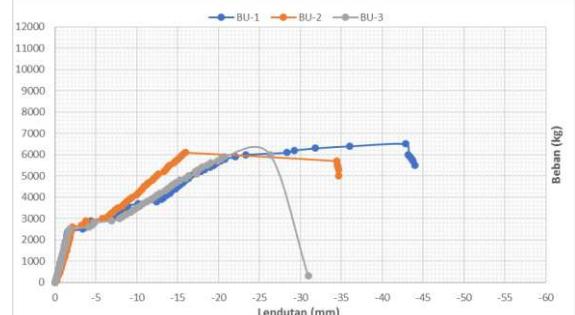
Gambar 9. Grafik Beban-Lendutan A₀B₂



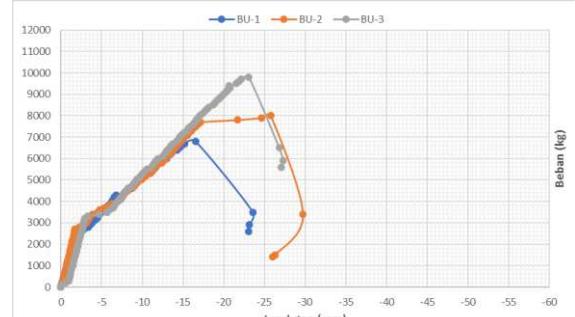
Gambar 10. Grafik Beban-Lendutan A₁B₁



Gambar 11. Grafik Beban-Lendutan A₁B₂



Gambar 12. Grafik Beban-Lendutan A₂B₁



Gambar 13. Grafik Beban-Lendutan A₂B₂

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa terdapat perbedaan bentuk grafik hubungan lendutan dengan beban yang terjadi pada setiap benda uji balok bertulangan bambu dengan atau tanpa klem selang. Perbedaan yang mencolok terlihat pada setiap benda uji yang memiliki beberapa loncatan nilai lendutan. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa banyaknya jumlah loncatan lendutan bergantung pada ada atau tidaknya klem selang pada benda uji.

Pada benda uji yang dipasang klem selang yaitu benda uji A₁ dan A₂ memiliki jumlah loncatan lendutan yang lebih banyak dan lebih besar dibandingkan dengan benda uji tanpa klem selang (A₀).

Hal ini dikarenakan klem selang menahan lendutan yang terjadi dengan melepaskan secara perlahan ikatan klem selang dengan beton tanpa merusak ikatan beton dengan tulangan bambu. Hal yang sama juga terjadi pada benda uji yang memiliki rasio tulangan berbeda. Pada balok yang memiliki tulangan dengan rasio 1.5% memiliki sedikit loncatan lendutan dibandingkan dengan rasio 0.96%. Besarnya rasio tulangan menyebabkan klem selang melekat secara sempurna dengan tulangan bambu. Pelekatan secara sempurna serta rasio tulangan yang besar ini yang mampu menahan gaya lateral yang terjadi.

Grafik yang dimiliki oleh benda uji A₀B₂-1 memiliki kejanggalan pada saat beban mencapai angka 10000 kg. Kejanggalan dapat dilihat dari kurva yang seharusnya sudah mencapai daerah III (dilihat dari kelandaian) dan langsung terjadinya runtuh, namun balok A₀B₂-1 ini kemudian mengalami kenaikan dengan kelandaian yang lebih kecil dari sebelumnya. Hal ini disebabkan karena saat pengujian pemberian gaya tidak kontinu.

Analisis Lentur Balok

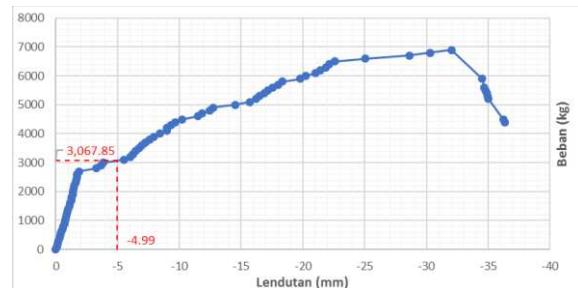
Analisis lentur yang terjadi pada balok dihitung dan dilihat berdasarkan regangan yang terjadi pada balok. Nilai regangan yang terjadi mengikuti regangan pada benda uji *pull-out* yaitu sebesar 0.002.

Perhitungan menggunakan rumus kurvatur pada balok. Pada benda uji diasumsikan sebagai lentur murni tanpa memperhitungkan lentur tak seragam yang terjadi.

- Jari-jari/radius kelengkungan, ρ
 $\epsilon = -y/\rho \rightarrow \rho = -y/\epsilon$
 $\rho = -(-125)/0.0022 = 56363.636 \text{ mm}$
- Kelengkungan, θ
 $\theta = 1/\rho = 1.774 \times 10^{-5} \text{ mm}$
- Defleksi, δ
 $\sin \theta = \frac{L/2}{\rho} = \frac{1500/2}{56363.636} = 0.0133$
 $\theta = 0.1331^\circ$

$$\begin{aligned}\delta &= \rho (1 - \cos \theta) \\ &= 56363.636(1 - \cos 0.1331) \\ &= 4.9901 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga, nilai beban (P) yang digunakan adalah saat defleksi sebesar 4.9901 mm. Pencarian nilai P dilakukan dengan cara interpolasi.

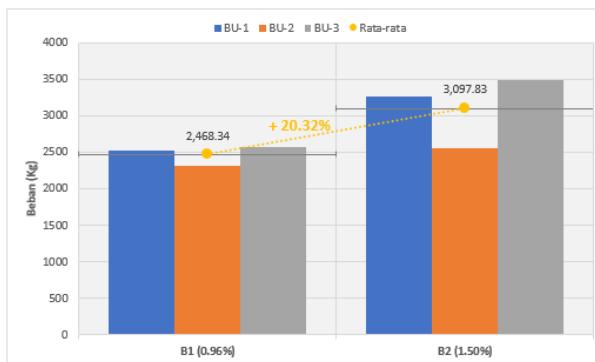


Gambar 14. Beban dan Lendutan saat Regangan 0.002

Beban yang didapat pada masing-masing benda uji setelah dilakukan pengujian kuat lentur balok dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Beban dalam keadaan aktual

Benda Uji	f'c (MPa)	P (kg)	P Rata-rata (kg)
A ₀ B ₁	21.2421	2311	2468.3448
		2567	3266
A ₀ B ₂	29.5803	2549	3097.8318
		3479	3068
A ₁ B ₁	26.6223	3440	3322.4283
		3460	3052
A ₁ B ₂	26.8581	3075	3105.0561
		3189	2926
A ₂ B ₁	27.9298	2959	2898.1417
		2809	3516
A ₂ B ₂	29.6232	3648	3532.2849
		3433	



Gambar 15. Perbandingan Beban pada Benda Uji A₀ (Tanpa Klem Selang)



Gambar 16. Perbandingan Beban pada Benda Uji A₁ (Klem Selang Jarak 12 cm)



Gambar 17. Perbandingan Beban pada Benda Uji A₂ (Klem Selang Jarak 6 cm)

Dari hasil analisis terlihat bahwa rasio tulangan berdampak pada besarnya beban yang dapat ditahan balok pada saat regangan 0.002. Pada beban teoritis disimpulkan bahwa semakin besar rasio tulangan maka beban yang dapat ditahan lebih besar nilainya. Namun, kenyataan dilapangan tidak sepenuhnya terjadi. Pada Gambar 16 benda uji dengan rasio tulangan lebih tinggi yaitu senilai 1.5% (B₂) memiliki beban lebih kecil 3.64% dibandingkan dengan rasio 0.96% (B₁). Faktor yang menyebabkan

benda uji tidak berperilaku semestinya dikarenakan pada kondisi pengujian benda uji A₁B₂ mengalami keruntuhan geser.

Analisis Lendutan

Lendutan aktual didapatkan dari hasil pengurangan lendutan pada beban 2000 kg dan 1000 kg. Hasil pengujian lendutan aktual dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Lendutan Aktual pada Balok

Benda Uji	f _c (MPa)	Δ (mm)	Rata-rata Δ (mm)
A ₀ B ₁	23.66425	1.02	
	20.5133	1.07	0.92
	19.54873	0.67	
A ₀ B ₂	22.89259	0.655	
	31.05933	0.69	0.642
	34.78902	0.58	
A ₁ B ₁	24.17869	0.61	
	33.31	0.65	0.663
	22.37815	0.73	
A ₁ B ₂	27.00811	0.7	
	26.68659	0.65	0.682
	26.8795	0.695	
A ₂ B ₁	30.80211	0.615	
	36.01082	0.71	0.658
	16.97653	0.65	
A ₂ B ₂	23.0855	0.755	
	28.29421	0.605	0.672
	37.48983	0.655	

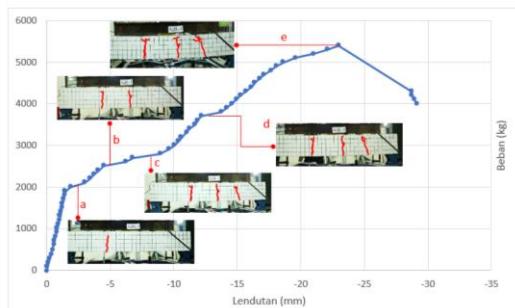
Dari hasil pengujian didapat bahwa rata-rata lendutan terbesar terjadi pada benda uji A₀B₁ dengan nilai sebesar 0.92 mm.

Pola Retak Balok

Pengamatan pola retak dilakukan untuk mengetahui korelasi antara pola retak dengan beban maksimum yang dapat dipikul oleh balok. Korelasi pola retak dilakukan dengan mengelompokkan hasil pola retak seluruh benda uji menjadi sesuai dengan jarak klem selang dan besar rasio tulangannya. Pengamatan ini juga bertujuan untuk mengetahui proses terjadinya retak dalam menentukan perilaku retak dan

keruntuhannya yang terjadi pada balok.

1. Pola Retak Balok A₀B₁

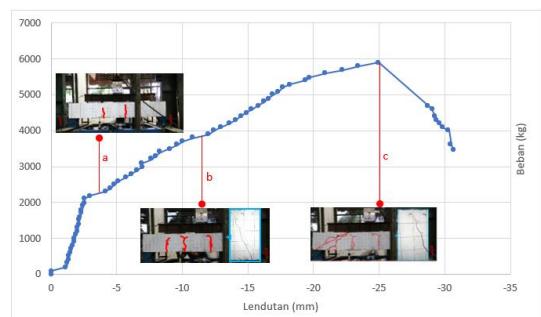


Gambar 18. Pola Retak Balok A₀B₁-1

Retak awal ditandai dengan terjadinya kelandaian pada kurva beban-lendutan serta terjadinya loncatan lendutan yang dapat dilihat pada kondisi a. Retak awal diawali dengan retak lentur yang akan merambat pada arah vertical ke dalam balok. Penambahan beban lentur akan mengakibatkan bertambahnya jumlah retak dan menyebabkan semakin besarnya panjang retak dan lebar retak pada balok.

Pada benda uji A₀B₁ retak pertama yang merupakan retak lentur akan diikuti oleh retak lentur lainnya pada posisi yang berbeda seperti pada kondisi b dan c. Setelah itu retak geser akan terjadi akibat dari retak lentur atau disebut juga dengan retak geser-lentur (*flexural shear crack*).

2. Pola Retak Balok A₀B₂



Gambar 19. Pola Retak Balok A₀B₂-2

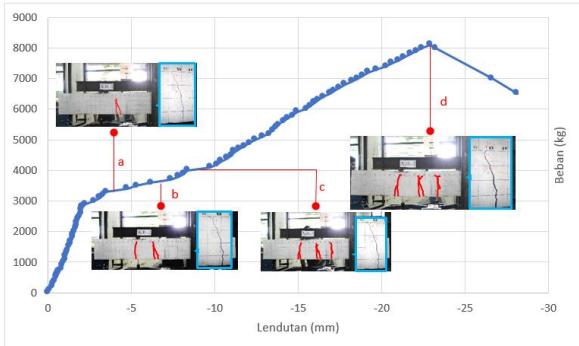
Pola Retak Balok A₀B₃ cenderung sama seperti balok A₀B₁ namun yang membedakan adalah bahwa balok A₀B₂ dapat menahan gaya yang ada sehingga

Tabel 7. Hasil Pengamatan Pola Retak Balok

Benda Uji	P_{maks} (kg)	P_{E=0.02} (kg)	Pretak (kg)		Jumlah Retak	
	P	Rata-rata	Depan	Belakang		
A ₀ B ₁	1	5400	2528	2000	3	4
	2	5100	2311	2000	2100	2
	3	6700	2567	2300	5	5
A ₀ B ₂	1	11500	3266	2600	4	4
	2	5900	2549	2200	2366.6667	4
	3	9000	3479	2300	3	3
A ₁ B ₁	1	6900	3068	2700	4	4
	2	8100	3440	3000	2900	4
	3	6500	3460	3000	4	4
A ₁ B ₂	1	7200	3052	2400	4	4
	2	5900	3075	2900	2633.3333	3
	3	6500	3189	2600	5	5
A ₂ B ₁	1	6500	2926	2500	3	3
	2	6100	2959	2700	2566.6667	2
	3	6000	2809	2500	2	2
A ₂ B ₂	1	6800	3516	2300	4	4
	2	8000	3648	2800	2800	4
	3	9800	3433	3300	3	3

balok memiliki elastisitas yang lebih tinggi dari balok A_0B_1 . Kemampuan menahan beban ini ditunjukkan dengan kurva linear yang terjadi pada balok A_0B_2 yang lebih panjang dibandingkan dengan balok A_0B_1 .

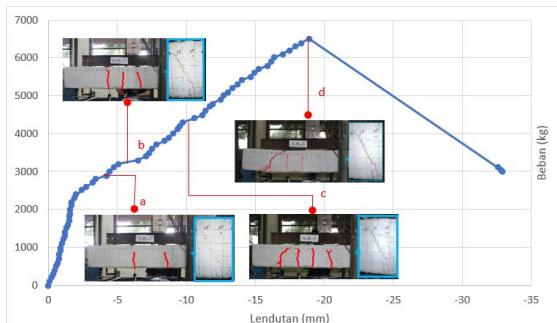
3. Pola Retak Balok A₁B₁



Gambar 20. Pola Retak Balok A₁B₁-2

Waktu dimulainya retak pertama pada balok yang memiliki klem selang lebih lama dibandingkan dengan balok bertulangan bambu tanpa klem selang (A_0B_1 dan A_0B_2). Hal ini disebabkan karena tulangan tarik bambu dapat mendistribusikan gaya-gaya yang ada. Bambu dapat menahan beban karena terdapat klem selang yang menahan dengan melepaskan lekatan perlahan-lahan. Retak yang terjadi pada balok ini sama seperti balok tanpa klem selang.

4. Pola Retak Balok A₁B₂

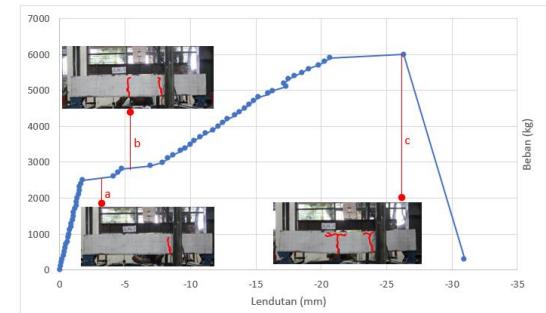


Gambar 21. Pola Retak Balok A₁B₂-2

Retak awal pada balok dengan klem selang ini diawali dengan retak lentur. Dimana saat balok dibebani lentur secara terus menerus maka balok akan retak secara tiba-tiba. Dalam pengujian balok dengan klem selang diketahui bahwa sebelum terjadinya retak terdapat suara yang dihasilkan akibat gesekan antara klem selang

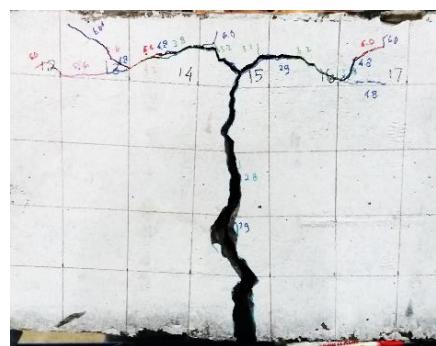
dan beton. Retak juga dapat mudah dilihat dari hasil grafik kurva beban-lendutan. Karena pada saat terjadi retak pada balok dengan klem selang loncatan lendutan cenderung lebih besar. Setelah retak lentur terdapat retak lentur geser yang terjadi pada balok A₁B₂.

5. Pola Retak Balok A₂B₁



Gambar 22. Pola Retak Balok A₂B₁-3

Pada balok A₂B₁ retak awal diawali dengan retak lentur dan kemudian terjadi retak lentur pada lokasi yang berbeda. Setelah itu terjadi penjalaran retak lentur hingga mencapai daerah tekan beton bertulangan bambu. Jumlah retak yang terjadi pada balok ini lebih sedikit dari benda uji lain. Retak yang terjadi pun hanya sebatas retak lentur saja. Retak lentur menjalar keatas hingga mencapai daerah tekan beton dan mencabangkan retaknya. Retak bercabang yang terjadi pada balok A₂B₁ dapat dilihat pada Gambar 23.

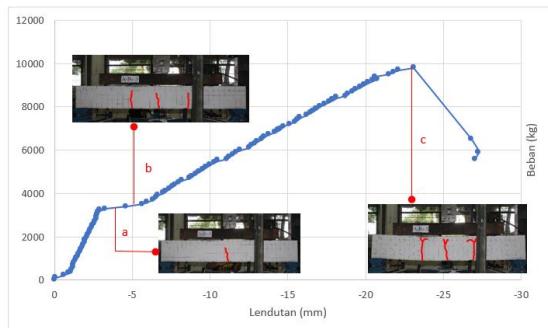


Gambar 23. Retak Bercabang pada Balok A₂B₁-3

6. Pola Retak Balok A₂B₂

Pola retak pada balok A_2B_2 sama seperti pada balok A_2B_2 hanya berbeda

saat munculnya retak awal. Munculnya retak awal ini lebih lama dibandingkan dengan balok A₂B₁. Hal ini disebabkan karena rasio tulangan yang ada pada balok A₂B₂ lebih besar dibanding pada balok A₂B₁. Rasio yang lebih besar akan menahan beban tarik lebih besar dibandingkan dengan rasio kecil.



Gambar 24. Pola Retak Balok A₂B₂-3

Setelah dilakukan analisis tegangan tulangan bambu yaitu hasil perhitungan tegangan leleh pada tulangan didapatkan bahwa nilai tegangan pada balok lebih kecil dari nilai tegangan leleh bambu pada penelitian terdahulu (190 MPa). Dari hasil ini dapat dipastikan bahwa keruntuhan balok diakibatkan oleh kehilangan lekatan antara tulangan dengan beton dan tulangan bambu belum mengalami leleh. Gambar 24 memperlihatkan terjadinya selip pada benda uji balok.



Gambar 25. Keruntuhan Lekatan pada Balok

Uji Hipotesis

Uji hipotesis dalam penelitian ini ditunjukkan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh rasio tulangan dan interaksinya dengan jarak klem selang terhadap kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan atau tanpa klem selang. Pengujian hipotesis ini dilakukan pada setiap benda uji saat beban maksimum dan beban saat regangan 0.002.

1. Metode Two-Way ANOVA

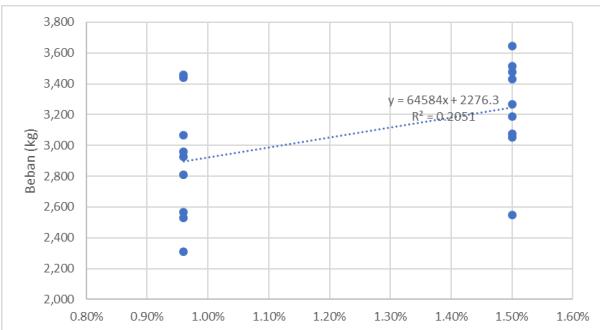
Dari hasil pengujian hipotesis ANOVA untuk beban saat regangan 0.002 didapatkan bahwa $F_1 = 10.01 > 4.75$ maka H_0' ditolak dan disimpulkan bahwa **ada pengaruh** yang signifikan variasi rasio tulangan pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan klem selang, $F_2 = 6.81 > 3.89$ maka H_0'' ditolak dan disimpulkan bahwa ada pengaruh yang signifikan variasi jarak klem selang pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan klem selang, serta $F_3 = 6.59 > 3.89$ maka H_0''' ditolak dan disimpulkan bahwa ada interaksi antara variasi rasio tulangan dan jarak klem selang pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan klem selang.

Sedangkan hasil pengujian hipotesis ANOVA untuk beban maksimum didapatkan bahwa $F_1 = 4.89 > 4.75$ maka H_0' ditolak dan disimpulkan bahwa **ada pengaruh** yang signifikan variasi rasio tulangan pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan klem selang, $F_2 = 0.15 < 3.89$ maka H_0'' diterima dan disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan variasi jarak klem selang pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan klem selang, serta $F_3 = 2.71 < 3.89$ maka H_0''' diterima dan disimpulkan bahwa tidak ada interaksi antara variasi rasio tulangan dan jarak klem selang pada kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan klem selang.

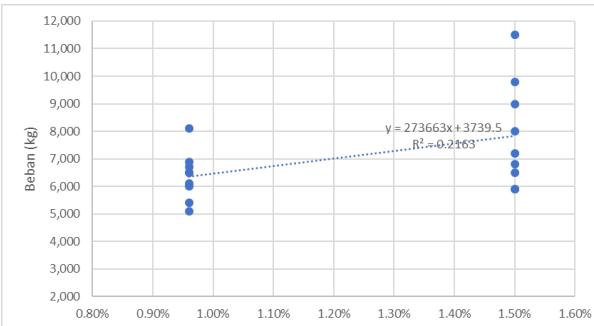
Dari hasil penelitian didapatkan bahwa gaya terbesar terjadi pada rasio besar (1.50%) dan jarak klem 6 cm (A₂). Maka dapat disimpulkan bahwa jarak klem yang dekat (6 cm) adalah pengaplikasian terbaik dan rasio tulangan 1.5% (B₂) adalah yang paling efektif.

2. Metode Analisis Regresi

Dari hasil perhitungan menggunakan regresi linear didapatkan saat regangan 0.002 persamaan regresinya adalah $Y=2276.3 + 64584 X$. Sedangkan saat beban maksimum persamaannya adalah $Y= 3739.5 + 273663 X$.



Gambar 26. Grafik Pengaruh Rasio Tulangan terhadap Beban saat Regangan 0.002



Gambar 27. Grafik Pengaruh Rasio Tulangan terhadap Beban Maksimum

Berdasarkan Gambar 26 dan Gambar 27 dapat dapat disimpulkan bahwa rasio tulangan berpengaruh signifikan terhadap beban dan kuat lentur balok bertulangan bambu dengan atau tanpa kait.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rasio tulangan yang besar (1.5%) dapat menambah kapasitas lentur balok saat regangan 0.002 sebesar 10.75% jika dibandingkan dengan kapasitas lentur balok tulangan bambu dengan rasio tulangan kecil (0.96%). Dari penelitian diketahui bahwa rasio tulangan besar (1.5%) menyebabkan meningkatnya kekuatan lentur maksimum sebanyak 18.84% terhadap rasio tulangan kecil (0.96%). Hasil pengujian memperlihatkan bahwa ada pengaruh yang signifikan antara variasi rasio tulangan terhadap kuat lentur balok beton bertulangan bambu dengan atau

tanpa klem selang. Penambahan klem selang pada tulangan bambu menambah kuat lentur sebanyak 13.42%.

2. Pola retak diawali dengan retak lentur kemudian dilanjutkan dengan retak lentur pada posisi lain. Setelah itu pada balok tanpa klem selang dan balok dengan klem selang jarak 12 cm terjadi retak lentur geser sedangkan pada balok dengan klem selang jarak 6 cm retak lentur tidak mengakibatkan retak geser namun terjadinya retak lentur yang merambat hingga daerah tekan beton. Keruntuhan yang terjadi pada balok adalah keruntuhan lekatan
 3. Setiap benda uji balok beton bertulangan bambu dengan atau tanpa klem selang memiliki nilai hubungan beban dan lendutan yang berbeda. Hal ini disebabkan karena bahan penyusun beton yaitu tulangan yang berbeda.

Dalam penelitian ini masih banyak kekurangan dan kesalahan yang terjadi. Untuk itu diperlukan saran bagi peneliti selanjutnya untuk menunjang penelitian dimasa yang akan datang, antara lain sebagai berikut:

1. Memperhatikan mutu beton agar tidak mempengaruhi hasil pengujian.
 2. Memperhatikan kualitas bahan seperti kerikil. Sebisa mungkin menggunakan kerikil dengan berat jenis kering permukaan (*SSD*).
 3. Perawaran dilaksanakan secara periodik dan harus dilakukan semaksimal mungkin agar tidak terjadi penguapan
 4. Teknik pengencangan klem selang pada tulangan perlu diperhatikan karena pasalnya satu tulangan bambu memiliki ukuran yang tidak sama karena terdapatnya *nodia* (bonggol).
 5. Dalam pengujian kuat lentur balok harus diperhatikan penempatan benda uji dan alat bantu lainnya. Sehingga tidak mempengaruhi hasil dari kuat lentur itu sendiri.

6. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan klem selang pada beton bertulangan bambu.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C-33 02a. (2002). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. USA: Annual Booksof ASTM Standards.
- Budi, A.S., Sambowo, K.A., dan Kurniawati, I., (2013). *Model Balok Beton Bertulangan Bambu Sebagai Pengganti Tulangan Baja*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 Oktober 2013, S245-S252
- Chiquita, Theadeira. (2016). Pengaruh Jenis Kait Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Pengait. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Dewi, S. M. (2005). Perilaku Pelat Lapis Komposit Bambu Spesi pada Beban In-plane dan Beban Lentur. *Disertasi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dewi, S.M., Indrawahyuni, H dan Prastumi. (2010). *Mekanika Bahan untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargin Media.
- Dipohusodo,I., (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Umum.
- Ditjen Cipta Karya. (1971). *Peraturan Beton Indonesia Tahun 1971*. Jakarta: Ditjen Cipta Karya
- Ghavarni, K., (2005). *Bamboo As Reinforcement Instructural Concrete Elements*. J. Cement & Concrete Composites, Elsevier, 27, pp. 637-649.
- Lestari, A. D. (2015). Pengaruh Penambahan Kait Pada Tulangan Bambu Terhadap Respon Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu. *Jurnal Rekayasa Sipil*.Volume 9.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Setiawan, Ronny. (2016). Pengaruh Rasio Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- SNI-03-2847-2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gendung*. Beta Version, Bandung
- Suryadi, H., Agung, M.T., dan Bangun, B.B., (2013). *Pengaruh Modifikasi Tulangan Bambu Pada Beton*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 Oktober 2013, S229-S236.