

PERBANDINGAN KAPASITAS KUAT LENTUR PADA BALOK TULANGAN BAMBU PILIN DENGAN KULIT DAN TANPA KULIT

(Comparasion of the Flexural Strength Capacity of the Knitted Bamboo Reinforcement Beam with and without Skin)

Lina Laila Chamidah, R. Martin Simatupang, Alwafi Pujiraharjo

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65415-Telp (0341) 567886
Email : linalaila27@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan konstruksi semakin mengalami peningkatan, begitu pula penggunaan beton bertulang dan baja sebagai tulangnya. Baja merupakan mineral yang tidak dapat diperbaharui, sehingga perlu adanya alternatif pengganti baja sebagai tulangan. Bambu dapat digunakan sebagai tulangan beton pengganti baja, karena bambu mempunyai kuat tarik yang tinggi yang mendekati kekuatan baja. Pemakaian bambu pada tulangan beton perlu dilakukan perlakuan khusus, seperti permasalahan pada lekatan antara bambu dan semen yang kurang baik, kemudian sifat bambu yang higroskopis. Sehingga perlu dilakukan perlakuan khusus dengan menggunakan bambu yang sudah tua usianya, memanfaatkan bagian kulit sehingga sifat higroskopiknya rendah, dan melakukan pilinan untuk memperbaiki lekatan antara bambu dan beton. Tulangan yang digunakan pada penelitian ini untuk uji kuat lentur dengan membelah bambu menjadi dua bagian, bagian luar dengan kulit dan bagian dalam tanpa kulit. Tulangan bambu memiliki ukuran 18 cm x 25 cm x 160 cm dengan pola pilinan ukuran 0,4 x 0,4 cm dengan variasi kulit dan tanpa kulit. Hasil pengujian kuat lentur pada variasi kulit didapatkan nilai P Maks rata-rata 3400 kg dengan lendutan rata-rata 9.25 mm sedangkan pada variasi tanpa kulit P Maks rata-rata yang dihasilkan 2400 kg dengan nilai lendutan 1.92 mm. Hasil variasi pada penelitian ini menunjukkan perbedaan yang signifikan pada P maks dan lendutan, sehingga dapat disimpulkan kulit berpengaruh pada kuat lentur balok bertulangan bambu pilin. Namun, hasil pola retak, lebar retak, dan panjang retak menunjukkan hasil yang hampir sama pada setiap benda uji, baik dengan kulit maupun tanpa kulit.

Kata Kunci : Kulit Bambu, Variasi Kulit, Kuat Lentur, P Maks, Pola Retak

The construction will be increase. The needs for reinforced concrete and steel as its reinforcement will increase as well. Steel as a main structure of reinforced concrete is a non-renewable mineral, so there needs an alternative to replace the steel as a reinforcement. Bamboo can be used to replaced the steel as a reinforcement concrete, because bamboo has a high tensile strength approaching the strength of steel. The use of bamboo in concrete reinforcement need a special treatment, such as problems in the attachment between bamboo and cement is not good, then the nature of the bamboo is hygroscopic. So it is necessary to do special treatment by using old bamboo, utilize the skin to relieve the hygroscopic, and make a knit to fix the attachment between bamboo and concrete. The reinforcement used in this study was to test the flexural strength by splitting the bamboo into two parts, the outer part with the skin and the inner part without skin. Bamboo reinforcement measures 18 cm x 25 cm x 160 cm. Knit pattern size 0.4 x 0.4 cm with skin variation and without skin. The results of flexural strength testing on skin variation got the average value of P Max 3400 kg with deflection 9.25 mm whereas on skinless variation got P Maximum average 2400 kg with deflection 1.92 mm. The results of the variation in this study showed significant differences in P max and deflection, so it can be inferred skin effect on the flexural strength of beam with knitted bamboo reinforcement. However, the result of fracture pattern, crack width, and crack length showed almost the same results on each specimen, with or without skin.

Keywords : Knitted Bamboo, Skin Variaty, Flexural Strength, P Max, Crack Pattern.

PENDAHULUAN

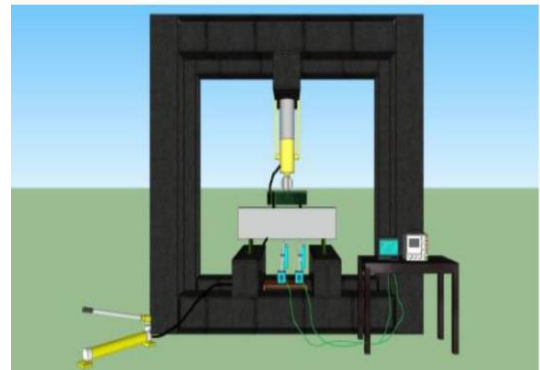
Seiring dengan semakin pesatnya pertumbuhan penduduk maka pembangunan perumahan akan mengalami peningkatan. Kebutuhan penggunaan beton bertulang akan mengalami peningkatan juga, dikarenakan beton bertulang merupakan komponen utama dalam Pembangunan. Beton merupakan bahan konstruksi yang mempunyai sifat khas yaitu mampu memikul gaya tekan yang besar, tetapi lemah dalam menahan gaya tarik. Dalam perkembangannya, beton digabungkan dengan bahan konstruksi lain untuk menutupi kelemahan kelemahan beton seperti terhadap gaya tarik. Bahan tersebut adalah baja atau biasa dikenal dengan tulangan baja. Baja merupakan mineral yang tidak dapat diperbaharui, sehingga perlu alternatif lain yang memiliki sifat menyerupai baja. Bambu dapat digunakan sebagai tulangan beton pengganti baja, karena bambu mempunyai kuat tarik yang tinggi yang mendekati kekuatan baja.

Pemakaian bambu pada tulangan beton perlu perlakuan khusus, seperti halnya permasalahan pada lekatan antara bambu dan semen yang kurang baik, kemudian sifat bambu yang higroskopis yang memengaruhi kembang susut yang berpengaruh pada lekatan antara bambu dan beton. Perlu dilakukan pilinan untuk memperbaiki lekatan antara tulangan dan beton. penelitian ini akan meneliti lebih lanjut tentang balok beton tulangan bambu pilin. Dimana diperlukan penelitian mengenai berapa kekuatan lentur maksimum yang terjadi pada balok tersebut dengan memanfaatkan adanya kulit bambu pada pilinan bambu yang digunakan sebagai tulangan balok beton.

Penelitian ini diharapkan dapat mengatasi kelemahan bambu sebagai tulangan pada beton. Pada penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui kapasitas balok bertulangan bambu pilin dengan kulit dan tanpa kulit, serta mengetahui bagaimana pengaruh pada hasil pola retaknya.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian yang dilakukan adalah pada semester genap tahun ajaran 2016-2017. Variabel bebas pada penelitian ini adalah Penggunaan ukuran tulangan bambu 0,4 x 0,4 x 1,6 cm, sedangkan variabel terikatnya adalah Kuat Lentur, Lentutan, Pola Retak, P Teoritis. Pengujian pada penelitian ini dilakukan uji kuat tekan untuk mengetahui f'_c pada setiap benda uji dan uji kuat lentur pada balok.



Gambar 1 Skema pengujian kuat lentur balok

RANCANGAN PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat dua variasi yaitu penggunaan tulangan bambu pilin dengan kulit dan tanpa kulit. Kulit yang digunakan sebagai tulangan diambil dari $\frac{1}{2}$ tangensial bambu bagian luar, untuk tulangan tanpa kulit bambu dibelah tangensial bagian dalam kulit. Ragam yang terdapat pada penelitian ini adalah benda uji A1B merupakan tulangan bambu pilin dengan kulit, dan A2B tanpa kulit.. faktor dalam kulit dan tanpa kulit.

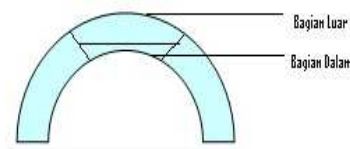
Tabel 1 Nama dan Variasi benda uji

Nama Benda Uji	Variasi
A1B1	Kulit
A1B2	Kulit
A2B1	Tanpa Kulit
A2B2	Tanpa Kulit

Benda uji yang dibuat sebanyak 4 buah, 2 benda uji balok setiap variasi untuk balok dan 4 silinder ununtuk 4 benda uji. 4 buah silinder untuk pengujian tekan 4 buah balok untuk pengujian kuat lentur. Pengujian kuat lentur dilakukan saat umur beton sudah mencapai 28 hari.

Kulit

Dalam penelitian Morisco untuk mengetahui perbedaan kekuatan bambu dari bagian luar dan bagian dalam, maka dibuat specimen dengan bambu dibelah tangensial tebal sekitar $\frac{1}{2}$ dari bambu utuh. Bagian sisi yang ada kulitnya mewakili bambu bagian luar,



Gambar 2 Bagian-bagian kulit

Sedangkan sisanya mewakili bambu bagian dalam. Hasil menunjukkan bahwa bambu bagian luar mempunyai kekuatan jauh lebih tinggi daripada bambu bagian dalam. Kekuatan tinggi ini diperoleh dari kulit bambu yang terdiri dari unsur silika.

Menurut Ghayani (1998), bagian luar batang bambu relatif lebih kedap air bila dibandingkan dengan bagian dalam, serta memiliki kekuatan tarik hampir tiga kalinya bagian dalam. Berdasarkan kenyataan tersebut dibuatlah struktur pilihan yang dibentuk dengan cara memilin beberapa serat bagian luar menjadi satu seperti struktur kabel.

Tulangan Bambu

Tulangan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bambu petung. Sebelum di pilin bambu dipilah antara yang kulit dan tanpa kulit, kemudian bambu di rendam dengan NaOH ±15 menit supaya serbuk pada bambu terangkat dan membuat bambu lebih elastis dan mudah dalam melakukan pilinan. kemudian bambu di pilin dengan pola 1 sesuai hasil *pull out*. Setelah pilinan selesai, tulangan bambu di lapisi oleh pelapis sikadur dan dilanjutkan dengan menaburi pasir. Pengujian kuat lentur dilakukan pada dua variasi yaitu tulangan bambu pilin dengan kulit (A1B) dan tulangan bambu pilin tanpa kulit (A2B).

Balok Bertulangan Bambu Pilin

Pada penelitian ini digunakan balok berukuran 18 x 25 x 160 cm. Semen yang digunakan adalah semen normal tipe 1 yaitu PPC. Agregat kasar maksimum berukuran 20 mm dengan selimut beton 30 mm. Terdapat dua tulangan pada balok, yaitu tulangan atas dan tulangan bawah. Tulangan atas (tekan) berjumlah 2 tulangan bambu pilin dan tulangan bawah (tarik) memiliki 2 tulangan yang sama. Selanjutnya untuk tulangan bagi atau sengkang menggunakan baja polos dimensi 6 mm dengan jarak tiap sengkang maksimum 200 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

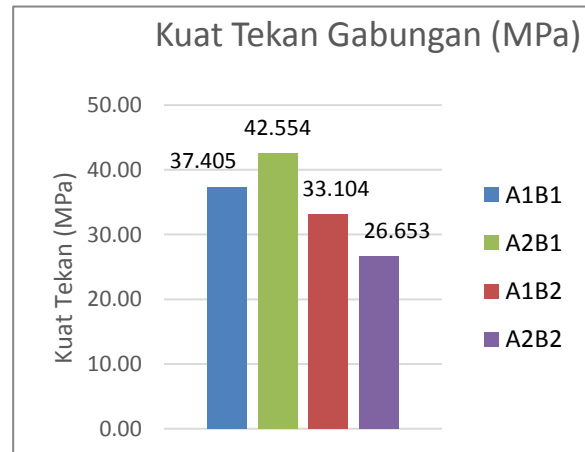
Pengujian Kuat Tekan Silinder

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kekuatan benda uji. Benda uji beton silinder dibuat sebanyak 1 buah tiap adukan sebagai sampel untuk mendapatkan karakteristik campuran beton yang dimiliki balok. Total benda uji silinder berjumlah 4 buah dengan mutu beton rencana 20 MPa. Pengujian dilakukan ketika beton berusia 28 hari.

Hasil pengujian kuat tekan

No	Nama	Kuat (Mpa)	Tekan	Rata-rata
1	A1B1	37.405		35.255
2	A1B2	33.104		
3	A2B1	42.554		34.604
4	A2B2	26.653		
\		Rata-Rata		34.929

Keterangan :



A1B1 ; Tulangan bambu pilin dengan kulit

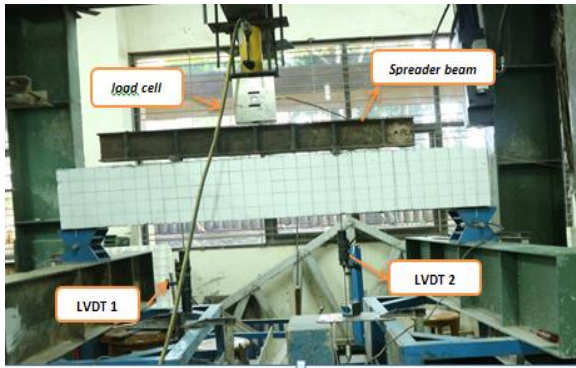
A1B2 : Tulangan bambu pilin tanpa kulit

Gambar 3 gabungan hasil kuat tekan

Gambar 3 menunjukkan perbedaan hasil kuat tekan yang bervariasi dari setiap benda uji silinder tidak begitu signifikan, hanya saja pada benda uji silinder tanpa kulit A2B2 memiliki perbedaan yang signifikan dengan benda uji A2B1 yaitu 26.653 Mpa dan 42.554 Mpa. Perbedaan tersebut dikarenakan komposisi agregat dan semen yang tidak merata pada setiap silinder dan pada proses pembuatan benda uji silinder agregat tidak sepenuhnya terisi akibat kurangnya pepadatan saat pengecoran sehingga terdapat rongga yang membuat volume beton berkurang sehingga kuat tekan silinder beton menurun. Hasil dari kekuatan uji tekan masih memenuhi dari rencana yaitu lebih dari 20 Mpa.

Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian kuat lentur balok bertulangan bambu pilin bertujuan untuk mengetahui kapasitas beton dalam memikul beban dan mengetahui pengaruh kulit bambu terhadap kuat lentur balok beton bertulangan bambu pilin. Variasi yang terdapat pada setiap benda uji adalah tulangan dengan kulit pada bambu dan tulangan tanpa kulit.



Gambar 4 Skema pembebanan Pengujian kuat lentur.

Balok beton dengan ukuran 18 x 25 x 160 cm diuji sebagai balok sederhana (2 tumpuan) dengan tumpuan sendi dan roll. Pengujian lentur balok dengan menempatkan beban terpusat sebanyak 2 titik pada jarak 60 cm menghasilkan nilai beban dan nilai lendutan yang terjadi pada balok. Pengujian lentur balok dibebani menggunakan *hydraulic jack* yang disalurkan nilai bebannya oleh *load cell* dan disebarkan menggunakan *spreader beam*. Pengujian ini dihentikan saat beton bertulangan bambu pilin mengalami keruntuhan. Nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok beton bertulangan bambu pilin dengan berbagai variasi ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 2 Beban Maksimum pada Balok Beton Bertulangan Bambu pilin.

Benda Uji	Pengujian Lentur	
	Pmax (Kg)	Pmax Rata- Rata (Kg)
A ₁ B ₁	3800	3400
A ₁ B ₂	3000	
A ₂ B ₁	2400	2400
A ₂ B ₂	2400	

Rata – Rata

Sumber : Hasil penelitian pengujian kuat lentur

Keterangan :

A₁B : Tulangan bambu pilin dengan kulit

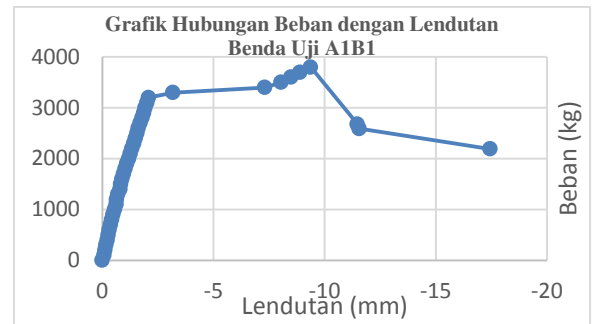
A₂B : Tulangan bambu pilin tanpa kulit

Beban maksimum paling besar yang dapat ditahan oleh balok beton terdapat pada balok A₁B₁ dengan nilai sebesar 3800 kg, sedangkan untuk beban maksimum terendah terdapat pada balok tanpa kulit dengan nilai sebesar 2400 kg. Hasil lendutan maksimum pada tengah masing – masing benda uji balok, ditampilkan pada Tabel 3.

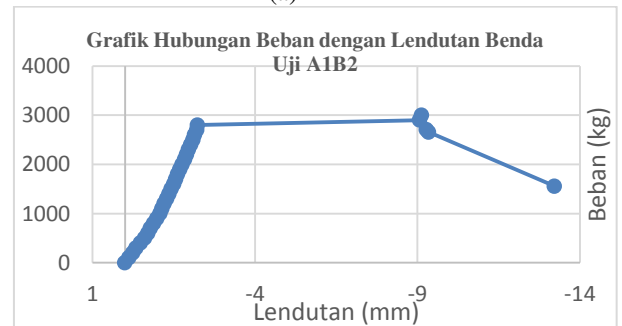
Tabel 3 Nilai Pmax dan Δmax pada Hasil Pengujian Lentur

Benda Uji	P Maks (Kg)	Lendutan (mm)	
		Titik 2	Titik 1
A ₁ B ₁	3800	-13.75	-5
A ₁ B ₂	3000	-13.09	-5.17
A ₂ B ₁	2400	-2.67	-0.94
A ₂ B ₂	2400	-2.96	-1.12

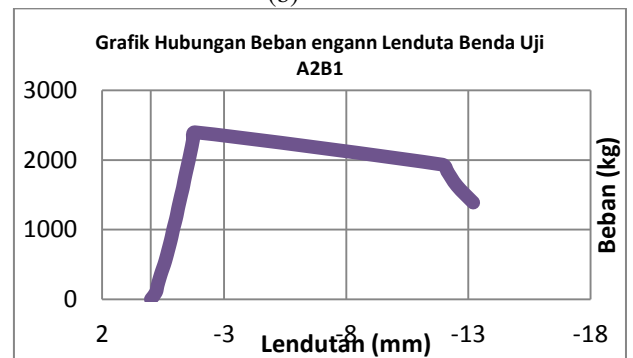
Sumber : Penelitian hasil pengujian kuat lentur nilai Pmax dan Δmax Pengujian Lentur Balok menunjukkan nilai yang beragam pada lendutan maksimum di tengah bentang. Lendutan terbesar terjadi pada benda uji balok A1B1 tulangan pilinan dengan kulit dengan nilai P maks 3800, sedangkan lendutan terkecil terjadi pada benda uji Balok A2B1 tulangan pilinan tanpa kulit dengan nilai P maks 2400 Kg.



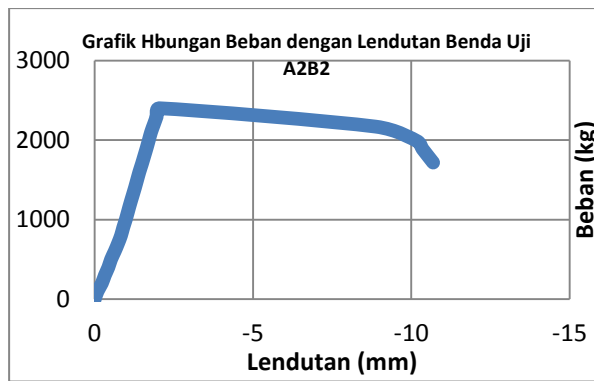
(a)



(b)

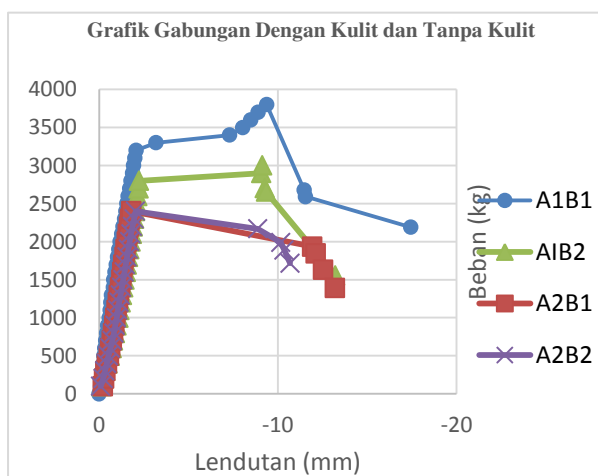


(c)



(d)

Gambar 5 Hubungan Beban dengan Lentutan (a) Benda uji A1B1 (b) Benda uji A1B2 (c) Benda uji A2B1 (d) Benda uji A2B2



Gambar 6 Grafik hasil gabungan hubungan beban dan lentutan.

Berdasarkan Gambar 6 grafik hasil gabungan diatas pada tulangan pilinan bambu dengan kulit dan tulangan bambu tanpa kulit menunjukkan perbedaan yang signifikan, baik pada beban maksimum maupun pada lentutan maksimum. Adanya kulit pada tulangan bambu pilin sangat mempengaruhi. Pada tulangan dengan kulit hasil P maks dan lentutan lebih besar, rata rata beban 3400 kg, sedangkan pada tulangan tanpa kulit rata rata beban 2400 kg. Adanya kulit pada tulangan memiliki kekuatan lebih tinggi, tulangan bambu pilin dengan kulit lebih mampu menahan kuat lentur, pada kulit bambu sendiri bersifat elastis. Pada beban maksimum lentutan terbesar pada benda uji A1B1, namun pada kondisi yang sama pada beban 2400 kg lentutan terkecil pada benda uji A1B1 menunjukkan tulangan bambu pilin dengan kulit lebih elastis dibandingkan tulangan bambu pilin tanpa kulit.

Pengaruh kulit terhadap tulangan bambu pilin terhadap P maks lentur

Perhitungan perbandingan hasil P maks dapat di hitung dengan persamaan:

Kapasitas dengan kulit :

$$\begin{aligned} \text{Nilai A1} &= A1B1 + A1B2 \\ &= 3800 + 3000 \\ &= 6800 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai A2} &= A2B1 + A2B2 \\ &= 2400 + 2400 \\ &= 4800 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Presentase} &= \frac{A1-A2}{A1} \times 100\% \\ &= \frac{6800-4800}{6800} \times 100\% \\ &= 29,41 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai presentase P maks uji kuat lentur pada tulangan bambu pilin dengan kulit dan tanpa kulit sebesar 29,41 %.

Perhitungan Teoritis

Perhitungan P Maks Teoritis

Perhitungan Pmaks teoritis digunakan untuk mengetahui beban maksimum teoritis yang mampu ditahan oleh balok. Perhitungan untuk mendapatkan P maks ini berdasarkan teori keseimbangan beban pada analisis lentur balok bertulangan bambu.

Berikut ini contoh perhitungan P Maks Teoritis pada Balok A1B1

Diketahui :

$$\begin{aligned} L &= 1500 \text{ mm} \\ b &= 180 \text{ mm} \\ h &= 250 \text{ mm} \\ f_c' &= 37,405 \text{ MPa} \\ f_y &= 85,84 \text{ MPa} \\ d &= h - d' \\ &= 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\varepsilon \text{ Regangan Tarik} = 0,003$$

$$E_s = \frac{f_y}{\varepsilon} = 28613,333 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan Tarik} = (A_s = 190,476 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Tulangan Geser} = \phi 6-200 \text{ (} A_s = 28,2857 \text{ mm}^2)$$

Tulangan Geser beton =

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{37,405} \times 180 \times 220 \\ &= 40365,326 \text{ N} \end{aligned}$$

Menentukan Kapasitas Momen :

Asumsi awal : Baja tarik sudah leleh, $f_s = f_y$
Baja tekan belum leleh, $f_s' = \varepsilon_s'$

$$C = T$$

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + A_s \cdot f_s = A_s \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + A_s \cdot \epsilon_c \cdot \frac{a}{0,85} \cdot E_s = A_s \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot 37,405 \cdot 150 \cdot a + 190,476 \cdot 0,003 \cdot \frac{1,18a - 43}{1,18a} \cdot 28613,33 = 16350,5$$

$$6732,891 a^2 + 19235,835 a - 506864,255 = 0$$

Dari persamaan diatas, maka diperoleh :

$$a_1 = 7,365$$

$$a_2 = -10,222$$

Garis netral :

Maka, $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,365}{0,85} = 8,644 \text{ mm} < d'$

Regangan tarik :

$$\epsilon_s = \epsilon_c \times \frac{d-c}{c}$$

$$= 0,003 \times \frac{220-8,644}{8,644}$$

$$= 0,073$$

Tegangan Tarik :

$$f_s = \epsilon_s \times E_s$$

$$= 0,073 \times 28613,33 \text{ Mpa}$$

$$= 2093,722 > 85,84 \text{ Mpa}$$

(Tulangan tarik sudah leleh)

Momen lentur nominal:

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= 190,476 \times 85,84 \times (220 - \frac{7,365}{2})$$

$$= 9117471,889 \text{ Nmm}$$

untuk 2 beban terpusat

$$M_u = M_n = 9117471,889 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} \times 45 \times P = 9117471,889 \text{ Nmm}$$

$$P = 4052,20973 \text{ Kg}$$

Dari hasil perhitungan, didapat beban maksimum teoritis untuk balok A1B1 dengan mutu beton 37,405 MPa sebesar 4052,209 kg. Dengan cara yang sama, dapat dicari beban maksimum teoritis untuk balok jenis yang lain.

Hasil analisis beban maksimum secara teoritis yang telah didapatkan digunakan untuk membandingkan beban maksimum secara eksperimen. Perbandingan hasil beban maksimum teoritis dan hasil beban maksimum secara eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.

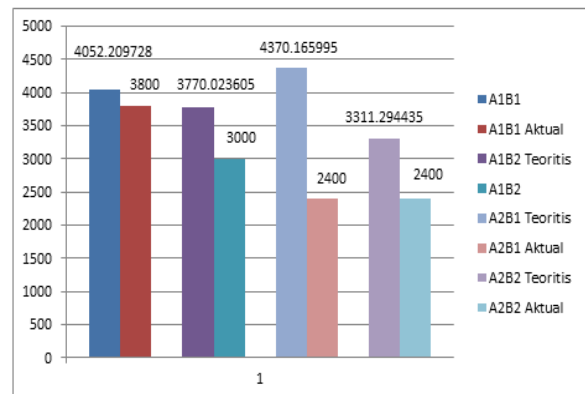
Tabel 4

Hasil Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Benda Uji	Pmax Teoritis (Kg)	Pmax aktual (Kg)	KR (%)
A2B1	4370.166	2400	45.08
A2B2	3311.294	2400	27.52

A1B1	4052.210	3800	6.22
A1B2	3770.024	3000	20.42

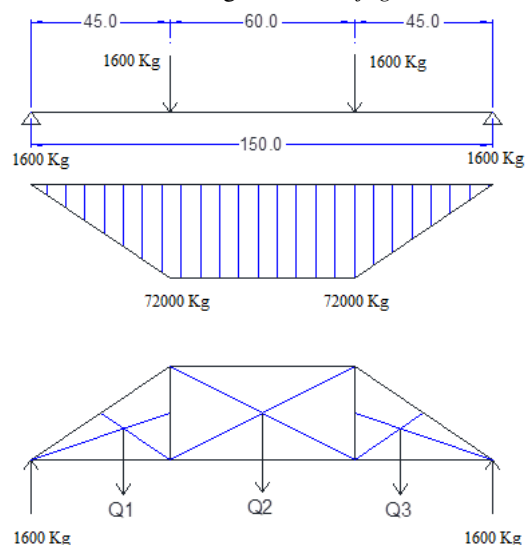
Sumber : Perhitungan Teoritis



Gambar 6 Hasil Grafik gabungan P Maks Teoritis dan Aktual.

Perhitungan Teoritis Lentutan Teoritis (Metode Conjugate Beam)

Analisis pada balok bertulangan dalam menentukan lentutan secara teoritis dapat dihitung dengan menggunakan metode *conjugate beam*. Analisis lentutan secara teoritis dihitung berdasarkan beban saat dalam kondisi elastis. Bidang momen balok untuk analisis lentutan teoritis dengan cara *conjugate beam*.



Gambar 7 Pembebanan Conjugate Beam

Beban P yang digunakan merupakan beban saat keadaan elastis, contoh pada benda uji A1B1 bernilai 3200 kg. Sehingga, P yang digunakan adalah 3200 kg. $R_a = R_b = \frac{1}{2} (3200) = 1600 \text{ kg}$. Hasil perhitungan Momen Maksimum bernilai 72000 kg. Penggambaran pembebanan *conjugate beam* dapat dilihat pada Gambar 7.

$$Q_1 = 0,5 \times 45 \times 72000 = 1620000 \text{ kgcm}^2$$

$$Q_2 = 60 \times 72000 = 4320000 \text{ kgcm}^2$$

$$Q_3 = 0,5 \times 45 \times 72000 = 1620000 \text{ kgcm}^2$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 7560000 \text{ kgcm}^2$$

$$Ra' = Rb' = 3780000 \text{ kgcm}^2$$

Berikut contoh perhitungan lendutan teoritis untuk balok A₁B₁

$$b = 18 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$f'c = 37.405 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 18 \times 25^3$$

$$= 23437,5 \text{ cm}^4$$

$$E_{\text{beton}} = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$= 4700 \sqrt{37.405}$$

$$= 28745.025 \text{ MPa}$$

$$= 287450,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta_E = \frac{M_E'}{EI}$$

$$= \frac{Ra' \times 75 - Q_1 \times (75 - 30) - \frac{1}{2} \times Q_2 \times 15}{EI}$$

$$= \frac{3780000 \times 75 - 1620000 \times (75 - 30) - \frac{1}{2} \times 4320000 \times 15}{287450,25 \times 23437,5}$$

$$= 0,031 \text{ cm} = 0,31 \text{ mm}$$

Dari hasil hitungan didapat lendutan teoritis untuk balok A₁B₁ dengan mutu beton 37.405 Mpa sebesar 0,31 mm. Dilakukan dengan cara yang sama, dapat dicari lendutan maksimum teoritis pada benda uji lainnya. Tabel 5 menunjukkan hasil perbandingan perhitungan teoritis dan aktual.

Tabel 5

Hasil perbandingan lendutan teoritis dan lendutan aktual

Benda Uji	Lendutan Teoritis (mm)	Lendutan Aktual (mm)	KR (%)
A ₁ B ₁	0,312	2.08	87.3077
A ₁ B ₂	0,290	2.23	88.9686
A ₂ B ₁	0,219	1.805	89.6953
A ₂ B ₂	0.266	1.96	88.5204

Sumber : Hasil perhitungan lendutan teoritis

perbedaan hasil lendutan teoritis dengan lendutan aktual. Nilai KR terbesar adalah 89.6953%, menunjukkan perbedaan yang besar. Lendutan teoritis terbesar senilai 0.264 mm sedangkan lendutan aktual terbesar 2.23 mm. Perbedaan lendutan yang besar tersebut biasanya disebabkan oleh berbagai faktor, yaitu seperti ketidak sesuaian modulus elastisitas. Rumus modulus elastisitas menggunakan rumus praktis, sedangkan pada modulus elastisitas dipengaruhi oleh umur beton, sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, kelembaban benda uji beton, faktor air semen dan jenis serta ukuran benda uji.

Teoritis (Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.5 ayat 2.3)

lendutan seketika dihitung dengan menggunakan nilai momen inersia efektif I_e. Perhitungan yang dilakukan untuk menentukan besarnya lendutan dengan menggunakan nilai beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok pada setiap benda uji.

Perhitungan lendutan teoritis pada benda uji A₁B₁ :

Diketahui :

$$b = 18 \text{ cm}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$d' = 3 \text{ cm}$$

$$d = 22 \text{ cm}$$

$$f'c = 37,405 \text{ Mpa}$$

P Maks = 3800 Kg

$$As = 1,904 \text{ cm}^2$$

$$As' = 1,904 \text{ cm}^2$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 18 \cdot 25^3 = 23437,5 \text{ cm}^4$$

$$fr = 0,7 \cdot \sqrt{f'c} = 0,7 \cdot \sqrt{37,405} = 4,566$$

$$yt = 0,5 \cdot 25 = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \frac{fr \cdot I_g}{yt} = \frac{4,566 \cdot 23437,5}{12,5}$$

$$= 8561,887 \text{ kgcm}$$

$$E \text{ bambu} = 28613,33 \text{ Mpa}$$

$$E \text{ beton} = 30659,71 \text{ Mpa}$$

$$n = E \text{ bambu} / E \text{ beton} = 0,933$$

Letak garis netral (y) ditentukan sebagai berikut :

Gambar 4.8 Penampang Transformasi

Kedudukan Garis Netral:

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y^2 + n \cdot As' \cdot y - n \cdot As' \cdot d' - n \cdot As \cdot d$$

$$+ n \cdot As \cdot y = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot 18 \cdot y^2 + 0,933 \cdot 1,904 \cdot y - 0,933 \cdot 1,904 \cdot 3$$

$$- 0,933 \cdot 1,904 \cdot 22$$

$$+ 0,933 \cdot 1,904 \cdot y = 0$$

$$9y^2 + 3,792y - 422,891 = 0$$

Didapatkan y₁ = 6,646 cm dan y₂ = -7,068 cm

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot As \cdot (d - y)^2 + n \cdot As' \cdot (y - d')^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot 18 \cdot 6,646^3$$

$$+ 0,933 \cdot 1,904 \cdot (22 - 6,646)^2$$

$$+ 0,933 \cdot 1,904 \cdot (6,646 - 3)^2$$

$$I_{cr} = 100295,234 \text{ cm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right) \times I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{8027,201}{35737446,06} \right)^3 \times 10000 + \left(1 - \right.$$

$$\left. \left(\frac{8027,201}{35737446,06} \right)^3 \right) \times 100295,234$$

$$I_e = 100295,234 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = \frac{Px l}{24.Ec.Ie} x (3PL^2 - 4l^2)$$

$$= \frac{3800x 45}{24.28613,33.100295,234} x (3.3800.150^2 - 4.45^2)$$

$$= 0,147 \text{ cm}$$

Dengan cara yang sama dapat dilakukan perhitungan lendutan untuk benda uji yang lain. Untuk benda uji A1B1 didapatkan lendutan teoritis sebesar 0,147 cm. dengan kuat tekan sebesar 37,40 Mpa.

Tabel 6
Hasil perbandingan lendutan teoritis dan lendutan aktual

Benda Uji Balok	Lendutan (cm)		KR(%)
	Teoritis	Aktual	
A1B1	0.147	0.938	84.34125
A1B2	0.124	0.908	86.3151
A2B1	0.105	0.181	41.59339
A2B2	0.106	0.204	48.07301

Sumber : Hasil perhitungan lendutan teoritis

Pada tabel 6 dapat dilihat perbedaan lendutan teoritis dan aktual berdasarkan keadaan beban maksimum menunjukkan hasil yang signifikan. Perbedaan terbesar terletak pada lendutan benda uji A1B2 dengan KR 86.31%. Balok dengan tulangan bambu pilin dengan kulit pada kondisi beban 2400 kg hasil lendutan lebih kecil daripada balok tulangan bambu pilin tanpa kulit pada keadaan beban yang sama. Dengan percobaan perhitungan teoritis dengan cara SNI kesalahan relatif lebih kecil dibandingkan menggunakan metode *conjugate beam*.

Pola Retak Balok Bertulangan Bambu Pilin

Pengamatan pola retak dilakukan untuk mengetahui hubungan 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 tulangan dengan kulit dan tanpa kulit. Selain itu juga memiliki tujuan untuk mengetahui proses terjadinya retak dalam menentukan perilaku retak dan keruntuhan yang terjadi pada balok. pengamatan retak dilakukan pada setiap peningkatan beban. Saat terjadi retak pada balok, dilakukan penandaan dan penomoran sesuai dengan beban yang tertera.

Tabel 7
Hasil pengamatan pola retak

Benda Uji	Lebar Retak (mm)	Panjang Retak Depan (cm)	Panjang Retak Belakang (cm)
A ₁ B ₁	11.537	23.5	25
A ₁ B ₂	12.038	26.3	25.5
A ₂ B ₁	11.388	26.6	26.6
A ₂ B ₂	14.259	24.5	25.5

Hasil pola retak dari pengujian kuat lentur pada balok



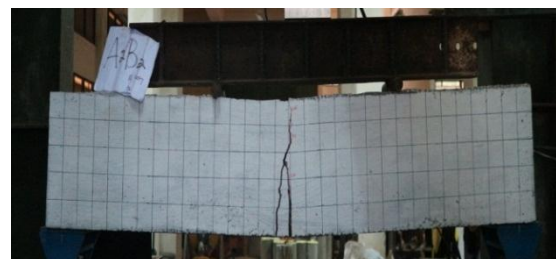
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8 Pola Retak (a) Balok A1B1 (b) Balok A1B2 (c) Balok A2B1 (d) Balok A2B2

Gambar 8 menunjukkan hasil pola retak uji kuat lentur. Pola retak pada benda uji variasi kulit dan tanpa kulit menunjukkan hasil yang relatif sama. Retak diawali pada kondisi elastis dengan kondisi retak lentur geser dan mengalami keruntuhan lentur. Setelah retak awal pada kondisi elastis, kemudian dilakukan penambahan beban akan mengalami penambahan retak sampai balok mengalami runtuh saat kondisi P dalam keadaan maksimum.

Lebar dan Panjang Retak Balok Bertulangan Bambu Pilin

Lebar dan panjang retak di peroleh setelah dilakukan pengujian lentur. Lebar retak dan panjang retak hanya diambil pada nilai terbesar pada setiap balok. Pengukuran dilakukan menggunakan *Dino-Lite* dan benang.

Tabel 8
Hasil Pengamatan Lebar dan Panjang Retak Balok

Benda Uji	Lebar Retak (mm)	Panjang Retak Depan (cm)	Panjang Retak Belakang (cm)
A ₁ B ₁	11.537	23.5	25
A ₁ B ₂	12.038	26.3	25.5
A ₂ B ₁	11.388	26.6	26.6
A ₂ B ₂	14.259	24.5	25.5

Sumber : Hasil pengamatan *dinolite*

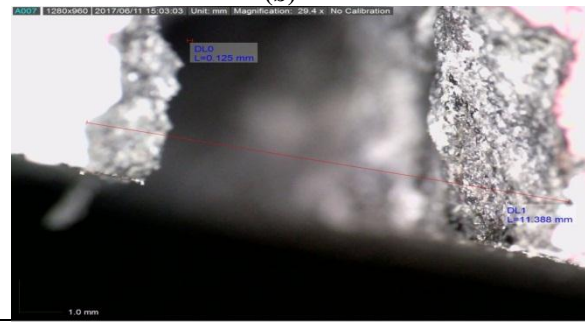
Hasil dari pengamatan dengan *dinolite* lebar retak dapat dilihat pada Gambar 9 :



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 9 Lebar retak dan panjang retak (a) Balok A1B1 (b) Balok A1B2 (c) Balok A2B1 (d) Balok A2B2

PENUTUP KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis pengujian kuat lentur terhadap balok beton tulangan bambu pilin dengan variasi kulit dan tanpa kulit diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Balok tulangan bambu pilin dengan variasi kulit dan tanpa kulit di dapatkan hasil P maks, lendutan, pola retak, lebar retak dan panjang retak. Pada balok tulangan bambu pilin dengan kulit memiliki hasil P maks rata-rata sebesar 3400 kg, sedangkan tulangan bambu pilin tanpa kulit memiliki nilai rata-rata sebesar 2400 kg. Besar lendutan yang dihasilkan pada keadaan P maks tersebut pada variasi kulit adalah 9,25 mm dan variasi tanpa kulit adalah 1,92 mm. Peningkatan kapasitas beban yang mampu ditahan balok adalah sebesar 29.41 %. Hasil P maks dan lendutan

menunjukkan perbedaan yang signifikan, namun pada hasil pola retak, lebar retak dan panjang retak memiliki hasil yang relatif sama. Dari 4 benda uji memiliki pola retak yang sama, yaitu retak diawali pada kondisi elastis dengan kondisi retak lentur geser dan mengalami keruntuhan lentur. Pada variasi dengan kulit memiliki lebar retak rata-rata sebesar 11,78 mm dan panjang retak 24,97 mm. Sedangkan pada variasi tanpa kulit memiliki lebar retak rata-rata sebesar 12,82 mm dan panjang retak rata-rata sebesar 25,55 mm.

2. Tulangan bambu pilin dengan kulit memiliki sifat elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan tulangan bambu pilin tanpa kulit, sehingga benda uji variasi dengan kulit lebih mampu menahan beban lentur dan hasil P Maks yang mampu ditahan lebih besar. Lendutan pada kondisi beban yang sama pada kedua variasi menunjukkan hasil pada balok tulangan bambu pilin dengan kulit memiliki nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan balok tulangan bambu pilin tanpa kulit, yaitu pada benda uji variasi dengan kulit beban 2400 kg rata-rata nilai lendutan 1,706 mm pada variasi tanpa kulit 1,998 mm. Namun, pola retak dan lebar retak menunjukkan hasil yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Morisco. (1990). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Ghavami, K. (2005). *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Elements*. J. Cement & Concrete Composites, *elevier*, 27, 637-649.
- Nanda Kartika, P (2016) *Pengaruh Jarak Kait Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Dengan Kait*, Jurnal Teknik Sipil/Vol. 1, No. 2. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Tjokrodimulyo. (1992). *Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta*. Yogyakarta : Universitas Gadjahmada.
- Tjokrodimulyo. (2004). *Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta*.

Yogyakarta : Universitas Gadjahmada.

Nawy, E. G., 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.

Morisco. 1990. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.

Departemen Pekerjaan Umum. SNI 03-2847-2002. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum

Suryoatmono, B. (1998). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Nawy, E., G. Bandung: PT. Refika Aditama.