

**PENGARUH POLA TULANGAN GESER BAMBU PADA
PENGUJIAN GESER-LENTUR BALOK**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RENNY AMELIA
NIM. 135060101111055**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

PENGARUH POLA TULANGAN GESER BAMBU PADA PENGUJIAN GESER-LENTUR BALOK

(The Effects of Shear Bamboo Reinforcement Type on The Shear-Flexural Beam Testing)

Renny Amelia, R. Martin Simatupang, Devi Nuralinah.
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia-Telp (0341) 566710. 587711
E-mail: rennyamelia@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian penggunaan tulangan bambu sebagai pengganti tulangan baja pada beton sudah banyak dilakukan. Morisco (1999) merupakan salah satu peneliti yang menyelidiki bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti tulangan baja karena mempunyai kekuatan tarik yang tinggi mendekati baja struktur. Pada penelitian ini akan dianalisis pengaruh tulangan geser bambu pilin dan tidak dipilin terhadap nilai kuat geser, beban maksimum balok dan lendutan. Untuk tulangan bambu pilin digunakan dimensi 0,4 cm x 0,4 cm yang dibentuk berdasarkan pola pilinan terbaik dari hasil uji pull out. Untuk tulangan geser bambu tidak dipilin menggunakan dimensi 0,5 cm x 1 cm. Tulangan utama balok menggunakan tulangan baja dengan diameter 8 mm. Balok yang akan diuji berdimensi 18 cm x 20 cm x 100 cm dengan jenis pembebanan *Two Point Loading*, jarak antar tumpuan 80 cm, dan rasio a/d yaitu $1 < a/d < 2,5$. pengujian balok dilakukan setelah usia balok 10 hari. Hasil pengujian kuat geser yang dihasilkan oleh benda uji balok dengan menggunakan tulangan geser bambu tidak dipilin sebesar 13800 kg dan 14500 kg, dan benda uji balok dengan menggunakan tulangan geser bambu pilin sebesar 5400 kg dan 9400 kg. Dapat disimpulkan bahwa tulangan geser bambu memiliki peran dalam meningkatkan nilai kuat geser selain dari kuat geser dari beton sendiri. Pola retak akibat pembebanan yang dialami keseluruhan balok adalah retak geser-lentur.

Kata kunci: Tulangan Geser Bambu, Bambu Pilin, Kuat Geser, Pola Retak

ABSTRACT

Many research on the use of bamboo reinforcement as a substitute for steel reinforcement on concrete have been done. Morisco (1999) is one of the researchers who investigated that bamboo can be used as a substitute for steel reinforcement because it has high tensile strength approaching steel structure. Influence of shear knitted and unknitted bamboo reinforcement towards the shear strength value, maximum load beam and deflection will be analyzed. The dimension for knitted bamboo reinforcement sample is 0.4 cm x 0.4 cm based on the best pattern of the pull out test results. The dimension for unknitted bamboo reinforcement sample is 0.5 cm x 1 cm. The diameter of the main beam reinforcement is 8 mm. The sample test beam is 18 cm x 20 cm x 100 cm with the loading type of Two Point Loading, with range of support is 80 cm and the a/d ratio is $1 < a/d < 2.5$. Beam testing is done after 10 days beam age. The result of the shear strength test generated by beam specimens using shear unknitted bamboo reinforcement is 13800 kg and 14500 kg, and the beam specimens using shear knitted bamboo reinforcement is 5400 kg and 9400 kg. It can be concluded that bamboo shear reinforcement has an important role to increasing the shear strength value apart from the shear strength of the concrete. The crack pattern due to the loading caused by the entire beam is a shear-flexural crack.

Keywords: Bamboo Shear Reinforcement, Knitted Bamboo, Shear Strength, Crack Pattern

PENDAHULUAN

Penggunaan beton sudah banyak sekali digunakan pada pembangunan sebuah konstruksi bangunan. Beton sendiri cukup kuat untuk menahan tekan, namun lemah terhadap tarik. Penambahan tulangan baja pada beton merupakan suatu perpaduan yang sangat kuat dimana beton bertulangan baja sekarang ini banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Bahan baja yang digunakan sebagai tulangan merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui serta ketersediannya juga yang semakin terbatas yang menyebabkan harga dari tulangan baja sendiri akan semakin mahal. Dalam perkembangan bidang perekayasa material, saat ini terus diupayakan penelitian dan inovasi material termasuk material untuk bangunan atau komponen struktur (Sebayang dkk, 2008).

Penelitian penggunaan tulangan bambu sebagai pengganti tulangan baja pada beton sudah banyak dilakukan. Bambu merupakan salah satu sumber daya yang dapat diperbaharui dan ketersediaan bambu sendiri di Indonesia sangat melimpah, sehingga sangat mudah untuk di dapatkan. Banyak dari masyarakatbelum mengoptimalkan bambu di dalam dunia konstruksi padahal sudah banyak penelitian yang membuktikan bahwa bambu memiliki banyak keunggulan seperti mampu menahan beban tarik/tekan, geser, maupun tekuk karena seratnya yang liat dan elastis.

Pada penelitian ini akan dianalisis pengaruh sengkang bambu pilin dan tidak dipilin terhadap nilai beban maksimum balok, lendutan dan pola retak. Tidak menutup kemungkinan bahwa bambu pada nantinya akan bisa menjadi alternatif pilihan dan berpotensi untuk dijadikan tulangan geser. Pola pilinan bambu serta tipe pelapis bambu yang dipakai mengacu pada hasil uji *pull out* dengan kuat lekat terbaik. Benda uji yang digunakan berupa balok beton yang akan diuji lentur dan memiliki perbandingan a/d sebesar $1 < a/d < 2,5$.

TINJAUAN PUSTAKA

Kuat Tarik Tulangan Bambu

Kuat tarik sejajar serat merupakan kuat tarik terbesar bambu, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$f_t // = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

$f_t //$ = Kuat tarik sejajar serat (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm²)

Tabel 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

Kapasitas Geser Pada Balok

Pada perencanaan beton bertulang, biasanya lentur lebih diperhatikan untuk analisis mendapatkan ukuran penampang dan tulangan yang diperlukan untuk menahan momen lentur, untuk memastikan bahwa keruntuhan terjadi didahului dengan tanda-tanda (*under reinforced*). Balok juga harus direncanakan untuk menahan geser karena biasanya keruntuhan geser tanpa disertai peringatan terlebih dahulu (*over reinforced*).

Persamaan untuk tegangan geser beton adalah sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} x b x d$$

Keterangan:

V_c = tegangan geser beton

f'_c = mutu beton (Mpa)

b = lebar penampang (mm)

d = tinggi efektif penampang (mm)

Persamaan untuk tegangan geser tulangan geser adalah sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v x f_y x d}{s}$$

Keterangan:

V_s = tegangan lentur tulangan geser

f_y = mutu baja

d = tinggi efektif penampang

s = jarak tulangan geser

Persamaan untuk tegangan geser nominal adalah:

$$V_n = V_c + V_s$$

Keterangan:

V_n = tegangan geser nominal (kg)

V_c = tegangan geser beton (kg)

V_s = tegangan lentur tulangan geser (kg)

Pola Keruntuhan Geser Pada Balok

Nurlina (2008) mengelompokkan pola keruntuhan geser pada balok menjadi empat kategori yaitu:

1. Balok tinggi dengan rasio $a/d < 1/2$

Untuk jenis ini, tegangan geser lebih menentukan dibandingkan tegangan lentur.

2. Balok pendek dengan $1 < a/d < 2,5$

Kekuatan gesernya melampaui kapasitas keretakan miring. Setelah terjadi retakan geser lentur, retakan ini menjalar ke daerah tekan beton bila beban terus bertambah.

3. Balok dengan $2,5 < a/d < 6$

Pada jenis ini, lentur bersifat dominan, dan keruntuhan geser sering dimulai dengan retak lentur murni yang vertikal di tengah bentang

4. Balok panjang dengan rasio $a/d > 6$

Keruntuhan akan sepenuhnya ditentukan oleh ragam lentur.

METODOLOGI PENELITIAN

Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sengkang bambu pilin dan sengkang bambu tidak dipilin. Sedangkan variabel terikat yang digunakan adalah kuat geser, kuat lentur, lendutan dan pola retak.

Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar, agregat halus, semen, dan *admixture* yang digunakan untuk mempercepat umur beton 28 hari menjadi 10 hari. Digunakan tulangan baja $\varnothing 8$ mm sebagai tulangan utama balok beton bertulang. Untuk tulangan geser digunakan jenis bambu petung yang berada 6 m dari pangkal dan berumur 3-5 tahun dengan dimensi 0,5 cm x 1 cm sebagai tulangan geser bambu tidak dipilin dan 0,4 cm x 0,4 cm untuk tulangan geser bambu pilin. Untuk jenis pilinan digunakan pola 1 hasil dari pengujian *pull out* variasi pola pilinan yang menghasilkan nilai beban terbesar. Alat yang digunakan untuk mendukung proses pengujian antara lain *Linear Variable Differential Transfomer* (LVDT), *hydraulic jack*, mesin uji tekan beton, *Universal Testing Machine* (UTM), *spreader beam*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Pola Pilinan Tulangan Bambu (a) Pola 1, (b) Pola 2 dan (c) Pola 3

Rancangan Benda Uji

a. Rancangan Benda Uji Tarik

Pada pengujian ini digunakan bambu petung berjumlah 5 buah dengan variasi bambu dengan kulit dan ruas dan tanpa ruas. Hasil dari pengujian tarik ini ialah nilai tegangan maksimum yang kemudian dapat diolah untuk menghasilkan nilai tegangan tarik bambu.



Gambar 2. Benda Uji Tarik

b. Rancangan Benda Uji Tekan

Benda uji tekan dibuat untuk mengetahui apakah mutu beton sudah sesuai dengan perencanaan atau belum. Pada penelitian ini, mutu beton yang digunakan adalah 20 Mpa. Benda uji di cetak menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

c. Rancangan Benda Uji Balok

Variasi benda uji balok dengan tulangan geser bambu yaitu sebagai berikut:

1. Benda uji A = balok dengan dimensi 18 cm x 20 cm x 100 cm dengan tulangan utama baja $\varnothing 8$ mm dan sengkang bambu pilin dengan dimensi bambu 0,5 cm x 1 cm.
2. Benda uji B = balok dengan dimensi 18 cm x 20 cm x 100 cm dengan tulangan utama baja $\varnothing 8$ mm dan sengkang bambu pilin dengan dimensi bambu 0,4 cm x 0,4 cm.

Pembuatan Tulangan Geser Bambu

Penelitian ini menggunakan bambu petung yang dipotong dengan ukuran 0,4 x 0,4 cm x 100 cm dan ukuran 0,5 cm x 1 cm x 100 cm. Bambu yang sudah dipotong kemudian direndam selama 15 menit ke dalam larutan NaOH 1% setelah itu dikeringkan sampai bambu benar-benar kering. Setelah kering untuk bambu dengan ukuran 0,4 cm

x 0,4 cm dipilin dengan pola 1. Pada 1 tulangan bambu pilin, terdapat 3 buah tulangan bambu dengan dimensi 0,4 cm x 0,4 cm. Setelah itu kedua ujung bambu diberi pengikat agar hasil pilinan tulangan bambu tidak lepas. Tulangan bambu pilin dan tidak dipilin dilapisi dengan menggunakan cat lalu ditambahkan menggunakan sikadur dan pasir kemudian dipotong menjadi beberapa segmen dengan ukuran 12 cm x 14 cm dan dibentuk menjadi tulangan geser (sengkang).



Gambar 3. Tulangan Bambu yang Sudah Dilapisi dan Dibentuk Sengkang

Perhitungan Luas Tulangan Bambu

Perhitungan luas tulangan geser bambu pilin:

Berat bambu (\square 4 mm) = 30 gr

BJ bambu = 1.243 gr/cm³

l bambu = 150 cm

$$Ab (1 \text{ tulangan}) = \frac{\text{berat bambu}}{\text{BJ Bambu} \times l} = \frac{30}{1.243 \times 150} = 0,161 \text{ cm}^2$$

Ab = 3 x As tulangan tarik (1 bambu)

$$= 3 \times 16.086 \text{ mm}^2$$

$$= 48.257 \text{ mm}^2$$

Perhitungan luas tulangan geser bambu tidak di pilin:

b = 5 mm

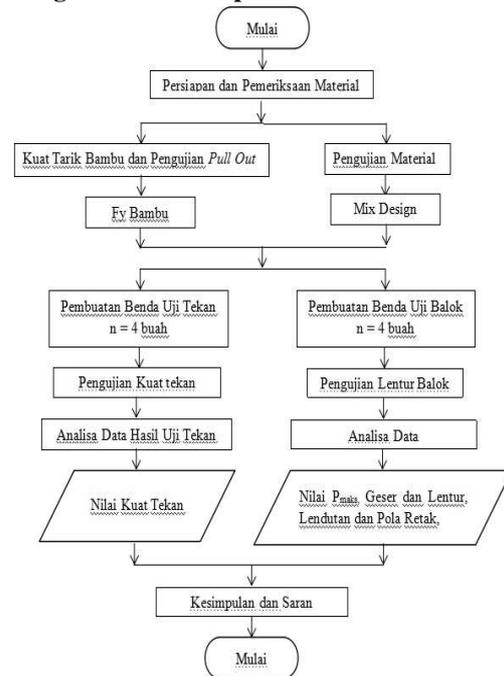
h = 10 mm

$$Ab = b \times h = 5 \times 10 = 50 \text{ mm}^2$$

Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal

Pengujian benda uji dilakukan pada saat balok beton berusia 10 hari. Benda uji diletakkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi dan rol berjarak 80 cm. Balok dibebani secara bertahap dengan menggunakan *hydraulic jack* dan beban disebarkan oleh *spreader beam* sampai balok mengalami keruntuhan yang nantinya akan dianalisis pola retak, lebar retak dan panjang retaknya kemudian pembacaan beban pada alat *proving ring* dan lendutan yang dihasilkan oleh LVDT dicatat.

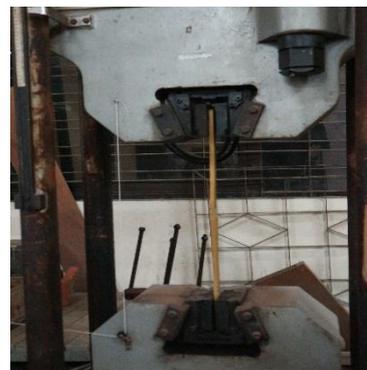
Diagram Alir Tahapan Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Tarik Bambu

Pengujian bambu dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dimana bagian ujung bambu dijepit pada UTM kemudian diberikan beban. Pemberian beban secara bertahap sampai mencapai beban maksimum membuat bambu leleh dan putus.



Gambar 4. Pengujian Tarik Bambu

Data yang didapatkan dari hasil pengujian tarik yaitu beban maksimum yang dapat ditahan oleh bambu sampai bambu mengalami putus. Dari 10 sample bambu yang diuji tarik, hanya ada 1 bambu yang mencapai kondisi putus dan benda uji yang lain mengalami slip pada daerah yang dijepit.

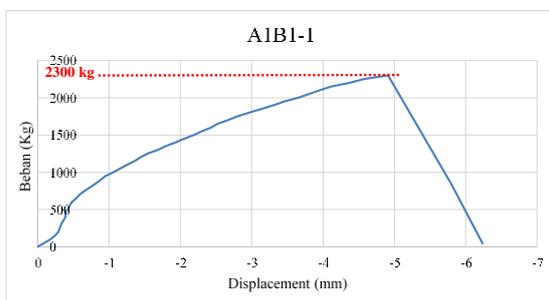
Tabel 2. Hasil Tegangan Tarik

Benda Uji	Dimensi		L ₀ (cm)	Pmaks (kN)	Tegangan (MPa)
	b (cm)	t (cm)			
BK-1	1,83	1,341	5,05	12	48,899
BK-2	1,55	1,25	5	11	56,774
BK-3	1,9	1,4	4,87	10	37,594
BK-4	1,80	1,27	5,5	11	48,208
BK-5	1,80	1,27	5,3	12,5	54,782
TBK-1	1,64	1,067	5,1	7,5	42,961
TBK-2	1,57	1,01	4,8	8,5	53,718
TBK-3	1,57	1,03	5,3	10,5	65,069
TBK-6	1,5	1,2	5	8,5	47,222
TBK-7	1,22	1	5	8	65,574
TBK-8	1,30	0,9	5	5	42,735

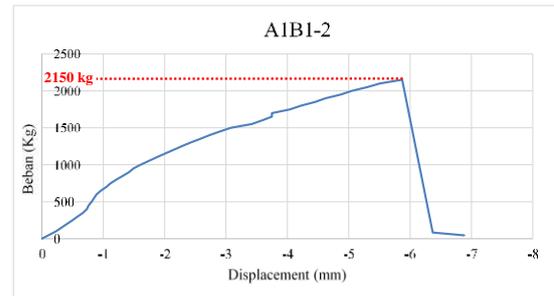
Benda uji yang mengalami putus yaitu BK-1 dengan nilai beban maksimum sebesar 12 kN. Didapatkan nilai tegangan leleh bambu (f_y) sebesar 48,899 Mpa. Tegangan leleh bambu ini digunakan dalam merencanakan kapasitas tulangan geser bambu tidak dipilin.

Pengujian Pull Out Jenis Pola Pilinan Tulangan Bambu

Beban maksimum yang dihasilkan dari hasil uji pull out akan menentukan jenis pilinan tulangan bambu pilin dan jenis pelapis yang akan dipilih sebagai tulangan geser pada benda uji balok. Terdapat 3 variasi pola tulangan bambu pilin seperti pada Gambar 1. Hasil dari pengujian pull out ini, tulangan bambu mengalami keruntuhan tarik sehingga untuk nilai kuat tarik bambu pilin dapat diolah menggunakan hasil beban maksimum yang diperoleh dari pengujian pull out.



Gambar 5. Hubungan antara Beban dan Displacement Benda Uji Pull Out A₁B₁-1



Gambar 6. Hubungan antara Beban dan Displacement Benda Uji Pull Out A₁B₁-2

Tabel 3. Pmaks dan Tegangan Tarik Bambu Pilin

Benda Uji	ke	Pmaks = Pleleh (kg)	P Rata-Rata (kg)	Kuat Tarik (MPa)
A ₁ B ₁	1	1150	1112,5	85,841
	2	1075		

Untuk mencari nilai kuat tarik bambu, nilai dari P leleh dibagi 2 karena pada benda uji pull out terdapat 2 buah tulangan. Nilai kuat tarik tulangan bambu pilin sebesar 85,841 Mpa. Kuat tarik yang dihasilkan oleh bambu pilin lebih besar dibandingkan dengan bambu tidak dipilin karena adanya ikatan antar bambu dalam bentuk pilinan yang membuat bambu pilin lebih kuat menahan tarik.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian tekan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM) dengan meletakkan silinder pada alat uji tekan dan diberikan beban sampai silinder mengalami retak.



Gambar 7. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Benda Uji	Beban Maksimum	Kuat Tekan 10 Hari	Kuat Tekan Rata-rata
No.	kg	kg/cm ²	Mpa
A1	59100	334,303	37,531
A2	73600	416,323	
B1	50000	282,828	22,654
B2	30100	170,263	
Kuat Tekan Rata-Rata			30,093

Untuk nilai kuat tekan benda uji A1 dan A2 memiliki selisih nilai kuat tekan rata-rata sebesar 14,877 Mpa dari benda uji B1 dan B2.

Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Data Perencanaan

$$f'c = 33,430 \text{ Mpa}$$

$$f_y \text{ bambu} = 48,889 \text{ Mpa}$$

$$L = 800 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 200 - 30 = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Ab tulangan geser} = 5 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \\ = 50 \text{ mm}^2$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$f_y \text{ baja} = 294,981 \text{ Mpa}$$

$$\text{Diameter tulangan tarik} = 8 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ tarik baja} = 201,143 \text{ mm}^2$$

Tegangan Geser Beton:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c} \times b \times d}{6} = \frac{\sqrt{33,340} \times 180 \times 170}{6} \\ = 29487,662 \text{ N}$$

Tegangan geser tulangan geser:

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} = \frac{(2 \times 50) \times 48,889 \times 170}{200} \\ = 4156,415 \text{ N}$$

Tegangan geser nominal:

$$V_n = V_c + V_s \\ = 29487,662 \text{ N} + 4156,415 \text{ N} \\ = 33644,077 \text{ N}$$

Beban geser :

$$V_u = V_n$$

$$1/2 P = V_n$$

$$1/2 P = 33644,077 \text{ N}$$

$$P = 67288,153 \text{ N} = 6,729 \text{ ton}$$

Asumsi awal :

Baja tarik sudah leleh, $f_s = f_y$

Baja tekan belum leleh, $f'_s = \epsilon_s' \cdot E_s$

Keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

$$C_c + C_s = T$$

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

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

$$6017,455 a^2 + 141983,193 a - 3679904,762 = 0$$

$$a = 15,602 \text{ mm}$$

Garis netral:

$$c = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{15,602}{0,85} = 18,355 \text{ mm}$$

Regangan tarik baja:

$$\epsilon_s = \epsilon_c \times \frac{d-c}{c} = 0,003 \times \frac{170-18,355}{18,355} = 0,0248$$

Tegangan tarik baja:

$$f_s = \epsilon_s \times E_{\text{baja}} = 0,025 \times 200000 = 4957,088 \text{ Mpa}$$

4957,088 Mpa > 240 Mpa (baja tarik sudah leleh)

Regangan tarik baja:

$$\epsilon_s = \epsilon_c \times \frac{d'-c}{c} = 0,003 \times \frac{30-18,355}{18,355} = 0,0019$$

Tegangan tarik baja:

$$f_s = \epsilon_s \times E_{\text{baja}} = 0,0019 \times 200000 = 380,663 \text{ Mpa}$$

380,663 Mpa > 240 Mpa (baja tekan sudah leleh)

Perhitungan momen nominal penampang dengan tulangan tekan sebagai tulangan semu ($c < d'$) :

Momen lentur nominal :

$$M_n = C_c \times (d - a/2) \\ = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \cdot (d - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot 33,430 \cdot 180 \cdot 15,602 \cdot (170 - \frac{15,602}{2})$$

$$M_n = 12943512,059 \text{ Nmm} = 12,944 \text{ kNm}$$

Beban lentur:

Untuk 2 beban terpusat:

$$M_u = M_n$$

$$1/2 P \times L = 12,944$$

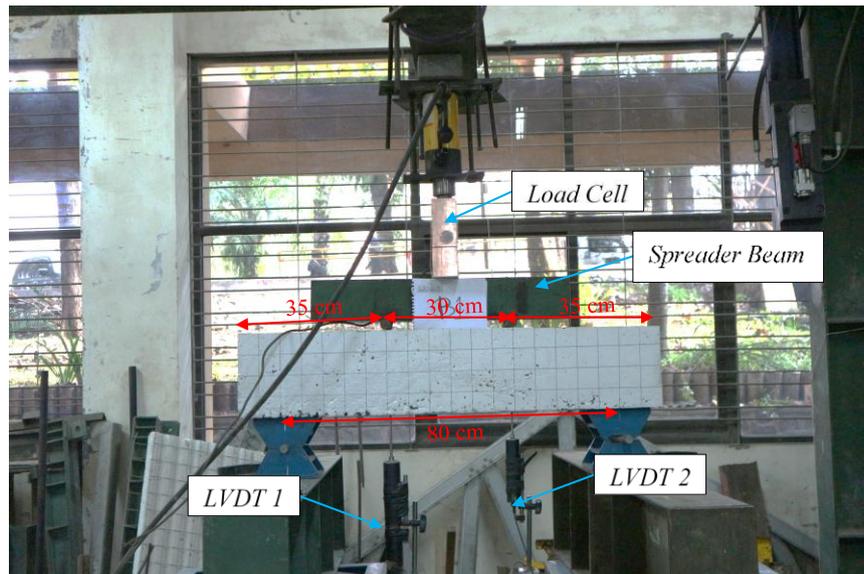
$$1/2 P \times 0,25 = 12,944$$

$$P = 103,55 \text{ kN} = 10,355 \text{ ton}$$

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Geser dan Lentur Teoritis

No.	Benda Uji	Pu Maksimum Geser (ton)	Pu Maksimum Lentur (ton)
1	A1	6,729	10,355
2	A2	7,413	12,126
3	B1	6,833	9,155
4	B2	5,617	6,203

Karena beban lentur lebih besar daripada beban geser, maka saat pengujian, beton akan mengalami keruntuhan geser terlebih dahulu sebelum keruntuhan lentur.



Gambar 8. Pengujian Balok Beton Terhadap Beban Vertikal dan Pola Retak

Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji

Setelah dilakukan pengujian balok beton terhadap beban vertikal, data yang di dapat yaitu lendutan dan beban maksimum yang bekerja pada balok beton. Nilai beban maksimum balok hasil pengujian didapatkan pada saat balok mengalami keruntuhan. Balok yang diuji terhadap beban vertikal dapat dikatakan runtuh ketika pembacaan nilai beban *hydraulic jack* sudah tidak bisa naik dan nilai pembacaan LVDT terus menurun.

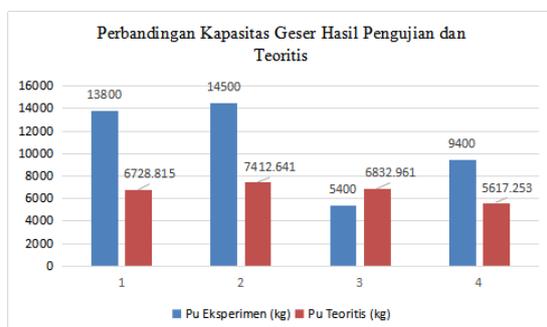
Keterangan :

- 1 = A1= Benda uji balok dengan sengkang bambu tidak di pilin ke-1
- 2 = A2= Benda uji balok dengan sengkang bambu tidak di pilin ke-2
- 3 = B1= Benda uji balok dengan sengkang bambu di pilin ke-1
- 4 = B2= Benda uji balok dengan sengkang bambu di pilin ke-2

Tabel 6. Perbandingan Kapasitas Geser Hasil Pengujian dan Teoritis

No.	Benda Uji	f_c (Mpa)	P_u Eksperimen Geser (kg)	P_u Teoritis Geser (kg)
1	A1	33,430	13800	6728,815
2	A2	41,632	14500	7412,641
3	B1	28,283	5400	6832,961
4	B2	17,026	9400	5617,253

Nilai beban (P) eksperimen didapatkan pada saat balok sudah tidak mampu lagi menahan pertambahan beban yang diberikan sehingga mengalami runtuh. Keruntuhan yang dihasilkan adalah keruntuhan geser dimana sesuai dengan perkiraan dari hasil perhitungan teoritis lalu kemudian dilanjutkan dengan adanya retak pada daerah lentur. Untuk keruntuhan lentur tidak didapatkan nilai beban maksimum dikarenakan pada daerah lentur hanya terdapat retak.



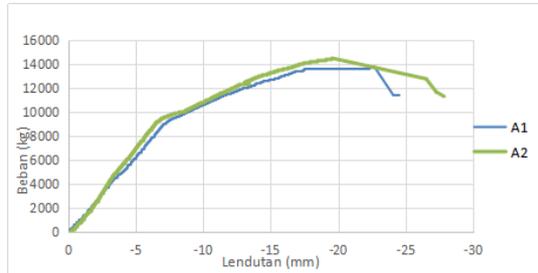
Gambar 9. Perbandingan Kapasitas Geser Hasil Pengujian dan Teoritis

Pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan beban maksimum teoritis lebih kecil daripada hasil beban maksimum eksperimen kecuali pada benda uji B1. Pada benda uji B1 terdapat kesalahan dalam pemadatan benda uji sehingga terdapat beberapa rongga yang menyebabkan balok tersebut lemah dalam menahan beban yang diterima. Perbedaan yang terbesar antara hasil beban maksimum teoritis dan eksperimen geser terjadi pada benda uji A2 sebesar 7087,359 kg.

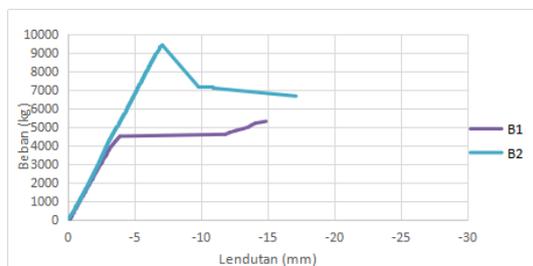
Perbandingan nilai kuat geser beban eksperimen dan teoritis berbeda jauh terutama pada benda uji balok dengan sengkang tidak dipilin (A1 dan A2)

arena pengaruh dari kualitas beton yang dihasilkan memiliki nilai kuat tekan lebih besar dari kuat tekan rencana sehingga menghasilkan nilai kuat geser beton yang besar ditambah dengan nilai kuat geser dari tulangan geser sendiri.

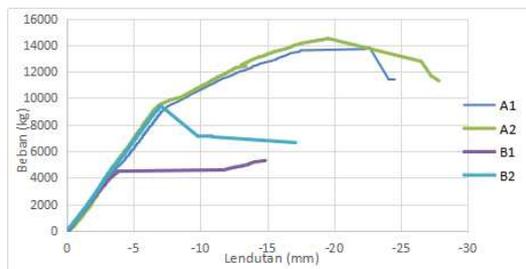
Hubungan Antara Beban dan Lendutan



Gambar 10. Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji A1 dan A2 (dengan sengkang bambu tidak dipilin)



Gambar 11. Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Benda Uji B1 dan B2 (dengan sengkang bambu pilin)



Gambar 12. Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan Benda Uji A1, A2, B1 dan B2

Hubungan antara beban dan lendutan diidealisasikan menjadi tiga daerah. Daerah I (pra retak) merupakan daerah dimana balok masih berperilaku elastis. Pada beban 9400 kg benda uji balok A1 sudah tidak lagi berada pada kondisi elastis dan mulai muncul retak pada beton. Daerah II adalah daerah dimana balok mengalami kondisi plastis dan kondisi tersebut berakhir setelah mencapai beban 13800 kg lalu dilanjutkan dengan daerah III. Pada daerah III retak yang terjadi pada balok bertambah banyak, lendutan semakin besar, dan retak yang semakin lebar sehingga

menyebabkan balok mengalami keruntuhan total.

Untuk grafik hubungan beban dan lendutan pada Gambar 11. menunjukkan bahwa benda uji balok dengan tulangan geser bambu piin memiliki selisih nilai beban yang cukup besar yaitu 4000 kg. Pada grafik benda uji B1 terlihat adanya kenaikan nilai lendutan pada saat balok sudah mencapai kondisi elastis. Akibat retak yang dialami benda uji balok B1 yang melebar sampai 10,3 cm menyebabkan nilai lendutan semakin membesar. Untuk grafik benda uji B2 menunjukkan bahwa pada saat balok mencapai kondisi elastis, balok sudah tidak dapat menahan pertambahan beban dan menyebabkan balok langsung mengalami keruntuhan.

Analisis Lendutan Balok Uji

Untuk memperoleh nilai lendutan teoritis pada balok beton bertulang, digunakan perhitungan dengan menggunakan *conjugate beam* dan SK SNI 03-2847-2002. Perhitungan *conjugate beam* diawali dengan mencari nilai momen di seluruh bentang balok yang kemudian momen tersebut diperlakukan sebagai beban. Sedangkan perhitungan dengan SK SNI 03-2847-2002 untuk menentukan besarnya lendutan seketika yang terjadi apabila beban bekerja seketika.

Tabel 7. Perbandingan Lendutan Teoritis dan Lendutan Aktual

Benda Uji	Δ aktual pada saat P elastis (cm)	Δ teoritis pada saat P elastis (cm)	Δ aktual pada saat P maks (cm)	Δ teoritis pada saat P maks (cm)
A1	0,759	0,118	2,267	3,057
A2	0,695	0,107	1,954	3,154
B1	0,390	0,063	1,486	1,213
B2	0,708	0,165	0,707	2,208

Terdapat perbedaan hasil lendutan yang terjadi antara hasil teoritis dengan hasil eksperimen pada kondisi beban elastis. Perbedaan terbesar terjadi pada benda uji A1 dengan lendutan teoritis sebesar 0,118 cm dan lendutan aktual sebesar 0,759 cm. Pada saat kondisi beban maksimum, lendutan teoritis memiliki nilai yang lebih kecil dari lendutan eksperimen kecuali pada benda uji B1.

Perbedaan lendutan yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah gaya-gaya luar yang bekerja, jarak antar sengkang yang tidak sesuai dengan perencanaan, mutu beton dan perhitungan secara teoritis mempunyai keterbatasan

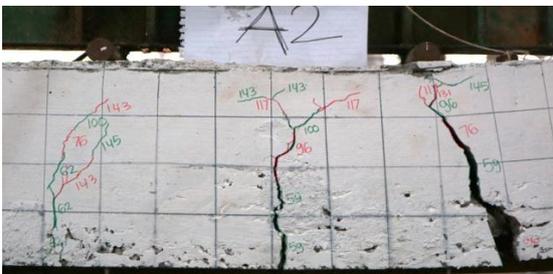
asumsi untuk menghasilkan persamaan suatu struktur (Chairyah dkk, 2014).

Hasil Pengamatan Pola Retak Balok dengan Senggang Bambu

Pengamatan pola retak dilakukan untuk mengetahui adanya hubungan antara beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok dan pola retak. Pengamatan ini juga bertujuan untuk mengetahui proses terjadinya retak pada balok dan tipe keruntuhan yang terjadi. Pada saat pengujian berlangsung, dilakukan pengamatan pola retak seiring dengan penambahan beban. Retak yang terjadi pada balok kemudian ditandai dengan spidol dan diberikan keterangan pada beban berapa retak tersebut terjadi kemudian dilanjutkan dengan penambahan beban kembali. Dari hasil penggambaran pola retak dapat diidentifikasi jenis retak dan pola keruntuhan pada masing-masing benda uji.



Gambar 13. Pola Retak Benda Uji A1



Gambar 14. Pola Retak Benda Uji A2



Gambar 15. Pola Retak Benda Uji B1

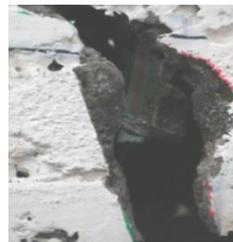
Keseluruhan dari benda uji balok beton dengan tulangan geser bambu mengalami retak geser-lentur. Untuk benda uji A1 Pada saat beban

mencapai angka 13900 kg, pada balok bagian atas mengalami retak geser yang bercabang sampai ke permukaan atas balok.



Gambar 16. Pola Retak Benda Uji B2

Pada benda uji A2 saat pembacaan beban mencapai angka 14500 kg retak terjadi pada bagian bawah balok dan bagian atas balok. Bagian bawah balok mengalami pelebaran retak sampai tulangan geser di dalam balok terlihat.



Gambar 17. Tulangan Geser Benda Uji A2 yang Terlihat pada Saat Mengalami Retak

Pada daerah geser benda uji balok B1 dan B2 mengalami retak yang cukup besar dan diikuti dengan retak lentur dan retak rambut pada daerah geser yang lain. Untuk pola retak bagian depan dan bagian belakang benda uji B1 dan B2 relatif sama dengan panjang yang hampir sama. Karena adanya kesalahan pemadatan pada benda uji B1 dimana mengakibatkan balok memiliki rongga udara yang besar pada bagian bawah balok, maka retak terjadi di daerah yang terkena *grouting*.

Lebar dan Panjang Retak Balok Bertulangan Bambu

Retak yang terjadi pada saat beton dibebani disebabkan oleh kekuatan tarik beton yang rendah. Tegangan tulangan balok akan menjadi tinggi ketika balok diberikan beban layan dan menyebabkan terjadinya retak. Lebar maksimum yang diizinkan menurut ACI Committee 224 adalah sebesar 0.41 mm. Dari hasil pengamatan dan pengukuran lebar retak tidak memenuhi lebar retak yang diizinkan.

Tabel 8. Hasil Pengamatan Lebar dan Panjang Retak Balok

Benda Uji	Lebar Retak (cm)	Panjang Retak (cm)
A1	1,387	45,5
A2	3,45	25,7
B1	10,3	33
B2	2,5	27

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan:

1. Nilai kapasitas geser maksimum eksperimen benda uji balok A1, A2 dan B2 lebih besar dari nilai kapasitas maksimum geser teoritis. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian tulangan geser dengan rasio a/d sebesar 1,471 dapat meningkatkan nilai kapasitas beban ultimate. Dapat disimpulkan bahwa tulangan geser bambu memiliki peran dalam meningkatkan nilai kuat geser selain dari kuat geser dari beton sendiri.
2. Untuk nilai lendutan aktual pada kondisi beban maksimum lebih kecil dibandingkan nilai lendutan teoritis. Balok B2 memiliki selisih nilai lendutan aktual dan teoritis yang cukup besar yaitu 67,96%. Sedangkan lendutan aktual yang terjadi pada balok pada saat kondisi elastis lebih besar dari nilai lendutan teoritis dan memiliki perbedaan selisih lebih dari 85%. Perbedaan lendutan yang besar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah gaya-gaya luar yang bekerja, jarak antar sengkang yang tidak sesuai dengan perencanaan, mutu beton dan perhitungan secara teoritis mempunyai keterbatasan asumsi untuk menghasilkan persamaan suatu struktur.
3. Pola retak akibat pembebanan yang dialami keseluruhan balok adalah retak geser-lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Fransisco, Agostinho. 2016. Aplikasi Rajutan Bambu Sebagai Tulangan Balok Beton. Media Teknik Sipil, ISSN 1693-3095
- Ghavami, K. 2005. *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Element*. Journal of Cement & Concrete Composites. XXVII: 637-649.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nurlina, Siti. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.

Nawy, E.G. 1998. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Cetakan II. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: PT. Refika Aditama.

Pathurahman, J.F.dan Anggraini, D.K. (2003). “Aplikasi Bambu Pilinan Sebagai Tulangan Balok Beton”, Jurnal Dimensi Teknik Sipil, Vol. 5 No.1, Maret, hal. 39-44, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

Faris, Faisal, Nindyawati, dan Karjanto, Adjib. 2016. Kapasitas Geser Balok Tinggi Beton Bertulang Bambu Dengan Variasi Jenis Bahan Sengkang Besi dan Bambu. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang.

Aulia, Rahmi. 2017. Pengaruh Rasio Tulangan Terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu Dengan Klem Selang Terpublikasi. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Chariyah. 2014. Pengaruh Posisi dan Besar Beban Terhadap Defleksi dan Regangan pada Gelagar Balok Beton Bertulang Bambu. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Suryadi, Herry, Tjondro, Adhijoso, dan Mario, Jeffrey (2010). “Studi Eksperimental Kuat Geser Balok Terlentur dengan Tulangan Bambu Gombong”, Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Unniversitas Katolik Parahayangan, Bandung.

Veronika, Maria. 2017. Uji Tarik dan Pengaruh Variasi Pola Pilinan Terhadap Kuat Lekat Balok Beton. Naskah Terpublikasi. Malang: Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.