

PENGARUH VARIASI UKURAN TULANGAN DAN PENGGUNAAN KLEM SELANG TERHADAP KUAT CABUT TULANGAN BAMBU

(The Effect of Reinforcement Size Variation and The Use of Hose Clamp on Pull Out Strength of Bamboo Reinforcement)

Linda Andita Puspitasari, Sri Murni Dewi, Ming Narto Wijaya

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145-Telp (0341) 567886
Email : sarilinda15@gmail.com

ABSTRAK

Alternatif bahan yang kini banyak diteliti untuk menggantikan tulangan baja adalah bambu. Karena lekatan bambu terhadap beton kurang baik maka pada penelitian ini bambu dilengkapi dengan klem selang. Benda uji *pull out* dibuat menggunakan bambu petung dengan variasi ukuran tulangan 1,2 x 1,2 cm dan 1,5 x 1,5 cm. Benda uji menggunakan dua tulangan bambu yang ditanam diantara dua balok beton dengan ukuran balok 15 x 30 x 40 cm. Benda uji *pull out* dibuat sebanyak 18 buah yang terdiri dari 6 jenis perlakuan dengan tiga kali ulangan. Selain itu terdapat benda uji silinder 15 x 30 cm berjumlah 18 buah dengan mutu beton 30 Mpa. Hasil penelitian menunjukkan kuat cabut rata-rata terbesar untuk satu tulangan bambu ukuran 1,2 x 1,2 dan 1,5 x 1,5 saat perpindahan 2,75 mm adalah 559,444 kg dan 1613,889 kg. Saat regangan 0,002, tegangan lekat terbesar untuk bambu dengan ukuran 1,2 x 1,2 dan 1,5 x 1,5 adalah 0,146 MPa dan 0,336 MPa. Pengaruh penggunaan klem selang terhadap kuat cabut dan tegangan lekat paling terlihat pada ukuran tulangan 1,5 x 1,5 dengan jarak klem selang 12 cm. Berdasarkan uji statistik *two way anova* dan regresi, variasi ukuran tulangan berpengaruh signifikan terhadap kuat cabut dan dapat meningkatkan kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang.

Kata Kunci: klem selang, bambu petung, ukuran tulangan bambu, kuat cabut bambu, tegangan lekat

ABSTRACT

Alternative material that is now widely studied to replace steel reinforcement is bamboo. Because bamboo attachment to the concrete is not good enough then in this research bamboo will be equipped with hose clamp. The pull out test object was made by using petung bamboo with a size variations of reinforcement 1.2 x 1.2 cm and 1.5 x 1.5 cm. The test object using two bamboo reinforcements placed between two concrete beams with a size of beam 15 x 30 x 40 cm. Pull out test object was made as many as 18 pieces consisting of 6 types of treatment with three replications. In addition there was 15 x 30 cm cylindrical test object totaling 18 pieces with 30 Mpa concrete quality. The results from this research showed the largest average pull out strength for one bamboo reinforcement size of 1.2 x 1.2 and 1.5 x 1.5 when the displacement of 2.75 mm are 559,444 kg and 1613,889 kg. When the strain is 0.002, the largest bond stress for bamboo with a size of 1.2 x 1.2 and 1.5 x 1.5 are 0.146 MPa and 0.336 MPa. The effect of using hose clamp on bond stress and pull out strength is most visible on the 1.5 x 1.5 reinforcement size with 12 cm hose spacing. Based on statistical test of regression and two way anova, variation of reinforcement size has significant effect to pull out strength and could increase the pull out strength of bamboo reinforcement with hose clamp.

Keywords: hose clamp, petung bamboo, bamboo reinforcement size, bamboo pull out strength, bond stress

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang memiliki peranan penting serta sering dijumpai keberadaannya. Beton dapat menahan tekan yang besar namun hanya mampu menahan tarik yang kecil. Maka untuk menghilangkan kelemahan tersebut, beton diberikan tulangan baja. Namun keberadaan baja yang terbatas dan harganya yang semakin mahal membuat perlu dicarinya bahan alternatif pengganti baja. Bahan alternatif yang kini banyak diteliti yaitu bambu.

Bambu memiliki kekuatan tarik yang tinggi, sumber daya alam yang dapat diperbaharui serta memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan. Namun bambu memiliki kekurangan dalam hal lekatannya dengan beton.

Lestari (2015) membuktikan dengan menggunakan uji kuat cabut (*pull out*) bahwa penambahan kait pada bambu sebagai tulangan beton dapat meningkatkan tegangan lekat sampai 80,39 % terhadap tulangan bambu tanpa kait. Penambahan kait lebih mudah untuk dilakukan dibanding memberi takikan atau tonjolan pada bambu.

Ronny (2016) menggunakan kait pada bambu dengan rasio tulangan 0,8 % dan 1,6 %. Dengan menggunakan uji *pull out* terhadap beton bertulangan bambu dapat diketahui bahwa semakin besar rasio tulangan yang digunakan maka semakin besar pula kuat cabut yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian yang telah diuraikan diatas, maka pada penelitian kali ini akan digunakan klem selang sebagai bahan pengganti kait. Penggunaan klem selang ini akan mempermudah proses pembuatan beton bertulangan bambu jika dibandingkan dengan penggunaan kait. Penggunaan klem selang disertai pula dengan variasi ukuran tulangan.

TINJAUAN PUSTAKA

Bambu Petung sebagai Tulangan Beton

Bambu memiliki banyak kelebihan diantaranya murah dibanding baja, mudah didapat, tumbuh cepat, bahan konstruksi yang ringan, material yang dapat diperbarui dan memiliki kuat tarik yang tinggi.

Namun disamping itu, bambu juga memiliki kelemahan diantaranya bambu tidak cocok untuk digunakan sebagai penguat pada beton karena tidak memiliki lekatan atau adhesi yang diperlukan antara beton dengan bahan penguatnya (Nawy, 1998) serta mudah menyerap air dan mudah terbakar.

Bambu petung telah lama menjadi salah satu jenis yang dipilih oleh sebagian besar masyarakat untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi. Potensi bambu petung di Indonesia cukup besar.

Tegangan Tarik Bambu

Hasil penelitian Morisco (1999, pp. 6-8) terkait tegangan bambu dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 1. Tegangan Tarik Bambu Oven

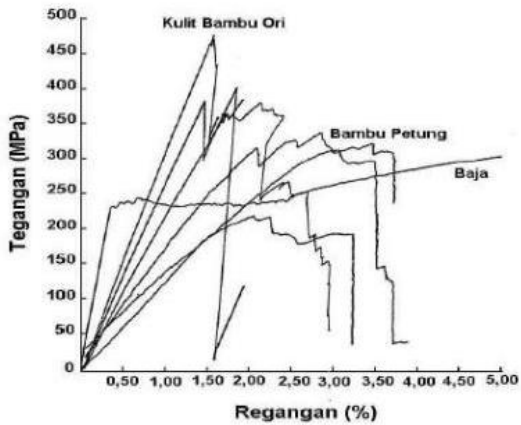
Jenis Bambu	Tegangan Tarik	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74

Sumber: Morisco (1999)

Tabel 2. Kuat Batas dan Tegangan Ijin Bambu

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981-3920	294.2
Lentur	686-2940	98.07
Tekan	245-981	78.45
E /tarik	196.1x10 ³	196.1x10 ³

Sumber: Morisco (1999)



Gambar 1. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber: Morisco (1999)

Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari faktor air semen, susunan serta gradasi agregat, sifat dan kualitas material penyusun, slump, serta cara pengerjaan dan perawatan beton.

Kuat tekan beton dapat dihitung dari persamaan:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

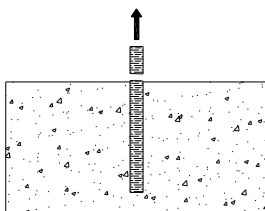
dengan:

- f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)
- P = beban yang diberikan (N)
- A = luas penampang yang tertekan (mm²)

Tegangan Lekat antara Tulangan dengan Beton

Berdasarkan *ACI structural journal title No. 90-S53*, terdapat tiga tipe keruntuhan dalam pengujian *pull out* antara lain:

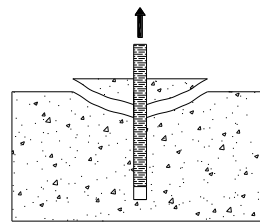
1. Tipe 1. Besi angkur putus



Gambar 2. Tipe keruntuhan 1

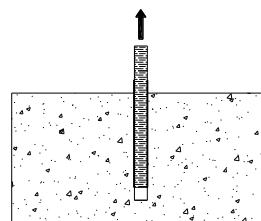
2. Tipe 2. Keruntuhan pada beton bagian atas diikuti pencabutan dari besi

angkurnya atau bertipe kerucut (*cone*).



Gambar 3. Tipe keruntuhan 2

3. Tipe 3. Tercabutnya keluar besi angkur dan tidak diikuti keruntuhan baik pada beton maupun besi angkurnya.



Gambar 4. Tipe keruntuhan 3

Berdasarkan penelitian Oktavianto dan Setiya Budi (2015) rumus tegangan lekat adalah:

$$\mu = \frac{P}{(l_d \times 2 \times (l_b + t_b))} \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

- μ = tegangan lekat antara beton dengan tulangan (MPa)
- P = beban (N)
- l_d = panjang penanaman (mm)
- l_b = lebar tulangan bambu (mm)
- t_b = tebal tulangan bambu (mm)

Regangan

Regangan merupakan perubahan bentuk yang dialami oleh sebuah benda jika dua buah gaya yang berlawanan arah (menjauhi pusat benda) dikenakan pada ujung – ujung benda tersebut. Regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \dots \dots \dots (3)$$

dimana:

- ϵ = Regangan
- Δl = Perubahan Panjang Tulangan (mm)
- L_0 = Panjang Awal Tulangan (mm)

Klem Selang

Klem selang biasanya berfungsi sebagai pengikat agar tidak terjadi kebocoran cairan atau udara.



Gambar 5. Klem selang yang digunakan dalam penelitian

Sumber: Jason-tools.com

METODE PENELITIAN

Rancangan Benda Uji *Pull Out*

Pada penelitian ini semua faktor tidak diabaikan. Ragam yang terdapat pada penelitian ini melibatkan dua faktor (faktor A dan faktor B).

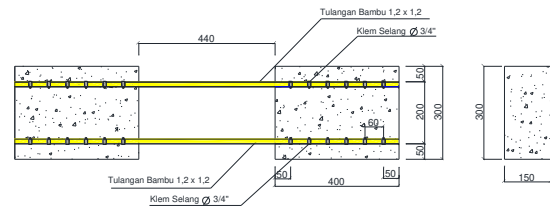
Tabel 3. Faktor Benda Uji *Pull Out*

Faktor	Taraf/Level	Keterangan
A (Jarak Klem Selang)	a ₀	Tanpa klem selang
	a ₁	6 cm
	a ₂	12 cm
B (Ukuran Tulangan)	b ₁	1,2 x 1,2 cm
	b ₂	1,5 x 1,5 cm

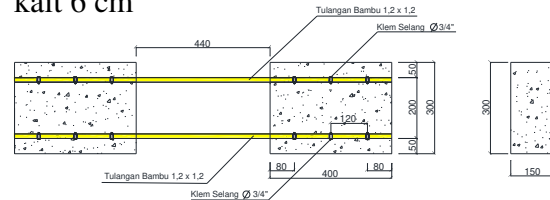
Tabel 4. Variasi Benda Uji *Pull out*

	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

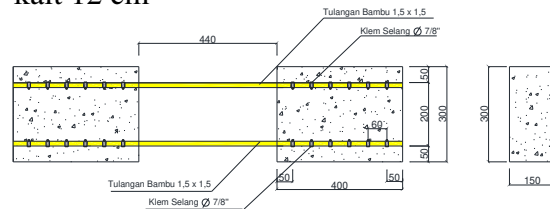
Benda uji *pull out* dibuat sebanyak 3 buah untuk setiap variasi.



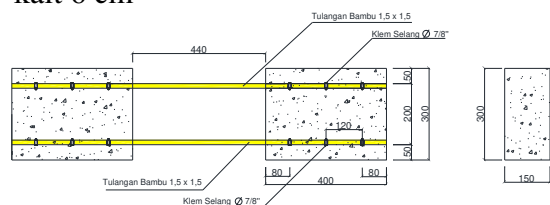
Gambar 6. Benda uji *pull out* dengan ukuran tulangan 1,2 x 1,2 cm dan jarak kait 6 cm



Gambar 7. Benda uji *pull out* dengan ukuran tulangan 1,2 x 1,2 cm dan jarak kait 12 cm

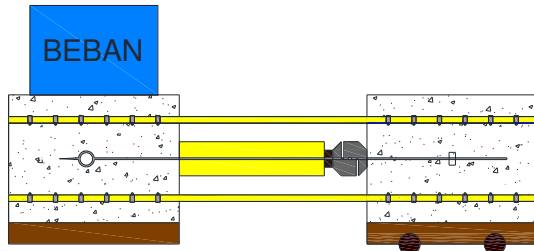


Gambar 8. Benda uji *pull out* dengan ukuran tulangan 1,5 x 1,5 cm dan jarak kait 6 cm



Gambar 9. Benda uji *pull out* dengan ukuran tulangan 1,5 x 1,5 cm dan jarak kait 12 cm

Pengujian dilakukan pada saat balok berumur 28 hari. Piston dan *load cell* ditempatkan diantara kedua balok seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Pada tumpuan sendi diberikan beban sebagai pemberat sehingga saat dibebani tidak terjadi pergerakan.



Gambar 10. Rancangan pembebanan pada pengujian *pull out*

Uji Hipotesis

1. Metode Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah (*Two-Way ANOVA*)

Tabel 5. Ragam Benda Uji Kuat Cabut Tulangan Bambu

	a ₀	a ₁	a ₂
	a ₀ b ₁ - 1	a ₁ b ₁ - 1	a ₂ b ₁ - 1
b ₁	a ₀ b ₁ - 2	a ₁ b ₁ - 2	a ₂ b ₁ - 2
	a ₀ b ₁ - 3	a ₁ b ₁ - 3	a ₂ b ₁ - 3
	a ₀ b ₂ - 1	a ₁ b ₂ - 1	a ₂ b ₂ - 1
b ₂	a ₀ b ₂ - 2	a ₁ b ₂ - 2	a ₂ b ₂ - 2
	a ₀ b ₂ - 3	a ₁ b ₂ - 3	a ₂ b ₂ - 3

Hipotesis

Ho' : Tidak ada pengaruh yang signifikan variasi ukuran tulangan pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang.

Ho'' : Tidak ada pengaruh yang signifikan variasi jarak klem selang pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang.

Ho''' : Tidak ada interaksi antara variasi ukuran tulangan dan jarak klem selang pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang.

Tabel 6. Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah dengan Interaksi

	a ₀	a ₁	a ₂	Total	Rata-rata
b ₁	T ₀₁	T ₁₁	T ₂₁	T ₋₁	\bar{x}_{-1}
b ₂	T ₀₂	T ₁₂	T ₂₂	T ₋₂	\bar{x}_{-2}
Total	T ₀₋	T ₁₋	T ₂₋	T	
Rata-rata	\bar{x}_{0-}	\bar{x}_{1-}	\bar{x}_{2-}		\bar{x}

$$T_{01} = (a_0 b_1 - 1) + (a_0 b_1 - 2) + (a_0 b_1 - 3)$$

Dari Tabel 6 didapatkan bahwa:

$$r \text{ (Banyaknya baris)} = 2$$

$$c \text{ (Banyaknya kolom)} = 3$$

$$n \text{ (Banyaknya data)} = 3$$

Tabel 7. Tabulasi Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah dengan Interaksi

	Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Ragam	F Rasio
1.	Antar Baris	JKB	(r - 1)	$s_1^2 = \frac{JKB}{(r-1)}$	$F_1 = \frac{s_1^2}{s_4^2}$
2.	Antar Kolom	JKK	(c - 1)	$s_2^2 = \frac{JKK}{(c-1)}$	$F_2 = \frac{s_2^2}{s_4^2}$
3.	Interaksi	JKB(K)	(r-1)(c-1)	$s_3^2 = \frac{JKB(K)}{(r-1)(c-1)}$	$F_3 = \frac{s_3^2}{s_4^2}$
4.	Galat	JKG	rc(n - 1)	$s_4^2 = \frac{JKG}{rc(n-1)}$	
Total	JKT =		rcn - 1		
	JKB +				
	JKK +				
	JKB(K)				
	+ JKG				

Level significance (α) = 0,05

2. Metode Analisis Regresi

Dalam penelitian digunakan metode regresi linear dengan peubah Y merupakan peubah P/faktor akibat dan peubah X adalah peubah ukuran tulangan/faktor penyebab.

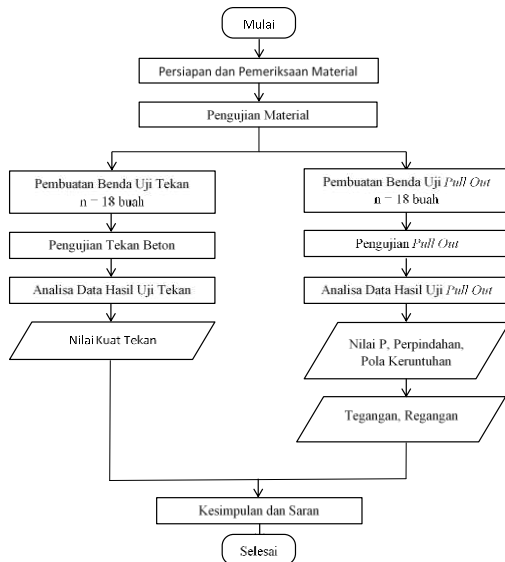
$$Y = a + bx \dots\dots\dots(4)$$

dimana

$$a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots(6)$$

Diagram Alir



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tekan

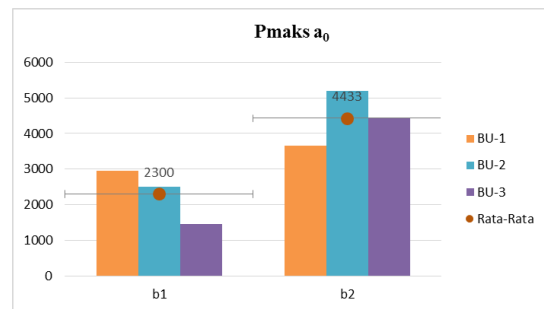
Uji kuat tekan beton silinder menggunakan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang dibuat 1 buah untuk setiap benda uji *pull out*. Pengujian kuat tekan beton silinder untuk mutu beton rencana 30 MPa menghasilkan mutu beton rata-rata sebesar 26,976 MPa.

Hasil Pengujian *Pull Out* pada Kondisi Beban Maksimum

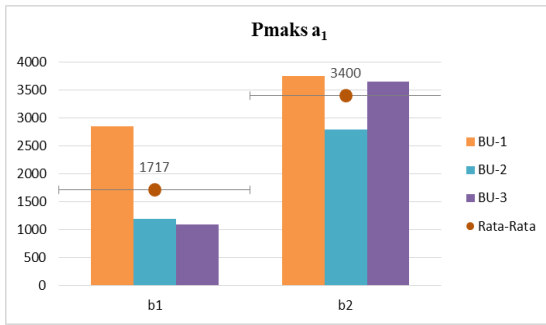
Kondisi beban maksimum adalah kondisi dimana beban tidak dapat ditambah lagi dan beban seketika jatuh ke suatu nilai tertentu.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Pull Out* untuk 2 Tulangan Bambu

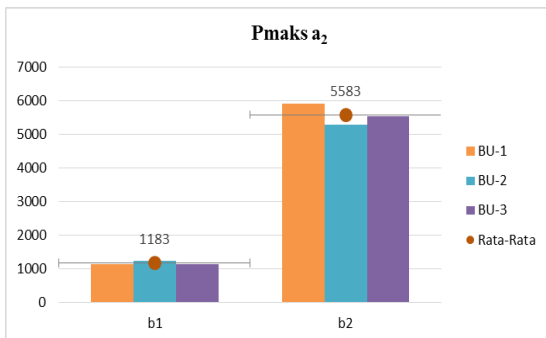
Benda Uji	ke-	f'c (Mpa)	Pmaks (kg)
a ₀ b ₁	1	24.179	2950
	2	33.310	2500
	3	22.378	1450
a ₀ b ₂	1	30.802	3650
	2	36.011	5200
	3	37.490	4450
a ₁ b ₁	1	23.664	2850
	2	20.513	1200
	3	19.549	1100
a ₁ b ₂	1	16.977	3750
	2	23.086	2800
	3	28.294	3650
a ₂ b ₁	1	22.893	1150
	2	31.059	1250
	3	34.789	1150
a ₂ b ₂	1	27.008	5900
	2	26.687	5300
	3	26.880	5550



Gambar 11. Diagram hasil pengujian *pull out* tanpa klem selang



Gambar 12. Diagram hasil pengujian pull out dengan jarak klem selang 6 cm

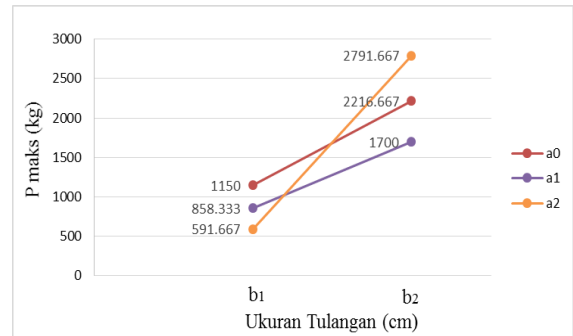


Gambar 13. Diagram hasil pengujian pull out dengan jarak klem selang 12 cm

Pada tulangan b₁ rata-rata kuat cabut terbesar dimiliki oleh benda uji tanpa klem selang sedangkan pada tulangan b₂ rata-rata kuat cabut terbesar dimiliki oleh benda uji dengan jarak klem selang 12 cm.

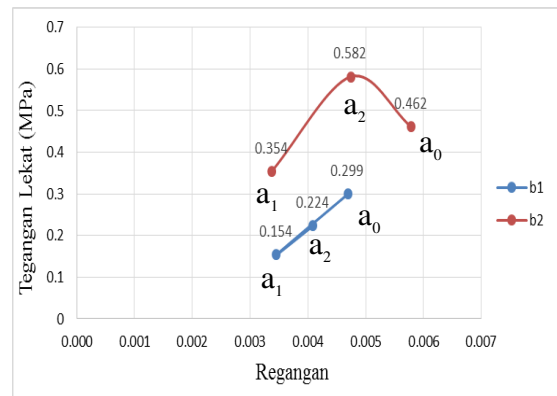
Tabel 9. Hasil Perhitungan Kuat Cabut, Tegangan Lekat dan Regangan untuk 1 Tulangan Bambu

Benda Uji	ke-	Pmaks (kg)	Pmaks Rata-Rata (kg)	Tegangan Lekat (kg/cm ²)	Tegangan Lekat (MPa)	Regangan	Regangan Rata-Rata
a ₀ b ₁	1	1475	1150	2.995	0.299	0.006	0.005
	2	1250				0.002	
	3	725				0.006	
a ₀ b ₂	1	1825	2216.667	4.618	0.462	0.006	0.006
	2	2600				0.008	
	3	2225				0.004	
a ₁ b ₁	1	1425	858.333	2.235	0.224	0.006	0.004
	2	600				0.004	
	3	550				0.003	
a ₁ b ₂	1	1875	1700	3.542	0.354	0.003	0.003
	2	1400				0.003	
	3	1825				0.005	
a ₂ b ₁	1	575	591.667	1.541	0.154	0.004	0.003
	2	625				0.003	
	3	575				0.003	
a ₂ b ₂	1	2950	2791.667	5.816	0.582	0.006	0.005
	2	2650				0.004	
	3	2775				0.004	



Gambar 14. Hubungan variasi jarak klem selang terhadap ukuran tulangan

Ukuran tulangan b₂ dapat meningkatkan kuat cabut sampai 2 kali lipat dari kuat cabut b₁ sedangkan keberadaan klem selang memberikan pengaruh yang kecil dan berbeda-beda, tergantung pada ukuran tulangan dan jarak yang digunakan.



Gambar 15. Hubungan tegangan dan regangan akibat variasi ukuran tulangan

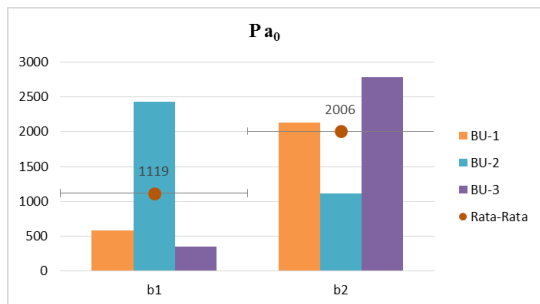
Semakin besar ukuran tulangan maka semakin besar pula tegangan lekat bambu. Peningkatan nilai tegangan lekat akan diikuti dengan peningkatan nilai regangan.

Hasil Pengujian Pull Out saat Perpindahan 2,75 mm

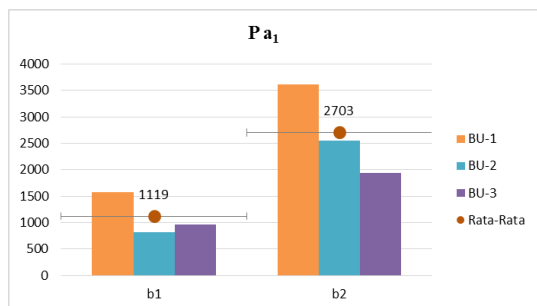
Tabel 10. Hasil Pengujian Pull Out untuk 2 Tulangan Bambu saat Perpindahan 2,75 mm

Benda Uji	ke-	f'c (Mpa)	P (kg)
a ₀ b ₁	1	24.179	581.250
	2	33.310	2425

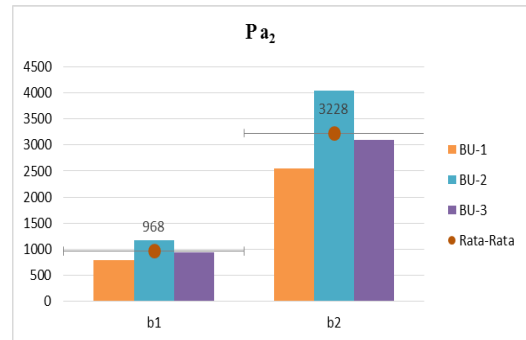
	3	22.378	350
a ₀ b ₂	1	30.802	2127.778
	2	36.011	1108.333
	3	37.490	2783.333
a ₁ b ₁	1	23.664	1580
	2	20.513	810
	3	19.549	966.667
a ₁ b ₂	1	16.977	3614.773
	2	23.086	2556.250
	3	28.294	1938.462
a ₂ b ₁	1	22.893	798.438
	2	31.059	1164.815
	3	34.789	941
a ₂ b ₂	1	27.008	2545.833
	2	26.687	4037.500
	3	26.880	3100



Gambar 16. Diagram hasil pengujian *pull out* tanpa klem selang saat perpindahan 2,75 mm



Gambar 17. Diagram hasil pengujian *pull out* dengan jarak klem selang 6 cm saat perpindahan 2,75 mm

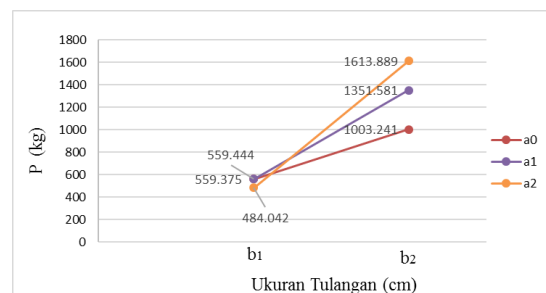


Gambar 18. Diagram hasil pengujian *pull out* dengan jarak klem selang 12 cm saat perpindahan 2,75 mm

Pada tulangan b₁ rata-rata kuat cabut terbesar dimiliki oleh benda uji tanpa klem selang dan benda uji dengan jarak klem selang 6 cm, sedangkan pada tulangan b₂ rata-rata kuat cabut terbesar dimiliki oleh benda uji dengan jarak klem selang 12 cm.

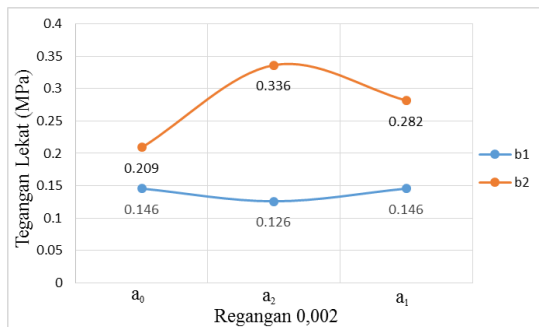
Tabel 11. Hasil Perhitungan Kuat Cabut, Tegangan Lekat dan Regangan untuk 1 Tulangan Bambu saat Perpindahan 2,75 mm

Benda Uji	ke-	P (kg)	P Rata-Rata (kg)	Tegangan Lekat (kg/cm ²)	Tegangan Lekat (MPa)	Regangan	Regangan Rata-Rata
a ₀ b ₁	1	290.625	559.375	1.457	0.146	0.002	0.002
	2	1212.5					
	3	175					
a ₀ b ₂	1	1063.8889	1003.241	2.090	0.209	0.002	0.002
	2	554.16667					
	3	1391.6667					
a ₁ b ₁	1	790	559.444	1.457	0.146	0.002	0.002
	2	405					
	3	483.33333					
a ₁ b ₂	1	1807.3864	1351.581	2.816	0.282	0.002	0.002
	2	1278.125					
	3	969.23077					
a ₂ b ₁	1	399.21875	484.042	1.261	0.126	0.002	0.002
	2	582.40741					
	3	470.5					
a ₂ b ₂	1	1272.9167	1613.889	3.362	0.336	0.002	0.002
	2	2018.75					
	3	1550					



Gambar 19. Hubungan variasi jarak klem selang terhadap ukuran tulangan saat perpindahan 2,75 mm

Berbeda dengan saat beban maksimum, grafik diatas menunjukkan kuat cabut 1 tulangan bambu terbesar saat b_1 adalah benda uji dengan jarak klem selang 6 cm. Namun karena perbedaan hasil kuat cabut antara jarak klem selang 6 cm dan tanpa klem selang sangat kecil, maka pengaruh keberadaan klem selang dapat dianggap tidak terlihat.



Gambar 20. Hubungan tegangan dan regangan akibat variasi ukuran tulangan saat perpindahan 2,75 mm

Semakin besar ukuran tulangan maka semakin besar pula tegangan lekat bambu. Penambahan klem selang pada tulangan b_2 akan meningkatkan nilai tegangan lekat bambu, namun tegangan lekat yang tertinggi diberikan oleh klem selang jarak 12 cm.

Pengaruh Ukuran Tulangan terhadap P_{maks} Pull Out

Pengaruh faktor ukuran tulangan:

$$\begin{aligned} \text{Nilai } b_1 &= a_0b_1 + a_1b_1 + a_2b_1 \\ &= 1150 + 858,333 + 591,667 \\ &= 2600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai } b_2 &= a_0b_2 + a_1b_2 + a_2b_2 \\ &= 2216,667 + 1700 + 2791,667 \\ &= 6708,333 \end{aligned}$$

Persentase faktor ukuran tulangan:

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{b_2 - b_1}{b_2} \times 100\% \\ &= \frac{6708,333 - 2600}{6708,333} \times 100\% \\ &= 61,242\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa perubahan ukuran tulangan dari 1,2 x 1,2 ke 1,5 x 1,5 dapat

meningkatkan P_{maks} pull out 1 tulangan bambu sebesar 61,242 %.

Tegangan Tarik pada Tulangan Bambu Petung

Benda uji pull out a_0b_1-1 (tanpa klem selang dan ukuran tulangan 1,2 x 1,2) dengan P_{maks} 1 tulangan bambu sebesar 1475 kg.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{1475}{1,2 \times 1,2} = 102,431 \text{ MPa}$$

Benda uji pull out a_2b_2-1 (klem selang jarak 12 cm dan ukuran tulangan 1,5 x 1,5) dengan P_{maks} 1 tulangan bambu sebesar 2950 kg.

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{2950}{1,5 \times 1,5} = 131,111 \text{ MPa}$$

Tabel 12. Perbandingan Tegangan Tarik Bambu Petung

Tegangan Tarik (Mpa)	Tegangan Tarik Benda Uji Pull Out (Mpa)	
	b_1	b_2
190	102.431	131.111

Selain tegangan tarik bambu petung, dari hasil penelitian juga bisa diketahui kekuatan gesek per cm panjang tulangan bambu petung yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Benda uji pull out a_0b_1-1 (tanpa klem selang dan ukuran tulangan 1,2 x 1,2) dengan P_{maks} 1 tulangan bambu sebesar 1475 kg.

$$\frac{P}{\text{Keliling}} = \frac{1475}{4 \times 1,2} = 307,292 \text{ kg/cm}$$

Benda uji pull out a_2b_2-1 (klem selang jarak 12 cm dan ukuran tulangan 1,5 x 1,5) dengan P_{maks} 1 tulangan bambu sebesar 2950 kg.

$$\frac{P}{\text{Keliling}} = \frac{2950}{4 \times 1,5} = 491,667 \text{ kg/cm}$$

Persentase faktor ukuran tulangan:

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{b_2 - b_1}{b_2} \times 100\% \\ &= \frac{491,667 - 307,292}{491,667} \times 100\% \\ &= 37,499\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa perubahan ukuran tulangan dari 1,2 x 1,2 ke 1,5 x 1,5 dapat meningkatkan kekuatan gesek per cm panjang sebesar 37,499 %.

Keruntuhan pada Tulangan Bambu Petung



Gambar 21. Keruntuhan Geser

Keruntuhan geser terjadi pada benda uji a_0b_1-1 , a_0b_1-3 , a_2b_1-1 , a_2b_1-3 , a_0b_2-1 , a_0b_2-3 , a_1b_2-1 , a_1b_2-3 , a_2b_2-1 , a_2b_2-2 , a_2b_2-3 .



Gambar 22. Keruntuhan kombinasi geser dan putus (bambu pecah tapi tidak terbelah)

Keruntuhan kombinasi geser dan putus (bambu pecah tapi tidak terbelah) terjadi pada benda uji a_1b_1-2 , a_1b_1-3 , a_2b_1-2 , a_1b_2-2 .



Gambar 23. Keruntuhan kombinasi geser dan putus (bambu terbelah)

Keruntuhan kombinasi geser dan putus (bambu terbelah) terjadi pada benda uji a_0b_1-2 , a_1b_1-1 , a_0b_2-2 .

Uji Hipotesis

1. Metode Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah (*Two-Way ANOVA*)

Pada Kondisi Beban Maksimum

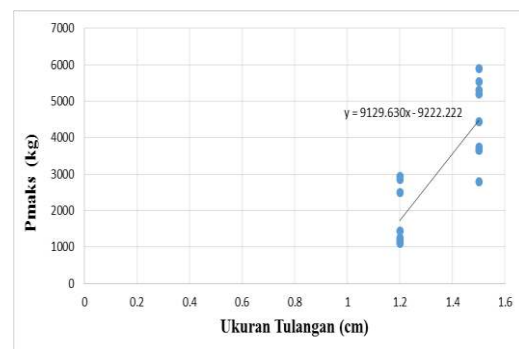
$F_1 = 80,188 > F_{0,05} [1: 12] = 4,747$ maka H_0 ditolak, ada pengaruh yang signifikan variasi ukuran tulangan pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang. Sedangkan jarak klem selang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang karena $F_2 = 3,170 < F_{0,05} [2: 12] = 3,885$ dan terdapat interaksi antara variasi ukuran tulangan dan jarak klem selang pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang karena $F_3 = 7,554 > F_{0,05} [2: 12] = 3,885$

Saat Perpindahan 2,75 mm

$F_1 = 19,232 > F_{0,05} [1: 12] = 4,747$ maka H_0 ditolak, ada pengaruh yang signifikan variasi ukuran tulangan pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang. Sedangkan jarak klem selang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang karena $F_2 = 0,761 < F_{0,05} [2: 12] = 3,885$ dan tidak terdapat interaksi antara variasi ukuran tulangan dan jarak klem selang pada kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang karena $F_3 = 1,213 < F_{0,05} [2: 12] = 3,885$.

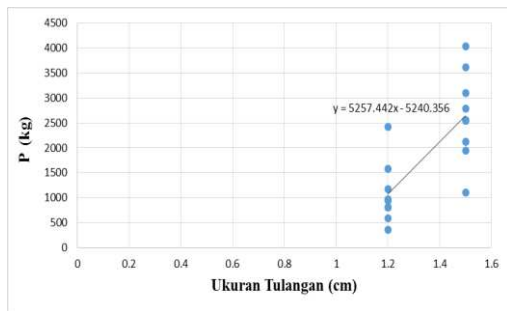
2. Metode Analisis Regresi

Pada Kondisi Beban Maksimum



Gambar 24. Grafik pengaruh faktor ukuran tulangan terhadap P_{maks} pull out

Saat Perpindahan 2,75 mm



Gambar 25. Grafik pengaruh faktor ukuran tulangan terhadap P pull out

Persamaan yang didapat dari grafik diatas menunjukkan bahwa, semakin besar ukuran tulangan maka kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang akan meningkat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kuat cabut rata-rata terbesar untuk satu tulangan bambu ukuran 1,2 x 1,2 dan 1,5 x 1,5 saat perpindahan 2,75 mm adalah 559,444 kg dan 1613,889 kg. Pengaruh penggunaan klem selang terhadap kuat cabut paling terlihat pada ukuran tulangan 1,5 x 1,5 dengan jarak klem selang 12 cm. Secara statistik dengan metode *two way anova*, terbukti bahwa variasi ukuran tulangan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat cabut, dilihat dari hasil F hitung yang lebih besar dari F tabel ($19,232 > 4,747$). Sedangkan pada uji statistik dengan metode regresi mendapatkan persamaan $Y = -5240,356 + 5257,442X$ yang juga menunjukkan bahwa ukuran tulangan dapat meningkatkan kuat cabut tulangan bambu dengan klem selang.

Pada regangan 0,002, tegangan lekat terbesar untuk bambu berukuran 1,2 x 1,2 dan 1,5 x 1,5 adalah 0,146 MPa dan 0,336 MPa. Pengaruh penggunaan klem selang terhadap tegangan lekat paling terlihat pada ukuran tulangan 1,5 x 1,5 dengan jarak klem selang 12 cm.

Pada penelitian selanjutnya, akan lebih baik jika disertai dengan pengujian tarik tulangan bambu. Pengujian ini bisa

dilakukan dengan menggunakan benda uji *pull out* yang ukuran baloknya diperbesar dan jumlah klem selangnya diperbanyak. Adapun beberapa hal yang harus diperhatikan selama penelitian, pertama, pada saat pengecoran posisi dari tulangan bambu jangan sampai berubah (berputar) akibat pengaruh getaran dari *vibrator*. Kedua, selama pengujian berlangsung selalu perhatikan jarum *dial gauge* apakah masih bisa bergerak atau tidak, jika tidak maka posisikan kembali agar *dial gauge* dapat bekerja. Ketiga, karena jarum akan bergerak dengan cepat setelah mencapai beban maksimum maka sebelum mendekati beban maksimum sebaiknya pergerakan *dial gauge* direkam.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 90-S53. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills Mi: ACI Committee 318.
- Fadhil Oktavianto, A. & Setiya Budi, A. (2015). *Kuat Lekat Tulangan Polos Bambu (Ori, Petung, Wulung)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Lestari, A. D. (2015). *Pengaruh Penambahan Kait pada Tulangan Bambu terhadap Respon Lentur Balok Beton Bertulangan Bambu*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Nawy, E. G. (1998). *Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama.
- Nurlina, S. (2008). *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media.

Oka, G. M. (2005). *Cara Penentuan Kelas Kuat Acuan Bambu Petung*. Palu: Universitas Tadulako.

Wibisono, Y. (2009). *Metode Statistik*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Setiawan, R. (2016). *Pengaruh Rasio Tulangan terhadap Kuat Lentur Balok Bertulangan Bambu dengan Kait*. Malang: Universitas Brawijaya.