

**Kuat Cabut *Glued in Rod* pada Bambu Laminasi
dengan Arah Sejajar Serat**

Wahyu Risky Nurpitasari¹, Karyadi², Nindyawati³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5 Malang

Submitted : 19, Desember, 2021;

Accepted: 12, April, 2022

Abstrak

Penelitian tentang balok dan kolom berpenampang *hollow* dari bambu laminasi telah dilakukan. Agar kedua elemen tersebut dapat dirangkai menjadi struktur bangunan perlu dilakukan penyambungan. *Glued in rod* adalah alat sambung baru yang masih memerlukan kajian karakteristik mekaniknya. Untuk itu penelitian ini dilakukan. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan eksperimen dengan variabel bebas (1) jarak dua tepi, (2) diameter *threaded rod*, dan (3) Panjang penanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) semakin besar jarak dua tepi semakin besar kuat cabut *glued in rod*, (2) Semakin besar diameter *threaded rod* semakin besar kuat cabut *glued in rod*, (3) semakin besar panjang penanaman *threaded rod* semakin besar kuat cabut *glued in rod*, (4) nilai *slip modulus* dipengaruhi oleh variasi diameter dan panjang penanaman baja namun tidak dipengaruhi oleh jarak dua tepi. Nilai kuat cabut terbesar, yaitu 34,85kN tercapai pada diameter *glued in rod* sebesar 12mm dengan jarak tepi 4,5d dan panjang penanaman sebesar 6d sedangkan nilai terendah sebesar 14,38kN terletak pada variasi batang baja diameter 8mm dengan panjang penanaman 5d dan jarak dua tepi 2,5d. Nilai *slip modulus* atau nilai kekakuan tertinggi yaitu sebesar 9,75kN/mm dicapai pada diameter 12 mm dengan panjang penanaman 6d dan jarak dua tepi 3,50d. Nilai *slip modulus* terkecil yaitu sebesar 3,75 kN/mm tercapai pada variasi diameter 8 mm dengan panjang penanaman 5d dan jarak dua tepi 2,5d.

Kata Kunci : *Glued in Rod*; Bambu Laminasi; Kuat Cabut; Sejajar Serat

Abstract

Research on hollow cross section beams and columns made of laminated bamboo has been carried out. So that the two elements can be assembled into a building structure, it is necessary to do connection. Glued in rod is a new connecting tool whose mechanical properties still need to be studied. For this reasons this research was conducted. To achieve this objective, an experiment was conducted with the independent variables (1) the distance between the two edges, (2) the diameter of the threaded rod, and (3) the embedded length. The results showed that (1) the greater the distance between the two edges, the greater the pull out strength of the glued in rod, (2) the larger the diameter of the threaded rod, the greater the pull out

of the glued in rod, (3) the greater the embedded length of the threaded rod, the stronger the pull out of glued in rod, (4) the value of the slip modulus is affected by variations in diameter and embedded length but is not affected by the distance between the two edges. The greatest pull out strength, which is 34.85kN, is achieved at a glued in rod diameter of 12mm with an edge distance of 4.5d and a embedded length of 6d, while the lowest value is 14.38kN lies in steel rods with a diameter of 8mm with a embedded length of 5d and a distance of two edges is 2.5d. The highest slip modulus or the highest stiffness value of 9.75kN/mm is achieved at a diameter of 12 mm with an embedded length of 6d and a distance of two edges of 3.50d. The smallest slip modulus value of 3.75kN/mm was achieved at a diameter variation of 8 mm with an embedded length of 5d and a distance of two edges 2.5d.

Keywords : *Glued in rod; Laminated bamboo; Pull out resistance; Parallel to grain*

A. PENDAHULUAN

Bambu merupakan sumber daya alam terbarukan dan dapat digunakan sebagai elemen struktur bangunan. Wulandari (2019) melakukan penelitian mengenai karakteristik dan sifat fisik bambu petung dengan hasil bambu petung baik digunakan sebagai bahan konstruksi dengan perlakuan pengawetan sebelumnya. Pemanfaatan bambu pada konstruksi dapat dibuat menggunakan teknik laminasi. Penelitian mengenai pembuatan bambu dengan teknik laminasi mulai banyak dilakukan, salah satu contohnya pada penelitian penggunaan bambu laminasi sebagai balok dan kolom menjadi ide munculnya penelitian-penelitian terkait.

Pada penggunaan struktur balok dan kolom dibutuhkan suatu sambungan. Sambungan ini perlu mendapat perhatian karena bisa menjadi bagian terlemah dari struktur. Dengan demikian diperlukan penelitian mengenai sambungan struktur bambu laminasi. Saat ini alat sambung *glued in rod* sedang dikembangkan oleh para peneliti. *Glued in rod* adalah teknologi sambungan dengan metode penanaman batang baja dengan melubangi bambu laminasi dengan dibor lalu diisi dengan perekat. Teknik sambungan *glued in rod* memiliki keunggulan kekuatan dan kekakuan, sambungan ini juga tahan terhadap api

serta memiliki tampilan yang lebih estetik Zhang, et al., (2020).

Sifat mekanik balok *box-section* (*hollow-section*) dari laminasi bambu dengan kegagalan lentur di bawah beban transversal telah diteliti (Karyadi et al. 2014; Karyadi and Susanto, 2017; Karyadi et al. 2019;) . Dengan adanya penelitian tersebut, dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai sambungan *glued in rod* pada bambu laminasi untuk penampang *hollow*. Tanaka et al (2012), melakukan penelitian kuat cabut *glued in rod* dengan variasi jarak penanaman dan jarak satu tepi dengan hasil penelitian semakin panjang penanaman akan mendapatkan nilai kekakuan yang tinggi.. Cahyo (2019) mengkaji kuat cabut *Glued-In Rod* dengan variasi diameter dan panjang penanaman baja.

Ada beberapa pola serat yang dapat dilihat dari bambu laminasi, yaitu sejajar serat, tegak lurus radial serat, dan tegak lurus tangensial serat. Sehingga sambungan *Glued-In Rod* dapat digunakan pada semua pola serat, namun penelitian ini akan dikhususkan pada arah sejajar serat. Tujuan penelitian ini adalah menemukan karakteristik mekanik dari alat sambung *glued in rod* yang ditanam sejajar serat pada bambu laminasi.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Persamaan untuk menghitung kuat cabut *glued in rod* pada kayu telah banyak ditemukan, tetapi persamaan serupa yang diterapkan pada bambu laminasi belum pernah ditemukan. Berikut ini uraian dari persamaan-persamaan yang dimaksud.

Bedasarkan *Eurocode 5* 1995-1-1:2004 persamaan untuk menghitung kuat cabut *Glued-In Rod* yang terbuat dari baja polos seperti pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$R_{ax} = \pi \cdot f_{v,k} \cdot d_{equ} \cdot l_g \quad (1)$$

Untuk menghitung nilai $f_{v,k}$ dapat menggunakan persamaan (2),

$$f_{v,k} = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot (d_{equ})^{1,5} \cdot (\rho_k)^{1,5} \quad (2)$$

Keterangan:

- Rax = nilai kuat cabut (N)
- $f_{v,k}$ = kuat lekat geser (N/mm²)
- d_{equ} = nilai terkecil diameter lubang dan 1,25 kali diameter baja (mm)
- l_g = panjang penanaman (mm)
- ρ_k = berat jenis benda uji (kg/m³)

Selain itu kuat cabut *glued in rod* dapat diprediksi berdasarkan *Timber Design Guide by New Zealand Timber Industry Federation* 3rd 2007 seperti pada persamaan (3),

$$(\phi Q_n)_{pullout} = \phi_{conn} \cdot K_1 \cdot n \cdot K_g \cdot Q_k \quad (3)$$

Keterangan:

- ϕQ_n = kuat cabut sambungan (kN)
- $\phi_{conn} = 0,7$
- K_1 = faktor durasi beban
- n = jumlah sambungan
- K_g = faktor reduksi banyaknya sambungan (1,0 untuk 1 atau 2 sambungan; 9,0 untuk 3 atau 4 sambungan; 0,8 untuk 5 atau 6 sambungan)
- Q_k = kekuatan karakteristik.

Persamaan (4) untuk mencari nilai Q_k ,

$$Q_k = 6,73 \cdot K_b \cdot K_e \cdot K_m \cdot (l/d)^{0,86} \cdot (d/20)^{1,62} \cdot (h/d)^{0,5} \cdot (e/d)^{0,5} \quad (4)$$

Keterangan:

- K_b = faktor tipe sambungan (*threaded*: 1,0, *deformed*: 0,8)
- K_e = faktor epoxy (East221: 1,0; west system: 1,0; K-80: 1,0; Araldite 2005: 1,2)
- K_m = faktor kelembapan (<15%: 1,0 dan 15-22%: 0,8)
- l = panjang penanaman (mm)
- d = diameter baja (mm)
- h = diameter lubang (mm)
- e = jarak tepi dari tengah sambungan

Pergeseran batang baja pada sambungan *Glued-In Rod* dihitung berdasarkan rumus pada persamaan (5) dan (6),

$$\Delta_s = Y \cdot \Delta_L \quad (5)$$

$$\Delta_L = \frac{P \cdot L_0}{A_s \cdot E} \quad (6)$$

Keterangan:

- Δ_s = pergeseran (mm)
- Y = pertambahan panjang total (mm)
- Δ_L = pertambahan panjang baja (mm)
- P = beban (N)
- E = modulus elastisitas baja (MPa)
- L_0 = jarak penjepitan (mm)

Menurut BS-EN 26891:1991 menghitung nilai *slip modulus* (K_s), dapat digunakan persamaan (7),

$$K_s = \frac{0,4 F_{max}}{\frac{4}{3} (d_{04} - d_{01})} \quad (7)$$

Keterangan:

- K_s = *slip modulus* (N/mm)
- F_{max} = beban puncak (N)
- d_{04} = slip pada 40% F_{max}
- d_{01} = slip pada 10% F_{max}

C. METODE PENELITIAN

1. Rancangan Penelitian

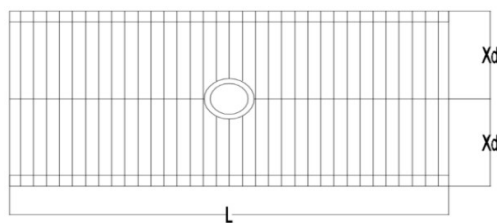
Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimental dengan melakukan pengujian di laboratorium. Variabel

bebas dalam penelitian ini adalah diameter baja, panjang penanaman baja, dan jarak batang baja ke dua tepi terluar bambu laminasi. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat cabut dan *slip modulus*. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah bahan pembuatan bambu laminasi yaitu bambu petung, arah serat bambu laminasi yang akan ditanami baja *threaded rod* yaitu arah sejajar serat, jenis perekat *Glued-In Rod* yang digunakan (Sikadur-732), tebal perekat *Glued-In Rod* (3 mm), dan menggunakan baja *Threaded Rod*.

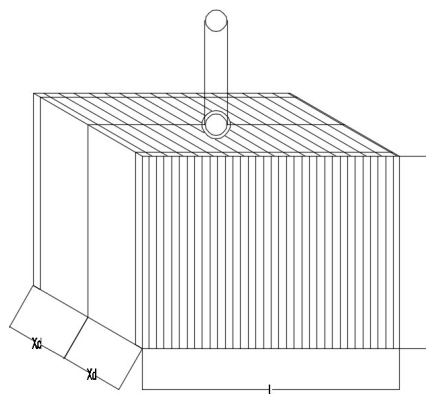
Obyek Penelitian

Obyek yang digunakan pada penelitian ini adalah bambu petung laminasi. Bambu petung dengan umur 3 – 5 tahun didapat dari Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Bambu-bambu tersebut dijadikan bilah dengan ukuran tebal 5mm, lebar 20mm dan panjang disesuaikan dengan kebutuhan. Selanjutnya bilah bambu diawetkan dengan cara direndam dengan larutan boraks dan asam borit, setelah itu di keringkan di bawah sinar matahari hingga mencapai kadar air di bawah 12%. Jika bilah-bilah bambu tersebut telah kering, maka dimulai proses pembuatan bambu laminasi sesuai dengan ukuran benda uji yang telah ditentukan. Selanjutnya yaitu pembuatan *Glued-In Rod*, bambu laminasi akan dilubangi dengan mesin bor ukuran $\varnothing 14$ mm untuk baja $\varnothing 8$ mm, bor $\varnothing 16$ mm untuk baja $\varnothing 10$ mm dan bor $\varnothing 18$ mm untuk baja $\varnothing 12$ mm setelah itu dipasang baja *threaded rod* yang direkatkan dengan *epoxy resin*. Variasi yang digunakan adalah diameter *threaded rod* (ϕ) dengan variasi 8mm, 10mm, dan 12mm, panjang penanaman *threaded rod* (ld) dengan variasi 5,0d; 6,0d; 7,0d, dan jarak batang baja terhadap dua sisi tepi terluar bambu laminasi(xd) dengan variasi 2,5d; 3,0d; 3,5d; 4,0d; 4,5d (Gambar 1). Untuk setiap variasi dibuat sebanyak 5 buah benda uji sehingga

jumlah benda uji keseluruhan adalah 225 buah.



a) Tampak Atas Benda Uji



b) Tampak Isometri Benda Uji



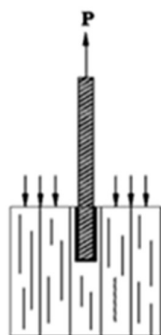
c) Foto Benda Uji

Gambar 1. Bentuk benda Uji *Glued-In Rod*

Instrumen Penelitian

Peralatan pengujian penelitian ini menggunakan fasilitas Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil yaitu: (1) *Universal Testing Machine* (UTM) merk Kei Wai (Tiongkok) dengan kapasitas

1000 kN dengan ketelitian 0,1 kN. UTM ini digunakan untuk pengujian kuat cabut (*pull-out*) *Glued-In Rod* arah sejajar serat pada bambu laminasi. *Dial Gauge digital* dengan kapasitas 10mm dan ketelitian 0,01mm. *Dial Gauge* digunakan untuk mengukur slip pergeseran *threaded rod* pada benda uji. Jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm yang untuk mengukur dimensi benda uji. Peralatan kempa yang terdiri dari besi *hollow*, klem baut dan mur, *Hydraulic Hand Pump* dan *Hydraulic jack* (Model SPH-1200 merk MBT dengan kapasitas 100 kN dengan ketelitian 0,5 kN). Konfigurasi uji menggunakan tarik-tekan (*pull-compressed*) (Gambar 2).



a) Konfigurasi Uji *Pull-Compressed*



b) Foto *Setting* Pengujian
 Gambar 2 *Setting* Pengujian

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh diameter, panjang penanaman baja, dan jarak batang baja terhadap dua sisi tepi terluar bambu laminasi terhadap kuat cabut *glued-in rod*

pada bambu laminasi arah sejajar serat menggunakan analisis ANOVA *Three Way* (analisis varian tiga arah) dan uji beda (*T-test*) menggunakan program SPSS. Analisis tersebut digunakan untuk kedua data, yaitu kuat cabut dan data slip pergeseran (sesar).

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Cabut

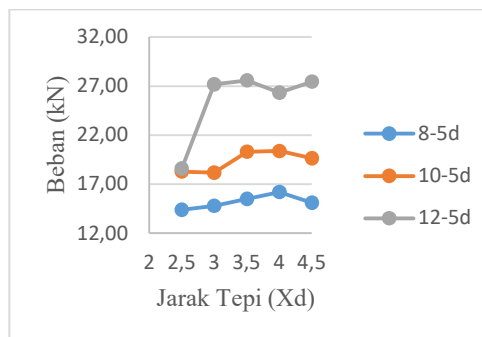
Hasil uji kuat cabut yang telah dilengkapi dengan perhitungan standar deviasi dan kuat geser dicantumkan pada Tabel 1. Kuat geser yang dimaksud terjadi pada interfisial antara *glued in rod* dengan perekat atau antara perekat dengan bambu laminasi. Catatan penting diberikan pada besarnya standar deviasi hasil pengujian yang terentang antara 0,23 – 8,82. Ini menunjukkan bahwa homogenitas benda uji belum terkontrol dengan baik. Penyebabnya karena bambu adalah bahan yang sifat-sifatnya sangat tergantung pada alam.

Tabel 1. Hasil Rerata Nilai Kuat Cabut Sambungan *Glued in Rod*

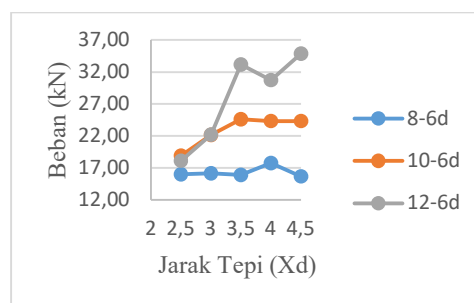
Kode Benda Uji	Jumlah Sampel	Kuat Cabut Rerata (P) (kN)	Stand ar Devia si (kN)	Kuat Geser (Fs) (N/mm ²)
8-5,0-2,5	5	14.38	0.54	8.17
8-5,0-3,0	5	14.78	1.27	8.40
8-5,0-3,5	5	15.48	0.44	8.80
8-5,0-4,0	5	16.20	1.47	9.21
8-5,0-4,5	5	15.10	0.55	8.58
8-6,0-2,5	5	15.98	1.34	7.57
8-6,0-3,0	5	16.14	1.35	7.65
8-6,0-3,5	5	15.92	0.77	7.65
8-6,0-4,0	5	17.74	0.36	8.40
8-6,0-4,5	5	15.68	0.23	7.43
8-7,0-2,5	5	15.56	1.25	6.32
8-7,0-3,0	4	17.38	1.20	7.05
8-7,0-3,5	5	17.06	1.59	6.93

8-7,0-4,0	5	17.30	1.30	7.02
8-7,0-4,5	5	16.78	1.41	6.81
10-5,0-2,5	5	18.28	1.11	7.27
10-5,0-3,0	5	18.16	2.32	7.23
10-5,0-3,5	5	20.30	0.54	8.08
10-5,0-4,0	5	20.38	2.36	8.11
10-5,0-4,5	5	19.62	2.01	7.81
10-6,0-2,5	5	18.90	2.05	6.27
10-6,0-3,0	5	22.14	3.00	7.34
10-6,0-3,5	5	24.60	1.43	8.16
10-6,0-4,0	5	24.32	1.54	8.06
10-6,0-4,5	5	24.34	1.21	8.07
10-7,0-2,5	5	19.38	2.66	5.51
10-7,0-3,0	5	22.90	2.69	6.51
10-7,0-3,5	5	26.32	1.28	7.48
10-7,0-4,0	5	26.24	1.67	7.46
10-7,0-4,5	5	27.26	1.77	7.75
12-5,0-2,5	5	18.60	2.70	5.48
12-5,0-3,0	5	27.18	2.64	8.01
12-5,0-3,5	5	27.56	1.93	8.12
12-5,0-4,0	4	26.33	1.22	7.76
12-5,0-4,5	5	27.46	0.92	8.09
12-6,0-2,5	3	18.13	2.33	4.45
12-6,0-3,0	4	22.23	5.56	5.46
12-6,0-3,5	4	33.15	1.42	8.14
12-6,0-4,0	4	30.70	2.38	7.54
12-6,0-4,5	4	34.85	1.64	8.56
12-7,0-2,5	5	22.06	3.48	4.64
12-7,0-3,0	5	29.50	3.96	6.21
12-7,0-3,5	5	34.42	1.69	7.25
12-7,0-4,0	4	20.38	8.82	4.29
12-7,0-4,5	4	22.95	3.22	4.83

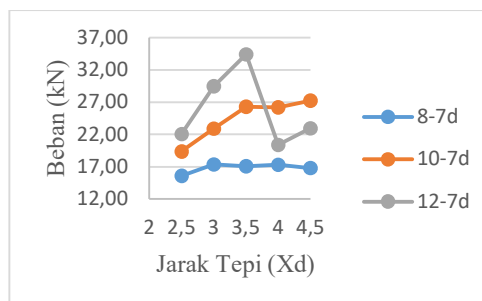
Agar hasil pada Tabel 1 dapat dipelajari sifat-sifatnya dengan mudah maka ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. Grafik ini menghubungkan antara besarnya beban dengan jarak dua tepi untuk setiap variasi diameter dan panjang penanaman.



a) Panjang penanaman 5d



b) Panjang penanaman 6d



c) Panjang penanaman 7d

Gambar 3. Grafik Hubungan Beban dan Jarak Tepi untuk Berbagai Panjang Penanaman

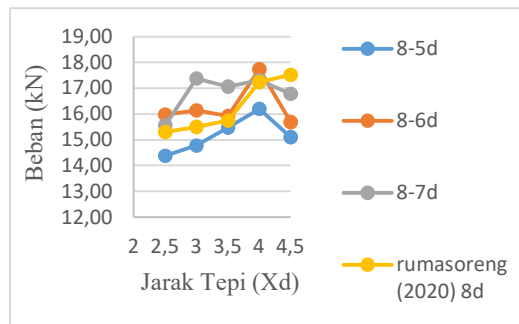
Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3 didapatkan hasil untuk variasi diameter baja 8 mm nilai kuat cabut maksimum terdapat pada variasi jarak dua tepi 4d dan panjang penanaman 6d dengan nilai kuat cabut sebesar 17,74 kN. Untuk diameter baja 10 mm, nilai kuat cabut maksimum

terdapat pada variasi jarak dua tepi 4,5d dan panjang penanaman 7d yaitu sebesar 27,26 kN. Nilai kuat cabut maksimum pada diameter baja 12 mm yaitu sebesar 34,85 kN pada variasi dua jarak tepi 4,5d dan panjang penanaman 6d. Selanjutnya perlu disampaikan bahwa terjadi kerusakan sampel dengan kode 12-7,0-4,0 dan 12-7,0-4,5 akibat delaminasi pada bambu laminasi. Itulah sebabnya pada Gambar 3c untuk jarak tepi 4d dan 4,5d terjadi penurunan kuat cabut. Keadaan ini juga terjadi pada seluruh sampel dengan diameter 8mm pada jarak tepi 4,5d.

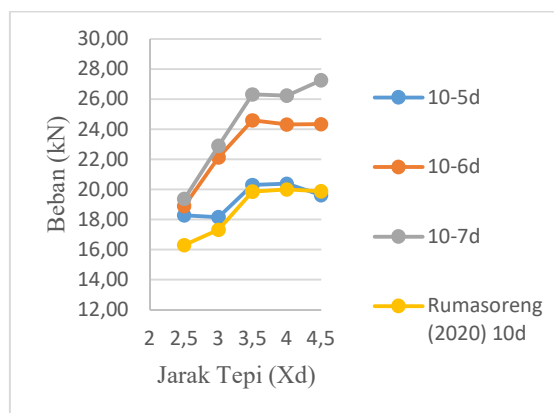
Pada variasi diameter batang baja 8 mm dengan panjang penanaman 5, 6 dan 7 kali diameter batang baja, jarak minimum batang *threaded rod* terhadap dua sisi tepi terluar sebelum mengalami penurunan nilai kuat cabut secara signifikan terjadi pada jarak batang baja berturut turut yaitu 4,5d; 4d; 4d (Gambar 4a). Pada diameter batang baja 10 mm dengan panjang penanaman 5, 6 dan 7 kali diameter batang baja, jarak minimum batang *threaded rod* terhadap dua sisi tepi terluar sebelum mengalami penurunan nilai kuat cabut secara signifikan terjadi pada jarak batang baja berturut turut yaitu 3,5d; 3,5d; 3,5d (Gambar 4b). Sedangkan pada diameter batang baja 12 mm dengan panjang penanaman 5, 6 dan 7 kali diameter batang baja, jarak minimum batang *threaded rod* terhadap dua sisi tepi terluar sebelum mengalami penurunan nilai kuat cabut secara signifikan terjadi pada jarak batang baja berturut turut yaitu 3d; 3,5d; 3,5d (Gambar 4c).

Secara umum dapat disimpulkan bahwa jarak minimum *threaded rod* terhadap dua sisi terluar bambu laminasi sebelum mengalami penurunan kuat cabut terentang diantara 3d sampai 4,5d.

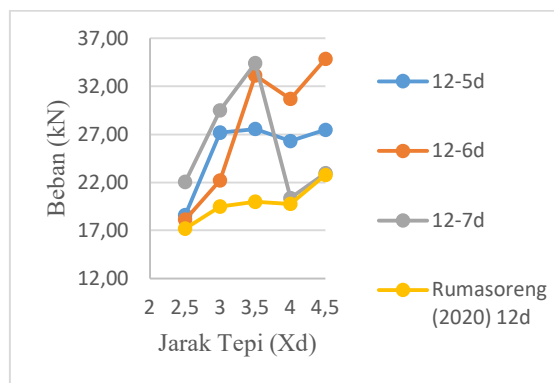
Selanjutnya dari Gambar 4 dapat dilihat pula perbandingan hasil pengujian kuat cabut sambungan *glued in rod* arah sejajar dengan penelitian yang dilakukan oleh Rumasoreng (2020).



a) *Threaded rod* $\phi 8\text{mm}$



b) *Threaded rod* $\phi 10\text{mm}$



c) *Threaded rod* $\phi 12\text{mm}$

Gambar 4. Grafik Hubungan Beban dan Jarak Tepi untuk Berbagai Diameter *Threaded rod*

Dari grafik hasil penelitian di atas, didapatkan nilai kuat cabut sambungan *glued in rod* yang dilakukan oleh Rumasoreng (2020) lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat cabut

pada penelitian ini. Hal yang membedakan dari kedua penelitian ini adalah dari panjang penanaman, yang digunakan. Rumasoreng (2020) pada penelitiannya menggunakan panjang penanaman 5d atau 5 kali dari diameter yang digunakan. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan tiga variasi panjang penanaman yaitu 5d, 6d dan 7d.

Slip Modulus

Nilai slip pergeseran didapatkan dari pengujian kuat cabut, mulai dari beban awal hingga beban akhir kemudian diolah menggunakan persamaan (5). Data hasil perhitungan rerata nilai slip pergeseran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata Hasil Nilai Slip Pergeseran

Kode Benda Uji	Kuat Cabut Rerata (P)	Rerata ΔS P _{ultimate}	Rerata ΔS P _{akhir}
	(kN)	(mm)	(mm)
8-5,0-2,5	14.38	2.84	5.83
8-5,0-3,0	14.78	3.13	6.84
8-5,0-3,5	15.48	3.89	6.76
8-5,0-4,0	16.20	3.73	6.82
8-5,0-4,5	15.10	3.32	5.46
8-6,0-2,5	15.98	4.05	7.62
8-6,0-3,0	16.14	3.82	8.15
8-6,0-3,5	15.92	4.52	9.36
8-6,0-4,0	17.74	5.01	9.05
8-6,0-4,5	15.68	5.27	10.81
8-7,0-2,5	15.56	4.94	9.09
8-7,0-3,0	14.96	6.12	10.84
8-7,0-3,5	17.06	5.52	10.26
8-7,0-4,0	17.30	5.03	10.71
8-7,0-4,5	16.78	4.75	10.91
10-5,0-2,5	18.28	2.90	4.99
10-5,0-3,0	18.16	2.51	4.60
10-5,0-3,5	20.30	3.00	5.69

10-5,0-4,0	20.38	2.79	5.07
10-5,0-4,5	19.62	3.65	6.37
10-6,0-2,5	18.90	3.84	6.46
10-6,0-3,0	22.14	3.49	6.58
10-6,0-3,5	24.60	4.31	7.04
10-6,0-4,0	24.32	3.15	5.98
10-6,0-4,5	24.34	2.84	6.88
10-7,0-2,5	19.38	3.26	7.22
10-7,0-3,0	22.90	3.39	6.59
10-7,0-3,5	26.32	4.01	6.88
10-7,0-4,0	26.24	3.79	6.62
10-7,0-4,5	27.26	3.63	7.96
12-5,0-2,5	18.60	3.29	6.79
12-5,0-3,0	27.18	3.23	6.40
12-5,0-3,5	27.56	3.80	6.23
12-5,0-4,0	23.98	3.27	5.38
12-5,0-4,5	27.46	3.53	6.70
12-6,0-2,5	15.52	2.63	6.79
12-6,0-3,0	19.38	3.53	5.99
12-6,0-3,5	32.18	3.20	6.59
12-6,0-4,0	29.64	3.56	6.43
12-6,0-4,5	33.18	3.82	9.30
12-7,0-2,5	22.06	3.04	8.46
12-7,0-3,0	29.50	3.36	9.92
12-7,0-3,5	34.42	3.77	10.81
12-7,0-4,0	17.90	2.80	9.00
12-7,0-4,5	21.96	3.08	4.92

Pada Tabel 2 di atas dapat disimpulkan hasil rerata nilai slip pergeseran berkisar antara 2,51mm sampai 6,01mm saat beban puncak. Nilai minimum slip pergeseran terletak pada variasi diameter 10 mm dengan jarak dua tepi 3,0 kali diameter batang baja serta panjang penanaman 5 kali diameter batang baja. Untuk nilai maksimum slip pergeseran terletak pada variasi diameter 8mm dengan jarak dua tepi 3 kali diameter batang baja serta panjang penanaman 7 kali diameter batang baja.

Slip modulus (kekakuan) didapatkan dari hubungan antara beban dan nilai slip pergeseran kemudian diolah

menggunakan persamaan (7). Data slip modulus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Slip Modulus (Kekakuan) pada Setiap Variasi

Kode Benda Uji	Kuat Cabut Rerata (P) (kN)	Rerata ΔS $P_{ultimate}$ (mm)	Rerata ΔS P_{akhir} (mm)	Kekakuan (kN/mm)
8-5,0-2,5	14.38	2.84	5.83	3.78
8-5,0-3,0	14.78	3.13	6.84	4.30
8-5,0-3,5	15.48	3.89	6.76	4.04
8-5,0-4,0	16.20	3.73	6.82	4.51
8-5,0-4,5	15.10	3.32	5.46	6.81
8-6,0-2,5	15.98	4.05	7.62	3.95
8-6,0-3,0	16.14	3.82	8.15	4.39
8-6,0-3,5	15.92	4.52	9.36	4.39
8-6,0-4,0	17.74	5.01	9.05	5.96
8-6,0-4,5	15.68	5.27	10.81	5.29
8-7,0-2,5	15.56	4.94	9.09	5.68
8-7,0-3,0	14.96	6.12	10.84	5.04
8-7,0-3,5	17.06	5.52	10.26	4.38
8-7,0-4,0	17.30	5.03	10.71	4.41
8-7,0-4,5	16.78	4.75	10.91	6.49
10-5,0-2,5	18.28	2.90	4.99	5.59
10-5,0-3,0	18.16	2.51	4.60	5.65
10-5,0-3,5	20.30	3.00	5.69	4.84
10-5,0-4,0	20.38	2.79	5.07	5.43
10-5,0-4,5	19.62	3.65	6.37	4.50
10-6,0-2,5	18.90	3.84	6.46	4.70
10-6,0-3,0	22.14	3.49	6.58	4.81
10-6,0-3,5	24.60	4.31	7.04	5.42
10-6,0-4,0	24.32	3.15	5.98	5.89
10-6,0-4,5	24.34	2.84	6.88	7.16
10-7,0-2,5	19.38	3.26	7.22	6.02
10-7,0-3,0	22.90	3.39	6.59	7.38
10-7,0-3,5	26.32	4.01	6.88	7.04
10-7,0-4,0	26.24	3.79	6.62	5.30
10-7,0-4,5	27.26	3.63	7.96	7.63
12-5,0-2,5	18.60	3.29	6.79	6.06

12-5,0-3,0	27.18	3.23	6.40	8.58
12-5,0-3,5	27.56	3.80	6.23	7.89
12-5,0-4,0	23.98	3.27	5.38	5.87
12-5,0-4,5	27.46	3.53	6.70	6.60
12-6,0-2,5	15.52	2.63	6.79	6.36
12-6,0-3,0	19.38	3.53	5.99	6.24
12-6,0-3,5	32.18	3.20	6.59	9.75
12-6,0-4,0	29.64	3.56	6.43	8.66
12-6,0-4,5	33.18	3.82	9.30	6.71
12-7,0-2,5	22.06	3.04	8.46	6.38
12-7,0-3,0	29.50	3.36	9.92	7.24
12-7,0-3,5	34.42	3.77	10.81	7.70
12-7,0-4,0	17.90	2.80	9.00	8.95
12-7,0-4,5	21.96	3.08	4.92	5.96

Pada Tabel 3 didapatkan nilai slip modulus atau nilai kekakuan tertinggi yaitu sebesar 9,75kN/mm dan terletak pada variasi diameter 12 mm dengan panjang penanaman 6 kali diameter baja dan jarak dua tepi 3,5 kali diameter baja. Sedangkan nilai slip modulus terkecil yaitu sebesar 3,75kN/mm terletak pada variasi diameter 8 mm dengan panjang penanaman 5 kali diameter baja dan jarak dua tepi 2,5 kali diameter baja *threaded rod*.

Dari analisis statistik ANOVA tiga arah, menunjukkan bahwa ada pengaruh diameter dan panjang penanaman baja *threaded rod* terhadap nilai slip pergeseran, namun tidak ada pengaruh variasi jarak dua tepi terhadap nilai slip pergeseran. Selain itu juga tidak ada interaksi nilai slip pergeseran dengan ketiga variasi yang digunakan. Pada analisis ANOVA dua arah yang dilakukan oleh Rumasoreng (2020), didapatkan kesimpulan bahwa ada perbedaan atau pengaruh variasi jarak batang baja terhadap dua sisi tepi terluar bambu laminasi dengan slip pergeseran, namun tidak ada interaksi nilai slip pergeseran dengan kedua variasi. Selain itu hasil analisis yang dilakukan oleh Cahyo (2019), bahwa ada pengaruh

variasi diameter baja, dan panjang penanaman terhadap nilai slip pergeseran. Namun tidak ada interaksi nilai slip terhadap kedua variasi yang digunakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan penelitian ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Nilai kuat cabut sambungan *glued in rod* bambu laminasi maksimum tercapai pada diameter 12mm dengan panjang penanaman 6d dan jarak dua tepi 4,5d sebesar 34,85 kN. Sedangkan nilai terendah sebesar 14,38kN tercapai pada batang baja diameter 8mm dengan panjang penanaman 5d dan jarak dua tepi 2,5d. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan semakin besar diameter baja *threaded rod* dan nilai panjang penanaman maka nilai kuat cabut akan semakin besar.

Pada variasi diameter batang baja 8mm dengan panjang penanaman 5, 6 dan 7 kali diameter batang baja, jarak minimum batang *threaded rod* terhadap dua sisi tepi terluar sebelum mengalami penurunan nilai kuat cabut secara signifikan terjadi pada jarak batang baja berturut turut yaitu 4,5d; 4d; 4d. Pada diameter batang baja 10mm dengan panjang penanaman 5, 6 dan 7 kali diameter batang baja, jarak minimum batang *threaded rod* terhadap dua sisi tepi terluar sebelum mengalami penurunan nilai kuat cabut secara signifikan terjadi pada jarak batang baja berturut turut yaitu 3,5d; 3,5d; 3,5d. Sedangkan pada diameter batang baja 12mm dengan panjang penanaman 5, 6 dan 7 kali diameter batang baja, jarak minimum batang *threaded rod* terhadap dua sisi tepi terluar sebelum mengalami penurunan nilai kuat cabut secara signifikan terjadi pada jarak batang baja berturut turut yaitu 3d; 3,5d; 3,5d. Sehingga untuk variasi jarak batang baja terhadap dua sisi tepi terluar memiliki batas pengaruh sesuai dengan

jarak batang baja minimum sebelum kuat cabut mengalami penurunan.

Nilai slip modulus atau nilai kekakuan tertinggi yaitu sebesar 9,75 kN/mm dan terletak pada variasi diameter 12 mm dengan pajang penanaman 6 kali diameter baja dan jarak dua tepi 3,5 kali diameter baja. Sedangkan nilai slip modulus terkecil yaitu sebesar 3,75 kN/mm terletak pada variasi diameter 8 mm dengan panjang penanaman 5 kali diameter baja dan jarak dua tepi 2,5 kali diameter baja *threaded rod*. Dari hasil analisis statistik ANOVA tiga arah didapatkan nilai slip modulus dipengaruhi oleh variasi diameter dan panjang penanaman baja namun tidak dipengaruhi oleh jarak dua tepi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian dengan skema skripsi didanai oleh dana PNPB Universitas Negeri Malang Tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- BS EN 26891:1991. *Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics*. British : *British Standards Institution (BSI)*.
- Cahyo A. S. 2019. *Kuat Cabut Radial Serat Glued-In Rod Dengan Variasi Diameter Dan Panjang Penanaman Baja Threaded Rod Pada Bambu Laminasi*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang.
- Karyadi, Basuki, E. W. A., Susanto, P. B., & Nindyawati. (2019). *Sidewall Thickenings as Strengthening for Box-Section Laminated Bambu Beam under Transverse Load in Shear Failure Mode*. *Reasearch Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 16

- (129-134). Dari
<https://doi.org/10.1063/1.5003545>.
- Karyadi**, Dewi, S.M., and Soehardjono, A. 2014. A Comparison of Shear Strength of Box-Section Beam Made of Sliced-Laminated Dendrocalamus Asper Under Torsion and Transversal Load. *Procedia Engineering* 95(2014). p. 38 – 42.
- [3] **Karyadi**, & Susanto, P. B. 2017. Mechanical characteristics of box-section beam made of sliced-laminated Asian bamboo (*Dendrocalamus asper*) in bending failure mode under transversal load. *AIP Conference Proceedings*, 1887(October).
<https://doi.org/10.1063/1.5003545>
- Prayogo, B. 2018. *Kuat Cabut Sambungan Glued-In Rod Parallel to Grain dengan Variasi jarak batang baja ke Tepi Luar Bambu Laminasi*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang : FT UM
- Rumasoreng, W, A.K. (2020). *Pengaruh Variasi Diameter dan Jarak Batang Baja terhadap Dua Sisi Tepi Terluar Bambu Laminasi pada Kuat Cabut Glued in Rod Sejajar Serat*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang:FakultasTeknikUniversitas Negeri Malang.
- Tanaka, K., Kawano, K., Noguchi, Y., Mori, T., & Inoue, M. 2012. Proposal of Calculation Method for Pull-Out Strength of Glued-In Rod Connector Embedded in Perpendicular to Grain in Glulam. *Proceeding of Word Conference in Timber Engineering*. 1(21), 211–216.
- Wulandari, F. T. 2019. Karakteristik dan Sifat Fisik Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*. Backer) di Kawasan Hutan Kemasyarakatan (HKM) Desa Aik Bual, Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Buletin LOUPE* Vol. 15(01), 44-49.
- Zhang, X., Jiang, Z., Fei, B., Fang, C., Liu, H. (2020). *Experimental Performance of Threaded Steel Glued Into Laminated Bambu*. *Journal Elsevier, Construction and building materials*, 249, 118780.



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>