

**KUAT TEKAN SAMBUNGAN BAMBU DENGAN VARIASI SUDUT GAYA BATANG
MENGUNAKAN ALAT SAMBUNG BAUT DAN KLEM PLASTIK-SERAT**
*Compressive Strength of Bamboo Joints with Plastic-fiber Clamp and Bolt Passtener in
Different Load Angle Members*

I Wayan Sugiarta*, Aryani Rofaida*, Shofia Rawiana*, Suparjo*

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram,
Jl. Majapahit No 62, Mataram 83125 Indonesia

Email : sugiarta69@unram.ac.id, aryanirofaida@unram.ac.id, sshofiarawiana@yahoo.co.id,
suparjo@unram.ac.id

Manuscript received: 24 Januari 2024

Accepted:

20 Maret 2024

Abstrak

Sambungan pada struktur rangka akan menerima besarnya gaya yang bervariasi tergantung sudut yang dibentuk oleh batang-batangannya. Sistem penyambungan bambu dengan mempergunakan klem berbahan plastik yang dicampur serbuk bambu telah dikembangkan. Namun dalam implementasinya pada struktur rangka belum pernah dilakukan, sehingga perlu penelitian lebih lanjut tentang kinerja sistem sambungan ini pada variasi sudut gaya batang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan dan pola kegagalan sambungan bambu pada variasi arah sudut gaya batang. Pada penelitian ini dibuat tiga variasi benda uji dengan sudut gaya batang 30°, 45°, dan 90°. Pengujian dilakukan dengan beban statis jangka pendek secara bertahap setiap kenaikan 10 lbs sampai benda uji mengalami kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seiring bertambahnya sudut gaya batang maka kuat tekan sambungan mengalami penurunan. Adapun prosentase penurunan kekuatan sambungan pada sudut 45° dan 90° masing-masing berkisar sebesar 26% dan 35% dibandingkan dengan sudut 30°. Pola kegagalan sambungan ditandai dengan pecahnya bambu disekitar lubang dan bengkoknya baut.

Kata kunci : Kuat tekan, Sambungan bambu, Klem plastic-serat.

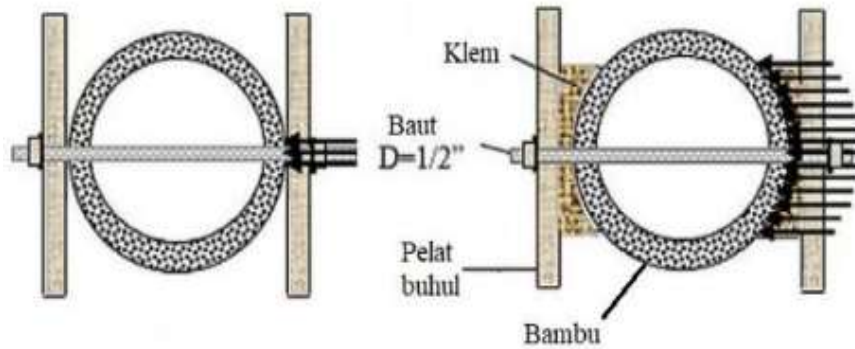
PENDAHULUAN

Kuda-kuda adalah salah satu sistem struktur rangka yang terletak di bagian atas dari bangunan yang berfungsi untuk menopang atap sebagai penahan hujan, angin maupun panas. Konstruksi kuda-kuda tersusun dari rangkaian batang yang membentuk pola segitiga sehingga menghasilkan struktur yang kaku. Sambungan pada struktur rangka akan menerima besarnya gaya yang bervariasi tergantung sudut yang dibentuk oleh batang-batangannya.

Bambu merupakan salah satu bahan konstruksi bangunan yang ramah lingkungan dan sangat melimpah diberbagai daerah di Indonesia. Dalam perkembangannya, bambu dapat digunakan sebagai pengganti kayu ataupun baja, seperti penggunaan bambu sebagai rangka kuda kuda. Akan tetapi pemanfaatan material bambu masih kurang maksimal dikarenakan bentuk bambu yang bulat dan berongga sehingga sulit dalam penyambungannya. Untuk mengatasi hal ini maka diperlukan perkuatan dalam sistem sambungan bambu.

Sistem penyambungan bambu dengan mempergunakan klem berbahan plastik yang dicampur serbuk bambu telah dikembangkan (Sugiarta dkk, 2023). Namun dalam implementasinya pada struktur rangka belum pernah dilakukan, sehingga perlu penelitian lebih lanjut tentang kinerja sistem sambungan ini pada variasi sudut gaya batang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan dan pola kegagalan sambungan bambu pada variasi arah sudut gaya batang.

TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 1 Distribusi gaya pada baut dan pelat buhul pada bambu.

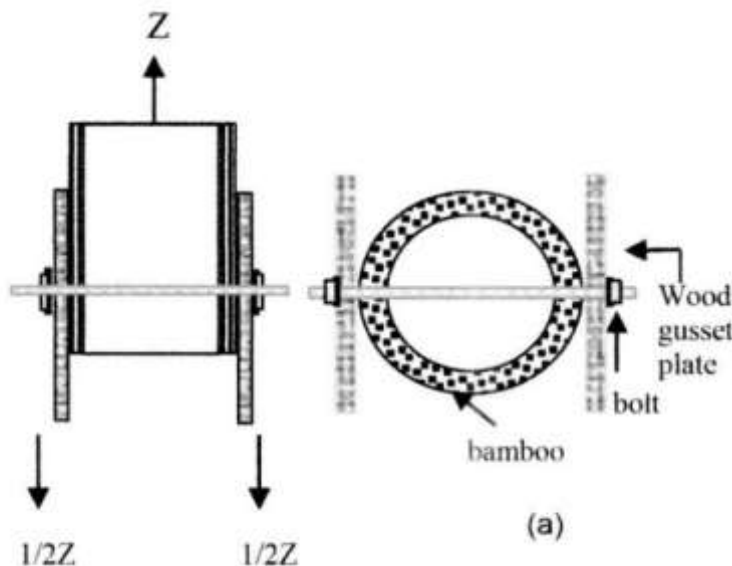
Koefisien gesek/friksi antara bambu dan klem memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekuatan sambungan dapat dilihat pada Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$P_{klem} = \mu_k \cdot N \dots\dots\dots (1)$$

$$\mu_k = \alpha \cdot \mu \dots\dots\dots (2)$$

dengan: P_{klem} = Peningkatan kekuatan sambungan, μ_k = Koefisien sambungan klem, α = Sudut bukaan klem ($^\circ$), N = Gaya pengencangan baut (N), μ = Koefisien gesek antara bambu dan klem ($\mu = 0.356$).

Kekuatan sambungan ditentukan oleh komponen sistem sambungan bambu tersebut seperti terlihat pada Gambar 2. Metode analisis kekuatan sambungan yang mempertimbangkan mode kegagalan dapat dilihat pada Persamaan 3 sampai dengan Persamaan 6 berikut.



Gambar 2 Komponen sistem sambungan yang menentukan kekuatan sambungan.

Tipe kegagalan I terjadi apabila kekuatan dukung yang terjadi berlebihan antara baut dan bambu sehingga kekuatan sambungan dapat dihitung dengan Persamaan 3.

$$Z_1 = 2t_m \cdot f_{em} \cdot D + \mu_k \cdot N \dots\dots\dots (3)$$

dengan: t_m = Tebal bambu (mm), f_{em} = Daya dukung bambu (MPa), D = Diameter baut (mm), μ_k = Koefisien sambungan klem, N = Gaya pengencangan baut (N).

Tipe kegagalan II terjadi apabila kekuatan dukung berlebihan yang terjadi antara baut dan pelat buhul sehingga kekuatan sambungan dapat dihitung dengan Persamaan 4.

$$Z_2 = 2t_s \cdot f_{es} \cdot D + \mu_k \cdot N \dots\dots\dots (4)$$

dengan: t_s = Tebal kayu sekunder (mm), f_{es} = Daya dukung kayu sekunder (MPa), D = Diameter baut (mm), μ_k = Koefisien sambungan klem, N = Gaya pengencangan baut (N).

Tipe kegagalan III terjadi apabila tegangan lentur melewati batas elastis sehingga kekuatan sambungan dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$Z_3 = \frac{2t_m \cdot f_{em} \cdot D}{R_t(2+R_e)} \left[\sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{2fy(2+R_e)R_e^2}{3F_{em}(t_m/D)^2}} \right] \dots\dots\dots (5)$$

dengan: t_m = Tebal bambu (mm), f_{em} = Daya dukung bambu (MPa), D = Diameter baut (mm), μ_k = Koefisien sambungan klem, N = Gaya pengencangan baut (N), $R_e = f_{em} / f_{es}$, $R_t = t_m / t_s$

Tipe Kegagalan IV terjadi apabila kekuatan geser baut berlebihan dan menyebabkan terjadinya 2 bidang geser sehingga kekuatan sambungan dapat dihitung dengan Persamaan 6.

$$Z_4 = 2 \left(\frac{1}{4} \pi^2 \right) fy + \mu_k \cdot N \dots\dots\dots (6)$$

dengan: f_y = Tegangan leleh baut (MPa), μ_k = Koefisien sambungan klem, N = Gaya pengencangan baut (N).

f_{em} dan f_{es} yang merupakan kekuatan dukung kayu utama dan samping dapat dihitung dengan Persamaan 7 dan Persamaan 8.

$$F_{e//} = 77.25 G \dots\dots\dots (7)$$

$$F_{e\perp} = 212 G^{1.45} D^{-0.5} \dots\dots\dots (8)$$

dengan: $F_{e//}$ = Kekuatan dukung sejajar serat (MPa), $F_{e\perp}$ = Kekuatan dukung tegak lurus serat (MPa), G = Berat jenis, D = Diameter bambu (mm)

Kuat tumpu dengan sudut θ terhadap serat dapat dihitung dengan Persamaan 9 berikut.

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e//} / F_{e\perp}}{F_{e//} \sin^2 \theta + F_{e\perp} \cos^2 \theta} \dots\dots\dots (9)$$

dengan: θ merupakan sudut yang berhimpitan dengan sejajar serat.

METODE PENELITIAN

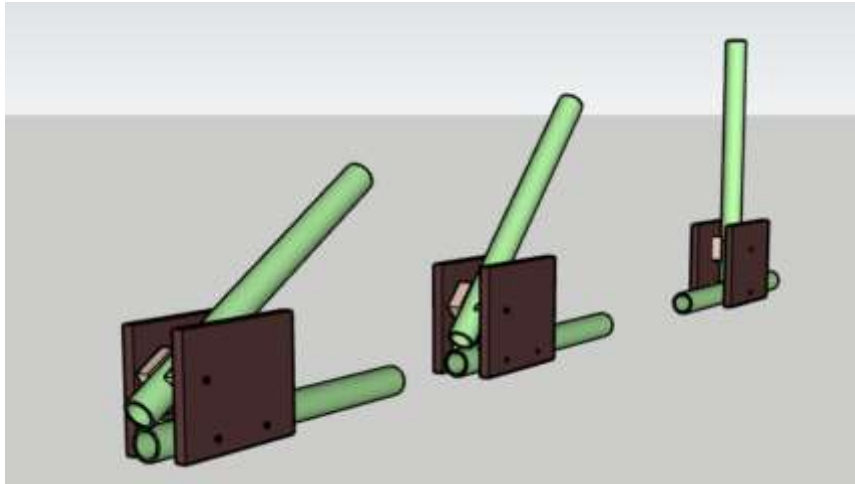
Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu Galah, Plastik Polyethlyne Terphalate (PET), NaOH padat, Xylene, papan keruing, dan baut 12 mm. Peralatan yang digunakan untuk membuat klem adalah wajan, kompor, baskom tahan panas, sikat besi, timbangan digital, oven, parang, belender, ayakan, alat pencetak klem, table saw, dan bor. Sedangkan Peralatan yang digunakan pada proses pengujian adalah loading frame, loadcell, transducer indicator, dial gauge, dan

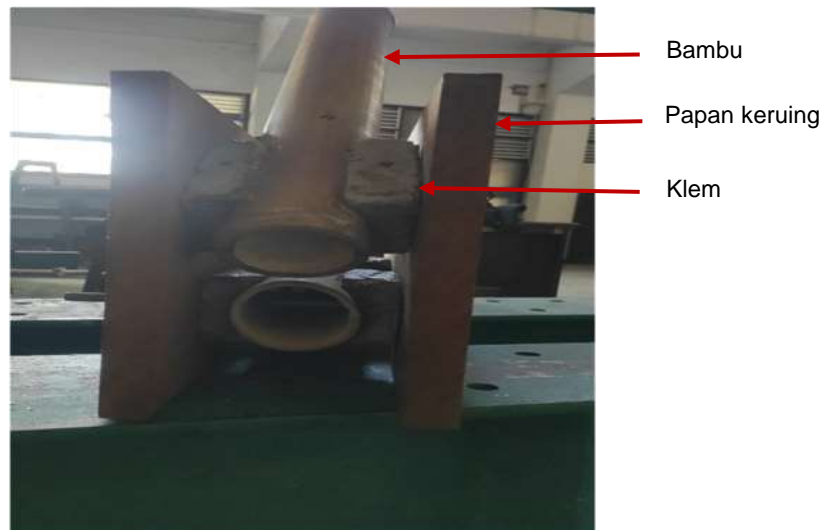
hydraulic jack.

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji sambungan bambu dilakukan dengan terlebih dahulu memilih bambu galah berdiameter ± 80 mm kemudian dipotong sepanjang 250 cm. Selanjutnya perangkaian sambungan menggunakan baut berdiameter 12 mm, pelat buhul papan kayu keruing dan klem. Klem yang digunakan terbuat dari papan partikel berbahan serat bambu dan plastik PET daur ulang yang dicetak dengan bentuk dan ukuran tertentu. Dalam penelitian ini dibuat 3 variasi sudut sambungan yaitu $\alpha=30^\circ$, $\alpha=45^\circ$ dan $\alpha=90^\circ$. Adapun bentuk benda uji seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 berikut.



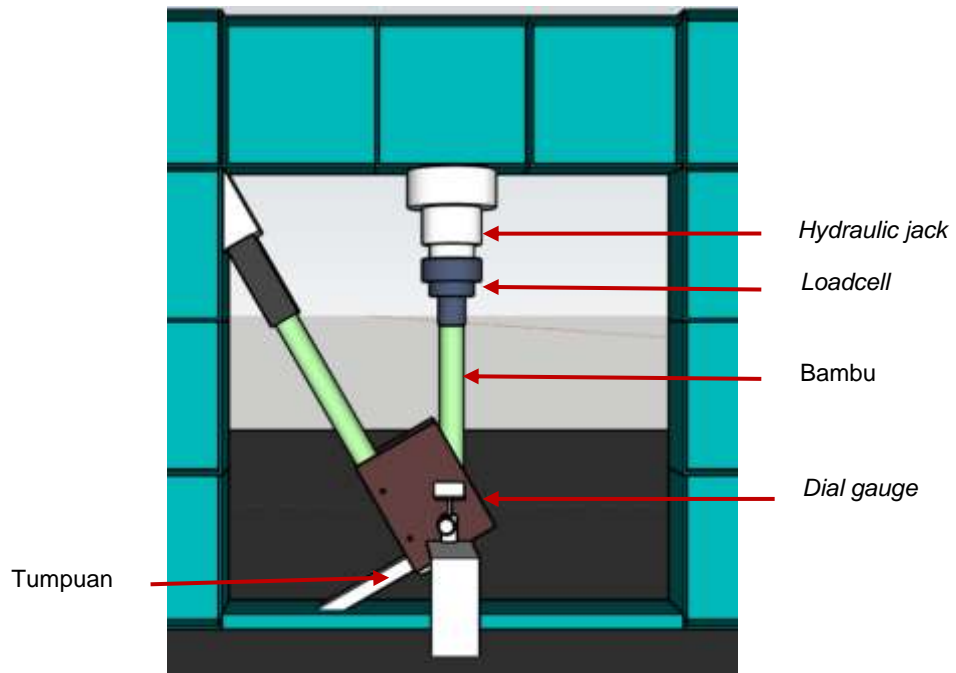
Gambar 3 Benda uji sambungan bambu dengan sudut $\alpha=30^\circ$, $\alpha=45^\circ$ dan $\alpha=90^\circ$.



Gambar 4 Tampak depan sambungan dengan sudut $\alpha=30^\circ$.

Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan pada *loading frame* dengan tumpuannya diletakkan pada *rigid floor* sentris dengan *hydraulic jack* dan *loadcell* seperti terlihat pada Gambar 5 berikut. Pembebanan yang diberikan merupakan beban statis jangka pendek. Beban statis ini didapat dari *hydraulic jack* yang dipompa secara perlahan dan bertahap setiap 10 lbs. Pembacaan beban melalui *transducer indicator* dan deformasi pada sambungan dibaca melalui *dial gauge*.



Gambar 5 Setting-up pengujian tekan sambungan bambu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Pendahuluan.

Pengujian pendahuluan yang dilakukan terhadap bambu Galah yaitu pengujian sifat fisik, sedangkan untuk baut hanya pengujian sifat mekanik berupa uji kuat tarik. Adapun hasil pengujian sifat fisik bambu Galah dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan pengujian kuat tarik baut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 1 Hasil penelitian sifat fisik bambu Galah.

Bagian	Kadar air (%)		Berat jenis
	Bambu segar	Kering udara	
Pangkal	72.97	20.86	0.48
Tengah	46.84	15.82	0.62
Ujung	44.73	14.18	0.88
Rerata	54.85	16.95	0.66

Tabel 2 Hasil pengujian kuat tarik baut

Kode Benda Uji	Tegangan leleh (f_y) (MPa)	Tegangan putus (f_u) (MPa)	Regangan max (%)
Baut 12_1	537	541	12.5
Baut 12_2	528	536	13.3
Baut 12_3	511	513	13.8
Rerata	525.3	530.0	13.2

Berdasarkan Tabel 1 di atas, bambu Galah yang dipakai memiliki nilai kadar air kering udara sebesar 16.95% dan nilai berat jenis sebesar 0,66. Hasil ini menunjukkan bahwa bambu Galah ini merupakan bambu yang dapat dipakai sebagai bahan struktur dimana persyaratan nilai kadar air minimal 19% dan nilai berat jenis bambu minimal 0,6 (Morisco, 1999).

Hasil pengujian kuat tarik baut seperti terlihat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa baut yang digunakan merupakan baut untuk struktural dimana persyaratan tegangan putus minimalnya sebesar 340 MPa. Tegangan putus yang dihasilkan yaitu berkisar sebesar 530 MPa berarti baut tersebut termasuk baja struktural kode mutu BJ₅₀ (Anonim, 2002).

Pengujian Kuat Tekan Sambungan Bambu

Pengujian kuat tekan sambungan dilakukan dengan bantuan *loading frame* dan *hydraulic jack* dengan pemberian beban secara bertahap setiap kenaikan 10 lbs. Adapun hasil pengujian kuat tekan sambungan bambu dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil pengujian tekan sambungan bambu pada variasi sudut gaya

Benda uji	Luas (A) (mm ²)	A _{rerata} (mm ²)	Beban (Z) (kg)	Tegangan (f) (kg/cm ²)	Tegangan (f) (MPa)	f _{rerata} (MPa)	Penurunan (%)
S30-1	859.61		1100.00	1.28	12.8		
S30-2	982.12	902.36	1275.00	1.30	12.98	13.22	-
S30-3	865.34		1200.00	1.39	13.87		
S45-1	954.70		1100.00	1.15	11.52		
S45-2	1147.50	1054.72	1200.00	1.05	10.46	10.80	18.30
S45-3	1061.96		1105.00	1.04	10.41		
S90-1	630.20		650.00	1.03	10.31		
S90-2	585.60	685.70	685.00	1.17	11.70	10.23	22.59
S90-3	841.31		730.00	0.87	8.68		

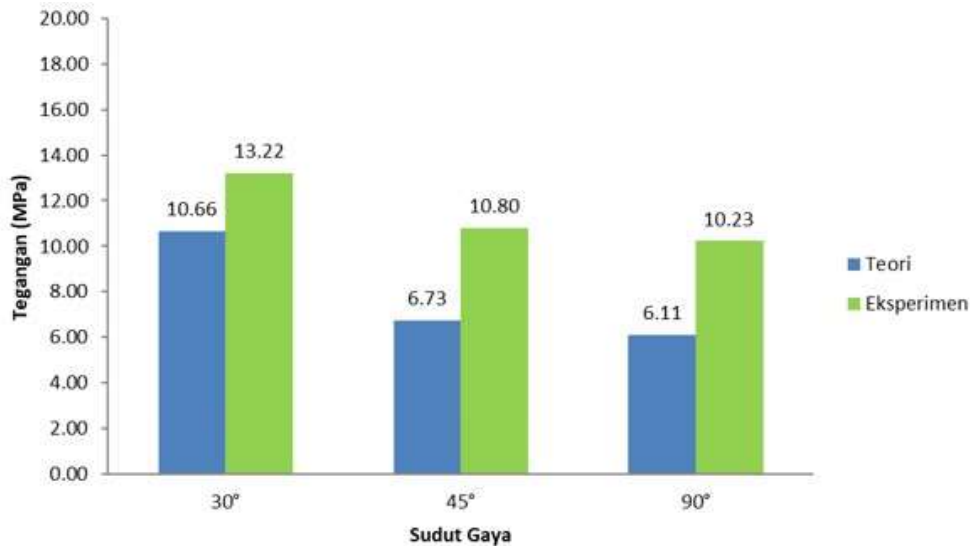
Dari hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa kuat tekan mengalami penurunan seiring dengan bertambah besarnya sudut gaya dari sambungan bambu. Penurunan kuat tekan dari sambungan dengan sudut gaya 30⁰ ke sudut gaya 45⁰ dan 90⁰ masing-masing berkisar sebesar 18.30% dan 22.59%. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya sudut gaya mempengaruhi kekuatan sambungan bambu. Semakin besar sudut gaya pada sambungan maka semakin besar kekuatan sambungan tersebut. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Masdar, dkk (2020), dimana penelitian tersebut mengembangkan sistem sambungan bambu dengan penambahan klem kayu yang dilakukan dengan variasi sudut gaya batang pada sambungan. Pada penelitian tersebut didapatkan penurunan terjadi pada kekuatan sambungan sudut gaya 30° dan 45° masing - masing sebesar 16.80% dan 29.01% dibandingkan dengan kekuatan sambungan pada sudut gaya 0°. Penurunan kekuatan sambungan ini disebabkan karena arah serat bambu tidak sejajar dengan arah gaya sehingga mempengaruhi besarnya kuat tumpu pada bambu.

Hasil pengujian kuat tekan sambungan bambu dengan variasi sudut gaya kemudian dibandingkan dengan persamaan teoritis. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa setiap variasi benda uji memiliki pola kegagalan yang seragam yaitu pola kegagalan tipe I. Tabel 4.4 berikut menyajikan hasil perhitungan secara teoritis dimana tahanan lateral sambungan berdasarkan mode I kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian

Tabel 4 Perbandingan teoritis dan eksperimen

Sudut	t _m (mm)	G	f _{em} (MPa)	D (mm)	A (mm ²)	Z (N)	f _{teoritis} (MPa)	f _{pengujian} (MPa)	Selisih (%)
30 ⁰	9.40	0.66	41.19	12.00	902.36	9615.03	10.66	13.22	19.37
45 ⁰	7.73	0.66	36.58	12.00	1054.72	7103.05	6.73	10.80	37.62
90 ⁰	5.39	0.66	29.89	12.00	685.70	4188.84	6.11	10.23	40.28

Berdasarkan Tabel 4 di atas terlihat bahwa perbedaan hasil antara pengujian kekuatan sambungan bambu dengan hasil perhitungan secara teoritis berkisar 20% sampai dengan 40%. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya nilai faktor keamanan dari persamaan teoritis berkisar sebesar 1.5. Diagram perbandingan hasil pengujian dan perhitungan teoritis disajikan pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 6. berikut.



Gambar 6 Grafik perbandingan hasil pengujian dan perhitungan teoritis

Pola Kegagalan Sambungan.

Pola kegagalan sambungan yang terjadi pada penelitian ini hampir seragam untuk keempat variasi sambungan. Kegagalan ditandai dengan rusaknya dinding lubang disertai bengkoknya baut (Gambar 7). Pola kegagalan semacam ini termasuk pola kegagalan tipe I yaitu terjadinya kekuatan dukung yang berlebihan pada lubang dan batang baut.



Gambar 7 Pola kegagalan pada sambungan bambu

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar sudut gaya mempengaruhi kekuatan sambungan. Kuat tekan sambungan bambu menggunakan klem plastic-serat pada variasi sudut 30⁰, 45⁰, dan 90⁰ berturut-turut sebesar 13.22 MPa, 10.80 MPa, dan 10.23 MPa. Jika dilihat prosentase penurunan kekuatan sambungan dari sudut gaya 45⁰, dan 90⁰ terhadap sudut gaya 30⁰ berturut-turut sebesar 18.30% dan 22.59%. Pola kegagalan yang terjadi pada tiap variasi sambungan bambu adalah pola kegagalan tipe I, hal ini ditandai dengan terjadinya kerusakan pada bambu dan baut yang bengkok.

Saran

Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut tentang penambahan bahan pengisi berupa campuran plastik PET dan serat bambu pada ruas disekitar sambungan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-1729-2002 "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Gedung"*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Masdar, A., Siswosukarto, S., Noviarti, & Suryani, D. (2020). Implementation of Connection System of Wooden Plate and Wooden Clamp on Joint Model of Bamboo Truss Structures. 17(59),. *International Journal of GEOMATE*, 17(59), 15–20. Retrieved from <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/257/1809>

Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., & Sulistyono, D. (2015). The Study of Wooden Clamps for Strengthening of Connection on Bamboo Truss Structure. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 72(4), 97–103. doi:DOI:10.11113/JT.V72.3947

Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.

Septiari, I., Karyasa, I., & Kartowasono, N. (2017). Pembuatan Papan Partikel dari Limbah Plastik Polypropylene (PP) dan Tangkai Bambu. *Jurnal Pendidikan Kimia Undiksha*, 1(1). Retrieved from <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPK/article/view/4027>

Sugiartha, I., Rofaida, A., Rawiana, S., Akmaluddin, & Anshari, B. (2023). Kuat Tarik Sambungan Bambu Pada Berbagai Variasi Ukuran Klem Berbahan Limbah Plastik PET Dan Serbuk Bambu. *Spektrum Sipil*, 10(1), 73–80. Retrieved from <https://spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/view/292>

Sugiartha, I., & Rofaida, A. (2018). Kuat Tarik Sambungan Bambu Celah Berpengisi dengan Alat Sambung Baut pada Berbagai Variasi Jarak Ujung. *Jurnal Sains Terapan*, 4(1), 17-22. Retrieved from <https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jst/article/view/447>