

**KAPASITAS SAMBUNGAN BAMBU MENGGUNAKAN BAUT  
DENGAN VARIASI UKURAN KLEM PLASTIK SERAT**  
*The Utilization of Pumice Powder and Rice Husk Ash as a Substitute for Portland Cement*

**Aryani Rofaida\*, I Wayan Sugiarta\*, Pathurahman\*, Desi Widianty\*,  
Adinda Putri Nevintya\***

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

**Email : [aryanirofaida@unram.ac.id](mailto:aryanirofaida@unram.ac.id), [sugiarta88@gmail.com](mailto:sugiarta88@gmail.com), [pathur66@unram.ac.id](mailto:pathur66@unram.ac.id),  
[widiantydesi@unram.ac.id](mailto:widiantydesi@unram.ac.id), [adindanevin@gmail.com](mailto:adindanevin@gmail.com)**

Manuscript received: 31 Januari 2024

Accepted: 11 Maret 2024

**Abstrak**

*Bambu sebagai bahan konstruksi masih terbatas karena bambu memiliki kuat geser sejajar serat yang lemah, apabila bambu disambung menggunakan alat sambung baut, paku atau pasak akan mudah pecah. Salah satu alternatif untuk meningkatkan sambungan bambu adalah dengan menambahkan klem dan plat buhul kayu. Pengaruh variasi ukuran klem kayu terhadap kekuatan sambungan bambu telah dilakukan sebelumnya. Namun, harga kayu relatif lebih mahal, sehingga diperlukan bahan pengganti dengan harga yang lebih murah dan memiliki kualitas yang tidak jauh berbeda. Papan partikel berbahan serat bambu dan plastik PET dapat menjadi alternatif pengganti klem kayu. Adapun tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi ukuran klem plastik serat terhadap kekuatan sambungan bambu. Penelitian ini menggunakan bambu Galah, klem plastik serat, dan plat buhul yang disambung menggunakan baut berdiameter 12 mm dan dikencangkan menggunakan torsiometer dengan kekencangan 0,8 kgf atau setara dengan gaya pengencangan 2830 N. Dibuat 3 variasi ukuran klem, yaitu 90°, 100°, dan 110° serta 1 variasi tanpa klem sebagai pembanding, tiap variasi terdiri dari 3 benda uji. Selanjutnya benda uji sambungan bambu diuji menggunakan bantuan loading frame dan diberi beban secara bertahap menggunakan hydraulic jack hingga sambungan mengalami kegagalan. Hasil pengujian menunjukkan kuat tarik rata-rata sambungan bambu dengan variasi ukuran klem 90°, 100°, 110° dan tanpa klem sebesar 10,72 MPa, 11,08 MPa, 10,01 MPa dan 8,75 MPa. Kekuatan tarik yang paling optimal terdapat pada sambungan bambu dengan variasi ukuran klem 100° dengan peningkatan kekuatan yang tidak terlalu signifikan, yaitu sebesar 26,63%. Sambungan bambu dengan klem plastik serat mampu menghasilkan kekuatan sambungan yang setara dengan sambungan bambu dengan klem kayu.*

*Kata kunci : Kapasitas sambungan, Sambungan bambu, Baut, Klem plastik serat.*

**PENDAHULUAN**

Penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi bangunan memiliki kendala, karena bentuk bambu yang bulat dan berongga menyebabkan bambu mempunyai kuat geser sejajar seratnya yang lemah sehingga bambu yang disambung menggunakan baut akan mudah pecah. Upaya untuk meningkatkan kekuatan sambungan bambu dilakukan dengan menambahkan pelat dan klem.

Masdar, dkk (2013) telah mengembangkan sistem sambungan tanpa bahan pengisi dengan menambah klem kayu dan pelat yang disambung menggunakan baut untuk meningkatkan kekuatan pada sambungan bambu. Namun, semakin langkanya pohon terutama pohon dengan kualitas yang baik menyebabkan harga kayu menjadi relatif lebih mahal, sehingga diperlukan bahan pengganti dengan harga yang lebih murah namun memiliki kualitas yang tidak jauh berbeda. Papan partikel berbahan serat bambu dan plastik PET dapat menjadi alternatif pengganti klem kayu.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Masdar, dkk (2013) digunakan klem dengan 3 variasi ukuran

sudut cincin, yaitu 60°, 90° dan 120°. Secara teori semakin besar sudut yang digunakan maka akan semakin baik. Namun, dari penelitian tersebut didapatkan bahwa klem dengan sudut cincin 90° adalah yang paling optimal. Hal ini terjadi karena penampang bambu tidak berbentuk lingkaran sempurna sehingga area kontak antara bambu dan klem tidak selalu optimal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dikaji lebih lanjut bagaimana pengaruh variasi ukuran klem plastik serat terhadap kekuatan sambungan bambu dengan alat sambung baut. Diharapkan dengan harga yang relatif lebih ekonomis, sambungan bambu dengan menggunakan klem plastik serat dapat menghasilkan kekuatan yang sebanding dengan sambungan bambu apabila menggunakan klem kayu dan dapat berfungsi lebih optimal.

## TINJAUAN PUSTAKA

Masdar, dkk (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh klem kayu terhadap kekuatan sambungan. Digunakan 3 variasi ukuran sudut cincin klem, yaitu 60°, 90° dan 120°. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan peningkatan kekuatan sambungan dengan ukuran sudut cincin klem 60° sampai 90° sekitar 30%, sedangkan dari sudut 90° sampai 120° hanya sebesar 10%. Sehingga klem yang paling optimal didapatkan pada klem dengan ukuran sudut cincin 90°.

Masdar, dkk (2015) juga melakukan penelitian yang sama menggunakan klem dengan sudut cincin 90°. Didapatkan penggunaan klem kayu sangat berpengaruh terhadap kekuatan sambungan. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pada kekuatan sambungan sekitar 40% pada sistem sambungan menggunakan klem kayu dibandingkan dengan sistem sambungan tanpa menggunakan klem kayu.

Rizki (2021) melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik PET dan serat bambu dalam pembuatan papan partikel. Didapatkan hasil papan terbaik pada komposisi serbuk bambu dan plastik PET 40:60, dengan MOR 90.705 Kgf/cm<sup>2</sup>, MOE 841.514 Kgf/cm<sup>2</sup>, keteguhan rekat 3.524 Kgf/cm<sup>2</sup>, dan kuat tarik 73.852 Kgf. Hasil tersebut telah memenuhi standar SNI 03-2105-2006, kecuali MOE yang belum memenuhi standar.

### Bambu Galah

Bambu galah (*Gigantochloa atter*) atau bambu ater dapat tumbuh di dataran rendah sampai dataran tinggi dengan ketinggian 750 m di atas permukaan laut. Kulit batang berwarna hijau sampai hijau gelap. Dapat tumbuh hingga 22 m, panjang ruas 40-50 cm, diameter 5-10 cm, tebal dinding 8 mm (Morisco, 1999).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2020) didapatkan kadar air segar bambu galah sebesar 176,21%, kadar air kering udara sebesar 14,43%, berat jenis segar sebesar 0,40, berat jenis kering udara sebesar 0,54 dan berat jenis kering tanur sebesar 0,51.

Adapun hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999), bambu galah memiliki kuat tarik tanpa buku sebesar 2.530 kg/cm<sup>2</sup>, kuat tarik dengan buku sebesar 1.240 kg/cm<sup>2</sup>, kuat tarik pada pangkal sebesar 1.920 kg/cm<sup>2</sup>, kuat tarik pada bagian tengah sebesar 3.350 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik pada bagian ujung sebesar 2.324 kg/cm<sup>2</sup>.

### Papan Partikel

Papan partikel atau papan serat merupakan salah satu jenis komposit yang terbuat dari partikel-

partikel kayu atau partikel lainnya yang diikat dengan perekat atau bahan perekat lainnya. Bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bentuk partikel dari komposit partikel dapat berbentuk bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk tidak beraturan, namun memiliki dimensi rata-rata sama. Sedangkan bahan komposit serat dapat berupa serat panjang (*continuous fiber*) dan serat pendek (*short fiber* atau *whisker*).

### Plastik PET

Secara umum plastik PET bersifat tahan lama, kuat, ringan dan mudah dibentuk saat suhu panas. Adapun sifat fisika dan mekanik PET dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1** Sifat-sifat PET secara umum

Sifat Fisika dan Mekanik	Nilai/satuan
Spesifik gravity	1,3
Tensile	48-72 (MPa)
Modulus elastis	2760-4140 (MPa)
Elongasi	50-300%
Kekuatan tekan	76-103 (MPa)
Kekuatan fleksur	96 – 124 (MPa)
Kekuatan impak	0,14 – 124 (MPa)
Titik leleh	265 °C
Suhu transisi glass	69 °C
Density	1,41 gr/cm <sup>2</sup>

Sumber: Stevens (1989) dalam Anang (2017)

### Keruing

Di Indonesia, keruing atau *Dipterocarpus* banyak ditemukan di Kalimantan, Sumatera, dan Jawa. Keruing berwarna merah kecokelat- cokelatan dengan serat yang lurus dan permukaan kayunya yang sedikit licin dan juga lengket sehingga terlihat mengkilap. Panjang cabangnya dapat mencapai 35 cm dengan tinggi 50 mdan diameter mencapai 120 cm.

Kapasitas tekan sejajar serat kayu keruing adalah 43,63 MPa, kapasitas tarik sejajar serat 143,27 MPa, kapasitasgeser sejajar serat 9,46 MPa, kapasitas lentur 97,814 MPa dan elastisitas 10878,43 MPa. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, kayu keruing dapat diklasifikasikan pada kelas kuat II. Jika mengacu pada SNI3 2002, kayu keruing dapat diklasifikasikan Mutu E26, meskipun jika ditinjau dari segi elastisitas bahan termasuk Mutu E11 (Dewi, 2013).

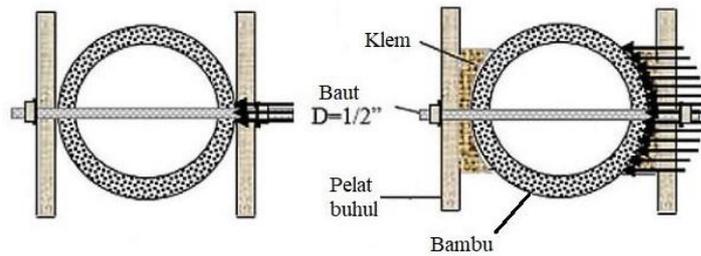
### Alat Sambung Baut

Dalam struktur kayupenyambungan sering dilakukan dengan baut atau pasak. Penggunaan baut sebagai alat sambung umumnya berfungsi untuk mendukung bebantegak lurus sumbu panjangnya. Oleh karena itu, sambungan baut sangat cocok untuk untuk diaplikasikan pada batang rangka yang memikul gaya tarik maupun gaya tekan. Adapun persyaratan jarak penempatan baut yangtelah diatur dalam SNI 7973:2013. Didapatkan bahwa gaya pengencangan baut sebesar 2830 N adalah yang paling optimal dan direkomendasikan untuk digunakan pada sambungan bambu dengan klem kayu.

### Kekuatan Sambungan Bambu

Bambu mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi tetapi lemah terhadap geser. lem berfungsi

untuk meratakan tegangan pada daerah sekitar lubang baut dan meningkatkan kontribusi terhadap kemampuan geser pada sambungan serta memperluas bidang kontak antara bambu dan pelat buhul sehingga gaya pengencangan yang diberikan tidak terkonsentrasi pada lubang baut dan sambungan menjadi lebih kuat seperti yang terlihat pada Gambar 1.



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

Koefisien gesek/friksi antara bambu dan klem kayu memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekuatan sambungan (Masdar, 2018). Hal ini dijelaskan dalam Persamaan 1 dan Persamaan 2.

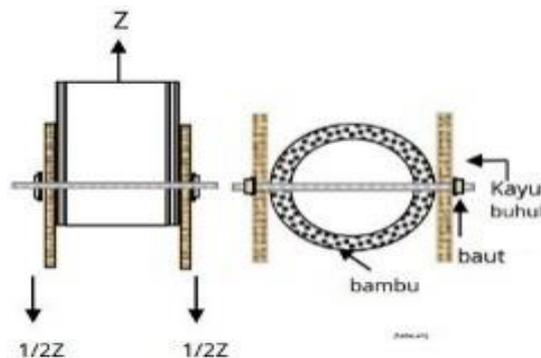
$$P_{klem} = \mu_k \cdot N \dots\dots\dots (1)$$

Menurut Masdar (2017), selain komponen sistem sambungan seperti bambu, pelat buhul kayu, klem kayu dan baut, gaya pengencangan baut juga berpengaruh terhadap kekuatan sambungan. Dalam penelitiannya digunakan 3 variasi pengencangan yaitu 0,5 kgf, 0,8 kgf dan 1 kgf atau setara:

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

dengan  $P_{klem}$  merupakan besarnya peningkatan kekuatan sambungan,  $N$  merupakan gaya pengencangan baut,  $\alpha$  merupakan sudut bukaan klem,  $\mu_k$  merupakan koefisien sambungan klem kayu,  $\mu$  merupakan koefisien gesek antara bambu dan klem kayu, dimana berdasarkan penelitian Masdar (2018) nilai  $\mu = 0,356$ .

Apabila pengaruh klem ditambahkan dalam sistem sambungan, maka kekuatan sambungan bambu dan tipe kegagalan dapat diperkirakan dari persamaan - persamaan berikut yang ditentukan oleh komponen sistem sambungan bambu seperti yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2** Komponen sistem sambungan yang menentukan kekuatan sambungan

Kegagalan Tipe I terjadi bila kekuatan dukung yang terjadi berlebihan antara baut dan bambu. Dalam hal ini kekuatan sambungan dapat diperoleh dari Persamaan 3.

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

dengan  $t_m$  adalah tebal batang utama (bambu),  $f_{em}$  adalah kekuatan dukung sejajar serat (bambu), dan

D adalah diameter baut.

Kegagalan Tipe II terjadi bila kekuatan dukung yang terjadi berlebihan antara baut dan pelat buhul. Dalam hal ini, kekuatan sambungan dapat diperoleh dari Persamaan 4.

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

dengan  $t_s$  adalah ketebalan bagian samping (pelat buhul kayu),  $f_{es}$  adalah kekuatan dukung sejajar serat pelat buhul kayu, dan D adalah diameter baut. Kegagalan Tipe III terjadi ketika tegangan lentur pada baut melebihi batas elastis. Dalam hal ini kekuatan sambungan dapat diperoleh dari Persamaan 5.

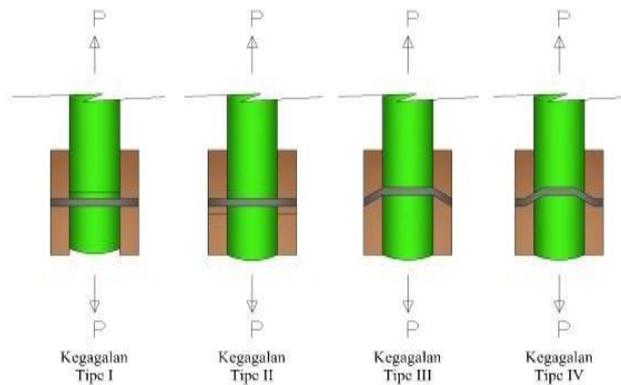
$$Z_3 = \frac{2t_m f_{em} D}{R_t (2 + R_e)} \left[ \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R} + \frac{2f_y (2 + R_e) R_e^2}{3f_{em} (t_m / D)^2} - 1} \right] + \mu k \cdot N \dots\dots\dots (5)$$

Kegagalan tipe IV disebabkan oleh kekuatan geser baut yang terlampaui, sehingga terjadi 2 bidang geser pada baut. Kegagalan sambungan jenis ini dapat diperoleh dengan Persamaan 6.

$$Z_4 = 2 \left( \frac{1}{4} \pi D^2 \right) f_y + \mu k \cdot N \dots\dots\dots (6)$$

dengan  $R_e = f_{em} / f_{es}$ ;  $R_t = t_m / t_s$ ; dan  $f_y$  = kuat leleh baut.

Pola kegagalan sambungan bambu dengan alat sambung baut, dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3 Pola kegagalan sambungan

**METODE PENELITIAN**

**Alat Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji, yaitu alat pencetak klem, kompor gas, meteran, jangka sorong, timbangan digital, wajan, ember, parang, blender, palu, borlistrik, dan table saw. Adapun alat-alat yang digunakan dalam pengujian, yaitu load frame, load cell, hydraulic jack, tranduscer indicator, dan dial gauge.

**Bahan Penelitian**

Bahan- bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu galah yang diperoleh dari Gunung Sari, Lombok Barat dengan diameter ±80 mm, plastik PET dari limbah botol plastik, baut

berdiameter 12 mm dengan panjang 250 mm, pelat buhul dari kayu keruing dengan tebal 30 mm, NaOH padat dan *Xylene*.

## **Pelaksanaan Penelitian**

### ***Tahap Persiapan***

Pada tahap ini dilakukan persiapan berupa pengadaan alat dan bahan yang diperlukan pada saat pengujian, seperti bambu galah, plastik PET, baut, plat buhul kayu, dan lain-lain.

### ***Pembuatan Klem***

Klem yang digunakan adalah klem yang terbuat dari papan partikel berbahan serat bambu dan plastik PET sebagai perekat. Pembuatan serat bambu diawali dengan pemotongan bambu dengan menghilangkan buku dan kulit luarnya, kemudian bambu dibelah strip dengan ketebalan 1-2 mm. Strip bambu dalam larutan NaOH dengan perbandingan air dan NaOH 20:1 selama 2 jam untuk menghilangkan lignin pada bambu dibilas hingga bersih dari NaOH. Bambu dipukul dengan palu dan dicacah menggunakan parang agar seratnya terpisah, kemudian dihaluskan dengan blender sehingga berbentuk serat halus. Serat bambu dijemur di bawah sinar matahari selama kurang lebih 3 hari untuk mengurangi kadar airnya. Untuk pembuatan perekat, botol PET dipotong dengan ukuran 3cm x 3 cm, kemudian dibersihkan dari kotoran yang masih menempel.

Setelah semua bahan siap, bambu dan plastik ditimbang dengan perbandingan berat 10:90. Plastik PET dicairkan dengan menggunakan wajan dan kompor, kemudian ditambahkan larutan xylene dengan perbandingan berat 10:1 lalu dicampur hingga homogen. Serat bambu dimasukkan pada campuran plastik dan dicampur hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan selagi masih panas. Adapun cetakan klem dapat dilihat pada Gambar 4 dan bentuk klem pada Gambar 5.



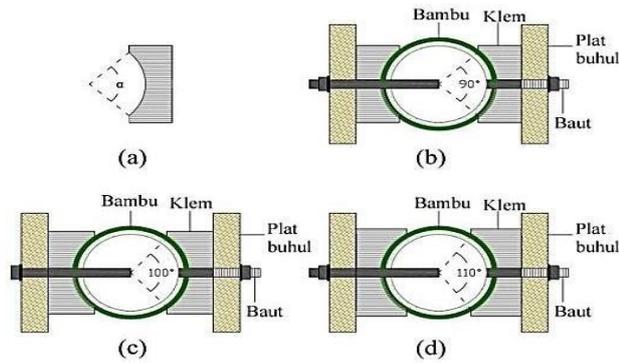
**Gambar 4** Cetakan Klem



**Gambar 5** Klem

### ***Pembuatan Benda Uji***

Benda uji sambungan bambu yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bambu galah (*Gigantochloaatter*) berdiameter  $\pm 80$  mm yang disambung menggunakan baut berdiameter 12,2 mm dengan panjang 250 mm, pelat buhul kayu keruing (*Dipterocarpus*) dan klem plastik serat. Dalam penelitian ini digunakan 3 variasi ukuran klem yang dibuat berdasarkan ukuran sudut cincin, yaitu  $\alpha=90^\circ$ ,  $\alpha=100^\circ$  dan  $\alpha=110^\circ$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



**Gambar 6** (a) Variasi sudut cincin ( $\alpha$ ) klem; (b) Sudut klem 90°; (c) Sudut klem 100°; (d) Sudut klem 110°.

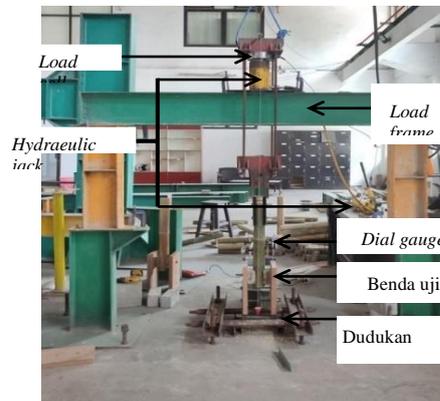
Dipilih bambu galah dengan diameter luar  $\pm 80$  mm, berusia 3-5 tahun, memiliki kondisi yang baik, tanpa cacat maupun retakan. Bambu dipotong dengan panjang  $\pm 70$  cm, dengan nodia terletak  $\pm 35$  cm dari tepi bentang menggunakan gergaji mesin. Selanjutnya titik-titik join sambungan dibor dengan bantuan bor listrik. Lubang dibuat lebih besar 1 mm dari diameter baut yang digunakan. Kemudian benda uji yang terdiri daribambu, klem, dan plat buhul yangdisambung menggunakan baut dan dikencangkan menggunakan torsi meter dengan kekencangan 0.8 kgf. Adapun variasi dan jumlah masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2** Jenis dan jumlah benda uji

No	Jenis Benda Uji	Variasi	Jumlah
1	Sambungan tanpa klem	-	3
2	Sambungan dengan variasiukuran klem	90°	3
		100°	3
		110°	3
Total			12

**Pengujian Benda Uji**

Pengujian dilakukan dengan alat *loading frame*. Benda uji diletakkan pada dudukannya dan dijepit agar tidak bergeser ketika pembebanan berlangsung. Benda uji dipastikan dalam posisi yang simetris terhadap sumbu bahan uji agar gaya tarik bekerja tepat pada sasaran. Pada bagianudukan, bambu dikencangkan dengan dua buah baut, ini dimaksudkan agar kegagalan yang terjadi hanya pada sambungan saja. Benda uji ditarik menggunakan *hydraulic jack* dan untuk mengetahui beban yang diberikan digunakan *load cell*. Pertambahan panjang benda uji dicek dengan menggunakan *dial guage*. Adapun *setting up* pengujian kuat tarik sambungan bambu dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



**Gambar 7** Setting up pengujian tarik

## HASIL DAN PEMBAHASAN

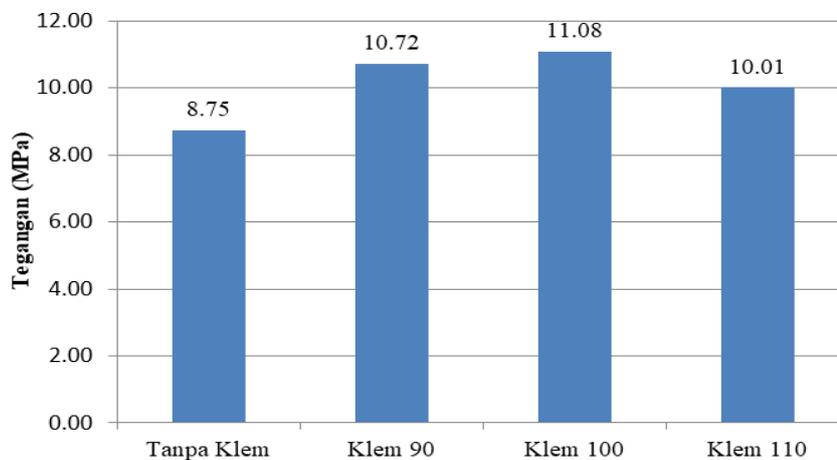
### Hasil pengujian kekuatan tarik sambungan dengan variasi ukuran klem

Pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran klem plastik serat terhadap kekuatan sambungan pada saat mengalami kegagalan, baik bambu pecah, baut, bengkok, klem pecah, maupun pelat buhul pecah. Diameter dan ketebalan bambu yang digunakan berbeda-beda, untuk mendapatkan hasil yang objektif maka digunakan nilai tegangan. Hasil pengujian kekuatan tarik maksimal rata-rata sambungan dengan variasi ukuran klem dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Hasil pengujian kuat tarik sambungn dengan variasi ukuran klem

Variasi Benda Uji	D (mm)	T (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	$\sigma$ (MPa)	Tegangan rerata	Kenaikan (%)
Tanpa Klem	79.27	8.50	1002.05	8001.36	7.98	8.75	-
	79.76	8.70	1030.96	9112.66	8.84		
	77.80	8.80	1015.02	9557.18	9.42		
Klem 90°	78.00	7.50	875.09	10668.48	12.19	10.72	22.53
	79.00	1.10	909.32	9387.81	10.32		
	80.10	7.70	922.63	8890.40	9.64		
Klem 100°	79.15	6.30	752.40	7779.10	10.34	11.08	26.63
	78.45	6.80	801.96	8445.88	10.53		
	78.83	6.83	809.42	10001.70	12.36		
Klem 110°	78.00	1.50	875.09	9557.18	10.92	10.01	14.40
	80.00	7.20	864.41	8053.05	9.32		
	82.00	7.00	863.50	8445.88	9.78		

Peningkatan sambungan bambu dengan ukuran klem 90° sampai sambungan bambu dengan variasi ukuran klem 100°. Kemudian mengalami penurunan pada sambungan bambu dengan variasi ukuran klem 110°. Besar tegangan maksimum rata rata yang mampu diterima oleh masing masing sambungan bambu dengan variasi tanpa klem, klem 90°, klem 100°, dan klem 110° berturut-turut sebesar 8,75 MPa, 10,72 MPa, 11,08 MPa dan 10,01 MPa. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan ukuran sudut cincin klem mempengaruhi kekuatan tarik sambungan bambu namun semakin besar sudut cincin klem yang digunakan tidak selalu menghasilkan kekuatan sambungan yang lebih besar juga. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Masdar (2013), dimana pada penelitian tersebut kekuatan sambungan meningkat pada sambungan menggunakan klem dengan ukuran sudut cincin 60° sampai 90° kemudian menurun pada sudut cincin 120°. Berikut perbandingan kekuatan sambungan tiap variasi yang dapat dilihat pada Gambar 8.

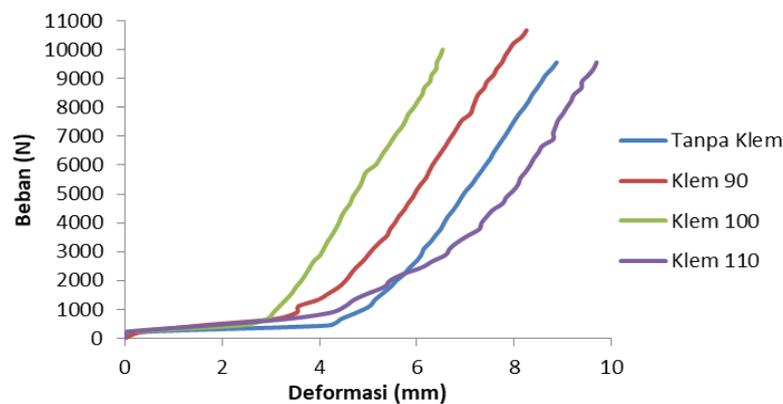


**Gambar 8** Diagram perbandingan kekuatan sambungan tiap variasi

Berdasarkan Gambar 8 terlihat bahwa kekuatan tarik sambungan bambu mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan yaitu hanya mencapai 26,63% lebih tinggi dari variasi sambungan bambu tanpa klem dengan peningkatan tertinggi pada sambungan bambu dengan variasi ukuran sudut cincin klem 100°. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain karena bentuk permukaan bambu yang tidak berbentuk bulat sempurna dan sangat sulit menemukan ukuran bambu yang sama. Oleh karena itu, klem tidak dapat terpasang dengan sempurna pada permukaan bambu sehingga tegangan yang diberikan tidak dapat terdistribusi secara merata. Selain itu, penggunaan plastik pada klem menyebabkan permukaan klem menjadi licin sehingga tegangan gesek antara bambu dan klem tidak terlalu memberikan kontribusi pada peningkatan kekuatan sambungan. Faktor lainnya adalah sulitnya membuat lubang baut yang presisi sehingga komponen benda uji tidak selalu terpasang secara optimal.

### Hubungan kekuatan sambungan dengan variasi ukuran klem dan sesaran

Dari Gambar 9 terlihat bahwa pola sesaran yang terjadi pada tiap variasi hampir sama. Dari variabel beban dan sesaran diperoleh hubungan yang linier seperti terlihat pada Gambar 9.



**Gambar 9** Grafik hubungan beban dan deformasi.

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat deformasi 0 sampai 1 mm merupakan deformasi awal, dimana baut masih menyesuaikan posisi kerana lubang baut dibuat lebih besar 1 mm dari diameter baut yang digunakan. Selanjutnya pada 1 mm sampai 3 mm, komponen-komponen pada sistem sambungan masih menyesuaikan posisi sehingga pada tahap ini hanya terdapat tegangan geser. Pada deformasi 3 mm, sambungan mengalami fase peralihan elastis ke plastis, dimana sistem sambungan mulai melakukan perlawanan terhadap gaya tarik dan pada tahap ini terjadi tegangan tumpu dan geser. Untuk deformasi selanjutnya sambungan mulai plastis, dimana serat bambu mulai bergeser dan baut mulai bengkok. Beban terus diberikan hingga sambungan mengalami kegagalan dan mencapai deformasi maksimum.

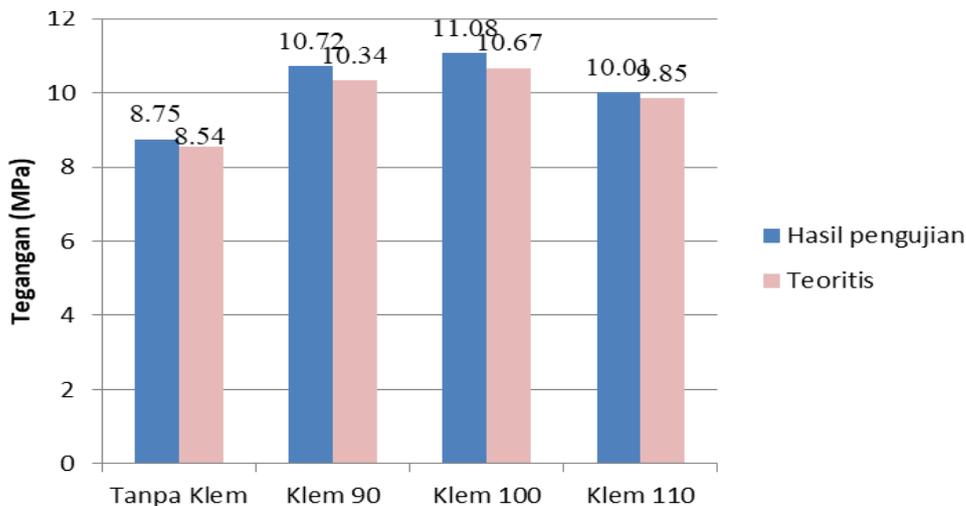
Deformasi semakin meningkat seiring dengan pertambahan beban. Dari hasil tersebut menunjukkan perilaku sambungan dipengaruhi oleh beban dan ukuran sudut cincin klem, namun semakin besar ukuran sudut cincin klem tidak selalu menghasilkan deformasi yang lebih rendah. Adanya klem dapat mengurangi kekakuan sambungan dengan deformasi terendah didapatkan pada sambungan bambu dengan ukuran klem 100°. Perbandingan hasil pengujian dengan rumus teoritis Kekuatan tarik sambungan yang diambil adalah kekuatan ketika bambu mengalami kegagalan, baik dalam keadaan bambu pecah, baut bengkok, klem pecah ataupun plat buhul pecah. Berdasarkan

pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa setiap variasi memiliki pola kegagalan yang sama yaitu pola kegagalan tipe I, Perbandingan hasil pengujian dengan rumus teoritis dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 4** Perbandingan hasil pengujian dan rumus teoritis

No.	Variasi Klem	Hasil Pengujian (MPa)	Rerata (MPa)	Teoritis (MPa)	Rerata Teoritis (MPa)	T/P (%)
1	Tanpa Klem	7.98	8.75	8.49	8.54	97.64
		8.84		8.45		
		9.42		8.68		
2	Klem 90°	12.19	10.72	10.73	10.34	96.48
		10.32		10.22		
		9.64		10.07		
3	Klem 100°	10.34	11.08	10.72	10.57	96.37
		10.53		10.68		
		12.36		10.62		
4	Klem 110°	10.92	10.01	10.08	9.85	98.49
		9.32		9.85		
		9.78		9.63		

Berdasarkan hasil perhitungan seperti yang terlihat pada Tabel 6 terlihat perbedaan hasil antara pengujian kekuatan sambungan bambu dengan hasil perhitungan secara teoritis. Perbedaan ini terjadi karena rumus yang digunakan merupakan rumus pendekatan untuk penelitian sambungan bambu yang masih menggunakan klem berbahan kayu. Selain itu, data bambu yang digunakan merupakan data sekunder juga mempengaruhi hasil perhitungan teoritis tersebut. Diagram perbandingan hasil pengujian dan rumus teoritis dapat dilihat pada Gambar 10.



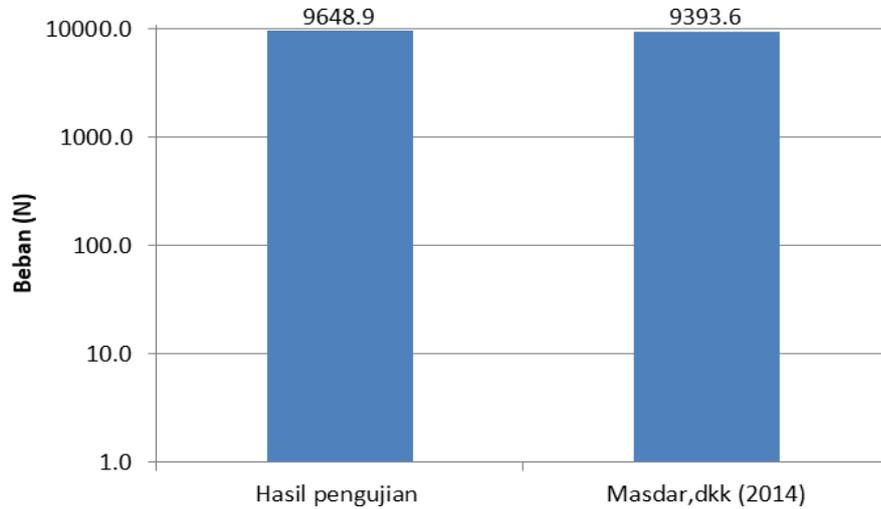
**Gambar 10** Diagram perbandingan hasil pengujian dan rumus teoritis

**Perbandingan hasil pengujian dengan penelitian terdahulu**

Masdar,dkk (2013). Pada penelitian tersebut variasi ukuran klem yang digunakan adalah 60°, 90° dan 120°. Untuk membandingkan hasil penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Masdar,dkk (2013) diambil sambungan bambu dengan variasi klem 90°, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 11.

Berdasarkan Gambar 11 terlihat terdapat perbedaan antara hasil pengujian dengan hasil penelitian Masdar, dkk (2013). Pada penelitian ini didapatkan hasil yang sedikit lebih tinggi dari hasil penelitian yang dilakukan Masdar,dkk (2013).Perbedaan hasil ini disebabkan oleh jenis klem yang digunakan

pada penelitian ini adalah klem berbahan plastik serat sedangkan pada penelitian Masdar,dkk (2013) menggunakan kayu. Hal ini menunjukkan bahwa sambunganbambu dengan klem plastik serat mampu menghasilkan kekuatan sambungan yang setara dengan sambungan bambu dengan klem kayu. Jika dibandingkan dari segi biaya, penelitian ini jauh lebih ekonomis karena menggunakan limbah plastik danserat bambu sebagai bahan pembuatan klem. Sedangkan jika digunakan kayu akan membutuhkan biaya yang lebih besar karena harga kayu yang relatif mahal terutama untuk kayu dengan kualitas yang baik.



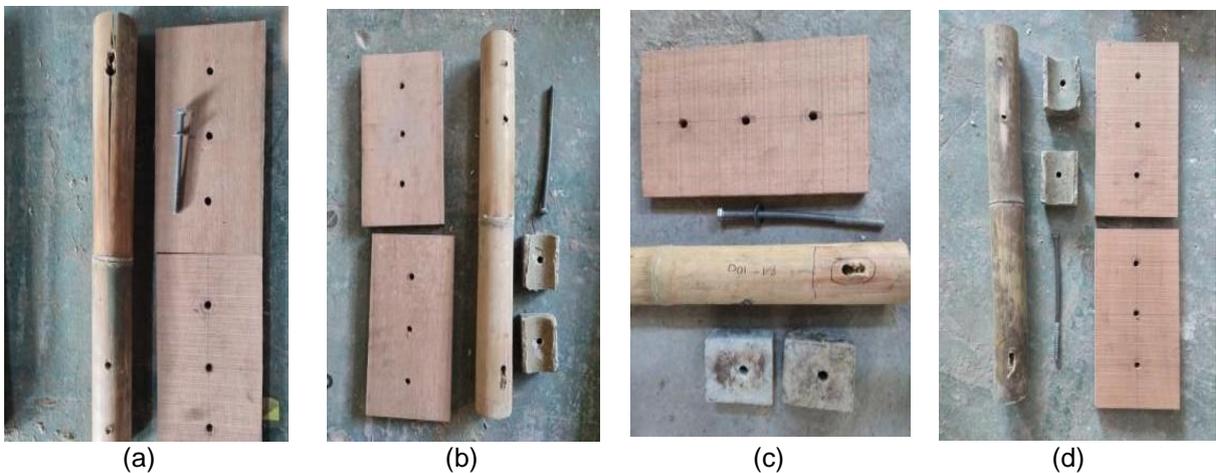
**Gambar 11** Diagram perbandingan hasil pengujian dengan peneltian terdahulu

**Pola kegagalan sambungan bambu dengan variasi ukuran klem**

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada keempat variasi sambungan benda uji didapatkan pola kegagalan tipe I. Kegagalan Tipe I terjadi apabila kekuatan dukung yang berlebihan pada bambu dan baut. Adapun pola kegagalan sambungan tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

**Tabel 5** Pola kegagalan benda uji tiap variasi

No.	Variasi Klem	Tipe Kegagalan	Pola Kegagalan
1	Tanpa Klem	I	Bambu pecah dan baut bengkok
2	Klem 90°	I	Bambu rusak dan baut bengkok
3	Klem 100°	I	Bambu rusak dan baut bengkok
4	Klem 110°	I	Bambu rusak dan baut bengkok



**Gambar 12** Pola kegagalan sambungan; (a) tanpa klem; (b) klem 90°; (c) klem 100°; (d) klem 110°.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari hasil analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ukuran sudut cincin klem mempengaruhi kekuatan tarik sambungan bambu, namun semakin besar sudut cincin klem yang digunakan tidak selalu menghasilkan kekuatan sambungan yang lebih besar juga. Terdapat adanya peningkatan yang tidak terlalu signifikan yaitu sekitar 26% pada sambungan menggunakan klem dibanding sambungan tanpa klem.
2. Klem dengan sudut cincin 100° adalah yang paling optimal dan direkomendasikan untuk digunakan pada sambungan bambu dengan kapasitas tarik mencapai 11 MPa.
3. 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

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan, diajukan disarankan agar pada saat pemilihan bambu diusahakan diameter dan ketebalan bambu yang digunakan seragam sehingga hasil yang didapatkan lebih optimal. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengaplikasikan sistem sambungan dengan klem plastik serat pada sambungan kuda-kuda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2008). *Petunjuk Praktis Sifat- Sifat Dasar Jenis Kayu Indonesia*. Indonesian Sawmill And Woodworking Association (ISWA).
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 7973:2013 Spesifikasi Desain Untuk Kontruksi Kayu*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Dewi, S. H. (2013). Sifat Mekanik Kayu Keruing untuk Konstruksi. *Jurnal Sainstis*, 13(1), 83-87.
- Lestari, A. T., & Wulandari, F. T. (2020). Sifat Fisika Bambu Galah (*Gigantochloa Atter*) Berdasarkan Arah Aksial Di Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat. *Perennial*, 16(2), 47-52. Retrieved from <https://journal.unhas.ac.id/index.php/perennial/article/view/9526>
- Masdar, A., Noviarti, & Suryani, D. (2018). Penentuan Koefisien Gesek pada Sistem Sambungan Bambu dengan Klos Kayu. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12* (pp. 109-115). Batam: Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., & Sulisty, D. (2013). Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., & Sulisty, D. Development of Connection System Bamboo Truss Structure. *Proceeding the "4th International Conference on Sustainable Future for Human Security*. Kyoto Japan: Sustain Society.
- Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., & Sulisty, D. (2015). The Study of Wooden Clamps for Strengthening of Connection on Bamboo Truss Structure. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 72(5), 97-103.
- Masdar, A., Suhendro, B., Siswosukarto, S., & Sulisty, D. (2017). Influence of Bolt Tightening's Force to the Strength of Cennetion System of Bamboo Truss Structure with Wooden Clamp. *Procedia Engineering*, 171, 1370-1376.
- Morisco. (1999). *Rekayasa Bambu*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Rizki, M. K. (2022). *Pemanfaatan Limbah Plastik Polyethlyne Terphalate (PET) dan Serat Bambu Dalam Pembuatan Papan Partikel*. Mataram: Universitas Mataram.
- Subardi, A., Sujana, W., Sibut, & Widi, K. (2017). Peran Abu Sekam Padi Pada Komposit Polimer Jenis PET. *Jurnal FLYWHEEL*, 8(1), 15-24. Retrieved from <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/flywheel/article/view/670>