

KEKUATAN BAMBU BETUNG (*Dendrocalamus asper* Backer ex K.Heyne) MENAHAN GAYA NORMAL TEKANAN DAN TARIKAN

(*The Strength of Betung Bamboo (Dendrocalamus asper Backer ex K. Heyne) to Support Normal Force in Compression and Tension*)

Naresworo Nugroho, Effendi Tri Bahtiar & Arya Budhijatmiko Lelono

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor

Jl. Ulin Kampus Darmaga Bogor 16680. Telp./Faks. (0251) 8621285

Email: naresworo@yahoo.com

Diterima 15 September 2021, direvisi 29 Desember 2021, disetujui 22 Februari 2022

ABSTRACT

Bamboo is multifunctional forest product that can be used as furnitures, crafts, music instruments, and construction materials. The value of the compressive and tensile strength of bamboo has been used in construction design, but it is still limited, for example as a column or concrete reinforcement. This research aimed to determine the mechanical properties of a four years old betung bamboo (Dendrocalamus asper Backer ex K.Heyne,) specifically, compression strength parallel to grain, tension strength parallel and perpendicular to grain, and its 5% lower limit value. The sample size and mechanical properties testing refers to ISO 22157-2019. Compression and tension strength parallel to the grain were tested using UTM SATEC/Baldwin, while tension strength perpendicular to the grain was tested using UTM Chun Yen. The data were analyzed using Easyfit 5.5 to obtain 5% lower limit value of each test. The average value of compression strength and tension strength parallel to grain were 53 N/mm² and 109 N/mm², respectively. The average value of tension strength perpendicular to grain for 25 and 40 mm testing hole were 2.53 and 1.19 N/mm², while average MOE value of compression and tension strength parallel to grain were 2,674 and 9,542 N/mm², respectively. The 5% lower limit value of compression strength parallel to grain was 38.1 N/mm², tension strength parallel to grain 61.8 N/mm², and 0.60 N/mm² for tension strength in perpendicular to grain. The 5% lower limit MOE value of compression and tension strength parallel to grain were 1,105 and 6,076 N/mm², respectively.

Keywords: Betung bamboo, compression, estimated value, strength, tension

ABSTRAK

Bambu merupakan salah satu hasil hutan multiguna yaitu sebagai bahan baku mebel, kerajinan, alat musik, dan konstruksi. Besarnya kekuatan tekan dan tarik bambu sudah dimanfaatkan dalam desain konstruksi, namun masih terbatas, seperti untuk kolom atau penguat beton. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sifat mekanis bambu betung (*Dendrocalamus asper* Backer ex K.Heyne,) umur empat tahun, yaitu kekuatan tekan sejajar serat, tarik sejajar serat, dan tarik tegak lurus serat, serta nilai 5% batas bawah. Ukuran contoh uji dan pengujian sifat mekanis bambu betung mengacu pada ISO 22157-2019. Pengujian tekan sejajar serat dan tarik tegak lurus serat menggunakan UTM SATEC/Baldwin, sedangkan pengujian tarik sejajar serat menggunakan UTM Chun Yen. Analisis data menggunakan aplikasi Easyfit 5,5 untuk mendapatkan nilai 5% batas bawah tiap pengujian. Rata-rata kuat tekan sejajar serat yang diperoleh yaitu sebesar 52,97 N/mm², sedangkan nilai rata-rata kuat tarik sejajar serat sebesar 109,03 N/mm². Rata-rata kuat tarik tegak lurus serat dengan ukuran lubang uji 25 dan 40 mm sebesar 2,53 dan 1,19 N/mm², sedangkan nilai rata-rata MOE tekan dan MOE tarik sejajar serat sebesar 2.674 dan 9.542 N/mm². Nilai 5% batas bawah untuk kuat tekan sejajar serat sebesar 38,10 N/mm², tarik sejajar serat sebesar 61,78 N/mm², sedangkan untuk kuat tarik tegak lurus serat sebesar 0,60 N/mm². Nilai MOE tekan dan MOE tarik sejajar serat yang diperoleh sebesar 1.105 dan 6.076 N/mm².

Kata kunci: Bambu betung, kekuatan, tarik, tekan, nilai estimasi

I. PENDAHULUAN

Bambu merupakan hasil hutan yang memiliki berbagai manfaat, diantaranya sebagai bahan baku mebel, kerajinan, alat musik, dan konstruksi. Sifat

bambu yang cepat tumbuh dan mudah dalam proses pengerjaannya menyebabkan bambu dapat dimanfaatkan secara luas, khususnya di Indonesia. Menurut Bahtiar, Imanullah, Hermawa, Nugroho, dan Abdurachman (2019), bambu muda dapat

tumbuh sekitar 21–30 cm/hari dan memiliki waktu panen yang singkat. Umumnya bambu dengan kualitas baik dapat dipanen pada umur 3–5 tahun (Artiningsih, 2012). Ketersediaan bambu di Indonesia sangat melimpah, berdasarkan BPS (2020) produksi bambu di Indonesia pada tahun 2019 mencapai 17.063.847 batang dari berbagai wilayah di Indonesia. Indonesia juga kaya akan keberagaman jenis bambu, dengan total 161 jenis dan 60 jenis terdapat di Pulau Jawa (Widjaja, 2012).

Bambu betung (*Dendrocalamus asper* Backer ex K. Heyne) merupakan salah satu jenis bambu yang banyak dimanfaatkan di Indonesia. Bambu betung merupakan jenis bambu yang memiliki rumpun rapat dan dapat tumbuh hingga 20–30 m. Menurut Rulliaty (2012), ciri bambu betung yaitu memiliki dinding buluh yang tebal, panjang ruas berkisar antara 40–60 cm, dan sering ditemukan akar udara (*aerial root*) pada buku bambu betung. Bambu betung tergolong ke dalam bambu dengan ukuran yang besar dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku konstruksi (Subyakto, Hermiati, Masruchin, Ismadi, & Subiyanto, 2011).

Bambu di Indonesia telah digunakan sebagai bahan konstruksi sejak lama. Pemanfaatan bambu sebagai bahan konstruksi selama ini masih bersifat sekunder seperti perancah, reng, atap, dan dinding, padahal bambu dapat digunakan sebagai pondasi, kolom, balok, lantai, dan rangka atap kuda-kuda (Fahrina & Gunawan, 2014). Penggunaan bambu untuk kepentingan konstruksi di Indonesia masih terbatas dan kurang berkembang karena masih terbatasnya pengetahuan masyarakat terhadap kekuatan bambu (Handana, Surbakti, Harisdani, Karolina, & Rizki, 2020). Menurut Handayani, Budi dan Santosa (2014), penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi merupakan salah satu alternatif bahan konstruksi yang ramah lingkungan.

Pemanfaatan bambu sebagai bahan konstruksi memiliki banyak keuntungan yaitu sifatnya yang elastis membuat konstruksi bambu menjadi tahan gaya gempa dan mudah diperbaiki bila terjadi kerusakan. Selain itu, bambu juga mudah dibentuk, dan sebagaimana bahan alami, konstruksi bambu dapat menjaga keseimbangan suhu ruang. Secara umum kekuatan tekan dan tarik bambu betung sudah dimanfaatkan dalam konstruksi, namun masih terbatas, misalnya sebagai kolom atau bahan campuran dalam tiang beton. Arce-Villalobos (1993) menyatakan bahwa salah satu kelemahan bambu adalah kekuatan tarik tegak lurus serat. Struktur serat bambu tersebut diduga menyebabkan lemahnya kekuatan tarik tegak lurus bambu, karena hal tersebut

paku, baut, dan pasak tidak disarankan untuk digunakan pada bambu. Oleh karena itu, pengujian tekan sejajar serat, tarik sejajar serat, dan tarik tegak lurus serat bambu betung ditujukan untuk melengkapi data karakteristik kekuatan bambu betung. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sifat mekanis berupa nilai kekuatan tekan sejajar serat, tarik sejajar serat, dan tarik tegak lurus serat pada bambu betung serta nilai estimasi 5% batas bawah untuk digunakan dalam melakukan analisis struktur konstruksi bambu. Diharapkan informasi kekuatan bambu betung tersebut dapat digunakan desainer untuk merancang konstruksi bambu secara aman.

II. BAHAN DAN METODE

A. Alat dan Bahan

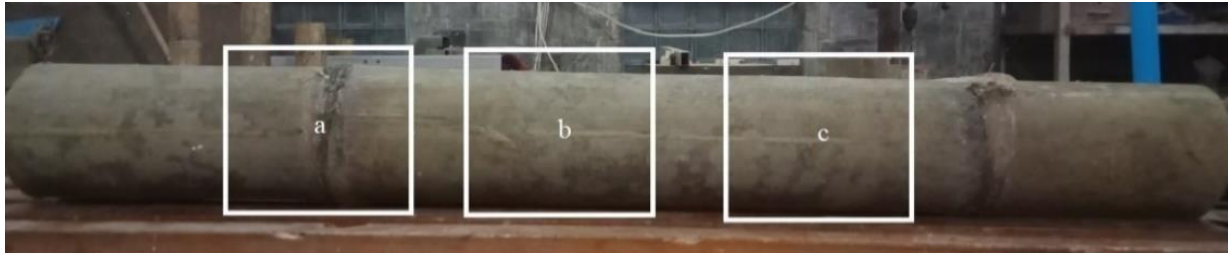
Alat yang digunakan untuk menunjang penelitian ini antara lain kaliper, gergaji, bor, *circular saw*, *table saw*, dan *universal testing machine* (UTM) SATEC/Baldwin dan Chun Yen. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah 12 (dua belas) buluh bambu betung (*Dendrocalamus asper*) dengan panjang rata-rata 13–14 m yang dipotong menjadi dua bagian dengan panjang 6–7 m yang berasal dari Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB.

B. Metode

1. Pembuatan contoh uji

Penebangan bambu betung berumur 4 (empat) tahun dilakukan di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB. Buluh bambu ditebang menggunakan gergaji dan golok serta tali tambang untuk mengeluarkan buluh dari rumpunnya. Bambu yang telah ditebang dengan ukuran rata-rata 13–14 m kemudian dipotong menjadi dua bagian dengan ukuran rata-rata 6–7 m. Bambu kemudian dikeringkan dengan posisi berdiri di dalam ruangan hingga mencapai kadar air kesetimbangan. Bambu kemudian dipotong dua ruas bagian atas dan bawah, ditandai, dan selanjutnya dilakukan pembuatan contoh uji untuk tiap pengujian (Gambar 1). Sesuai dengan standar ISO 22157-2019, contoh uji untuk pengujian tarik sejajar serat (dengan buku), tarik tegak lurus serat (tanpa buku), dan tekan sejajar serat (tanpa buku), dipotong dan dibentuk dari dua ruas bagian bambu yang telah dipotong sebelumnya.

Contoh uji tekan sejajar serat dipotong dengan ukuran 10 kali tebal dinding. Contoh uji tarik sejajar serat dibentuk dengan panjang 200 mm, tebal 2 mm, dan lebar sesuai dengan tebal dinding contoh uji yang dipotong (Gambar 2). Pengujian tarik sejajar serat juga membutuhkan kayu *softwood* pada permukaan contoh uji yang dijepit aksesoris uji.



Gambar 1. Ilustrasi pengambilan contoh uji tarik sejajar serat (a), tekan sejajar serat (b), dan tarik tegak lurus serat (c)

Figure 1. Illustration of sampling test for tension parallel to grain (a), compression parallel to grain (b), and tension perpendicular to the grain (c)

Contoh uji tarik tegak lurus serat dipotong dan dibentuk dengan ukuran panjang diameter contoh uji ditambah diameter lubang pengujian, contoh uji kemudian dipilah berdasarkan diameternya dan dibagi menjadi dua contoh uji berdiameter besar dan kecil. Contoh uji kemudian dilubangi pada bagian tengah dengan diameter lubang 40 mm untuk contoh uji diameter besar dan 25 mm untuk contoh uji berdiameter kecil.

Pengukuran geometri yang dilakukan antara lain dimensi dan *ovality*. Pengukuran dimensi antara lain diameter (D) pada bagian atas dan bawah contoh uji masing-masing sebanyak dua kali yang saling tegak lurus, tebal dinding (δ) diukur pada bagian atas dan bawah masing-masing sebanyak empat kali, panjang (L) diukur sebanyak dua kali pada sisi yang sama dengan pengukuran diameter. Ovalitas (*ovality*) merupakan rasio antara dua kali nilai diameter terbesar dikurangi diameter terkecil dengan nilai diameter terbesar ditambah diameter terkecil. Ovalitas diukur dengan Persamaan 1, yaitu:

$$d_o = 2 \times (D_{max} - D_{min}) / (D_{max} + D_{min}) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan (*Remarks*): d_o = ovalitas; D_{max} = diameter terbesar (mm); D_{min} = diameter terkecil (mm)

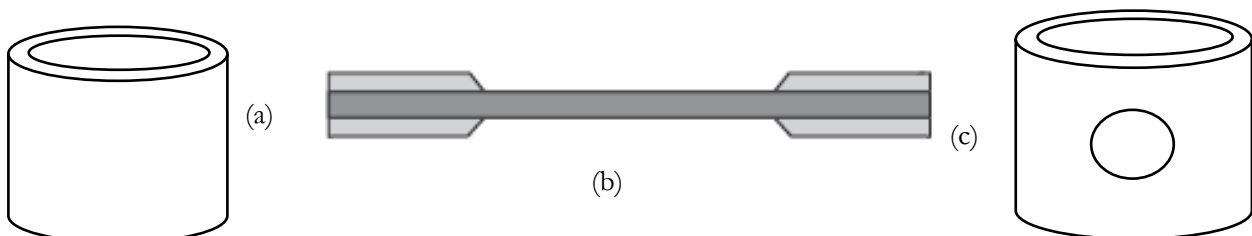
2. Pengujian sifat fisis

Pengujian sifat fisis yang dilakukan antara lain pengukuran kadar air, kerapatan, dan kerapatan linear. Pengukuran kadar air (w) dilakukan pada seluruh contoh uji (tekan sejajar, tarik sejajar dan tekan tegak lurus serat). Pengukuran kadar air dilakukan segera setelah pengujian mekanis dengan cara menimbang berat contoh uji sebelum dioven (m_i), dan ditimbang kembali hingga mendapatkan berat yang konstan setelah dioven dengan suhu $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ selama 24 jam (m_o). Nilai kadar air didapatkan dengan Persamaan 2:

$$w = \left[\frac{m_i - m_o}{m_o} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan (*Remarks*): w = kadar air (%); m_i = berat kering udara (g); m_o = berat kering oven (g)

Pengukuran kerapatan dilakukan pada beberapa kondisi, kerapatan kondisi kering udara (ρ_{test}), kerapatan kondisi kadar air 12% (ρ_{12}), dan kerapatan kondisi kering oven (ρ). Pengukuran kerapatan dilakukan dengan menimbang berat dan mengukur volume contoh uji. Nilai kerapatan dihitung dengan masing-masing Persamaan 3, 4, dan 5.



Gambar 2. Bentuk sampel pengujian tekan sejajar serat (a), tarik sejajar serat (b), tarik tegak lurus serat (c) sesuai ISO 22157-2019

Figure 2. Sample test shape of compression parallel to grain (a), tension parallel to grain (b), tension perpendicular to grain (c) according to ISO 22157-2019

$$\rho_{test} = \left(\frac{m_e}{V} \right) \times 10^6 \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho_{12} = \rho_{test} \times \left[\frac{1.12}{1+w} \right] \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho = \left(\frac{m_o}{V} \right) \times 10^6 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan (*Remarks*): ρ_{test} = kerapatan kering udara (kg/m³); ρ_{12} = kerapatan kadar air 12% (kg/m³); ρ = kerapatan kering oven (kg/m³); m_e = berat contoh uji (g) m_o = berat kering oven hitung (g); w = kadar air (%) V = volume (mm³)

Kerapatan linear (q) merupakan rasio antara berat dengan panjang contoh uji (Nurmadina, Nugroho, dan Bahtiar, 2017). Kerapatan linear diukur pada dua kondisi yaitu kerapatan linear kondisi kering udara (q) dan kondisi kadar air 12% (q_{12}). Nilai kerapatan linear dihitung masing-masing dengan Persamaan 6 dan 7:

$$q = \frac{m_e}{L} \dots\dots\dots (6)$$

$$q_{12} = q \times \left[\frac{1.12}{1+w} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan (*Remarks*): q = kerapatan linear kering; udara (kg/m); q_{12} = kerapatan linear kadar air 12% (kg/m); m_e = berat contoh uji (g); w = kadar air (%); L = panjang (mm)

3. Pengujian sifat mekanis

Pengujian sifat mekanis dilakukan untuk mendapatkan nilai beban maksimum (F_{ult}) dan perubahan panjang dari contoh uji. Pengujian yang dilakukan adalah tekan sejajar serat, tarik sejajar serat, dan tarik tegak lurus serat. Pengujian tekan sejajar serat dilakukan dengan menekan contoh uji hingga mengalami kegagalan menggunakan UTM *SATEC* dan diberi aksesoris sesuai dengan pengujian tekan sejajar serat. Pengujian menghasilkan nilai kuat tekan sejajar serat ($f_{c,0}$) dan nilai modulus elastisitas ($E_{c,0}$). Nilai kuat tekan sejajar serat dan modulus elastisitas dihitung dengan Persamaan 8 dan 9.

$$f_{c,0} = \frac{F_{ult}}{A} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan (*Remarks*): $f_{c,0}$ = nilai kuat tekan sejajar serat (N/mm²); F_{ult} = beban maksimum (N); A = luas penampang contoh uji (mm²)

$$E_{c,0} = \frac{F_{60} - F_{20}}{A (\epsilon_{60} - \epsilon_{20})} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan (*Remarks*): $E_{c,0}$ = nilai modulus elastisitas (N/mm²); A = luas penampang contoh uji (mm²); F_{20} = nilai beban 20% dari beban maksimum (N); F_{60} = nilai beban 60% dari beban maksimum (N); ϵ_{20} = nilai regangan contoh uji ketika beban bernilai 20% dari

beban maksimum (mm/mm); ϵ_{60} = nilai regangan contoh uji ketika beban bernilai 60% dari beban maksimum (mm/mm)

Pengujian tarik sejajar serat dilakukan dengan menarik vertikal contoh uji hingga mengalami kegagalan dengan menggunakan UTM *Chun Yen* dan diberi aksesoris sesuai dengan pengujian tarik sejajar serat. Pengujian menghasilkan nilai kuat tarik sejajar serat ($f_{t,0}$) dan nilai modulus elastisitas ($E_{t,0}$). Contoh uji diukur tebal dinding (δ) dan lebar contoh uji (b) sebanyak tiga pengulangan sebelum diuji untuk mendapatkan nilai luas penampang rata-rata (A_g). Nilai kuat tarik dan modulus elastisitas dihitung dengan Persamaan 10 dan 11.

$$f_{t,0} = \frac{F_{ult}}{A_g}, \quad A_g = \delta \times b \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan (*Remarks*): $f_{t,0}$ = nilai kuat tarik sejajar serat (N/mm²); F_{ult} = beban maksimum (N); A_g = nilai luas penampang contoh uji rata-rata (mm²); δ = tebal dinding (mm); b = lebar (mm)

$$E_{t,0} = \frac{F_{60} - F_{20}}{A_g (\epsilon_{60} - \epsilon_{20})} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan (*Remarks*): $E_{t,0}$ = nilai modulus elastisitas (N/mm²); A_g = luas penampang contoh uji (mm²); F_{20} = nilai beban 20% dari beban maksimum (N); F_{60} = nilai beban 60% dari beban maksimum (N); ϵ_{20} = nilai regangan ketika beban bernilai 20% dari beban maksimum (mm/mm); ϵ_{60} = nilai regangan ketika beban bernilai 60% dari beban maksimum (mm/mm)

Pengujian tarik tegak lurus dilakukan dengan menarik contoh uji menggunakan UTM *SATEC* dan aksesoris yang sesuai uji tarik hingga mengalami kegagalan. Pengujian menghasilkan nilai kuat tarik tegak lurus serat ($f_{t,90}$) yang dihitung menggunakan Persamaan 12:

$$f_{t,90} = \frac{F_{ult}}{2\delta (L - d)} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan (*Remarks*): $f_{t,90}$ = nilai kuat tarik tegak lurus serat (N/mm²); F_{ult} = beban maksimum (N); δ = tebal dinding (mm); L = panjang (mm); d = diameter lubang uji (mm)

C. Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2016*. Deskriptif statistik yang digunakan berupa nilai maksimum, minimum, rata-rata, dan standar deviasi. Model statistika yang digunakan untuk memperkirakan nilai estimasi 5%

batas bawah pada sifat mekanis yaitu model parametrik dan non-parametrik. Model parametrik menggunakan fungsi kepadatan probabilitas (*Probability Density Function*) distribusi Normal, Lognormal, dan Weibull. Distribusi terbaik ditentukan berdasarkan nilai statistik Kolmogorov-Smirnov. Penyelesaian fungsi kepadatan probabilitas menggunakan bantuan aplikasi *Easysfit 5.5*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisis

Diameter dan tebal dinding bambu saling berhubungan dan dapat mempengaruhi sifat mekanis bambu. Hubungan antara diameter dengan tebal dinding bambu betung disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan penelitian, nilai rata-rata diameter dan tebal dinding yang diperoleh yaitu sebesar 95,61 dan 10,73 mm (Tabel 1). Menurut Ndale (2013), bambu betung merupakan salah satu bambu yang kuat dan berdiameter besar hingga dapat mencapai 200 mm. Menurut Kaminski, Lawrence, dan Trujillo (2016), bambu dengan diameter 50-200 mm dapat digunakan untuk kepentingan struktural.

Kebulatan bambu dihitung dan ditunjukkan dengan ovalitas, dimana kebulatan sempurna dinilai dengan angka 0 (nol). Hasil pengukuran contoh uji menunjukkan bahwa bambu betung memiliki ovalitas 0,06 (Tabel 1), hal tersebut menunjukkan bahwa contoh uji bambu betung yang digunakan memiliki kebulatan yang hampir sempurna.

Bambu merupakan material yang memiliki sifat higroskopis, sehingga dapat mengalami perubahan dimensi bergantung pada keadaan lingkungan sekitar (Chen et al., 2019). Kadar air bambu merupakan persentase kandungan air dalam bambu. Kadar air bambu bervariasi bergantung jenis, posisi, serta musim (Barly, Ismanto, Martono, Abdurachman, & Andianto, 2012). Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan rata-rata kadar air contoh uji sebesar 12,6%.

Kerapatan merupakan nilai perbandingan antara berat atau massa dengan volume. Nilai pengukuran kerapatan dihitung berdasarkan beberapa kondisi, yaitu kondisi kering udara, kondisi kering oven, dan kondisi kadar air 12%. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata kerapatan kering udara sebesar 807 kg/m³, kerapatan kadar air 12% sebesar 803 kg/m³, dan kerapatan kering oven sebesar 717 kg/m³. Semakin tinggi kerapatan maka akan semakin tinggi kekuatan bambu (Basri & Pari, 2017).

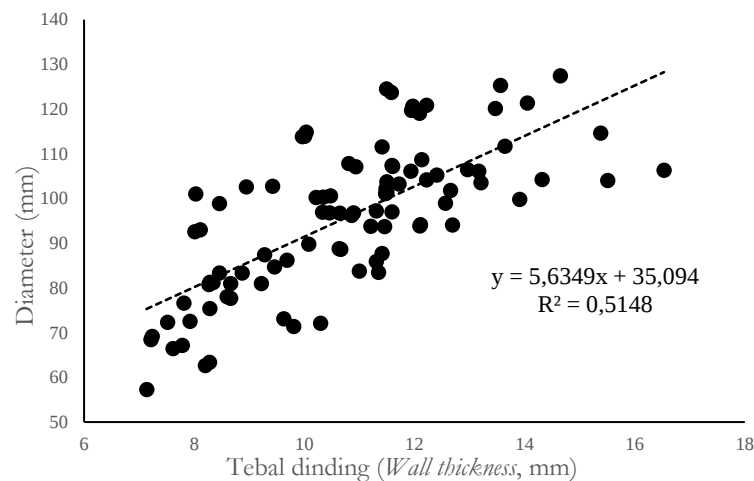
Kerapatan linear merupakan rasio perbandingan antara berat dan panjang contoh uji. Menurut Nurmadina, Nugroho dan Bahtiar (2017), kerapatan linear secara matematis sangat berhubungan dengan kerapatan dan diameter. Trujillo dan Jangra (2016) menyatakan peningkatan ukuran diameter dan tebal dinding akan menyebabkan peningkatan nilai kerapatan linear. Nilai rata-rata kerapatan linear kering udara dan kerapatan linear kadar air 12% yang diperoleh sebesar 2,20 dan 2,19 kg/m.

Tabel 1. Nilai diameter, tebal dinding, ovalitas, kadar air, kerapatan, dan kerapatan linear bambu betung

Table 1. The values of diameter, wall thickness, ovality, moisture content, density, and linear density of betung bamboo

Parameter	n	Minimum	Maksimum (<i>maximum</i>)	rata-rata (<i>mean</i>)	s
D (mm)	92	57,2	127	95,6	16,3
δ (mm)	92	7,13	16,5	10,7	2,07
d_0	92	0,01	0,15	0,06	0,03
w (%)	92	11,9	13,0	12,6	0,29
ρ_{test} (kg/m ³)	92	543	1.531	807	182
ρ_{12} (kg/m ³)	92	540	1.524	803	181
ρ (kg/m ³)	92	482	1.361	717	162
q (kg/m)	61	1,08	3,59	2,20	0,66
q_{12} (kg/m)	61	1,08	3,59	2,19	0,66

Keterangan (*Remarks*): n= jumlah data (*Number of data*), s= standar deviasi (*Standard deviation*); D=diameter (*diameter*); δ =tebal dinding (*Wall thickness*); d_0 =ovalitas (*Ovality*); w =kadar air (*Moisture content*); ρ_{test} =kerapatan kering udara (*Air dry density*); ρ_{12} =kerapatan kadar air 12% (*Density at 12% moisture content*); q =kerapatan linear kering udara (*Air dry linear mass*); q_{12} =kerapatan linear kadar air 12% (*Linear mass at 12% moisture content*)



Gambar 3. Hubungan antara diameter dengan tebal dinding bambu betung
Figure 3. Relationship between diameter and wall thickness of betung bamboo

B. Sifat Mekanis

Kuat tekan sejajar serat bambu adalah kekuatan untuk menahan gaya aksial akibat adanya beban titik atau beban merata (Putra, Sinarta & Bagiarta, 2020). Kuat tekan bambu merupakan parameter yang penting untuk menilai kemampuan dan pemanfaatan bambu secara tepat pada suatu konstruksi. Menurut Artiningsih (2012), bambu sebagai bahan konstruksi harus mampu menahan beban bangunan. Spesimen diuji hingga mengalami kerusakan untuk mendapatkan nilai kekuatan tekan sejajar serat bambu betung.

Hasil penelitian seperti disajikan pada Tabel 2 menunjukkan nilai rata-rata kekuatan tekan sejajar serat bambu betung sebesar 53 N/mm². Nilai yang diperoleh lebih besar dibandingkan nilai yang diperoleh Handana et al. (2020) pada bambu betung yaitu sebesar 49,2 N/mm² dan Bahtiar et al. (2019) pada bambu hitam, tali, dan andong yaitu sebesar 45,4; 44,7; dan 38,4 N/mm². Hal tersebut diduga karena bambu betung yang diuji telah berumur 4 tahun dan memiliki kerapatan kering udara (ρ_{test}) yang tinggi yaitu sebesar 807 kg/m³, sedangkan kerapatan bambu hitam, tali, dan andong sebesar 720, 770, dan 700 kg/m³ (Bahtiar et al., 2019). Menurut Bahtiar, Trujillo dan Nugroho (2020), semakin tinggi

kerapatan maka semakin tinggi kuat tekannya. Kekuatan tekan bambu yang besar juga telah dimanfaatkan untuk meningkatkan kuat tekan dari bahan konstruksi lainnya yaitu beton. Berdasarkan penelitian Hidayat, Ismeddiyanto dan Kurniawandiyet (2016) serta Abadijah, Dewi dan Wijaya (2016), beton yang diberi tambahan serat bambu memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Nilai rata-rata beban maksimum yang diperoleh sebesar 141.360 N. Diameter, tebal dinding, dan kerapatan linear memiliki hubungan dan dapat digunakan sebagai penduga nilai kapasitas tekan bambu (Bahtiar et al., 2020). Menurut Abdillah (2019), semakin tinggi kerapatan linear maka semakin tinggi kelas kapasitas tekan sejajar serat bambu.

Bambu merupakan material yang terkenal akan kelenturan dan kuat tariknya. Menurut Yoresta (2013), kuat tarik bambu bahkan dapat disamakan dengan kuat tarik baja. Kekuatan tarik yang tinggi membuat bambu dapat digunakan sebagai bahan alternatif dari tulangan tarik baja pada balok beton (Kasiati & Wibowo, 2010). Kuat tarik sejajar bambu merupakan kekuatan bambu dalam menahan gaya pada arah seratnya. Uji kuat tarik sejajar serat pada penelitian ini menggunakan standar ISO 22157 (2019).

Tabel 2. Nilai beban dan kekuatan tekan sejajar serat bambu betung

Table 2. Values of load and compression strength parallel to grain of betung bamboo

Parameter	n	Minimum <i>minimum</i>	Maksimum <i>maximum</i>	Rata-rata <i>mean</i>	s
F_{ult} (N)	31	64.303	260.661	141.360	49.490
$f_{c,0}$ (N/mm ²)	31	41,6	81,6	53,0	10,5

Keterangan (Remarks): n= jumlah data (Number of data) s= standar deviasi (Standard deviation), F_{ult} =beban maksimum (Maximum load) $f_{c,0}$ = kuat tekan sejajar serat (Compression strength parallel to grain).

Tabel 3. Nilai beban dan kuat tarik sejajar serat bambu betung
Table 3. Value of load and tension strength parallel to grain of betung bamboo

Parameter	n	minimum <i>minimum</i>	maksimum <i>maximum</i>	rata-rata <i>mean</i>	s
F_{ult} (N)	31	1.549	4.239	2.858	635
$f_{t,0}$ (N/mm ²)	31	65,0	163	109	25,5

Keterangan (Remarks): n= jumlah data (Number of data), s= standar deviasi (Standard deviation), F_{ult} =beban maksimum (Maximum load) $f_{t,0}$ = kuat tarik sejajar serat (Tension strength parallel to grain).

Hasil penelitian pada Tabel 3 menunjukkan rata-rata kekuatan tarik sejajar serat bambu betung sebesar 109 N/mm². Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan nilai yang diperoleh Awalludin et al. (2017) pada bambu betung, yaitu sebesar 232 N/mm². Hal tersebut diduga disebabkan oleh adanya buku pada contoh uji. Serat bambu pada bagian buku sebagian tumbuh berbelok menjauhi sumbu batang, sehingga menyebabkan tidak semua serat tumbuh sejajar. Menurut Eratodi (2017), serat yang tumbuh tidak sejajar pada bagian buku dapat menyebabkan lemahnya kekuatan tarik sejajar serat bambu. Kekuatan tarik tegak lurus serat bambu merupakan kekuatan bambu dalam menahan gaya atau beban pada arah tegak lurus seratnya. Uji kuat tarik tegak lurus serat menggunakan standar ISO 22157 (2019) dengan menggunakan dua ukuran lubang, yaitu 25 dan 40 mm.

Hasil penelitian menunjukkan kekuatan rata-rata tarik tegak lurus serat bambu betung dengan lubang 25 dan 40 mm sebesar 2,53 dan 1,19 N/mm² (Tabel 4). Nilai tersebut lebih besar dibandingkan nilai yang diperoleh Mitch, Harries, dan Sharma (2010) pada bambu *tre gai* dengan ukuran lubang 38,1; 28,6; dan 22,2 mm sebesar 1,04; 1,16; dan 1,02 N/mm². Menurut Mitch et al. (2010), ukuran lubang pengujian tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tarik tegak lurus serat bambu, sedangkan penelitian ini menghasilkan nilai kuat tarik tegak lurus serat yang berbeda dengan dua ukuran lubang. Hal tersebut diduga karena banyaknya variasi ukuran diameter antara contoh uji dengan lubang 25 mm dan 40 mm

yaitu rata-rata sebesar 96 mm dengan koefisien variasi 16%, sedangkan penelitian Mitch et al. (2010) dengan tiga ukuran lubang menggunakan contoh uji berdiameter rata-rata 90,5 mm dengan koefisien variasi 4,4%. Menurut Arce-Villalobos (1993), salah satu kelemahan bambu adalah kekuatan tarik tegak lurus seratnya. Bambu merupakan material alami dengan struktur anatomi yang berbeda dengan kayu, yaitu bambu memiliki buku yang memisahkan antar rongga batang bambu. Serat bambu pada bagian ruas atau buluh tumbuh ke arah aksial bambu (Rahmi, Mukarlina & Linda, 2015). Struktur serat bambu tersebut diduga menyebabkan lemahnya kekuatan tarik tegak lurus bambu. Kelemahan tarik tegak lurus bambu berhubungan dengan lemahnya struktur bambu pada arah tegak lurus serat (Sharma, Harries & Ghavami, 2013). Arce-Villalobos (1993) pada penelitiannya menjelaskan proses rusaknya contoh uji pada saat pengujian tarik tegak lurus serat, yaitu kerusakan berawal dari celah di sekitar lubang pengujian lalu menjalar mengikuti serat bambu menuju arah aksialnya. Karena hal tersebut paku, baut, dan pasak tidak disarankan untuk digunakan pada bambu.

Modulus Elastisitas (MOE) merupakan besaran yang menunjukkan kekakuan suatu bahan. Modulus elastisitas menurut Sulaeman (2018) merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan suatu bahan. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan dan keelastisitasan suatu bahan dimana semakin tinggi nilai MOE suatu bahan maka semakin tinggi nilai

Tabel 4. Nilai beban dan kuat tarik tegak lurus bambu betung
Table 4. Value of load and tension strength perpendicular to fiber betung bamboo

Parameter	Lubang, 25 mm (Holes, 25 mm)					Lubang, 40 mm (Holes, 40 mm)				
	n	min	maks <i>max</i>	rata-rata <i>mean</i>	s	n	min	maks <i>max</i>	rata-rata <i>mean</i>	s
F_{ult} (N)	6	2.332	4.429	3.069	845	24	1.107	4.730	2.754	1.035
$f_{t,90}$ (N/mm ²)	6	1,89	3,20	2,53	0,55	24	0,49	1,65	1,19	0,30

Keterangan (Remarks): n= jumlah data (Number of data), min= minimum (Minimum), maks= maksimum (Maximum), rata-rata= mean, s= standar deviasi (Standard deviation), F_{ult} =beban maksimum (Maximum load) $f_{t,90}$ = kuat tarik tegak lurus serat (Tension strength perpendicular to grain)

Tabel 5. MOE contoh uji tekan sejajar serat dan tarik sejajar serat**Table 5. MOE of sample test on compression parallel and tension parallel to grain**

Contoh uji (Samples)	n	Min (Minimum)	Maks (Maximum)	Rata-rata (Mean)	s
Tekan sejajar serat (Compression parallel to grain)	31	1.126	5.374	2.674	1.201
Tarik sejajar serat (Tension parallel to grain)	31	5.604	16.503	95.412	2.133

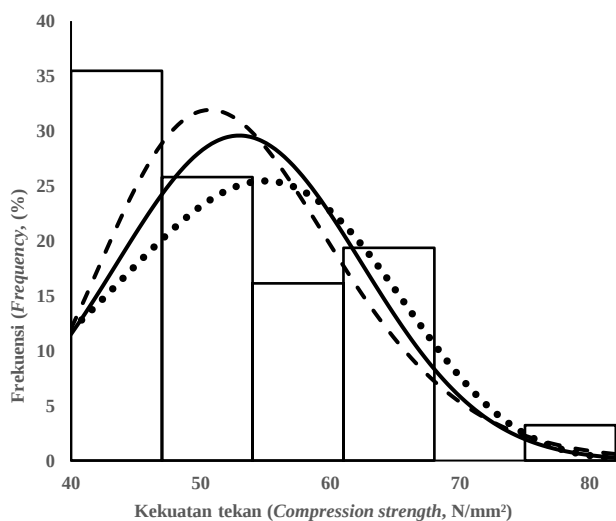
Keterangan (Remarks): n = jumlah data (Number of data), s = standar deviasi (Standard deviation)

kekakuan bahan tersebut (Allowenda, Priadi & Prianto, 2018). MOE yang dihitung pada penelitian ini merupakan MOE contoh uji tekan sejajar serat dan tarik sejajar serat.

Hasil penelitian menunjukkan MOE contoh uji tarik sejajar serat lebih tinggi daripada MOE contoh uji tekan sejajar serat. Rata-rata nilai MOE contoh uji tarik sejajar serat sebesar 9.542 N/mm² dan MOE contoh uji tekan sejajar serat sebesar 2.674 N/mm² (Tabel 5). Buku pada contoh uji tarik sejajar serat mempengaruhi hasil dari perhitungan MOE. Menurut Aini, Morisco, dan Anita (2009), MOE bambu dapat dipengaruhi oleh jenis bambu dan keberadaan buku pada contoh uji. Buku pada bambu dapat melemahkan kekuatan serta deformasi bambu (Eratodi, 2017).

B. Nilai 5% Batas Bawah

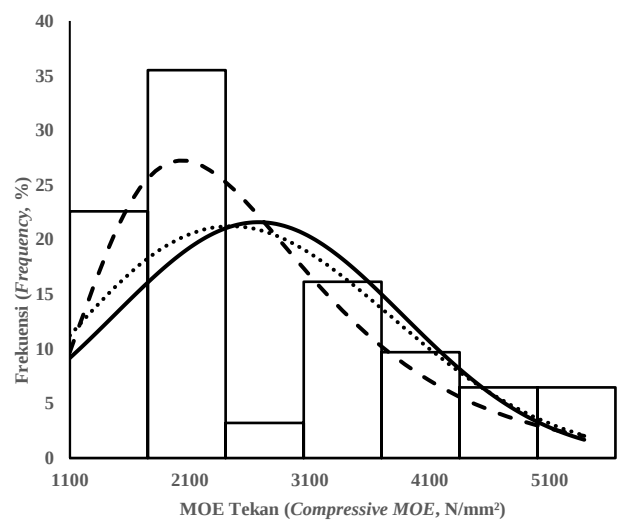
Teori estimasi dipakai untuk mencari parameter dari sebuah model yang paling cocok pada suatu data pengamatan yang ada (Ota, 2016). Estimasi parameter dengan teori estimasi merupakan bagian penting dalam pengkajian distribusi data. Analisis data berdasarkan uji Kolmogorov-Smirnov menghasilkan data terbaik yang berbeda-beda. Data terbaik kuat tekan sejajar, MOE tekan sejajar, dan kuat tarik tegak lurus serat diperoleh dengan menggunakan asumsi distribusi Lognormal (Gambar 4, 5, dan 6). Sementara itu, sebaran data terbaik untuk data kuat tarik sejajar serat diperoleh dengan menggunakan asumsi distribusi Normal, sedangkan data terbaik MOE tarik sejajar serat diperoleh dengan asumsi distribusi Weibull.



Keterangan (Remarks):

Histogram Normal Normal μ : 52,9733 s: 9,44044
 Lognormal weibull Lognormal μ : 3,9554 s: 0,17001
 weibull α : 5,534124 s: 56,9768

(a)



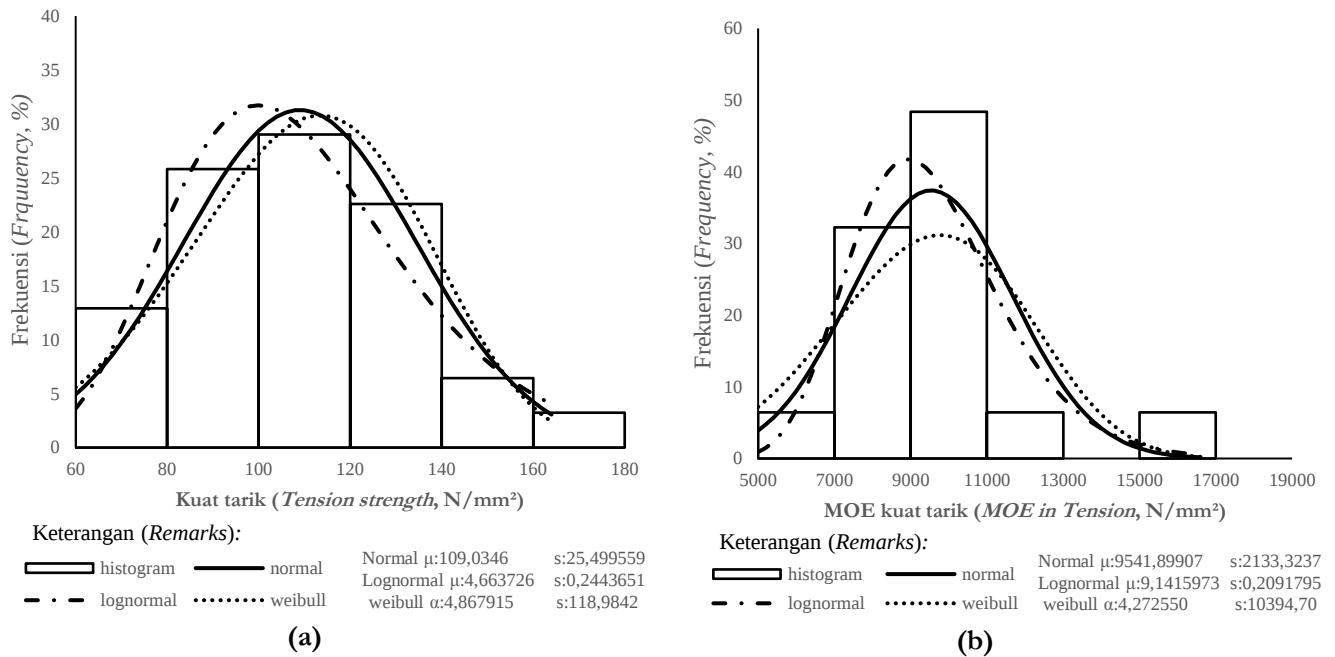
Keterangan (Remarks):

histogram normal Normal μ : 2673,77 s: 1201,46
 Lognormal weibull Lognormal μ : 7,80019 s: 0,42755
 weibull α : 2,435814 s: 3030,347

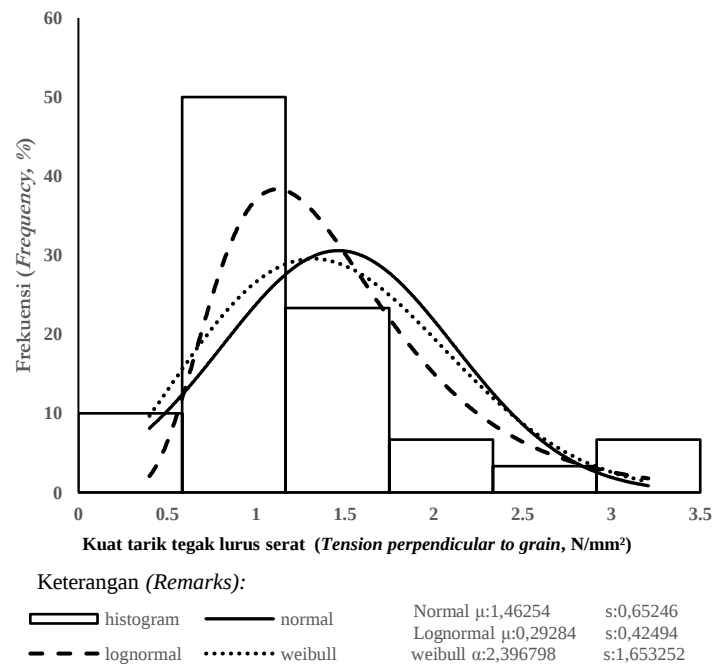
(b)

Gambar 4. Distribusi normal, lognormal, dan weibull pada data kuat tekan sejajar serat (a), dan MOE tekan sejajar serat (b) bambu betung

Figure 4. Normal, lognormal, and weibull distributions on the data of compression strength parallel to the grain (a), and MOE in compression parallel to the grain (b) of betung bamboo



Gambar 5. Distribusi normal, lognormal, dan weibull pada data kuat tarik sejajar serat (a), dan MOE tarik sejajar serat (b)
Figure 5. Normal, lognormal, and weibull distributions on the data of tension strength parallel to grain (a), and MOE in tension parallel to grain (b)



Gambar 6. Distribusi normal, lognormal, dan weibull pada data kuat tarik tegak lurus serat bambu betung
Figure 6. Normal, lognormal, and weibull distributions on the data of tension perpendicular to grain of betung bamboo

Tabel 7. Nilai estimasi 5% batas bawah (N/mm^2) contoh uji bambu betung
Table 7. Estimated value of 5% lower limit (N/mm^2) of betung bamboo test sample

Kuat tekan (Compression strength)	MOE tekan MOE (Compression) //	Kuat tarik (Tension Strength) $\perp$	Kuat tarik (Tension Strength) //	MOE tarik (MOE Tension) //
38,1	1.105	0,60	61,8	6.076

Keterangan (Note): // = sejajar serat (Parallel to the grain); $\perp$ = tegak lurus serat (Perpendicular to the grain)

Tabel 6. Estimasi parameter populasi (N/mm^2) berdasarkan ASTM D2915
Table 6. Population parameter estimation (N/mm^2) based on ASTM D2915

Parameter	Kekuatan tekan (Compression) //	MOE tekan (MOE Compression) //	Kekuatan tarik (Tension strength) $\perp$	Kekuatan tarik (Tensions trength) //	MOE tarik (MOE tension) //
Weibull 5% Point estimate	34,4	923	0,53	62,71	6.076
Lognormal 5% Point estimate	36,9	1.020	0,56	64,37	6.090
5% TL (75%)	38,1	1.105	0,60	67,41	6.338
Normal Mean	53,0	2.674	1,46	109,03	9.542
Standard Deviation	9,44	1.201	0,65	25,49	2.133
5% Point estimate	33,7	220	0,12	56,96	5.185
5% TL (75%)	35,5	447	0,24	61,78	5.589
Non Parametrik (Non-Parametric)					
5% Point estimate	41,9	1.246	0,51	65,20	6.200
5% TL (75%)	41,6	1.126	0,49	65,04	5.604

Nilai 5% batas bawah merupakan nilai yang mendekati nilai minimum sehingga dianggap aman untuk suatu konstruksi. Nilai estimasi 5% batas bawah untuk kuat tekan sejajar serat, tarik sejajar serat, tarik tegak lurus serat sebesar 38,1; 61,8; dan 0,60 N/mm^2 . Sementara itu, untuk MOE tekan dan tarik sejajar serat sebesar 1.105 N/mm^2 dan 6.076 N/mm^2 . Nilai tersebut dapat digunakan sebagai standar keamanan bambu betung untuk pemanfaatan konstruksi. Kekuatan tarik tegak lurus serat memiliki nilai 5% batas bawah yang sangat rendah, sehingga disarankan meminimalisir pemanfaatan bambu betung ke arah tarik tegak lurus seratnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Nilai 5% batas bawah kuat rata-rata tekan sejajar, tarik sejajar, dan tarik tegak lurus serat bambu betung berturut-turut sebesar 38,1 N/mm^2 , 61,8 N/mm^2 , dan 0,60 N/mm^2 . Bambu betung memiliki kekuatan tekan sejajar serat yang cukup tinggi dibandingkan beberapa jenis bambu lainnya. Buku pada bambu dapat mengurangi kuat tarik sejajar serat bambu. Kekuatan tarik tegak lurus serat bambu jauh lebih

rendah daripada kekuatan tarik sejajar serat bambu. Serat bambu yang tumbuh ke arah aksial serta bentuk bambu yang berlubang di tengah diduga menyebabkan rendahnya kekuatan tarik tegak lurus serat bambu. MOE yang diperoleh pada contoh uji tekan sejajar serat lebih tinggi daripada MOE tarik sejajar serat. Buku pada contoh uji tarik sejajar serat juga dapat menyebabkan elastisitas bambu yang lebih rendah.

B. Saran

Penelitian lebih lanjut terhadap kekuatan tekan sejajar serat bambu berbuku dan kekuatan tarik tegak lurus serat dengan beberapa ukuran lubang pengujian perlu dilakukan untuk memperoleh data dan informasi yang lebih banyak terhadap kekuatan mekanis bambu betung.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh NN dan ETB; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh ABL dan ETB; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh ABL, ETB, dan NN; penulisan manuskrip oleh ABL,

ETB, dan NN; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh NN.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadih Y.N., Dewi S.M., & Wijaya M.N. (2016). Pengaruh penambahan serat bambu dan pelapisan batu apung terhadap kuat tekan beton ringan. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 1(2), 719-728.
- Abdillah, F. (2019). Pemilahan kapasitas dan kekuatan tekan sejajar serat bambu betung (*Dendrocalamus asper*) di pasaran (Skripsi). Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/103040>
- Aini N., Morisco, Anita F. (2009). Pengaruh pengawetan terhadap kekuatan dan keawetan produk laminasi bambu. *Jurnal Forum Teknik Sipil*, 19(1), 979-986.
- Allowenda A., Priadi E., & Aprianto. (2018). Analisa modulus elastisitas dalam memprediksi besarnya keruntuhan lateral dinding penahan tanah pada tanah lunak. *Jurnal Elektronik Laut, Sipil, Tambang*, 5(2), 1-13.
- Arce-Villalobos. (1993). Fundamentals of the design bamboo structures (Tesis). Eindhoven (NL): Technische Universiteit Eindhoven.
- Artiningsih N. K. A. (2012). Pemanfaatan bambu pada konstruksi bangunan berdampak positif bagi lingkungan. *Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, 8(1).
- Awalludin D., Ariffin M.A.M., Osman M.H., Hussin M.W., Ismail M.A., Lee H.S., & Lim N.H.A.S. (2017). Mechanical properties of different bamboo species. *MATEC Web Conferences*, 138(01024).
- Bahtiar E.T., Imanullah A.P., Hermawan D., Nugroho N., & Abdurachman. (2019). Structural grading of three sympodial bamboo culms (hitam, andong, and tali) subjected to axial compressive load. *Engineering Structures*, 181(2019), 233-245.
- Bahtiar E.T., Trujillo D., & Nugroho N. (2020). Compression resistance of short members as the basis for structural grading of *Guadua angustifolia*. *Construction Building Material* 249:118759, 1-13. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118759.
- Barly, Ismanto A., Martono D., Abdurachman, & Andianto. (2012). Sifat fisis dan stabilisasi dimensi beberapa jenis bambu komersial. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(3), 163-170.
- Basri E., & Pari R. (2017). Sifat fisis dan pengeringan lima jenis bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(1), 1-13.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2020.) *Statistik produksi kehutanan 2019*. Badan Pusat Statistik Indonesia, Jakarta.
- Chen Q., Fang C., Wang G., Ma X., Chen M., Zhang S., Dai C., & Fei B. (2019). Hygroscopic swelling of moso bamboo cells. *Cellulose*, 27(2), 611-620.
- Eratodi I.G.L.B. (2017). *Struktur dan rekayasa bambu*. Universitas Pendidikan Nasional, Bali.
- Fahrina R., & Gunawan I. (2014). Pemanfaatan bambu betung bangka sebagai pengganti tulangan balok beton bertulangan bambu. *Jurnal Fropil*, 2(1), 56-68.
- Handana M.A.P., Surbakti B., Harisdani D.D., Karolina R., & Rizki T.F. (2020.) The effect of borax solution as preservative to the mechanical properties of bamboo. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 519(012026).
- Handayani T.R., Budi A.S., & Santosa B. (2014). Kapasitas lentur kolom beton bertulangan bambu petung polos. *Matriks Teknik Sipil*, 2(1), 1-8.
- Hidayat M.E., Ismeddiyanto, & Kurniawandy A. (2016.) Pengaruh penambahan serat kulit bambu terhadap sifat mekanik beton. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 3(1), 1-7.
- International Organization for Standardization (ISO) (2019). *Bamboo structures: Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms - Test methods*. ISO 22157:2019.
- Kaminski S., Lawrence A., & Trujillo D. (2016). Structural use of bamboo part 1: Introduction to bamboo. *The Structural Engineer*. 40-43.
- Kasiati E., & Wibowo B. (2010). Pilinan bambu sebagai alternatif pengganti tulangan tarik pada balok beton. *Jurnal Aplikasi*, 8(1), 9-17.
- Mitch D., Harries K.A., & Sharma B. (2010). Characterizing of splitting behavior of bamboo culms. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(11), 1195-1199.
- Muhsin A., Febriany L.M., Hidayati H.N., & Purwanti Y.D. (2015). Material bambu sebagai konstruksi pada great hall eco campus outward bound Indonesia. *Jurnal Reka Karsa*, 3(3), 1-11.
- Ndale F.X. (2013). Sifat fisik dan mekanik bambu sebagai bahan konstruksi. *Jurnal Teknosiar*, 7(2), 22-31.
- Nurmadina, Nugroho N., & Bahtiar E.T. (2017). Structural grading of *Gigantochloa apus* bamboo based on its flexural properties. *Journal*

- Construction of Building Materials*, 157(2017), 1173-1189.
- Otaya L.G. (2016). Distribusi probabilitas weibull dan aplikasinya. *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 4(2), 44-66.
- Putra I.ND, Sinarta I.N., & Bagiarta I.K.Y. (2020). Analisa kekuatan struktur bambu pada pembangunan entry building green school ubud. *Jurnal Universitas Kadiri Riset Teknik Sipil*, 4(1), 40-53.
- Rahmi I.A., Mukarlina, & Linda R. (2015.) Struktur anatomi batang empat spesies bambusa (*B. maculata* Widjaja, *B. uetuldoide* Widjaja, *B. glaucophylla* Widjaja dan *B. multiplex* Widjaja) di Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 4(1), 213-217.
- Rulliaty S., Hadjib N., Jasni, Suprpti S., Muslich M., Komarayati S., Pari G., Basri E., Sulastiningsih I.M., & Abdurrahman. (2012). Sifat dasar kegunaan bambu. *Laporan Hasil Penelitian*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, Bogor.
- Sharma B., Harries K.A., & Ghavami K. (2013). Methods of determining transverse mechanical properties of full-culm bamboo. *Journal of Construction and Building Materials*, 38(2013), 627-637.
- Subyakto E., Hermiati N., Masruchin, Ismadi, & Subiyanto B. (2011). Preparation of micro/nano fiber of betung bamboo (*Dendrocalamus asper*) and development of their biocomposites. Dalam *Proceeding International Seminar: Strategies and Challenges on Bamboo and Potential Non Timber Forest Products (NTFPs) Managements and Utilization*. 23-24 November 2011, Bogor. Center for Forest Productivity Improvement Research and Development, Ministry of Forestry. p87-94.
- Sulaeman B. (2018). Modulus elastisitas berbagai jenis material. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 3(2), 127-138.
- Trujillo D., & Jangra S. (2016). *Grading of Bamboo*. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Beijing
- Widjaja E.A. (2012). The Utilization of bamboo: At present and for the future. Dalam *Proceedings of International Seminar: Strategies and Challenges on Bamboo and Potential Non Timber Forest Products (NTFP) Management and Utilization*. 23-24 November 2011, Bogor. Center for Forest Productivity Improvement Research and Development, Ministry of Forestry. p79-85.
- Yoresta F.S. (2013). Sifat mekanis bambu betung (*Dendrocalamus asper*). *Jurnal Hutan Tropis*, 1(3), 185-189.