

EVALUASI SEBARAN LONGITUDINAL SIFAT FISIKA DAN MEKANIKA *Dendrocalamus asper* DAN *Gigantochloa apus* MENGGUNAKAN MIXED- EFFECT MODELING

*Assessing Longitudinal Variations in the Physical and Mechanical Properties of
Dendrocalamus asper and Gigantochloa apus Using Mixed-Effect Modeling*

Dwi Sukma Rini^{1*}, Andi Chairil Ichsan¹, Hairil Anwar¹, Rima Vera Ningsih¹,
Aulia Khairunnisa¹, Agus Ngadianto²

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram
Jalan Majapahit No. 62, Gomong, Kecamatan Selaparang, Kota Mataram,
Nusa Tenggara Barat, 83125, Telp. (0370) 633007

²Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
Blimbing Sari, Caturtunggal, Depok, Sleman Regency, Yogyakarta, 55281, Telp. (0274) 541020
E-mail : dwisukmarini@unram.ac.id

Diterima: 28 April 2025, direvisi: 31 October 2025, disetujui: 13 November 2025

ABSTRACT

*Bamboo is an environmentally friendly construction material because it is renewable, lightweight, and possesses good mechanical strength. However, due to the lack of basic knowledge about the properties of bamboo culms, only a few species are commonly utilized. This study aims to investigate the longitudinal variation of physical and mechanical properties of *Dendrocalamus asper* and *Gigantochloa apus* that grow naturally on Lombok Island. Sampling was carried out by selecting 10 bamboo culms, aged 3-4 years old, from different clumps at each location. The tests conducted include moisture content, basic density, tangential and radial shrinkage, modulus of elasticity (MOE), and modulus of rupture (MOR). Statistical analysis was performed using R software, incorporating linear and non-linear mixed-effects models to evaluate longitudinal variations and the influence of individual and location on the distribution of bamboo properties. The results showed that the values for green moisture content, basic density, tangential and radial shrinkage at 1% moisture content change, MOE, and MOR for *G. apus* were 99.97%, 0.60 g/cm³, 0.29%, 0.35%, 8.27 GPa, and 108.80 MPa, respectively. Meanwhile, the values for *D. asper* were 108.13%, 0.58 g/cm³, 0.34%, 0.42%, 9.71 GPa, and 102.47 MPa, respectively. The longitudinal variation of moisture content in *G. apus* followed a linear pattern, while a logarithmic equation best described the variation in moisture content of *D. asper*, basic density, MOE, and MOR for both bamboo species. Additionally, the longitudinal variation in tangential and radial shrinkage for both species remained constant, following a linear equation with a y-intercept.*

Keywords: *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa apus*, Longitudinal variation, Mixed-effect model,

ABSTRAK

Bambu merupakan bahan konstruksi yang ramah lingkungan karena bersifat terbarukan, ringan, dan memiliki kekuatan mekanik yang baik. Namun, keterbatasan pengetahuan tentang sifat-sifat bambu menyebabkan hanya beberapa jenis yang umum digunakan di industri dan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dan bambu tali (*Gigantochloa apus*) yang tumbuh alami di pulau Lombok. Sampel bambu yang digunakan berumur 3-4 tahun. Pengambilan sampel dilakukan dengan memilih 10 batang bambu dari rumpun yang berbeda di setiap lokasi. Pengujian yang dilakukan meliputi kadar air, berat jenis, penyusutan

arah tangensial dan radial, serta modulus elastisitas (MOE) dan modulus patah (MOR). Analisis statistika dilakukan menggunakan perangkat lunak R dengan model efek campuran linear dan non-linear untuk mengevaluasi variasi longitudinal serta pengaruh individu dan lokasi pada sebaran sifat-sifat bambu tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kadar air, berat jenis, penyusutan tangensial, penyusutan radial, MOE, dan MOR bambu tali secara berurutan adalah 99,97%, 0,60 gr/cm³, 0,29%, 0,35%, 8,27 GPa, dan 108,80 MPa. Sementara itu nilai kadar air, berat jenis, penyusutan tangensial, penyusutan radial, MOE, dan MOR bambu petung secara berurutan adalah 108,13% dan 0,58 gr/cm³, 0,34%, 0,42%, 9,71 GPa, dan 102,47 MPa. Variasi longitudinal kadar air pada bambu tali dijelaskan dengan persamaan linear, sementara persamaan logaritmik terpilih untuk menjelaskan variasi longitudinal kadar air, berat jenis, MOE, dan MOR pada bambu petung dan bambu tali. Variasi longitudinal pada penyusutan tangensial dan radial pada kedua jenis bambu dijelaskan dengan persamaan y-intercept yang menunjukkan nilai kedua sifat tersebut konstan dari bagian pangkal hingga ujung bambu. Sifat fisika dan mekanika *D. asper* dan *G. apus* tidak berbeda signifikan, dengan variasi longitudinal terutama dipengaruhi individu bambu. Model logaritmik paling sesuai untuk menjelaskan sebaran longitudinal kadar air, berat jenis, MOE, dan MOR, sementara penyusutan cenderung konstan pada arah longitudinal yang dijelaskan model y-intercept.

Kata kunci: *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa apus*, *Mixed-effect model*, Variasi longitudinal

I. PENDAHULUAN

Bambu merupakan salah satu bahan bangunan yang ramah lingkungan karena bersifat terbarukan, memiliki pertumbuhan cepat, dan mudah dibudidayakan di berbagai wilayah. Sebagai material konstruksi, bambu diproduksi dengan energi yang relatif rendah, memiliki dampak lingkungan minimal, serta mudah terurai secara alami sehingga meninggalkan jejak karbon yang rendah (Awaluddin *et al.*, 2017). Dibandingkan kayu, bambu memiliki beberapa keunggulan sebagai material konstruksi. Bambu memiliki pertumbuhan alami yang relatif cepat, mudah ditemukan dan dibudidayakan di berbagai wilayah, diproduksi dengan jumlah energi yang relatif rendah, memiliki dampak lingkungan yang minim, dapat diurai oleh alam, serta memiliki jejak karbon yang relatif rendah (Suriani, 2017). Sebagai bahan bangunan, bambu memenuhi syarat sebagai bahan ekologis, yaitu bahan yang memerlukan energi sesedikit mungkin untuk penggunaan dan produksinya (pembuatannya), tidak mengalami perubahan materi (transformasi) yang tidak dapat diubah oleh alam, serta proses pengembangan, pembuatan (produksi), penggunaan dan pemeliharaan bahan bangunan tidak mencemari lingkungan (keadaan entropi serendah mungkin) (Suriani, 2017).

Berbagai spesies bambu tersebar di wilayah Indonesia mulai dari daerah rawa hingga dataran tinggi dengan ketinggian 2.500 m. Lebih kurang 145 spesies bambu yang berasal dari 20 genus ditemukan, dengan rincian 118 spesies merupakan bambu asli Indonesia, sementara sisanya 17 spesies berasal dari negara lain yang diperkenalkan dan ditanam di Indonesia (Priyanto and Abdullah, 2014). Tanaman bambu dapat bermanfaat untuk melindungi lingkungan dan pengembangan sosial ekonomi masyarakat pedesaan (Priyanto dan Abdullah, 2017; Liese dan Köhl, 2015; Manandhar

et al., 2019; Ekawati *et al.*, 2022). Buluh bambu telah lama digunakan sebagai pengganti kayu di masyarakat. Penggunaan buluh bambu di Indonesia masih bersifat tradisional, masyarakat biasanya menggunakan bambu sebagai bahan bangunan untuk perumahan pedesaan, kebutuhan sehari-hari, dan kerajinan tangan (Widjaja, 2000; Ekawati *et al.*, 2022). Beberapa jenis bambu sudah digunakan sebagai bahan baku industri dan konstruksi modern, namun jumlahnya masih sangat terbatas.

Saat ini jenis-jenis bambu lokal mulai dimanfaatkan untuk kebutuhan bahan baku konstruksi. Namun demikian data terkait sifat bambu, terutama bambu lokal masih sangat terbatas. Kekuatan fisika dan mekanika bambu menjadi syarat utama dalam pemanfaatan bambu sebagai bahan bangunan. Disisilain, bambu banyak sekali kita jumpai tumbuh secara alami di lingkungan kita tanpa mendapatkan perawatan, hal ini menyebabkan bambu memiliki sifat yang bervariasi meskipun berasal dari spesies yang sama. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa sifat bambu bervariasi pada arah longitudinal (Kamthai dan Puthson, 2005; Anokye *et al.*, 2014; Awaluddin *et al.*, 2017; Rini *et al.*, 2022; Rini *et al.*, 2023). Rini *et al.* (2022, 2023) menemukan bahwa variasi sifat Bambu Tutul (*Bambusa maculata*), Bambu Ampel (*Bambusa vulgaris*), dan Bambu Galah (*Gigantochloa atter*) yang tumbuh di pulau Lombok dipengaruhi oleh lingkungan tempat tumbuh dan individual batang bambu dalam spesies yang sama. Oleh karena itu, data terkait variasi sifat fisika dan mekanika pada arah longitudinal dan faktor-faktor yang mempengaruhi perlu diteliti pada jenis-jenis bambu lainnya.

Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) dan Bambu Tali (*Gigantochloa apus*) merupakan dua spesies bambu lokal yang paling banyak ditemukan dan dimanfaatkan di Pulau Lombok, baik untuk

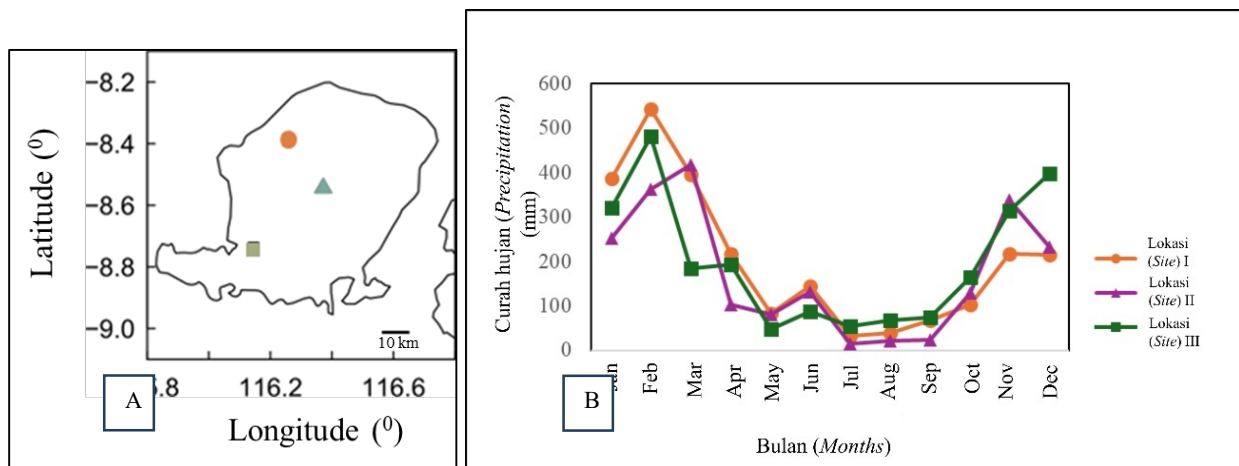
keperluan konstruksi, peralatan rumah tangga, maupun kerajinan. Bambu petung dikenal memiliki ukuran diameter yang besar dan kekuatan mekanis yang baik, sehingga berpotensi besar untuk aplikasi struktural. Sementara itu, bambu tali terkenal karena kelenturannya dan sering digunakan sebagai bahan anyaman serta bagian struktur ringan. Namun, meskipun pemanfaatannya cukup luas, kajian ilmiah mengenai karakteristik fisika dan mekanika kedua jenis bambu ini masih sangat terbatas, khususnya yang berkaitan dengan variasi longitudinal. Padahal, pemahaman mengenai sifat ini sangat penting untuk menentukan potensi aplikatifnya secara lebih presisi dan aman dalam desain bangunan berbasis bambu. Oleh karena itu, penelitian terhadap bambu petung dan bambu tali menjadi penting untuk memberikan dasar ilmiah bagi pemanfaatan bambu lokal secara optimal dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi longitudinal sifat fisika dan

mekanika, serta faktor yang mempengaruhi variasi tersebut pada bambu petung (*D. asper*) dan bambu tali (*G. apus*) yang tumbuh di pulau Lombok.

II. BAHAN DAN METODE

A. Gambaran Umum Lokasi Pengambilan Sampel

Sampel bambu diambil dari 3 lokasi penelitian yaitu Desa Geggelang Kabupaten Lombok Utara ($8^{\circ}23'16''$ LS, $116^{\circ}15'35''$ BT), Desa Aik Bual Kabupaten Lombok Tengah ($8^{\circ}32'39.95''$ LS, $116^{\circ}22'18.65''$ BT), Desa Mareje ($8^{\circ}44'15.66''$ LS, $116^{\circ}8'41.83''$ BT) Kabupaten Lombok Barat (Gambar 1A). Data curah hujan diolah berdasarkan data curah hujan bulanan tahun 2021-2023 yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I (Gambar 1B). Gambar 2 merupakan kondisi lokasi pengambilan sampel bambu.



Gambar 1. Peta Lokasi (A) dan Kondisi curah hujan (B)
Figure 1. Sampling location (A) and Monthly precipitation (B)

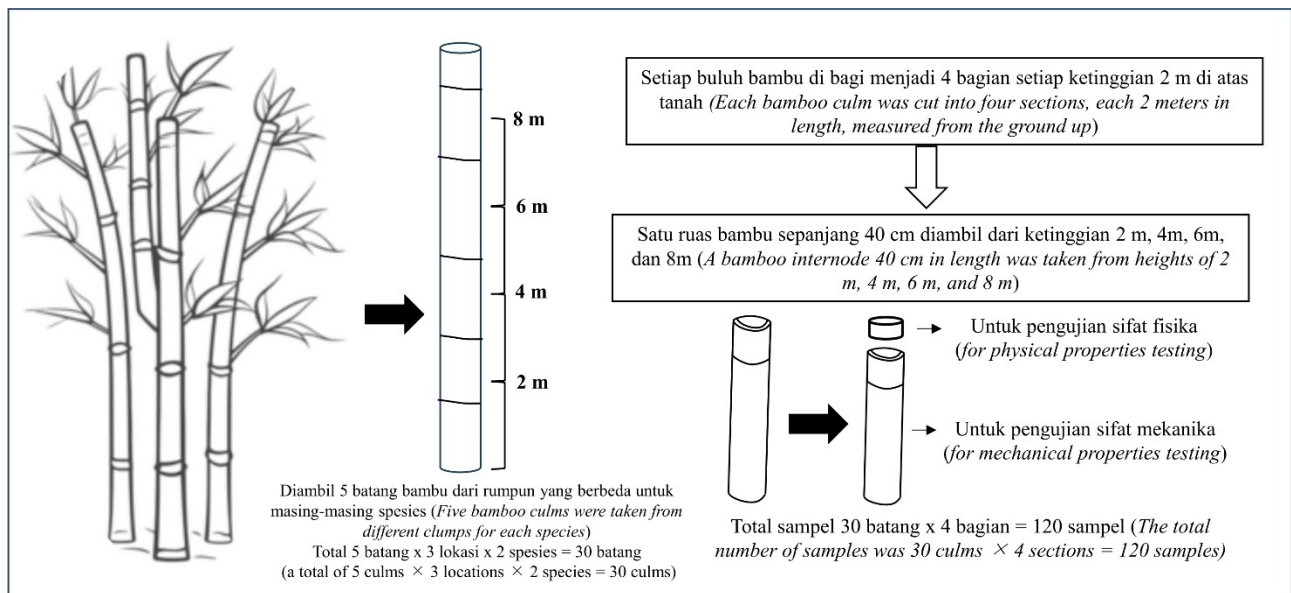


Gambar 2. Kondisi lokasi pengambilan sampel pada Lokasi I (A), Lokasi II (B), dan Lokasi III (C)
Figure 2. Sampling site conditions at Location I (A), Location II (B), and Location III (C)

B. Persiapan Sampel Bambu

Bambu yang digunakan adalah jenis Bambu Petung (*D. asper*) dan Bambu Tali (*G. apus*) dengan umur 3-4 tahun. Penentuan umur bambu dilakukan oleh petani bambu yang berpengalaman dengan cara mengetuk batang bambu untuk mengetahui suara yang dikeluarkan dan memperhatikan ciri Morfologi bambu seperti ada

atau tidaknya seludang, akar di sekeliling buku, warna buluh, dan lain sebagainya (Banik, 2015). Pengambilan sampel bambu dilakukan pada bulan Februari 2024. Sampel bambu yang digunakan sebanyak 5 batang bambu yang diambil dari rumpun yang berbeda untuk setiap jenis di setiap lokasi. Batang yang telah dipilih dari setiap rumpun kemudian dipotong setinggi 20 cm dari permukaan tanah.



Gambar 3. Ilustrasi Pengambilan Sampel
Figure 3. Sampling Illustration

C. Pengujian Sifat Fisika dan Mekanika

1. Kadar air segar dan berat jenis

Balok kecil bambu ukuran 2,5 [T] cm x 2,5 [L] cm dengan ketebalan batang yang bervariasi pada arah radial disiapkan dari setiap bagian bambu yang digunakan. Berat dan volume dalam kondisi segar dari spesimen diukur. Kemudian, spesimen ditimbang setelah dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam.

2. Penyusutan arah tangensial dan radial pada setiap perubahan kadar air 1%

Penyusutan bambu dihitung menggunakan sampel dengan ukuran 2 cm (L) x 1 cm (R) x tebal bambu pada arah radial dan tangensial. Nilai penyusutan dihitung pada setiap perubahan kadar air 1% dengan rumus berikut:

$$\text{Penyusutan (\%)} = \frac{\text{Tebal akhir} + \frac{1,5x(\text{tebal awal} - \text{tebal akhir})}{\text{Kadar air Kering udara}}}{2} \dots\dots\dots(1)$$

3. Modulus elastisitas (MOE) dan modulus patah (MOR)

Pengujian MOE dan MOR menggunakan sampel bambu tanpa buku dengan ukuran 10 [T] mm x 200 [L] mm x ketebalan batang yang bervariasi pada arah radial. Uji lengkung statis

dilakukan dengan menggunakan UTM. Beban diberikan pada bagian tengah spesimen pada permukaan korteks luar dengan bentang 180 mm dan kecepatan pembebanan 3 mm/min. Beban dan defleksi dicatat dengan komputer pribadi, dan kemudian MOE dan MOR dihitung dengan rumus berikut:

$$MOE \text{ (GPa)} = (\Delta P l^3 / 4 \Delta Y b h^3) \times 10^{-3} \dots\dots\dots(2)$$

$$MOR \text{ (MPa)} = 3 P l / 2 b h^2 \dots\dots\dots(3)$$

dimana ΔP = selisih antara batas proporsional atas dan bawah dalam rentang elastisitas (N), l = panjang bentang (mm), ΔY = lendutan akibat ΔP (mm), b = lebar benda uji (mm), h = tinggi benda uji (mm), dan P = beban maksimum (N).

4. Analisis Statistika

Analisis statistik dilakukan berdasarkan Rini *et al.* (2023), dengan menggunakan perangkat lunak *R software* (versi 4.3.1). Untuk mengevaluasi variasi longitudinal dari sifat-sifat yang diukur pada setiap spesies, model-model efek campuran dengan longitudinal bambu sebagai efek tetap, lokasi dan individu bambu sebagai efek acak. Model-model y-intercept, linier, dan nonlinier dikembangkan dengan fungsi "lmer" pada paket "lme4" dan fungsi "nlme" pada paket "nlme". Empat model lengkap berikut ini dikembangkan dan dibandingkan (Rini *et al.*, 2023).

Tabel 1. Model Efek Campuran y-Intercept, Linier, Dan Nonlinier
Table 1. Mixed Effects Models: y-Intercept, Linear, and Nonlinear

| Model | Formula |
|-------------------------------|--|
| Model I (y-intercept model) | $Y_{ijk} = \alpha_1 + Site_{1k} + Culm_{1jk} + e_{ijk}$ |
| Model II (linear model) | $Y_{ijk} = (\beta_0 + Site_{0k} + Culm_{0jk}) X_{ijk} + \beta_1 + Site_{1k} + Culm_{1jk} + e_{ijk}$ |
| Model III (logarithmic model) | $Y_{ijk} = (\gamma_0 + Site_{0k} + Culm_{0jk}) \ln(X_{ijk}) + \gamma_1 + Site_{1k} + Culm_{1jk} + e_{ijk}$ |
| Model IV (quadratic model) | $Y_{ijk} = (\zeta_0 + Site_{0k} + Culm_{0jk}) X_{ijk}^2 + (\zeta_1 + Site_{1k} + Culm_{1jk}) X_{ijk} + \zeta_2 + Site_{2k} + Culm_{2jk} + e_{ijk}$ |

Total 36 model efek campuran (3 Model I, 15 Model II, 9 untuk masing-masing model III dan IV) diuji untuk setiap parameter dan spesies dalam penelitian ini. Model terbaik dipilih berdasarkan nilai *AIC* (*Akaike Information Criterion*). Nilai *AIC* diperoleh secara otomatis melalui fungsi-fungsi model campuran pada software R seperti “*lmer*” dan “*AIC*”, yang menghitung berdasarkan jumlah parameter dan nilai likelihood model. Persamaan yang memiliki *AIC* yang paling kecil dipilih sebagai model yang paling baik digunakan untuk menjelaskan pengaruh efek lokasi dan/atau individu batang bambu terhadap sifat-sifat bambu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Pertumbuhan Bambu

Karakteristik pertumbuhan bambu petung (*D.asper*) dan bambu tali (*G.apus*) di setiap lokasi disajikan dalam Tabel 2. Keliling batang rata-rata tertinggi diperoleh pada *D. Asper*, berkisar dari 35,4 cm hingga 46,4 cm, sementara jenis *G. apus* hanya memiliki keliling 21,6 cm hingga 24,7 cm (Tabel 1). Rata-rata tinggi batang dari *D.asper* dan *G. apus* secara berurutan masing-masing berkisar antara 18,4 m hingga 23,7 m dan 13,9 m hingga 15,6 m. Tabel 2 menunjukkan bahwa *D. asper* memiliki nilai rata-rata lebih tinggi pada semua parameter morfometrik, termasuk tinggi total, keliling batang, dan jumlah ruas. Hal ini menunjukkan perbedaan kemampuan pertumbuhan antar spesies yang mencerminkan perbedaan genetik, adaptasi ekologis, serta respon terhadap kondisi lingkungan setempat.

Bambu memiliki berbagai karakteristik pertumbuhan yang berbeda diantara spesiesnya (Akinlabi *et al.*, 2017; Nordahlia *et al.*, 2019). Setiap spesies bambu memiliki karakteristik absolut yang khas, seperti tinggi batang, panjang

ruas, dan ketebalan batang (Nordahlia *et al.*, 2019). Berdasarkan Tabel 2, karakteristik pertumbuhan dari kedua spesies bambu tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut: 1) Bambu petung memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan bambu tali, baik tinggi maupun kelilingnya, 2) Jumlah ruas bambu petung lebih banyak dibandingkan bambu tali, yang menunjukkan kemampuan pertumbuhan longitudinal yang lebih kuat, 3) Spesies *D. asper* memiliki potensi biomassa yang lebih tinggi dibandingkan *G. apus*.

Jenis *D. asper* dikenal memiliki sistem perakaran yang kuat serta toleransi tinggi terhadap kelembaban, sehingga tumbuh optimal pada wilayah dengan ketinggian sedang dan tanah yang memiliki drainase baik. Kemampuan *D. asper* untuk berkembang pada lingkungan dengan kelembaban tanah yang memadai sangat menguntungkan, sebagaimana ditunjukkan oleh beberapa penelitian yang melaporkan performa pertumbuhannya pada kondisi tersebut (Pertiwi *et al.*, 2021; Wijayani *et al.*, 2025). Selain itu, *D. asper* juga memiliki kontribusi penting terhadap penyimpanan karbon dan potensi biomassa, sehingga menegaskan signifikansinya dalam produksi biomassa (Wijayani *et al.*, 2025). Sebaliknya, *G. apus* lebih menyukai tanah yang kaya bahan organik dan memiliki tingkat kelembaban yang relatif stabil. Meskipun laju pertumbuhan longitudinalnya lebih lambat, *G. apus* unggul dalam kemampuan regenerasi alami dan cenderung memiliki kerapatan rumpun yang lebih tinggi. Karakteristik ini dapat menjadi keuntungan dalam konteks ekologi yang mendukung akumulasi bahan organik dalam tanah. Penelitian menunjukkan bahwa spesies bambu berukuran kecil seperti *G. apus* memiliki kapasitas regenerasi alami yang sangat baik serta mampu mempertahankan kerapatan populasi yang tinggi (Wijayani *et al.*, 2025).

Tabel 2. Rata-rata dan standar deviasi karakteristik pertumbuhan
Table 2. Mean and standard deviation of growth characteristics

| Spesies (<i>Species</i>) | Lokasi (<i>Site</i>) | n | Tinggi total (m) (<i>Culm height</i>) | Keliling batang (cm) (<i>Culm circumference</i>) | Jumlah ruas (<i>internode</i>) |
|-------------------------------|---------------------------|---|--|---|-------------------------------------|
| <i>G.apus</i> | I | 5 | 14,7 ± 1,2 | 23,8 ± 0,4 | 34,8 ± 4,1 |
| | II | 5 | 15,6 ± 1,6 | 24,7 ± 0,4 | 37,0 ± 5,8 |
| | III | 5 | 13,9 ± 1,4 | 21,6 ± 1,1 | 36,4 ± 5,9 |
| <i>D. asper</i> | I | 5 | 19,2 ± 1,8 | 35,4 ± 0,9 | 51,8 ± 11,1 |
| | II | 5 | 23,7 ± 1,0 | 46,4 ± 1,6 | 62,3 ± 8,5 |
| | III | 5 | 18,4 ± 2,0 | 44,5 ± 4,2 | 59,3 ± 5,1 |

Keterangan: n= jumlah sampel tiap lokasi

B. Sifat Fisika dan Mekanika

Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata dan standar deviasi sifat fisika dan mekanika pada *D. asper* dan *G. apus*. Berdasarkan Tabel 3 rata-rata nilai kadar air segar dari *D. asper* dan *G. apus* masing-masing adalah 99,97% dan 108,13%. Dalam penelitian ini, rata-rata kadar air segar pada kedua spesies bambu memiliki nilai yang relatif sama dan tidak ada perbedaan signifikan antara kedua spesies. Rata-rata nilai berat jenis dari *D. asper* dan *G. apus* masing-masing adalah 0,60 g/cm³ dan 0,58 g/cm³, secara berurutan. Meskipun nilai berat jenis *D. asper* lebih tinggi dibanding dengan *G. apus* namun tidak terdapat perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji anova.

Rata-rata nilai penyusutan tangensial dan radial pada perubahan kadar air 1% pada *D. asper* dan *G. apus* adalah 0,29 dan 0,35%, dan 0,34 dan 0,42%, secara berurutan. Tidak ada perbedaan yang signifikan pada penyusutan tangensial pada kedua spesies, namun penyusutan radial *D. asper* lebih rendah dibandingkan *G. apus*. Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa penyusutan lebih tinggi pada arah radial dibandingkan dengan arah tangensial pada kedua spesies bambu. Penyusutan bambu pada arah radial sering dilaporkan lebih besar atau setara dengan penyusutan pada arah tangensial (Ahmad dan Kamke, 2005; Anwar *et al.*, 2005; Kamruzzaman *et al.*, 2008; Nordahlia *et al.*, 2009; Anokye *et al.*, 2014; Marsoem *et al.*, 2015; Vetter *et al.*, 2015). Anokye *et al.* (2014) melaporkan bahwa pola penyusutan *B. vulgaris* dan *G. scortechinii* di Malaysia menunjukkan bahwa arah radial cenderung menyusut sedikit lebih banyak dibandingkan dengan arah tangensial, dengan rasio 1,15. Kecenderungan serupa juga ditemukan pada *G. atter*, yang memiliki rasio penyusutan radial terhadap tangensial lebih rendah dari 2 (Marsoem *et al.*, 2015). Rata-rata rasio penyusutan radial terhadap tangensial dari kedua

spesies bambu dalam penelitian ini tergolong rendah, yaitu 1,30 dan 1,22 pada *G. apus* dan *D. asper*, berturut-turut. Hasil perbedaan minimal antara penyusutan radial dan tangensial dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kedua spesies bambu ini memiliki stabilitas dimensi yang baik.

Rata-rata nilai *MOE* dan *MOR* dari *D. asper* dan *G. apus* adalah 8,27 GPa dan 108,8 MPa, dan 9,71 GPa dan 102,47 MPa, secara berurutan (Tabel 3). Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua spesies ini. Nilai *MOE* *G. apus* pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan *G. apus* dalam penelitian Abdullah (2017) yaitu 7.52 GPa. Namun nilai *MOE* dan *MOR* *G. apus* lebih rendah jika dibandingkan dengan spesies *Gigantochloa* lain seperti *G. atter*, *G. pseudoarundinaceae*, *G. verticillata*, *G. schortechinii*, dan *G. wrayi* (Abdullah, 2017; Nordahlia, 2019). Sementara itu nilai *MOE* dan *MOR* *D. asper* dalam penelitian ini juga lebih rendah dari *D. asper* yang tumbuh di Filipina dan Malaysia (Aguinsatan, 2019; Nordahlia *et al.*, 2019).

C. Model Variasi Longitudinal Sifat Fisika dan Mekanika

Penentuan variasi longitudinal sifat-sifat buluh berdasarkan hasil nilai AIC terkecil dari 36 model yang dikembangkan. Namun demikian tidak semua model sesuai untuk sifat-sifat tersebut. Tabel 4-8 menyajikan 10 model yang berhasil dikembangkan untuk sifat fisika dan mekanika pada kedua buluh bambu dalam penelitian ini. Selain berdasarkan nilai AIC terendah, penentuan model yang paling sesuai juga melihat nilai delta AIC (ΔAIC), jika nilai ΔAIC kurang dari 2, maka model dengan efek random yang paling sedikit dipilih sebagai model yang paling sesuai untuk menjelaskan sebaran longitudinal sifat fisika dan mekanika kedua jenis bambu ini.

Tabel 3. Rata-rata dan standar deviasi sifat fisika dan mekanika *D. asper* dan *G. Apus*

*Table 3. Mean and standard deviation of physical and mechanical properties of *D. asper* and *G. apus**

| Sifat (Properties) | n | Spesies (Species) | |
|--|----|----------------------------|--------------------------|
| | | <i>Dendrocalamus asper</i> | <i>Gigantochloa apus</i> |
| Kadar air (%) | | | |
| <i>Moisture content (%)</i> | 15 | 99,97 ± 35,52a | 108,13 ± 36,79a |
| Berat jenis (gr/cm ³) | | | |
| <i>Basic density (g/ cm³)</i> | 15 | 0,60 ± 0,11a | 0,58 ± 0,11a |
| Penyusutan tangensial (%) | | | |
| <i>Tangential shrinkage (%)</i> | 15 | 0,29 ± 0,11a | 0,34 ± 0,14a |
| Penyusutan radial (%) | | | |
| <i>Radial shrinkage (%)</i> | 15 | 0,35 ± 0,14a | 0,42 ± 0,16b |
| <i>MOE (GPa)</i> | 15 | 8,27 ± 6,69a | 9,71 ± 6,67a |
| <i>MOR (MPa)</i> | 15 | 108,80 ± 67,28a | 102,47 ± 48,57a |

Keterangan: n adalah jumlah individu bambu yang digunakan untuk setiap spesies. Huruf yang sama setelah nilai standar deviasi menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara kedua spesies yang diuji berdasarkan uji anova pada tingkat kepercayaan 95%.

Note: n indicates the number of bamboo individuals used for each species. Identical letters following the standard deviation values indicate no significant difference between the two species tested, based on ANOVA at the 95% confidence level.

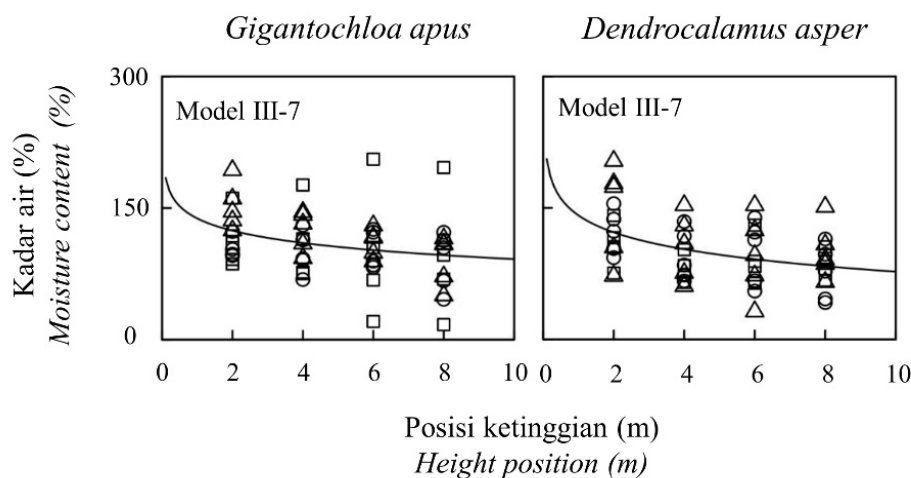
Kadar air. Tabel 4 menyajikan model-model persamaan pada kadar air bambu. Model yang memiliki nilai AIC terkecil untuk kedua spesies adalah model nonlinear logaritmik (Model III), dimana nilai kadar air pada kedua spesies menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu menurun dari bagian pangkal buluh kemudian stabil menuju ke bagian ujung buluh bambu (Gambar 4). Beberapa penelitian terdahulu juga

menunjukkan kecenderungan penurunan kadar air bambu dari bagian pangkal ke bagian ujung bambu, seperti pada *G. apus* yang tumbuh di Sumatera Utara (Hartono *et al.*, 2022), *G. schortechinii* yang tumbuh di Malaysia (Anokye *et al.*, 2014), serta *D. asper* yang tumbuh di Perak, Malaysia (Awaluddin *et al.*, 2017), Sumatera Utara, Indonesia (Hartono *et al.*, 2022), dan yang tumbuh di Prachinburi Thailand (Kamthai and Puthson, 2005).

Tabel 4. Peringkat Nilai AIC untul Model-model Persamaan pada Kadar Air Bambu
Table 4. AIC Ranking of Equation Models for Bamboo Moisture Content

| Spesies (<i>Species</i>) | Peringkat (<i>Rank</i>) | Model Eq. | Random effect | | | | AIC | Δ AIC |
|----------------------------|---------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|--------------|
| | | | <i>Site</i> ₀ | <i>Ind</i> ₀ | <i>Site</i> ₁ | <i>Ind</i> ₁ | | |
| <i>Gigantochloa apus</i> | 1 | III-7 | | v | | v | 541.7744 | 0 |
| | 2 | II-4 | | v | v | v | 544.2298 | 2.4554 |
| | 3 | II-1 | v | v | v | v | 545.4978 | 3.7234 |
| | 4 | II-10 | | v | | v | 547.0523 | 5.2779 |
| | 5 | II-7 | | v | v | | 548.1298 | 6.3554 |
| | 6 | II-5 | v | v | | v | 548.925 | 7.1506 |
| | 7 | II-3 | v | v | v | | 549.8622 | 8.0878 |
| | 8 | III-2 | v | v | | | 555.8446 | 14.0702 |
| | 9 | II-13 | | v | | | 559.278 | 17.5036 |
| | 10 | III-9 | | | | v | 560.2532 | 18.4788 |
| <i>Dendrocalamus asper</i> | 1 | III-7 | | v | | v | 543.9091 | 0 |
| | 2 | IV-3 | | | v | v | 548.7338 | 4.8247 |
| | 3 | II-12 | | | | v | 552.1836 | 8.2745 |
| | 4 | III-8 | | v | | | 562.5064 | 18.5973 |
| | 5 | II-13 | | v | | | 573.6359 | 29.7268 |
| | 6 | II-7 | | v | v | | 574.3488 | 30.4397 |
| | 7 | I-3 | | v | | | 577.133 | 33.2239 |
| | 8 | III-6 | | | v | | 582.8317 | 38.9226 |
| | 9 | III-5 | v | | | | 583.6786 | 39.7695 |
| | 10 | IV-6 | | | v | | 585.4872 | 41.5781 |

Keterangan: *Site*₀= Slope lokasi tempat tumbuh; *Ind*₀= Slope individu bambu; *Site*₁= Intercept lokasi tempat tumbuh; *Ind*₁= Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; Δ AIC= Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.
 Note: *Site*₀ = Slope of growing location; *Ind*₀ = Slope of individual bamboo; *Site*₁ = Intercept of growing location; *Ind*₁ = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; Δ AIC = Difference in AIC values between rankings.



Gambar 4. Variasi Longitudinal Kadar Air pada Buluh Bambu
Figure 4. Longitudinal Variation of Moisture Content in Bamboo Culms

Berdasarkan Tabel 4 model yang paling sesuai untuk menjelaskan variasi longitudinal kedua jenis bambu adalah persamaan III-7. Model dengan persamaan ini memiliki efek random individual bambu slope dan intercept. Hal ini menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi sebaran longitudinal kadar air segar pada kedua spesies adalah individu. Nilai kadar air segar juga berbeda pada setiap individu yang berasal dari lokasi yang sama dalam satu spesies. Sementara lokasi tempat tumbuh tidak berpengaruh pada variasi longitudinal kadar air untuk kedua jenis bambu. Hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dengan penelitian Rini *et al.* (2022) untuk jenis *B. vulgaris* dan *B. maculata* memiliki efek random individual slope dan intercept, yang artinya kadar air bambu tidak dipengaruhi oleh lokasi tempat tumbuh. Sementara pada jenis *G. atter*, kadar air bambu

dipengaruhi oleh lokasi tempat tumbuh dan individu bambu.

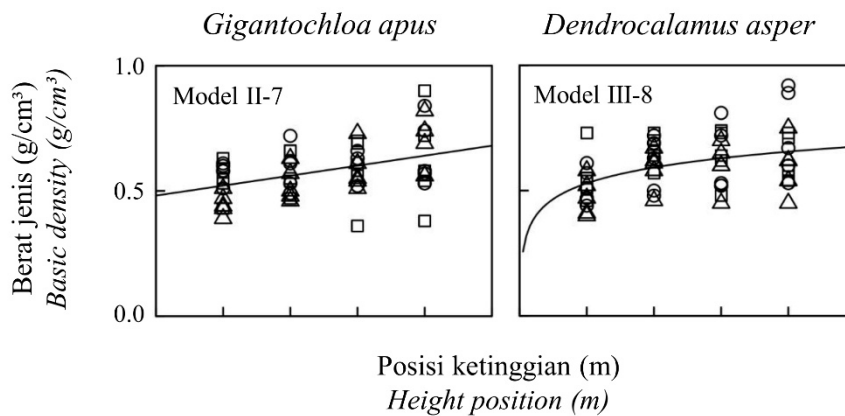
Berat Jenis. Tabel 5 menampilkan nilai AIC dari model yang dikembangkan untuk menganalisis variasi longitudinal berat jenis pada dua spesies bambu. Berdasarkan nilai AIC, model yang sesuai untuk menjelaskan variasi longitudinal berat jenis *G. apus* adalah model linear (Model II), sementara untuk *D. asper* model yang paling tepat adalah model nonlinier logaritmik (Model III). Sebaran longitudinal berat jenis pada bambu tali dan petung disajikan pada Gambar 5. Garis atau kurva dalam gambar adalah parameter efek tetap dalam model terpilih. Berat jenis meningkat dari bagian pangkal buluh menuju ke bagian ujung buluh untuk bambu tali, sementara pada bambu petung berat jenis meningkat dari bagian pangkal buluh dan stabil menuju ke bagian ujung buluh.

Tabel 5. Peringkat Nilai AIC untuk Model-model Persamaan pada Berat Jenis Bambu
Table 5. AIC Ranking of Equation Models for Bamboo Basic Density

| Spesies (<i>Species</i>) | Peringkat (<i>Rank</i>) | Model Eq. | Random effect | | | | AIC | Δ AIC |
|----------------------------|---------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|--------------|
| | | | <i>Site</i> ₀ | <i>Ind</i> ₀ | <i>Site</i> ₁ | <i>Ind</i> ₁ | | |
| <i>Gigantochloa apus</i> | 1 | II-7 | | v | v | | -118.8089 | 0 |
| | 2 | II-3 | v | v | v | | -117.4429 | 1.366 |
| | 3 | II-10 | | v | | v | -113.4228 | 5.3861 |
| | 4 | II-13 | | v | | | -113.2821 | 5.5268 |
| | 5 | III-2 | v | v | | | -111.0508 | 7.7581 |
| | 6 | III-7 | | v | | v | -109.8666 | 8.9423 |
| | 7 | III-9 | | | | v | -106.565 | 12.2439 |
| | 8 | II-12 | | | | v | -105.5938 | 13.2151 |
| | 9 | III-3 | | | v | v | -104.565 | 14.2439 |
| | 10 | II-8 | v | | | v | -104.1274 | 14.6815 |
| <i>Dendrocalamus asper</i> | 1 | III-8 | | v | | | -127.5425 | 0 |
| | 2 | III-7 | | v | | v | -127.2393 | 0.3032 |
| | 3 | III-2 | v | v | | | -125.5425 | 2 |
| | 4 | III-9 | | | | v | -123.7304 | 3.8121 |
| | 5 | II-11 | v | v | | | -120.4209 | 7.1216 |
| | 6 | II-3 | v | v | v | | -118.6873 | 8.8552 |
| | 7 | II-6 | | | v | v | -118.4262 | 9.1163 |
| | 8 | II-8 | v | | | v | -117.0414 | 10.5011 |
| | 9 | II-2 | v | | v | v | -116.7722 | 10.7703 |
| | 10 | II-14 | v | | | | -116.6505 | 10.892 |

Keterangan: *Site*₀= Slope lokasi tempat tumbuh; *Ind*₀= Slope individu bambu; *Site*₁= Intercept lokasi tempat tumbuh; *Ind*₁= Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; Δ AIC=Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.

Note: *Site*₀ = Slope of growing location; *Ind*₀ = Slope of individual bamboo; *Site*₁ = Intercept of growing location; *Ind*₁ = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; Δ AIC = Difference in AIC values between rankings.



Gambar 5. Variasi Longitudinal Berat Jenis pada Buluh Bambu
Figure 5 Longitudinal Variation of Basic Density in Bamboo Culms

Model berat jenis dengan nilai AIC terbaik pada bambu tali adalah model II-7, dimana persamaan yang digunakan pada model ini menggunakan efek random slope individu bambu dan intersep lokasi tempat tumbuh. Hal ini menjelaskan bahwa sebaran atau pola kenaikan berat jenis dari bagian pangkal menuju batang ujung bambu berbeda untuk setiap individu dalam satu spesies dan rata-rata nilai berat jenis pada setiap ketinggian berbeda untuk ketiga lokasi tempat tumbuh. Sementara itu pada bambu petung, model yang menjelaskan sebaran longitudinal dengan nilai AIC adalah model III-8, dimana efek random yang termasuk dalam model ini adalah individual slope. Ini menunjukkan bahwa sebaran longitudinal berat jenis untuk setiap ketinggian berbeda pada setiap individu dalam satu spesies. Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rini *et al.* (2022) pada spesies *B. vulgaris*, *B. maculata*, dan *G. atter* yang tumbuh alami di Pulau Lombok menunjukkan bahwa sebaran berat jenis pada ketiga bambu ini mengikuti pola linear. Hal ini menunjukkan bahwa pada spesies bambu yang berbeda memiliki perbedaan pola longitudinal sifat berat jenis. Selain itu, berat jenis bambu jenis *Bambusa maculata* dipengaruhi oleh individu intersep saja. Sedangkan pada jenis *Bambusa vulgaris* dan *Gigantochloa atter*, berat jenis bambu dipengaruhi oleh tempat tumbuh dan individu baik slope maupun intercept (Rini *et al.*, 2022).

Penyusutan tangensial dan radial pada setiap perubahan kadar air 1%. Tabel 6

menyajikan 10 peringkat pertama nilai AIC dari model yang dikembangkan untuk mengevaluasi variasi longitudinal penyusutan tangensial dan radial pada dua spesies bambu. Hasil analisis menunjukkan bahwa Model I merupakan model yang paling sesuai untuk penyusutan tangensial dan radial pada kedua spesies tersebut. Pada penyusutan radial spesies *D. asper*, model yang memiliki nilai AIC terkecil adalah model I-1, namun model I-2 dipilih sebagai model yang paling sesuai untuk menjelaskan pengaruh efek random pada penyusutan radial karena model I-2 memiliki formula yang lebih sederhana dengan nilai ΔAIC kurang dari dua sesuai dengan penjelasan Burnham dan Anderson (2004).

Gambar 7. menunjukkan variasi longitudinal penyusutan pada buluh bambu. Garis atau kurva dalam gambar adalah parameter efek tetap dalam model terpilih. Penyusutan bambu pada arah tangensial dan radial cenderung stabil dari bagian pangkal ke bagian ujung buluh pada kedua spesies bambu. Sifat penyusutan bambu pada setiap perubahan kadar air 1% untuk kedua jenis bambu tidak dipengaruhi oleh efek slope. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi longitudinal penyusutan buluh bambu sama dari bagian pangkal sampai ke ujung buluh. Nilai penyusutan buluh bambu baik penyusutan radial maupun tangensial kedua spesies bambu dipengaruhi oleh tempat tumbuh kecuali untuk penyusutan tangensial pada bambu tali.

Tabel 6. Peringkat Nilai AIC untuk Model-model Persamaan pada Penyusutan Bambu
Table 6. AIC Rankings of Equation Models for Bamboo Shrinkage

| Spesies (Species) | Peringkat (Rank) | Model Eq. | Random effect | | | | AIC | ΔAIC |
|--------------------------|---------------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|
| | | | Site ₀ | Ind ₀ | Site ₁ | Ind ₁ | | |
| δT | | | | | | | | |
| <i>Gigantochloa apus</i> | 1 | I-3 | | | | v | -58.4513 | 0.0000 |
| | 2 | I-1 | | | v | v | -56.4694 | 1.9819 |
| | 3 | I-2 | | | v | | -54.4146 | 4.0367 |
| | 4 | III-9 | | | | v | -51.5824 | 6.8689 |

| | | | | | | | |
|----|-------|---|---|---|---|----------|---------|
| 5 | III-8 | | v | | | -50.0556 | 8.3957 |
| 6 | III-3 | | | v | v | -49.5824 | 8.8689 |
| 7 | II-12 | | | | v | -48.8773 | 9.5740 |
| 8 | III-2 | v | v | | | -48.0552 | 10.3961 |
| 9 | III-7 | | v | | v | -47.6488 | 10.8025 |
| 10 | III-6 | | | v | | -47.5786 | 10.8727 |

δR

| | | | | | | | |
|----------|------------|---|---|----------|---|-----------------|---------------|
| 1 | I-2 | | | v | | -38.9202 | 0.0000 |
| 2 | I-3 | | | | v | -37.9159 | 1.0044 |
| 3 | III-5 | v | | | | -34.2833 | 4.6369 |
| 4 | II-14 | v | | | | -32.6489 | 6.2713 |
| 5 | III-6 | | | v | | -32.4825 | 6.4378 |
| 6 | III-2 | v | v | | | -32.2833 | 6.6369 |
| 7 | III-8 | | v | | | -32.1078 | 6.8124 |
| 8 | III-9 | | | | v | -31.6503 | 7.2699 |
| 9 | III-3 | | | v | v | -30.4817 | 8.4385 |
| 10 | II-15 | | | v | | -29.6667 | 9.2535 |

Dendrocalamus asper

δT

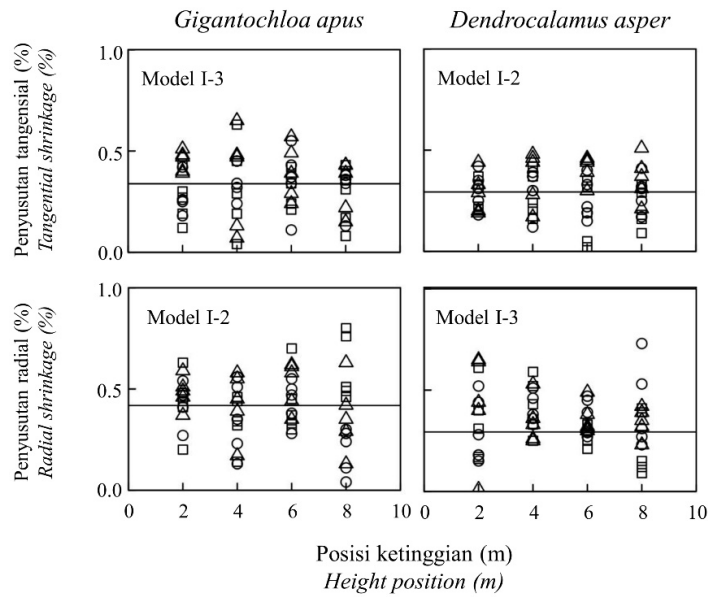
| | | | | | | | |
|----------|------------|---|---|----------|---|-----------------|---------------|
| 1 | I-2 | | | v | | -86.2591 | 0.0000 |
| 2 | I-1 | | | v | v | -85.7460 | 0.5132 |
| 3 | I-3 | | | | v | -84.9899 | 1.2692 |
| 4 | III-2 | v | v | | | -82.3632 | 3.8959 |
| 5 | II-9 | v | | v | | -78.7931 | 7.4660 |
| 6 | II-14 | v | | | | -78.7869 | 7.4722 |
| 7 | III-6 | | | v | | -78.6265 | 7.6326 |
| 8 | II-8 | v | | | v | -78.3983 | 7.8608 |
| 9 | III-3 | | | v | v | -77.9764 | 8.2828 |
| 10 | II-13 | | v | | | -77.1432 | 9.1159 |

δR

| | | | | | | | |
|----------|------------|---|---|----------|---|-----------------|----------------|
| 1 | I-1 | | | v | v | -49.6312 | 0.0000 |
| 2 | I-2 | | | v | | -51.0968 | -1.4655 |
| 3 | I-3 | | | | v | -51.6312 | -2.0000 |
| 4 | II-3 | v | v | v | | -38.7971 | 10.8341 |
| 5 | II-5 | v | v | | v | -40.5863 | 9.0449 |
| 6 | II-8 | v | | | v | -40.9670 | 8.6643 |
| 7 | II-9 | v | | v | | -40.7971 | 8.8341 |
| 8 | II-10 | | v | | v | -40.6854 | 8.9459 |
| 9 | II-12 | | | | v | -42.5488 | 7.0824 |
| 10 | II-13 | | v | | | -42.5863 | 7.0449 |

Keterangan: $Site_0$ = Slope lokasi tempat tumbuh; Ind_0 = Slope individu bambu; $Site_1$ = Intercept lokasi tempat tumbuh; Ind_1 = Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; ΔAIC =Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.

Note: $Site_0$ = Slope of growing location; Ind_0 = Slope of individual bamboo; $Site_1$ = Intercept of growing location; Ind_1 = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; ΔAIC = Difference in AIC values between rankings.



Gambar 6. Variasi Longitudinal Penyusutan pada Buluh Bambu
Figure 6. Longitudinal Variation of Shrinkage in Bamboo Culms

Modulus of Elasticity (MOE). Tabel 7 menampilkan nilai AIC dari model yang dikembangkan untuk menganalisis variasi longitudinal MOE pada dua spesies bambu. Dari 36 model yang diuji, hanya 21 dan 19 model yang

berhasil konvergen pada bambu apus dan bambu petung, secara berurutan. Berdasarkan hasil analisis, model nonlinier logaritmik (Model III-8) merupakan model yang paling sesuai untuk menjelaskan MOE pada kedua jenis bambu ini.

Tabel 7. P eringkat Nilai AIC untuk Model-model Persamaan pada MOE
Table 7. AIC Value Rankings for Equation Models of MOE

| Spesies (<i>Species</i>) | Peringkat (<i>Rank</i>) | Model Eq. | Random effect | | | | AIC | Δ AIC |
|-------------------------------|------------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------|--------------|
| | | | <i>Site</i> ₀ | <i>Ind</i> ₀ | <i>Site</i> ₁ | <i>Ind</i> ₁ | | |
| <i>Gigantochloa atter</i> | 1 | III-8 | | v | | | 289.4637 | 0.0000 |
| | 2 | III-5 | v | | | | 289.7162 | 0.2525 |
| | 3 | IV-8 | | v | | | 290.0459 | 0.5822 |
| | 4 | III-2 | v | v | | | 290.4242 | 0.9605 |
| | 5 | III-6 | | | v | | 291.5182 | 2.0545 |
| | 6 | IV-6 | | | v | | 291.6376 | 2.1739 |
| | 7 | IV-9 | | | | v | 291.8537 | 2.3900 |
| | 8 | III-9 | | | | v | 292.1019 | 2.6382 |
| | 9 | I-2 | v | | | | 292.4060 | 2.9423 |
| | 10 | IV-5 | v | | | | 292.8423 | 3.3786 |
| <i>Dendrocalamus asper</i> | 1 | III-8 | | v | | | 349.0819 | 0.0000 |
| | 2 | III-2 | v | v | | | 351.0810 | 1.9991 |
| | 3 | II-10 | | v | | v | 353.1690 | 4.0871 |
| | 4 | II-5 | v | v | | v | 355.0777 | 5.9958 |
| | 5 | II-13 | | v | | | 356.1874 | 7.1055 |
| | 6 | II-1 | v | v | v | v | 357.0777 | 7.9958 |
| | 7 | II-9 | v | | v | | 358.0618 | 8.9799 |
| | 8 | II-8 | v | | | v | 367.2426 | 18.1607 |
| | 9 | II-12 | | | | v | 367.5603 | 18.4784 |
| | 10 | II-6 | | | v | v | 369.4838 | 20.4019 |

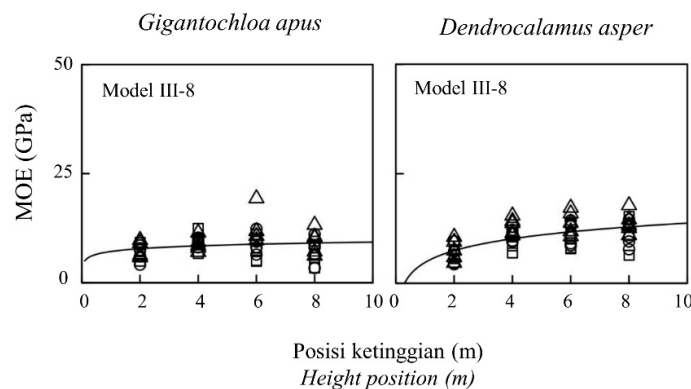
Keterangan: *Site*₀= Slope lokasi tempat tumbuh; *Ind*₀= Slope individu bambu; *Site*₁= Intercept lokasi tempat tumbuh; *Ind*₁= Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; Δ AIC=Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.
 Note: *Site*₀ = Slope of growing location; *Ind*₀ = Slope of individual bamboo; *Site*₁ = Intercept of growing location; *Ind*₁ = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; Δ AIC = Difference in AIC values between rankings.

Gambar 7. menunjukkan variasi longitudinal *MOE* pada buluh bambu. Garis atau kurva dalam gambar adalah parameter efek tetap dalam model terpilih. Pada arah longitudinal, nilai *MOE* meningkat secara perlahan kemudian stabil menuju ke bagian ujung buluh. Sebaran nilai *MOE* pada kedua jenis bambu ini dipengaruhi oleh efek acak slope pada individu bambu (Eq. III-8, Tabel 7), yang berarti setiap bambu memiliki kenaikan nilai *MOE* yang berbeda untuk setiap ketinggian. Hal ini menunjukkan bahwa variasi nilai *MOE* pada jenis *G. apus* dan *D. asper* secara longitudinal dipengaruhi oleh individu bambu dalam satu spesies.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rini *et al.* (2023) untuk tiga spesies bambu (*B. vulgaris*, *B. maculata*, dan *G. atter*) yang tumbuh alami di pulau lombok menunjukkan bahwa *MOE* meningkat dari bagian pangkal ke ujung batang bambu pada seluruh spesies yang diamati, terutama pada genus *Gigantochloa*, sedangkan perubahan nilai relatif lebih stabil pada genus *Bambusa*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi longitudinal merupakan karakter khas pada bambu yang memiliki proporsi serat tinggi dan jaringan parenkim rendah di bagian atas batang yang

merupakan suatu ciri yang juga ditemukan pada *G. apus* dalam penelitian ini. Berbeda dengan hasil tersebut, Kamruzzaman *et al.* (2008) menemukan bahwa umur dan perbedaan arah longitudinal tidak berpengaruh signifikan terhadap *MOE* pada empat spesies bambu (*B. balcooa*, *B. tulda*, *B. salarkhanii*, dan *Melocanna baccifera*) yang tumbuh di Banglades. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh kondisi lingkungan tumbuh yang lebih seragam pada lokasi penelitian mereka (dataran rendah tropis basah), sehingga gradien densitas jaringan di sepanjang batang tidak nyata. Sebaliknya, bambu yang tumbuh di Lombok mengalami kondisi fisiografi bervariasi (lereng, ketinggian, curah hujan berbeda), yang mendorong heterogenitas anatomi dan menghasilkan pola peningkatan *MOE*.

Modulus of Rupture (MOR). Tabel 8 menyajikan nilai AIC dari model yang dikembangkan untuk mengevaluasi variasi longitudinal *MOR* pada dua spesies bambu. Dari 36 model yang diuji, hanya 15 model yang berhasil konvergen untuk *G. apus* dan 21 model untuk *D. asper*. Hasil analisis menunjukkan bahwa model nonlinier logaritmik (Model III) merupakan model yang paling sesuai untuk kedua spesies tersebut.



Gambar 7. Variasi Longitudinal MOE pada Buluh Bambu
Figure 7. Longitudinal Variation of MOE in Bamboo Culms

Tabel 8. Peringkat Nilai AIC untuk Model-model Persamaan pada MOR Bambu
Table 8. AIC Value Rankings for Equation Models of MOR

| Spesies (Species) | Peringkat (Rank) | Model Eq. | Random effect | | | | AIC | ΔAIC |
|--------------------------|---------------------|-----------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|
| | | | Site ₀ | Ind ₀ | Site ₁ | Ind ₁ | | |
| <i>Gigantochloa apus</i> | 1 | III-8 | | v | | | 546.4094 | 0.0000 |
| | 2 | III-7 | | v | | v | 547.7791 | 1.3697 |
| | 3 | III-2 | v | v | | | 548.4094 | 2.0000 |
| | 4 | II-13 | | v | | | 549.2424 | 2.8330 |
| | 5 | III-9 | | | | v | 549.6408 | 3.2314 |
| | 6 | IV-9 | | | | v | 550.8310 | 4.4216 |
| | 7 | III-3 | | | v | v | 551.6408 | 5.2314 |
| | 8 | III-5 | v | | | | 552.0983 | 5.6889 |
| | 9 | III-6 | | | v | | 552.0983 | 5.6889 |
| | 10 | IV-3 | | | v | v | 552.8311 | 6.4217 |

| <i>Dendrocalamus asper</i> | | | | | | |
|----------------------------|----|-------|---|---|----------|---------|
| | 1 | III-7 | v | v | 613.9266 | 0.0000 |
| | 2 | III-8 | | v | 618.2974 | 4.3708 |
| | 3 | II-10 | | v | 626.1993 | 12.2727 |
| | 4 | III-2 | v | v | 630.5158 | 16.5892 |
| | 5 | IV-8 | | v | 634.1082 | 20.1816 |
| | 6 | II-13 | | v | 635.1837 | 21.2571 |
| | 7 | II-9 | v | v | 636.7722 | 22.8456 |
| | 8 | II-7 | | v | 636.9795 | 23.0529 |
| | 9 | III-3 | | v | 636.9823 | 23.0557 |
| | 10 | II-3 | v | v | 638.7722 | 24.8456 |

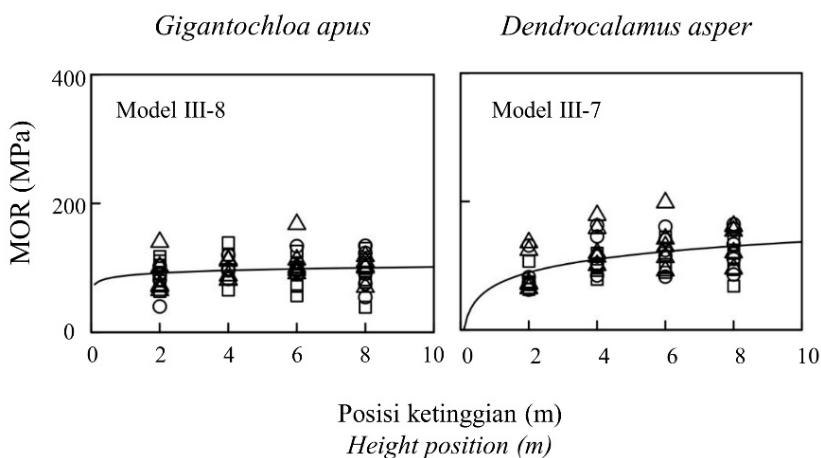
Keterangan: *Site*₀= Slope lokasi tempat tumbuh; *Ind*₀= Slope individu bambu; *Site*₁= Intercept lokasi tempat tumbuh; *Ind*₁= Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; ΔAIC=Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.

Note: *Site*₀ = Slope of growing location; *Ind*₀ = Slope of individual bamboo; *Site*₁ = Intercept of growing location; *Ind*₁ = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; ΔAIC = Difference in AIC values between rankings.

Gambar 8. menunjukkan variasi longitudinal MOR pada buluh bambu. Nilai MOR meningkat dari bagian pangkal buluh kemudian relatif stabil menuju bagian ujung buluh. Model III-8, yaitu model dengan formula individual slope paling sesuai untuk menjelaskan variasi longitudinal MOR pada *G. apus*. Sementara model III-7, yaitu model dengan formula individual slope dan intersep merupakan model yang paling sesuai untuk menjelaskan variasi longitudinal MOR pada spesies *D. asper*. Pada spesies *G. apus*, sebaran nilai MOR pada arah longitudinal dipengaruhi oleh individual bambu dalam satu spesies. Hal ini menunjukkan bahwa setiap individu bambu dalam spesies tersebut akan memiliki kenaikan nilai MOR yang berbeda untuk setiap ketinggian dalam spesies yang sama. Sementara itu formula untuk menjelaskan sebaran MOR pada *D. asper* (Model III-7) memiliki efek acak individual slope dan intersep. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai MOR dari pangkal hingga ujung buluh pada *D. asper* dipengaruhi oleh individu bambu, serta

nilai rata-rata MOR pada spesies ini juga berbeda antar individu.

Penelitian terdahulu pada tiga spesies bambu yang tumbuh alami di pulau Lombok juga menunjukkan bahwa nilai MOR meningkat dari pangkal ke puncak pada seluruh spesies yang diamati, terutama pada genus *Gigantochloa*, sedangkan perubahan nilai MOR relatif lebih stabil pada *Bambusa* (Rini *et al.*, 2023). Variasi longitudinal MOR yang diamati pada penelitian ini kemungkinan besar disebabkan oleh perubahan densitas dan distribusi serat di dinding batang (proporsi jaringan vaskular meningkat ke arah puncak), yang meningkatkan kapasitas elastis dan kekuatan lentur bagian atas batang bambu (Wang *et al.*, 2014). Dengan demikian, hasil riset ini memperkuat temuan Rini *et al.*(2023) bahwa variasi longitudinal perlu diperhitungkan dalam pemanfaatan batang bambu untuk bahan structural, terutama jenis bambu yang tumbuh alami di pulau Lombok.



Gambar 8. Variasi Longitudinal MOR pada Buluh Bambu
Figure 8. Longitudinal Variation of MOR in Bamboo Culms

IV. KESIMPULAN

Sifat fisika dan mekanika bambu petung (*D. asper*) dan bambu tali (*G. apus*) menunjukkan nilai yang relatif serupa tanpa perbedaan signifikan secara statistik. Model logaritmik (non linier) merupakan model yang paling sesuai untuk menjelaskan sebaran nilai kadar air, berat jenis, *MOE*, dan *MOR* pada kedua jenis bambu. Dimana kadar air menurun dari pangkal dan menjadi stabil menuju ke bagian ujung, sementara berat jenis, *MOE*, dan *MOR* meningkat dan stabil menuju ke bagian ujung buluh. Sementara itu nilai penyusutan tangensial dan radial kedua jenis bambu tidak menunjukkan perubahan yang berarti pada arah longitudinal buluh. Nilai relatif konstan, dijelaskan dengan model *y-intercept*. Individu bambu merupakan faktor utama yang mempengaruhi variasi longitudinal pada hampir semua sifat yang diamati. Model terbaik umumnya menunjukkan bahwa slope dan/atau intercept individual bambu memberikan pengaruh yang signifikan. Lokasi tempat tumbuh hanya mempengaruhi sebagian kecil sifat, seperti berat jenis *G. apus* dan penyusutan radial *D. asper*. Secara umum, lokasi tidak terlalu dominan dibandingkan pengaruh individu bambu itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. H. D., Karlina, N., Rahmatiya, W., Mudaim, S., & Fajrin, A. R. (2017). Physical and mechanical properties of five Indonesian bamboos. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. (hal. 012014).
- Ahmad, M., & Kamke, F. A. (2005). Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials: physical and mechanical properties. *Wood Science and Technology*, 39, 448-459.
- Aguinsatan, R. G., Razal, R. A., Carandang, M. G., & Peralta, E. K. (2019). Site influence on the Morphological, physical and mechanical properties of giant bamboo (*Dendrocalamus asper*) in Bukidnon Province, Mindanao, Philippines. *Journal of Tropical Forest Science*, 31(1), 99-107.
- Akinlabi, E. T., Anane-Fenin, K., Akwada, D. R., Akinlabi, E. T., Anane-Fenin, K., & Akwada, D. R. (2017). Bamboo taxonomy and distribution across the globe. *Bamboo: the multipurpose plant*, 1-37.
- Anokye, R., Kalong, R. M., Bakar, E. S., Ratnasingam, J., Jawaid, M., & Awang, K. (2014). Variations in moisture content affect the shrinkage of *Gigantochloa scortechinii* and *Bambusa vulgaris* at different heights of the bamboo culm. *BioResources*, 9(4), 7484-7493.
- Anwar, U. M. K., Zaidon, A., Hamdan, H., & Tamizi, M. M. (2005). Physical and mechanical properties of *Gigantochloa scortechinii* bamboo splits and strips. *Journal of Tropical Forest Science*, 1-12.
- Awalluddin, 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. In *MATEC web of conferences*. EDP Sciences. (hal. 01024).
- Banik, R. L. (2015). Morphology and growth. In *Bamboo: The plant and its uses*. Cham: Springer International Publishing.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological methods & research*, 33(2), 261-304.
- Ekawati, D., Karlinasari, L., & Soekmadi, R. (2022). Drivers, barriers, and strategies in the community-based supply of bamboo for industrial-scale bamboo utilization in Ngada regency, east Nusa Tenggara, Indonesia. *Sustainability*, 14(10), 5970.
- Hartono, R., Iswanto, A. H., Priadi, T., Herawati, E., Farizky, F., Sutiawan, J., & Sumardi, I. (2022). Physical, chemical, and mechanical properties of six bamboo from Sumatera Island Indonesia and its potential applications for composite materials. *Polymers*, 14(22), 4868.
- Idrus, I. (2024). Inovasi Rumah Smart Berkelanjutan dengan Material Bambu: Pengembangan dan Penerapan Teknologi pada Hunian Modern. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Konstruksi (MAJJAMA)*, 2(2), 71-86.
- Iswanto, A. H., Madyaratri, E. W., Hutabarat, N. S., Zunaedi, E. R., Darwis, A., Hidayat, W., ... & Hua, L. S. (2022). Chemical, physical, and mechanical properties of Belangeke bamboo (*Gigantochloa pruriens*) and its application as a reinforcing material in particleboard manufacturing. *Polymers*, 14(15), 3111.
- Kamruzzaman, M., Saha, S. K., Bose, A. K., & Islam, M. N. (2008). Effects of age and height on physical and mechanical properties of bamboo. *Journal of Tropical Forest Science*, 211-217.
- Kamthai, S., & Puthson, P. (2005). The physical properties, fiber Morphology and chemical compositions of sweet bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer). *Agriculture and Natural Resources*, 39(4), 581-587.
- Liese, W., & Tang, T. K. H. (2015). Properties of the bamboo culm. In *Bamboo: the plant and its uses*. Cham: Springer International Publishing.
- Manandhar, R., Kim, J. H., & Kim, J. T. (2019). Environmental, social and economic sustainability of bamboo and bamboo-based construction materials in buildings. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 18(2), 49-59.
- Marsoem, S. N., Setiaji, F., Kim, N. H., Sulistyono, J., Irawati, D., Nugroho, W. D., & Pertiwi, Y. A. B.

- (2015). Fiber Morphology and physical characteristics of *Gigantochloa atter* at three different ages and heights of culms for better utilization. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 43(2), 145-155.
- Nordahlia AS, Uyup MKA, Husain H, Mohmod AL, Awalludin MF. 2019. Anatomical, physical, and mechanical properties of thirteen Malaysian bamboo species. *BioResources* 14: 3925- 3943.
- Pertiwi, Y., Nufus, M., Agustina, A., Rahmadwiati, R., Wicaksono, R., & Nayasilana, I. (2021). Studi keanekaragaman, biomassa dan carbon stock bambu di taman hutan raya k.g.p.a.a. mangkunagoro i. *Jurnal Belantara*, 4(2), 140-152.
- Pinheiro, J., & Bates, D. (2000). Mixed-effects models in S and S-PLUS. Springer science & business media.
- Priyanto, Abdulah L (2014) *Model capacity building for efficient and sustainable utilization of bamboo resources in Indonesia*. ITTO PD 600/11 Rev. 1 (I), Technical Report Act 2.1, Forestry Research and Development Agency, Ministry of Forestry, Bogor, hal. 15.
- Rini, D. S., Wulandari, F. T., & Aji, I. M. L. (2017). Studi Jenis Dan Sebaran Bambu Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Senaru. *Jurnal Sangkareang Mataram*, 3(4), 37-41.
- Rini, D. S., Ishiguri, F., Nezu, I., Aji, I. M. L., Irawati, D., Ohshima, J., & Yokota, S. (2022). Longitudinal and geographic variations in the green moisture content and basic density of bamboo culm in three species naturally grown in Lombok Island, Indonesia. *Tropics*, 30(4), 83-93.
- Rini, D. S., Ishiguri, F., Nezu, I., Ngadianto, A., Irawati, D., Otani, N., ... & Yokota, S. (2023). Geographic and longitudinal variations of anatomical characteristics and mechanical properties in three bamboo species naturally grown in Lombok Island, Indonesia. *Scientific Reports*, 13(1), 2265.
- Ribeiro, R. A. S., Ribeiro, M. G. S., & Miranda, I. P. (2017). Bending strength and nondestructive evaluation of structural bamboo. *Construction and Building Materials*, 146, 38-42.
- Sharma, B., Gatóo, A., & Ramage, M. H. (2015). Effect of processing methods on the mechanical properties of engineered bamboo. *Construction and Building Materials*, 83, 95-101.
- Suriani, E. (2017). Bambu sebagai alternatif penerapan material ekologis: potensi dan tantangannya. *EMARA: Indonesian Journal of Architecture*, 3(1), 33-42.
- Tan, T., Rahbar, N., Allameh, S. M., Kwofie, S., Dissmore, D., Ghavami, K., & Soboyejo, W. O. (2011). Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures. *Acta biomaterialia*, 7(10), 3796-3803.
- Vetter, R. E., Sá Ribeiro, R. A., Sá Ribeiro, M. G., & Miranda, I. P. (2015). Studies on drying of imperial bamboo. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73, 411-414.
- Wang, H., An, X., Li, W., Wang, H., & Yu, Y. (2014). Variation of mechanical properties of single bamboo fibers (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) with respect to age and location in culms. *Holzforchung*, 68(3), 291-297.
- Wijayani, I., Sasongko, D., & Rusli, A. (2025). Estimation of potential carbon economic value of bamboo in community forest area in rumpin-dalam hamlet, rumpin village, bogor district. *Journal of Sylva Indonesiana*, 8(2), 92-99.
- Widjaja, E. A. (2000). Bamboo diversity and its future prospect in Indonesia. In *Proceedings of The Third International Wood Science Symposium* (hal. 235-240).