Vol. 20 (1) 2026: 69-84
Jurnal Penelitian Kehutanan
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Jurnal MAKILA

Pemodelan Variasi Longitudinal Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) yang berasal dari Hutan Rakyat di Yogyakarta

(*Modelling Longitudinal Variations in The Physical and Mechanical Properties of Petung Bamboo (Dendrocalamus Asper) from Community Forests in Yogyakarta*)

Agus Ngadianto[1*], Masendra[1], Singgih Utomo[1], Ahdiar Fikri Maulana[1], Puji Lestari[1], Ridla Arifriana[1], Dwi Sukma Rini[2], Umi Latifah Dyah Dharmawati[3], Murzabyek Sarkhad[4]

[1]Program Studi Pengelolaan Hutan, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Yacaranda, Gedung Sekip Unit 2 Lt. 1, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia
[2]Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62, Dasan Agung, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83125, Indonesia
[3]School of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan
[4]Training and Research Institute of Forestry and Wood Industry, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

Informasi Artikel:

Submission : 16 April 2026
Revised : 28 Mei 2026
Accepted : 30 Mei 2026
Published : 02 Juni 2026

***Penulis Korespondensi:**

Agus Ngadianto
Program Studi Pengelolaan Hutan, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Jl. Yacaranda, Gedung Sekip Unit 2 Lt. 1, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia
e-mail: agus.ng@ugm.ac.id
Telp: +62 813-9223-1212

Makila 20 (1) 2026: 69-84

DOI:
https://doi.org/10.30598/makila.v20i1.25443

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Copyright ©2026 Author(s): Agus Ngadianto, Masendra, Singgih Utomo, Ahdiar Fikri Maulana, Puji Lestari, Ridla Arifriana, Dwi Sukma Rini, Umi Latifah Dyah Dharmawati, Murzabyek Sarkhad

Journal homepage:
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Journal e-mail: makilajournal@gmail.com
Research Article** · **Open Access

ABSTRACT

Despite the increasing utilization of bamboo as a sustainable substitute for wood, information regarding the longitudinal variation of physical and mechanical properties of Dendrocalamus asper grown in Indonesian community forests remains limited. This study aims to evaluate the longitudinal variation of physical and mechanical properties based on linear and non-linear mixed-effects modelling for Dendrocalamus asper Backer grown in community forests, Yogyakarta, Indonesia. The results showed that the logarithmic model best explained most physical and mechanical properties of D. asper, whereas modulus of rupture (MOR) and compressive strength parallel to the grain were better represented by the quadraic model. The logarithmic model indicated that most properties of D. asper either increased or decreased from the base section and gradually stabilized towards the upper culm. In contrast, the quadratic model demonstrated that MOR and compressive strength parallel to the grain increased from the base to the middle sections before slightly decreasing towards the top of the culm. These findings indicate that the middle and upper culms sections possess higher values of most physical and mechanical properties than the base section, suggesting greater potential for structural applications. In addition, despite several trait-specific exceptions, the basic density and wall thickness of bamboo can serve as useful indicators of the physical and mechanical properties of D. asper.

KEYWORDS*: *Dendrocalamus asper, mixed-effect model, physical properties, mechanical properties, longitudinal variation

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

INTISARI

Meskipun pemanfaatan bambu sebagai bahan pengganti kayu yang berkelanjutan terus meningkat, informasi mengenai variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung yang tumbuh di hutan rakyat Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika berdasarkan pemodelan efek campuran linier dan nonlinier untuk bambu petung (*Dendrocalamus asper* Backer) yang tumbuh di hutan rakyat Yogyakarta, Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model logaritmik sebagai model terbaik untuk menjelaskan sebagian besar variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung, sedangkan modulus patah (MOR) dan kekuatan tekan sejajar serat lebih cocok oleh model kuadratik. Model logaritmik menunjukkan bahwa sebagian besar sifat bambu petung meningkat atau menurun dari bagian pangkal dan secara bertahap stabil menuju bagian ujung batang. Sebaliknya, model kuadratik menunjukkan bahwa MOR dan kekuatan tekan sejajar serat meningkat dari pangkal ke bagian tengah sebelum sedikit menurun menuju bagian ujung batang. Temuan ini menunjukkan bahwa bagian tengah dan ujung batang bambu petung memiliki nilai yang lebih tinggi untuk sebagian besar sifat fisika dan mekanika dibandingkan bagian pangkal, yang menunjukkan potensi yang lebih besar untuk aplikasi struktural. Selain itu, terlepas dari beberapa pengecualian spesifik sifat, kerapatan dasar dan ketebalan dinding bambu dapat berfungsi sebagai indikator yang berguna dari sifat fisika dan mekanika bambu petung.

KATA KUNCI : Bambu petung, model efek campuran, sifat fisika, sifat mekanika, variasi longitudinal

PENDAHULUAN

Bambu merupakan salah satu sumber daya alam berkelanjutan yang memiliki potensi dan peranan penting sebagai bahan baku pengganti kayu (Chaowana, 2013; Ekhuemel *et al*., 2018; Fahim *et al*., 2022). Tanaman bambu banyak tumbuh di daerah tropis dan subtropis dengan keunggulan seperti siklus pertumbuhan yang cepat, budidaya yang sederhana, pemanenan yang mudah, kemampuan beradaptasi terhadap iklim dan memiliki sifat mekanika yang tinggi (Verma *et al*., 2021; Liang *et al*., 2022; Irawan *et al*., 2025). Selain itu, tanaman bambu juga memiliki kemampuan penyerapan yang baik terhadap logam berat dan karbon (Liang *et al*., 2022; Irawan *et al*., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa bambu memiliki peranan penting sebagai sumber daya hayati yang potensial dan multfungsi. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang mendalam terkait sifat, karakteristik serta kinerja bambu untuk pemanfaatan yang lebih optimal.

Di Indonesia, tanaman bambu ditemukan sekitar 160 jenis, di mana 122 jenis diantaranya merupakan tanaman asli Indonesia (Jasni *et al*., 2017). Dari jumlah tersebut, 76 jenis telah

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

dimanfaatkan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari untuk berbagai keperluan (Jasni *et al*., 2017). Tanaman bambu banyak ditemukan di hutan rakyat di Indonesia (Utami *et al.,* 2018; Sribianti *et al*., 2022; Sianturi & Woesono, 2024). Salah satu jenis bambu yang banyak tumbuh dan dimanfaatkan adalah bambu petung (*Dendrocalamus asper* Backer). Bambu petung merupakan bambu rumpun tropis yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan serbaguna (Charoenphun & Pakeechai, 2021). Bambu ini dikenal sebagai bambu kasar, bambu hitam atau bambu raksasa (Mustafa *et al*., 2021). Bambu petung dikenal memiliki diameter batang yang besar, dinding batang yang tebal serta kekuatan yang relatif tinggi, menjadikan bambu ini banyak dimanfaatkan sebagai peralatan rumah tangga, kerajinan tangan, alat musik, furnitur hingga bahan konstruksi bangunan (Mustafa *et al*., 2021: Aribal *et al*., 2022; Fauziyah & Sanudin, 2022). Namun demikian, pemanfaatan bambu petung secara optimal masih memerlukan kajian dan pemahaman yang mendalam, terutama terkait variasi sifatnya di sepanjang batang.

Pada umumnya, sifat bambu sangat bervariasi di sepanjang batang, yaitu pada variasi longitudinal dari pangkal hingga ujung batang (Akinlabi *et al.,* 2017). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji variasi longitudinal sifat-sifat bambu petung (Kamthai & Puthson, 2005; Srivaro & Jakranod, 2016; Adam & Jusoh, 2019; Rivera-Sagura *et al.,* 2024). Namun demikian, variasi longitudinal sifat bambu tersebut belum banyak dianalisis menggunakan pendekatan statistik seperti pemodelan efek campuran. Evaluasi sifat bambu berdasarkan variasi longitudinal menggunakan model efek campuran linier dan nonlinier masih sangat terbatas. Rini *et al*. (2022), melaporkan bahwa *Bambusa vulgaris*, *Bambusa maculata* dan *Gigantochloa atter* sangat sesuai dengan model linier untuk kerapatan dasar dan kadar air segar. Selain itu, model logaritmik dan kuadratik menjadi model terpilih untuk menjelaskan variasi longitudinal sifat mekanika pada lima spesies bambu yang tumbuh di Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat, Indonesia (Rini et al., 2023; 2025). Meskipun demikian, informasi yang tersedia masih terbatas, terutama untuk spesies bambu lain maupun spesies bambu yang sama dengan lokasi tumbuh berbeda di Indonesia. Selain itu, kajian mengenai hubungan antara sifat fisika dan mekanika bambu petung berdasarkan pendekatan pemodelan efek campuran juga masih jarang dilaporkan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh informasi mengenai variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung menggunakan pemodelan efek campuran linier dan nonlinier, serta mengevaluasi hubungan antar sifat fisika dan mekanikanya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung (*Dendrocalamus asper* Backer) yang tumbuh di hutan rakyat di Yogyakarta, Indonesia berdasarkan pemodelan efek campuran linier dan nonlinier. Selain itu, hubungan antara sifat fisika dan mekanika bambu juga diuji. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini diharapkan menjadi informasi penting terkait pemanfaatan bambu petung, khususnya untuk penggunaan yang memerlukan persyaratan kualitas tertentu sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya bambu secara berkelanjutan.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Sebanyak 10 (sepuluh) batang bambu petung (*Dendrocalamus asper* Back.) berumur 4–5 tahun dipilih secara acak dari hutan rakyat yang berlokasi di Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta (110° 6′ 60″ E, -7° 48′ 58″ S). Batang bambu yang digunakan berasal dari rumpun yang berbeda (2 batang per rumpun). Jumlah sampel yang digunakan mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya terkait evaluasi sifat fisika dan mekanika bambu menggunakan pendekatan pemodelan longitudinal dan efek campuran (Rini et al., 2023; 2025). Tidak ada perlakuan silvikultur, seperti pemupukan, pemangkasan dan pemeliharaan lain, yang diterapkan pada tanaman bambu di hutan rakyat ini.

Pengukuran Karakteristik Pertumbuhan

Diameter batang bambu diukur saat masih berdiri pada ketinggian 1,3 m di atas tanah menggunakan diameter tape. Setelah itu, batang bambu ditebang pada ketinggian 20 cm dari permukaan tanah. Tinggi batang bambu kemudian diukur menggunakan meteran setelah penebangan dilakukan. Untuk menentukan variasi longitudinal, batang bambu dari setiap individu dibagi menjadi 5 (lima) bagian dengan panjang masing-masing 2 m. Dari setiap bagian tersebut diambil dua tipe sampel, yaitu disk bambu dengan ketebalan 5 cm yang digunakan untuk pengukuran ketebalan dinding bambu serta pengujian kerapatan dasar, kadar air segar, dan penyusutan bambu, serta sampel batang bambu dengan panjang 50 cm yang digunakan untuk pengujian sifat mekanika bambu. Karakteristik pertumbuhan yang meliputi diameter dan tinggi batang bambu ditampilkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Diameter dan tinggi batang bambu petung (*D. asper*)

Bambu Petung	Batang Bambu										Rata-rata	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
D (cm)	12,4	13,0	13,0	12,7	13,0	14,0	15,0	16,2	13,4	13,4	13,6	1,2
T (m)	20,7	22,4	25,6	22,1	19,2	19,6	15,5	17,8	25,4	21,8	21,0	3,2

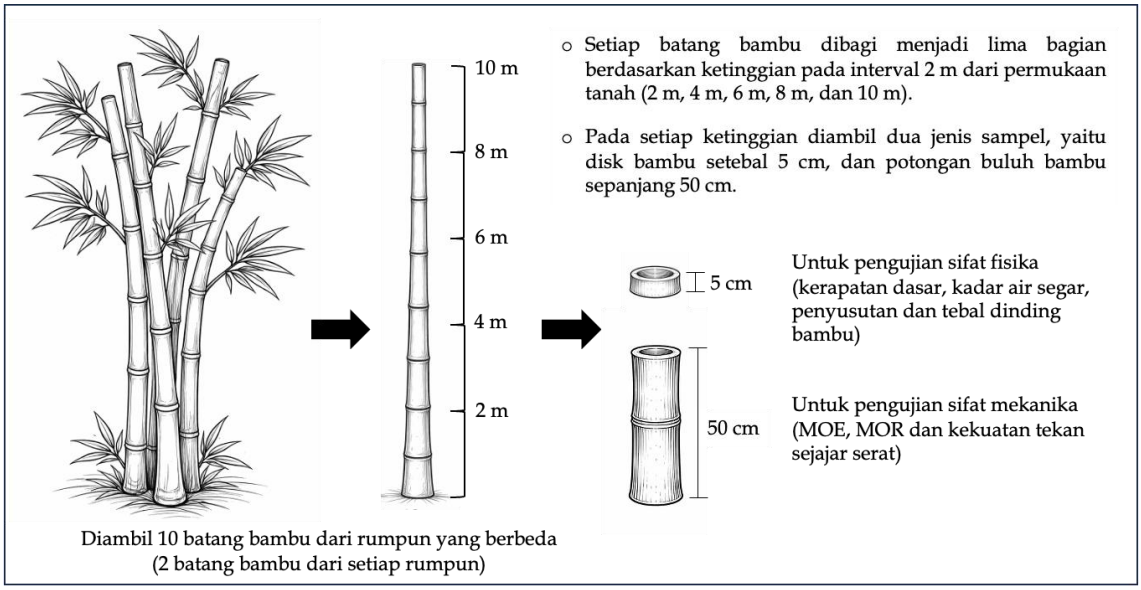
Keterangan: Diameter dihitung pada ketinggian 1,3 m dari tanah. D, diameter batang; T, tinggi batang; SD, standar deviasi.

Pengukuran Sifat Fisika dan Mekanika Bambu

Pengukuran sifat fisika bambu meliputi kerapatan dasar, kadar air segar dan penyusutan. Sementara itu, sifat mekanika yang diukur meliputi modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR) dan kekuatan tekan sejajar serat. Prosedur penyiapan sampel bambu untuk pembuatan contoh uji sifat fisika dan mekanika ditunjukkan pada **Gambar 1**. Kerapatan dasar dan kadar air segar bambu diukur dari contoh uji ukuran 2,5 [T] cm x 2,5 [L] cm dengan ketebalan batang yang bervariasi pada arah radial. Contoh uji ini disiapkan dari salah satu lingkar disk bambu pada setiap ketinggian dengan interval 2 m untuk menentukan variasi longitudinal dari kerapatan dasar dan kadar airnya. Berat dan volume dalam kondisi segar dari setiap contoh uji bambu diukur. Selanjutnya, contoh uji dikeringkan dalam oven pada suhu ±103 °C hingga mencapai berat kering

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

tanur dan kemudian ditimbang. Pengukuran kerapatan dasar dihitung dengan membagi berat kering tanur contoh uji dengan volume basah yang ditentukan dengan metode perpindahan air. Sementara itu, pengukuran kadar air segar bambu dilakukan dengan metode berat kering tanur.



Gambar 1. Ilustrasi prosedur penelitian dan persiapan sampel bambu

Nilai penyusutan bambu untuk setiap perubahan 1% kadar air pada arah radial dan tangensial diukur dengan mengacu pada standar pengukuran penyusutan kayu, yaitu standar JIS Z2101:2009 (Japanese Industrial Standards, 2009). Contoh uji dengan ukuran 2,5 [T] cm x 2,5 [L] cm dengan ketebalan batang yang bervariasi pada arah radial disiapkan dari lingkar lain pada disk bambu di setiap ketinggian. Dimensi radial dan tangensial contoh uji diukur dalam kondisi kering udara dan kering tanur dengan kaliper digital. Penyusutan untuk setiap perubahan kadar air 1% pada arah radial dan tangensial dihitung berdasarkan rumus yang dijelaskan pada penelitian kami sebelumnya (Ngadianto *et al.*, 2023).

Sifat mekanika bambu seperti keteguhan lengkung statis dan kekuatan tekan sejajar serat diuji dengan mengacu pada standar pengujian kayu JIS Z2101:2009 (Japanese Industrial Standards, 2009). Contoh uji mekanika diambil dari batang buluh bambu ukuran 50 cm. Contoh uji keteguhan lengkung statis dibuat masing-masing satu buah untuk setiap ketinggian batang bambu dengan ukuran bervariasi berdasarkan tebal dinding bambu. Terdapat tiga variasi ketebalan, yaitu: 1) ketebalan ≤ 10 mm dengan ukuran 20 [T] mm × 160 [L] mm × ≤ 10 mm [R]; 2) ketebalan 10-15 mm dengan ukuran 20 [T] mm × 230 [L] mm × 10-15 mm [R]; dan 3) ketebalan > 15 mm dengan ukuran 20 [T] mm × 300 [L] mm × > 15 mm [R]. Uji keteguhan lengkung statis dilakukan menggunakan *universal testing machine* (UTM), dengan pembebanan di bagian tengah contoh uji pada permukaan korteks luar. Bentang pengujian masing-masing 140 mm, 210 mm atau 280 sesuai ketebalan bambu, dengan kecepatan pembebanan sebesar 3 mm/menit. Data beban dan defleksi direkam menggunakan komputer untuk menghitung MOE dan MOR. Sementara itu, ukuran contoh uji kekuatan tekan sejajar serat berukuran 20 [T] mm × 40 [L] mm dengan ketebalan yang bervariasi

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

pada arah radial. Uji tekan dilakukan dengan kecepatan pembebanan 0,5 mm/menit. Nilai kekuatan uji tekan sejajar serat dihitung dengan membagi beban maksimum terhadap luas penampang contoh uji. Pengujian keteguhan lengkung statis dan kekuatan tekan sejajar serat dihitung berdasarkan rumus yang dijelaskan dalam penelitian kami sebelumnya (Ngadianto *et al.* 2023).

Analisis Statistik

Analisis statistik dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan R *software* versi 4.5.1 (R Core Team, 2025). Untuk mengevaluasi variasi longitudinal dari sifat-sifat yang diukur pada bambu petung, model efek campuran linier dan nonlinier dikembangkan dengan masing-masing nilai sifat terukur sebagai variabel respons, posisi ketinggian sebagai efek tetap (*fixed effect*), dan individu bambu sebagai efek acak (*random effect*) (**Tabel 2**). Model-model ini dikembangkan menggunakan fungsi "lmer" pada paket "lme4" (Bates *et al.*, 2015) dan fungsi "nlme" pada paket "nlme" (Pinheiro & Bates, 2000). Model terbaik di antara beberapa model yang dikembangkan dipilih berdasarkan nilai *Akaike information criterion* (AIC) minimum (Akaike, 1998), karena metode ini banyak digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan antara goodness-of-fit dan kompleksitas model pada pemodelan efek campuran. Model dengan nilai AIC terkecil dianggap paling sesuai untuk menggambarkan variasi longitudinal sifat bambu petung. Tingkat signifikan dari setiap efek tetap (*fixed effect*) juga dievaluasi untuk model terpilih. Selain itu, korelasi antara sifat bambu petung yang diukur ditentukan dengan menggunakan *Pearson's correlation coefficients* pada fungsi "cor.test".

Tabel 2. Pemodelan efek campuran linier dan nonlinier yang dikembangkan untuk mengevaluasi variasi longitudinal sifat bambu petung.

No.	Model	Rumus
1	Model I - Linier	$Y_{ij} = (a_0 + Bambu_{0j})\ X_{ij} + (a_1 + Bambu_{1j}) + \varepsilon_{ij}$
2	Model II - Logaritmik	$Y_{ij} = (\beta_0 + Bambu_{0j})\ \ln(X_{ij}) + (\beta_1 + Bambu_{1j}) + \varepsilon_{ij}$
3	Model III - Kuadratik	$Y_{ij} = (\eta_0 + Bambu_{0j})\ X_{ij}^2 + (\eta_1 + Bambu_{1j})\ X_{ij} + \eta_2 + Bambu_{2j} + \varepsilon_{ij}$

Keterangan: Y_{ij} adalah nilai sifat yang diukur pada pengamatan ke-i pada posisi longitudinal dari pangkal hingga ujung batang bambu ke-j, X_{ij} adalah jarak longitudinal ke-i dari pangkal hingga ujung batang bambu ke-j, a_0, a_1, β_0, β_1, η_0, η_1, dan η_2 merupakan efek tetap (fixed effects); $Bambu_{0j}$, $Bambu_{1j}$, dan $Bambu_{2j}$ merupakan efek acak (random effects) pada individu bambu, dan ε_{ij} adalah galat (residual).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung

Sifat fisika dan mekanika bambu petung ditunjukkan pada **Tabel 3**. Nilai rata-rata ketebalan dinding bambu petung adalah sebesar 1,22 cm dengan rentang nilai antara 0,75–2,20 cm (**Tabel 3**). Ketebalan dinding bambu dilaporkan berkisar antara 0,85–2,00 cm pada bambu petung muda yang tumbuh di Nusa Tenggara Barat, Indonesia (Wulandari, 2019). Sementara itu, Adam & Jusoh (2019) melaporkan bahwa ketebalan dinding bambu berkisar antara 1,20–2,88 cm pada bambu petung berumur 4–5 tahun yang tumbuh di Serawak, Malaysia. Nilai rata-rata kerapatan dasar dan kadar air segar bambu petung berturut-turut adalah 0,69 g/cm^3 dan 72,5% (**Tabel 3**). Pada penelitian sebelumnya, nilai rata-rata kerapatan dasar dan kadar air segar dilaporkan sebesar 0,73 g/cm^3 dan

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

60,2% pada bambu petung berumur 3 tahun yang tumbuh di Prachinburi, Thailand (Kamthai & Puthson, 2005); 0,66 g/cm^3 dan 86,0% pada bambu petung berumur 4–5 tahun yang tumbuh di Serawak, Malaysia (Adam & Jusoh, 2019); serta 0,60 g/cm^3 dan 99,9% pada bambu petung berumur 3–4 tahun yang tumbuh di Nusa Tenggara Barat, Indonesia (Rini *et al.*, 2025). Kesamaan nilai kerapatan dasar dan kadar air segar tersebut menunjukkan konsistensi hasil penelitian ini dengan temuan sebelumnya.

Tabel 3. Nilai statistik sifat fisika dan mekanika bambu petung (*D. asper*)

Sifat Bambu	*n*	Rata-rata	SD	Min.	Maks.
Tebal Dinding Bambu (cm)	50	1,22	0,36	0,75	2,20
Kerapatan Dasar (g/cm^3)	50	0,69	0,07	0,54	0,87
Kadar Air Segar (%)	50	72,5	15,5	32,4	105,0
Penyusutan Radial (%)	50	0,26	0,03	0,20	0,30
Penyusutan Tangensial (%)	50	0,21	0,03	0,14	0,28
Modulus Elastisitas/MOE (GPa)	50	15,73	4,45	8,94	25,40
Modulus Patah/MOR (MPa)	50	171,6	30,4	87,4	241,2
Kekuatan Tekan Sejajar Serat (MPa)	50	69,6	10,3	41,7	90,0

Keterangan: n, jumlah sampel untuk setiap posisi ketinggian pada 10 batang bambu; SD, standar deviasi; Min., minimum; Maks., maksimum. Nilai penyusutan yang diukur adalah penyusutan pada perubahan 1% kadar air pada arah radial dan tangensial.

Nilai rata-rata penyusutan radial dan tangensial pada setiap perubahan 1% kadar air pada bambu petung adalah 0,26% dan 0,21% (**Tabel 3**). Jika dikonversi menjadi penyusutan kering udara, nilai rata-rata penyusutan kering udara pada kondisi kadar air 12% untuk arah radial dan tangensial berturut-turut adalah 3,12% dan 2,52%. Pada penelitian sebelumnya, nilai rata-rata penyusutan pada setiap perubahan 1% kadar air pada bambu petung berumur 3–4 tahun yang tumbuh di Nusa Tenggara Barat, Indonesia dilaporkan sebesar 0,35% untuk arah radial dan 0,29% untuk arah tangensial (Rini *et al.*, 2025). Sementara itu, Srivaro & Jakranod (2016) melaporkan nilai rata-rata penyusutan kering udara pada kondisi kadar air 12% untuk arah radial dan tangensial berturut-turut sebesar 2,18% dan 3,08% pada bambu petung berumur 5 tahun yang tumbuh di Provinsi Nakhon Si Thammarat, Thailand. Dengan demikian, nilai penyusutan bambu petung dalam penelitian ini masih mencerminkan kisaran yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

Nilai statistik sifat mekanika bambu petung juga ditunjukkan pada **Tabel 3**. Nilai rata-rata modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR) dan kekuatan tekan sejajar serat berturut-turut sebesar 15,73 GPa, 171,6 MPa, dan 69,6 MPa (**Tabel 3**). Pada penelitian sebelumnya, nilai rata-rata MOE dan MOR dilaporkan sebesar 13,23 GPa dan 140 MPa pada bambu petung berumur 5 tahun yang tumbuh di Provinsi Nakhon Si Thammarat, Thailand (Srivaro & Jakranod, 2016); 23,11 GPa dan 170,1 MPa pada bambu petung umur 3–5 tahun yang tumbuh di Pirassununga, Brazil (Azadeh *et al.*, 2022); 10,97 GPa dan 123,5 MPa pada bambu petung umur 3–4 tahun yang tumbuh di Laguna, Filipina (Jimenes Jr & Rizare, 2024); serta 12,40 GPa dan 77,3 MPa pada bambu petung umur 6 tahun yang tumbuh di Lamón, Costa Rica (Rivera-Sagura *et al.*, 2024). Selain itu, Adam & Jusoh (2019) melaporkan bahwa nilai rata-rata MOE, MOR dan kekuatan tekan sejajar serat pada bambu petung berumur 4–5 tahun yang tumbuh di Serawak, Malaysia berturut-turut sebesar 7,76 GPa, 180 MPa,

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

dan 55,83 MPa. Secara umum, nilai sifat mekanika bambu petung dalam penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan kisaran nilai pada penelitian sebelumnya.

Sifat fisika dan mekanika bambu petung yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang masih dalam rentang kisaran yang sama dengan penelitian sebelumnya walaupun berada pada berbagai kondisi dan lokasi tumbuh yang berbeda. Variasi nilai yang terjadi diduga dipengaruhi oleh faktor umur, kondisi lingkungan tumbuh dan posisi longitudinal pengambilan contoh uji pada batang seperti yang dilaporkan oleh beberapa peneliti (Kamthai & Puthson, 2005; Srivaro & Jakranod, 2016; Wulandari, 2019; Adam & Jusoh, 2019; Azadeh *et al.,* 2022; Jimenes Jr & Rizare, 2024; Rivera-Sagura *et al.,* 2024; Rini *et al.,* 2025). Dengan sifat fisika dan mekanika tersebut, bambu petung dengan umur 4–5 tahun berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku struktural seperti rangka atap dan balok, maupun bahan laminasi yang ramah lingkungan dan bersumber dari potensi lokal.

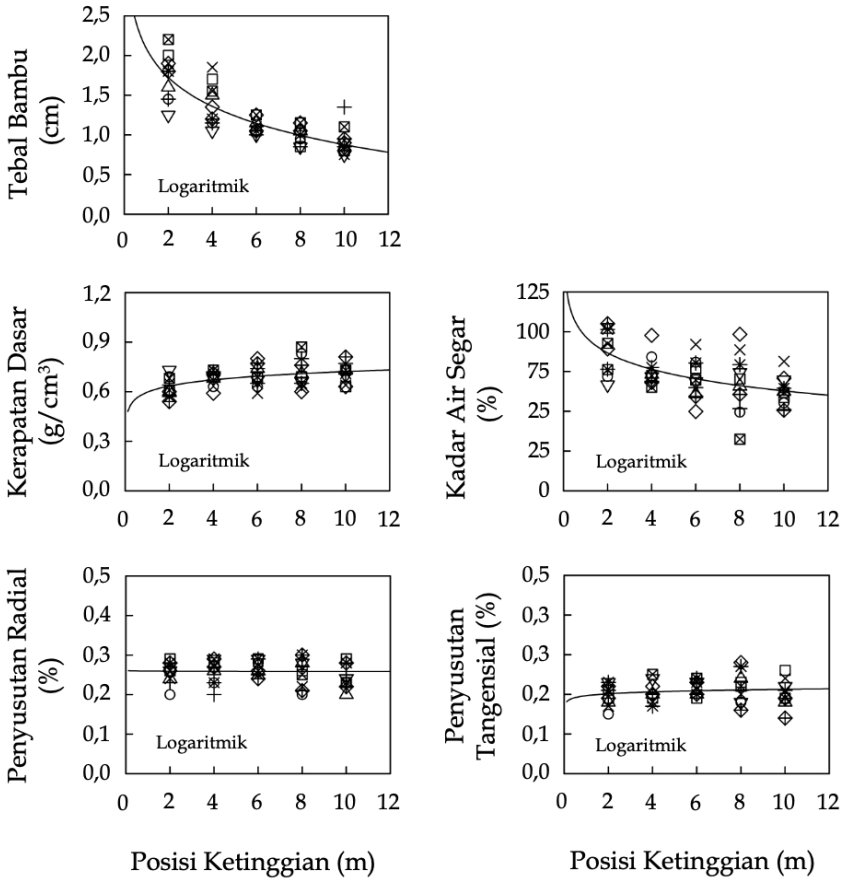
Variasi Longitudinal Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung

Variasi longitudinal sifat bambu merupakan aspek penting dalam mengevaluasi kualitas bambu karena menggambarkan perubahan sifat fisika dan mekanika dari pangkal hingga ujung batang (Rini *et al.,* 2023). Pemahaman terhadap variasi ini penting dalam menentukan bagian batang yang paling sesuai untuk aplikasi tertentu. Secara umum, bagian pangkal sering dimanfaatkan untuk bahan baku yang membutuhkan kekuatan, sedangkan bagian atas digunakan untuk eleman yang lebih ringan (Widjaja & Risyad, 2001). Namun, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bagian tengah hingga ujung batang bambu petung memiliki nilai beberapa sifat fisika dan mekanika yang lebih tinggi dibandingkan bagian pangkal. **Gambar 2** menunjukkan variasi longitudinal sifat fisika bambu petung. Model terbaik yang sesuai untuk menggambarkan sifat fisika bambu petung berdasarkan variasi longitudinalnya dipilih berdasarkan nilai AIC minimum yang ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Pada semua sifat fisika bambu petung yang diukur, model logaritmik (Model II) terpilih sebagai model terbaik untuk menjelaskan pola perubahan sifat fisika dari pangkal menuju ujung batang bambu (**Gambar 2**). Berdasarkan hasil pemodelan, ketebalan dinding dan kadar air segar bambu petung cenderung mengalami penurunan dari pangkal dan kemudian menjadi hampir stabil ke arah ujung batang (**Gambar 2** dan **Tabel 4**). Sementara itu, kerapatan dasar bambu petung mengalami kecenderungan peningkatan dari pangkal kemudian menjadi hampir stabil ke arah ujung batang (**Gambar 2** dan **Tabel 4**). Beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan kecenderungan peningkatan kerapatan dasar dan penurunan kadar air dari pangkal menuju ujung batang (Kamthai & Puthson, 2005; Adam & Jusoh, 2019; Wulandari, 2019; Rivera-Sagura *et al.,* 2024). Rini *et al.* (2025) melaporkan bahwa kerapatan dasar bambu petung meningkat dari pangkal ke ujung batang mengikuti pemodelan linier, sedangkan kadar air segar bambu petung menurun dari pangkal dan menjadi hampir stabil ke arah ujung batang mengikuti pemodelan logaritmik. Tingginya nilai kerapatan dasar pada ujung batang diduga berkaitan dengan peningkatan proporsi

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

jaringan padat seperti serat di bagian atas, meskipun dindingnya lebih tipis, dan sejalan dengan laporan Nugroho & Ando (2000). Sementara itu, bagian pangkal batang bambu umumnya menyimpan lebih banyak air karena dominasi jaringan parenkim yang masih aktif, sedangkan bagian atas diduga mengalami proses lignifikasi yang lebih tinggi sehingga kemampuan menyimpan air menjadi lebih rendah, sebagaimana dilaporkan oleh Nugroho & Ando (2000).



Gambar 2. Variasi longitudinal sifat fisika bambu petung (*D. asper*)

*Keterangan: Simbol kotak, lingkaran, segitiga ke atas, plus, silang, berlian, segitiga ke bawah, silang persegi, bintang, dan berlian plus masing-masing menunjukkan batang bambu No. 1–10. Garis regresi menunjukkan prediksi efek tetap dari model terbaik dengan nilai AIC minimum (**Tabel 4**) di antara model yang tercantum pada **Tabel 2**.*

Pada penelitian ini, nilai penyusutan radial dan tangensial pada setiap perubahan 1% kadar air pada bambu petung cenderung stabil sepanjang batang dari pangkal menuju ke arah ujung batang (**Gambar 2** dan **Tabel 4**). Penelitian sebelumnya juga melaporkan bahwa variasi longitudinal penyusutan radial dan tangensial bambu petung menunjukkan nilai yang stabil dari pangkal menuju ujung batang (Srivaro & Jakranod, 2016; Rini *et al.,* 2025). Kestabilan nilai penyusutan pada penelitian ini mengindikasikan adanya keseragaman struktur jaringan arah radial dan tangensial, yang tidak terlalu dipengaruhi oleh ketinggian (Liese & Kohl, 2015).

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Tabel 4. Perbandingan nilai AIC model efek campuran linier dan nonlinier untuk variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung (*D. asper*)

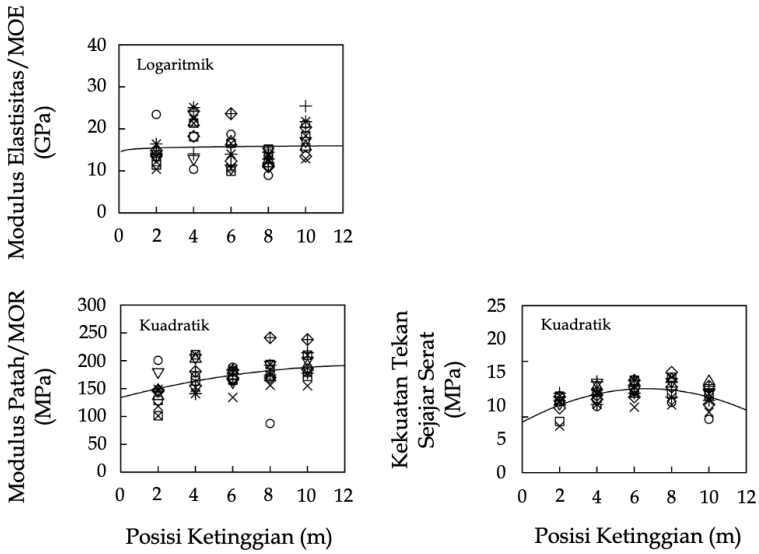
Model	Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung							
	TB	KD	KAS	PR	PT	MOE	MOR	KT
Model I - Linier	4,706	-113,732	397,167	-187,712	-185,731	297,008	467,713	365,542
Model II - Logaritmik	**-7,602**	**-114,647**	**393,744**	**-189,320**	**-188,102**	**295,191**	467,158	359,199
Model III - Kuadratik	6,858	-106,283	395,847	-177,824	-177,039	298,264	**466,047**	**348,987**

Keterangan: TB, tebal dinding bambu; KD, kerapatan dasar; KAS, kadar air segar; PR dan PT, penyusutan pada perubahan 1% kadar air pada arah radial dan tangensial; MOE, modulus elastisitas; MOR, modulus patah; KT, kekuatan tekan sejajar serat. Nilai yang dicetak tebal menunjukkan AIC minimum di antara model yang dikembangkan. Formula masing-masing model untuk variasi longitudinal sifat fisika dan sifat mekanika bambu petung yang diuji ditunjukkan pada ***Tabel* 2.**

Gambar 3 menunjukkan variasi longitudinal sifat mekanika bambu petung. Model terbaik yang terpilih untuk menjelaskan pola variasi longitudinal sifat mekanika bambu petung dipilih berdasarkan nilai AIC minimum yang ditunjukkan pada **Tabel 4**. Untuk nilai MOE, model logaritmik (Model II) terpilih sebagai model terbaik yang menjelaskan pola variasi longitudinal dimana nilai MOE bambu petung cenderung mengalami sedikit peningkatan pada pangkal dan kemudian menjadi hampir stabil ke arah ujung batang (**Gambar 3** dan **Tabel 4**). Untuk sifat mekanika lainnya, model kuadratik (Model III) terpilih sebagai model terbaik untuk menggambarkan variasi longitudinal nilai MOR dan kekuatan tekan sejajar serat bambu petung. Nilai MOR bambu petung meningkat dari pangkal dan menjadi hampir setabil ke arah ujung batang meskipun sedikit mengalami kecenderungan penurunan, sedangkan nilai kekuatan tekan sejajar serat bambu petung cenderung meningkat dari pangkal sampai bagian tengah batang lalu mengalami penurunan menuju ke arah ujung batang (**Gambar 3** dan **Tabel 4**). Hasil ini sejalan dengan temuan Rini *et al.* (2025) yang melaporkan bahwa MOE dan MOR bambu petung meningkat dari pangkal lalu menjadi hampir stabil ke arah ujung batang dengan mengikuti pemodelan logaritmik. Di sisi lain, nilai MOE dan MOR mengalami peningkatan dari pangkal menuju ujung batang seperti yang dilaporkan oleh peneliti lainnya (Srivaro & Jakranod, 2016; Adam & Jusoh, 2019). Tingginya nilai MOE dan MOR bambu pada bagian atas batang dikarenakan kerapatan dinding dan struktur serat yang lebih padat dibandingkan bagian pangkal (Nugroho & Ando, 2000).

Estimasi parameter efek tetap, galat baku, serta standar deviasi parameter acak dari model terpilih disajikan pada **Tabel 5**. Sebagian besar parameter efek tetap atau faktor variasi longitudinal untuk semua model menunjukkan nilai yang signifikan ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa pada model logaritmik, sifat bambu cenderung meningkat dari pangkal kemudian menjadi hampir stabil ke arah ujung batang, serta pada model kuadratik, sifat bambu cenderung meningkat dari pangkal ketengah batang lalu menurun ke arah ujung batang. Bukti ini menunjukkan bahwa batang bambu bagian tengah sampai ketinggian tertentu memiliki kualitas yang lebih baik daripada bambu bagian pangkal.

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura



Gambar 3. Variasi longitudinal sifat mekanika bambu petung (*D. asper*)

*Keterangan: Simbol kotak, lingkaran, segitiga ke atas, plus, silang, berlian, segitiga ke bawah, silang persegi, bintang, dan berlian plus masing-masing menunjukkan batang bambu No. 1–10. Garis regresi menunjukkan prediksi efek tetap dari model terbaik dengan nilai AIC minimum (**Tabel 4**) di antara model yang tercantum pada **Tabel 2**.*

Perbandingan model tidak hanya menemukan persamaan yang paling sesuai berdasarkan nilai AIC, tetapi juga menunjukkan bahwa pendekatan efek campuran cocok untuk menggambarkan pola variasi longitudinal sifat bambu petung. Meskipun sebagian kecil parameter tidak signifikan secara statistik, namun tren keseluruhan tetap konsisten, menunjukkan bahwa variasi longitudinal atau posisi ketinggian merupakan faktor penting yang memengaruhi sifat fisika dan mekanika bambu.

Tabel 5. Estimasi parameter efek tetap, galat baku, serta standar deviasi efek acak pada model terbaik variasi longitudinal setiap sifat pada bambu petung (*D. asper*)

Sifat	Model	Parameter Efek Tetap									Parameter Efek Acak	
		β_0			β_1						$Bambu_j$	ε_{ij}
		Estimate	S.E.	*p*-value	Estimate	S.E.	*p*-value					
TB	*Logaritmik*	1,7245	0,0560	<0,01	-0,5269	0,0503	<0,01				0,1013	0,1749
KD		0,6342	0,0178	<0,01	0,0543	0,0160	<0,01				0,0256	0,0591
KAS		86,6780	3,6180	<0,01	-14,8280	3,2490	<0,01				5,4351	11,5734
PR		0,2591	0,0082	<0,01	-0,0005	0,0073	0,948				0,0109	0,0274
PT		0,2014	0,0082	<0,01	0,0069	0,0074	0,350				0,0093	0,0281
MOE		15,4440	1,2452	<0,01	0,2937	1,1183	0,794				0,0003	4,4947
Sifat	Model	η_0			η_1			η_2			$Bambu_j$	ε_{ij}
		Estimate	S.E.	*p*-value	Estimate	S.E.	*p*-value	Estimate	S.E.	*p*-value		
MOR	*Kuadratik*	134,0920	18,7800	<0,01	-1,2690	2,3400	0,590	17,1430	14,3120	0,237	3,6581	24,8903
KT		45,1840	6,0996	<0,01	-2,7064	0,7601	<0,01	18,0676	4,6483	<0,01	1,8495	6,5770

*Keterangan: TB, tebal dinding bambu; KD, kerapatan dasar; KAS, kadar air segar; PR dan PT, penyusutan pada perubahan 1% kadar air pada arah radial dan tangensial; MOE, modulus elastisitas; MOR, modulus patah; KT, kekuatan tekan sejajar serat. Formula untuk setiap model variasi longitudinal dari setiap sifat yang diuji ditunjukkan pada **Tabel 2.** p-value menunjukkan tingkat signifikansi untuk setiap efek tetap. β_0, β_1, η_0, η_1, dan η_2 merupakan efek tetap untuk masing-masing model logaritmik dan kuadratik; $Bambu_{0j}$, $Bambu_{1j}$, dan $Bambu_{2j}$ merupakan efek acak pada individu bambu, dan ε_{ij} adalah galat (residual).*

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa bambu petung menunjukkan peningkatan sifat fisika dan mekanika yang baik secara longitudinal dari bagian pangkal ke arah ujung batang. Kerapatan dasar, kadar air segar, penyusutan, MOE, MOR dan kekuatan tekan sejajar serat meningkat dari bagian pangkal ke arah ujung batang, menunjukkan bahwa bagian tengah dan ujung batang bambu memiliki kualitas yang lebih baik. Pola ini sesuai dengan temuan sebelumnya oleh beberapa peneliti dan didukung dengan pendekatan pemodelan dalam penelitian ini. Pola pemodelan sifat mekanika bambu petung pada penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan bambu yang membutuhkan kekakuan dan kelenturan dapat diambil pada bagian tengah hingga ujung batang, sedangkan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tekan yang optimal dapat memanfaatkan bagian tengah batang bambu.

Hubungan Kerapatan Dasar dan Tebal Dinding Bambu dengan Sifat Fisika dan Mekanika

Tabel 6 menunjukkan koefisien korelasi antara kerapatan dasar dengan sifat fisika dan mekanika bambu petung. Kerapatan dasar menunjukkan korelasi negatif yang signifikan pada tingkat 1% dengan kadar air segar (r = –0,933) dan berkorelasi positif yang signifikan pada tingkat 1% dengan MOR (r = 0,393) dan kekuatan tekan sejajar serat (r = 0,402). Di sisi lain, korelasi negatif yang signifikan pada tingkat 5% juga ditunjukkan oleh kerapatan dasar dengan tebal dinding bambu (r = –0,343) dan penyusutan radial (r = –0,354). **Tabel 6** juga menunjukkan bahwa tebal dinding bambu petung berkorelasi positif yang signifikan pada tingkat 1% dengan kadar air segar (r = 0,458) dan berkorelasi negatif yang signifikan pada tingkat 1% dengan MOR (r = –0,444). Selain itu, tebal dinding bambu juga menunjukkan korelasi negatif yang signifikan pada tingkat 5% dengan kekuatan tekan sejajar serat (r = –0,296). MOE juga menunjukkan korelasi positif yang signifikan pada tingkat 5% dengan MOR (r = 0,360). Tidak ditemukan korelasi yang signifikan baik pada kerapatan dasar bambu petung dengan penyusutan tangensial dan MOE, maupun antara tebal dinding bambu dengan penyusutan radial dan tangensial serta MOE.

Tabel 6. Hubungan antara kerapatan dasar dan tebal dinding dengan sifat fisika dan mekanika bambu petung (*D. asper*)

Faktor 1	Faktor 2	*n*	Koefisien Korelasi
Kerapatan Dasar	Tebal Dinding Bambu	50	–0,343*
	Kadar Air Segar	50	–0,933**
	Penyusutan Radial	50	–0,354*
	Penyusutan Tangensial	50	–0,184^{ns}
	MOE	50	0,210^{ns}
	MOR	50	0,393**
	Kekuatan Tekan Sejajar Serat	50	0,402**
Tebal dinding Bambu	Kadar Air Segar	50	0,458**
	Penyusutan Radial	50	0,108^{ns}
	Penyusutan Tangensial	50	–0,164^{ns}
	MOE	50	0,046^{ns}
	MOR	50	–0,444**
	Kekuatan Tekan Sejajar Serat	50	–0,296*
MOE	MOR	50	0,360*

*Keterangan: n, jumlah sampel untuk setiap posisi ketinggian pada 10 batang bambu; **, p<0,01; *, p<0,05; ^{ns}, tidak signifikan*

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Adam & Jusoh (2019) melaporkan bahwa kerapatan dasar memiliki korelasi negatif yang signifikan dengan kadar air segar dan berkorelasi positif yang signifikan dengan MOE, MOR dan kekuatan tekan sejajar serat pada bambu petung umur 4–5 tahun yang tumbuh di Serawak, Malaysia. Penelitian lain juga melaporkan korelasi positif yang signifikan antara MOE dan MOR pada bambu petung, wulung dan apus (Junaid *et al.* 2022). Berdasarkan hasil penelitian ini, dengan sedikit pengecualian pada penyusutan dan MOE, kerapatan dasar dan ketebalan dinding bambu berpotensi menjadi indikator awal sifat fisika dan mekanika bambu petung. Selain itu, MOR juga menunjukkan hubungan yang kuat dengan MOE. Namun demikian, hubungan yang diperoleh dalam penelitian ini bersifat korelasional berdasarkan analisis *Pearson* dan belum menunjukkan hubungan kausal secara langsung.

Temuan ini mengindikasikan bahwa kerapatan dasar atau ketebalan dinding bambu memiliki kontribusi penting dalam menilai kualitas serta dapat menjadi parameter awal dalam pemilihan bambu petung sebagai bahan baku industri, baik untuk aplikasi struktural maupun lainnya. Informasi mengenai variasi longitudinal sifat bambu petung ini juga dapat menjadi dasar dalam penentuan bagian batang yang paling sesuai untuk kebutuhan konstruksi dan produk berbasis bambu lainnya. Bagian tengah hingga ujung batang yang memiliki nilai beberapa sifat mekanis lebih tinggi berpotensi dimanfaatkan untuk produk struktural, seperti laminasi bambu, papan komposit, atau elemen konstruksi ringan. Selain itu, informasi ini dapat mendukung pengelolaan hutan rakyat berbasis kualitas bahan baku sehingga pemanfaatan bambu menjadi lebih efisien dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, pemodelan efek campuran linier dan nonlinier digunakan untuk mengevaluasi variasi longitudinal sifat fisika dan mekanika bambu petung yang tumbuh di hutan rakyat Yogyakarta, Indonesia. Nilai rata-rata tebal dinding bambu, kerapatan dasar, kadar air segar, penyusutan radial dan tangensial untuk setiap perubahan 1% kadar air, MOE, MOR, dan kekuatan tekan sejajar serat berturut-turut sebesar 1,22 cm; 0,69 g/cm^3; 72,5%; 0,26%; 0,21%; 15,73 GPa; 171,6 MPa; dan 69,6 MPa. Pada variasi longitudinal sifat bambu petung, model logaritmik (Model II) terpilih sebagai model terbaik untuk menjelaskan pola perubahan sebagian besar sifat fisika dan mekanika yang diuji, kecuali MOR dan kekuatan tekan sejajar serat yang lebih sesuai dijelaskan dengan model kuadratik (Model III). Model logaritmik menunjukkan bahwa sifat fisika dan mekanika bambu petung cenderung mengalami penurunan atau peningkatan dari pangkal dan kemudian menjadi hampir stabil ke arah ujung batang. Sementara itu, model kuadratik menunjukkan bahwa nilai MOR dan kekuatan tekan sejajar serat cenderung meningkat dari pangkal sampai bagian tengah batang lalu mengalami sedikit penurunan menuju ujung batang. Hasil ini menunjukkan bahwa bagian tengah dan ujung batang bambu petung umumnya memiliki nilai beberapa sifat fisika dan mekanika yang lebih baik dibandingkan bagian pangkal, meskipun kadar

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

air segar dan tebal dinding cenderung menurun, penyusutan relatif stabil di sepanjang batang, serta nilai kekuatan tekan sejajar serat sedikit menurun menuju ujung batang. Kondisi ini menunjukkan potensi yang lebih besar dari bambu bagian tengah hingga ujung batang bambu untuk aplikasi struktural. Mengenai hubungan antara kerapatan dasar dan tebal dinding dengan sifat bambu, dengan sedikit pengecualian pada penyusutan dan MOE, dapat disimpulkan bahwa kerapatan dasar dan ketebalan dinding bambu berpotensi menjadi indikator awal sifat fisika dan mekanika bambu petung. Selain itu, MOR juga menunjukkan hubungan yang kuat dengan MOE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada Hendru Gimnastiar, Rosyid Arya Putra, Dewi Anisa Wulan Dhari, Nisrina Salfa Kusumaningtyas, dan Karina Linggacahara atas segala bantuan dalam pengambilan sampel dilapangan

DAFTAR PUSTAKA

Adam, N., Jusoh, I. 2019. Physical and Mechanical Properties of Dendrocalamus asper and Bambusa vulgaris. Transactions on Science and Technology, 6(1-2): 95-101.

Akaike, H. 1998. Information Theory and An Extension of The Maximum Likelihood Principle. In: Parzen E, Tanabe K, Kitagawa G (eds.), Selected papers of Hirotugu Akaike. Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics), Springer, New York, pp199-213. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1694-0_15

Akinlabi, E.T., Anane-Fenin, K., Akwada, D.R. 2017. Bamboo. The multipurpose plant: p268. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56808-9

Aribal, L.G., Parlucha, J.A., Gelaga, J.N., Aribal, R.J., Sedenio, P.E. 2022. Production of Composite Boards from Bambusa blumeana Schult. f. and Dendrocalamus asper (Schult.) Backer. Journal of Bamboo and Rattan (Kerala Forest Research Institute), 21(2): https://doi.org/10.55899/09734449.22/21.2a/330

Azadeh, A., De Sá, A.D., Kadivar, M., Gauss, C., Junior, H.S. 2022. The Effect of Densification on Physical and Mechanical Properties of Bamboo Dendrocalamus asper. European Journal of Wood and Wood Products, 80(4): 877-888. https://doi.org/10.1007/s00107-022-01823-5

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B.M., Walker, S.C. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, 67: 1-51. https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01

Chaowana, P. 2013. Bamboo: An Alternative Raw Material for Wood and Wood-Based Composites. Journal of Materials Science Research, 2(2): 90-102. https://doi.org/10.5539/jmsr.v2n2p90

Charoenphun, N., Pakeechai, K. 2021. Effect of Thickness on Qualities of Dried Sweet Bamboo Shoots (Dendrocalamus asper Backer) Products. Journal of Food Health and Bioenvironmental Science, 14(1): 1-8.

Ekhuemelo, D.O., Tembe, E.T., Ugwueze, F.A. 2018. Bamboo: A Potential Alternative to Wood and Wood Products. South Asian Journal of Biological Research, 1(1): 9-24.

Fahim, M., Haris, M., Khan, W., Zaman, S. 2022. Bamboo As a Construction Material: Prospects and Challenges. Advances in Science and Technology. Research Journal, 16(3): 165-175. https://doi.org/10.12913/22998624/149737

Fauziyah, E., Sanudin. 2022. Bamboo Utilization as a Nature-Based Material for Household Crafts and Construction in Ciamis and Tasikmalaya Regency West Java. In International Conference on Indonesian Architecture and Planning (pp. 715-722). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1403-6_48

Irawan, B., Ihsan, M., Permana, M.D., Noviyanti, A.R. 2025. A Review of Bamboo: Characteristics, Components, and Its Applications. Journal of Natural Fibers, 22(1): 2522928. https://doi.org/10.1080/15440478.2025.2522928

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Japanese Industrial Standards. 2009. Methods of Test for Wood (Z2101:2009). Japanese Standards Association, Tokyo.

Jasni, J., Damayanti, R., Pari, R. 2017. Ketahanan Alami Jenis-Jenis Bambu yang Tumbuh di Indonesia Terhadap Rayap Tanah (Coptotermes curvignathus Holmgren). Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 35(4): 289-301. https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.4.289-301

Jimenez Jr, J.P., Rizare, M.D. 2024. Physico-Mechanical Properties and Decay Fungi Resistance of Dendrocalamus asper and Bambusa spinosa Thermally Modified in Spent Engine Oil Medium. Advances in Bamboo Science, 9: 100117. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100117

Junaid, A., Irawati, I.S., Awaludin, A. 2022. Analisis Sifat Mekanis dan Fisis Bambu Menggunakan Metode Destruktif. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 7(1): 41-49. https://doi.org/10.33096/734q4945

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.

Liang, Z., Kovács, G.P., Gyuricza, C., Neményi, A. 2022. Potential Use of Bamboo in The Phytoremediation in of Heavy Metals: A review. Acta Agraria Debreceniensis, (1): 91-97. https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/10311

Liese, W., Köhl, M. 2015. Bamboo: The Plant and Its Uses. Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: p356. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6

Mustafa, A.A., Derise, M.R., Yong, W.T.L., Rodrigues, K.F. 2021. A Concise Review of Dendrocalamus asper and related Bamboos: Germplasm Conservation, Propagation and Molecular Biology. Plants, 10(9): 1897. https://doi.org/10.3390/plants10091897

Ngadianto, A., Ishiguri, F., Nezu, I., Irawati, D., Ohshima, J., Yokota, S. 2023. Determination of Boundary Between Core and Outer Wood by Radial Variation Modeling in Tropical Fast-Growing Tree Species. Journal of Sustainable Forestry, 42(4): 421-440. https://doi.org/10.1080/10549811.2022.2043907

Nugroho, N., Ando, N. 2000. Development of Structural Composite Products Made From Bamboo I: Fundamental Properties of Bamboo Zephyr Board. Journal of Wood Science 46(1): 68-74 https://doi.org/10.1007/BF00779556

Pinheiro, J.C., Bates, D.M. 2000. Mixed-Effects Models in S and S-plus. Springer-Verlag, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0318-1

R Core Team. 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Australia. URL http://www.R-project.org/

Rini, D.S., Ichsan, A.C., Anwar, H., Ningsih, R.V., Khiarunnisa, A., Ngadianto, A. 2025. Evaluasi Sebaran Longitudinal Sifat Fisika Dan Mekanika Dendrocalamus Asper dan Gigantochoa Apus Menggunakan Mixed-Effect Modeling. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 43(2): 73-87. https://doi.org/10.55981/jphh.2025.11302

Rini, D.S., Ishiguri, F., Nezu, I., Ngadianto, A., Irawati, D., Otani, N., Ohshima, J., 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. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29288-3

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. https://doi.org/10.3759/tropics.MS21-06

Rivera-Segura, R., Moya, R., Gaitán-Alvarez, J., Granados-Gamboa, M. 2024. Analysis of The Physical-Mechanical Properties of Dendrocalamus asper (Schult.) Versus Two Guadua angustifolia (Kunth) Varieties, South and Caribe in The Atlantic Region of Costa Rica. Advances in Bamboo Science, 6: 100057. https://doi.org/10.1016/j.bamboo.2024.100057

Sianturi, V., Woesono, H.B. 2024. Potensi Cadangan Karbon pada Tanaman Bambu (Bambusoideae) di Hutan Rakyat Desa Wisata Turgo Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta. Agroforetech, 2(2): 924-932.

Sribianti, I., Tahnur, M., Muthmainnah, M., Maulana, M.L. 2022. Nilai Manfaat Ekonomi Diversifikasi Produk Bambu pada Hutan Rakyat di Kecamatan Kulawi Kabupaten Sigi. Jurnal Hutan Tropis, 10(2): 177-183. https://doi.org/10.20527/jht.v10i2.14127

Srivaro, S., Jakranod, W. 2016. Comparison of Physical and Mechanical Properties of Dendrocalamus asper Backer Specimens With and Wthout Nodes. European Journal of Wood and Wood Products, 74(6): 893-899. https://doi.org/10.1007/s00107-016-1048-8

Utami, N.W.F., Arifin, H.S., Nurhayati, H., Wijaya, S. 2018. Community-Based Bamboo Stands Management in The Kali Bekasi Watershed, Indonesia. Environment and Natural Resources Research, 8: 61-69. https://doi.org/10.5539/enrr.v8n1p61

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Verma, S., Hashmi, S.A.R., Mili, M., Hada, V., Prashant, N., Naik, A., Rathore, S.K.S., Srivastava, A. K. 2021. Extraction and Applications of Lignin from Bamboo: A Critical Review. European Journal of Wood and Wood Products, 79(6): 1341-1357. https://doi.org/10.1007/s00107-021-01743-w

Widjaja, E.A., Risyad, Z.M. 2001. Bambu: Jenis dan Pemanfaatannya. Puslitbang Biologi-LIPI

Wulandari, F.T. 2019. Karateristik dan Sifat Fisik Bambu Petung (Dendrocalamus asper. backer) Di Kawasan Hutan Kemasyarakatan (HKM) Desa Aik Bual, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Buletin Loupe, 15(01): 300800. https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v15i01.27

e-ISSN : 2746 – 7155
p-ISSN : 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura