

## RELASI ANTAR KARAKTERISTIK MAKROSKOPIS PADA BATANG BAMBU KUNING DAN SERO

*(Macroscopic Characteristic Relationships on Kuning and Sero Bamboo Culm)*

Leonard D. Liliefna<sup>1\*</sup>, Herman Siruru<sup>1</sup>, Ismail Budiman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura

<sup>2</sup>Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Badan Riset dan Inovasi Nasional, KST Soekarno,  
Jalan Raya Jakarta-Bogor km 46, Cibinong, Bogor

\*Penulis korespondensi: [dliliefna19@gmail.com](mailto:dliliefna19@gmail.com)

### ABSTRACT

*Macroscopic characteristics vary along the length of the bamboo culm. Yellow and sero bamboo have different internode lengths and wall thicknesses, therefore, it is important to study the shape of the macroscopic characteristics distributions and to know how the culm maintains a balance between its macroscopic characteristics against its own crown weight and the wind. In addition, a model is needed to estimate the culm length proportion that meets the minimum wall thickness in bamboo lamina production. Due to variation in length between test samples, normalized distance from the culm base was used. The objectives of this study were to determine the shape of the macroscopic characteristics distribution, to determine how bamboo culms maintain a balance between their macroscopic characteristics against their own crown weight and wind exposure, and to build the model to estimate the culm length proportion that meets the minimum thickness requirement in bamboo lamina manufacturing. The polynomial regression analysis method was used in this study. The results showed that the distribution of macroscopic characteristics and their ratios ( $D/R$ ,  $td/D$ ,  $td/R$ ) in yellow and sero bamboo species had non-linear relationships. From the base to the center of the culm, the value of each ratio decreases, while from the center to the top, the bamboo culm tends to keep the ratio relatively constant with a slight increase towards the top. The models obtained for the relationship between wall thickness ( $td$ ) and its normalized distance ( $X\%$ ) were,  $td = 1,8178 - 0,24463 X + 0,000121 X^2$  and  $td = 0,7462 - 0,008365 X + 0,000045 X^2$  for kuning and sero bamboo, respectively.*

*Keywords: diameter, internode length, macroscopic characteristics, wall thickness*

### ABSTRAK

Ukuran karakteristik makroskopis bervariasi menurut arah panjang batang bambu. Bambu kuning dan bambu sero memiliki ukuran panjang ruas dan tebal dinding batang yang sangat berbeda, sehingga penting untuk mempelajari bentuk sebaran karakteristik makroskopisnya, serta mengetahui bagaimana batang bambu mempertahankan keseimbangan antar karakteristik makroskopisnya terhadap berat tajuknya sendiri dan terpaan angin. Selain itu, dibutuhkan model untuk mengestimasi proporsi panjang batang

bambu yang memenuhi ukuran tebal dinding minimum pada pembuatan bambu lamina. Karena terdapat variasi panjang batang antar contoh uji, maka digunakan normalisasi jarak dari pangkal batang sebagai variabel panjang batang. Tujuan penelitian ini adalah mendeterminasi bentuk sebaran karakteristik makroskopis, menggunakan rasio antar karakteristik makroskopis untuk mengetahui bagaimana batang bambu mempertahankan keseimbangan antar karakteristik makroskopisnya terhadap berat tajuknya sendiri serta terpaan angin, dan membangun model hubungan antara tebal dinding dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang guna mengestimasi besarnya proporsi panjang batang bambu yang memenuhi ukuran minimum pada pembuatan bilah bambu. Metode analisis regresi polinomial digunakan untuk memodelkan hubungan antar variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk sebaran karakteristik makroskopis serta rasionya ( $D/R$ ,  $td/D$ ,  $td/R$ ) pada jenis bambu kuning dan bambu sero memiliki bentuk hubungan yang non-linear. Pada bagian pangkal hingga ke bagian tengah batang, nilai rasio tersebut menurun, sedangkan pada bagian tengah hingga ke bagian ujung, batang bambu cenderung mempertahankan besarnya rasio tersebut relatif konstan dengan sedikit menanjak ke bagian ujung. Model polinomial yang diperoleh untuk hubungan antara tebal dinding ( $td$ ) dan normalisasi jaraknya ( $X\%$ ) untuk jenis bambu kuning adalah  $td = 1,8178 - 0,24463 X + 0,000121 X^2$  dan untuk jenis bambu sero adalah  $td = 0,7462 - 0,008365 X + 0,000045 X^2$ .

Kata kunci: diameter, karakteristik makroskopis, ruas, tebal dinding

## I. PENDAHULUAN

Batang bambu berongga dan terdiri atas ruas dan buku dengan ukuran diameter dan tebal dinding yang berkurang dari bagian pangkal ke ujung. Ukuran panjang tiap ruas bambu pada umumnya meningkat dari bagian pangkal ke tengah dan kemudian menurun ke bagian ujung. Dengan demikian, bambu memiliki struktur yang bergradasi secara hierarkhi (*hierarchical gradient structure*) yakni struktur bergradasi makroskopis pada tebal dinding, diameter dan panjang ruas, dan juga struktur bergradasi mikroskopis pada sebaran seratnya (Amada et al., 1996). Struktur bergradasi makroskopis seperti yang tercantum dalam Chaowana & Barbu (2017) selanjutnya dirujuk sebagai karakteristik makroskopis yang meliputi ukuran panjang ruas, diameter, dan tebal dinding batang bambu. Diantara ruas bambu terdapat buku bambu berdiafragma yang berfungsi untuk mencegah batang bambu tertekuk (*buckling*) serta retak (*crack arrester*) di sepanjang batang bambu oleh beban lentur, yang berkurang dari bagian pangkal ke ujung, yang disebabkan oleh beratnya sendiri dan beban angin (Amada, Ichikawa, Munekata, Nagase & Shimizu, 1997).

Karakteristik makroskopis sepanjang batang bambu telah digunakan untuk menghitung rasio antara tegangan lentur (*bending stress*) pada titik tertentu sepanjang batang dan tegangan lentur maksimum pada bagian pangkal batang bambu (Ghavami, 2016). Karena terdapat variasi jumlah ruas dan panjang batang bambu contoh uji seperti pada penelitian Ghavami (2016) tersebut, maka dalam penelitian ini tidak digunakan jarak yang sebenarnya untuk posisi karakteristik makroskopis tertentu yang diukur dari pangkal batang bambu. Sebelum digunakan sebagai variabel panjang batang dalam analisis, jarak tersebut dinormalisasikan terhadap (dibagi dengan) total panjang batang bambu contoh uji. Rasio (%) hasil bagi atau normalisasi jarak dimaksud selanjutnya disebut normalisasi jarak dari pangkal batang. Hal ini paralel dengan cara yang dilakukan pada analisis hubungan antara fraksi volume serat (Ghavami, Rodrigues & Paciornik, 2003; Shao & Wang, 2018), serta modulus elastisitas (Tan, et al., 2011), pada posisi tertentu dalam bingkai ketebalan dinding batang terhadap total tebal dinding batang bambu.

Rasio antara tebal dinding dan diameter sepanjang batang dari beberapa jenis bambu

telah diteliti untuk mencoba membuat pengelompokan jenis bambu berdasarkan ukuran ketebalan dinding batangnya, yakni tipis dan tebal (Banik, 2015). Akan tetapi, karena ukuran diameter bagian ujung batang yang telah sangat kecil diikutkan dalam perhitungannya, sehingga pada bagian ujung batang, nilai rasio antara tebal dinding dan diameter menjadi sangat besar bahkan menyamai atau melewati nilai rasio pada bagian pangkal batang bambu.

Dalam penelitian ini bentuk sebaran rasio (%) antar karakteristik makroskopis dan normalisasi jarak dari pangkal batang menurut arah panjang batang bambu digunakan untuk mengungkapkan bagaimana batang bambu mempertahankan keseimbangan antar panjang ruas, diameter batang dan tebal dinding terhadap berat tajuknya sendiri dan juga jika diterpa angin.

Karakteristik makroskopis batang bambu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis bambu dan tempat tumbuh. Jenis bambu ada yang memiliki ruas yang panjang tetapi berdinding tipis seperti bambu lemas atau sero dari genus *Schizostachyum*, dan yang beruas sedang dan memiliki ketebalan dinding sedang pula seperti bambu ampel dari genus *Bambusa* dan bambu tali serta ater dari genus *Gigantochloa*, dan selain itu, ada yang berdinding tebal seperti bambu petung dari genus *Dendrocalamus* (Dransfield & Widjaja, 1995; Widjaja, Astuti, Arinasa & Sumantera, 2005). Karena di alam bambu mengalami terpaan angin maka sangatlah penting untuk mengetahui bagaimana tiap jenis bambu dengan karakteristik makroskopis yang berbeda-beda tersebut mempertahankan keseimbangan antar panjang ruas, diameter batang dan tebal dindingnya terhadap berat tajuknya sendiri dan terpaan angin dimaksud. Dengan demikian, jenis bambu kuning dan sero yang memiliki keunikan dalam hal ukuran diameter yang hampir sama tetapi ukuran tebal dinding dan panjang ruas yang sangat berbeda dipilih dalam penelitian ini.

Bambu adalah bahan yang ekonomis, ramah lingkungan, terbarukan dengan cepat dan berkelanjutan. Melalui perhitungan dalam asesmen siklus hidup, bangunan berkerangka

bambu dan semen secara efektif dapat mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub>, sehingga konstruksi bambu menawarkan strategi penyeimbangan karbon yang ampuh dan layak secara ekonomi untuk proyek-proyek perumahan sosial (Bundi, Lopez, Habert, & Escamilla, 2024).

Dewasa ini ada cukup banyak variasi produk berbasis bambu yang dihasilkan oleh produsen di berbagai negara. Liu et al. (2016) mengajukan nomenklatur untuk mempermudah standarisasi produk-produk berbasis bambu secara internasional. Penggunaan bahan bambu dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat transformasi bahan baku dan proses pembuatannya mulai dari yang tradisional (tidak diproses), hibrida (diproses secara sedang), hingga maju atau rekayasa (diproses secara menyeluruh) (Santos, 2015; Escamilla, Archilla, Nuramo, & Trujillo, 2019). Liu (2024) melaporkan bahwa besarnya pasar global dari produk berbahan bambu pada tahun 2022 adalah sebesar 66,2 miliar dolar Amerika Serikat yang terdiri atas sebelas bidang utama variasi produk yaitu konstruksi, makanan, kosmetika, tekstil, alat rumah tangga, mebel, transportasi, kesehatan, pulp dan kertas, bahan bakar, dan kemasan.

Terkait tingkat transformasi hibrida, dengan teknik yang sederhana, relatif murah dan terjangkau oleh masyarakat, telah ditunjukkan bahwa batang bambu dapat dikonversi menjadi bahan bangunan struktural dengan sifat-sifat yang sebanding dengan yang dimiliki oleh produk kayu (Liliefna, Nugroho, Karlinasari & Sadiyo, 2020). Proses pembuatan produk komposit berbahan bilah (*strips*) bambu termasuk dalam tingkat transformasi hibrida yakni pembuatannya secara manual dan melibatkan proses industri yang tidak intensif (Santos, 2015; Escamilla, et al., 2019). Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 7944:2014, produk berbahan bilah bambu disebut bambu lamina yang didefinisikan sebagai: “suatu produk yang diperoleh dari hasil perekatan bilah bambu sejajar serat ke arah lebar dan/atau kearah tebal”.

Bilah bambu akan memiliki lebar dan tebal tertentu bergantung pada diameter dan tebal dinding batang bambu asalnya. Batang bambu

tersebut harus memenuhi batas minimum tertentu untuk ukuran tebal dinding dan diameter batangnya. Karakteristik makroskopis batang bambu dengan ukuran diameter dan tebal dinding yang mengecil dari bagian pangkal ke ujung dapat menyebabkan satu batang bambu tidak dapat dipakai seutuhnya untuk pembuatan bilah bambu. Ketebalan dinding bagian pangkal dan agak ke tengah dapat saja memenuhi ukuran minimum tersebut, namun mungkin saja bagian tengah hingga ke ujung tidak, sehingga tidak terpakai. Oleh sebab itu, untuk satu batang bambu, informasi terkait berapa persen bagian batangnya yang dapat digunakan untuk pembuatan bilah bambu sangatlah dibutuhkan. Informasi dimaksud dapat diperoleh dengan menggunakan model hubungan antara tebal dinding dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang.

Semua jenis bambu yang berpotensi untuk pembuatan bambu lamina perlu diamati sebaran ketebalan dindingnya sepanjang batang agar dapat diketahui seberapa besar proporsinya yang efisien yang dapat digunakan untuk pembuatan bilah bambu. Untuk itulah penting untuk mengamati potensi jenis bambu seperti jenis bambu kuning dan bambu sero yang tersedia dan belum banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bilah bambu.

Berdasarkan uraian latar belakang masalah di atas, dengan menggunakan contoh uji dari jenis bambu kuning dan bambu sero, penelitian ini bertujuan 1) mendeterminasi bentuk sebaran karakteristik makroskopis dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang menurut arah panjang batang bambu, 2) menggunakan rasio antar karakteristik makroskopis dan normalisasi jarak dari pangkal batang untuk mengetahui bagaimana batang bambu mempertahankan keseimbangan antar karakteristik makroskopisnya terhadap berat tajuknya sendiri dan terpaan angin, dan 3) membangun model hubungan antara tebal dinding dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang guna mengestimasi besarnya proporsi panjang batang bambu yang memenuhi ukuran tebal dinding minimum pada pembuatan bilah bambu.

## II. BAHAN DAN METODE

Alat-alat penelitian meliputi kamera, alat tulis menulis, meter rol dan pita ukur berketelitian 1,0 mm, kaliper digital berketelitian 0,01 mm, gergaji tangan, parang, dan gergaji listrik sirkular.

Jenis bambu contoh uji terdiri atas jenis bambu kuning (*Bambusa vulgaris* var. *striata*) (Widjaja et al., 2005) dan bambu sero (*Schizostachyum grande* Ridley) (Dransfield, 1995). Dari tiap jenis bambu diambil sebanyak empat batang yang ditandai dengan kode B1, B2, B3, dan B4. Batang bambu dari jenis bambu kuning ditebang pada bulan February 2022 di halaman kampus Universitas Pattimura Ambon, sedangkan dari jenis bambu sero ditebang pada bulan Maret 2023 di dataran rendah hutan alam Pulau Seram, Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku. Batang bambu ditebang pada ruas kedua dari banir. Bagian ujung yang berdiameter kurang dari 5 cm dipotong dan dibuang. Setelah dipisahkan bagian ujung tersebut, ukuran panjang batang bambu contoh uji tidak diseragamkan tetapi dibiarkan bervariasi sesuai panjang batang bambu asalnya. Untuk tiap batang bambu contoh uji, jarak tiap ruas dari pangkal batang dan total panjang batang bambu diukur menggunakan meter rol (Gambar 1).



Bambu Kuning



Bambu Sero

**Gambar 1.** Pengukuran panjang batang, panjang ruas dan penomoran ruas bambu

**Figure 1.** Measurement of culm length, internode length and internode numbering

Dalam rumpun bambu, batang bambu contoh uji diambil yang berdiameter besar dan sudah masak tebang. Tidak ada data terkait umur pohon sehingga umur masak tebang batang bambu ditentukan berdasarkan ciri bercak putih karena lumut kerak (*lichens*) dan

batang tidak mengeriput setelah kering udara (umur 3 – 5 tahun) (Standar Nasional Indonesia, 7944:2014). Selain itu, cabang-cabang sudah kelihatan tua dan keras, serta bunyi ketukan pada batang bambu mengeluarkan bunyi bernada tinggi sebagai pertanda batang bambu sudah dewasa atau masak tebang.

Data karakteristik makroskopis diambil pada saat batang bambu masih segar (*green*) (Gambar 1). Untuk jenis bambu kuning, data diambil pada hari yang sama setelah ditebang, sedangkan untuk jenis bambu sero, data diambil setelah lewat tiga hari karena jarak angkut yang jauh. Selama pengangkutan, batang bambu dihindari dari sinar matahari langsung dan bagian pangkal serta ujung bekas pemotongan ditutupi dengan lembaran plastik.

Tiap ruas bambu diberi nomor dimulai dari pangkal batang dan diukur panjangnya menggunakan pita ukur. Jarak dari titik tengah tiap ruas, yakni 50% dari panjang ruasnya, ke pangkal batang bambu diukur untuk mendapatkan posisi tiap ruas terhadap pangkal batang. Diameter batang bambu pada tiap ruas diperoleh dengan cara mengukur keliling pada titik tengah tiap ruas memakai pita ukur. Pada titik tengah tiap ruas dimaksud kemudian dipotong untuk mengukur tebal dinding batang menggunakan kaliper digital.

Keragaman panjang batang bambu antar contoh uji diatasi menggunakan normalisasi jarak dari pangkal batang. Hal ini dilakukan dengan cara setelah tiap ruas diberi nomor mulai dari pangkal batang, maka jarak antara pangkal batang dan titik tengah tiap ruas dibagi dengan total panjang batang diambil sebagai sebuah nilai rasio (dalam %) yang mewakili posisi tertentu sepanjang batang agar dapat membandingkan karakteristik makroskopis pada posisi tersebut sepanjang batang bambu. Dengan nilai rasio dimaksud maka semua batang bambu contoh uji memiliki jarak yang sama antara bagian pangkal dan ujung batangnya, yaitu 100%.

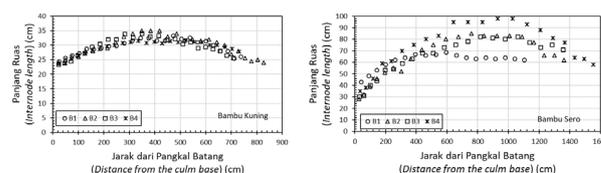
Pada tahap awal, model persamaan dalam bentuk fungsi berpangkat  $x^k$ ,  $k^x$  (*exponential function*), logaritma natural  $\ln(x)$ , dan polinomial dicobakan pada data, namun hanya model polinomial yang memiliki kecocokan

dengan sebaran data. Dengan demikian, analisis pemodelan relasi antar karakteristik makroskopis dilanjutkan dengan menggunakan metode regresi polinomial.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Bentuk Sebaran Karakteristik Makroskopis

Karakteristik makroskopis yang meliputi panjang ruas, diameter, dan tebal dinding sepanjang batang bambu dalam penelitian ini disajikan pada diagram pencar dalam Gambar 2, 3, dan 4. Pola variasi panjang ruas, diameter, dan tebal dinding menurut arah panjang batang untuk bambu kuning dan sero dalam penelitian ini mirip dengan yang ditemukan pada bambu mosso (*Phyllostachys edulis* Riv.) (Amada et al., 1997), *Bambusa arnhemica* F. Muell, (Franklin, 2003), *Dendrocalamus asper*, *Gigantochloa bambos* dan *Gigantochloa hasskarliana* (Chaowana, 2013), *Bambusa balcoa*, *Bambusa vulgaris*, *Melocanna baceifera*, dan *Oxytenanthera nigrociliata* (Banik, 2015), *Dendrocalamus giganteus* (Ghavami, 2016), *Phyllostachys makinoi*, *Dendrocalamus sericeus*, dan *Thyrsostachys oliveri* (Chaowana & Barbu, 2017).



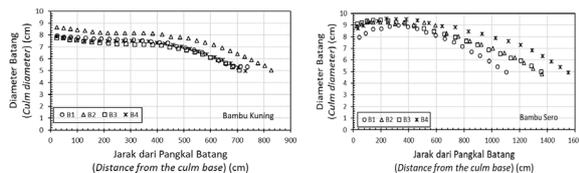
Gambar 2. Sebaran panjang ruas sepanjang batang bambu

Figure 2. Distribution of internode length along the culm

Pola sebaran ukuran panjang ruas sepanjang batang bambu dalam Gambar 2 membentuk sebuah busur. Ukuran panjang ruas dan bentuk sebarannya berbeda antar jenis bambu dan ada sedikit perbedaan antar contoh uji batang bambu (B1, B2, B3, B4) untuk jenis yang sama. Tinggi rumpun dan panjang ruas batang bambu bervariasi antar jenis bambu dan hal ini memiliki dasar sifat genetik yang stabil (Banik, 2015). Pada Gambar 2, panjang ruas bambu kuning berada dalam kisaran 20 – 40 cm, dan data ini

sesui dengan kisaran panjang ruas 20 – 45 cm yang dilaporkan oleh Wiadjaja et al., (2005). Panjang ruas bambu sero hampir mencapai 100 cm. Data ini sesuai dengan kisaran panjang ruas 50 – 70 – 125 cm yang dilaporkan oleh Dransfield (1995). Data seperti pada bambu sero ini juga dijumpai pada bambu *Schizostachyum dulooa* (Banik, 2015). Ukuran panjang ruas bertambah secara gradual mulai dari bagian pangkal hingga mencapai maksimum di bagian tengah, kemudian menurun secara gradual pula ke bagian ujung. Hal ini merupakan ciri umum batang bambu.

Diagram pencar pada Gambar 3 menunjukkan bahwa ukuran diameter pada bambu kuning menurun secara gradual dari pangkal kemudian mendatar hingga hampir ke bagian tengah dan kemudian menurun lagi agak tajam ke bagian ujung. Hal serupa pada bambu kuning dijumpai juga pada jenis bambu *Dendrocalamus asper* (Chaowana, 2013; Chaowana & Barbu, 2017). Pada bambu sero, ukuran diameter sedikit menanjak kemudian menurun ke bagian tengah dan ujung. Hal serupa pada bambu sero dijumpai juga pada jenis bambu *Gigantochloa hasskarliana* (Chaowana, 2013) dan *Phyllostachys makinoi* (Chaowana & Barbu, 2017). Ukuran diameter batang bambu dipengaruhi oleh kondisi tempat tumbuh dan umur bambu (Banik, 2015).

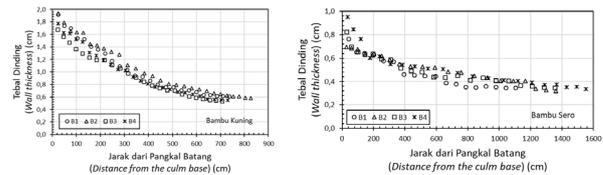


**Gambar 3.** Sebaran ukuran diameter batang sepanjang batang bambu

**Figure 3.** Distribution of diameter size along the culm

Diagram pencar pada Gambar 2 dan 3 untuk bambu kuning menunjukkan bahwa pada bagian tengah, ruas bertambah panjang mencapai ukuran maksimum, namun diameter batang dipertahankan relatif agak konstan. Ciri seperti ini juga ditemukan pada jenis bambu *Dendrocalamus asper* dan *Gigantochloa bambos* (Chaowana, 2013). Hal serupa pada panjang ruas dijumpai juga pada jenis bambu sero, namun diameter batang menurun lebih

awal yakni mulai dari jarak 400 cm dari pangkal batang.



**Gambar 4.** Sebaran tebal dinding sepanjang batang bambu

**Figure 4.** Distribution of wall thickness along the culm

Diagram pencar pada Gambar 4 menunjukkan bahwa, pada bambu kuning, laju penurunan ukuran tebal dinding cukup tajam (2,0 – 0,7 cm) yakni mulai dari pangkal hingga ke tengah dan agak berkurang (0,7 – 0,5 cm) ke bagian ujung batang. Pada bambu sero, laju penurunan tebal dinding cukup rendah, yakni dari bagian pangkal ke bagian tengah antara 1,0 – 0,4 cm, sedangkan dari bagian tengah ke bagian ujung hanya antara 0,4 – 0,3 cm. Gambar 3 menunjukkan bahwa pada bagian pangkal ke tengah, ukuran diameter menurun secara perlahan untuk bambu kuning, tetapi menanjak untuk bambu sero, sedangkan pada bagian tengah ke ujung, diameter batang kedua jenis bambu menurun secara tajam, sedangkan tebal dinding menurun secara perlahan (Gambar 4). Fenomena serupa dijumpai juga pada jenis bambu *Dendrocalamus asper* dan *Gigantochloa bambos* (Chaowana, 2013). Ukuran tebal dinding batang bambu bervariasi menurut jenis bambu (Banik, 2015).

## B. Hubungan antara Karakteristik Makroskopis dengan Normalisasi Jarak dari Pangkal Batang

Ghavam (2016), menunjukkan beberapa bentuk persamaan matematis dalam bentuk polinomial, fungsi berpangkat  $x^k$  (power function), dan logaritma natural  $\ln(x)$  yang cocok untuk mewakili hubungan antara diameter serta tebal dinding dan panjang batang, dengan data seperti pada diagram pencar dalam Gambar 3 dan 4. Model polinomial yang diperolehnya untuk tebal dinding dan diameter terhadap panjang batang bambu  $t = 22,75 - 3,607z + 0,297z^2 - 0,0092z^3$  dan  $D = 118,95 - 5,061z - 0,0457z^2$ , untuk jenis bambu moso (*Phyllostachys heterocyla pubescens*).

Jarak dari pangkal batang pada sumbu mendatar seperti pada diagram pencar dalam Gambar 2, 3, dan 4 tidak efektif dipakai untuk membandingkan karakteristik makroskopis antar batang maupun antar jenis bambu karena ada variasi atau perbedaan jumlah ruas, panjang ruas, serta panjang batang antar contoh uji dalam satu jenis maupun antar jenis. Oleh sebab itu, pada tiap posisi sepanjang batang bambu, dilakukan normalisasi jaraknya dari pangkal batang untuk mengeliminasi variasi tersebut. Selain itu, semakin ke ujung, ukuran diameter menjadi sangat kecil (< 1 cm), sehingga untuk menghindari hal ini, maka diputuskan untuk menetapkan limit sebesar 5 cm. Pada limit tersebut, umumnya tebal dinding batang bambu telah kurang dari 0,5 cm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan juga pada Banik, (2015). Pada ukuran tebal dinding tersebut, batang bambu sudah tidak lagi efisien untuk dibuat bilah.

Hasil analisis menggunakan metode regresi polinomial terhadap data karakteristik makroskopis yang telah dibuat normalisasi

jarak dari pangkal batang disajikan pada Tabel 1, dan model yang diperoleh disajikan secara grafis pada kurva dalam Gambar 5, 6, dan 7 (ditandai dengan garis datar penuh dan putus-putus). Pada Gambar 6, ukuran diameter ujung batang bambu telah dibatasi menjadi 5 cm sehingga sebaran ukuran diameter semua batang bambu contoh uji mengerucut ke bagian ujung (posisi 100%).

Model polinomial terbaik ada yang berpangkat dua dan tiga dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) diatas 77% (Tabel 1). Panjang ruas pada bambu sero memiliki nilai  $R^2$  yang kecil (77,4%) karena terdapat keragaman yang tinggi pada panjang ruas antar batang (Gambar 5).

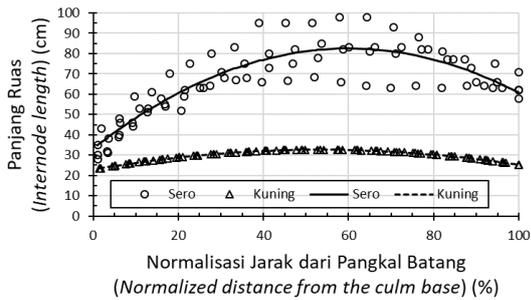
Bambu kuning dan bambu sero memiliki selisih ukuran diameter sekitar tiga cm pada bagian pangkal hingga ke tengah (Gambar 6), tetapi memiliki ukuran panjang ruas (Gambar 5) dan tebal dinding (Gambar 7) yang sangat berbeda.

**Tabel 1.** Model hubungan antara karakteristik makroskopis dan normalisasi jarak dari pangkal batang

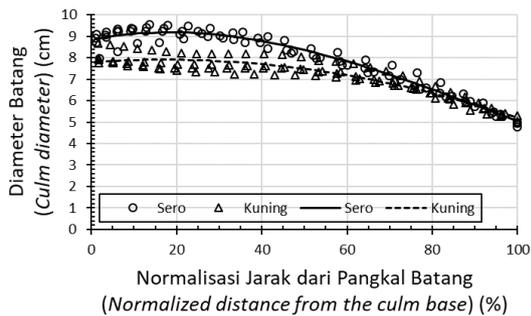
*Table 1. Equation for the relationship between macroscopic characteristic and normalized distance from the culm base*

Karakteristik makroskopis (Macroscopic characteristic)	Jenis Bambu (Bamboo species)	Persamaan (Equation)	$R^2$ (%)
R	Kuning	$R = 22,915 + 0,3644 X - 0,003407 X^2$	86,0
	Sero	$R = 33,24 + 1,64 X - 0,01365 X^2$	77,4
D	Kuning	$D = 7,7978 + 0,01342 X - 0,000394 X^2$	88,6
	Sero	$D = 8,84 + 0,03882 X - 0,001167 X^2 + 0,000004 X^3$	96,6
td	Kuning	$td = 1,8178 - 0,24463 X + 0,000121 X^2$	97,8
	Sero	$td = 0,7462 - 0,008365 X + 0,000045 X^2$	90,8

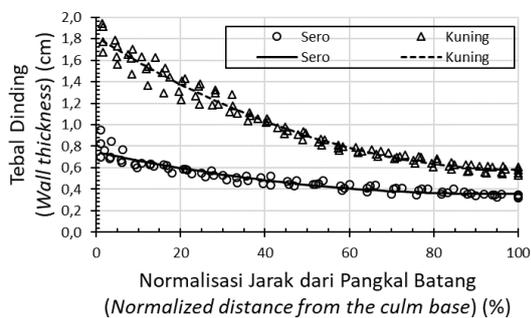
X: Normalisasi jarak dari pangkal batang (Normalized distance from the culm base) (%);  $R^2$ : Koefisien determinasi (Coefficient of determination); R: Panjang ruas (Internode length) (cm); D: Diameter (cm); td: Tebal dinding (Wall thickness) (cm).



**Gambar 5.** Panjang ruas  
*Figure 5.* Internode length



**Gambar 6.** Diameter batang  
*Figure 6.* Culm diameter



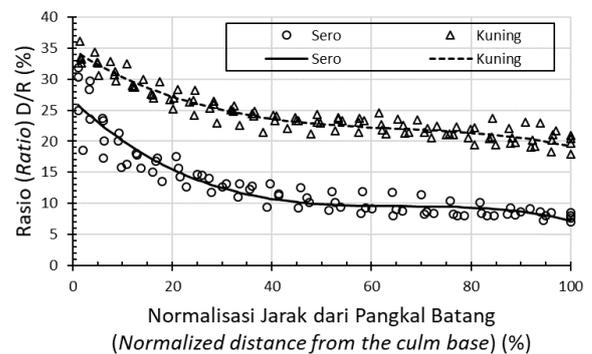
**Gambar 7.** Tebal dinding batang  
*Figure 7.* Wall thickness

### C. Hubungan antara Rasio antar Karakteristik Makroskopis dengan Normalisasi Jarak dari Pangkal Batang

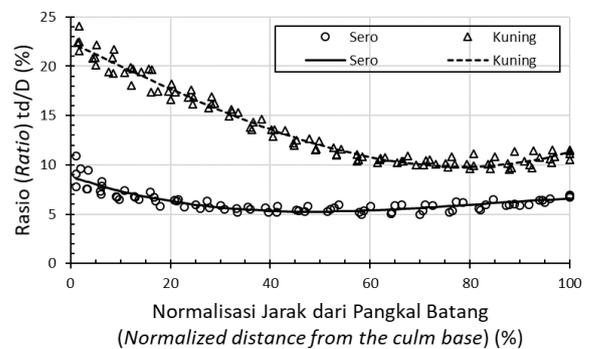
Hubungan antara tiap rasio  $D/R$ ,  $td/D$ , dan  $td/R$  terhadap normalisasi jarak dari pangkal batang disajikan pada Gambar 8, 9, dan 10. Model polinomial terbaik yang diperoleh adalah berpangkat tiga dengan nilai  $R^2$  diatas 78% (Tabel 2). Gambar 8, 9 dan 10 secara umum menunjukkan bahwa, pada bagian pangkal hingga ke bagian tengah batang, nilai rasio antar karakteristik makroskopis menurun, sedangkan

pada bagian tengah batang hingga ke bagian ujung, bambu cenderung mempertahankan besarnya rasio antar karakteristik makroskopis relatif konstan dengan sedikit menanjak ke bagian ujung ( $D @ 5$  cm). Dengan ruas yang panjang dan dinding yang tipis, bambu sero mempertahankan nilai rasio  $td/D$  (Gambar 9) dan  $td/R$  (Gambar 10) yang konstan lebih awal dibanding bambu kuning, yakni pada tinggi batang sekitar 30%.

Banik (2016) menyediakan data sebaran rasio  $td/D$  sepanjang batang bambu untuk jenis bambu *Dendrocalamus giganteus*, dan *Bambusa vulgaris*. Banik (2016) menggunakan ukuran panjang batang yang sebenarnya sehingga tidak dapat disertakan dalam Gambar 9, tetapi sebaran rasio  $td/D$  yang diperolehnya untuk kedua jenis bambu juga menurun dari pangkal dan kemudian agak mendatar di bagian tengah dan menanjak ke arah bagian ujung batang bambu. Hasil ini mirip dengan pola sebaran rasio  $td/D$  untuk jenis bambu kuning dan sero pada Gambar 9.



**Gambar 8.** Rasio diameter dan panjang ruas ( $D/R$ ).  
*Figure 8.* The ratio of diameter and internode length ( $D/R$ )



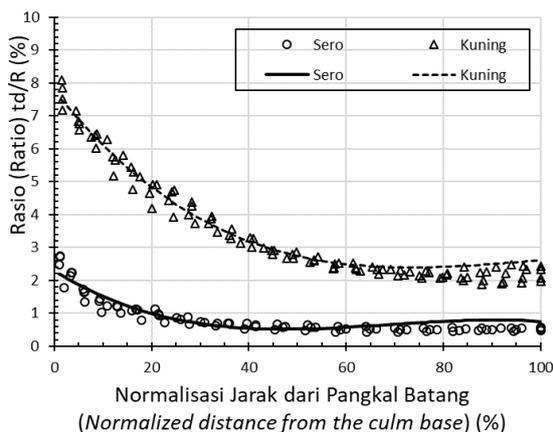
**Gambar 9.** Rasio tebal dinding dan diameter batang ( $td/D$ )  
*Figure 9.* The ratio of wall thickness and diameter ( $td/D$ )

**Tabel 2.** Model hubungan antar rasio karakteristik makroskopis dan normalisasi jarak dari pangkal batang

*Table 2. Equation for the relationship between the ratio of macroscopic characteristics and normalized distance from the culm base*

Rasio (Ratio) (%)	Jenis Bambu (Bamboo species)	Persamaan (Equation)	R <sup>2</sup> (%)
D/R	Kuning	$\frac{D}{R} = 34,698 - 0,5025 X + 0,007074 X^2 - 0,000036 X^3$	91,3
	Sero	$\frac{D}{R} = 26,634 - 0,7618 X + 0,01138 X^2 - 0,000057 X^3$	88,5
td/D	Kuning	$\frac{td}{D} = 22,412 - 0,24066 X + 0,000013 X^3$	97,6
	Sero	$\frac{td}{D} = 8,809 - 0,1699 X + 0,002477 X^2 - 0,000001 X^3$	78,6
td/R	Kuning	$\frac{td}{R} = 7,7571 - 0,18399 X + 0,002025 X^2 - 0,000007 X^3$	98,5
	Sero	$\frac{td}{R} = 2,2795 - 0,09016 X + 0,001449 X^2 - 0,000007 X^3$	90,9

X: Normalisasi jarak dari pangkal batang (Normalized distance from the culm base) (%); R<sup>2</sup>: Koefisien determinasi (Coefficient of determination); R: Panjang ruas (Internode length) (cm); D: Diameter (cm); td: Tebal dinding (Wall thickness) (cm).



**Gambar 10.** Rasio tebal dinding dan panjang ruas (td/R)

*Figure 10. The ratio of wall thickness and internode length (td/R)*

Pada bagian pangkal batang bambu, ukuran panjang ruas adalah minimum tetapi diameter dan tebal dinding bernilai maksimum untuk melayani tahanan maksimum akibat berat tajuknya sendiri dan beban lingkungan seperti angin. Beralih dari bagian pangkal ke ujung, jarak antar buku mulai meningkat yakni ruas bertambah panjang kemudian mencapai maksimum dan kembali menurun (Gambar 2), sedangkan diameter pada bambu sero sedikit menanjak kemudian menurun, tetapi pada bambu kuning terus menurun (Gambar 3), dan untuk tebal dinding, kedua jenis bambu menunjukkan

penurunan (Gambar 4). Secara alamiah, batang bambu tentunya akan mempertahankan ukuran diameter dan ketebalan dindingnya sedemikian rupa untuk mengimbangi tahanan (*resistance*) yang dimaksud di atas agar batangnya tidak tertekuk. Struktur bergradasi makroskopis pada tebal dinding, diameter dan panjang ruas yang diambil nilai rasionya seperti yang disajikan pada diagram pencar dalam Gambar 8, 9, dan 10 menunjukkan bahwa batang bambu mempertahankan keseimbangan antar karakteristik makroskopis panjang ruas, diameter dan tebal dinding sepanjang batang dalam merespon tahanan (*resistance*) terhadap beban lentur akibat berat tajuknya sendiri serta beban lingkungan seperti angin yang dimaksud di atas.

#### D. Estimasi Proporsi Jarak dari Pangkal Batang yang Memenuhi Syarat Pembuatan Bilah

Model untuk ketebalan dinding batang bambu (td) pada Tabel 1, dapat digunakan untuk mengestimasi nilai tebal dinding pada jarak tertentu (X) dari pangkal batang. Selanjutnya, jika nilai tebal dinding minimum yang dibutuhkan diketahui, maka proporsi jaraknya dari pangkal batang (X) dapat diestimasi. Nilai minimum tebal

dinding batang bambu bergantung pada ukuran target tebal bilah bambu dalam pembuatan bambu lamina.

Penelitian Manik, Yudo & Siahaan (2017) mengenai kekuatan mekanis bambu lamina susunan horisontal dengan ketebalan bilah masing-masing 3, 5, dan 7 mm, menunjukkan bahwa modulus elastisitas rata-rata meningkat seiring meningkatnya tebal bilah penyusun balok lamina masing-masing sebesar 8,75, 10,56, dan 11,26 GPa, berturut-turut untuk tebal bilah 3, 5, dan 7 mm, sedangkan kekuatan lentur rata-rata meningkat mulai dari 92,26, 96,18, dan 99,36 MPa, berturut-turut untuk tebal bilah 3, 5, dan 7 mm.

Dalam proses pembuatan bilah, bahan baku bambu yang telah dibelah-belah harus diserut pada permukaan luar dan dalam untuk mendapatkan permukaan bilah yang rata dan selanjutnya diampelas untuk menghaluskan permukaan. Jika ketebalan serutan dan pengampelasan ditekan hingga 1,5 mm pada tiap permukaan, maka ketebalan dinding bambu bahan baku minimal sebesar 6 mm untuk mendapatkan bilah dengan target ketebalan 3 mm. Dengan demikian, dengan berpatokan pada Gambar 7 dan persamaan untuk tebal dinding ( $td$ ) pada Tabel 1, dan jika ditetapkan tebal dinding bahan baku bambu minimum sebesar 6 mm (0,6 cm) untuk target tebal bilah 3 mm, maka batas ini dapat dicapai oleh bambu sero pada jarak  $X = 20\%$  kali total panjang batang bambu (cm), sedangkan untuk bambu kuning, ukuran tersebut berada pada jarak  $X = 90\%$  kali total panjang batang bambu (cm), yang diukur dari pangkal batang, setelah dipotong bagian ujung yang berdiameter kurang dari 5 cm. Dengan demikian, pada bambu sero ada sebanyak 80% bagian batang yang tidak terpakai, sedangkan pada bambu kuning, bagian batang yang tidak terpakai hanya sebesar 10%. Bagian yang tidak terpakai tersebut dapat dialihkan untuk pembuatan produk komposit lainnya.

Model empiris untuk estimasi potensi proporsi batang bambu dalam pembuatan bilah dari jenis bambu tertentu dapat mempercepat proses pengolahan dan meningkatkan efisiensi dan efektifitas penggunaan bahan baku dalam

proses pembuatan bambu lamina. Model empiris dimaksud dapat diperbaiki lagi jika jumlah sampel diperbanyak dan batang bambu dikelompokkan berdasarkan ukuran diameter bagian pangkal batangnya.

## IV. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Bentuk sebaran karakteristik makroskopis dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang menurut arah panjang batang bambu pada jenis bambu kuning dan bambu sero semuanya menunjukkan bentuk hubungan yang *non-linear* yang dapat didekati dengan model polinomial.

Relasi antara rasio antar karakteristik makroskopis ( $D/R$ ,  $td/D$ ,  $td/R$ ) dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang menurut arah panjang batang bambu pada jenis bambu kuning dan bambu sero semuanya menunjukkan bentuk hubungan yang *non-linear* pula yang dapat didekati dengan model polinomial. Terkait bagaimana batang bambu mempertahankan keseimbangan antar karakteristik makroskopis terhadap berat tajuknya sendiri dan beban terpaan angin, maka dari hasil analisis nampak bahwa, untuk jenis bambu kuning dan bambu sero, pada bagian pangkal hingga ke bagian tengah batang, ukuran keseimbangan dimaksud yang dinyatakan dalam nilai rasio  $D/R$ ,  $td/D$ , dan  $td/R$  menurun, yang berarti ukuran panjang ruas ( $R$ ) dan diameter ( $D$ ) dominan, sedangkan pada bagian tengah hingga ke bagian ujung, batang bambu cenderung mempertahankan besarnya nilai-nilai rasio tersebut relatif konstan dengan sedikit menanjak ke bagian ujung untuk rasio  $td/D$  dan  $td/R$ .

Model hubungan antara tebal dinding pada posisi tertentu sepanjang batang dan normalisasi jaraknya dari pangkal batang bambu dapat digunakan untuk mengestimasi ketebalan dinding sepanjang batang bambu yang memenuhi ukuran ketebalan minimum pada pembuatan bilah bambu. Model empiris dalam bentuk fungsi polinomial yang diperoleh untuk hubungan antara tebal dinding ( $td$ ) dan normalisasi jaraknya ke pangkal batang ( $X\%$ ) untuk jenis bambu

kuning adalah  $td=1,8178-0,24463 X+0,000121 X^2$  dan untuk jenis bambu sero adalah  $td=0,7462-0,008365 X+0,000045 X^2$ .

Jika ditetapkan nilai  $td = 0,6$  cm sebagai batas minimum untuk target ketebalan bilah 0,3 cm, maka ukuran tersebut dapat dicapai oleh bambu sero pada jarak  $X = 20\%$  kali total panjang batang bambu (cm), sedangkan untuk bambu kuning, ukuran tersebut berada pada jarak  $X = 90\%$  kali total panjang batang bambu (cm), yang diukur dari pangkal batang, setelah dipotong bagian ujung yang berdiameter kurang dari 5 cm.

## B. Saran

Model empiris untuk estimasi potensi proporsi batang bambu yang dapat digunakan untuk pembuatan bilah bambu untuk jenis bambu tertentu dapat diperbaiki lagi jika jumlah sampel diperbanyak dan batang bambu dipisahkan dalam kelompok berdasarkan ukuran diameter bagian pangkal batangnya.

## KONTRIBUSI PENULIS

Penulis: Leonard D. Liliefna (DL), Herman Siruru (HS), Ismail Budiman (IB)

Kontribusi penulis:

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh DL dan IB; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh HS; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh DL, HS, dan IB; penulisan manuskrip oleh DL dan HS; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh DL dan IB.

## DAFTAR PUSTAKA

Amada, S., Munekata, T., Nagase, Y., Ichikawa, Y., Kirigai, A., & Zhifei, Y., (1996). The mechanical structures of bamboos in viewpoint of functionally gradient and composite materials. *Journal of Composite Materials* Vol. 30, No. 7: 800-819.

Amada, S., Ichikawa, Y., Munekata, T., Nagase, Y., & Shimizu, H., (1997). Fiber texture and mechanical graded structure of bamboo. *Composites Part B*: 13-20.

Banik, R.L., (2015). *Morphology and Growth*. In: Walter Liese and Michael Köhl (Editors).

*Tropical Forestry, Bamboo, the Plant and its Uses*. Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-14133-6.

Banik R.L., (2016). *Silviculture of South Asian Priority Bamboos*. In: Michael Köhl Series (Editor). Tropical Forestry. Springer Science+Business Media Singapore. DOI 10.1007/978-981-10-0569-5.

Bundi, T., Lopez, L.F., Habert, G., & Escamilla, E.Z., (2024). Bridging Housing and Climate Needs: Bamboo Construction in the Philippines. *Sustainability*, 16, 498. <https://doi.org/10.3390/su16020498>.

Chaowana, P., (2013). Bamboo: an alternative raw material for wood and wood-based composites. *Journal of Materials Science Research*. Vol. 2, No. 2: 90-102.

Chaowana, P., & Barbu, M.C., (2017). Bamboo: Potential materials for biocomposites. *Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composites Materials*. DOI: 10.1016/B978-0-08-100959-8.00013-5.

Dransfield, S., 1995. *Schizostachyum grande* Ridley. In: Dransfield, S., & Widjaja, E.A. (Editors): *Plant Resources of South-East Asia No 7. Bamboos*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia. pp. 133-135.

Dransfield, S., & Widjaja, E.A. (Editors), (1995). *Plant Resources of South-East Asia No 7. Bamboos*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia. 189 pp.

Escamilla, Z.E., Archilla, H., Nuramo, D.A., & Trujillo, D., (2019). Bamboo: An Engineered Alternative for Buildings in the Global South. *Bioclimatic Architecture in Warm Climates*, Springer: 397-414. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12036-8\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12036-8_15)

Franklin, D.C., (2003). Morphology and taxonomy of the top end bamboo *Bambusa arnhemica* F. Muell., a little-known bamboo from Northern Australia. *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society* 17(1): 44-54.

Ghavami, K., (2016). *Introduction to nonconventional materials and an historic retrospective of the field*. In: Kent A. Harries and Bhavna Sharma (Editors). *Nonconventional and Vernacular Construction Materials. Characterisation, Properties and Applications*. Woodhead Publishing Series in Civil Engineering: Number 58. Elsevier Ltd.

Ghavami, K., Rodrigues, C.S., & Paciornik, S., (2003). Bamboo: Functionally graded composite materials. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* Vol.4, No.1:1-10.

Liliefna, L.D., Nugroho, N., Karlinsari, L., & Sadiyo, S., (2020). Development of low-tech laminated bamboo esterilla sheet made of thin-

- wall bamboo culm. *Construction and Building Materials* 242 (2020) 118181:1-8.
- Liu, X., (2024). *Carbon Footprint Analyses of Structural Bamboo Products*. (MSc. Thesis). The Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies. The University of British Columbia. Vancouver. BC, CA.
- Liu, X., Smith, G.D., Jiang, Z., Bock, M.C.D., Boeck, F., Frith, O., ... Ramage, M., (2016). Engineered bamboo nomenclatur. *BioResources* 11(10, 1141-1161.
- Manik, P., Yudo, H., & Siahaan, F.A., (2017). Pengaruh susunan dan ukuran bilah bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dan bambu apus (*Gigantochloa apus*) terhadap kekuatan tarik, kekuatan tekan dan kekuatan lentur untuk komponen konstruksi kapal. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan. KAPAL*, Vol. 14, No. 3: 94-101.
- Santos, H.F.A., (2015). *Thermo-hydro-mechanically modified cross-laminated Guadua-bamboo panels*. (PhD Thesis). Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath. UK.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), (2014). *Kegunaan Bambu*. Standar Nasional Indonesia (SNI 8020:2014). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Shao, Z., & Wang, F., (2018). *The Fracture Mechanics of Plant Materials*. Wood and Bamboo. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-9017-2>.
- 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 Biomater*: 1-8. doi:10.1016/j.actbio.2011.06. 008.
- Widjaja, E.A., Astuti, I.P., Arinasa, I.B.K., & Sumantera, I.W., (2005). *Identikit Bambu di Bali*. Bidang Botani, Pusat Penelitian Biologi – LIPI, Bogor(ID). 27pp.