

Dimensi Serat dan Nilai Turunan Serat Kayu Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) dan Waru (*Hibiscus tiliaceus* L.)

**Agung Nugrawan Kutana^{1*}, Yanico Hadi Prayogo², Imam Wahyudi², Nisrina Putri Hanifah¹,
Kidung Tirtayasa Putra Pangestu³, Joko Prayitno¹**

¹Program Studi Pengolahan Hasil Hutan, Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda 75131, Kalimantan Timur, Indonesia

²Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

³Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, Sulawesi Selatan, Indonesia

*E-mail: agungnugrawan@politanisamarinda.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dimensi serat dan nilai turunan serat kayu gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) dan waru (*Hibiscus tiliaceus* L.) serta membandingkan karakteristik anatomi serat kedua jenis kayu tersebut. Sampel kayu dimaserasi menggunakan metode Schultze dan diamati secara mikroskopis pada pembesaran 40× dan 100×. Parameter yang diukur meliputi panjang serat, diameter serat, diameter lumen, dan tebal dinding sel. Data dimensi serat digunakan untuk menghitung nilai turunan serat berupa Runkel ratio, flexibility ratio, felting power, Muhlsteph ratio, dan coefficient of rigidity. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kayu gmelina memiliki panjang serat 1251,65 µm, diameter serat 31,10 µm, diameter lumen 18,26 µm, dan tebal dinding sel 6,42 µm, sedangkan kayu waru memiliki panjang serat 1083,96 µm, diameter serat 22,69 µm, diameter lumen 15,72 µm, dan tebal dinding sel 3,48 µm. Nilai turunan serat kayu gmelina berturut-turut adalah Runkel ratio 0,70, flexibility ratio 0,59, felting power 40,24, Muhlsteph ratio 31,10, dan coefficient of rigidity 0,21, sedangkan kayu waru memiliki nilai Runkel ratio 0,44, flexibility ratio 0,69, felting power 47,77, Muhlsteph ratio 51,97, dan coefficient of rigidity 0,15. Berdasarkan total nilai turunan dimensi serat, kayu waru memperoleh skor 250 dan termasuk kelas kualitas II, sedangkan kayu gmelina memperoleh skor 200 dan termasuk kelas kualitas III. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kayu waru memiliki serat yang lebih fleksibel dengan lumen relatif lebih besar dan dinding sel lebih tipis, sedangkan kayu gmelina memiliki serat yang lebih besar namun lebih kaku akibat dinding sel yang lebih tebal.

Kata kunci: Anatomi kayu; dimensi serat; gmelina; nilai turunan serat; waru

PENDAHULUAN

Kajian anatomi kayu merupakan salah satu indikator penting dalam ilmu kehutanan khususnya pada bidang teknologi hasil hutan karena berkaitan dengan karakteristik struktur sel kayu. Salah satu parameter anatomi yang sering digunakan untuk mengidentifikasi kualitas kayu adalah dimensi serat sampai pada nilai turunan dimensi seratnya (Augustina, dkk., 2020; Fahrussiam & Lestari, 2023). Karakteristik tersebut dapat memberikan informasi mengenai sifat dasar kayu, struktur jaringan, dan perilaku serta kualitas serat. Komponen dimensi serat meliputi panjang serat, diameter serat, diameter lumen, dan tebal dinding sel. Parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk menghitung beberapa nilai turunan serat seperti *runkel ratio*, *flexibility ratio*, *felting power*, *muhlsteph ratio*, dan *coefficient of rigidity* (Indrayanti & Marsoem, 2022; Ridho *et al.*, 2025). Nilai-nilai tersebut menggambarkan tingkat fleksibilitas, kekakuan, dan karakteristik morfologi serat kayu (Alvianti, 2021; Husien & Julianto, 2025). Kayu gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) merupakan jenis kayu cepat tumbuh yang banyak ditemukan pada hutan tanaman. Kayu ini dikenal memiliki pertumbuhan cepat dan struktur kayu relatif ringan (Alvianti, 2021; Husien & Julianto, 2025). Sementara itu, waru (*Hibiscus tiliaceus* L.) merupakan jenis tanaman yang tumbuh pada daerah pantai dan lahan tropis basah dengan karakteristik serat yang cukup unik (Dairi & Ardianto, 2022; Marlinda, dkk., 2025).

Analisis dimensi dan nilai turunan serat kedua jenis kayu ini penting dilakukan untuk mengetahui karakteristik anatomi serat serta membandingkan sifat morfologi antarjenis kayu. Perbedaan nilai turunan serat pada masing-masing jenis kayu juga dapat digunakan sebagai dasar dalam memahami variasi sifat serat serta potensi pemanfaatannya pada berbagai bidang teknologi hasil hutan dan material lignoselulosa. Oleh karena itu, penelitian mengenai dimensi dan nilai turunan serat kayu gmelina dan waru perlu dilakukan untuk memperoleh informasi ilmiah mengenai karakteristik anatomi kedua jenis kayu tersebut.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sampel kayu Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) dan kayu Waru (*Hibiscus tiliaceus* L.) yang diperoleh pada Hutan Rakyat di Bogor, Jawa Barat. Alat yang digunakan meliputi mikroskop cahaya, kaca preparat, kamera mikroskop, gelas ukur, pipet tetes, dan perangkat lunak pengolah data.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu persiapan sampel, proses maserasi, pengamatan mikroskopis, pengukuran dimensi serat, serta perhitungan nilai turunan dimensi serat yang dilakukan di Laboratorium Peningkatan Mutu Kayu, Departemen Hasil Hutan, IPB University. Sampel kayu gmelina (*G. arborea* Roxb.) dan waru (*H. tiliaceus* L.) dipotong menjadi ukuran kecil untuk memudahkan proses maserasi. Selanjutnya sampel dimaserasi menggunakan metode Schultze (TAPPI, 1991) menggunakan larutan campuran asam nitrat (HNO_3) dan kalium klorat (KClO_3) hingga jaringan kayu terurai dan sel-sel serat terpisah satu sama lain. Proses maserasi dilakukan untuk memperoleh serat tunggal sehingga pengamatan dimensi serat dapat dilakukan secara lebih jelas dan akurat (Rahayu *et al.*, 2021). Serat hasil maserasi kemudian dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan sisa bahan kimia dan kotoran yang menempel pada serat. Setelah itu, serat diletakkan pada kaca preparat dan ditetesi akuades atau gliserin sebelum ditutup menggunakan kaca penutup. Preparat yang telah siap kemudian diamati menggunakan mikroskop cahaya pada pembesaran $40\times$ dan $100\times$.

Pengamatan dilakukan terhadap beberapa parameter dimensi serat, yaitu panjang serat, diameter serat, diameter lumen, dan tebal dinding sel. Panjang serat diukur dari ujung ke ujung sel serat, sedangkan diameter serat diukur berdasarkan lebar keseluruhan sel serat. Diameter lumen diukur pada bagian rongga sel, sedangkan tebal dinding sel diperoleh dari hasil pengurangan diameter serat dengan diameter lumen yang kemudian dibagi dua. Pengukuran dilakukan terhadap sejumlah serat yang

dianggap mewakili untuk memperoleh nilai rata-rata setiap parameter pengamatan. Data dimensi serat yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai turunan dimensi serat. Parameter turunan serat yang dihitung meliputi Runkel ratio, felting power, flexibility ratio, coefficient of rigidity, dan Muhlsteph ratio. Perhitungan nilai turunan serat dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut (Arsyad, dkk., 2021):

$$\begin{aligned} \text{Runkel Ratio} &= \frac{2W}{I} \\ \text{Felting Power} &= \frac{L}{D} \\ \text{Flexibility Ratio} &= \frac{I}{D} \\ \text{Coefficient of Rigidity} &= \frac{W}{D} \\ \text{Muhlsteph Ratio} &= \frac{D^2 - I^2}{D^2} \times 100\% \end{aligned}$$

Keterangan:

L = panjang serat
D = diameter serat
I = diameter lumen
W = tebal dinding sel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi Serat Kayu Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) dan Waru (*Hibiscus tiliaceus* L.)

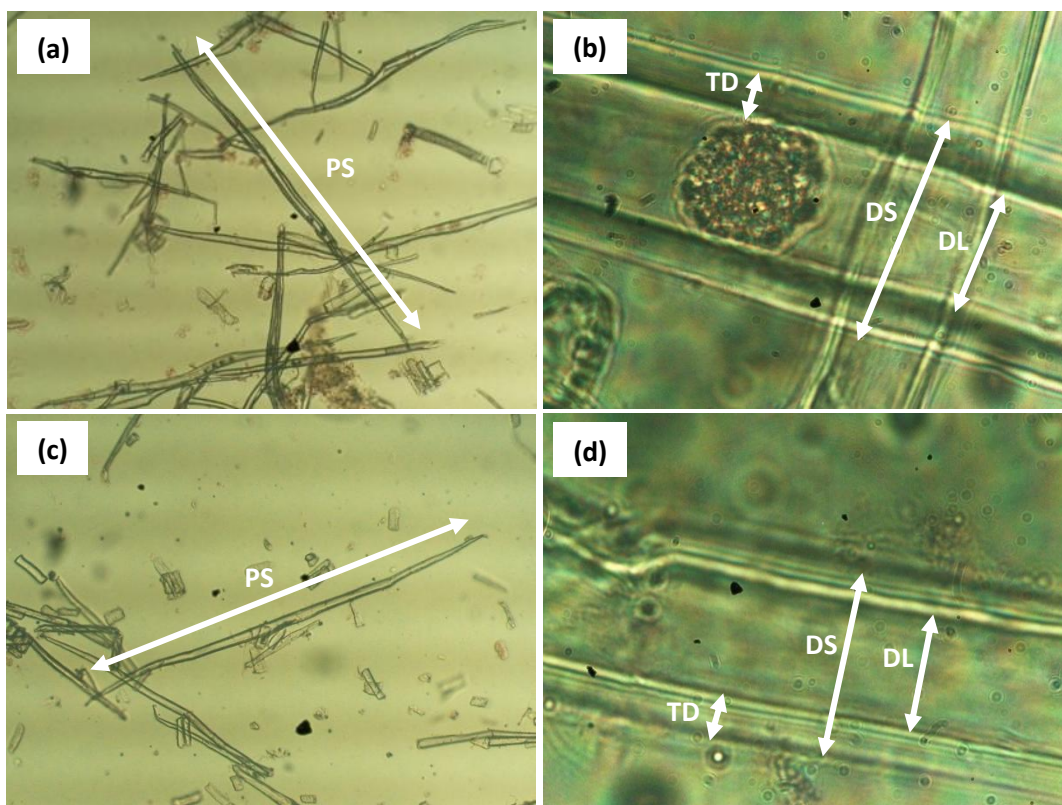
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kayu gmelina memiliki seluruh parameter dimensi serat yang lebih besar dibandingkan kayu waru (Tabel 1). Sementara itu, gambar serat dari hasil pengamatan mikroskop serat kayu gmelina dan waru disajikan pada Gambar 1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kayu gmelina dan waru memiliki panjang serat masing-masing sebesar 1251,65 µm dan 1083,96 µm yang termasuk kategori serat sedang (IAWA, 2008). Panjang serat berpengaruh terhadap kekuatan sobek dan daya tenun kertas, yang dimana semakin panjang serat maka kekuatan sobek kertas cenderung meningkat (Mohlin & Alfredsson, 1990; Rianawati, dkk., 2021). Panjang serat berkaitan dengan ukuran sel penyusun jaringan kayu dan dipengaruhi oleh faktor genetik maupun lingkungan tempat tumbuh (Fadwati, 2025). Serat kayu mengalami peningkatan pada bagian tengah/empulur batang hingga ke bagian tepi/kulit batang. Serat yang lebih panjang umumnya menunjukkan perkembangan sel yang lebih baik selama proses pertumbuhan kayu (Supriyati, dkk., 2024). Selain itu, variasi panjang serat juga dipengaruhi oleh umur pohon, posisi kayu dalam batang, serta kondisi tempat tumbuh seperti ketersediaan unsur hara dan air (Borukanlu *et al.*, 2021; Jokanović *et al.*, 2024; Lu *et al.*, 2021).

Tabel 1. Dimensi serat kayu Gmelina dan Waru.

Parameter	Gmelina	Waru
Panjang serat (µm)	1251,65	1083,96
Diameter serat (µm)	31,1	22,69
Diameter lumen (µm)	18,26	15,72
Tebal dinding (µm)	6,42	3,48

Secara umum, perbedaan dimensi serat antara kayu gmelina dan waru menunjukkan bahwa kedua jenis kayu memiliki karakter anatomi yang berbeda. Gmelina cenderung memiliki serat yang lebih besar dan berdinding tebal, sedangkan waru memiliki serat yang lebih ramping dengan lumen lebih

lebar. Variasi dimensi tersebut menunjukkan adanya perbedaan dalam struktur penyusun jaringan kayu yang dapat mempengaruhi sifat dasar serat pada masing-masing jenis kayu. Selain itu, tebal dinding sel gmelina yang lebih tinggi menunjukkan bahwa serat gmelina memiliki struktur dinding yang lebih tebal dan cenderung lebih kaku dibandingkan waru. Dinding sel yang lebih tebal menunjukkan adanya desublimasi lignin dan selulosa yang lebih tinggi pada proses pembentukan kayu (Augustina, dkk., 2021). Kondisi tersebut menyebabkan serat menjadi kurang fleksibel dan lebih kaku (Karimah, dkk., 2022).



Gambar 1. Sel serat kayu pada pengamatan mikroskopis, terdiri atas (a) gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) pembesaran 40× dan (b) gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) pembesaran 100×. (c) waru (*Hibiscus tiliaceus* L.) pembesaran 40× dan (d) waru (*Hibiscus tiliaceus* L.) pembesaran 100×. PS = panjang serat, DS = diameter serat, DL = diameter lumen, dan TD = tebal dinding sel.

Nilai Turunan Dimensi Serat Kayu Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) dan Waru (*Hibiscus tiliaceus* L.)

Nilai turunan dimensi serat kayu gmelina dan waru disajikan pada Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan nilai Runkel ratio kayu waru lebih rendah dibandingkan gmelina. Hal tersebut menunjukkan bahwa waru memiliki dinding sel yang lebih tipis dibandingkan diameternya. Sebaliknya, nilai Runkel ratio gmelina yang lebih tinggi menunjukkan dinding sel yang relatif lebih tebal (Kabe, dkk., 2026). Sementara itu, nilai flexibility ratio kayu waru sebesar 0,69 lebih tinggi dibandingkan gmelina sebesar 0,59. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tebal dinding sel kayu waru lebih tipis serta memiliki tingkat kelenturan yang lebih baik. Tingginya flexibility ratio biasanya berkaitan dengan lumen yang lebih besar dan dinding sel yang lebih tipis (Husien & Julianto, 2025). Nilai coefficient of rigidity kayu gmelina sebesar 0,21 lebih tinggi dibandingkan waru sebesar 0,15. Hal ini menunjukkan bahwa serat gmelina memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan waru (Amanah, dkk., 2023).

Tabel 2. Nilai turunan dimensi serat kayu gmelina dan waru.

Jenis kayu	Parameter					Total nilai	Kelas kualitas
	Runkel ratio	Muhlsteph ratio	Flexibility ratio	Felting power	Coefficient of rigidity		
Gmelina	0,7	31,1	0,59	40,24	0,21	200	III
Waru	0,44	51,97	0,69	47,77	0,15	250	II

Berdasarkan total nilai turunan dimensi serat, kayu waru memperoleh skor 250 dan termasuk kelas kualitas II, sedangkan kayu gmelina memperoleh skor 200 dan termasuk kelas kualitas III (Silitonga, dkk., 1972). Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik serat kayu waru relatif lebih baik dibandingkan kayu gmelina berdasarkan parameter turunan dimensi serat. Perbedaan kelas kualitas tersebut terutama dipengaruhi oleh nilai Runkel ratio, flexibility ratio, dan coefficient of rigidity yang dimiliki masing-masing jenis kayu. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun kedua jenis kayu memiliki panjang serat yang tergolong sedang, terdapat perbedaan pada karakteristik dimensi dan nilai turunan serat yang membedakan sifat anatomi keduanya. Kayu waru dicirikan oleh serat yang lebih fleksibel dengan lumen relatif besar dan dinding sel lebih tipis, sedangkan kayu gmelina memiliki serat yang lebih besar namun dengan dinding sel yang lebih tebal dan tingkat kekakuan yang lebih tinggi. Perbedaan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa setiap jenis kayu memiliki ciri anatomi serat yang khas sebagai bagian dari variasi struktur mikroskopis kayu.

KESIMPULAN

Kayu gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) memiliki panjang serat, diameter serat, diameter lumen, dan tebal dinding sel lebih besar dibandingkan kayu waru (*Hibiscus tiliaceus* L.). Nilai turunan serat menunjukkan bahwa gmelina memiliki Runkel ratio dan coefficient of rigidity lebih tinggi sehingga seratnya cenderung lebih kaku, sedangkan waru memiliki flexibility ratio lebih tinggi yang menunjukkan tingkat kelenturan serat yang lebih baik. Berdasarkan total nilai turunan dimensi serat, kayu waru memperoleh skor 250 dan termasuk kelas kualitas II, sedangkan kayu gmelina memperoleh skor 200 dan termasuk kelas kualitas III. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kedua jenis kayu memiliki karakter anatomi serat yang berbeda, dengan waru dicirikan oleh serat yang lebih fleksibel dan gmelina dicirikan oleh serat yang lebih besar dan berdinding lebih tebal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvianti, A., 2021. *Studi Eksperimental Balok Kayu Laminasi Dengan Variasi Modulus Elastisitas dan Bentuk Penampang*. Jurnal Poli-Teknologi. 20(1): 1–13. <https://doi.org/10.32722/pt.v20i1.3000>.
- Amanah, S., Istikowati, W.T., dan Sutiya, B., 2023. *Karakteristik Anatomi dan Sifat Fisik Kayu Halaban (*Vitex pinnata* L) yang Tumbuh secara Alami di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia*. Jurnal Sylva Scientiae. 6(3): 399. <https://doi.org/10.20527/jss.v6i3.9216>.
- Arsyad, A., Istikowati, W.T., Sunardi, Yanto, D.H.Y., Fatriasari, W., dan Adi, D.S., 2021. *Karakteristik Anatomi Kulit Batang Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) untuk Bahan Baku Pulp dan Kertas*. Jurnal Sylva Scientiae. 4(6): 1021–1026.
- Augustina, S., Wahyudi, I., Darmawan, I. W., dan Malik, J., 2020. *Ciri Anatomi, Morfologi Serat, dan Sifat Fisis Tiga Jenis Lesser-Used Wood Species Asal Kalimantan Utara, Indonesia*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. 25(4): 599–609. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.4.599>.
- Augustina, S., Wahyudi, I., Darmawan, I. W., Malik, J., Kojima, Y., Okada, T., dan Okano, N., 2021. *Pengaruh Karakteristik Kimia terhadap Sifat Mekanis dan Keawetan Alami Tiga Jenis Kayu Kurang Digunakan (Effect of Chemical Characteristics on Mechanical and Natural Durability Properties of Three Lesser-Used Wood Species)*. Jurnal Sylva Lestari. 9(1): 161–178. <https://doi.org/10.23960/jsl19161-178>.

- Borukanlu, M.R., Zadeh, O. H., Moradpour, P., dan Khedive, E., 2021. *Effects of Growth Rate of Eastern Poplar Trees on The Chemical and Morphological Characteristics of Wood Fibers*. European Journal of Wood and Wood Products. 79(6): 1479–1494. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01711-4>.
- Dairi, R.H., dan Ardianto, A., 2022. *Pengaruh Penambahan Serat Waru (Hibiscus Tiliaceus) Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton*. Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil Unidayan. 11(2): 68–71. <https://doi.org/10.55340/jmi.v11i2.990>.
- Fadwati, A.D., 2025. *Korelasi Antara Parameter Pertumbuhan dan Panjang Serat Kayu dalam Seleksi Klon Eucalyptus untuk Industri Pulp*. Jurnal Tengawang. 15(1): 16–31.
- Fahrussiam, F., dan Lestari, D., 2023. *Potensi Pemanfaatan Kayu Durian (Durio zibethinus L.) Berdasarkan Karakteristik Anatomi dan Sifat Fisisnya*. Agroteksos. 33(3): 929. <https://doi.org/10.29303/agroteksos.v33i3.983>.
- Husien, N., dan Julianto, D., 2025. *Kualitas Serat Trubus Kayu Agathis Borneensis Warb.* Journal of Syntax Literate. 10(6).
- IAWA (International Anatomist Wood Association). 2008. *Identifikasi kayu: Ciri Mikroskopik Kayu untuk Identifikasi Kayu Daun Lebar* (A. Sulistyobudi, Y. I. Mandang, R. Damayanti, & S. Rulliaty, Eds.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Indrayanti, L., dan Marsoem, S.N., 2022. *Studi Pertumbuhan Mikroskopis: Pengaruh Suhu dan Curah Hujan terhadap Aktivitas Kambium pada Kayu Jelutung*. Hutan Tropika. 17(2): 142–152. <https://doi.org/10.36873/jht.v17i2.7517>.
- Jokanović, D., Nikolić Jokanović, V., Živanović, K., Desimirović, I., Marinković, M., and Lozjanin, R., 2024. *Anatomical Characteristics and Assessment of Wood Fiber Quality of Mature Pedunculate Oak (Quercus robur L.) Trees Grown in Different Environmental Conditions*. South-East European Forestry. 15(1): 51–57. <https://doi.org/10.15177/see-for.24-05>.
- Kabe, A., Hadjar, N., Pujirahayu, N., Uslinawaty, Z., Hamzah, N., Putri, S.I., Bana, S., Patiara, E.C., dan Akbar, L.R., 2026. *Variasi Arah Radial Struktur Anatomi Kayu Cemara (Casuarina junghuhniana Miq.) Asal Toraja Utara*. Jurnal Celebica : Jurnal Kehutanan Indonesia. 6(2): 384–395. <https://doi.org/10.65078/jc.v6i2.175>.
- Karimah, S.F., Hadisunarso, Andianto, dan Damayanti, R., 2022. *Karakteristik Anatomi Kayu Famili Annonaceae Kurang Dikenal dari Indonesia*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis. 20(1): 20–30.
- Lu, C., Wu, J., Jiang, Q., Liu, Y., Zhou, L., You, Y., Cheng, Y., and Liu, S., 2021. *Influence of Juvenile and Mature Wood on Anatomical and Chemical Properties of Early and Late Wood From Chinese Fir Plantation*. Journal of Wood Science. 67(1): 72. <https://doi.org/10.1186/s10086-021-02005-2>.
- Marlinda, M., Hartati, R., Hidjrawan, Y., Hayatunnufus, H., Chaira, C., Ikhsan, M., dan Sofyanurriyanti, S., 2025. *Pemanfaatan Daun Waru (Hibiscus Tiliaceus L.) Sebagai Pembungkus Tempe Dalam Upaya Mereduksi Penggunaan Plastik Berlebihan*. Teknodimas: Teknologi Pengabdian Masyarakat. 3(1): 66–75.
- Mohlin, U.B., and Alfredsson, C., 1990. *Fibre Deformation and Its Implications in Pulp Characterization*. Nordic Pulp & Paper Research Journal. 5(4): 172–179. <https://doi.org/10.3183/npprj-1990-05-04-p172-179>.
- Rahayu, I., Laksono, G., Darmawan, W., Maddu, A., and Prihatini, E., 2021. *Demarcation Area Between Juvenile and Mature Wood In Elaeocarpus Angustifolius*. Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 22(5). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220517>.
- Rianawati, H., Setyowati, R., Umroni, A., dan Siswadi, S., 2021. *Sifat Anatomi, Kimia, Fisik, dan Mekanik Kayu Wagha (Archidendron jiringa (Jack.) Nielsen) dari Pulau Flores, Nusa Tenggara Timur*. Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea. 10(1): 51. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2021.vol10iss1pp51-62>.

- Ridho, M.R., Madyaratri, E.W., Ismadi, Adi, D.S., Iswanto, A.H., Murianingrum, M., Hidayat, T., Nurindah, Anggraini, R., and Fatriasari, W., 2025. *The Effect of Harvesting Time on the Fiber Quality of Kenaf and Roselle*. In: Rahandi Lubis, M.A. (eds) Proceedings of the 10th International Symposium for Sustainable Humanosphere. ISSH 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 255. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1422-5_4.
- Silitonga, T., Siagian, R., dan Nurrachman, A., 1972. *Cara Pengukuran Serat Kayu di Lembaga Penelitian Hasil Hutan (LPHH)*. Lembaga Penelitian Hasil Hutan.
- Supriyati, W., Alpian, A., dan Yanciluk, Y., 2024. *Penyusutan dan Dimensi Serat Kayu Tumeh (Combretocarpus rotundatus Dans) pada Letak Radial*. Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan. 11(1): 21–29. <https://doi.org/10.33084/daun.v11i1.6296>.
- TAPPI. 1991. *Tappi test methods: ash in wood and pulp (T221 om-85)* (Vol. 1). Tappi Press.