

EFEK ASAP CAIR GELAM (*MELALEUCA SP*) TERHADAP BERAT KAYU DAN BERAT JENIS TERANTANG (*Campnosperma auriculatum (BI.) Hook.f.*)

The Effect of Gelam Smoke Liquid (*Melaleuca sp.*) on the Wood Weight and Specific Gravity of Terantang (*Campnosperma auriculatum (BI.) Hook.f.*)

**Alpian, July Sarana Dame Samosir, Yanciluk, Yusintha Tanduh,
Yosefin Ari Silvianingsih, Wahyu Supriyati dan Gimson Luhan**

Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Palangka Raya
Jl. Yos Sudarso, Kampus UPR Palangka Raya, 73111, Kalimantan Tengah
Email korespondensi: wahyu.supriyati@for.upr.ac.id

Diterima: 26 Februari 2025, direvisi: 15 September 2025, disetujui: 1 Oktober 2025

ABSTRACT

Terantang is commonly found growing in the peat swamp forests of Central Kalimantan. It holds significant economic value in the wood processing industry; however, it has low durability, requiring preservation treatments to enhance its wood quality. This study aims to analyze the impact of Gelam wood liquid smoke concentration and the radial direction of Terantang wood on its physical properties, particularly wood weight and specific gravity, after being stored outdoors under shaded conditions for 5 weeks. A factorial Completely Randomized Design (CRD) was employed, incorporating two factors: liquid smoke concentration (0%, 10%, 20%, and 30%) and radial direction of the wood (near the bark, middle, and near the pith). The data were analyzed using ANOVA, followed by Tukey's HSD test to determine significant differences between treatments. The results indicated that increasing the concentration of liquid smoke significantly enhanced both the wood weight and specific gravity. The 30% liquid smoke concentration produced the highest increase in specific gravity (0.5240 g/cm³). The radial direction of the wood also had a significant effect, with the near-pith section showing higher specific gravity. The interaction between liquid smoke concentration and radial direction significantly influenced the wood weight. These findings suggest that Gelam wood liquid smoke is an effective natural preservative that can significantly maintain the physical quality of Terantang wood stored outdoors under shaded conditions for 5 weeks, specifically in terms of wood weight and specific gravity. This method shows potential for use in sustainable wood processing industries.

Keywords: liquid smoke, gelam, terantang, wood weight, specific gravity, outdoor storage.

ABSTRAK

Terantang banyak ditemukan tumbuh di hutan rawa gambut Kalimantan Tengah. Terantang memiliki nilai ekonomi tinggi di industri pengolahan kayu, namun memiliki keawetan yang rendah sehingga perlu diberikan perlakuan pengawetan untuk meningkatkan kualitas kayunya.

Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi asap cair kayu Gelam dan arah radial kayu terhadap sifat fisika kayu Terantang yang disimpan di luar ruangan dengan naungan selama 5 minggu terhadap berat kayu dan berat jenis. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu konsentrasi asap cair (0%, 10%, 20%, dan 30%) dan arah radial kayu (dekat kulit, tengah, dan dekat hati). Data dianalisis menggunakan ANOVA, diikuti dengan uji lanjut Tukey (HSD) untuk menentukan perbedaan signifikan antar perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asap cair secara signifikan meningkatkan berat kayu dan berat jenis kayu.



Konsentrasi asap cair 30% memberikan hasil terbaik dengan peningkatan berat jenis tertinggi (0,5240 g/cm³). Arah radial kayu berpengaruh signifikan, di mana bagian dekat hati menunjukkan berat jenis yang lebih tinggi. Interaksi antara konsentrasi asap cair dan arah radial menunjukkan pengaruh signifikan terhadap berat kayu. Temuan ini menunjukkan bahwa asap cair kayu Gelam efektif sebagai bahan pengawet alami yang dapat mempertahankan kualitas fisika kayu Terantang yang disimpan di luar ruangan dengan naungan selama 5 minggu, yaitu berat kayu dan berat jenis kayu secara signifikan, sehingga berpotensi digunakan dalam industri pengolahan kayu yang berkelanjutan.

Kata kunci: asap cair, gelam, terantang, berat kayu, berat jenis, penyimpanan luar ruangan.

I. PENDAHULUAN

Kayu bahan alami yang telah lama dimanfaatkan dalam konstruksi, perabotan, dan bahan bakar. Pemanfaatan kayu di Indonesia memiliki nilai ekonomi dan berperan penting dalam kehidupan masyarakat sehari-hari. Kondisi lingkungan tropis yang lembap dan hangat mempercepat laju degradasi kayu, mengurangi daya tahan dan menurunkan nilai ekonomis kayu. Pengawetan kayu merupakan proses penting dalam industri kehutanan yang bertujuan untuk memperpanjang umur pakai kayu dan meningkatkan kualitasnya. Metode pengawetan telah dikembangkan, baik menggunakan bahan kimia maupun bahan alami yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

Pengawetan kayu menggunakan metode alami seperti ekstrak daun sambiloto dan asap cair, semakin diminati karena dianggap lebih ramah lingkungan (Eskani & Utamaningrat, 2019). Asap cair berfungsi sebagai pengawet yang memberikan perlindungan terhadap serangan jamur, yang merupakan salah satu penyebab utama kerusakan kayu (Habibi, 2018). Santoso et al., (2023) bahwa penggunaan asap cair dari berbagai jenis kayu dapat memberikan hasil yang efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur. Keuntungan dari pengawetan kayu tidak hanya terletak pada peningkatan umur pakai dan peningkatan nilai ekonomis kayu. Kayu yang diawetkan memiliki nilai jual yang lebih tinggi dibandingkan kayu yang tidak diawetkan, sehingga memberikan keuntungan finansial bagi produsen (Pujirahayu et al., 2021). Pengawetan kayu berkontribusi pada keberlanjutan sumber daya hutan dengan mengurangi kebutuhan akan penebangan kayu (Sari et al., 2020). Permintaan akan kayu berkualitas tinggi, pengawetan kayu menjadi strategi penting untuk memenuhi kebutuhan pasar dan menjaga kelestarian hutan. Pengawetan kayu menawarkan berbagai manfaat yang signifikan, baik dari segi teknis maupun ekonomi.

Kayu Gelam (*Melaleuca sp.*) banyak ditumbuh di Kalimanta bahan baku yang ideal untuk pembuatan asap cair. Pirolisis kayu Gelam menghasilkan asap cair yang kaya akan senyawa bioaktif, yang berpotensi besar digunakan sebagai

bahan pengawet alami (Alpian et al., 2014). Kayu Terantang (*Campnosperma auriculatum*) yang tumbuh di hutan rawa gambut Kalimantan Tengah, namun rentan terhadap serangan organisme perusak jika tidak diawetkan. Hutan rawa gambut memiliki tingkat kelembapan yang tinggi, yang dapat mempercepat proses degradasi kayu jika tidak dilakukan pengawetan dengan baik. Pengawetan kayu Terantang dengan menggunakan asap cair Gelam dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kualitas fisik kayu ini. Keterbaharuan dalam penelitian ini adalah pengawetan kayu Tarentang menggunakan asap cair dari kayu Gelam dengan menyimpan kayu Terantang di luar ruangan dengan naungan berfungsi untuk mensimulasikan kondisi alam yang lebih terkontrol, sehingga dapat memberikan informasi mengenai ketahanan kayu dalam kondisi yang lebih alami. Dalam penelitian ini diberikan perlakuan variasi konsentrasi asap cair (0%, 10%, 20%, dan 30%) dan arah radial kayu (dekat kulit, tengah, dan dekat hati). Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh konsentrasi asap cair dan arah radial kayu terhadap berat kayu dan berat jenis sebelum dan setelah ditempatkan di luar ruangan dengan naungan selama 5 minggu. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan lebih dalam mengenai efektivitas asap cair Gelam sebagai bahan pengawet alami yang dapat meningkatkan kualitas kayu Terantang dalam kondisi penyimpanan outdoor.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu Terantang berdiameter 35 cm dari hutan rawa gambut. Asap cair yang digunakan sebagai bahan pengawet diperoleh dari proses pirolisis kayu Gelam (*Melaleuca sp.*) dengan retort pada suhu 500°C selama 3 jam. Asap cair disesuaikan konsentrasinya menjadi 0% (kontrol), 10%, 20%, dan 30% untuk perlakuan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g untuk mengukur berat kayu sebelum dan sesudah perlakuan. Gelas ukur dan pipet untuk membuat

konsentrasi asap cair. Peralatan pengawetan, seperti wadah rendaman dari bahan tahan korosi untuk merendam sampel kayu dalam larutan asap cair. Komputer dengan perangkat lunak statistik (SPSS) untuk analisis data.

B. Prosedur Penelitian

Kayu Terantang yang telah ditebang dipotong menjadi ukuran standar sesuai dengan pedoman pengujian berukuran 2,5 cm x 2,5 cm x 5 cm (SNI 01 7207 2006) pada arah radial (dekat kulit, tengah, dan dekat hati) sebanyak 60 sampel uji. Sampel contoh uji dikondisikan pada suhu ruang selama 4 minggu untuk menstabilkan kadar air sebelum perlakuan. Asap cair kayu Gelam diformulasikan dalam konsentrasi 0%, 10%, 20%, dan 30% digunakan sebagai larutan pengawet. Proses pengawetan dilakukan dengan metode perendaman dingin selama 48 jam. Setiap sampel kayu direndam dalam larutan asap cair sesuai dengan konsentrasi perlakuan. Ukuran bak pengawet kayu yang digunakan berbentuk lingkaran terbuat dari plastik dengan diameter 38 cm dan tinggi 23 cm. Sampel contoh uji dikering udaraan selama 2 minggu kemudian diukur berat dan berat jenis (kondisi awal). Sampel contoh uji di tempatkan di luar ruangan (outdoor) dan dinaungi selama 5 minggu dengan pengamatan dilakukan setiap 1 minggu sekali untuk memeriksa kondisi sampel. Setelah 5 minggu, Sampel contoh uji setelah 5 minggu diambil dan dibersihkan dengan kuas kemudian ditimbang berat kayu dan dihitung berat jenis setelah di tempatkan di luar ruangan selama 5 minggu.

Pengujian sampel kayu diuji sebelum dan sesudah diberi perlakuan asap cair pada arah radial selama 5 minggu ditempatkan di luar ruangan yang diberi naungan untuk mengetahui sifat fisika kayu, yaitu: Berat kayu ditimbang sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g. Berat Jenis Kayu dengan rumus perhitungan berat jenis contoh uji dilakukan berdasarkan rumus (Haygreen dan Bowyer (1989), yaitu :

$$\text{Kerapatan kayu} = \text{Berat kering tanur} / \text{Volume} (\text{g/cm}^3)$$

$$\text{Berat jenis kayu} = \text{Kerapatan kayu} / \text{kerapatan air}$$

Keterangan : Volume (kering tanur) ; Kerapatan air (1 g/cm^3)

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu: konsentrasi asap cair Gelam (A): A₀ = 0% (kontrol), A₁ = 10%, A₂ = 20% dan A₃ = 30% dan arah radial Terantang (B): B₁ = Dekat kulit, B₂ = Bagian Tengah dan B₃ = Dekat hati. Perlakuan diulang sebanyak 5 kali, sehingga total sampel yang digunakan dalam penelitian adalah 60 sampel

contoh uji (4 konsentrasi x 3 arah radial x 5 ulangan). Rancangan ini digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor A, faktor B dan interaksi AB terhadap sifat fisika kayu.

Analisis data yang diperoleh dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor dan analisis varians (ANOVA) untuk menentukan efek konsentrasi asap cair (faktor A) dan arah radial kayu (faktor B) terhadap berat dan berat jenis kayu. Jika hasil analisis ragam menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey (HSD) untuk mengetahui perbedaan nyata antar perlakuan (Hanafiah, 1993). Pengujian hipotesis dilakukan dengan tingkat signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Interpretasi hasil analisis dilakukan berdasarkan nilai p-value, di mana nilai $p < 0,05$ menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan, sedangkan nilai $p > 0,05$ menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS. Hasil analisis digunakan untuk mendeskripsikan pengaruh perlakuan terhadap sifat fisika kayu dan potensi asap cair kayu Gelam sebagai bahan pengawet alami.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Berat Kayu

Penambahan berat kayu setelah diberi pengawet asap cair dapat dipengaruhi konsentrasi asap cair dan arah radial kayu. Penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pengawetan dengan asap cair berpengaruh terhadap berat kayu, yang berimplikasi pada keawetan dan ketahanan kayu yang ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa konsentrasi, arah radial dan interaksi berpengaruh signifikan terhadap berat kayu baik sebelum maupun sesudah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Tabel 1 dan Tabel 2, nilai signifikansi (Sig.) untuk faktor konsentrasi adalah 0,000, menunjukkan bahwa konsentrasi asap cair berpengaruh nyata terhadap perubahan berat kayu. Arah radial kayu menunjukkan pengaruh yang signifikan dengan nilai Sig. sebesar 0,004 sebelum pengujian dan 0,003 sesudah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Interaksi antara konsentrasi asap cair dan arah radial kayu juga menunjukkan hasil yang signifikan (Sig. = 0,000), menandakan adanya hubungan antara kedua faktor tersebut dalam mempengaruhi berat kayu.

Tabel 1. Uji Analisis Sidik Ragam Berat Kayu Kondisi Awal Pengujian
Table 1. Analysis of Variance (ANOVA) for Wood Weight Before Testing

Sumber keragaman (SK) (Source of variation, SV)	Jumlah kuadrat (JK) (Sum of squares, SS)	Derajat bebas (db) (Degrees of freedom, df)	Kuadrat tengah (KT) (Mean square, MS)	F hitung (F-value)	Nilai p (Sig.) (p-value, Sig.)
A	400,233	3	133,411	153,547	0,000
B	10,573	2	5,286	6,084	0,004
AB	159,201	6	26,533	30,538	0,000
Galat (Error)	41,705	48	0,869		
Total	22212,093	60			

Tabel 2. Uji Analisis Sidik Ragam Berat Kayu Kondisi Akhir setelah ditempatkan selama 5 Minggu di luar Ruangan dengan Naungan

Table 2. Analysis of Variance (ANOVA) was Conducted to Evaluate the Final Weight of Wood after being Placed Outdoors for 5 Weeks Under Shade

Sumber keragaman (SK) (Source of variation, SV)	Jumlah kuadrat (JK) (Sum of squares, SS)	Derajat bebas (db) (Degrees of freedom, df)	Kuadrat tengah (KT) (Mean square, MS)	F hitung (F-value)	Nilai p (Sig.) (p-value, Sig.)
A	395,455	3	131,818	150,973	0,000
B	11,782	2	5,891	6,747	0,003
AB	159,071	6	26,512	30,364	0,000
Galat (Error)	41,910	48	0,873		
Total	22319,168	60			

Keterangan (Explanation):

Nilai p (Sig) / p-value (Sig.) $\geq 0,05$ = Tidak Berpengaruh Signifikan (no significant)

Nilai p (Sig) / p-value (Sig.) $\leq 0,05$ = Berpengaruh signifikan (significant)

Data hasil penelitian pada Tabel 1 dan 2 menunjukkan variasi konsentrasi asap cair yang digunakan dalam penelitian ini (0%, 10%, 20%, dan 30%) secara signifikan mempengaruhi penambahan berat kayu. Arah radial kayu (dekat kulit, tengah, dan dekat hati) dan interaksi menunjukkan bahwa mempengaruhi berat kayu secara signifikan ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Pengujian lebih lanjut perbedaan antar perlakuan, dilakukan uji lanjut Tukey (HSD). Hasil uji lanjutan memberikan lebih rinci pengaruh variasi konsentrasi asap cair, arah radial kayu dan interaksi mempengaruhi berat kayu. Berat kayu merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas fisika kayu setelah proses pengawetan. Peningkatan berat kayu setelah perlakuan pengawetan dapat menunjukkan tingkat penyerapan bahan pengawet ke dalam struktur kayu.

perlakuan pengawetan dapat menunjukkan tingkat penyerapan bahan pengawet ke dalam struktur kayu.

1. Pengaruh Konsentrasi Asap Cair terhadap Berat Kayu

Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara konsentrasi asap cair. Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan bahwa konsentrasi asap cair 30% menghasilkan peningkatan berat kayu tertinggi baik sebelum maupun sesudah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Sebaliknya, kayu tanpa perlakuan asap cair (kontrol, 0%) menunjukkan berat terendah.

Tabel 3. Uji Lanjut Tukey Berat Kayu (g) Kondisi Awal Pengujian Faktor Konsentrasi Asap Cair
Table 3. Tukey's Post-Hoc Test for Wood Weight (g) Before Testing Based on Liquid Smoke

Konsentrasi (Concentration)	N	Subset		
		a	b	c
0%	15	15,5487		
10%	15		17,4153	
20%	15			21,2387
30%	15			21,6927

Tabel 4. Uji Lanjut Tukey Berat Kondisi Akhir Pengujian Faktor Konsentrasi Asap Cair setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan

Table 4. Tukey's Post-Hoc Test was Conducted to Analyze the Final Weight based on the Liquid Smoke Concentration Factor, after being placed Outdoors for 5 Weeks under Shade

Konsentrasi (Concentration)	N	Subset		
		a	b	c
0%	15	15,6300		
10%	15		17,4553	
20%	15			21,2753
30%	15			21,7287

Peningkatan berat kayu seiring meningkatnya konsentrasi asap cair menunjukkan bahwa kayu mampu menyerap lebih banyak senyawa kimia dari asap cair pada konsentrasi yang lebih tinggi. Vachlepi et al., (2015) menyatakan bahwa pengawetan kayu karet menggunakan bahan organik dengan teknik perendaman panas menunjukkan peningkatan berat kayu yang signifikan, tergantung pada konsentrasi asap cair yang digunakan. Penelitian ini menekankan pentingnya konsentrasi dalam menentukan efektivitas pengawetan, di mana konsentrasi yang lebih tinggi cenderung menghasilkan retensi yang lebih baik. Fathussalam et al., (2019) menunjukkan bahwa penggunaan asap cair dari tempurung kelapa sebagai pengawet dapat meningkatkan daya awet kayu, dengan penambahan berat yang signifikan pada kayu yang direndam dalam asap cair. Penelitian ini menekankan bahwa pengaruh konsentrasi dan waktu perendaman juga berperan dalam meningkatkan retensi berat kayu. Kayu dengan porositas yang lebih tinggi akan lebih mudah menyerap bahan pengawet, sementara senyawa kimia dalam asap cair akan mengisi rongga-rongga sel dan mengikat serat kayu dan meningkatkan berat kayu. Penggunaan asap cair sebagai bahan pengawet alami tidak hanya meningkatkan berat kayu tetapi juga berpotensi meningkatkan daya tahan kayu terhadap kondisi lingkungan setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan.

2. Pengaruh Arah Radial Kayu terhadap Berat Kayu

Arah radial kayu (dekat kulit, tengah, dan dekat hati) juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap berat kayu. Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan bahwa kayu dari bagian dekat hati

(B3) memiliki berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian dekat kulit (B1) dan tengah (B2).

Data hasil penelitian pada Tabel 5 dan 6 menunjukkan bahwa kayu dari bagian dekat kulit memiliki berat lebih tinggi setelah pengawetan. Penambahan berat kayu setelah diberi pengawet asap cair dapat dipengaruhi arah radial kayu, yaitu dekat kulit, tengah, dan dekat hati. Penelitian Marsoem et al., (2016) menunjukkan bahwa sifat fisika kayu dapat bervariasi berdasarkan posisi radial, di mana bagian dekat kulit cenderung memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tengah dan dekat hati. Hal ini menunjukkan bahwa arah radial dapat mempengaruhi kemampuan kayu dalam menyerap pengawet, termasuk bahan pengawet dari asap cair. Gaol et al., (2023) menunjukkan bahwa sifat fisika dan mekanika kayu *Acacia aulacocarpa* bervariasi berdasarkan arah radial, yang dapat mempengaruhi bagaimana kayu tersebut bereaksi terhadap perlakuan pengawetan. Penelitian ini menekankan pentingnya mempertimbangkan posisi radial dalam studi pengawetan kayu, karena dapat mempengaruhi hasil akhir dari penambahan berat kayu setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Penambahan berat kayu setelah diberi pengawet asap cair sangat dipengaruhi oleh arah radial kayu, di mana bagian dekat kulit mungkin menunjukkan retensi yang lebih baik dibandingkan dengan bagian tengah dan dekat hati. Dalam konteks pengawetan kayu, penelitian Habibi et al., (2017) menunjukkan bahwa asap cair yang digunakan sebagai pengawet dapat memberikan efek yang berbeda tergantung pada konsentrasi dan cara aplikasi. Konsentrasi asap cair yang lebih tinggi dapat meningkatkan penyerapan dan retensi berat kayu, yang berimplikasi pada keawetan kayu terutama di luar ruangan.

Tabel 5. Uji Lanjut Tukey Berat Kayu (g) Kondisi Awal Pengujian Faktor Arah Radial Kayu
Table 5. Tukey's Post-Hoc Test for Wood Weight (g) Before Testing Based on Radial Position

Arah Radial (Radial Position)	N	Subset	
		a	b
T (Middle Section)	20	18,6270	
DH (Near the Pith/Inner)	20	18,7300	
DK (Near the Bark/Outer)	20		19,5645

Tabel 6. Uji Lanjut Tukey Berat Kayu (g) Kondisi Akhir Pengujian Faktor Arah Radial setelah ditempatkan Selama 5 Minggu di Luar Ruangan dengan Naungan

Table 6. Tukey's Post-Hoc Test was Performed to Analyze the Final Weight (g) of the Wood in Relation to the Radial Direction Factor, after being Placed Outdoors for 5 Weeks Under Shade

Arah Radial (Radial Position)	N	Subset	
		a	b
T (Middle Section)	20	18,6720	
DH (Near the Pith/Inner)	20	18,7475	
DK (Near the Bark/Outer)	20		19,6475

3. Interaksi Konsentrasi Asap Cair dan Arah Radial Kayu

Interaksi antara konsentrasi asap cair dan arah radial kayu menunjukkan hasil yang signifikan. Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa kombinasi konsentrasi asap cair 30% dengan kayu dari bagian dekat hati (B3) menghasilkan peningkatan berat yang paling signifikan sebelum dan sesudah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan.

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi konsentrasi asap cair tertinggi (30%) dengan kayu dari bagian dekat hati memberikan hasil pengawetan terbaik dalam hal peningkatan berat kayu. Penambahan berat kayu setelah diberi pengawet asap cair dapat dipengaruhi interaksi antara konsentrasi pengawet dan arah radial kayu. Konsentrasi pengawet maupun posisi radial kayu berperan penting dalam efektivitas pengawetan dan retensi berat kayu setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Vachlepi et al., (2015) menunjukkan bahwa penggunaan asap cair dengan konsentrasi yang bervariasi dapat mempengaruhi penambahan berat

kayu. Kayu karet diawetkan dengan asap cair pada konsentrasi 5%, dan hasilnya menunjukkan peningkatan berat kayu yang signifikan setelah perlakuan. Eskani & Utamaningrat (2019) menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi dan waktu perendaman dalam pengawetan kayu dapat mempengaruhi nilai retensi. Konsentrasi yang lebih tinggi dapat meningkatkan penyerapan pengawet dalam kayu, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi penambahan berat kayu. Ardinal et al., (2021) memberikan wawasan tentang interaksi antara konsentrasi pengawet dan posisi radial kayu menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dalam sifat mekanik setelah perlakuan pengawetan. Hal ini menunjukkan bahwa arah radial dapat mempengaruhi efektivitas penetrasi. Penambahan berat kayu setelah diberi pengawet asap cair sangat dipengaruhi oleh interaksi antara konsentrasi pengawet dan arah radial kayu. Penelitian yang ada menunjukkan bahwa kombinasi antara konsentrasi pengawet dan posisi radial kayu harus menjadi pertimbangan untuk meningkatkan efektivitas pengawetan kayu terutama untuk penggunaan di luar ruangan.

Tabel 6. Uji Lanjut Tukey Berat Kayu (g) Kondisi Awal Pengujian Faktor Interaksi Konsentrasi dan Arah Radial
Table 6. Tukey's Post-Hoc Test for Wood Weight (g) Before Testing Based on the Interaction Between Liquid Smoke Concentration and Radial Position

Interaksi (Interaction)	N	Subset				
		a	b	c	d	e
A1B2	5	14,2140				
A1B3	5	14,3960				
A2B1	5		17,1980			
A2B3	5		17,3380			
A2B2	5		17,7100			
A1B1	5		18,0360			
A3B3	5		18,5140	18,5140		
A4B2	5			20,1620		
A4B1	5				20,2440	
A3B2	5					22,4220
A3B1	5					22,7800
A4B3	5					22,7800 24,6720

Tabel 7. Uji Lanjut Tukey Berat Kayu (g) Kondisi Akhir Pengujian Faktor Interaksi Konsentrasi dan Arah Radial ditempatkan selama 5 Minggu di Luar Ruangan dengan Naungan

Table 7. Tukey's Post-Hoc Test was Performed to Analyze the Final Wood Weight (g) Based on the Interaction between Liquid Smoke Concentration and Radial Direction Factors, after being Placed Outdoors for 5 Weeks under Shade

Interaksi (Interaction)	N	Subset				
		a	b	c	d	e
A1B2	5	14,3220				
A1B3	5	14,4260				
A2B1	5		17,2880			
A2B3	5		17,3580			
A2B2	5		17,7200			
A1B1	5		18,1420			
A3B3	5		18,5200	18,5200		
A4B2	5			20,1920		
A4B1	5				20,3080	
A3B2	5					22,4540
A3B1	5					22,8520
A4B3	5					24,6860

B. Berat Jenis Kayu

Hasil analisis sidik ragam pada Tabel 8 dan 9 menunjukkan bahwa konsentrasi asap cair berpengaruh signifikan terhadap berat jenis kayu, baik sebelum maupun sesudah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Nilai signifikansi (Sig.) untuk faktor konsentrasi dan arah radial adalah 0,000 menunjukkan bahwa variasi konsentrasi asap cair memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan berat jenis kayu.

Data hasil penelitian pada Tabel 8 dan 9 menunjukkan bahwa konsentrasi asap cair dan arah radial memiliki peran yang sangat signifikan dalam meningkatkan berat jenis kayu. Peningkatan berat jenis disebabkan oleh penyerapan senyawa kimia dalam asap cair yang mengisi pori-pori kayu, sehingga meningkatkan berat jenis kayu secara signifikan. Arah radial kayu mempengaruhi berat jenis karena variasi kepadatan alami kayu pada posisi yang berbeda. Pengujian lebih lanjut

perbedaan antar perlakuan, dilakukan uji lanjut Tukey (HSD). Hasil uji lanjutan memberikan lebih rinci pengaruh konsentrasi asap cair dan arah radial kayu mempengaruhi berat jenis kayu. Berat jenis kayu merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas fisika kayu setelah proses pengawetan.

1. Pengaruh Konsentrasi Asap Cair terhadap Berat Jenis Kayu

Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa konsentrasi asap cair berbeda signifikan terhadap peningkatan berat jenis kayu. Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan bahwa konsentrasi asap cair 30% menghasilkan berat jenis tertinggi, baik sebelum maupun sesudah pengujian ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Sampel kayu yang tidak diberikan perlakuan (kontrol, 0%) menunjukkan berat jenis terendah.

Tabel 8. Uji Analisis Sidik Ragam Berat Jenis Kondisi Awal Pengujian
Table 8. Analysis of Variance (ANOVA) for Specific Gravity Before Testing

Sumber keragaman (SK) (Source of variation, SV)	Jumlah kuadrat (JK) (Sum of squares, SS)	Derajat bebas (db) (Degrees of freedom, df)	Kuadrat tengah (KT) (Mean square, MS)	F hitung (F-value)	Nilai p (Sig.) (p-value, Sig.)
A	0,098	3	0,033	54,099	0,000
B	0,016	2	0,008	13,140	0,000
AB	0,003	6	0,000	0,776	0,593
Galat (Error)	0,029	48	0,001		
Total	14,492	60			

Tabel 9. Uji Analisis Sidik Ragam Berat Jenis Kondisi Akhir Pengujian setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar Ruangan dengan Naungan

Table 9. Analysis of Variance (ANOVA) was Conducted to Assess the Final Specific Gravity after being Placed Outdoors for 5 Weeks under Shade."

Sumber keragaman (SK) (Source of variation, SV)	Jumlah kuadrat (JK) (Sum of squares, SS)	derajat bebas (db) (Degrees of freedom, df)	Kuadrat Tengah (KT) (Mean square, MS)	F hitung (F-value)	Nilai p (Sig.) (p-value, Sig.)
A	0,098	3	0,033	54,099	0,000
B	0,016	2	0,008	13,140	0,000
AB	0,003	6	0,000	0,776	0,593
Galat (Error)	0,029	48	0,001		
Total	14,492	60			

Keterangan (Explanation):

Nilai p (Sig) / p-value (Sig.) $\geq 0,05$ = Tidak Berpengaruh Signifikan (no significant)

Nilai p (Sig) / p-value (Sig.) $\leq 0,05$ = Berpengaruh signifikan (significant)

Tabel 10. Uji Lanjut Tukey terhadap Berat Jenis Kondisi Awal Pengujian Faktor Konsentrasi Asap Cair
Table 10. Tukey's Post-Hoc Test for Specific Gravity Before Testing Based on Liquid Smoke Concentration

Konsentrasi (Concentration)	N	Subset		
		a	b	c
0%	15	0,4240		
10%	15		0,4867	
20%	15			0,5213
30%	15			0,5240
Sig.		1,000	1,000	0,991

Data pada Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan peningkatan berat jenis kayu yang

signifikan pada konsentrasi asap cair 30%. Konsentrasi pengawetan kayu yang berbeda dapat

mempengaruhi berat jenis kayu sebelum dan setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Suroto (2009) melakukan penelitian tentang perbaikan sifat kayu kelas kuat rendah dengan teknik pengempaan menunjukkan bahwa perlakuan pengawetan dapat mempengaruhi berat jenis kayu. Penelitian ini menemukan bahwa perlakuan pengawetan dengan cara perendaman dan perebusan dapat meningkatkan berat jenis kayu, yang menunjukkan bahwa konsentrasi pengawet berperan dalam memperbaiki sifat fisika kayu. Suhaendah & Siarudin (2014) bahwa pengawetan kayu tisuk (*Hibiscus macrophyllus*) menunjukkan bahwa penggunaan bahan pengawet dengan konsentrasi yang berbeda dapat mempengaruhi sifat fisika

kayu, termasuk berat jenis. Penelitian ini menekankan pentingnya konsentrasi dalam menentukan efektivitas pengawetan kayu dan dampaknya terhadap sifat fisika.

2. Pengaruh Arah Radial Kayu terhadap Berat Jenis

Hasil uji Tukey menunjukkan bahwa arah radial berbeda signifikan terhadap peningkatan berat jenis kayu. Tabel 12 dan Tabel 13 menunjukkan bahwa bagian dekat hati (B3) memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan bagian tengah (B2) dan dekat kulit (B1).

Tabel 11. Uji Lanjut Tukey terhadap Berat Jenis Kondisi Akhir Pengujian Faktor Konsentrasi Asap Cair setelah ditempatkan selama 5 Minggu di luar Ruangan dengan Naungan

Table 11. Tukey's Post-Hoc Test was Performed on the Specific Gravity of the Final Condition based on the Liquid Smoke Concentration factor after being Placed Outdoors for 5 Weeks under Shade

Konsentrasi (Concentration)	N	Subset		
		a	b	C
0%	15	0,4240		
10%	15		0,4867	
20%	15			0,5213
30%	15			0,5240

Tabel 12. Uji Lanjut Tukey Berat Jenis Kondisi Awal Pengujian Faktor Arah Radial

Table 12. Tukey's Post-Hoc Test for Specific Gravity Before Testing Based on Radial Position

Arah Radial (Radial Position)	N	Subset	
		a	b
DK (Near the Bark/Outer)	20	0,4680	
T (Middle Section)	20		0,4915
DH (Near the Pith/Inner)	20		0,5075

Tabel 13. Uji Lanjut Tukey Berat Jenis Kondisi Akhir Pengujian Faktor Arah Radial setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan

Table 13. Tukey's Post-Hoc Test was Performed on the Specific Gravity of the Final Condition, based on the Radial Direction Factor, after being Placed Outdoors for 5 Weeks under Shade

Arah Radial (Radial Position)	N	Subset	
		a	b
DK (Near the Bark/Outer)	20	0,4680	
T (Middle Section)	20		0,4915
DH (Near the Pith/Inner)	20		0,5075

Perbedaan berat jenis berdasarkan arah radial kayu disebabkan oleh variasi kepadatan alami kayu di berbagai posisi. Bagian dekat hati (B3) umumnya lebih padat karena merupakan bagian inti pohon yang tumbuh lebih lambat dan memiliki serat kayu yang lebih rapat. Sebaliknya, bagian dekat kulit (B1) cenderung lebih ringan karena memiliki porositas yang lebih tinggi dan serat yang lebih renggang. Kayu dari bagian dekat hati memiliki kandungan lignin yang lebih tinggi, yang meningkatkan kepadatan dan kekuatan kayu. Lignin berfungsi sebagai pengikat antar serat kayu, memberikan kekuatan struktural tambahan yang meningkatkan berat jenis kayu. Lempang (2014) menyatakan bahwa sifat dasar dan potensi penggunaan kayu Jabon Merah (*Anthocephalus*

macrophyllus) menunjukkan bahwa arah radial kayu mempengaruhi berat jenis. Bagian dekat hati memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian dekat kulit dan tengah. Hidayati et al., (2020) sifat fisika dan mekanika Jabon Merah bahwa berat jenis kayu bervariasi tergantung pada posisi radial. Wulandari & Amin (2022) penelitian sifat fisika dan mekanika papan laminasi Sengon menunjukkan bahwa arah radial berpengaruh signifikan terhadap berat jenis kayu. Penelitian arah radial kayu dapat mempengaruhi berat jenis kayu sebelum dan setelah perlakuan pengawetan dengan asap cair. Penggunaan konsentrasi yang tepat dan pemahaman tentang posisi radial kayu

dapat meningkatkan sifat fisika dan ketahanan kayu.

Asap cair memiliki kemampuan penetrasi yang baik terhadap asap cair sebagai bahan pengawet kayu yang dipengaruhi konsentrasi pengawet dan arah radial kayu menghasilkan peningkatan berat kayu dan berat jenis. Hal ini mendukung penggunaan asap cair dalam berbagai aplikasi pengawetan kayu, baik untuk kayu dengan porositas tinggi maupun kayu yang lebih padat.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penggunaan asap cair Gelam berpengaruh signifikan terhadap berat kayu dan berat jenis Terantang setelah ditempatkan selama 5 minggu di luar ruangan dengan naungan. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asap cair secara langsung meningkatkan berat kayu dan berat jenis kayu, dengan konsentrasi 30% menghasilkan berat jenis tertinggi, yaitu 0,5240 dibandingkan 20% (0,5213), 10% (0,5213) dengan kontrol (0%) hanya sebesar 0,4240. Arah radial kayu juga memainkan peran penting, di mana bagian dekat hati memiliki berat jenis tertinggi (0,5075) dibandingkan bagian tengah (0,4915) dan bagian dekat kulit (0,4680). Interaksi konsentrasi asap cair dan arah radial kayu menunjukkan hasil signifikan, dengan kombinasi asap cair 30% pada bagian dekat hati menghasilkan peningkatan berat tertinggi (24,6860 g setelah pengujian). Hasil ini membuktikan bahwa asap cair Gelam dapat berfungsi sebagai bahan pengawet alami yang efektif, terutama untuk meningkatkan kualitas fisika kayu dalam industri pengolahan kayu berkelanjutan.

B. Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji efek jangka panjang pengawetan ini terhadap ketahanan kayu dalam berbagai kondisi lingkungan serta mengeksplorasi penggunaan asap cair dari berbagai jenis kayu untuk hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpian, A., Prayitno, T., Pramana, J., & Budiadi, B. (2014). Kualitas Asap Cair Batang Gelam (*Melaleuca sp.*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(2), 83–92.
- Eskani, I. and Utamaningrat, I. (2019). Pengaruh konsentrasi, waktu perendaman dan jenis kayu pada pengawetan alami kayu menggunakan ekstrak daun sambiloto. *Dinamika Kerajinan dan Batik Majalah Ilmiah*, 36(1), 61.
- Fathussalam, M., Putranto, A., Argo, B., Harianti, A., Oktaviani, A., Puspaningarum, F., ... & Putri, S. (2019). Rancang bangun mesin produksi asap cair dari tempurung kelapa berbasis teknologi cyclone-redistillation. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 7(2), 148-156.
- Gaol, N., Hidayati, F., Nugroho, W., Praptoyo, H., Karyanto, O., & Marsoem, S. (2023). Sifat fisika dan mekanika kayu acacia aulacocarpa dari khdtk wanagama. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(4), 630-640.
- Habibi, M., Puspitasari, D., Gunawan, A., Yulianto, H., & Wahyudi, W. (2017). Konservasi cagar budaya dengan asap cair. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 11(1), 49-50.
- Habibi, M. (2018). Konservasi cagar budaya kayu dengan asap cair (uji lapangan). *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 12(1), 29-36.
- Hanafiah, K.A. 1993. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Haygreen, J.G. dan T.L. Bowyer. 1989. *Forest Product and Wood Science, an Introduction*. (Terjemahan Dr. Ir. Sutjipto A.H.) Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hidayati, F., Sunarti, S., Setiaji, T., & Nirsatmanto, A. (2020). Sifat fisika dan mekanika kayu jabon merah (*anthocephalus macrophyllus*) yang ditanam di wonogiri, 2 jawa tengah. *Jurnal Hutan Tropis*, 8(3), 357.
- Lempang, M. (2014). Sifat dasar dan potensi kegunaan kayu jabon merah. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 3(2), 163.
- Marsoem, S., Prasetyo, V., Sulistyo, J., Sudaryono, S., & Lukmandaru, G. (2016). Studi mutu kayu jati di hutan rakyat gunungkidul iii. sifat fisika kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 8(2), 75.
- Pujirahayu, N., Hadjar, N., Usdinawaty, Z., & Tumada, L. (2021). Efektivitas bahan pengawet boraks dan terusi terhadap keawetan kayu jati putih (*gmelina arborea roxb.*) dari serangan rayap tanah (*coptotermes curvignathus*). *Jurnal Celebica Jurnal Kehutanan Indonesia*, 2(1), 19.
- Santoso, I., Oramahi, H., Rifanjanji, S., Nurhaida, N., & Darwanti, H. (2023). Efikasi asap cair dari kayu akasia (*acacia crassicarpa*) dan kayu jelutung (*dyera costulata*) terhadap jamur *schizophyllum commune* fries. *Agrikultura*, 34(1), 19.
- Sari, N., Trisantika, N., Mundiyah, A., & Septiadi, D. (2020). Kelayakan finansial usaha budidaya lebah madu di kp hilir rinjani barat, provinsi nusa tenggara barat. *Agrihumanis Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*, 1(2), 135-144.
- SNI 01-7207-2006, 2006. Uji ketahanan kayu dan produk kayu terhadap organisme perusak kayu. Badan Standardisasi Nasional. Standar Nasional Indonesia.

- Suhaendah, E. and Siarudin, M. (2014). Pengawetan kayu tisuk (*hibiscus macrophyllus roxb.*) melalui rendaman dingin dengan bahan pengawet boric acid equivalent. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(2), 103-110.
- Suroto, Suroto. "Perbaikan Sifat Kayu Kelas Kuat Rendah dengan Teknik Pengempaan." *Indonesian Journal of Industrial Research*, vol. 1, no. 2, 2009, pp. 19-24.
- Wulandari, F. and Amin, R. (2022). Sifat fisika dan mekanika papan laminasi kayu sengon. *Hutan Tropika*, 17(1), 40-50. <https://doi.org/10.36873/jht.v17i1.4155>
- Vachlepi, A., Suwardin, D., & Hanifariandy, S. (2015). Pengawetan kayu karet menggunakan bahan organik dengan teknik perendaman panas. *Jurnal Penelitian Karet*, 33(1), 57.

KINERJA PEREKAT BERBASIS TANIN PADA KAYU LAMINA SENGON

(*Performance of Tannin-Based Adhesives on Sengon Laminated Wood*)

Rohmah Pari¹, Erlina Nurul Aini¹, Yunida Syafriani Lubis¹, Dina Alva Prastiwi², dan Adi Santoso¹

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Raya Jakarta-Bogor No.Km.46, Cibinong, Bogor, Jawa Barat 16911

²Sekolah Tinggi Analis Kimia

Jl. Lingkar Selatan, KM 1,7 Desa Harjatani, Cilegon, Banten 42411, Cilegon

Email korespondensi: rohm017@brin.go.id, erli010@brin.go.id, yuni030@brin.go.id, dinaalvastakc@gmail.com, adis012@brin.go.id

Diterima: 7 Agustus 2024, direvisi: 15 September 2025, disetujui: 1 Oktober 2025

ABSTRACT

The tannin characteristic of plants is often influenced by their planting location. The characteristic of tannin potentially affects the quality of tannin-based adhesive. The addition of extender and hardener also influences the quality of tannin adhesive. In this study, we investigated the characteristics of *Acacia mangium* tannin extract produced from bark obtained from various locations in Indonesia, as well as the bonding quality of tannin adhesive with the addition of an extender and hardener. The objective of this research was to understand the difference in mangium tannin characteristics from different locations and the effect of extender and hardener addition on the bonding strength of acacia tannin adhesive. The *Acacia mangium* wood barks were obtained from Parung Panjang, Probolinggo, Pontianak, and Muara Enim. The amounts of extender and hardener added were 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, and 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, respectively. The evaluation of mangium tannin bark extract was conducted using the solid content and stiasny number tests. The bonding strength of the tannin adhesive was evaluated through shear strength and wood failure tests of sengon laminated wood. The two-ply sengon laminated wood was fabricated under the following conditions: a glue spread rate of 170 g/m², a cold-press time of 24 hours, and a pressure of 12 kg/cm². Mangium tannin bark extract from Parung Panjang has the best characteristics for adhesive production, i.e., 5.70% solid content and 200.63% stiasny number. The extender and hardener amounts of 7.5% and 1.5%, respectively, produced optimum properties for dry shear strength and wood failure, which meet the JAS No. 234 requirement, i.e., 112.31 kg/cm² and 98–100%, respectively.

Keywords: mangium bark, additive, location, tannin adhesive, tannin characteristics.

ABSTRAK

Karakteristik tanin dari tumbuhan antara lain dipengaruhi oleh lokasi tumbuhnya. Karakteristik tersebut dapat mempengaruhi kualitas dari perekat berbasis tanin. Selain itu, kualitas rekat dari perekat tanin dipengaruhi oleh komposisi penambahan bahan pemuai (*extender/ekstender*) dan bahan pengeras (*hardener*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanin dari ekstrak kulit *Acacia mangium* dari Parung Panjang, Probolinggo, Pontianak dan Muara Enim, serta menganalisis pengaruh ekstender dan *hardener* pada daya rekat perekat tanin mangium. Kadar ekstender dan *hardener* yang digunakan adalah 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10% dan 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%. Pengujian karakteristik tanin dilakukan melalui pengukuran kadar padatan ekstrak tanin dan bilangan stiasny. Uji daya rekat perekat tanin dilakukan dengan mengukur kekuatan geser dan kerusakan kayu dari kayu lamina sengon dengan perekat tanin. Pembuatan kayu lamina sengon dua lapis dilakukan dengan berat labur 170 g/m², lama kempa dingin 24 jam, dan tekanan kempa 12 kg/cm². Hasil penelitian menunjukkan bahwa kulit *Acacia mangium* dari Parung Panjang adalah yang paling potensial sebagai bahan baku perekat dengan kadar padatan 5,70% dan bilangan stiasny



200,63%. Penambahan ekstender dan *hardener* optimal sebesar 7,5% dan 1,5%, dapat menghasilkan kekuatan geser dan kerusakan kayu pada kondisi uji kering yang memenuhi standar JAS No. 234, yaitu 112,31 kg/cm² dan 98–100%.

Kata kunci: kulit mangium, bahan aditif, lokasi, perekat tanin, karakteristik tanin.

I. PENDAHULUAN

Kulit *Acacia mangium* yang merupakan limbah kurang termanfaatkan di Indonesia, adalah sumber tanin yang sangat potensial untuk produksi perekat tanin. Tanin adalah senyawa polifenolik kompleks yang berasal dari tumbuhan (Basheer, Chellapan, & Sabu, 2022). Pada tumbuhan, tanin umumnya berfungsi sebagai zat pelindung dari serangan organisme penyerang tumbuhan (Sharma, 2019). Tanin banyak dimanfaatkan di industri kulit baik sebagai bahan penyamak maupun pewarna (Kemppainen, Siika-aho, Pattathil, Giovando, & Kruus, 2014). Tanin juga memiliki banyak potensi pemanfaatan lain karena struktur fenolik yang dimilikinya, antara lain sebagai zat pencegah korosi (Luo et al., 2019), zat koagulan untuk penjernih air (Sánchez-Martín, Beltrán-Heredia, & Solera-Hernández, 2010), obat (Pizzi, 2021), dan perekat kayu (Tahir, Halip, & Lee, 2019). Pemanfaatan tanin menjadi bahan untuk perekat kayu beberapa waktu belakangan menjadi gencar dikembangkan. Perekat dari tanin tidak hanya murah dan memiliki daya rekat yang baik (Lu & Shi, 1995; Dhawale et al., 2022), namun juga minim menghasilkan emisi formaldehida (Zhou & Du, 2020). Hal tersebut membuat perekat berbasis tanin dapat dijadikan alternatif perekat berformaldehida.

Di Indonesia potensi pengembangan perekat kayu dari tanin cukup besar. Sebab, Indonesia memiliki beragam jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai sumber tanin, contohnya ketapang atau *Terminalia catappa* L. (Fendy & Haryanto, 2021), surian atau *Toona sinensis* (Monisa, Bintang, Shafithri, & Falah, 2016), gambir atau *Uncaria gambir* (Hunt.) Roxb. (Irianty & Yenti, 2014), dan mangium atau *Acacia mangium* (Iriany, Pandiangan, & Eka, 2017). Ketersediaan kulit kayu akasia di Indonesia juga relatif banyak. Total luasan hutan tanaman akasia di Indonesia pada tahun 2017 diprediksi adalah sekitar 1,6 juta hektar (Hardie et al., 2018). Data Badan Pusat Statistik pada tahun 2019 (BPS, 2020), 2020 (BPS, 2021), dan 2021 (BPS, 2022) menunjukkan lebih dari 90% produksi kayu akasia Indonesia berasal dari daerah Sumatera, Kalimantan, dan Jawa. Produksi kayu bulat akasia di Indonesia tercatat meningkat menjadi 31,54 juta m³ pada tahun 2022 (BPS, 2023) dari sebelumnya sebesar 31,28 juta m³ di tahun 2021 (BPS, 2022).

Peluang pengembangan produksi tanin dari pohon mangium, yaitu dari bagian kulitnya, sangat

besar di Indonesia. Menurut Nurhasybi, Sudrajat, dan Diatna (2009) pohon *Acacia mangium* memiliki persebaran yang cukup luas di Indonesia. Sekitar 80% area hutan tanaman akasia di Indonesia diisi oleh jenis *Acacia mangium* (Barry et al., 2004). Setiap hektar dari area hutan tanaman tersebut berpotensi menghasilkan limbah kulit kayu sebesar 15,18 ton (Anshori & Supriyadi, 2001). Jumlah limbah kulit kayu diprediksi relatif meningkat per tahun seiring dengan meningkatnya produksi kayu bulat mangium. Limbah kulit kayu mangium umumnya belum termanfaatkan dengan optimal (Sukmawi, Sulaeman, & Sribudiani, 2020), sehingga sangat berpotensi untuk diolah menjadi bahan baku perekat kayu berbasis tanin. Pari, Hastoeti, dan Lestari (1992) menyebutkan bahwa kandungan tanin dalam kulit kayu *Acacia mangium* dapat mencapai 55,22%.

Produksi tanin pada tumbuhan selain dipengaruhi oleh faktor genetik dan umur (Awaliyan, Rosamah, & Sukaton, 2017), juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tumbuh (Tharayil et al., 2011). Hal ini menyebabkan karakteristik ekstrak tanin yang berasal dari berbagai lokasi tumbuh dapat berbeda. Perbedaan karakteristik tanin ini ditengarai dapat mempengaruhi kualitas perekat yang dihasilkan, sehingga perlu dilakukan pengkajian terhadap karakteristik ekstrak tanin kulit mangium dari berbagai lokasi.

Penambahan bahan aditif dalam perekat juga dapat mempengaruhi performa perekat (Jimenez et al., 2020). Eckelman (2015) menyebutkan bahan aditif seperti bahan pengeras (*hardener*) dan bahan pemuai (*extender/ekstender*) umum ditambahkan pada komposisi bahan perekat sintetis di industri, terutama pada perekat urea-formaldehida. Ekstender merupakan bahan aditif yang ditambahkan untuk mengurangi jumlah penggunaan perekat sehingga menurunkan biaya produksi pada pembuatan komposit (Santoso et al., 2022). Penambahan ekstender juga dapat meningkatkan sifat fisis perekat, contohnya viskositas, sehingga dapat mengoptimalkan persebaran atau transfer perekat pada bahan direkat (Hogger et al., 2021). Sementara *hardener* pada umumnya digunakan untuk mempercepat *curing* perekat sehingga bisa membuat waktu pembuatan komposit (*assembly time*) menjadi lebih singkat (Bono, Krishnaiyah, Rajin, & Siambun, 2006).

Karakterisasi beberapa sifat ekstrak tanin yang dilakukan pada penelitian ini berasal dari

beberapa lokasi tumbuh di Indonesia. Pengkajian terhadap efek kadar ekstender dan *hardener* pada kekuatan rekat perekat tanin mangium juga dilakukan. Adapun tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik tanin *Acacia mangium* dari lokasi yang berbeda dan menentukan kadar ekstender dan *hardener* yang optimal untuk meningkatkan daya rekat perekat tanin.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit kayu *Acacia mangium* yang berasal dari 4 (empat) lokasi, yaitu Pontianak (Kalimantan Barat), Probolinggo (Jawa Timur), Parung Panjang (Jawa Barat), dan Muara Enim (Sumatera Selatan). Kulit kayu yang digunakan berasal dari pohon berusia sekitar 5 tahun. Bahan utama lainnya yang dibutuhkan pada pembuatan perekat yakni ekstender tepung terigu, *hardener* paraformaldehida 0,1% *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia), larutan formaldehida 37% *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia), larutan NaOH 40% *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia), dan aquades *grade* teknis (Brataco Chemical, Indonesia). Sementara untuk kayu yang digunakan untuk pembuatan lamina adalah jenis sengon (*Falcataria moluccana*) berumur \pm 10 tahun yang diperoleh dari daerah Jawa Barat. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain terdiri atas *waterbath*, mesin kempa, pH meter, labu erlenmeyer, pipet tetes, *moisture meter*, *universal testing machine* (ESSEN Model UPH 2 No. 7812, Jerman), ekstraktor, dan reaktor.

B. Metode

Tahapan penelitian yang dilakukan terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu:

1. Ekstraksi kulit kayu mangium

Kulit kayu mangium dipotong menjadi ukuran *chip* berdimensi antara 2,5 cm x 3 cm hingga 3 cm x 10 cm, kemudian dikeringkan hingga mencapai kadar air \pm 12%. Setelah kering, *chip* kulit kayu dirajang hingga menjadi ukuran 1 cm x 1 cm – 1,5 cm x 4 cm. Kulit kayu yang telah dirajang tersebut dimasukkan ke dalam ekstraktor, selanjutnya suhu di ekstraktor di-setting pada suhu (80-90 °C). Perbandingan kulit kayu : air yang digunakan adalah 1:3. Lama proses ekstraksi adalah 3 jam. Selama proses ekstraksi berlangsung, campuran kulit kayu dan air diaduk per 15 menit sekali. Cairan ekstrak kemudian disaring dan residu kulit kayu sisa proses ekstraksi diekstrak kembali dengan cara yang sama sebanyak 2 (dua) kali,

sehingga total proses ekstraksi yang dilakukan adalah sebanyak 3 (tiga) kali. Hasil cairan ekstraksi kemudian didinginkan terlebih dahulu selama \pm 1 hari sebelum dianalisis karakteristiknya. Cara ekstraksi kulit kayu yang dilakukan pada penelitian ini mengikuti metode yang digunakan pada penelitian Santoso, Sulastiningsih, Pari, & Jasni (2016).

2. Pengujian karakteristik ekstrak kulit mangium

Karakteristik ekstrak kulit mangium yang diuji meliputi kadar padatan dan bilangan stiasny. Jumlah ulangan yang digunakan sebanyak 3 (tiga) ulangan. Pengujian kadar padatan ekstrak dilakukan dengan mengeringkan 5 g ekstrak kulit mangium menggunakan oven dengan suhu 103 ± 2 °C hingga beratnya konstan. Pengukuran berat dilakukan per 3 jam sekali. Kadar padatan tanin kemudian diukur menggunakan rumus:

Keterangan (*Remarks*): KP = kadar padatan (*solid content, %*); BA = berat awal contoh uji ekstrak kulit mangium (*acacia bark extract weight, g*); BK = berat endapan kering (*extract dry sediment weight, g*).

Pengujian bilangan stiasny dilakukan mengikuti cara yang dilakukan pada penelitian Rachmawati, Sugita, & Santoso (2018). Pengujian ini dilakukan dengan metode tanin formaldehida yaitu dengan mencampurkan ekstrak kulit mangium dengan HCl 10 M dan larutan formaldehida 37%. Campuran tersebut kemudian dipanaskan selama 30 menit pada *waterbath* menggunakan suhu 75 °C. Endapan yang terbentuk dari hasil pemanasan tersebut ditimbang kemudian dikeringkan dalam oven menggunakan suhu ±105 °C hingga berat konstan. Bilangan stiasny diukur dengan rumus yang tertera pada Zheng, Lin, dan Yazaki (1991):

Keterangan (*Remarks*): BS = bilangan stiasny (*stiasny number, %*); BA = berat awal contoh uji ekstrak kulit mangium (*acacia bark extract weight, g*); BB = berat endapan basah (*extract wet sediment weight, g*); BK = berat endapan kering (*extract dry sediment weight, g*).

3. Pembuatan polimer tanin formaldehida

Sekitar 30 liter ekstrak kulit mangium dicampurkan dengan 6 liter larutan formaldehida 37% yang telah dibasakan dan 1 liter larutan NaOH 40%. Campuran tersebut direaksikan pada reaktor menggunakan suhu 90 °C selama 3 jam sambil

terus diaduk. Setiap 1 jam sekali pH larutan diamati, jika pH di bawah 10,5 maka ditambahkan larutan NaOH hingga pH kembali pada kisaran 10,5. Setelah pemanasan 3 jam, suhu reaktor dinaikkan menjadi 100 °C dan larutan dipanaskan kembali selama 1 jam. Larutan perekat kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruangan sebelum disimpan dalam wadah tertutup.

4. Pembuatan kayu lamina sengon dengan perekat tanin formaldehida

Pembuatan kayu lamina sengon 2 (dua) lapis dengan perekat tanin formaldehida diawali dengan memotong log kayu sengon menjadi ukuran 20 cm x 6 cm x 1 cm untuk panjang, lebar dan tebal, lalu kayu tersebut dikeringkan hingga mencapai kadar air ± 12%. Pada kedua permukaan potongan kayu sengon yang telah dikeringkan dilaburkan perekat tanin formaldehida. Perekat tanin formaldehida yang digunakan adalah polimer tanin formaldehida tanpa penambahan aditif maupun dengan penambahan aditif. Jenis aditif yang digunakan adalah ekstender dan *hardener*. Komposisi penambahan ekstender tepung terigu yang digunakan adalah 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari total berat perekat. Komposisi penambahan *hardener* paraformaldehida yang digunakan adalah 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari total berat perekat. Berdasarkan kombinasi perlakuan penambahan zat aditif berupa ekstender tepung terigu dan *hardener* paraformaldehida, maka terdapat 25 jenis perekat tanin formaldehida yang digunakan sebagai perekat. Berat labur yang digunakan adalah 170 g/m². Setelah perekat dilaburkan, kayu lamina dikempa pada suhu kamar selama 24 jam, menggunakan tekanan sekitar 12 kg/cm². Setelah dikempa, kayu lamina dikondisikan pada suhu kamar selama ± 1 minggu sebelum diuji kekuatan geser dan kerusakan kayunya. Jumlah ulangan yang digunakan pada pembuatan kayu lamina adalah sebanyak 3 (tiga) ulangan.

5. Pengujian kuat rekat kayu lamina sengon

Pengujian kekuatan rekat kayu lamina sengon dilakukan menggunakan pengujian kekuatan geser tekan kayu lamina pada kondisi kering dan basah. Pada pengujian kekuatan geser kondisi basah, sampel uji terlebih dahulu direndam dalam air mendidih selama 4 jam. Kemudian sampel ditiriskan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu ± 60 °C selama 20 jam. Sampel uji kemudian direndam kembali dalam air mendidih selama 4 jam dan direndam dalam air dingin selama ± 1 jam. Dalam kondisi basah sampel diuji kekuatan gesernya. Setelah itu dihitung nilai kekuatan geser dan kerusakan kayunya. Pengukuran dan perhitungan kekuatan geser dan

kerusakan kayu dilakukan berdasarkan metode JAS No. 234 (JAS, 2007).

C. Analisis Data

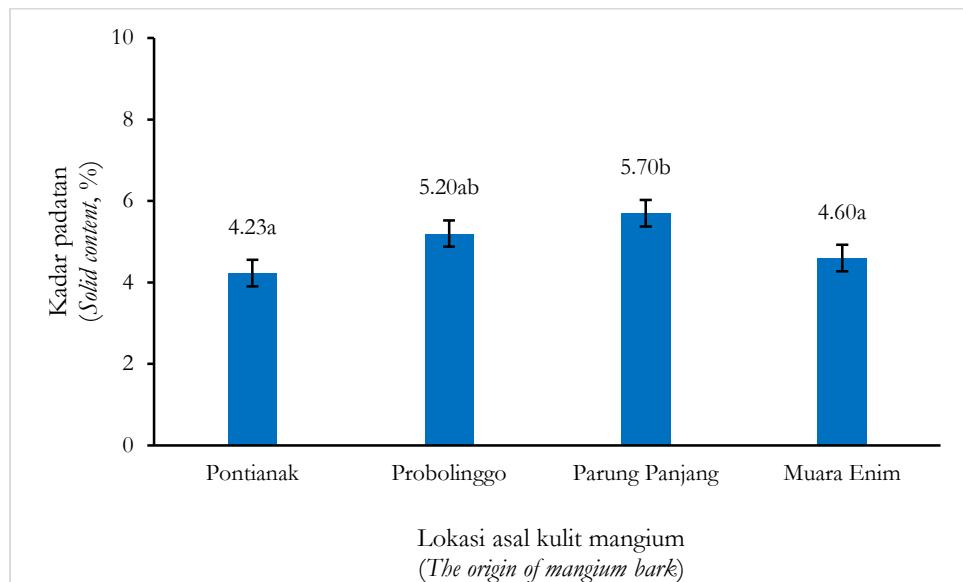
Data hasil pengujian karakteristik ekstrak kulit kayu dan kekuatan rekat terlebih dahulu diolah menggunakan *Microsoft Excel* 2013. Setelah itu dilakukan uji statistik pada data hasil uji. Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan acak lengkap dengan percobaan faktorial dengan dua faktor, yaitu kadar *hardener* (paraformaldehida) dan kadar ekstender (tepung terigu). Jenis uji statistik yang dilakukan adalah uji *two-way ANOVA* dengan tingkat kepercayaan 95% dan uji lanjut *Tukey's HSD* menggunakan program SPSS 23 for Windows (SAS Institute Inc., North Carolina, USA). Untuk uji lanjut *Tukey's HSD* hanya dilakukan ketika hasil ANOVA menunjukkan hasil yang signifikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Ekstrak Kulit Mangium

Kadar padatan ekstrak kulit mangium di penelitian ini berkisar antara 4,2–5,7%. Hasil detail kadar padatan yang diperoleh pada penelitian tersaji pada Gambar 1. Kadar padatan ekstrak tanin dapat menggambarkan kualitas tanin untuk penggunaan sebagai perekat (Hajriani et al., 2021), dimana semakin tinggi kadar padatan tanin dapat menghasilkan perekat dengan kualitas yang baik. Kadar padatan tertinggi dalam ekstrak kulit kayu diperoleh dari kulit mangium yang berasal dari Parung Panjang (5,70%), sementara kadar padatan terendah diperoleh dari kulit mangium dari daerah Pontianak (4,23%). Kisaran kadar padatan pada penelitian ini sedikit lebih tinggi dibandingkan kadar padatan kulit *Acacia mangium* dengan ekstraksi air panas dalam penelitian Astu, Achmadi & Santoso (2005) dan Rachmawati et al. (2018) yang mendapatkan kadar padatan masing-masing 2,56% dan 4%.

Perbedaan kadar ekstrak ini dapat disebabkan oleh perbedaan umur pohon. Pada penelitian Astu et al. (2005) kulit mangium yang digunakan berumur sekitar 3–4 tahun, sementara pada penelitian Rachmawati et al. (2018) kulit pohon yang digunakan berumur 7 tahun. Perbedaan kadar padatan diduga juga dapat disebabkan oleh perbedaan suhu ekstraksi yang digunakan. Suhu ekstraksi yang digunakan pada penelitian ini (80–90 °C) lebih tinggi dibandingkan pada penelitian Astu et al. (2005) dan Rachmawati et al. (2018) yang menggunakan suhu ekstraksi sekitar 70 °C. Alara, Abdurahman, & Ukaegbu (2021) menyatakan bahwa karakteristik komponen fenolik seperti tanin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang antara lain umur bahan baku dan suhu ekstraksi yang digunakan.

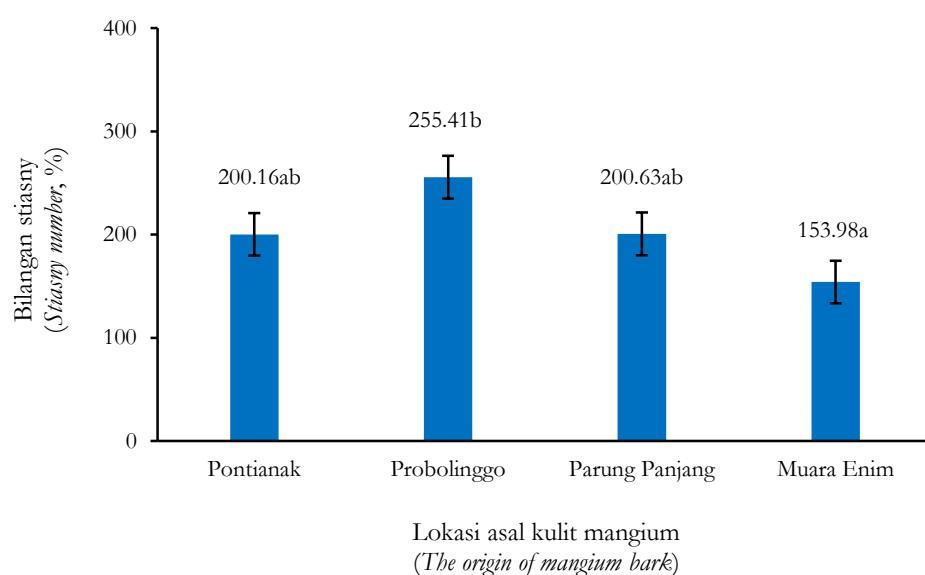


Gambar 1. Kadar padatan ekstrak kulit mangium dari berbagai lokasi
Figure 1. Solid content of acacia bark extract from various location

Selain kadar padatan, karakteristik ekstrak tanin lainnya yang juga diuji adalah bilangan stiasny. Pengukuran bilangan stiasny ditujukan untuk mengukur tingkat reaktivitas dari tanin (Vieira, Lelis, da Silva & Oliveira, 2011; Dababi, Gimello, Elaoui, & Brosse, 2020). Semakin besar nilai bilangan stiasny menunjukkan reaktivitas yang dimiliki oleh tanin semakin tinggi. Hasil pengukuran bilangan stiasny ekstrak kulit mangium tersaji pada Gambar 2. Bilangan stiasny yang dimiliki ekstrak kulit mangium yang diperoleh dari daerah Pontianak, Ponorogo, Parung Panjang, dan Muara Enim sebesar 200,16%, 255,41%, 200,63%, dan 153,46%.

Bilangan stiasny yang diperoleh pada penelitian ini lebih besar dibandingkan nilai bilangan stiasny ekstrak kulit mangium yang diperoleh pada penelitian Yusoff, Chew, Ali, &

Nasir (1989) yaitu sebesar 122,2% yang diduga disebabkan oleh perbedaan parameter saat proses ekstraksi kulit mangium. Parameter ekstraksi seperti jenis pelarut atau ekstraktor, ukuran bahan yang akan diekstrak, waktu ekstraksi, dan suhu ekstraksi menentukan tingkat kereaktifan dari tanin atau ekstrak (Hoong, Paridah, Luqman, Koh, & Loh, 2009; Vázquez, González-Alvarez, Santos, Freire, & Antorrena, 2009). Lebih lanjut lagi Low, Rahman, & Jamaluddin (2015) menerangkan bahwa peningkatan suhu ekstraksi dapat meningkatkan nilai bilangan stiasny. Suhu ekstraksi yang digunakan pada penelitian ini sekitar 20–30 °C lebih tinggi dibandingkan pada penelitian Yusoff *et al.* (1989) dengan suhu ekstraksi 60 °C, sehingga nilai bilangan stiasny pada penelitian ini pun juga lebih tinggi.



Gambar 2. Bilangan stiasny ekstrak kulit mangium dari berbagai lokasi
Figure 2. Stiassy number of acacia bark extract from various location

Hasil ANOVA yang dilakukan pada kadar padatan ekstrak tanin dan bilangan stiasny (Tabel 1 dan Tabel 2) menunjukkan bahwa faktor lokasi asal kulit mangium secara signifikan mempengaruhi kedua karakteristik ekstrak tersebut. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa kadar padatan ekstrak kulit mangium yang berasal dari daerah Pontianak dan Muara Enim secara signifikan lebih rendah dibandingkan tanin yang berasal dari daerah Parung Panjang, sementara itu kadar padatan ekstrak tanin kulit yang berasal dari kedua daerah tersebut relatif tidak berbeda nyata.

. Untuk nilai kadar padatan dari kulit mangium Probolinggo jika dibandingkan dengan kulit mangium Parung Panjang secara statistik nilainya tidak berbeda nyata, meskipun secara nominal

nilainya sedikit lebih rendah. Bilangan stiasny antara kulit dari daerah Muara Enim dan Probolinggo tercatat memiliki hasil yang berbeda nyata, sementara antara kedua daerah tersebut dengan daerah lainnya (Pontianak dan Parung Panjang) memiliki nilai bilangan stiasny yang tidak berbeda nyata. Bilangan stiasny dari ekstrak kulit daerah Muara Enim secara signifikan lebih rendah dibandingkan daerah Probolinggo. Hasil uji statistik dari kadar padatan dan bilangan stiasny menunjukkan ekstrak kulit mangium dari Probolinggo dan Parung Panjang memiliki potensi yang terbaik untuk dikembangkan sebagai perekat berbasis tanin dibandingkan ekstrak tanin dari daerah lainnya.

Tabel 1. Hasil ANOVA faktor lokasi terhadap kadar padatan

Table 1. ANOVA results of the effect of location towards solid content

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Lokasi (Location)	3,78	3	1,26	4,57	0,04*
Galat (Error)	2,21	8	0,28	-	-
Total (Total)	298,04	12	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected Total)	5,99	11	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %)

Tabel 2. Hasil ANOVA faktor lokasi terhadap bilangan stiasny

Table 2. ANOVA results of the effect of location towards stiasny number

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Lokasi (Location)	15487,77	3	5162,59	6,34	0,02*
Galat (Error)	6512,44	8	814,06	-	-
Total (Total)	514287,86	12	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected Total)	22000,21	11	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %)

Perbedaan dari kadar padatan dan bilangan stiasny antar tanin dari lokasi yang berbeda ini diduga karena perbedaan kondisi lokasi tumbuh dari pohon mangium. Perbedaan karakteristik tanin dari bahan dengan jenis yang sama namun berbeda lokasi tumbuhnya juga terjadi pada penelitian karakteristik ekstrak dari kulit pohon *Monopetalanthus durandii* oleh Granssiri et al. (2020). Indonesia memiliki keragaman geografis dan kondisi lingkungan antar wilayahnya yang menyebabkan munculnya variasi karakteristik, misalnya karakteristik sifat kimia, pada jenis tanaman yang sama yang ditanam pada lokasi berbeda (Lallo et al., 2022). Faktor lingkungan yang secara signifikan dapat mempengaruhi

produksi tanin pada tumbuhan antara lain berupa sinar matahari, curah hujan, pH tanah, kandungan air dalam tanah (Bussotti, Gravano, Grossoni, & Tani, 1998; Kraus, Dahlgren, & Zasoski, 2003; Malisch et al., 2016).

B. Sifat Rekat Kayu Lamina Sengon dengan Perekat Berbasis Tanin Mangium

Ekstrak kulit mangium yang berasal dari Parung Panjang dipilih untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan perekat dalam penelitian ini. Hal ini disebabkan karena ekstrak mangium dari Parung Panjang memiliki kadar padatan ekstrak dan bilangan stiasny yang tinggi. Selain itu, ketersediaan kulit mangium dari Parung Panjang

untuk penelitian juga lebih banyak dibandingkan kulit mangium dari Probolinggo yang juga memiliki kualitas ekstrak tanin yang relatif sama dengan ekstrak tanin dari Parung Panjang. Kadar padatan dan bilangan stiasny sendiri merupakan parameter yang memiliki keterkaitan erat terhadap kualitas rekat dari perekat berbahan baku ekstrak tanin (Astu et al., 2005 dan da Silva Araujo et al., 2021).

Nilai kekuatan geser dan kerusakan kayu papan lamina pada kondisi pengujian kering dalam penelitian ini tersaji pada Tabel 3. Kekuatan geser diukur untuk menggambarkan kekuatan rekat perekat, sedangkan kerusakan kayu diukur untuk mengetahui kualitas perekatan yang dihasilkan suatu perekat. Nilai kekuatan geser kondisi kering pada penelitian ini berkisar antara 32,94–123,14

kg/cm^2 , sementara nilai kekuatan geser kondisi basah sekitar 14,75–48,75 kg/cm^2 . Seluruh kayu lamina pada penelitian ini mampu memenuhi standar kekuatan geser JAS No. 234 (JAS, 2007) sebesar $\geq 54 \text{ kg/cm}^2$, kecuali kayu lamina dengan kadar ekstender 0% dan kadar *hardener* 0,5% dan 1% serta kayu lamina dengan kadar ekstender 2,5% dan kadar *hardener* 0,5%. Sementara itu, sebagian besar kayu lamina juga memenuhi persyaratan kekuatan geser SNI 06-4566-1998 (BSN, 1998) sebesar $\geq 60 \text{ kg/cm}^2$ kecuali kayu lamina dengan kadar ekstender 0% dan kadar *hardener* 0–1% serta kayu lamina dengan kadar ekstender 2,5% dan kadar *hardener* 0,5%. Mayoritas nilai kerusakan kayu pada kondisi kering juga memenuhi standar dari JAS No. 234 (JAS, 2007) yang mensyaratkan nilai kerusakan kayu $\geq 65\%$.

Tabel 3. Karakteristik rekat kering lamina kayu sengon menggunakan perekat tanin dari ekstrak kulit kayu mangium dari Parung Panjang pada berbagai kadar ekstender dan *hardener*

Table 3. Dry Bonding characteristic of sengon laminated wood with tannin adhesive from mangium bark extract Parung Panjang in various extender and hardener amount

Kadar ekstender (Extender content, %)	Kadar <i>hardener</i> (Hardener content, %)	Kekuatan geser (Shear strength, kg/cm^2)		Kerusakan kayu (Wood failure, %)	
		Kering (Dry)	Basah (Wet)	Kering (Dry)	Basah (Wet)
0	0	59,46 (7,76)	28,84ab (2,59)	55 – 100	10 – 50
	0,5	52,64 (8,92)	14,75a (2,60)	39 – 88	20 – 60
	1	32,94 (6,58)	31,99ab (4,24)	83 – 98	20 – 70
	1,5	64,86 (14,42)	38,17b (4,41)	70 – 100	0 – 38
	2	77,43 (3,16)	38,91b (4,99)	85 – 100	0 – 50
	2,5	66,02 (5,64)	30,30ab (1,19)	31 – 66	0 – 15
2,5	0	41,86 (7,75)	26,93ab (8,89)	10 – 85	0 – 29
	0,5	67,52 (13,17)	39,38b (13,87)	5 – 52	5 – 50
	1	85,44 (4,68)	48,75b (5,13)	85 – 98	10 – 50
	1,5	80,33 (2,97)	37,07b (3,40)	33 – 98	20 – 45
	2	97,33 (2,29)	40,00b (4,18)	100	0 – 30
	5	67,01 (2,60)	27,20ab (0,37)	40 – 80	10 – 55
5	0	86,29 (4,46)	35,21ab (4,66)	75 – 90	5 – 50
	0,5	86,85 (9,73)	41,15b (2,92)	90 – 100	16 – 45
	1	105,44 (14,10)	22,31ab (6,73)	95 – 100	0 – 10
	1,5	97,62 (8,45)	34,09ab (15,51)	98 – 100	20 – 60
	2	101,99 (19,55)	34,79ab (9,00)	15 – 100	0 – 30
	7,5	97,97 (8,32)	34,34ab (8,00)	95 – 98	0 – 23
7,5	1,5	112,31 (30,82)	30,82ab (5,37)	98 – 100	0 – 15
	2	113,07 (7,53)	22,89ab (3,03)	98 – 100	0 – 19

Kadar ekstender (Extender content, %)	Kadar hardener (Hardener content, %)	Kekuatan geser (Shear strength, kg/cm ²)		Kerusakan kayu (Wood failure, %)	
		Kering (Dry)	Basah (Wet)	Kering (Dry)	Basah (Wet)
10	0	92,15 (6,26)	27,24ab (1,54)	90 – 100	0 – 30
	0,5	117,31 (12,93)	36,84b (4,53)	98 – 100	0 – 5
	1	99,78 (6,44)	34,18ab (11,91)	85 – 100	21 – 50
	1,5	108,90 (3,64)	21,88ab (1,25)	73 – 90	0 – 5
	2	123,14 (1,49)	19,29ab (2,97)	95 – 100	5 – 45

Keterangan (Remarks): nilai kekuatan geser yang tertera pada tabel merupakan nilai rata-rata dari tiga ulangan. Nilai kerusakan kayu merupakan range nilai dari tiga ulangan. Huruf berbeda dibelakang angka pada kekuatan geser basah menunjukkan nilai yang berbeda nyata. Nilai dalam tanda kurung merupakan nilai standar deviasi. (*All shear strength values on the table are the average value from three replication. The wood failure values were in the form of range values from three replication. Different letter following the number in wet shear strength values showed the significantly different value. The values in parentheses were the standard deviation values*).

Kekuatan geser lamina kayu sengon pada penelitian ini dapat bersaing dengan kekuatan geser kayu lamina sengon dengan perekat sintetis. Lamina sengon dengan perekat isosianat memiliki kekuatan geser sebesar 43,07 kg/cm², sedangkan lamina sengon yang direkat menggunakan fenol formaldehida berkekuatan rekat sebesar 41,9 kg/cm² (Nurhanifah, Hermawan, Hadi, Arsyad, & Abdillah, 2020; Adnan et al., 2021). Beberapa nilai kekuatan geser lamina sengon dengan perekat tanin dalam penelitian ini bahkan lebih tinggi sekitar 26–193% dibandingkan kekuatan geser pada kedua perekat sintetis tersebut. Hasil uji kekuatan geser juga menunjukkan adanya penurunan kekuatan geser lamina sengon dengan perekat tanin sekitar 36–84% dari kondisi uji kering ke basah. Persentase penurunan tersebut jauh lebih besar

dibandingkan penurunan kekuatan pada lamina yang direkat dengan perekat sintetis isosianat yaitu sebesar 10–23% (Gong, Wu, & Ren, 2016). Namun jika dibandingkan dengan persentase penurunan kekuatan geser kayu lamina dengan perekat urea formaldehida nilainya relatif sama yaitu sekitar 38–60% (Sinaga, 2021).

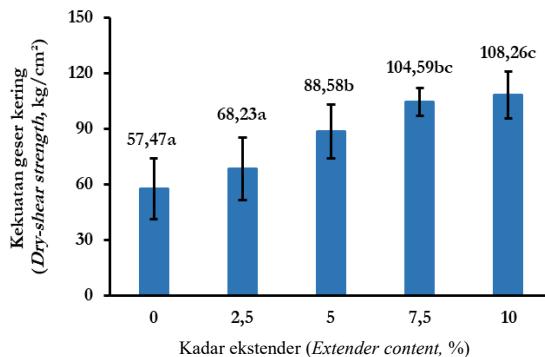
Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan hasil uji ANOVA, sedangkan Tabel 3, Gambar 3, Gambar 4 menunjukkan hasil uji lanjut Tukey's HSD. Hasil uji ANOVA menyatakan bahwa kadar ekstender dan hardener berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser kayu lamina kondisi basah dan kering. Interaksi antara kadar ekstender dan kadar hardener juga diketahui secara signifikan mempengaruhi nilai kekuatan geser basah.

Tabel 4. Hasil ANOVA efek ekstender dan hardener terhadap kekuatan geser kering

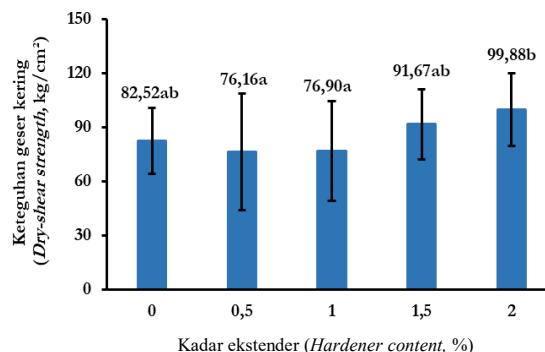
Table 4. ANOVA results of the effect of extender and hardener towards the dry shear strength

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Kadar ekstender (KE) (Extender content)	29636,82	4	7409,21	38,18	1,26 x 10 ^{-14*}
Kadar hardener (KH) (Hardener content)	6224,09	4	1556,02	8,02	4,48 x 10 ^{-5*}
Interaksi KE*KH (Interaction of KE*KH)	5552,23	16	347,01	1,79	0,06 ^{ns}
Galat (Error)	9703,25	50	194,07	-	-
Total (Total)	598441,63	75	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected total)	51116,40	74	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %); ns = tidak signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (not significant at 95% confidence level)



Gambar 3. Hasil uji lanjut Tukey's HSD efek ekstender pada kekuatan geser kering
Figure 3. Tukey's HSD analysis result of the effect of extender to the dry shear strength



Gambar 4. Hasil uji lanjut Tukey's HSD efek hardener pada kekuatan geser kering
Figure 4. Tukey's HSD analysis result of the effect of hardener to the dry shear strength

Hasil uji lanjut Tukey's HSD pada sifat kekuatan geser kering menunjukkan bahwa kekuatan geser kering antar kadar ekstender 0% dan 2,5% dengan 5%, 7,5% dan 10% saling berbeda nyata. Antara kadar ekstender 5% dan 7,5% serta 7,5% dan 10% nilai kekuatan geser keringnya tidak berbeda nyata, sedangkan antara kadar 5% dan 10% nilainya berbeda nyata. Untuk nilai kekuatan geser kering antar kadar hardener 0% tidak berbeda nyata dengan nilai pada kadar hardener 0,5–1,5%, namun nilainya berbeda nyata dengan kadar hardener 2%. Hasil uji lanjut pada nilai kekuatan geser basah relatif menunjukkan efek penambahan kadar hardener lebih nyata berperan mempengaruhi sifat kekuatan tersebut dibandingkan kadar extender, terutama pada kadar 1,5%.

Nilai kerusakan kayu kering lamina sengon dengan perekat tanin cenderung tidak berbeda antara perekat dengan penambahan aditif maupun tanpa penambahan aditif. Sementara itu keteguhan geser kondisi kering dan basah dari kayu lamina berperekat tanin mangium cenderung meningkat seiring dengan penambahan aditif pada komposisi perekatnya. Penambahan kadar ekstender 2,5–10% dapat meningkatkan kekuatan geser kering sekitar 16–88%. Efek penambahan ekstender pada penelitian ini berlawanan dengan hasil pada penelitian efek penambahan ekstender pada urea formaldehida dan perekat tanin gambir oleh Derkyi, Sekyere, Darkwa, & Yartey (2008) dan Santoso, Aini, & Prastiwi (2022) yang justru

menurunkan kekuatan rekat. Di sisi lain, efek positif penambahan tepung dalam komposisi perekat juga dihasilkan pada penelitian pembuatan komposit dengan perekat fenol formaldehida oleh (Santoso, Hadi, & Juliati 2010) dan perekat asam sitrat oleh Widyorini, Umemura, Kusumaningtyas, & Prayitno (2017) dan Aini, Widyorini, Prayitno, & Setyayunita (2020). Pada perekat berbasis asam sitrat, peningkatan kekuatan rekat dengan penambahan tepung diduga berkaitan dengan penambahan gugus hidroksil dari tepung yang mampu bereaksi dengan gugus karboksil dari asam sitrat dan juga dengan bahan direkat (Aini et al., 2020). Sementara peningkatan kekuatan rekat dengan penambahan tepung pada perekat berbasis fenol formaldehida diduga dapat disebabkan oleh terjadinya perubahan pada viskositas perekat (Yusmaniar, Kurniadewi & Nur Oktavia, 2023). Peningkatan viskositas perekat dengan penambahan ekstender dapat menyebabkan transfer perekat pada bidang rekat menjadi lebih optimal (Hogger et al., 2020).

Efek penambahan hardener dalam meningkatkan kekuatan geser kering terlihat optimal pada penambahan hardener sebanyak 1,5–2%. Penambahan kadar hardener 1,5–2% dapat meningkatkan kekuatan geser kering sekitar 11–21%. Efek penambahan hardener yang meningkatkan kekuatan rekat juga ditemukan pada penelitian Liu et al. (2022), dimana penambahan hardener epoxy pada perekat tanin-furfural alkohol-furfural dapat meningkatkan daya rekat hingga 31%.

Tabel 5. Hasil ANOVA efek ekstender dan hardener terhadap kekuatan geser basah
Table 5. ANOVA results of the effect of extender and hardener towards the wet shear strength

Sumber varian (Source of variation)	JK (Sum of squares)	db (df)	KT (Mean square)	F hit (F-calculation)	Sig. (Sig.)
Kadar ekstender (KE) (Extender content)	613,64	4	153,41	3,56	0,01*
Kadar hardener (KH) (Hardener content)	851,70	4	212,92	4,94	1,97 x 10 ⁻³ *
Interaksi KE*KH (Interaction of KE*KH)	2957,38	16	184,84	4,29	3,79 x 10 ⁻⁵ *
Galat (Error)	2156,59	50	43,13	-	-
Total (Total)	82861,78	75	-	-	-
Total terkoreksi (Corrected total)	6579,31	74	-	-	-

Keterangan (Remarks): JK = Jumlah kuadrat; db = derajat bebas; KT = kuadrat tengah; * = signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (significant at 95% confidence level %)

Efek penambahan ekstender terhadap kekuatan geser basah cenderung optimal pada kadar ekstender 2,5%. Nilai kekuatan rekat basah relatif semakin menurun seiring dengan penambahan ekstender di atas 2,5%. Bahkan pada kayu lamina dengan kadar ekstender 10%, nilai kekuatan geser basahnya 9% lebih rendah dibandingkan kayu lamina dengan perekat tanpa penambahan ekstender. Nilai kerusakan kayu juga cenderung menurun pada kondisi pengujian basah. Hasil tersebut dapat merepresentasikan bahwa ketahanan air dari perekat cenderung menurun pada penambahan ekstender berupa tepung terigu dalam kadar yang relatif tinggi. Tepung terigu, yang berasal dari gandum, mengandung sekitar 70–75% pati (Pareyt & Delcour, 2008). Pati merupakan bahan yang hidrofilik, sehingga membuat produk dengan kandungan pati tinggi memiliki ketahanan terhadap air yang rendah (Lee, Lee, & Han, 2020). Sementara itu, penambahan kadar hardener yang optimal untuk meningkatkan kekuatan geser basah adalah 1,5%. Penambahan kadar hardener 1,5% secara umum dapat meningkatkan kuat geser basah sekitar 13%. Hasil ini selaras dengan hasil pada penelitian Liu et al. (2022) yang menyebutkan bahwa penambahan hardener dapat meningkatkan kuat geser basah sekitar 12%.

III. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Salah satu sumber tanin yang banyak tersedia di Indonesia adalah kulit kayu *Acacia mangium*. Karakteristik tanin berupa kadar padatan ekstrak tanin dan bilangan stiasny memiliki pengaruh yang signifikan terhadap aplikasinya sebagai perekat. Kulit kayu *Acacia mangium* yang berasal dari daerah Probolinggo, Parung Panjang, Pontianak, dan Muara Enim memiliki perbedaan karakteristik tanin. Kadar padatan dan bilangan stiasny ekstrak

kulit kayu mangium dari daerah Probolinggo dan Parung Panjang memiliki karakteristik yang paling optimal untuk dimanfaatkan sebagai perekat karena kadar padatan dan bilangan stiasny yang relatif tinggi, yaitu 5,20% dan 5,70% dan 255,41% dan 200,63%.

Komposisi penyusun perekat memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap daya rekat dari perekat tersebut. Selain resin atau bahan perekat utama pada perekat, pemberian bahan tambahan seperti ekstender dan hardener dapat memperbaiki performa perekat atau meningkatkan sifat ekonomisnya. Penambahan ekstender hardener mampu secara signifikan meningkatkan kekuatan rekat kayu lamina sengon. Penambahan ekstender dan hardener pada perekat tanin mangium yang optimal adalah pada kadar 7,5% dan 1,5% dengan pertimbangan tingkat kekuatan dan keekonomisan dari perekat. Kayu lamina dengan kadar ekstender 7,5 hardener 1,5% memiliki kekuatan geser kering 112,31 kg/cm², kekuatan geser basah 30,82 kg/cm², kerusakan kayu kondisi kering 98–100%, dan kerusakan kayu kondisi basah 0–15%. Kekuatan geser kering dan kerusakan kayu kering pada kadar ekstender dan hardener tersebut mampu memenuhi standar JAS No. 234. Dengan demikian, perekat tanin mangium pada penelitian ini layak untuk digunakan sebagai perekat kayu produk *indoor* karena kekuatan geser dan kerusakan kayu pada kondisi kering yang relatif kuat dan dapat bersaing dengan perekat sintetis.

B. Saran

Penelitian lanjutan dari perekat tanin mangium yang dapat dilakukan berdasarkan hasil penelitian ini berkaitan dengan peningkatan ketahanan air. Hasil menunjukkan bahwa ketahanan perekat tanin terhadap air relatif rendah, yang direpresentasikan oleh tingkat penurunan kekuatan geser dari kondisi kering ke basah mayoritas di atas 50%. Upaya peningkatan ketahanan air perekat tanin dapat

memperluas aplikasi perekat tanin mangium untuk produk eksterior yang diharapkan dapat meningkatkan minat industri perkayuan di Indonesia untuk menggunakan perekat tanin mangium dalam kegiatan produksinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Standarisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan, Badan Standarisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atas fasilitas penelitian yang diberikan dalam melakukan penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada saudari Iceu Nur Aeni atas bantuannya dalam melakukan pembuatan dan pengujian sampel penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

Seluruh penulis berkontribusi sebagai kontributor utama dalam penyusunan naskah ini. Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh AS dan ENA, percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh AS, ENA, dan RP. Untuk pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh RP dan ENA, penulisan manuskrip oleh RP, ENA, dan AS, perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh RP, ENA, dan AS.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, N. A., Md Tahir, P., Husain, H., Lee, S. H., Anwar Uyup, M. K., Mat Arip, M. N., & Ashaari, Z. (2021). Effect of ACQ treatment on surface quality and bonding performance of four Malaysian hardwoods and cross laminated timber (CLT). *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(2), 285–299. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01609-7>
- Aini, E. N., Widyorini, R., Prayitno, T. A., & Setyayunita, T. (2020). Characteristics of bamboo particleboard bonded with citric acid-starch using three-step press cycle method. *Key Engineering Materials*, 840 KEM, 543–550. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.840.543>
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Anshori, S., & Supriyadi, B. (2001). Potency and management of logging residue of first rotation *Acacia mangium* in Musi Hutan Persada Ltd.co. *Proceedings of Seminar “Environment Conservation Through Efficiency Utilization of Forest Biomass,”* 155–160. <https://doi.org/10.20886/jphh.2009.27.4.303-313>
- Astu, I. P. J., Achmadi, S. S., & Santoso, A. (2005). *Ekstrak Kulit Mangium sebagai Bahan Perekat Tanin Resorsinol Formaldehida untuk Pembuatan Papar Partikel* [Master Thesis]. IPB University.
- Atanassova, M., & Christova-Bagdassarian, V. (2009). Determination of tannins content by titrimetric method for comparison of different plant species. *Journal of the University Chemical Technology and Metallurgy*, 44(4), 413–415.
- Awaliyan, H. M. R., Rosamah, E., & Sukaton, E. (2017). Karakteristik tanin dari ekstrak kulit kayu Leda (*Eucalyptus deglupta* Blume.). *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*, 1(1), 16–28. <http://dx.doi.org/10.32522/uht.v1i1.859>
- Barry, K. M., Irianto, R. S. B., Santoso, E., Turjaman, M., Widyati, E., Sitepu, I., & Mohammed, C. L. (2004). Incidence of heartrot in harvest-age *Acacia mangium* in Indonesia, using a rapid survey method. *Forest Ecology and Management*, 190(2–3), 273–280. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.10.017>
- Basheer, S. M., Chellappan, S., & Sabu, A. (2022). Enzymes in fruit and vegetable processing. Dalam M. Kuddus & C. N. Aguilar (Eds.), *Value-Addition in Food Products and Processing Through Enzyme Technology* (pp. 101–110). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89929-1.00014-7>
- Bono, A., Krishnaiah, D., Rajin, M., & Siambun, N. J. (2006). Variation of reaction stages and mole composition effect on melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin properties. *Studies in Surface Science and Catalysis*, 159, 713–716. [https://doi.org/10.1016/s0167-2991\(06\)81696-4](https://doi.org/10.1016/s0167-2991(06)81696-4)
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2020). *Statistik Produksi Kehutanan Indonesia 2019*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2021). *Statistik Produksi Kehutanan 2020*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2022). *Statistik Produksi Kehutanan 2021*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BPS [Badan Pusat Statistik]. (2023). *Statistik Produksi Kehutanan 2022*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- BSN [Badan Standarisasi Nasional]. (1998). *SNI 06-4566-1998 : Urea Formaldehida untuk Pengerjaan Kayu*.
- Bussotti, F., Gravano, E., Grossoni, P., & Tani, C. (1998). Occurrence of tannins in leaves of beech trees (*Fagus sylvatica*) along an ecological gradient, detected by histochemical and ultrastructural analyses. *New Phytologist*, 138(3), 469–479. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00121.x>
- da Silva Araujo, E., Lorenço, M. S., Zidanés, U. L., Sousa, T. B., da Silva Mota, G., de Nazaré de Oliveira Reis, V., Gomes da Silva, M., & Mori, F. A. (2021). Quantification of the bark *Myrcia eximia* DC tannins from the amazon rainforest and

- its application in the formulation of natural adhesives for wood. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124324>
- Dababi, I., Gimello, O., Elaloui, E., & Brosse, N. (2020). Water extraction of tannins from aleppo pine bark and sumac root for the production of green wood adhesives. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(21). <https://doi.org/10.3390/molecules25215041>
- Derkyi, N. S. A., Sekyere, D., Darkwa, N. A., & Yartey, J. G. (2008). Effect of cassava flour as urea-formaldehyde adhesive extender. *Ghana Journal of Forestry*, 23 & 24, 25–34.
- Eckelman, C. A. (2015). Brief survey of wood adhesives. *Forestry & Natural Resources*, 10.
- Fendy, T. P., & Haryanto, H. (2021). Pengaruh waktu maserasi dan konsentrasi pelarut pada proses perendaman daun ketapang (*Terminalia catappa* Linn) terhadap pewarnaan kain. *Symposium Nasional RAPI XX – 2021 FT UMS*, 251–255.
- Gong, Y., Wu, G., & Ren, H. (2016). Block shear strength and delamination of cross-laminated timber fabricated with Japanese larch. *BioResources*, 11(4), 10240–10250. <https://doi.org/10.15376/biores.11.4.10240-10250>
- Granssiri, A. W., Konaï, N., Nzie, W., Pizzi, A., Danwe, R., Amiro, S., Ntamack, G. E., Segovia, C., & Kueny, R. (2020). Adhesiveness performances of *Monopetalanthus durandii* tannin. *Journal of Nanotechnology and Smart Materials*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.17303/jnsm.2020.6.101>
- Hajriani, S., Yunianti, A. D., Suhasman, S., & Lestari, A. S. R. D. (2021). Karakteristik ekstrak tanin kulit kayu pinus (*Pinus merkusii* Jungh et de Vries). *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 10(1), 93–102. www.jurnal.balithutmakassar.org
- Hardie, M., Akhmad, N., Mohammed, C., Mendham, D., Corkrey, R., Gafur, A., Siregar, S., Hardie, M., Akhmad, N., Mohammed, C., Mendham, D., Hardie, M., Akhmad, N., Mohammed, C., Mendham, D., Corkrey, R., & Gafur, A. (2018). Role of site in the mortality and production of *Acacia mangium* plantations in Indonesia. *Southern Forests*, 80(1), 1–14. <https://doi.org/10.2989/20702620.2016.1274857>
- Hogger, E. M., van Herwijnen, H. W. G., Moser, J., Kantner, W., & Konnerth, J. (2020). Systematic assessment of wheat extenders in condensation resins for plywood production: Part I - physico-chemical adhesive properties. *Journal of Adhesion*, 97(15), 1404–1422. <https://doi.org/10.1080/00218464.2020.1776123>
- Hoong, Y. B., Paridah, M. T., Luqman, C. A., Koh, M. P., & Loh, Y. F. (2009). Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. *Industrial Crops and Products*, 30(3), 416–421. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.012>
- Iriany, R. S., & Yenti, S. R. (2014). Pengaruh perbandingan pelarut etanol-air terhadap kadar tanin pada sokletasi daun gambir (*Uncaria gambir* Roxb.). *Sagu*, 13(1), 1–7.
- Iriany, I., Pandiagan, F., & Eka, C. (2017). Ekstraksi tanin dari kulit kayu akasia dengan menggunakan microwave : pengaruh daya microwave, waktu ekstraksi dan jenis pelarut. *Jurnal Teknik Kimia*, 6(3), 52–57.
- JAS [Japanese Standard Association] (2007). *Japanese Agricultural Standard 234: Glued Laminated Timber*.
- Jimenez, J. P., Acda, M. N., Razal, R. A., Abasolo, W. P., Hernandez, H. P., & Elepaño, A. R. (2020). Effect of tobacco stalk additive particle size on the bond strength and formaldehyde emission of urea formaldehyde bonded plywood. *Philippine Journal of Science*, 149(2), 363–372.
- Kempainen, K., Siika-aho, M., Pattathil, S., Giovando, S., & Kruus, K. (2014). Spruce bark as an industrial source of condensed tannins and non-cellulosic sugars. *Industrial Crops and Products*, 52, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.009>
- Kraus, T. E. C., Dahlgren, R. A., & Zasoski, R. J. (2003). Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems - a review. *Plant and Soil*, 256(1), 41–66. <https://doi.org/10.1023/A:1026206511084>
- Lallo, S., Lewerissa, A. C., Rafi'i, A., Usman, U., Ismail, I., & Tayeb, R. (2022). Pengaruh ketinggian tempat tumbuh terhadap aktivitas antioksidan dan sitotoksik ekstrak rimpang lengkuas (*Alpinia galanga* L.). *Majalah Farmasi Dan Farmakologi*, 23(3), 118–123. <https://doi.org/10.20956/mff.v23i3.9406>
- Lee, J. S., Lee, E. sil, & Han, J. (2020). Enhancement of the water-resistance properties of an edible film prepared from mung bean starch via the incorporation of sunflower seed oil. *Scientific Reports*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70651-5>
- Liu, B., Zhou, Y., Essawy, H., Chen, Q., Liang, J., Zhou, X., Zhang, J., & Du, G. (2022). Formaldehyde free tannin-based adhesive with epoxy as hardener for plywood. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 24(24), 1–18. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100433>
- Low, J. H., Rahman, W. A. W. A., & Jamaluddin, J. (2015). The influence of extraction parameters on spent coffee grounds as a renewable tannin resource. *Journal of Cleaner Production*, 101(April 2015), 222–228. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.094>
- Lu, Y., & Shi, Q. (1995). Larch tannin adhesive for particleboard. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 53(1), 17–19. <https://doi.org/10.1007/BF02716377>
- Luo, X., Bai, R., Zhen, D., Yang, Z., Huang, D., Mao, H., Li, X., Zou, H., Xiang, Y., Liu, K., Wen, Z., & Fu, C. (2019). Response surface optimization of the enzyme-based ultrasound-assisted extraction of acorn tannins and their corrosion inhibition properties. *Industrial Crops and Products*,

- 129(June 2018), 405–413.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.029>
- Malisch, C. S., Salminen, J. P., Kölliker, R., Engström, M. T., Suter, D., Studer, B., & Lüscher, A. (2016). Drought effects on proanthocyanidins in sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) are dependent on the plant's ontogenetic stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(49), 9307–9316.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02342>
- Monisa, F. S., Bintang, M., Safithri, M., & Falah, S. (2016). Potensi ekstrak tanin daun dan kulit batang surian sebagai penghambat α -glukosidase. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*, 14(2), 156–164.
- Nurhasybi, N., Sudrajat, D. J., & Diatna, K. (2009). Identification of *Acacia mangium* provenances for solid-wood forest plantations. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 6(1), 1–16.
<https://doi.org/10.20886/ijfr.2009.6.1.1-16>
- Pareyt, B., & Delcour, J. A. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 824–839.
<https://doi.org/10.1080/10408390701719223>
- Pari, G., Hastoeti, P., & Lestari, S. B. (1992). Quality and properties of tannin extractive from *Acacia mangium* bark. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 10(4), 113–121.
- Pizzi, A. (2021). Tannins medical/pharmacological and related applications: a critical review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 22(July), 100481.
<https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100481>
- Rachmawati, O., Sugita, P., & Santoso, A. (2018). Sintesis perekat tanin resorsinol formaldehida dari ekstrak kulit pohon mangium untuk peningkatan kualitas batang sawit. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(1), 33–46.
<https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.1.33-46>
- Ryanata, E., Palupi, S., & Azminah, A. (2015). Penentuan jenis tanin dan penetapan kadar tanin dari kulit buah pisang masak (*Musa paradisiaca* L.) secara spektrofotometri dan permanganometri. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya*, 4(1), 1–16.
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Solera-Hernández, C. (2010). Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials. *Journal of Environmental Management*, 91(10), 2051–2058.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.013>
- Santoso, A., Aini, E. N., & Prastiwi, D. A. (2022). Bonding characteristic of gambir tannin-based adhesive on tusam wood (*Pinus merkusii*) in various ages: effects of gambir leaves condition and extender addition. *Journal of Indonesian Wood Research Society*, 13(1), 12–24.
- Santoso, A., Hadi, Y. S., & Juliati, R. (2010). Pengaruh kadar ekstender dan waktu kempa terhadap sifat fisis mekanis LBV dengan perekat phenol formaldehida. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(4), 380–393.
- Santoso, A., Sulastiningsih, I. M., Pari, G., & Jasni, J. (2016). Pemanfaatan ekstrak kayu merbau untuk perekat produk laminasi bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(2), 89–100.
<https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.2.89-100>
- Sharma, K. P. (2019). Tannin degradation by phytopathogen's tannase: a plant's defense perspective. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21(September), 101342.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101342>
- Sinaga, P. S. (2021). Kualitas perekatan kayu laminasi rengas (*Gluta renghas* L.) menggunakan perekat urea formaldehid. *Wana Lestari*, 4(1), 126–133.
- Sukmawi, R., Sulaeman, R., & Sribudiani, E. (2020). Pemanfaatan limbah kulit kayu *Acacia mangium* sebagai bahan baku papan partikel menggunakan perekat damar. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 4(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.027%0A>
<https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/%0A??>
- Tahir, P. M., Halip, J. A., & Lee, S. H. (2019). Tannin-based bioresin as adhesives. Dalam H. Ariffin, S. M. Sapuan, & M. A. Hassan (Eds.), *Lignocellulose for Future Bioeconomy* (pp. 109–133). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816354-2.00007-4>
- Tharayil, N., Susseela, V., Triebwasser, D. J., Preston, C. M., Gerard, P. D., & Dukes, J. S. (2011). Changes in the structural composition and reactivity of *Acer rubrum* leaf litter tannins exposed to warming and altered precipitation: climatic stress-induced tannins are more reactive. *New Phytologist*, 191(1), 132–145.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03667.x>
- Vázquez, G., González-Alvarez, J., Santos, J., Freire, M. S., & Antorrena, G. (2009). Evaluation of potential applications for chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 364–370.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.07.004>
- Vieira, M. C., Lelis, R. C. C., da Silva, B. C., & Oliveira, G. de L. (2011). Tannin extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var. oocarpa with sodium carbonate and sodium bisulfite. *Floresta e Ambiente*, 18(1), 1–8.
<https://doi.org/10.4322/floram.2011.017>
- Widyorini, R., Umemura, K., Kusumaningtyas, A. R., & Prayitno, T. A. (2017). Effect of starch addition on properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo. *BioResources*, 12(4), 8068–8077.
<https://doi.org/10.15376/biores.12.4.8068-8077>
- Yusmaniar, Kurniadewi, F., & Nur Oktavia, A. (2023). The effect of concentration extender on the making of lignin phenol-formaldehyde from coconut fibre as an environmentally friendly adhesive. *Journal of Physics: Conference Series* 2498, 2498(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2498/1/012047>

- Yusoff, M. N. M., Chew, L. T., Ali, A. R. M., & Nasir, N. M. (1989). The adhesive properties of bark extract of *Acacia mangium*. *Journal of Tropical Forest Science* 2(2), 104–109.
- Zheng, G., Lin, Y., & Yazaki, Y. (1991). Extractives yields, stiasny values and polyflavanoid contents in barks from six acacia species in Australia. *Australian Forestry*, 54(3), 154–156.
- <https://doi.org/10.1080/00049158.1991.10674572>
- Zhou, X., & Du, G. (2020). Applications of tannin resin adhesives in the wood industry. Dalam A. Aires (Ed.), *Tannins - Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge* (pp. 1–19). IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.86424>

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

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

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

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

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

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

ABSTRACT

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

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

ABSTRAK

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



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

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

I. PENDAHULUAN

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

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

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

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

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

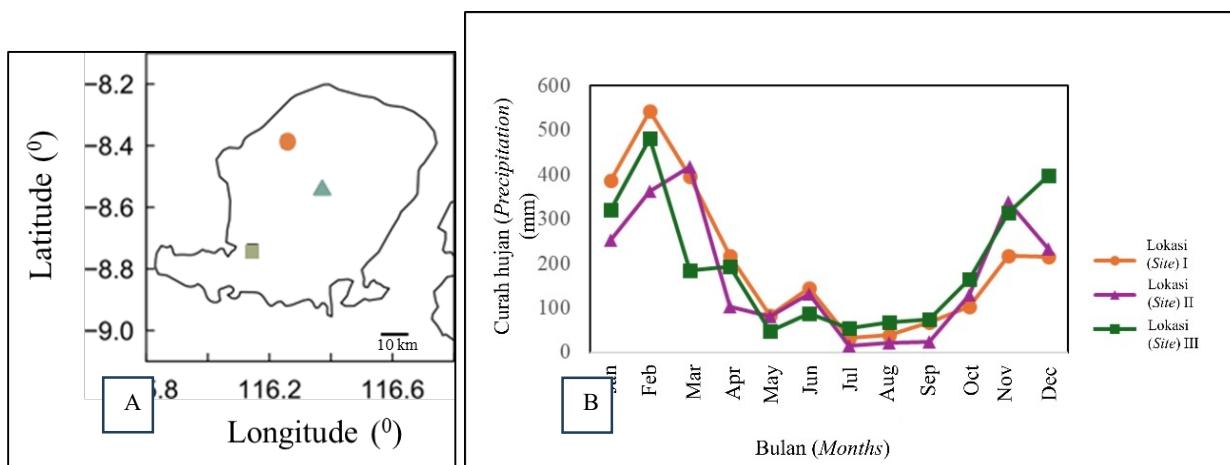
keperluan konstruksi, peralatan rumah tangga, maupun kerajinan. Bambu petung dikenal memiliki ukuran diameter yang besar dan kekuatan mekanis yang baik, sehingga berpotensi besar untuk aplikasi struktural. Sementara itu, bambu tali terkenal karena kelenturannya dan sering digunakan sebagai bahan anyaman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

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

II. BAHAN DAN METODE

A. Gambaran Umum Lokasi Pengambilan Sampel

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



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

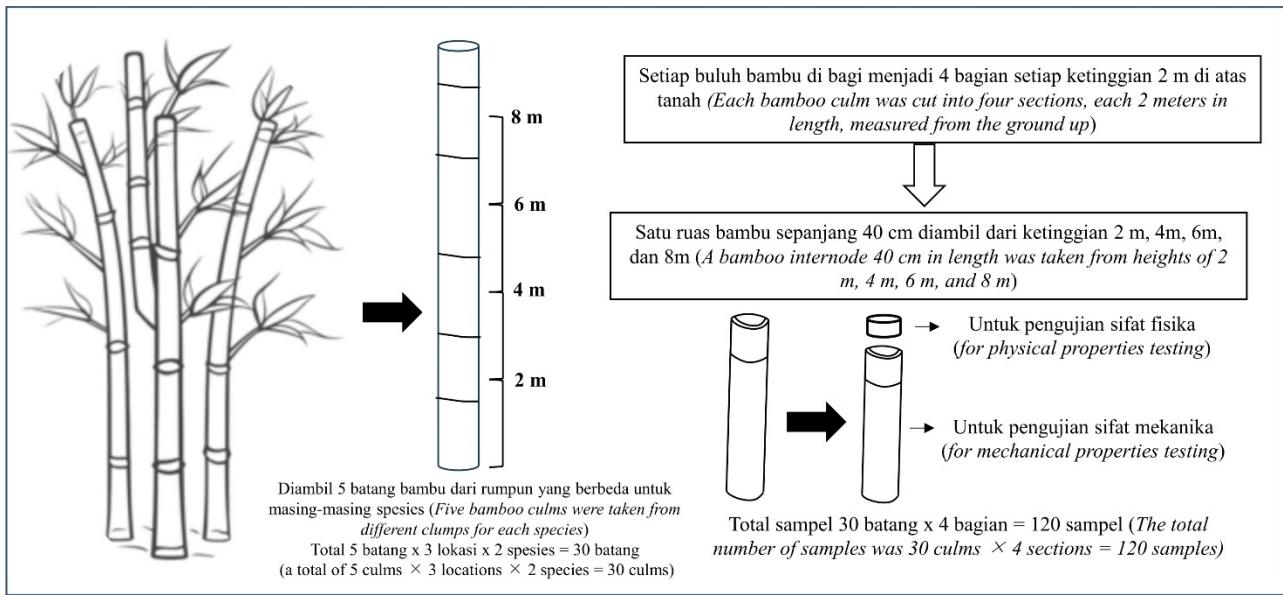


Gambar 2. Kondisi lokasi pengambilan sampel pada Lokasi I (A), Lokasi II (B), dan Lokasi III (C)
Figure 2. Sampling site conditions at Location I (A), Location II (B), and Location III (C)

B. Persiapan Sampel Bambu

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

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



Gambar 3. Ilustrasi Pengambilan Sampel
Figure 3. Sampling Illustration

C. Pengujian Sifat Fisika dan Mekanika

1. Kadar air segar dan berat jenis

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

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

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

$$\text{Penyusutan (\%)} = \frac{\text{Tebal awal} - \text{Tebal akhir}}{\frac{1,5 \times (\text{tebal awal} - \text{tebal akhir})}{\text{Kadar air Kering udara}}} \times 100 \quad (1)$$

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

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

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

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

$$MOR (\text{MPa}) = 3P_l / 2bh^2 \quad (3)$$

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

4. Analisis Statistika

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

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

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

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

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Pertumbuhan Bambu

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

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

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

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

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

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

Keterangan: n= jumlah sampel tiap lokasi

B. Sifat Fisika dan Mekanika

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

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

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

Rata-rata nilai *MOE* dan *MOR* dari *D. asper* dan *G. apus* adalah 8,27 GPa dan 108,8 MPa, dan 9,71 GPa dan 102,47 MPa, secara berurutan (Tabel 3). Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua spesies ini. Nilai *MOE* *G. apus* pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan *G. apus* dalam penelitian Abdullah (2017) yaitu 7,52 GPa. Namun nilai *MOE* dan *MOR* *G. apus* lebih rendah jika dibandingkan dengan spesies *Gigantochloa* lain seperti *G. atter*, *G. pseudoarundinaceae*, *G. verticillata*, *G. schortechinii*, dan *G. wrayi* (Abdullah, 2017; Nordahlia, 2019). Sementara itu nilai *MOE* dan *MOR* *D. asper* dalam penelitian ini juga lebih rendah dari *D. asper* yang tumbuh di Filipina dan Malaysia (Aguinsatan, 2019; Nordahlia *et al.*, 2019).

C. Model Variasi Longitudinal Sifat Fisika dan Mekanika

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

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

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

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

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

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

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

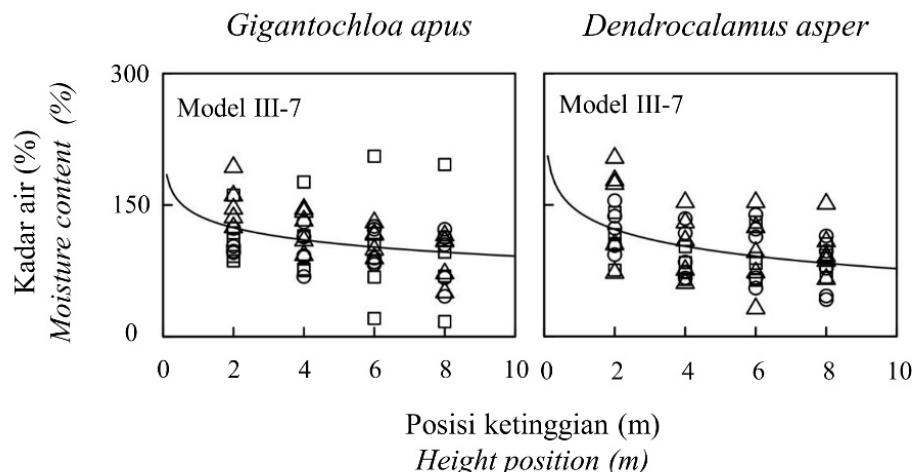
menunjukkan kecenderungan penurunan kadar air bambu dari bagian pangkal ke bagian ujung bambu, seperti pada *G. apus* yang tumbuh di Sumatera Utara (Hartono *et al.*, 2022), *G. schortechinii* yang tumbuh di Malaysia (Anokye *et al.*, 2014), serta *D. asper* yang tumbuh di Perak, Malaysia (Awaluddin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

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

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

Keterangan: Site₀= Slope lokasi tempat tumbuh; Indo= Slope individu bambu; Site₁= Intercept lokasi tempat tumbuh; Ind₁= Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; Δ AIC=Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.

Note: Site₀ = Slope of growing location; Indo = Slope of individual bamboo; Site₁ = Intercept of growing location; Ind₁ = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; Δ AIC = Difference in AIC values between rankings.



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

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

dipengaruhi oleh lokasi tempat tumbuh dan individu bambu.

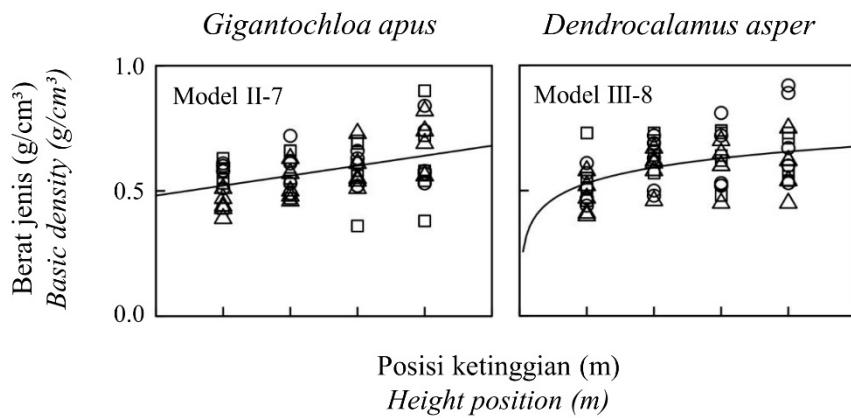
Berat Jenis. Tabel 5 menampilkan nilai AIC dari model yang dikembangkan untuk menganalisis variasi longitudinal berat jenis pada dua spesies bambu. Berdasarkan nilai AIC, model yang sesuai untuk menjelaskan variasi longitudinal berat jenis *G. apus* adalah model linear (Model II), sementara untuk *D.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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

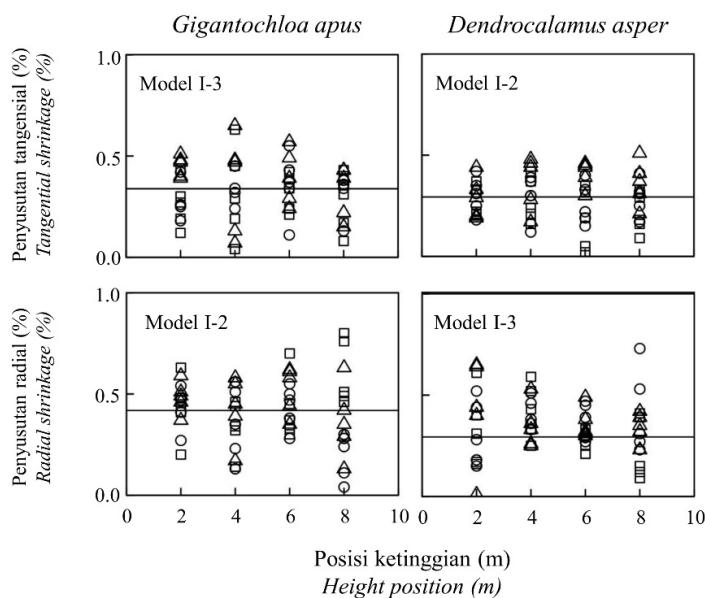
Tabel 6. Peringkat Nilai AIC untuk Model-model Persamaan pada Penyusutan Bambu
Table 6. AIC Rankings of Equation Models for Bamboo Shrinkage

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

5	III-8	v		-50.0556	8.3957	
6	III-3		v	-49.5824	8.8689	
7	II-12		v	-48.8773	9.5740	
8	III-2	v	v	-48.0552	10.3961	
9	III-7		v	-47.6488	10.8025	
10	III-6		v	-47.5786	10.8727	
δR						
1	I-2		v	-38.9202	0.0000	
2	I-3		v	-37.9159	1.0044	
3	III-5	v		-34.2833	4.6369	
4	II-14	v		-32.6489	6.2713	
5	III-6		v	-32.4825	6.4378	
6	III-2	v	v	-32.2833	6.6369	
7	III-8		v	-32.1078	6.8124	
8	III-9		v	-31.6503	7.2699	
9	III-3		v	-30.4817	8.4385	
10	II-15		v	-29.6667	9.2535	
<i>Dendrocalamus asper</i>						
δT						
1	I-2		v	-86.2591	0.0000	
2	I-1		v	-85.7460	0.5132	
3	I-3		v	-84.9899	1.2692	
4	III-2	v	v	-82.3632	3.8959	
5	II-9	v		-78.7931	7.4660	
6	II-14	v		-78.7869	7.4722	
7	III-6		v	-78.6265	7.6326	
8	II-8	v		-78.3983	7.8608	
9	III-3		v	-77.9764	8.2828	
10	II-13		v	-77.1432	9.1159	
δR						
1	I-1		v	v	-49.6312	0.0000
2	I-2		v	-51.0968	-1.4655	
3	I-3		v	-51.6312	-2.0000	
4	II-3	v	v	v	-38.7971	10.8341
5	II-5	v	v	v	-40.5863	9.0449
6	II-8	v		v	-40.9670	8.6643
7	II-9	v		v	-40.7971	8.8341
8	II-10		v	v	-40.6854	8.9459
9	II-12			v	-42.5488	7.0824
10	II-13		v		-42.5863	7.0449

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

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



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

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

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

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

Spesies (Species)	Peringkat (Rank)	Model Eq.	Random effect				AIC	Δ AIC
			$Site_0$	Ind_0	$Site_1$	Ind_1		
<i>Gigantochloa atter</i>	1	III-8		v			289.4637	0.0000
	2	III-5	v				289.7162	0.2525
	3	IV-8		v			290.0459	0.5822
	4	III-2	v	v			290.4242	0.9605
	5	III-6			v		291.5182	2.0545
	6	IV-6			v		291.6376	2.1739
	7	IV-9				v	291.8537	2.3900
	8	III-9				v	292.1019	2.6382
	9	I-2	v				292.4060	2.9423
	10	IV-5	v				292.8423	3.3786
<i>Dendrocalamus asper</i>	1	III-8		v			349.0819	0.0000
	2	III-2	v	v			351.0810	1.9991
	3	II-10		v		v	353.1690	4.0871
	4	II-5	v	v		v	355.0777	5.9958
	5	II-13		v			356.1874	7.1055
	6	II-1	v	v	v	v	357.0777	7.9958
	7	II-9	v		v		358.0618	8.9799
	8	II-8	v			v	367.2426	18.1607
	9	II-12				v	367.5603	18.4784
	10	II-6		v	v		369.4838	20.4019

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

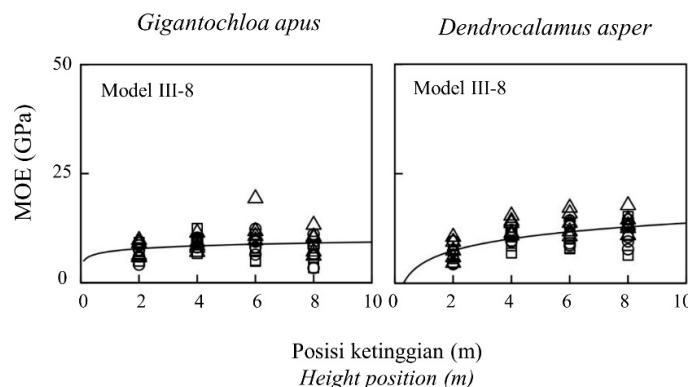
Note: $Site_0$ = Slope of growing location; Ind_0 = Slope of individual bamboo; $Site_1$ = Intercept of growing location; Ind_1 = Intercept of individual bamboo; AIC = Akaike Information Criterion; Δ AIC = Difference in AIC values between rankings.

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

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

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

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



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

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

Species (Species)	Peringkat (Rank)	Model Eq.	Random effect				AIC	ΔAIC
			Site_0	Indo	Site_1	Ind_1		
<i>Gigantochloa apus</i>	1	III-8		v			546.4094	0.0000
	2	III-7		v		v	547.7791	1.3697
	3	III-2	v	v			548.4094	2.0000
	4	II-13		v			549.2424	2.8330
	5	III-9			v		549.6408	3.2314
	6	IV-9			v		550.8310	4.4216
	7	III-3		v	v		551.6408	5.2314
	8	III-5	v				552.0983	5.6889
	9	III-6		v			552.0983	5.6889
	10	IV-3		v	v		552.8311	6.4217

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

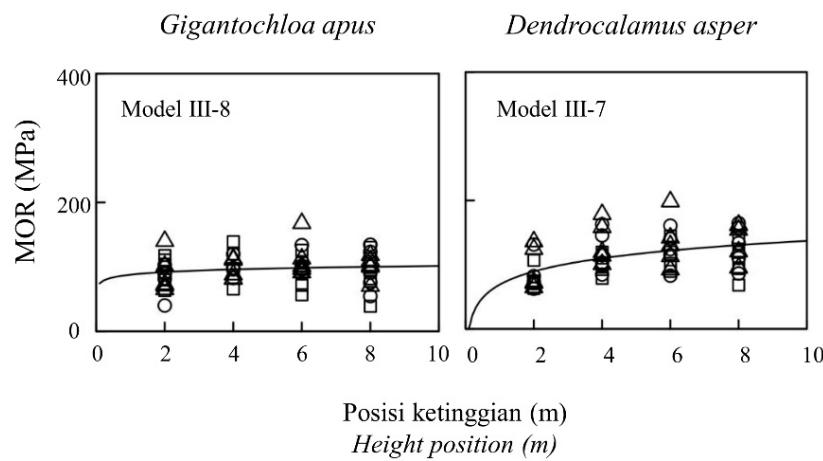
Keterangan: $Site_0$ = Slope lokasi tempat tumbuh; Ind_0 = Slope individu bambu; $Site_1$ = Intercept lokasi tempat tumbuh; Ind_1 = Intercept individu bambu; AIC= Akaike Information Criterion; ΔAIC =Selisih antara nilai AIC untuk setiap ranking.

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

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

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

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



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

IV. KESIMPULAN

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

DAFTAR PUSTAKA

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

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

IDENTIFIKASI SENYAWA KIMIA PENYUSUN MINYAK ATSIRI SYZYGIUM (*IDENTIFICATION OF CHEMICAL COMPOUND FROM SYZYGIUM ESSENTIAL OIL*)

Yeni Mariani^{1*}, Fathul Yusro, Hikma Yanti
Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124, (0561) 767673
***E-mail: yeni.mariani81@gmail.com**

Diterima: 16 Maret 2025, direvisi: 10 November 2025, disetujui: 17 November 2025

ABSTRACT

Essential oils are one of the important non-timber forest products (NTFPs), produced by plants as secondary metabolites. Plants of the *Myrtaceae* family are well known for producing essential oils, and *Syzygium* is one of its prominent genera. Species from this genus, namely *Syzygium polyanthum* (Salam), *S. myrtifolium* (Pucuk Merah), and *S. aqueum* (Jambu Air) are common plants that are widely cultivated as ornamentals, spices, and fruit-bearing species, and they possess significant potential as sources of essential oils. This study aimed to determine (1) the yield of essential oils from the leaves of three *Syzygium* species, and (2) to identify the chemical components of the obtained essential oils. The leaves of the three species were distilled using steam and water distillation to extract essential oils. The oil yield was calculated, and its chemical constituents were analyzed with GC-MS. The results showed that the highest essential oil yield was obtained from *S. aqueum* (0.167%), followed by *S. polyanthum* (0.080%) and *S. myrtifolium* (0.061%). The essential oil of *S. myrtifolium* contained the greatest number of compounds (65), followed by *S. aqueum* (46 compounds) and *S. polyanthum* (18 compounds). The main constituents of *S. polyanthum* essential oil were caryophyllene (40.79% rel.) and humulene (17.61% rel.); *S. myrtifolium* oil was dominated by 3-carene (20.05% rel.) and caryophyllene (16.45% rel.); while *S. aqueum* oil was mainly composed of 3-carene (23.58% rel.) and caryophyllene (18.96% rel.). Caryophyllene was identified as one of the principal compounds common to all three *Syzygium* species.

Keywords: *Caryophyllene, essential oils, jambu air (Syzygium aqueum), pucuk merah (Syzygium myrtifolium), salam (Syzygium polyanthum)*

ABSTRAK

Minyak atsiri merupakan salah satu produk hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang bernilai ekonomi tinggi. Minyak atsiri dihasilkan oleh tumbuhan-tumbuhan sebagai hasil metabolit sekundernya. Tumbuhan dari famili *Myrtaceae* telah dikenal sebagai penghasil minyak atsiri., diantara banyaknya genus pada famili *Myrtaceae*, *Syzygium* merupakan salah satu anggotanya. Tumbuhan dari genus ini, yaitu salam (*Syzygium polyanthum*), pucuk merah (*S. myrtifolium*) dan jambu air (*S. aqueum*) merupakan tumbuhan yang mudah ditemukan, banyak ditanam sebagai tanaman hias, tanaman penghasil rempah dan buah-buahan, yang memiliki potensi besar untuk menghasilkan minyak atsiri. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai rendemen, karakteristik dan senyawa penyusun dari minyak atsiri dari daun ketiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* tersebut. Tujuan penelitian ini adalah: (1) menentukan rendemen minyak atsiri dari daun tiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium*, (2) mengidentifikasi komponen kimia penyusun minyak atsiri dari ketiga tumbuhan tersebut. Daun tumbuhan salam, pucuk merah dan jambu air didestilasi dengan uap dan air untuk memperoleh minyak atsiri. Minyak atsiri dari masing-masing jenis tumbuhan tersebut ditentukan rendemennya, kemudian dianalisis senyawa kimia penyusun dari minyak atsiri yang dihasilkan oleh setiap jenis tumbuhan tersebut menggunakan GC-MS Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen minyak atsiri tertinggi berasal dari daun jambu air (0,167%) yang diikuti oleh daun salam (0,08%) dan pucuk merah (0,061%). Minyak atsiri yang dihasilkan oleh daun pucuk Merah (*S. myrtifolium*) memiliki jumlah senyawa penyusun yang lebih banyak (65 jenis) dibandingkan dengan minyak atsiri dari jambu air



(*S. aqueum*) yang tersusun atas 46 senyawa dan 18 senyawa yang dimiliki oleh daun salam. Komponen senyawa utama dari minyak atsiri daun Salam, yaitu caryophyllene (40,79% rel) dan humulene (17,61% rel). Senyawa seperti yaitu 3-carene (20,05% rel) dan caryophyllene (16,45% rel) merupakan penyusun utama minyak atsiri daun pucuk merah, sedangkan untuk minyak atsiri daun jambu air penyusun utamanya adalah 3-carene (23,58% rel), carophyllene (18,96% rel). Caryophyllene merupakan salah satu senyawa penyusun yang konsisten ditemukan pada minyak atsiri dari ketiga jenis tumbuhan yang diuji.

Kata kunci: Caryophyllene, minyak atsiri, jambu air (*Syzygium aqueum*), pucuk merah (*Syzygium myrtifolium*), salam (*Syzygium polyanthum*)

I. PENDAHULUAN

Tumbuhan dapat menghasilkan berbagai metabolit sekunder dan senyawa volatil yang biasa dikenal sebagai minyak atsiri (Bolouri et al., 2022). Minyak atsiri atau *essential oils* merupakan cairan pekat yang memiliki aroma khas. Disebut *essential* karena memiliki aroma yang unik dan tidak umum ditemukan pada setiap jenis tumbuhan (Kementerian Perdagangan Republik Indonesia, 2011). Minyak atsiri merupakan salah satu produk hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang bernilai ekonomi tinggi. Minyak atsiri ini dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan sebagai hasil metabolit sekundernya.

Secara alami, minyak atsiri ini dihasilkan oleh tumbuhan sebagai bentuk adaptasi terhadap faktor lingkungan biotik dan abiotik (Mustapa et al., 2023). Minyak atsiri dihasilkan oleh tanaman aromatik yang berasal dari metabolit sekundernya (Mohamed & Alotaibi, 2023). Minyak atsiri merupakan persenyawaan kompleks yang terdiri atas terpene, hidrokarbon seperti monoterpenes, seskuiterpen dan turunan dari sejumlah aldehid, keton, epoksi, alkohol dan ester, yang memiliki sifat mudah menguap. Kadar minyak atsiri, sifat fisik dan komponen kimia penyusunnya memiliki variasi yang luas yang disebabkan oleh faktor eksternal dan internal tanaman (Żukowska & Durczyńska, 2024). Faktor internal tumbuhan tersebut yaitu faktor genetik (jenis, ekotipe, kemotipe, kultivar dan varietas), tingkat pertumbuhan, dan bagian tumbuhan. Faktor eksternal meliputi kondisi lingkungan, tempat tumbuh, proses pemanenan, metode paska pemanenan, dan metode isolasi akan mempengaruhi kualitas dan karakteristik minyak atsiri (Mohamed & Alotaibi, 2023); (Żukowska & Durczyńska, 2024).

Indonesia, sebagai negara di jalur khatulistiwa yang memiliki iklim tropis, memiliki potensi berbagai jenis tumbuhan penghasil minyak atsiri yang besar. Tumbuhan dari famili *Myrtaceae* telah dikenal sebagai penghasil minyak atsiri (Benddine et al., 2023). Karakteristik dari tumbuhan famili ini yaitu adanya kelenjar minyak pada daun, bunga, dan batang menjadikannya sebagai famili tumbuhan yang berpotensi sebagai penghasil minyak atsiri. Tercatat tumbuhan dari famili ini

yang merupakan penghasil minyak atsiri yang telah dikenal dan telah diperdagangkan secara luas, yaitu cengkeh (*Syzygium aromaticum*).

Secara hubungan kekerabatan atau filogeni, pada umumnya jenis-jenis tumbuhan yang berada dalam satu family cenderung memiliki senyawa metabolit sekunder yang sama. Hal ini kemudian digunakan oleh para ahli botani dan kimia sebagai dasar dalam eksplorasi senyawa metabolit sekunder tumbuhan. Tumbuhan salam (*Syzygium polyanthum*), pucuk merah (*S. myrtifolium*) dan jambu air (*S. aqueum*) merupakan anggota genus *Syzygium* dari famili *Myrtaceae* yang telah lama dikenal dan dimanfaatkan oleh masyarakat secara luas. Salam dimanfaatkan daunnya sebagai rempah dan bahan tambahan dalam masakan serta bahan dalam pengobatan tradisional (Julizan et al., 2023). Pucuk merah memiliki warna yang indah (merah, hijau kemerahan dan hijau) sehingga banyak ditanam sebagai tanaman hias dan pagar hidup (Suryati et al., 2023). Tanaman Jambu air menghasilkan buah yang memiliki rasa manis-asam serta mengandung banyak air. Buah jambu air mengandung kalori, protein, karbohidrat, vitamin A dan C yang baik untuk kesehatan dan dapat meningkatkan imunitas (Aprilia et al., 2021). Masyarakat banyak menanam tumbuhan ini sebagai sumber buah.

Tumbuhan salam (*S. polyanthum*), pucuk merah (*S. myrtifolium*) dan jambu air (*S. aqueum*) merupakan tanaman yang mudah ditemukan di Indonesia. Ketiga jenis tersebut banyak ditanam oleh masyarakat karena memiliki banyak fungsi serta memiliki potensi besar untuk menghasilkan minyak atsiri. Akan tetapi belum banyak kajian yang membahas tentang rendemen dan komponen senyawa penyusun minyak atsiri dari ketiga jenis tanaman ini. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian mengenai rendemen, karakteristik dan senyawa penyusun minyak atsiri dari daun ketiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* tersebut. Besarnya variasi terhadap kualitas dan jenis minyak atsiri yang mungkin terjadi, membuka peluang untuk dilakukannya eksplorasi untuk menemukan tumbuhan penghasil minyak atsiri baru yang berpotensi untuk dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rendemen minyak atsiri dari bagian daun tiga jenis

tumbuhan anggota genus *Syzygium* dan mendapatkan komponen kimia penyusun minyak atsiri dari ketiga tumbuhan tersebut

II. BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan dibulan Juni-Agustus 2024. Sampel penelitian diambil dari Kabupaten Sambas Kalimantan Barat. Penyulingan minyak atsiri dilakukan di Laboratorium Kimia Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura, dan pengujian analisis senyawa kimia penyusun minyak atsiri dilakukan di Laboratorium Polda Kalimantan Barat.

Alat dan Bahan

Seperangkat alat penyulingan minyak atsiri, timbangan, GC-MS Shimadzu QP 2010 S, pipet, botol vial dan tabung reaksi. Bahan yang digunakan meliputi daun salam (*S. polyanthum*), daun pucuk merah (*S. myrtifolium*) dan daun jambu air (*S. aqueum*) dan magnesium sulfat ($MgSO_4$) anhidrat.

Metode

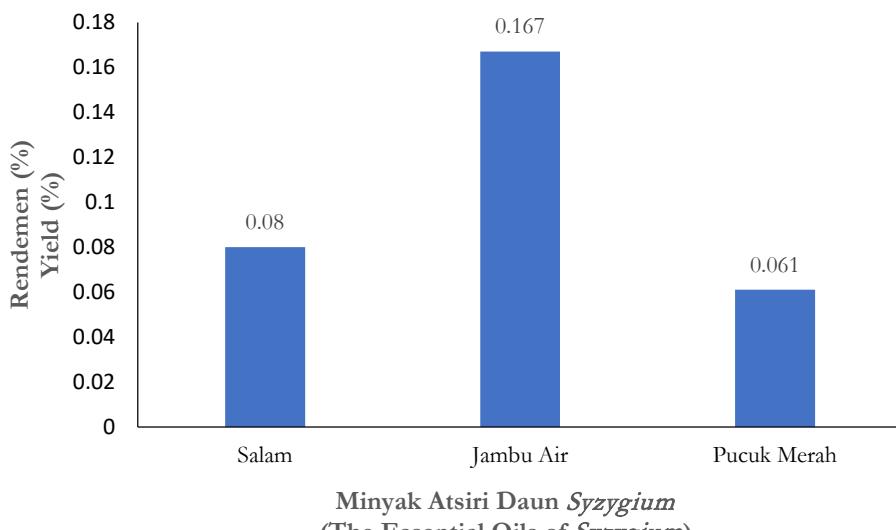
Daun pucuk merah, daun jambu dan daun salam dibersihkan dan dikering-udarakan untuk selanjutnya dipotong-potong untuk mendapatkan ukuran yang lebih kecil agar memaksimalkan

keluarnya minyak yang terdapat pada daun tersebut pada saat penyulingan (Kartiko et al., 2021). Penyulingan uap dan air digunakan sebagai metode untuk memperoleh minyak atsiri dari ketiga jenis sampel tersebut. Proses penyulingan dilakukan 1 kali selama 5 jam dengan suhu berkisar 100°C (Udawaty et al., 2019). Minyak atsiri yang diperoleh diberikan magnesium sulfat ($MgSO_4$) anhidrat, dikocok hingga jenuh, dan didiamkan sejenak. Minyak yang dihasilkan dipisahkan ke botol vial lainnya menggunakan pipet. Minyak atsiri yang diperoleh, kemudian diukur rendemennya, dan dianalisis komponen senyawa kimianya dengan GC-MS (Choironi et al., 2023).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tumbuhan dari famili *Myrtaceae* secara mudah dapat dibedakan dari tumbuhan famili lainnya. Karakteristik khas yang sering ditemukan seperti kulit batang yang bercorak khas, ditemukannya aroma pada bagian daun karena mengandung kelenjar minyak, serta daun yang cenderung rata. Tumbuhan dari famili ini memiliki nilai ekonomi yang penting yaitu bagian kayunya dapat dimanfaatkan sebagai kayu gergajian, daun serta bagian lainnya dapat menghasilkan minyak atsiri, pewarna alami, rempah, pakan hewan dan obat tradisional. Tumbuhan famili *Myrtaceae* ini juga dapat dijadikan sebagai tumbuhan hias (Pratiwi & Nurlaeni, 2021).

A. Rendemen minyak atsiri



Gambar 1. Persentase Rendemen Minyak Atsiri
Figure 1. The Essential Oils Yield

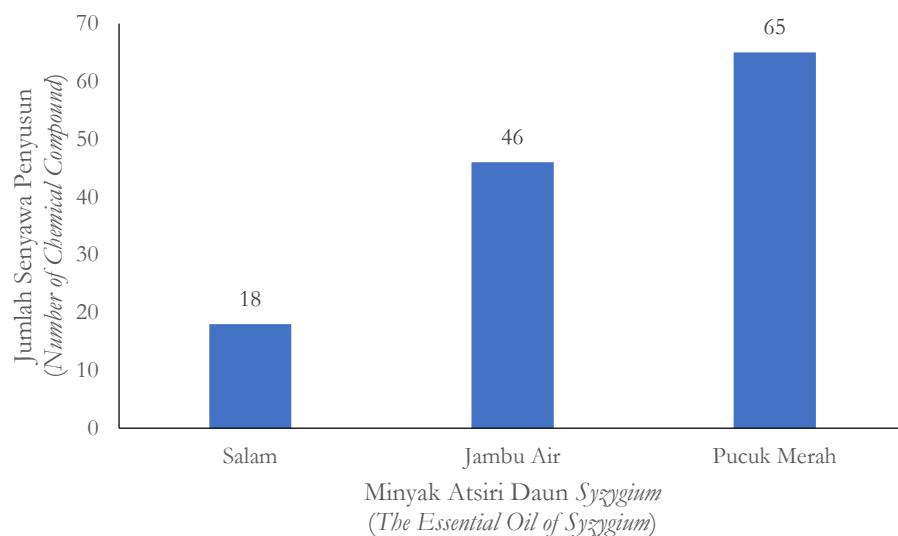
Pada Gambar 1 diatas terlihat bahwa daun jambu air (*S. aqueum*) menghasilkan rendemen minyak tertinggi (0,167%) yang diikuti oleh daun salam (0,08%) dan pucuk merah (0,061%). Rendemen minyak atsiri yang diperoleh dari ketiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* ini lebih tinggi dibandingkan dengan yang dilaporkan oleh Hanif et al. (2020) yang mendestilasi daun *S. cuminii* dan menghasilkan rendemen minyak atsiri sebesar 0,03%, minyak atsiri dari *S. myrtifolium* (0,0078-0,002%) (Hamidi et al., 2024). Rendemen yang diperoleh dari tiga jenis minyak atsiri dalam penelitian ini lebih rendah apabila dibandingkan dengan yang dilaporkan oleh Huong et al. (2023) yang melakukan destilasi untuk mendapatkan minyak atsiri dari bagian daun beberapa jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* yang tumbuh di Vietnam seperti *S. levinei* dan *S. acuminatissimum* yang diperoleh sebesar 0,16%.

B. Analisa komponen kimia

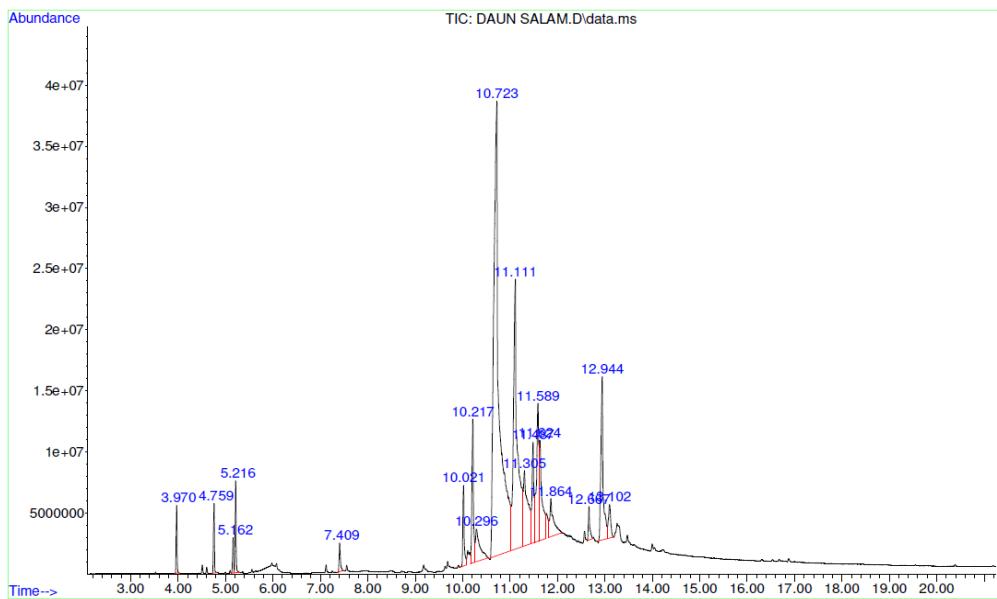
Analisis kandungan senyawa kimia penyusun dari ketiga jenis minyak atsiri yang telah dihasilkan dilakukan menggunakan kromatografi gas spektrometri massa (GC-MS) (Fan et al., 2018). GC-MS merupakan suatu teknik analisa yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa kimia penyusun suatu bahan organik dengan kondisi yang

terkendali. GC-MS juga dapat digunakan untuk menganalisa senyawa yang bersifat volatil (Ueta, 2022). Analisis dengan GC-MS memiliki beberapa kelebihan diantaranya efisien, cepat dalam pemisahan, waktu yang pendek untuk analisis, murah, sensitivitas tinggi dan dapat mendeteksi adanya senyawa volatil walaupun dalam jumlah yang kecil (Aidha et al., 2019). Jumlah senyawa penyusun dari ketiga jenis minyak atsiri tersebut disajikan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa minyak atsiri daun pucuk merah (*S. myrtifolium*) memiliki jumlah senyawa penyusun yang lebih banyak (65) dibandingkan dengan minyak atsiri daun jambu air (*S. aqueum*) yang tersusun atas 46 senyawa dan 18 senyawa yang dimiliki oleh daun salam (*Syzygium polyanthum*). Hasil pembacaan GC-MS dari ketiga jenis minyak atsiri disajikan pada Gambar 3, 4 dan 5. Penggunaan GC-MS dapat mengidentifikasi senyawa yang terdapat pada minyak atsiri dengan cara membandingkan massa hasil pemisahan GC pada setiap *peak* pada hasil kromatogram dengan massa yang yang terdapat di data Library Wiley (Mustapa et al., 2023). Kromatografi gas (GC) dapat memisahkan molekul menjadi beberapa komponen, sedangkan spektrometri massa (MS) dapat mendeteksi massa molekul masing-masing komponen yang telah dipisahkan pada sistem kromatografi gas (Istiqomah et al., 2020).



Gambar 2. Jumlah Senyawa Penyusun Minyak Atsiri
Figure 2. Number of Chemical Constituents of Essential Oils

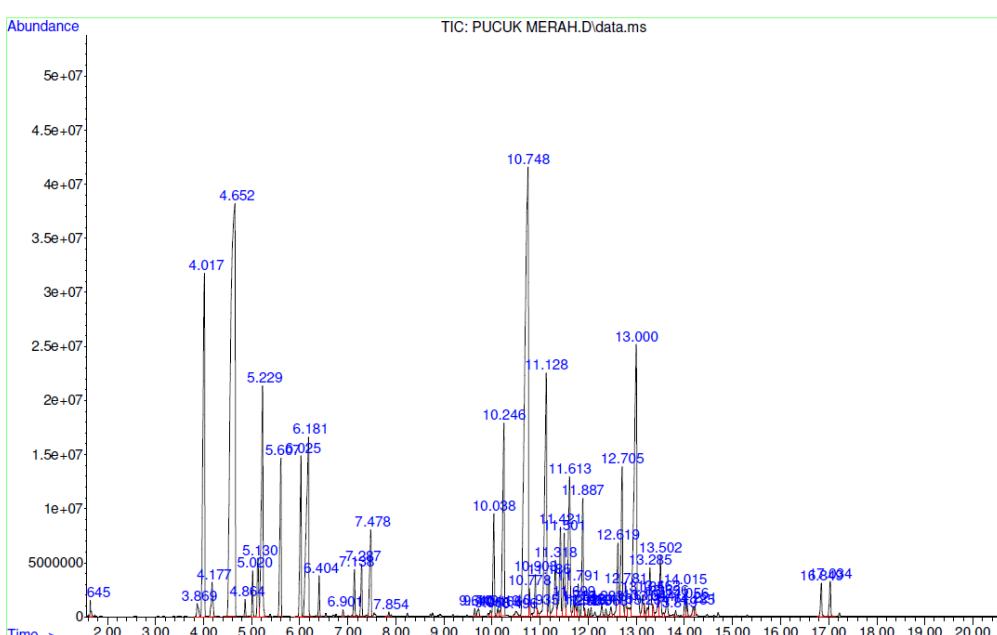


Gambar 3. Kromatogram Senyawa Penyusun Minyak Atsiri Daun Salam
Figure 3. The chromatogram of chemical constituents of Salam essential oils

Hasil analisis dengan GC-MS menunjukkan bahwa minyak atsiri daun salam yang berasal dari Kabupaten Kubu Raya ini disusun oleh 18 senyawa kimia penyusun (Gambar 3). Jumlah senyawa kimia penyusun dari minyak atsiri daun salam yang diperoleh dari hasil penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan yang dilaporkan oleh Istiqomah et al. (2020), yaitu sebanyak 31 senyawa, dan yang dilaporkan oleh Hamad et al. (2017) dari jenis tumbuhan yang sama namun berasal dari Purwokerto.

Komponen utama senyawa penyusun (senyawa dengan persentase > 10%) minyak atsiri daun salam (*S. polyanthum*) yaitu: caryophyllene (40,79% rel) dan humulene (17,61% rel). Senyawa penyusun intermediet (5-10%) yaitu: minoxidil

(6,13% rel), guaia-9,11 diene (5,3% rel) dan alloaromadendrene (5,43% rel). Senyawa penyusun dengan konsentrasi (1-5%) yaitu guaia-9,11-diene (4,85% rel), Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,2.beta.,4.beta.)]- (3,77% rel), Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2-, 4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.al pha.,2.beta.,4.beta.)]- (2,31% rel), .alpha.-guaiene (2,91% rel), Copaene (1,78% rel), eucalyptol (1,48% rel), octanal (1,1% rel), Cyclohexene, 6-ethenyl-6-methyl-1-v (1-methylethyl)-3-(1-methylethylidene)-, (S)- (2,28% rel). Sedangkan 7 senyawa lainnya yang terdeteksi dalam minyak atsiri daun salam memiliki persentase < 1%.



Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa senyawa utama penyusun dari minyak atsiri daun salam adalah caryophyllene dengan persentase 40,79% rel. Senyawa ini juga dilaporkan ditemukan pada minyak atsiri daun salam yang berasal dari Purwokerto tetapi dengan konsentrasi yang jauh lebih rendah yaitu 1,734% (Hamad et al., 2017). Caryophyllene dan humulene juga ditemukan pada minyak atsiri daun salam asal Sintang, tetapi dengan persentase yang lebih rendah, yaitu 12,01% untuk senyawa caryophyllene dan 13,11% untuk humulene (Istiqomah et al., 2020).

Pada Gambar 4 terlihat bahwa minyak atsiri dari daun pucuk merah (*S. myrtifolium*) tersusun oleh banyak senyawa (65). Jumlah senyawa penyusun ini lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah senyawa yang dilaporkan oleh Jena et al. (2021) untuk jenis yang sama yang berasal dari India yang hanya berjumlah 43 jenis senyawa penyusun.

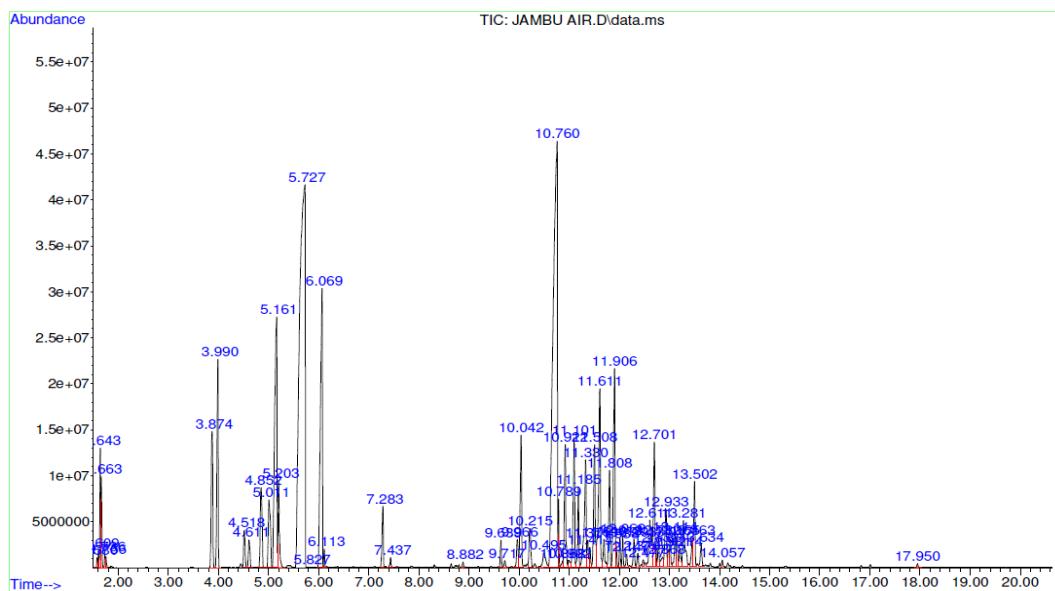
Komponen utama (senyawa dengan persentase > 10%) dari minyak atsiri daun pucuk merah (*S. myrtifolium*) yaitu 3-carene (20,05% rel) dan caryophyllene (16,45% rel). Senyawa penyusun intermediet (5-10%) yaitu gamma-terpine (6,43% rel), Minoxidil (7,56% rel) dan humulene (5,08% rel). Senyawa dengan konsentrasi (1-5% rel) seperti linalool (4,61% rel), D-limonene (4,14% rel), Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2, 4-bis(1-methylethenyl)- (3,33% rel), 1H-Cyclopropa[a]naphthalene, 1a,2, 3,3a,4,5,6,7b-octahydro-1,1,3a,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,3a.alpha.,7b.alpha.)]- (2,88% rel), longifolene (2,40% rel), terpinene (2,22% rel), 2-carene (2,25% rel), germacrene (1,4% rel), terpineol (1,34% rel), 1H-Cyclopropa[a]naphthalene, 1a,2, 3,3a,4,5,6,7b-octahydro-1,1,3a,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,3a.alpha.,7b.alpha.)]- (1,08% rel). Terdapat 30 jenis senyawa lainnya yang memiliki konsentrasi kurang dari 1%.

Berdasarkan hasil pembacaan GC-MS, komponen utama dari minyak atsiri daun pucuk merah (*S. myrtifolium*) yaitu senyawa yaitu 3-carene (20,05% rel) dan caryophyllene (16,45%

rel). Jenis senyawa yang sama yaitu caryophyllene juga dilaporkan oleh (Jena et al., 2021) sebagai penyusun dari minyak atsiri daun pucuk merah yang berasal dari India.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa minyak atsiri dari daun jambu air tersusun atas 46 senyawa. Jumlah senyawa penyusun yang ditemukan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan yang dilaporkan oleh Sobeh et al. (2016) untuk jenis yang sama yaitu sejumlah 84 senyawa. Komponen utama (senyawa dengan persentase > 10%) penyusun dari minyak atsiri daun jambu air (*S. aqueum*) yaitu 3-carene (23,58% rel), carophyllene (18,96% rel). Senyawa penyusun intermediet (5-10%) yaitu benzene, 1,2,3,4-tetramethyl- (6,08%) dan 2-carene (5,85% rel). Komponen senyawa penyusun dari minyak atsiri daun jambu air yang memiliki konsentrasi (1-5%) yaitu Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydronaphthalene, 1a,2, 3,3a,4,5,6,7b-octahydro-1,1,3a,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,3a.alpha.,7b.alpha.)]- (3,45% rel), Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylenecyclohexene-7-(1-methylethyl)-, [4aR-(4a.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)] (2% rel), gamma-Terpinene (2,76% rel), .alpha.-Phellandrene (2,31% rel), humulene (2% rel), gamma-muurolene (2,15% rel), aromandendrene (2% rel), .alpha.-copaene (1,99% rel), alloaromadendrene (1,90% rel), .alpha.-Phellandrene (1,53% rel), (+)-4-Carene (1,51% rel), D-limone (1,25% rel), gamma muurolene (1,11% rel). Sedangkan 27 jenis senyawa penyusun lainnya dari minyak atsiri daun jambu air hanya memiliki konsentrasi <1%.

Penelitian yang dilakukan oleh Sobeh et al. (2016) menemukan bahwa alfa-selinene (13,85% rel), beta-caryophyllene (12,72% rel), beta-selinene (13,85% rel) dan cuminaldehyde (9,82% rel) merupakan senyawa utama penyusun dari minyak atsiri daun jambu air (*S. aqueum*) asal india. Pada penelitian ini juga ditemukan senyawa utama penyusun minyak atsiri daun jambu air yang sama dengan penelitian tersebut yaitu carophyllene dengan konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 18,96% (rel).



Gambar 5. Kromatogram Senyawa Penyusun Minyak Atsiri Daun Jambu Air
Figure 5. The Chromatogram of Chemical Constituents of Jambu Air Leaves Essential Oils

Tabel 1. Komposisi kimia penyusun utama tiga tumbuhan anggota genus Syzygium
Table 1. The major chemical composition of three plants species of Syzygium genus

No	Waktu Retensi Retention Time	Komponen Senyawa Chemical Compound	Percentase Area (%) (Area Percentage %)		
			Salam (<i>S. polyanthum</i>)	Pucuk Merah (<i>S. myrtifolium</i>)	Jambu Air (<i>S. aqueum</i>)
1	4.017	gamma-Terpinene	-	6.43	-
2	4.652	3-Carene	-	20.05	-
3	5.161	Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl-	-	-	6.08
4	5.229	D-Limonene	-	4.14	-
5	5.727	3-Carene	-	-	23.58
6	6.069	2-Carene	-	-	5.85
7	10.217	Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2, 4-bis(1-methylethylene)-, [1S-(1.alpha., 2.Beta., 4.beta.)]-	3.77	-	-
8	10.723	Caryophyllene	40.79	16.45	18.95
	10.748				
	10.760				
9	11.111	Humulene	17.61	5.08	-
	11.128				
10	11.589	Guaia-9,11-diene	5.30	-	-
11	12.944	Minoxidil	6.13	7.56	-
	13.00				

Pada Tabel 1 terlihat bahwa terdapat senyawa penyusun dari minyak atsiri yang dapat ditemukan di ketiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* yaitu Caryophyllene. Persentase caryophyllene tertinggi ditunjukkan oleh minyak atsiri daun salam (40,79% rel), diikuti oleh jambu air (18,95% rel) dan 16,45% rel pada daun pucuk merah. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Huong et al. (2023) yang menganalisis komponen kimia penyusun minyak atsiri dari daun lima jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* asal Vietnam.

Caryophyllene dilaporkan oleh beberapa peneliti telah terbukti memiliki aktivitas biologis dengan spektrum yang luas. Senyawa ini memiliki kemampuan sebagai modulator untuk sistem syaraf (neuroprotektif) dan memiliki kemampuan sebagai anti-inflamasi dan antibakteri (Dickson et

al., 2023; Francornano et al., 2019). Menurut Setiawansyah & Gemantari (2022), caryophyllene dan isomernya memiliki aktivitas sebagai antiproliferasi, anti oksidan, dan anti-inflamasi. Berdasarkan informasi mengenai komponen senyawa penyusun dari ketiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* yaitu Salam (*Syzygium polyanthum*), Pucuk merah (*S. myrtifolium*) dan jambu air (*S. aqueum*) maka langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menentukan peluang pemanfaatan dari minyak atsiri ketiga jenis tumbuhan tersebut. Hal ini dapat diperoleh dengan melakukan pengujian bioaktivitas untuk menentukan aktivitas biologis dari ketiga jenis minyak atsiri tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Minyak atsiri yang diperoleh dari daun salam (*S. polyanthum*) memiliki nilai rendemen sebesar 0,08%, dan tersusun atas 18 jenis senyawa. Senyawa utama penyusun minyak atsiri salam adalah caryophyllene (40,79% rel) dan humulene (17,61% rel). Rendemen minyak atsiri dari daun pucuk merah (*S. myrtifolium*) sebesar 0,061%, yang tersusun atas 65 jenis senyawa. Senyawa utama penyusun minyak atsiri ini adalah 3-carene (20,05% rel) dan caryophyllene (16,45% rel). Minyak atsiri dari daun jambu air (*S. aqueum*) memiliki nilai rendemen tertinggi yaitu 0,167%, dengan 46 jenis senyawa penyusun. Senyawa utama penyusun minyak atsiri daun jambu air adalah 3-carene (23,58% rel), carophyllene (18,96% rel). Caryophyllene merupakan senyawa utama yang menyusun minyak atsiri ketiga jenis tumbuhan anggota genus *Syzygium* ini. Caryophyllene berpotensi sebagai antiproliferasi, anti oksidan, anti-inflamasi, anti bakteri, dan sebagai modulator untuk sistem syaraf.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih atas dukungan Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura atas dana penelitiannya melalui DIPA Tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Aidha, N. N., Yunilawati, R., & Rumondang, I. (2019). Method Development for Analysis of Essential Oils Authenticity using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). *2nd International Conference of Essential Oils*, 41–46. <https://doi.org/10.5220/0009956000410046>
- Aprilia, J. Z., Wisanti, & Putri, E. K. (2021). Kajian Taksonomi Numerik Tiga Jenis *Syzygium* Berdasarkan Karakter Morfologi. *Lentera Bio*, 10(1), 40–50. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index40>
- Benddine, H., Zaid, R., Babaali, D., & Daoudi-Hacini, S. (2023). Biological activity of essential oils of *Myrtus communis* (Myrtaceae, Family) and *Foeniculum vulgare* (Apiaceae, Family) on open fields conditions against corn aphids *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) in western Algeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(2), 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.07.001>
- Bolouri, P., Salami, R., Kouhi, S., Kordi, M., Asgari, B., Hadian, J., & Astatkie, T. (2022). Aplicaciones de aceites esenciales y extractos de plantas en diferentes industrias. *Moleculas*, 27(24), 1–17.
- Choironi, N. A., Sunarto, S., Utami, E. D., & Fareza, M. S. (2023). GC-MS Analysis and Antibacterial Activity of Essential Oils of Five *Syzygium* Species Leaves. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(1), 61. <https://doi.org/10.20961/alchemy.19.1.67401.61-67>
- Dickson, K., Scott, C., White, H., Zhou, J., Kelly, M., & Lehmann, C. (2023). Antibacterial and Analgesic Properties of Beta-Caryophyllene in a Murine Urinary Tract Infection Model. *Molecules*, 28(10), 1–12. <https://doi.org/10.3390/molecules28104144>
- Fan, S., Chang, J., Zong, Y., Hu, G., & Jia, J. (2018). GC-MS analysis of the composition of the essential oil from *Dendranthema indicum* Var. Aromaticum using three extraction methods and two columns. *Molecules*, 23(3), 1. <https://doi.org/10.3390/molecules23030576>
- Francomano, F., Caruso, A., Barbarossa, A., Fazio, A., Torre, C. La, Ceramella, J., Mallamaci, R., Saturnino, C., Iacopetta, D., & Sinicropi, M. S. (2019). β-caryophyllene: A sesquiterpene with countless biological properties. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(24), 1–19. <https://doi.org/10.3390/app9245420>
- Hamad, A., Mahardika, M. G. P., Yuliani, I., & Hartanti, D. (2017). Chemical constituents and antimicrobial activities of essential oils of *Syzygium polyanthum* and *Syzygium aromaticum*. *Rasayan Journal of Chemistry*, 10(2), 564–569. <https://doi.org/10.7324/RJC.2017.1021693>
- Hamidi, Z., Sribudiani, E., & Pramana, A. (2024). Yield and Quality of Red Pucuk Essential Oil Through the Steam Distillation Method. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 42(2), 19–28. <https://doi.org/10.55981/jhhh.2024.4503>
- Huong, L. T., Hung, N. H., Linh, N. N., Pham, T. V., Dai, D. N., Hop, N. Q., Setzer, W. N., Son, N. T., Andlauer, W., & Brück, W. M. (2023). Essential Oils of Five *Syzygium* Species Growing Wild in Vietnam: Chemical Compositions and Antimicrobial and Mosquito Larvicidal Potentials. *Molecules*, 28(22). <https://doi.org/10.3390/molecules28227505>
- Istiqomah, Harlia, & Jayuska, A. (2020). Karakterisasi Minyak Atsiri Daun Salam (*Syzygium polyanthum* Wight) Asal Kalimantan Barat Dengan Metode Destilasi Uap. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(3), 37–44.
- Jena, S., Ray, A., Sahoo, A., Das, P. K., Dash, K. T., Kar, S. K., Nayak, S., & Panda, P. C. (2021). Chemical Composition and Biological Activities of Leaf Essential Oil of *Syzygium myrtifolium* from Eastern India. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 24(3), 582–595. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1947897>
- Julizan, N., Ishmayana, S., Zainuddin, A., Van Hung, P., & Kurnia, D. (2023). Potential of *Syzygium polyanthum* as Natural Food Preservative: A Review. *Foods*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/foods12122275>

- Kartiko, A. B., Kuspradini, H., & Rosamah, E. (2021). Karakteristik Minyak Atsiri Daun Melaleuca leucadendra L. dari Empat Lokasi yang Berbeda Di Kabupaten Paser Kalimantan Timur. *Ulin-J Hut Trop*, 5(2), 80–85.
- Mohamed, A. A., & Alotaibi, B. M. (2023). Essential oils of some medicinal plants and their biological activities: a mini review. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 9(1), 40–49. <https://doi.org/10.1007/s43994-022-00018-1>
- Mustapa, M. A., Guswenrivo, I., Zurohtun, A., Khairul Ikram, N. K., & Muchtaridi, M. (2023). Analysis of Essential Oils Components from Aromatic Plants Using Headspace Repellent Method against Aedes aegypti Mosquitoes. *Molecules*, 28(11). <https://doi.org/10.3390/molecules28114269>
- Pratiwi, R. A., & Nurlaeni, Y. (2021). The potency of myrtaceae family from cibodas botanic gardens (Cianjur, indonesia) as botanical pesticide. *Biodiversitas*, 22(10), 4648–4664. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221058>
- Setiawansyah, A., & Gemantari, B. M. (2022). Potential Activity of Caryophyllene Derivatives as Xanthine Oxidase Inhibitor: An in silico Źukowska, G., & Durczyńska, Z. (2024). Properties and Applications of Essential Oils: A Review. In *Journal of Ecological Engineering* (Vol. 25, Issue 2, pp. 333–340). Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej (PTIE). <https://doi.org/10.12911/22998993/177404>
- Suryati, Yenuuar, T. A. A., Fadhia, S. H., Ulia, R. V., Salsabilla, M. M., & Arifin, B. (2023). Komponen Kimia Minyak Atsiri yang Disolusi dari Daun Tanaman Pucuk Merah (*Syzygium myrtifolium* Walp.) dan Potensi Antibakteri serta Toksisitasnya. *Jurnal Riset Kimia*, 14(1), 70–80. <https://doi.org/10.25077/jrk.v14i1.583>
- Udawaty, W., Yusro, F., & Sisillia, L. (2019). Identifikasi Senyawa Kimia Minyak Sereh Wangi Klon G3 (*Cymbopogon nardus* L.) Dengan Media Tanam Tanah Gambut Dan Potensinya Sebagai Antibakteri *Enterococcus faecalis*. *Jurnal Tengkawang*, 9(2), 71–81.
- Ueta, I. (2022). Gas Chromatographic Determination of Volatile Compounds. *Analytical Sciences*, 38(5), 737–738. <https://doi.org/10.1007/s44211-022-00108-4>

TINGKAT REDAM SUARA DAN KETAHANAN PAPAN PARTIKEL CAMPURAN SERBUK KAYU SENGON DAN MESOCARP KELAPA SAWIT TERHADAP SERANGAN RAYAP TANAH

(*Sound Absorption Level and Resistance of Mixed Particleboard of Sengon Wood Powder and Palm Oil Mesocarp Against Subterranean Termite Attacks*)

Yuliati Indrayani¹, Adli Ferdiansyah¹, Dina Setyawati¹, Iskandar AM¹

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tanjungpura, Jl. Daya Nasional, Pontianak 78124, Indonesia
Telp. 089652077175

*E-mail: mandaupermai@yahoo.com

Diterima: 25 Maret 2025, direvisi: 22 September 2025, disetujui: 6 Desember 2025

ABSTRACT

The increase in palm oil production in Indonesia produces significant volumes of waste, including empty fruit bunches (EFB), shells, and fibers. This waste has the potential to be processed into particleboard, with the addition of sawdust to improve physical properties and termite resistance. An additional raw material is Sengon wood (*Falcatoria moluccana* (Miq.)), which was chosen due to its economic value and fast-growing nature. The purpose of this study was to determine its physical properties, resistance to subterranean termite attacks, and sound attenuation level. Particleboard was made from a mixture of oil palm mesocarp fiber and Sengon wood particles using urea formaldehyde (UF) adhesive with a concentration of 18%. The raw material combinations of oil palm mesocarp fiber and Sengon wood particles were 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0. Hot pressing was carried out at a pressure of 25 kg/cm² and a temperature of 130 °C for 10 minutes. The results of the study showed that the physical properties of the material ranged from 0.37 to 0.39 g/cm, water content from 7.27% to 9.45%, thickness expansion from 5.94% to 11.71%, and water absorption from 96.53% to 149.79%. The resistance of the board to subterranean termite attacks, achieved with a combination of oil palm mesocarp and sengon powder 75:25%, resulted in the highest termite mortality. In comparison, the combination of oil palm mesocarp and sengon wood powder (100:0%) experienced the highest weight loss. The best sound attenuation level was achieved with a combination of oil palm mesocarp and sengon wood powder 0:100%.

Keywords: *Albizia chinensis*, composite, oil palm mesocarp, subterranean termites, sound attenuation level

ABSTRAK

Meningkatnya produksi kelapa sawit di Indonesia menyebabkan peningkatan limbah yang signifikan, termasuk tandan kosong, cangkang, dan sabut. Limbah ini potensial diolah menjadi papan partikel, dengan penambahan serbuk kayu untuk meningkatkan sifat fisik dan ketahanan terhadap rayap. Alternatif bahan baku tambahan adalah kayu Sengon (*Falcatoria moluccana* (Miq.)), yang dipilih karena nilai ekonomisnya dan pertumbuhannya yang cepat (*fast growing species*). Tujuan penelitian untuk menentukan sifat fisik, ketahanan terhadap serangan rayap tanah, dan tingkat redam suaranya. Papan partikel dibuat dari campuran serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon menggunakan perekat urea formaldehida (UF) dengan konsentrasi 18%. Kombinasi bahan baku serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon adalah 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, dan 100:0. Kempa panas dilakukan dengan tekanan 25 kg/cm² pada suhu 130°C selama 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisik kerapatan berkisar 0,37-0,39 g/cm³, kadar air 7,27-9,45%, pengembangan tebal 5,94%-11,71%, dan daya serap air 96,53-149,79%. Ketahanan papan terhadap serangan rayap tanah dengan kombinasi *mesocrap* dan partikel kayu sengon 75:25 menyebabkan kematian rayap paling tinggi, sedangkan kombinasi *mesocrap* dan partikel kayu sengon 100%:0% mengalami kehilangan berat terbanyak. Tingkat redam suara terbaik terdapat pada kombinasi *mesocrap* dan partikel kayu sengon 0%:100%.

Kata kunci: komposit, serat kelapa sawit, *Albizia chinensis*, rayap tanah, tingkat redam suara



I. PENDAHULUAN

Salah satu bahan yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia adalah kayu. Untuk memenuhi kebutuhan kayu dalam kehidupan manusia, pemerintah telah menetapkan kebijakan mengenai Hutan Tanaman Industri (HTI). Sengon, termasuk salah satu jenis kayu HTI yang termasuk ke dalam kategori kayu kurang awet yaitu kelas awet IV-V dan kelas kuat IV-V. Namun, karena memiliki nilai ekonomis tinggi dan nilai ekologis yang luas, sengon dapat dipilih sebagai salah satu komoditas untuk pembangunan hutan tanaman. Keunggulan ekonomi pohon sengon adalah termasuk jenis pohon yang cepat tumbuh (*fast growing species*), dan mudah dikelola (Nugroho dan Salamah, 2015). Nilai kerapatan kayu sengon dalam kondisi kering udara maupun kering tanur berturut-turut adalah $0,33 \text{ g/cm}^3$ dan $0,30 \text{ g/cm}^3$. Diversifikasi produk kayu adalah upaya untuk memenuhi kebutuhan kayu. Papan partikel merupakan salah satu contoh diversifikasi produk kayu sengon.

Menurut Malone (1993), papan partikel terbuat dari potongan kecil bahan berlignoselulosa atau partikel serat yang dicampur dengan perekat sintetis atau bahan pengikat lainnya dan direkat dengan metode pengempaan. Jenis perekat yang umum digunakan dalam pembuatan papan partikel adalah *Urea Formaldehida* (UF) (Zhang, et al., 2018). UF merupakan resin cair yang bersifat *thermosetting* hasil kondensasi urea dan formaldehid (Athariqa, et al., 2022).

Limbah pengolahan kelapa sawit adalah bahan berlignoselulosa lain yang dapat digunakan untuk membuat papan partikel. Limbah kelapa sawit merupakan bagian dari hasil tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil sampingan dari proses pengolahan kelapa sawit, baik dalam bentuk limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat kelapa sawit terdiri dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang dan serat (sabut). Dari satu ton kelapa sawit, dihasilkan limbah berupa tandan kosong sebanyak 23% atau setara 230 kg, cangkang sekitar 6,5% atau 65 kg, dan sabut/*mesokarp* sebesar 13% atau 130 kg (Haryanti, et al., 2014). Banyak langkah yang sudah diambil untuk mengolah serta meningkatkan nilai ekonomi limbah padat kelapa sawit, salah satunya dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk produksi papan partikel. Limbah kelapa sawit dapat dijadikan sebagai bahan campuran dalam pembuatan papan partikel untuk meningkatkan nilai ekonomi dari limbah padat kelapa sawit.

Penggunaan papan partikel sangat luas, salah satunya sebagai peredam suara (Astari, et al., 2019). Peredam suara atau *absorber* merupakan suatu material yang berfungsi untuk menyerap energi bunyi dari sebuah sumber (Eriningsih et al.,

2014). Penggunaan material penghalang suara sangat krusial untuk tempat-tempat yang memerlukan suara yang optimal, sehingga dapat terhindar dari gangguan suara, seperti ruang akustik, desain studio perekaman, kantor, sekolah, serta ruang lainnya untuk menekan kebisingan yang biasanya sangat mengganggu. Karena itu, sangat penting untuk memiliki material akustik yang dapat menyerap suara guna menghindari penyebaran kebisingan, sehingga tingkat kebisingan yang ada dapat diminimalkan.

Selain kualitas peredam suara, karakteristik ketahanan papan partikel harus diperhatikan agar dapat memberikan masa penggunaan yang lebih panjang. Penggunaan papan partikel tidak terlepas dari gangguan rayap yang dapat mengurangi umur pakainya. Penelitian papan partikel dari campuran serat dan serbuk terhadap pengujian serangan rayap sudah dilakukan. Menurut Viviana dan Tavita (2019), papan partikel yang terdiri dari 50% batang sorgum dan 50% kayu akasia serta dengan penggunaan perekat sebanyak 10% telah menunjukkan daya tahan yang baik terhadap serangan rayap tanah. Namun, belum ada laporan mengenai kualitas papan partikel yang terbuat dari serat mesocarp kelapa sawit untuk digunakan sebagai peredam suara. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengujian terhadap kualitas peredam suara dan daya tahan papan partikel yang terbuat dari serat mesocarp kelapa sawit dan partikel kayu sengon menggunakan perekat UF. Pengujian keawetan papan dilakukan terhadap serangan rayap tanah *Coptotermes curvignathus*, Holmgren. Selain itu, penelitian papan serat *mesocarp* sawit sebagai peredam suara masih sangat terbatas. Tujuan penelitian ini adalah untuk pengembangan pemanfaatan serat *mesocarp* kelapa sawit sebagai campuran material peredam suara yang efektif.

II. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengerjaan Kayu dan Kriya Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura untuk menyiapkan bahan dan pemotongan papan partikel, Laboratorium Biomaterial Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura untuk pembuatan papan partikel, Laboratorium Kimia Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura untuk pengujian rayap, dan Laboratorium Vibrasi dan Akustik Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) untuk pengujian tingkat redam suara papan partikel.

2.2. Alat, Bahan dan Objek Penelitian

2.2.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaliper, wadah uji pengembangan tebal, *waterbath*, gergaji pita, gelas uji rayap, tabung impedansi, cetakan papan partikel, mesh ukuran 20 dan 40, timbangan analitik, *moisture meter*.

2.2.2. Bahan

Serat *mesocarp* kelapa sawit, UF (SC 52%)

produksi PT. DPN Pontianak Kalimantan Barat, parafin, katalis, serbuk kayu sengon.



Gb 1. *Mesocarp*

Fig. 1. *Mesocarp*



Gb 2. Serbuk sengon

Fig. 2. *Sengon powder*

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Persiapan dan Perhitungan Kebutuhan bahan

Serat *mesocarp* sawit yang masih basah dan menempel di biji buah diperoleh dari PT Bumi Pratama Khatulistiwa (BPK) Pontianak, sedangkan partikel kayu sengon yang sudah berbentuk serbuk didapatkan dari *Sawnmill* Berkah Bintangor, Pontianak. Penelitian ini diawali dengan tahapan persiapan serat *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon dijemur di bawah matahari, selanjutnya serat *mesocarp* dipisahkan dari biji

yang masih menempel. Selanjutnya serat *mesocarp* direbus selama 2 jam dengan *waterbath*, untuk mengurangi zat ekstraktif dan kandungan minyak lemak serat (Kuswarini, 2009).

Serat *mesocarp* yang telah direbus dilakukan penjemuran ulang dibawah matahari, selanjutnya serat dicincang untuk memperkecil ukuran. Serbuk sengon dan serat sawit diayak untuk mencapai ukuran lolos 20 tertampung mesh 40. Kedua bahan dioven sampai mencapai kadar air $\pm 5\%$. Selanjutnya dihitung komposisi bahan campuran antara *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Bahan Baku

Table 1. Raw Material Composition Comparison

Komposisi Bahan (%) (Material Compositon, %)	Kebutuhan Bahan (Material Requirements)	
	<i>Mesocarp</i> Kelapa Sawit (g) (Oil Palm Mesocarp, g)	Serbuk Kayu Sengon (g) (Sengon Wood powder, g)
0:100	0	317,37
25:75	79,34	238,02
50:50	158,68	158,68
75:25	238,02	79,34
100:0	317,37	0

2.3.2. Pembuatan Papan Partikel

Pembuatan papan partikel berukuran 30 cm x 30 cm x 1 cm dengan kerapatan 0,4 g/cm³ menggunakan perekat Urea Formaldehida (UF) dengan kadar perekat 18% (Putra, 2020). Perlakuan yang diberikan yaitu komposisi antara *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon sebagai berikut 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, dan 100:0. Kedua jenis bahan dimasukkan ke dalam wadah untuk dilakukan pencampuran antara bahan dan perekat.

Setelah tercampur merata bahan dipindah ke dalam cetakan dan ditutup untuk diberi tekanan pendahuluan agar papan dapat terbentuk. Jika papan sudah terbentuk, plat baja berukuran tebal 1 cm diletakkan di kedua sisi papan agar mencapai target ketebalan 1 cm, dilanjutkan dengan pengempaan panas pada suhu 130° dengan tekanan 25kg/cm² selama 10 menit (Astari et al., 2019) dengan tujuannya untuk mematangkan perekat.

Sebanyak 18 papan partikel yang dihasilkan kemudian dikondisikan selama 1 minggu guna

menghilangkan tekanan yang masih terdapat pada papan. Selanjutnya papan dipotong untuk membuat contoh uji unukeperluan pengujian.

2.3.3. Pengujian Kualitas Papan Partikel

2.3.3.1. Sifat Fisik

Sifat fisik papan partikel diuji berdasarkan SNI 03-2105-2006. Pengujian sifat fisik terdiri dari kerapatan, kadar air, pengembangan tebal, dan daya serap air.

a. Kerapatan

Contoh uji kerapatan papan partikel berukuran 10 cm x 10 cm x 1 cm. Pengujian dilakukan dengan kondisi kering udara. Volume contoh uji diukur dengan menimbang beratnya kemudian diukur panjang, lebar serta tebalnya. Nilai kerapatan papan partikel dihitung dengan rumus (SNI 03-2105-2006) :

$$p = \frac{B}{V}$$

Keterangan:

p = Kerapatan (g/cm³)

B = Berat contoh uji kering udara (g)

V = Volume contoh uji kering udara (cm³)

b. Kadar Air (KA)

Pengukuran kadar air menggunakan contoh uji berukuran 10 cm x 10 cm x 1 cm. Pengukuran dilakukan dengan cara menimbang berat awal contoh uji kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu 103 ± 2°C sampai mencapai berat yang konstan. Persentase kadar air papan partikel dihitung dengan rumus (SNI 03-2105-2006):

$$KA = \frac{BA - BKO}{BKO} \times 100\%$$

Keterangan:

KA = Kadar Air (%)

BA = Berat awal (g)

BKO = Berat kering oven (cm³)

c. Pengembangan Tebal (PT)

Contoh uji yang digunakan untuk pengujian pengembangan tebal berukuran 5 cm x 5 cm x 1 cm. Contoh uji tersebut diukur tebalnya pada 5 titik yang sudah ditentukan, kemudian nilai tebal dari 5 titik tersebut dirata-ratakan menghasilkan nilai tebal awal (t1). Setelah itu contoh uji direndam dalam air selama 24 jam kemudian ditiriskan dan diukur kembali tebalnya (t2) pada titik yang sama saat pengukuran ketebalan pertama. Nilai pengembangan tebal diukur dengan rumus (SNI 03-2105-2006):

$$PT (\%) = \frac{t2-t1}{t1} \times 100\%$$

Keterangan :

PT = Pengembangan tebal (%)

t1 = Tebal sebelum direndam 24 jam (cm)

t2 = Tebal setelah direndam 24 jam (cm)

d. Daya Serap Air

Uji daya serap air dilakukan untuk mengukur kemampuan papan partikel dapat menyerap air. Contoh uji daya serap air menggunakan contoh uji pengembangan tebal dengan menghitung selisih berat sebelum dan setelah perendaman dalam air selama 24 jam. Daya serap air dihitung menggunakan rumus (SNI 03-2105-2006):

$$DSA (\%) = \frac{B2-B1}{B1} \times 100\%$$

Keterangan

DSA = Daya serap air (%)

B1 = Berat contoh uji sebelum perendaman (g)

B2 = Berat contoh uji setelah perendaman 24 jam (g).

2.3.3.2. Pengujian Rayap

Pengujian keawetan papan partikel terhadap rayap dilakukan dengan metoda tanpa pilihan (*no-choice*

test) yang mengacu pada (Indrayani dan Fatmawati, 2019). Cup plastik bening dengan diameter 6 cm dan tinggi 12 cm digunakan sebagai wadah uji. Kedalam wadah uji dimasukkan pasir steril yang telah diautoclave selama 30 menit dengan suhu 120°C dan tekanan 1 atm. Diatas pasir diletakkan kasa plastik untuk mencegah kontak langsung antara rayap dan pasir. Selanjutnya contoh uji dengan ukuran 2 cm x 2 cm x 1 cm yang telah diketahui berat awalnya diletakkan diatas kasa plastik. Sebanyak lima puluh rayap *C. curvignathus* kasta pekerja dan lima kasta tentara dimasukkan kedalam wadah uji. Cup plastik kemudian ditempatkan dalam sebuah wadah plastik yang sudah dilapisi kapas basah untuk mempertahankan kelembapannya, setelah itu wadah tersebut ditutup dan diletakkan di dalam ruangan gelap selama 21 hari. Pengujian rayap disajikan pada Gambar 1.

Pada akhir pengujian dilakukan pengamatan mortalitas rayap dan kehilangan berat contoh uji. Perhitungan mortalitas rayap dan kehilangan berat contoh uji berdasarkan Sornnuwat et al., (1995):

$$\text{Kehilangan Berat (\%)} = \frac{(W1-W2)}{(W1)} \times 100\%$$

Keterangan :

W1: Berat contoh uji sebelum pengujian (g)

W2 : Berat contoh uji setelah pengujian (g)

$$\text{Mortalitas Rayap (\%)} = \frac{(N2)}{(N1)} \times 100\%$$

Keterangan :

N1 : Jumlah rayap awal (ekor)

N2: Jumlah rayap mati setelah pengujian (ekor)



Gambar 3. Pengujian Rayap
Figure 3. Termite testing

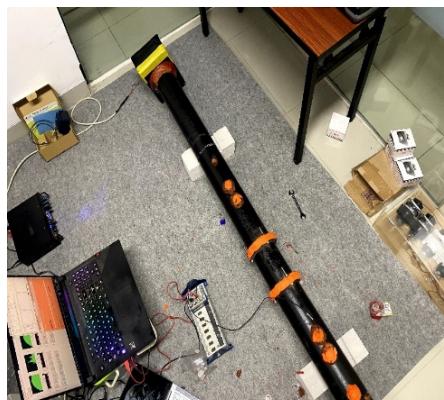
2.3.3.3. Pengujian Redam Suara

Salah satu cara yang diterapkan dalam pengujian penyerapan suara adalah metode tes Tabung Impedansi. Pengujian *Impedance Tube* dilakukan berdasarkan standar ASTM-E413-10 menggunakan contoh uji berbentuk silinder berukuran 90 × 10 mm. Pengujian contoh uji dilakukan pada beberapa variasi frekuensi yaitu 125Hz, 160Hz, 200Hz, 250Hz, 315Hz, 400Hz, 500Hz, 630Hz, 800Hz, 1000Hz, 1250Hz, 1600Hz, 2000Hz, 1500Hz, 3150Hz, dan 4000Hz. Metode

untuk menguji penyerapan suara ini bertujuan untuk menentukan seberapa besar koefisien penyerapan bahan terhadap suara yang bisa diterima oleh material *mesocarp* kelapa sawit dengan campuran partikel kayu sengon. Prosedur pengujian pada *Impedance Tube* bisa dilakukan setelah semua bagian dari perangkat pengujian saling terhubung. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengkalibrasi mikrofon dengan kalibrator, selanjutnya loudspeaker dan mikrofon satu dimasukkan ke ruang dengung sedangkan mikrofon dua dimasukkan keruangan *anechoic*. *Soundcard* dihubungkan ke komputer/laptop, selanjutnya contoh uji ditempat diantara mic satu dan mic dua lalu mengukur waktu dengung *transmission lost* disetiap frekuensi. Hasil dari penerapan variasi frekuensi pada Tabung Impedansi adalah tegangan amplitudo dari setiap mikrofon yang tersaji dalam bentuk data digital dengan format excel (amplitudo A dan amplitudo B). Berdasarkan nilai maksimal dari amplitudo tegangan di setiap mikrofon, dilakukan analisis data untuk mengidentifikasi koefisien penyerapan suara yang dimiliki oleh sampel uji tersebut. (Siaahan *et al.* 2020). Metode *Impedance Tube* disajikan pada Gambar 4, sementara contoh uji redam suara disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 5.

2.3.3.4. Analisis Data

Perolehan data selanjutnya dianalisis dengan Rancangan Acak Lengkap *Analisis of Variance* (RAL ANOVA) (Nugroho, 2008).



Gambar 4. Uji Tabung Impedansi
Figure 4. Impedance Tube Test



Gambar 5. Contoh Uji Redam Suara
Figure 5 Sound Attenuation test sample

Tabel 2. Variasi perlakuan uji papan redam suara
Table 2. Sound attenuation test treatment variations

Kode (Code)	Kombinasi bahan (Material composition)
A	<i>Mesocarp</i> kelapa sawit 0% : serbuk kayu sengon 100%
C	<i>Mesocarp</i> kelapa sawit 25% : serbuk kayu sengon 75%
E	<i>Mesocarp</i> kelapa sawit 50% : serbuk kayu sengon 50%
G	<i>Mesocarp</i> kelapa sawit 75% : serbuk kayu sengon 25%
I	<i>Mesocarp</i> kelapa sawit 100% : serbuk kayu sengon 0%

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

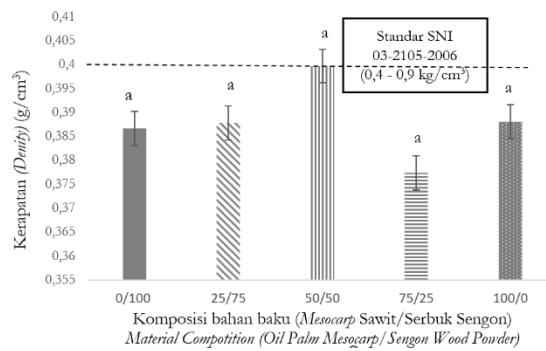
3.1. Sifat Fisik Papan Partikel

3.1.1. Kerapatan

Perbandingan massa dan volume kayu pada saat kering udara disebut kerapatan. Gambar 4 menunjukkan nilai rerata kerapatan yang ditemukan dari hasil penelitian ini. Rerata kerapatan papan partikel serbuk kayu sengon dan serat kelapa sawit berkisar antara $0,37 \text{ g/cm}^3$ – $0,4 \text{ g/cm}^3$. Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada papan partikel dengan komposisi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk sengon 50:50%, sementara nilai kerapatan terendah terdapat pada papan dengan komposisi bahan *mesocarp* serat sawit dan serbuk kayu sengon 75:25%.

Sebagian besar papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini tidak mencapai target kerapatan, yaitu $0,4 \text{ g/cm}^3$. Ada beberapa faktor yang menyebabkan kerapatan papan partikel tidak mencapai target. Menurut Anggraini *et al.* (2021), efek *spring back* atau usaha pembebasan tekanan yang dialami papan selama pengempaan memengaruhi kerapatan papan komposit sehingga tidak mencapai target. Hal ini mengakibatkan kerapatan papan partikel rendah. Kerapatan tidak memenuhi standar SNI 03-2105-2006, yang mensyaratkan nilai kerapatan $0,4$ - $0,9 \text{ g/cm}^3$ kecuali papan partikel yang terbuat dari bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk sengon 50:50% yang memenuhi standar. Abdurachman dan Nurwati (2011) menyatakan bahwa struktur bentuk fisik bahan baku partikel yang digunakan memengaruhi kerapatan papan partikel. Haygreen dan Bowyer (1996) mengemukakan bahwa kerapatan papan partikel dipengaruhi oleh kerapatan awal material penyusunnya. Peningkatan peningkatan kerapatan bahan baku akan menghasilkan papan dengan kerapatan lebih tinggi, sedangkan penurunan kerapatan bahan baku akan menurunkan kerapatan papan. Analisis keragaman nilai kerapatan dengan metode Rancangan Acak Lengkap *Analisis of Variance* (RAL ANOVA) disajikan pada Tabel 3.

Hasil analisis keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa faktor komposisi bahan tidak berpengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel dimana $F_{hitung} < F_{tabel}$. Walaupun tidak berpengaruh nyata, namun dapat dilihat bahwa papan partikel dengan komposisi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 50:50% menghasilkan kerapatan tertinggi.



Keterangan: Huruf sama menunjukkan tak berbeda nyata
(Remarks: The same letters indicate no significant difference)

Gb. 6. Rerata kerapatan papan partikel

Fig. 6. Average density of particleboard

Tabel 3. Analisis keragaman untuk kerapatan papan partikel
Table 3. Analysis of variance for particleboard density

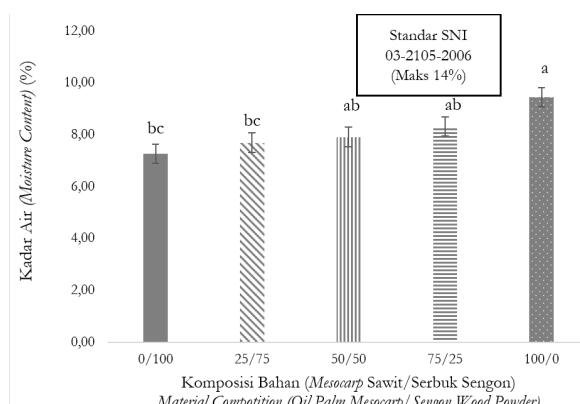
SV (Source of Variation)	DB (Degrees of Freedom)	JK (Sum of Squares)	MK (Mean of Squares)	F.Hit (F.Value)	F.Tabel (F.Table)		Keterangan (Remarks)
					5%	1%	
Perlakuan (Treatment)	4	0,0007	0,0001	0,533 ^{tn}	3,478	5,9943	Tidak Berpengaruh Nyata (No significant difference)
GALAT (Error)	10	0,0035	0,0033				
TOTAL	14	0,0042					

3.1.2. Kadar Air

Rerata kadar air papan partikel hasil penelitian ini berkisar antara 7,27–9,45 % dan disajikan pada Gambar 5. Nilai kadar air pada komposisi *mesocarp* kelapa sawit serbuk kayu sengon 0:100% menunjukkan angka kadar air terendah sedangkan komposisi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 100:0% menunjukkan kadar air paling tinggi. Hasil penelitian ini didukung oleh Roza *et al* (2015) yang mengatakan pemberian lebih banyak serbuk sengon menghasilkan papan dengan kadar air lebih rendah. Dalam penelitian ini, kadar air papan partikel telah sesuai dengan ketentuan SNI 03-2105-2006 yang menetapkan batas kadar air kurang dari 14%.

Gambar 7 menunjukkan bahwa variasi komposisi bahan berperan dalam menentukan kadar air papan partikel dimana semakin besar komposisi serbuk kayu sengon yang digunakan, semakin tinggi pula kadar air yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan sifat higroskopis pada suatu bahan dapat mempengaruhi kadar airnya karena mengandung lignin dan selulosa.

Haygreen dan Bowyer (1996) menyatakan bahwa keberadaan lignin dan selulosa dalam bahan menyebabkan tingginya kemampuan menyerap dan melepaskan air yang berimplikasi pada kadar air papan partikel. Menurut Hartati *et al.*, (2014), komposisi kimia serbuk kayu sengon menunjukkan kandungan selulosa yang dominan sebesar 45,42%, diikuti oleh hemiselulosa 21%, lignin 26,50%, serta abu 7,08%, sedangkan pada *mesocarp* kelapa sawit diketahui mengandung senyawa selulosa dengan proporsi 41,92%, lignin 21,71%, dan hemiselulosa 11,36% (Susilo, 2017). Akibatnya, papan partikel yang mengandung serbuk kayu sengon dalam jumlah lebih besar memperlihatkan kecenderungan peningkatan kadar air. Selanjutnya dilakukan analisis keragaman nilai kadar air dengan metode Rancangan Acak Lengkap *Analisis of Variance* (RAL ANOVA) disajikan pada Tabel 4. Tabel 4 memperlihatkan adanya pengaruh nyata pada setiap komposisi bahan papan partikel dilihat dari F_{hitung} lebih besar pada 5% dari pada F_{tabel} .



Gb. 7. Rerata kadar air papan partikel

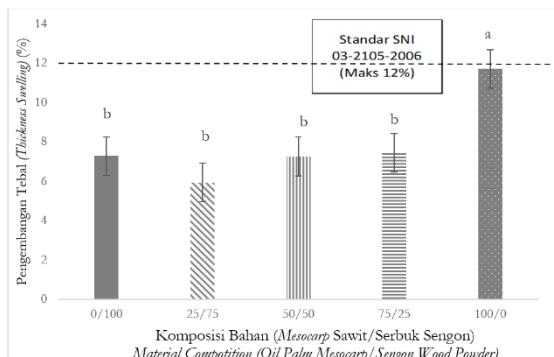
Fig. 7. Average moisture content of particleboard

Tabel 4. Analisis keragaman untuk kadar air papan partikel
Table 4. Analysis of variance for particleboard moisture content

SV (Source of Variation)	DB (Degrees of Freedom)	JK (Sum of Squares)	MK (Mean of Squares)	F.Hit (F.Value)	F.Tabel (F.Table)		Keterangan (Remarks)
					5%	1%	
Perlakuan (Treatment)	4	8,31378	2,0784	4,4279*	3,478	5,9943	
GALAT (Error)	10	4,69	0,4693				Berpengaruh Nyata (Significant difference)
TOTAL	14	13,01					

3.1.3. Pengembangan Tebal

Pengembangan tebal didefinisikan sebagai peningkatan dimensi ketebalan papan setelah proses perendaman selama 24 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata pengembangan tebal papan partikel berkisar antara 5,94-11,71% (Gambar 8) telah sesuai dengan ketentuan SNI 03-2105-2006, yaitu dengan nilai pengembangan tebal tidak melebihi 12%. Papan partikel yang dibuat dari *mesokarp* kelapa sawit tanpa campuran serbuk kayu sengon (100:0%) menunjukkan pengembangan tebal paling besar, sementara pengembangan tebal paling rendah ditemukan pada komposisi *mesokarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 25:75%.



Keterangan: Huruf sama menunjukkan tak berbeda nyata
(Remarks: The same letters indicate no significant difference)

Gb. 8. Rerata pegembangan tebal papan partikel
Fig. 8 Average thickness swelling particleboard

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk kayu sengon berkontribusi terhadap penurunan nilai pengembangan tebal papan partikel. Hal ini didukung oleh Purwanto (2016) bahwa papan partikel dari bahan baku tunggal menunjukkan pengembangan tebal lebih rendah dan pada penambahan serbuk kayu sengon

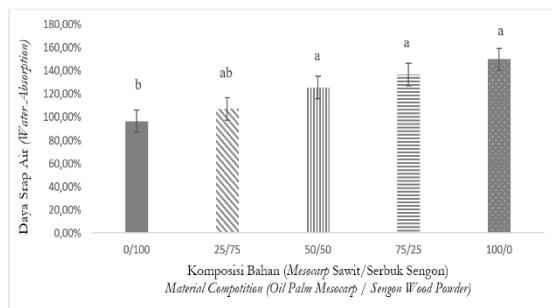
terjadi penurunan pengembangan tebal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa papan dengan komposisi *mesocarp* kelapa sawit lebih banyak menyebabkan pengembangan tebal yang lebih tinggi. Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Fransiskus et al. (2015), yang menunjukkan bahwa pengembangan tebal papan partikel meningkat seiring dengan penambahan sabut kelapa. Kondisi tersebut diduga terjadi karena ikatan pada papan dengan komposisi *mesokarp* kelapa sawit yang tinggi lebih sehingga rentan mengalami kerusakan. Selain itu, papan dengan komposisi lebih banyak *mesocarp* kelapa sawit cenderung lebih mudah mengembang dibandingkan papan lebih banyak serbuk kayu sengon. Purwanto (2016) menyatakan bahwa kondisi tersebut terjadi karena partikel serbuk kayu berukuran halus tersebar secara merata dan menempati ruang kosong di antara partikel *mesokarp* kelapa sawit. Kondisi tersebut berimplikasi pada terbentuknya ikatan antarpartikel yang lebih stabil dan kuat melalui perekat, sementara kemampuan untuk meningkatkan ketebalan menjadi berkurang. Nilai pengembangan tebal juga dipengaruhi oleh efek *spring back* pada papan, yang memungkinkan air dengan mudah masuk dan mengganggu kekuatan ikatan yang terbentuk antara perekat dan partikel. Nilai pengembangan tebal papan partikel dapat dilihat pada Gambar 8. Analisis keragaman nilai pengembangan tebal dengan metode Rancangan Acak Lengkap *Analysis of Variance* dapat dilihat pada Tabel 5. Analisis keragaman yang ditunjukkan pada Tabel 4 membuktikan bahwa kombinasi bahan berpengaruh sangat nyata terhadap satu sama lain yang ditunjukkan dengan F.hitung lebih besar daripada F.tabel 1%.

Tabel 5. Analisis keragaman untuk pengembangan tebal papan partikel
Table 5. Variance analysis for particleboard thickness swelling

SV (Source of Variation)	DB (Degrees of Freedom)	JK (Sum of Squares)	MK (Mean of Squares)	F.Hit (F.Value)	F.Tabel (F.Table)		Keterangan (Remarks)
					5%	1%	
Perlakuan (Treatment)	4	57,9975	14,4994	6,4288**	3,478	5,9943	Berpengaruh Sangat Nyata (Very significant difference)
GALAT (Error)	10	22,5537	2,2553				
TOTAL	14	80,5512					

3.1.4. Daya Serap Air

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai daya serap air papan partikel berada dalam rentang 96,53% hingga 149,79%. (Gambar 9). Standar SNI 03-2105-2006 tidak menetapkan persyaratan terkait nilai daya serap air, namun pengujian parameter tersebut tetap diperlukan karena hasilnya dapat dijadikan acuan dalam menentukan aplikasi papan partikel. Papan partikel dengan komposisi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 100:0% menghasilkan daya serap air paling tinggi. Komposisi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 0:100% menghasilkan nilai rata-rata daya serap air paling rendah (Gambar 9).



Keterangan: Huruf sama tak berbeda nyata

(Remarks: The same letters indicate no significant difference)

Gb. 9. Rerata daya serap air papan partikel

Fig. 9. Average water absorption particleboard

Tabel 6. Analisis keragaman untuk daya serap air

Table 6. Analysis of variance for water absorption

SV (Source of Variation)	DB (Degrees of Freedom)	JK (Sum of Squares)	MK (Mean of Squares)	F.Hit (F.Value)	F.Tabel (F.Table)		Keterangan (Remarks)
					5%	1%	
Perlakuan (Treatment)	4	5593,98	1398,49	9,7722**	3,478	5,9943	Berpengaruh Sangat Nyata (Very significant difference)
GALAT (Error)	10	1431,09	143,10				
TOTAL	14	7025,07					

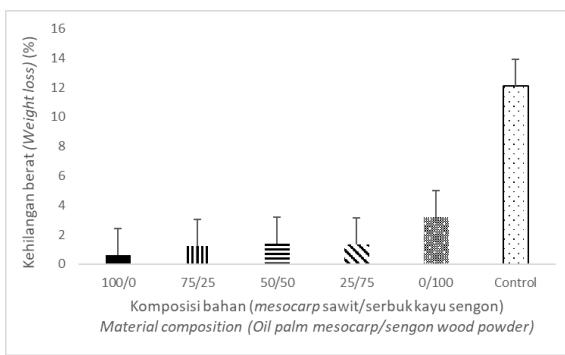
3.2. Ketahanan Terhadap Serangan Rayap Tanah

3.2.1. Kehilangan Berat

Pengujian rayap menggunakan kayu solid sengon sebagai kontrol. Kehilangan berat sampel uji papan partikel berkisar antara 0,62-3,19%. Papan partikel dengan komposisi serat *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 100:0% mengalami kehilangan berat tertinggi, sedangkan kehilangan berat terendah terjadi pada komposisi bahan 0% serat *mesocarp* sawit : 100% serbuk kayu sengon. Rerata kehilangan berat papan partikel disajikan pada Gambar 10.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Roza *et al* (2015) yang menyebutkan peningkatan jumlah serbuk sabut kelapa dalam komposisi bahan berimplikasi pada bertambahnya nilai daya serap air papan partikel. Hal ini disebabkan higroskopis suatu bahan dimana pada bahan yang lebih banyak serbuk sengon penyerapan airnya lebih rendah dibanding yang menggunakan bahan dari serat sawit. Menurut Mikael *et al.* (2015), secara umum peningkatan daya serap air berkaitan erat dengan penambahan serat. Kehadiran empulur yang terdapat dalam serat berkontribusi pada peningkatan kapasitas penyerapan air. Terdapat hubungan antara daya serap air dan pengembangan tebal, di mana peningkatan penyerapan air pada papan partikel berbanding lurus dengan peningkatan pengembangan tebal. Selanjutnya dilakukan analisis keragaman nilai daya serap air dengan metode Rancangan Acak Lengkap *Analisis of Variance* (RAL ANOVA) yang dapat dilihat pada Tabel 6. Analisis keragaman untuk daya serap air menunjukkan F.hitung lebih besar dari F.tabel, hal ini membuktikan bahwa bahwa komposisi bahan berpengaruh nyata pada daya serap air.

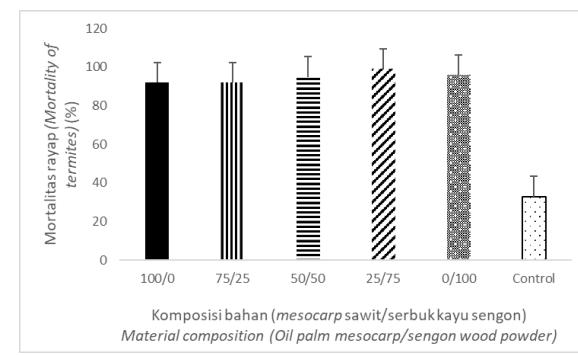
Hasil penelitian ini didukung oleh Viviana dan Tavita (2019) yang membuktikan komposisi serbuk kayu yang lebih besar dan serat yang lebih sedikit menghasilkan persentase kehilangan berat papan partikel yang lebih rendah. Hasil ini diduga dipengaruhi oleh kandungan selulosa yang merupakan makanan rayap. Kandungan *mesocarp* sawit sebesar 41,92% (Susilo, 2017) sedikit lebih tinggi daripada serat sengon yaitu 41,17% (Trisanti *et al.*, 2018) hal ini menyebabkan papan dengan kandungan *mesocarp* kelapa sawit lebih sedikit akan rendah pula kehilangan beratnya demikian pula sebaliknya (Gambar 10).



Keterangan: Huruf sama tak berbeda nyata
(Remarks: The same letters indicate no significant difference)

Gb. 10. Rerata kehilangan berat papan partikel
Fig. 10. Average weight loss of particleboard

Kehilangan berat juga dapat dipengaruhi karakteristik sampel dimana papan partikel berbahan serat *mesocarp* kelapa sawit lebih mudah dirusak daripada serbuk kayu sengon. Preferensi rayap umumnya tertuju pada bahan yang dapat digigit dengan mudah dan cepat hancur (Anjarani, 2018 dalam Maulida 2020). Hal ini memudahkan rayap untuk memakan sampel pengujian sehingga papan dengan kandungan serat *mesocarp* kelapa



Keterangan: Huruf sama tak berbeda nyata (Remarks: The same letters indicate no significant difference)

Gb. 11. Rerata mortalitas rayap
Fig. 11. Average mortality of termites

sawit lebih banyak kehilangan berat.

Analisis keragaman nilai kehilangan berat dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap *Analisis of Variance* (RAL ANOVA) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7. Tabel 7 memperlihatkan bahwa komposisi bahan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kehilangan berat, ditunjukkan oleh nilai F.hitung yang lebih besar dari taraf signifikansi 1%.

Tabel 7. Analisis keragaman untuk kehilangan berat papan partikel
Table 7. Analysis of variance for particleboard weight loss

SV (Source of Variation)	DB (Degrees of Freedom)	JK (Sum of Squares)	MK (Mean of Squares)	F.Hit (F.Value)	F.Tabel (F.Table)		Keterangan (Remarks)
					5%	1%	
Perlakuan (Treatment)	4	11,1851	2,7962	8,6978**	3,478	5,9943	Berpengaruh sangat nyata (Very significant difference)
GALAT (Error)	10	3,2149	0,3214				
TOTAL	14	14,4					

3.2.2. Mortalitas rayap

Rerata mortalitas rayap berkisar antara 91,52 - 100% (Gambar 11). Walaupun hasil ANOVA menunjukkan komposisi bahan tidak berpengaruh nyata terhadap mortalitas rayap, namun hasil penelitian menunjukkan bahwa papan partikel dengan kombinasi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 25:75% memiliki angka kematian rayap paling sedikit yaitu 91,52% sedangkan untuk angka kematian paling banyak berada pada perlakuan *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 75: 25%. Hal ini bertentangan dengan penelitian Viviana dan Tavita (2019) yang menyatakan semakin tinggi komposisi serbuk kayu dalam papan partikel, semakin tinggi pula mortalitas rayap. Hal ini disebabkan rayap cenderung menghindari bahan yang keras karena sulit digigit dan dihancurkan. Kayu sengon memiliki sifat mekanik yang lebih keras dibandingkan dengan *mesocarp* kelapa sawit, sehingga lebih resisten terhadap serangan rayap. Selain itu, faktor lain yang mempengaruhi kematian rayap adalah jamur yang tumbuh papan partikel dimana pada perlakuan yang lebih banyak

serat sawit cenderung lebih cepat berjamur daripada yang lebih banyak kayu sengon. Pengaruh makan rayap juga dapat mempengaruhi mortalitas rayap. Menurut Tampubolon et al., (2015) kematian rayap dapat disebabkan oleh jenis kayu yang lebih keras. Hal ini dapat menjelaskan pada papan partikel yang lebih keras akan menyulitkan rayap untuk memakan sampel pengujian.

Faktor lingkungan juga dapat mempengaruhi mortalitas rayap. Rislyana et al. (2015) menyatakan ketidakmampuan rayap beradaptasi dengan lingkungan baru dapat berakibat pada kematian rayap. Menurut Arinana et al., (2016), Suhu optimal pada sarang rayap tanah (*Coptotermes Curvignathus*) adalah 29,4–33,8°C sedangkan pada penelitian ini suhu rata-rata berada pada 21°C dan kelembapan 55%.

Analisis keragaman nilai mortalitas rayap dengan Rancangan Acak Lengkap *Analisis of Variance* (RAL ANOVA) (Tabel 8). Tabel 8 memperlihatkan bahwa variasi komposisi bahan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap mortalitas rayap, hal ini ditunjukkan oleh nilai F.hitung yang lebih kecil dari taraf signifikansi 1%.

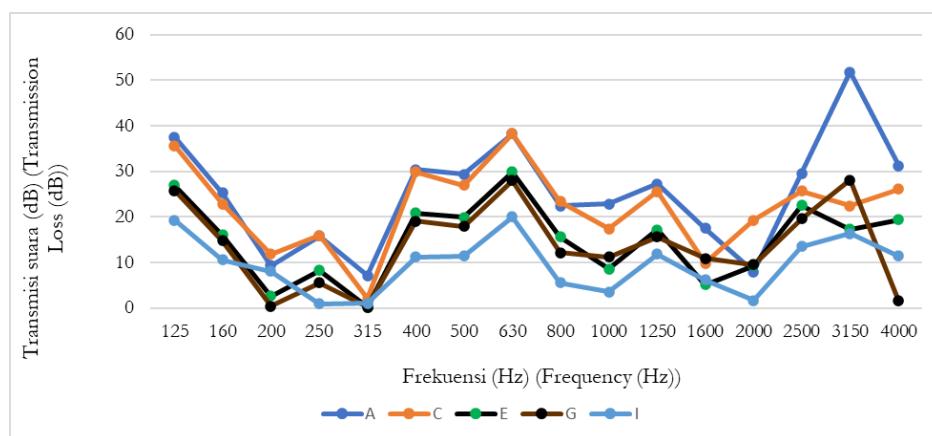
Tabel 8. Analisis keragaman untuk mortalitas rayap
Table 8. Analysis of variance for termite mortality

SV (Source of Variation)	DB (Degrees of Freedom)	JK (Sum of Squares)	MK (Mean of Squares)	F.Hit (F.Value)	F.Tabel (F.Table)		Keterangan (Remarks)
					5%	1%	
Perlakuan (Treatment)	4	53,0666	13,2666	0,6677 ^{tn}	3,478	5,9943	Tidak Berpengaruh Nyata (No significant difference)
GALAT (Error)	10	198,67	19,8666				
TOTAL	14	251,7333					

3.3. Peredam Suara Papan Partikel

Menurut Alim dan Anggoro (2020), *Sound Transmission Loss* atau *Transmission Loss* (STL/TL) didefinisikan sebagai kapasitas bahan untuk menghambat dan mereduksi suara pada frekuensi tertentu. Sebagaimana dijelaskan oleh Utomo et al. (2021), *Sound Transmission Class* (STC) merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas material dalam meredam suara. Menurut Suandi (2009) STC adalah parameter yang menunjukkan kemampuan rata-rata suatu material dalam menahan dan mereduksi transmisi suara pada beragam frekuensi. Gambar 12 merupakan data hasil *Transmission loss* pada masing-masing perlakuan komposisi bahan. Berdasarkan hasil penelitian, nilai TL berkisar antara 0,2 - 51,1 dB. Gambar 12 menunjukkan bahwa pada frekuensi rendah <500 Hz, papan partikel dengan komposisi serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon 0:100% menunjukkan nilai TL yang lebih

tinggi dibandingkan variasi bahan lainnya. Fenomena serupa juga diamati pada frekuensi menengah (500-1000 Hz) dan frekuensi tinggi (>1000 Hz), nilai TL untuk komposisi serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon 0:100% masih lebih tinggi. Papan partikel dengan komposisi serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon 0:100% menunjukkan nilai TL tertinggi pada frekuensi 3150 Hz yaitu sebesar 51,1 dB. Sementara TL terendah yaitu sebesar 0,2 dB terdapat pada papan partikel dengan komposisi bahan serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon 50:50% dan 75:25% pada frekuensi 315 Hz. Secara umum, nilai STC pada papan menunjukkan penurunan pada rentang frekuensi 200–315 Hz, kemudian meningkat kembali pada rentang frekuensi 400 - 630 Hz, kecuali pada papan dengan komposisi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon 0:100% meningkat pada frekuensi 3150 Hz.



Keterangan (Remark):
A : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 0/100 %
C : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 25/75 %
E : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 50/50 %
G : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 75/25 %
I : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 100/0 %

Gambar 12. Sound Transmission Loss (dB) papan partikel
Figure 12. Sound Transmission Loss (dB) of particle board

Komposisi papan dengan 100% kayu sengon menghasilkan nilai TL yang lebih besar daripada komposisi bahan lain. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Lestari et al. (2018), yang menyatakan bahwa papan berbahan serbuk kayu memiliki kemampuan redam suara lebih tinggi dibandingkan papan berbahan serat. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh perbedaan tingkat

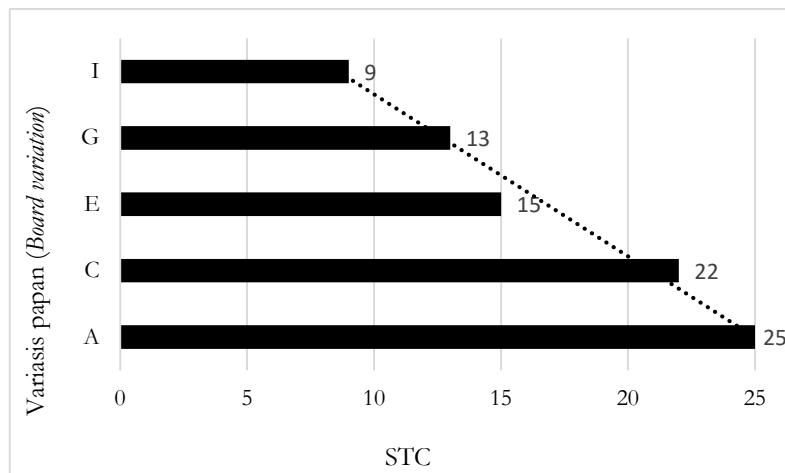
porositas, di mana porositas menjadi salah satu faktor yang memengaruhi nilai Transmission Loss (TL). Ketika gelombang suara menyentuh suatu material, mereka akan mengalami resonansi. Semakin tinggi porositas suatu material, maka resonansi yang dihasilkan akan semakin kuat, sehingga energi suara yang dipantulkan menjadi lebih kecil. Suara yang terpantulkan akan memiliki

amplitudo gelombang suara yang tinggi, sehingga koefisien penyerapan suara akan rendah (Yuliantika & Elvaswer, 2018).

Menurut Anistasya et al., (2024), penggunaan serbuk gergaji pada dinding ruangan dapat mengurangi 53% atau 37,6 db dari tingkat kebisingan rata-rata, sementara Sadik dan Amalia (2023) melaporkan bahwa pada penggunaan serat alam, hasil tertinggi yang diperoleh sebesar 28 db. Sehingga dapat dipahami jika nilai TL pada papan partikel dengan kandungan sengon 100% lebih tinggi daripada menggunakan serat sawit 100%.

Selain TL, dalam bidang akustik dikenal pula

Sound Transmission Class/STC, yaitu nilai atau rating hasil pengukuran rata-rata suatu material terhadap kemampuan meredam suara dimana makin tinggi nilai STC maka semakin tinggi pula kemampuannya untuk meredam suara. Dalam penelitian ini, papan partikel dengan komposisi serat *mesocarp* kelapa sawit dan partikel kayu sengon 0:100% memiliki nilai STC tertinggi yaitu 25 (Gambar 13). Standar ASTM-E413-10 tidak mencantumkan batas nilai STC yang diperkenankan, namun menurut Raymond et al (1976) nilai minimal STC yang ditoleransi adalah sebesar 25 untuk spot kamar tidur.



Keterangan (Remark):
A : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 0/100 %
C : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 25/75 %
E : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 50/50 %
G : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 75/25 %
I : Mesocarp : serbuk kayu sengon (Mesocarp : sengon wood powder) 100/0 %

Gambar 13. Sound Transmission Class (STC) papan partikel
Figure 13. Sound Transmission Loss (dB) of particle board

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagian papan hasil penelitian ini memiliki sifat fisik yang telah memenuhi SNI 03-2105-2006. Kadar air serta pengembangan tebal papan telah sesuai dengan standar SNI 03-2105-2006. Untuk kerapatan, hanya papan dengan komposisi bahan serat *mesocarp* kelapa sawit dan serbuk kayu sengon 50:50% yang memenuhi target kerapatan sebesar 0,4 g/cm³. Berdasarkan hasil pengujian, papan partikel menunjukkan sifat resisten terhadap serangan rayap tanah. Hal ini dibuktikan dengan kehilangan berat papan partikel campuran mesocarp dan kayu sengon lebih kecil dari kontrol (papan partikel kayu sengon solid) dan mortalitas rayap pada papan partikel dengan kombinasi bahan *mesocarp* kelapa sawit dan kayu sengon lebih besar dari kontrol. Komposisi bahan mempengaruhi kualitas redam suara papan partikel. Nilai Sound Transmission Loss (TL) yang diperoleh adalah antara 0,2-51,1 dB dan nilai Sound Transmission Class (STC)

berkisar 9-25. Papan dengan nilai STC 25 dapat digunakan untuk bahan interior dalam ruangan seperti kamar tidur. Hasil pengujian redam suara menunjukkan papan partikel dengan komposisi 100% serbuk kayu sengon memiliki nilai STC tertinggi (25) dan merupakan nilai minimal yang disyaratkan. Penelitian lanjutan diperlukan berupa perlakuan pendahuluan pada *mesocarp* kelapa sawit sebelum dibuat menjadi papan untuk meningkatkan daya redam suaranya sehingga berpotensi untuk dikembangkan sebagai alternatif produk interior peredam suara di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Tanjungpura dan Fakultas Kehutanan atas pendanaan penelitian ini melalui skema dana DIPA, berdasarkan surat perjanjian kontrak penelitian nomor 2305/UN22.7/PT.01.03/2024 tanggal 23 April 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, R., Khabibi, J., & Adelka, Y.F. (2021). Karakteristik papan partikel dari campuran limbah akasia (*Acacia mangium Willd.*) dan kulit kelapa muda (*Cocos nucifera* L.). *Jurnal Silva Tropika*, 5(1), 366-381.
- Abdurachman & Hadjib, N. (2020). Sifat papan partikel dari kayu kulit manis (*Cinnamomum burmanii* BL.). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 9(2):128-141.
- Anistasya, N.F., Hendri, D., & Fauziah, I.Y. (2024). Penggunaan serbuk gergaji kayu sengon sebagai soundproofing pada dinding dan lantai kos putri rahayu Studi Kasus: (Kamar Tidur Kos Putri Rahayu). *Prosiding Seminar Karya & Pameran Arsitektur Indonesia* (hal. 410-428).
- Arinana, Philippines, I., Bahtiar, E.T., Koesmaryono, Y., Nandika, D., Rauf, A., ... & Sumertajaya, I.M. (2016). *Coptotermes curvignathus* Holmgren (Isoptera: Rhinotermitidae) capability to maintain the temperature fluctuation inside its nests. *Journal of Entomology*, 13(5-6), 199-202.
- Astari, L., Syamani, F. A., & Prasetyo, K.W. (2019). Sifat fisik, mekanik dan akustik papan partikel berbahan dasar batang jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 11(1), 41-52.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2010). Classification for Rating Sound Insulation (ASTM-E413-10). ASTM International.
- Alim, M. I., & Anggoro, D. (2017). Pengukuran Transmission Loss (TL) dan Sound Transmission Class (STC) pada Suatu Sampel Uji. Diakes dari DOI: 10.13140/RG.2.2.19507.17448
- Athariqa, D., Selvi, M. O., & Dicky, D. (2022). Urea Formaldehid Konsentrat Sebagai Bahan Baku Resin Urea-Formaldehid. *Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 6(1), 11-21.
- Rifaida, E., Mukti, W., & Rini, M. 2014. Pembuatan dan karakterisasi peredam suara dari bahan baku serat alam. *Jurnal Arena Tekstil* 29(1), 1-8.
- Fransiskus, H., Hartono, R., & Sucipto, T. (2015). Kualitas Papan Partikel dari Campuran Sabut Kelapa dan Partikel Mahoni dengan Berbagai Variasi Kadar Perekat Phenol Formaldehida. *Peronema Forestry Science Journal*, 4(2), 53-61.
- Haryanti, A., Norsamsi, N., Sholiha, P. S. F., & Putri, N. P. (2014). Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*, 3(2), 20-29.
- Haygreen, J.G., & Bowyer, J.L. (1996). Hasil hutan dan ilmu kayu. Suatu pengantar. Hadikusuma S.A., Penerjemah: Prawiro, H.S., editor. Terjemahan dari: Forest Product and Wood Science, An Introduction. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Indrayani, Y., & Fatmawati, D. (2019). Effect of bait density on consumption rates and mortality of subterranean termite *Coptotermes curvignathus*. *Journal of Biological Researches*, 24(2), 90-94.
- Kuswarini, S. (2009). Papan partikel dari tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Riset Industri*, 3(3). 185-189.
- Laksono, A.D., Ernawati, L., & Maryanti, D. (2019). Pengaruh fraksi volume komposit polyester berpengaruh limbah serbuk kayu bangkirai terhadap sifat material akustik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 10(3), 277-285.
- Lestari, R.Y., Harsono, D., Cahyana, B.T., Atmaja, B.T., & Asmoro, W.A. (2018). Tingkat redaman suara papan komposit dari tandan kosong kelapa sawit dan serbuk kayu akasia. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Inovasi Industri Tahun* (hal. 31-38).
- Maloney, T.M. (1993). Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing. Miller Freeman Inc, New York.
- Maulida, N.A. (2021). Pengaruh jenis perekat pada uji keawetan papan partikel dari Serat tandan kosong kelapa Sawit dan serbuk batang tembakau terhadap serangan rayap tanah (Skripsi Sarjana). Universitas Brawijaya, Malang.
- Mikael, I., Hartono, R., & Sucipto, T. (2015). Kualitas papan partikel dari campuran ampas tebu dan partikel mahoni dengan berbagai variasi kadar perekat phenol formaldehida. *Peronema Forestry Science Journal*, 4(2), 45-52.
- Nugroho, T. A., & Salamah, Z. (2015). Pengaruh lama perendaman dan konsentrasi biji sengon (*Paraserianthes falcataria* L.). *JUPEMASI-PBIO*, 9(8), 230-236.
- Nugroho. (2008). Rancangan Percobaan. UNIB Press.
- Purwanto, D., Riset, B., & Banjabaru, S. I. (2016). Sifat fisis dan mekanis papan partikel dari limbah campuran serutan rotan dan sebuk kayu. *Jurnal Riset Industri*, 10(3), 125-133.
- Putra, A. S. (2020). Penentuan koefisien serap bunyi papan partikel dari limbah pelepasan kelapa Sawit. *Jurnal Surya Teknika*, 7(2), 182-185.
- Raymond, D., Berendt & Edith, L. R. Corliss (1976). Quieting: A Practical Guide to Noise Control. National Bureau of Standards Handbook 119. U.S. Government Printing Office, Washington.
- Rislyana, F., Harlia, Sitorus B. (2015). Bioaktivitas ekstrak batang kecombrang (*Etlingera elatior* (Jack) R.M.Sm.) terhadap rayap *Coptotermes curvignathus* sp. *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 4(3): 9- 15.
- Roza, D., Dirhamsyah, M, Nurhaida. (2015). Sifat fisik dan mekanik papan partikel dari kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* L) dan serbuk sabut kelapa (*Cocos nucifera* L). *Jurnal Hutan Lestari*, 3(3), 374-382.
- Sadik, R., & Amalia, R. (2023). Produksi dan karakterisasi material komposit peredam suara berbahan serat alam dengan metode sintetik Hand Lay-Up. *Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan*, 44(2), 130-138.

- Suandi, A. (2009). Karakteristik ssound transmission loss pintu akustik yang digunakan sebagai penghalang kebisingan. *Jurnal Purifikasi*, 10(2), 125–132.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2006). Papan Partikel (SNI 03-2105-2006). Badan Standarisasi Nasional.
- Sornnuwat Y. (1996). Wood Consumption and survival of ssubterranean termite *Coptotermes gestroi Wasmann*. Proceedings The 1996 Annual Meeting of International Research Group on Wood Preservation. Stockholm. Sweden.
- Susilo, Y.D. (2017). Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin serat sawit hasil fermentasi jamur pelapuk. (Skripsi Sarjana). Universitas Hasanudin, Makassar.
- Siahaan, M. Y. R., & Darianto, D. (2020). Karakteristik koefisien sserap suara material concrete foam dicampur sserat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan metode *Impedance Tube*. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(1), 85-93.
- Tampubolon, A.E., Oemry, S., & Lubis, L. (2015). Uji daya hidup rayap tanah (*Coptotermes curvignathus Holmgren*) (Isoptera: Rhinotermitidae) dalam berbagai media kayu di laboratorium. *Jurnal Online Agrockoteaknologi*, 3(3), 864-869.
- Trisanti, P. N., HP, S. S., Nura'in, E., & Sumarno, S. (2018). Ekstraksi selulosa dari serbuk gergaji kayu sengon melalui proses delignifikasi alkali ultrasonik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(3), 113-119.
- Viviana, M., & Tavita, G. E. (2019). Keawetan papan partikel dari batang sorgum dan kayu akasia dengan perekat *Urea Formaldehida* terhadap serangan rayap tanah. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(2), 763-772.
- Zhang, J., Song, F., Tao, J., Zhang, Z., & Shi, S. Q. (2018). Research progress on formaldehyde emission of wood-based panel. *International Journal of Polymer Science* 2018. doi:10.1155/2018/9349721.