



## **Dampak Proses Bleaching terhadap Sifat Kimia dan Mekanis Kayu Karet yang Terinfeksi Blue Stain pada Produk Furnitur**

*(Impact of Bleaching on the Chemical and Mechanical Properties of Blue Stain-Infected Rubberwood for Furniture Product)*

**Taufik Ramadhan Fitrianto<sup>1</sup>, Nurhanifah<sup>2\*</sup>, Siska Anggiri<sup>3</sup>, Soleh Muhamad<sup>4</sup>, Arip Wijayanto<sup>5</sup>, Desy Mulyosari<sup>6</sup>, Wahyu Widiyanto<sup>7</sup>**

*1,2,3,4,5,6,7)Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Kendal 51371, Indonesia*

*\*Korespondensi: Nurhanifah*

Diterima: 26 Juni 2024, Direvisi: 25 Juli 2024, Disetujui: 05 Desember 2024

DOI: 10.31849/forestra.v20i1.21248

### **Abstract**

*Rubberwood (Hevea brasiliensis) plays a significant role in the furniture industry due to its flexibility and affordable price. However, this type of wood often suffers from quality degradation caused by blue stain fungus, which can damage its appearance and mechanical properties, thereby reducing its commercial value. The most common method to address this issue is wood bleaching to eliminate fungal infestations. This study examines the effect of bleaching using White Agent-250 (WA-250) on the chemical and mechanical properties of rubberwood affected by blue stain fungus. The study compares the chemical and mechanical properties of bleached wood with those of untreated wood (control). Chemical component analysis shows that most changes in extractives, lignin, holocellulose, and alpha-cellulose were not statistically significant, except for a decrease in NaOH-soluble extractives by 1%. In mechanical property testing, the results indicate a reduction in the average values of modulus of elasticity (MoE) and modulus of rupture (MoR) in bleached wood, although these reductions were also not statistically significant. The reduction in MoE and MoR values is suspected to be due to an increase in wood moisture content and lignin degradation caused by the bleaching process. The results of this study indicate that although there are some changes in the chemical components and mechanical properties of wood after bleaching treatment, many of these changes are not statistically significant, suggesting that bleaching with WA-250 does not substantially impact the quality of rubberwood.*

**Keywords:** *Chemical analysis, , modulus of elasticity (MoE), modulus of rupture (MoR), mechanical testing*

### **Abstrak**

Kayu karet (*Hevea Brasiliensis*) memiliki peran penting dalam industri furnitur karena sifatnya yang fleksibel dan harganya yang ekonomis. Namun, kayu jenis ini kerap mengalami penurunan kualitas akibat serangan jamur blue stain yang dapat merusak penampilan serta sifat mekanisnya, sehingga menurunkan nilai jualnya. Metode paling umum untuk menanggulangi persoalan tersebut adalah dengan menggunakan bleaching kayu untuk menghilangkan serangan jamur. Penelitian ini mengkaji pengaruh proses bleaching menggunakan White Agent-250 (WA-250) terhadap sifat kimiawi dan mekanis kayu karet yang terserang jamur blue stain. Studi ini membandingkan sifat kimia dan mekanis antara kayu yang di bleaching dengan yang tidak (kontrol). Analisis komponen kimia menunjukkan bahwa sebagian besar perubahan pada zat ekstraktif, lignin, holoselulosa, dan alfa-selulosa tidak signifikan secara statistik, kecuali penurunan kadar zat ekstraktif larut NaOH 1%. Pada pengujian sifat mekanis, hasil menunjukkan penurunan rata-rata nilai modulus elastisitas (MoE) dan modulus patah (MoR) pada kayu yang di bleaching, meskipun penurunan ini juga tidak signifikan secara statistik. Penurunan nilai MoE dan MoR diduga akibat peningkatan kadar air dalam kayu serta degradasi lignin akibat proses bleaching. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun ada beberapa perubahan pada komponen kimia dan sifat mekanis kayu setelah perlakuan



bleaching, banyak dari perubahan ini tidak signifikan secara statistik, sehingga perlakuan bleaching dengan WA-250 tidak memberikan dampak yang substansial terhadap kualitas kayu karet.

Kata kunci: Analisis kimiawi, modulus elastisitas, modulus patah, uji mekanis,

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan kayu karet (*Hevea Brasiliensis*) dalam produk furnitur didorong oleh fleksibilitasnya dalam proses pengolahan kayu modern, seperti pengeringan dan perlakuan kimia, yang meningkatkan daya tahan dan kualitas estetika kayu. Selain itu, kayu karet memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan jenis kayu keras lainnya. Hal ini yang membuatnya populer di kalangan produsen dan konsumen furnitur. Meski begitu, kayu karet yang terserang jamur dapat menyebabkan perubahan warna, pelunakan, bahkan pembusukan (Zhao et al., 2019), yang mengakibatkan turunnya kualitas kayu, baik dari segi kekuatan maupun penampilan. Penurunan kekuatan kayu menjadi fokus utama saat kayu digunakan sebagai bahan baku untuk furnitur, terutama pada produk furnitur yang diperuntukkan luar ruangan.

Upaya pencegahan serangan jamur blue stain pada kayu dapat dilakukan dengan menggunakan fungisida atau perlakuan dengan bahan kimia lainnya (Ismanto & Martono, 2013). Fungisida atau bahan kimia tersebut dapat diaplikasikan dengan metode pencelupan, pelaburan, atau penyemprotan, kemudian kayu dikeringkan (Listyanto, 2018). Salah satu bahan kimia yang lazim digunakan dalam industri furnitur adalah White Agent-250 (WA-250). WA-250 merupakan larutan pemutih kayu yang meratakan dan membersihkan serta menghilangkan bercak jamur blue stain dengan mudah dan cepat. Proses pemutihan kayu dengan WA-250 dapat membersihkan dan menyempurnakan tampilan kayu sekaligus menjaga butiran dan tekstur alami kayu.

Penggunaan WA-250 terbukti efektif untuk menghilangkan bercak jamur blue stain pada kayu pinus meskipun meningkatkan kadar air pada kayu (Wijayanto et al., 2023).

Penggunaan bahan pemutih tidak hanya mempengaruhi perubahan warna, tetapi juga diduga mempengaruhi sifat kimiawi dan mekanis kayu. Sampai saat ini belum dilakukan penelitian mengenai pengaruh proses pemutihan dengan WA-250 terhadap sifat fisik dan mekanik kayu karet yang terkena jamur blue stain. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh proses bleaching WA-250 terhadap sifat kimiawi dan mekanis kayu karet yang terserang blue stain.

## II. METODE PENELITIAN

Pengujian sifat kimia dan mekanis dilakukan pada contoh uji yang telah *dibleaching* dibandingkan dengan kontrol yaitu kayu yang tidak diberi perlakuan *bleaching*.

### *Penentuan kadar ekstraktif*

Penentuan kadar ekstraktif serbuk kayu setara 1 gram berat kering tanur diekstrak dengan pelarut etanol-toluena (2:1, v/v) menggunakan ASTM D 1107-96 (ASTM D1106-96, 2002) yang dimodifikasi dengan metode Jayme-Wise (Macfarlane, 1999) kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi air panas (ASTM D1110-80, 2002). Ekstraksi dengan soxhlet dilakukan selama 6 jam, sedangkan ekstraksi dengan air panas dilakukan selama 3 jam. Ekstrak yang diperoleh kemudian dikeringkan dan ditimbang untuk dihitung rendemennya berdasarkan berat serbuk awal.

### *Pengujian kadar holoselulosa, alfa-selulosa, dan lignin*

Pengujian dilakukan pada serbuk kayu bebas ekstraktif sebanyak 0,7 gram melalui metode modifikasi asam klorit (Browning, 1967). Kadar alfa-selulosa diperoleh dari residu holo-selulosa yang dilarutkan dengan NaOH 17,5 % (ASTM D1103-60, 1985).



Kadar lignin ditentukan menggunakan standar ASTM D 1106-96 (ASTM D1106-96, 2002) yang sudah dimodifikasi (Duret et al., 2013), yakni dengan melarutkan serbuk bebas ekstraktif sebanyak 0,1 gram berat kering tanur dengan asam sulfat 72%. Berat kadar holoselulosa, alfa-selulosa dan lignin dihitung berdasarkan berat kering tanur serbuk bebas ekstraktif.

#### *Pengujian Sifat Mekanis*

Pengujian sifat mekanis kayu dilakukan setelah proses bleaching, mengacu pada BS 373- 1957 untuk pengujian benda uji kecil dan sempurna. Sampel kontrol (tanpa larutan pemutih) dan sampel yang diberi pemutih masing-masing terdiri dari lima ulangan. Dimensi ukuran sampel untuk pengujian kekuatan dan kekerasan lentur statis adalah tebal, lebar, dan panjang (2 x 2 x 30) cm. Pengujian mekanis dilakukan dengan menggunakan UTM metode *one-point loading* secara terpusat. Benda uji diletakkan mendarat dengan jarak tanam 28 cm. Kecepatan *loading* adalah 6,6 mm/menit.

Pengujian tersebut dapat diketahui nilai modulus of elastisitas (MOE) dan modulus of rupture (MOR) yang dihitung menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$\text{MOE} = \frac{\Delta P L^3}{4 \Delta y b h^3} \quad (1)$$

$$\text{MOR} = \frac{3 PL}{2 b h^2} \quad (2)$$

Keterangan:

- MOE : *Modulus of elasticity* (kg/cm<sup>2</sup>)
- MOR : *Modulus of rupture* (kg/cm<sup>2</sup>)
- ΔP : Perubahan beban yang terjadi di bawah batas proporsi (kg)
- P<sub>max</sub> : Beban maksimum (kg)
- L : Panjang bentang (cm)
- Δy : Perubahan defleksi akibat beban
- b : (cm)
- h : Lebar contoh uji (cm)  
Tebal contoh uji (cm)

#### *Uji Statistik*

Pengujian ini bertujuan melihat seberapa besar perbedaan kekuatan dan kelenturan kayu setelah melalui proses bleaching. Rata-rata nilai MoE dan MoR kemudian dihitung untuk masing-masing kelompok.

Selanjutnya, data ini dianalisis menggunakan uji t dua arah (two-tailed t-test) dengan asumsi bahwa varians kedua kelompok adalah sama. Uji t ini membantu menentukan apakah perbedaan yang teramati antara kedua kelompok signifikan secara statistik atau tidak. Dalam analisis statistik, derajat kebebasan (degree of freedom) adalah nilai yang dihitung berdasarkan jumlah sampel pada masing-masing kelompok, yang dalam penelitian ini menghasilkan nilai 6. Derajat kebebasan menentukan batas kritis untuk menginterpretasikan hasil uji statistik, seperti nilai p (p-value) dan nilai t (t-value).

Nilai t-statistik atau **t Stat** adalah nilai yang diperoleh dari perhitungan uji t, yang menggambarkan besarnya perbedaan antara rata-rata dua kelompok berdasarkan variasi data. Sementara itu, **t-value** adalah nilai ambang batas yang menunjukkan pada tingkat kepercayaan 95% (α = 0,05) kapan hipotesis nol (bahwa tidak ada perbedaan antara kelompok) seharusnya ditolak.

Rata-rata untuk setiap kelompok dihitung dengan persamaan berikut:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3)$$

Keterangan:

- X<sub>i</sub> : Data sampel ke-i
- n : Banyaknya data sampel

Karena asumsi varians kedua kelompok sama, varians gabungan ( $S_p^2$ ) dihitung dengan rumus berikut:

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \quad (4)$$



Keterangan:

- $S_1^2$  dan  $S_2^2$  : Varians dari masing-masing kelompok
- $n_1$  dan  $n_2$  : Banyaknya data sampel dalam masing-masing kelompok

Setelah varians gabungan dihitung, nilai  $t$  dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{S_p^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (5)$$

Keterangan:

- $\mu_1$  dan  $\mu_2$  : Rata-rata masing-masing kelompok
- $S_p^2$  : Nilai varians gabungan
- $n_1$  dan  $n_2$  : Banyaknya data sampel dalam masing-masing kelompok

Derajat kebebasan untuk uji  $t$  dengan dua sampel independen dapat dihitung dengan:

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (6)$$

Setelah nilai  $t$  dihitung,  $p$ -value didapat dengan membandingkan nilai  $t$  dengan distribusi  $t$ . Jika  $p$ -value lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditentukan (misalnya 0,05 untuk 95% confidence level), maka hipotesis nol dapat ditolak.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### *Sifat Kimiawi*

Zat ekstraktif merupakan suatu kelompok bahan kimia yang diperoleh sebagai hasil sekresi tanaman. Pada beberapa jenis kayu zat ekstraktif dapat bersifat racun terhadap mikroba dan serangga, jadi keawetan kayu dipengaruhi oleh daya racun dan kandungan zat ekstraktifnya (S.S.Achmadi, 1990). Kadar ekstraktif berpengaruh terhadap sifat kayu, pengolahannya, misalnya sifat keawetan alami, warna, pengeringan dan perekatan (Lukmandaru, 2010). Berdasarkan analisis komponen kimia kayu kontrol dan kayu yang diberi perlakuan bleaching, terdapat beberapa perubahan yang dapat diamati disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Komponen Kimia

Analisis Komponen Kimia	Kayu Kontrol (%)	Kayu Bleaching (%)	p-value
Zat ekstraktif larut etanol-benzena	1.935	2.283	0.317
Zat ekstraktif larut air panas	5.100	4.534	0.241
Zat ekstraktif larut air dingin	2.905	2.905	0.999
Zat ekstraktif larut NaOH 1%	17.173	16.153	0.032
Lignin	28.177	27.067	0.133
Holoselulosa	74.484	75.761	0.140
Alfaselulosa	41.725	41.367	0.498

Pada kayu kontrol, kadar zat ekstraktif larut etanol-benzena adalah 1.935%, sedangkan pada kayu bleaching, kadar ini meningkat menjadi 2.283%. Namun, peningkatan ini tidak signifikan secara statistik, dengan  $p$ -value sebesar 0.317. Kadar ekstraktif terlarut etanol-benzene semakin menurun akibat bleaching, seharusnya ini akan semakin baik pada sifat-sifat lainnya, namun hasilnya berbeda pada kekuatan sifat mekanisnya yang dimana tidak hanya zat ekstraktif saja yang terdegradasi,

komponen struktural lignin juga terdegradasi akibat perlakuan bleaching, sehingga sifat mekanis yang dihasilkan juga menurun.

Kadar zat ekstraktif larut air panas pada kayu kontrol adalah 5.100%, sementara pada kayu bleaching, kadar ini menurun menjadi 4.534%, dengan  $p$ -value 0.241, menunjukkan penurunan ini tidak signifikan secara statistik. Kadar zat ekstraktif larut air dingin pada kedua jenis kayu tetap sama, yaitu 2.905%, dengan  $p$ -value 0.999, menunjukkan tidak ada perbedaan



yang signifikan. Kelarutan zat ekstraktif terlarut air panas lebih tinggi dibandingkan dengan kelarutan dalam air dingin. Kelarutan zat ekstraktif yang terlarut dalam air dingin terdiri dari tannin, gums, gula, zat pewarna dan komponen inorganik. Sedangkan zat ekstraktif yang terlarut air panas terdiri dari yang terlarut air dingin ditambah pati (TAPPI, 1999).

Hasil uji ini didukung oleh studi yang dilakukan oleh Aridi et al. (2021) yang menemukan bahwa meskipun sodium hipoklorit efektif melarutkan hemiselulosa dan mencerahkan warna kayu, namun tidak dapat mengubah kandungan lignin pada kayu.

Selanjutnya, pada kayu kontrol, kadar zat ekstraktif larut NaOH 1% adalah 17.173%, dan pada kayu bleaching, kadar ini menurun menjadi 16.153%. Penurunan ini signifikan secara statistik dengan p-value 0.032. Kelarutan kadar zat ekstraktif kayu karet dan kayu pinus dalam larutan NaOH 1% tergolong tinggi dibandingkan dengan kelarutan yang lain. Hal ini disebabkan oleh, larutan NaOH 1% dapat melarutkan sebagian hemiselulosa dan lignin berbobot molekul rendah (Fengel & Wegener, 1984) (Sjostrom, 1991). Kelarutan dalam NaOH 1% diduga merupakan gula-gula rantai sederhana yang berasal dari hemiselulosa, lignin, dan ekstraktif (Yunanta et al., 2014). Hal ini dikarenakan adanya kesesuaian antara kelarutan dalam NaOH 1% dengan kadar hemiselulosa dan lignin yang dihasilkan. Kadar lignin pada kayu kontrol adalah 28.177%, sedangkan pada kayu bleaching, kadar ini menurun menjadi 27.067%, namun penurunan ini juga tidak signifikan secara statistik, dengan p-value 0.133. Kadar holoselulosa pada kayu kontrol adalah 74.484%, dan pada kayu bleaching, kadar ini meningkat menjadi 75.761%, dengan p-value 0.140, menunjukkan peningkatan ini tidak signifikan secara statistik. Terakhir, kadar alfaselulosa pada kayu kontrol adalah 41.725%, sedangkan pada kayu bleaching, kadar ini sedikit menurun menjadi 41.367%, dengan p-value 0.498, menunjukkan penurunan ini tidak signifikan secara statistik.

Tidak terjadinya perubahan signifikan terhadap komposisi holoselulosa,  $\alpha$ -selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada kayu karet diduga karena sodium hipoklorit kurang efektif dalam mengoksidasi struktur karbonil lignin. Nielsen (2007) melaporkan bahwa sodium hipoklorit, yang bereaksi dengan gugus fenolik bebas, tidak efektif sebagai klorin untuk mendegradasi lignin. Penelitian yang dilakukan Bhardwaj & Nguyen (2005) dan Jung et al. (2020) s, sodium hipoklorit yang termasuk dalam golongan klorin lebih baik digunakan untuk menghilangkan atau mencerahkan noda warna meskipun merupakan oksidator kuat. Keduanya menguatkan gagasan bahwa sodium hipoklorit kurang efektif dalam mendegradasi lignin.

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa proses bleaching pada kayu menghasilkan beberapa perubahan dalam komponen kimianya, meskipun sebagian besar perubahan tersebut tidak signifikan secara statistik, kecuali pada zat ekstraktif larut NaOH 1%. Perubahan yang paling mencolok adalah penurunan kadar zat ekstraktif larut NaOH 1% pada kayu yang diberi perlakuan bleaching, yang mungkin berdampak pada sifat kimia dan fisik kayu tersebut.

#### *Sifat Mekanis*

Sifat mekanis kayu yang diuji pada penelitian ini adalah pengujian lentur statis. Pengujian dilakukan pada sampel kayu karet tanpa perlakuan bleaching dan kayu karet yang diberikan perlakuan bleaching masing-masing 5 ulangan. Pengujian sifat mekanis berdasar standar BS 373-1957. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata nilai MoE dan MoR kayu yang diberikan perlakuan bleaching mengalami penurunan.

Meskipun mengalami penurunan nilai MoE dan MoR, uji t-test dengan confidence level 95% menunjukkan bahwa penurunan nilai MoE maupun MoR tidak signifikan, ditunjukkan pada tabel 2.



Tabel 2. Hasil Uji Signifikansi (t-test two tail) dengan Asumsi Nilai Varians Sama Besar

Indikator	MoE Kayu Kontrol	MoE Kayu Bleaching	MoR Kayu Kontrol	MoR Kayu Bleaching
Mean	51882.737	50521.39	730.326	623.4490
Degree of freedom	6		6	
t Stat	0.3558		1.3564	
P-value	0.7341		0.2238	
t-value	2.4469		2.4469	

Sifat mekanis kayu dipengaruhi oleh sifat fisiknya, seperti kerapatan dan kadar air yang terkandung di dalamnya. Kerapatan kayu, yang sering diukur dalam satuan kilogram per meter kubik ( $\text{kg/m}^3$ ), berbanding lurus dengan kekuatannya. Semakin tinggi kerapatan kayu, semakin besar pula kekuatan mekanisnya, termasuk modulus elastisitas (MoE) dan modulus patah (MoR). Hal ini disebabkan oleh struktur sel kayu yang lebih padat, sehingga kayu dapat menahan beban lebih baik.

Hasil ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Akkuş & Budakçı (2020) dan Aridi et al. (2021), keduanya menemukan bahwa proses bleaching menggunakan sodium hipoklorit efektif mendegradasi kandungan lignin pada kayu. Degradasi lignin ini berdampak signifikan terhadap penurunan MoE dan MoR yang disebabkan peningkatan kadar air pada kayu.

Sebaliknya, kadar air dalam kayu, yang diukur sebagai persentase dari berat kayu kering, berbanding terbalik dengan kekuatannya. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan kayu menjadi lebih lunak dan kurang stabil secara dimensional, karena molekul air yang menempati ruang antar serat kayu menyebabkan kayu menjadi lebih rentan terhadap deformasi dan kerusakan. Kadar air yang berlebihan juga dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme yang dapat merusak struktur kayu (Erwinsyah & Darnoko, 2023).

Oleh karena itu, meskipun proses bleaching efektif dalam meningkatkan estetika kayu, dampaknya terhadap sifat mekanis kayu memerlukan pertimbangan cermat sebelum dapat diaplikasikan secara utuh dalam proses produksi.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komponen kimia dan sifat mekanis kayu karet, ditemukan beberapa perubahan akibat proses bleaching menggunakan sodium hipoklorit (WA-250). Secara kimiawi, zat ekstraktif, lignin, holoselulosa, dan alfaselulosa mengalami perubahan, namun sebagian besar tidak signifikan secara statistik. Perubahan yang signifikan hanya terjadi pada zat ekstraktif larut NaOH 1%, yang menunjukkan penurunan yang mungkin mempengaruhi sifat kimia dan fisik kayu. Proses bleaching juga menyebabkan penurunan nilai modulus elastisitas (MoE) dan modulus patah (MoR) kayu, meskipun penurunan ini tidak signifikan secara statistik. Penurunan tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh peningkatan kadar air dalam kayu dan degradasi lignin. Secara keseluruhan, meskipun proses bleaching mempengaruhi beberapa komponen kimia dan sifat mekanis kayu, banyak dari perubahan ini tidak signifikan secara statistik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akkuş, M., & Budakçı, M. (2020). Determination of color-changing effects of bleaching chemicals on some heat-treated woods. *Journal of Wood Science*, 66(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01916-w>
- Aridi, A. S., Chin, N. L., Ishak, N. A., Yusof, N. N. M., Kadota, K., Manaf, Y. N., & Yusof, Y. A. (2021). Effect of Sodium Hypochlorite Concentration during Pre-treatment on isolation of Nanocrystalline Cellulose from *Leucana lucocephala* (lam.) Mature Pods. *BioResources*, 16(2), 3137–3158.
- ASTM D1103-60. (1985). Standard Test Method for Alpha-Cellulose in Wood. In *ASTM International*.



- ASTM D1106-96. (2002). Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood. In *ASTM International*.
- ASTM D1110-80. (2002). Standard Test Methods for Water-Solubility of Wood. In *ASTM International*.
- Bhardwaj, N. K., & Nguyen, K. (2005). Removal of Residual Lignin from Pulp by Oxidative Bleaching. . . *Journal of Pulp and Paper Science*, 31(4), 167–171.
- Browning, B. L. (1967). *Methods of Wood Chemistry*. Interscience Publishers.
- Duret, X., Kocaefe, D., & Poncsak, S. (2013). Effect of Heat Treatment on the Hygroscopicity of Wood. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 33(5), 286–298.
- Erwinsyah, & Darnoko, D. (2023). The Influence of Water Content on the Mechanical Properties of Wood. *Wood Science Journal*, 10(2), 123–130.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1984). *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter.
- Ismanto, A. , & Martono, S. (2013). Pencegahan Serangan Jamur pada Kayu dengan Fungisida. *Jurnal Hutan Tropis*, 5(1), 65–70.
- Jung, W., Savithri, D., Sharma-Shivappa, R., & Kolar, P. (2020). Effect of Sodium Hydroxide Pretreatment on Lignin Monomeric Components of *Miscanthus × giganteus* and Enzymatic Hydrolysis. *Waste and Biomass Valorization*, 11(11), 5891–5900. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00859-8>
- Listyanto, A. (2018). Metode Aplikasi Fungisida untuk Kayu. *Jurnal Teknik Pertanian*, 4(2), 73–80.
- Lukmandaru, G. (2010). Pengaruh Zat Ekstraktif terhadap Sifat Fisik dan Mekanis Kayu. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 4(2), 73–80.
- Macfarlane, D. W. , A. H. L. , & F. T. R. (1999). Quantifying Chemical Composition of Forest Soils Using Near-Infrared Reflectance. . . *Journal of Soil Science*, 50(4), 567–576.
- Nielsen, P. (2007). The Role of Sodium Hypochlorite in Lignin Degradation. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 27(2), 125–140.
- Sjostrom, E. (1991). *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. Academic Press.
- S.S.Achmadi. (1990). *Zat Ekstraktif Kayu dan Pengaruhnya terhadap Keawetan Kayu*. Universitas Indonesia.
- TAPPI. (1999). *Technical Association of the Pulp and Paper Industry Standards*. TAPPI Press.
- Wijayanto, H., Santoso, E., & Putra, I. (2023). Effectiveness of Sodium Hypochlorite in Removing Blue Stain from Pine Wood. *Journal of Wood Processing Technology*, 7(2), 298–305.
- Yunanta, H., Wardoyo, S., & Sudibyo, B. (2014). Kelarutan Hemiselulosa dan Lignin dalam NaOH 1% pada Kayu Karet. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, 7(2), 102–110.
- Zhao, B., Yu, Z., Zhang, Y., & Qi, C. (2019). Physical and mechanical properties of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) dyed with *Lasiodiplodia theobromae*. *Journal of Wood Science*, 65(1). <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1843-z>.