



Sifat Fisis dan Mekanis Papan Lamina dari Limbah Kayu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*) dan Kayu Meranti Merah (*Shorea leprosula* Miq.)

(Physical and Mechanical Properties of Laminated Wood from Ironwood (*Eusideroxylon zwageri*) and Red Meranti (*Shorea leprosula* Miq.) Waste)

Eva Nurmarini¹, Taman Alex¹, Salfinus¹, Risna Nona², Agung Nugrawan Kutana^{3*}

¹ Program Studi Rekayasa Kayu, Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Jalan Samratulangi Samarinda Seberang, Samarinda, 75131 Provinsi Kalimantan Timur

² Program Studi Sistem Informasi Akutansi, Jurusan Rekayasa dan Komputer, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Jalan Samratulangi Samarinda Seberang, Samarinda, 75131 Provinsi Kalimantan Timur

³ Program Studi Pengolahan Hasil Hutan, Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Jalan Samratulangi Samarinda Seberang, Samarinda, 75131 Provinsi Kalimantan Timur

* Corresponding Author: agungnugrawan@politanisamarinda.ac.id

Article History

Received : June 07, 2026

Revised : June 25, 2026

Approved : June 25, 2026

Keywords:

Ironwood, laminated boards, mechanical properties, physical properties, red meranti.

© 2026 Authors

Published by the Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Forestry and Fisheries, Palangka Raya University. This article is openly accessible under the license:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Sejarah Artikel

Diterima : 07 Juni, 2026

Direvisi : 25 Juni, 2026

Disetujui : 25 Juni, 2026

Kata Kunci:

Meranti merah, papan lamina, sifat fisis, sifat mekanis, ulin

© 2026 Penulis

Diterbitkan oleh Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Kehutanan dan Perikanan Universitas Palangka Raya.

Artikel ini dapat diakses secara terbuka di bawah lisensi:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ABSTRACT

The timber industry is growing with increasing demand for wood raw materials, driving innovations such as lamination. This study aims to determine the physical and mechanical properties of laminated boards made from a combination of ironwood (*Eusideroxylon zwageri*) and red meranti (*Shorea leprosula*) wood waste. The laminated boards were arranged in four combination treatments, namely MUM (Meranti-Ironwood-Meranti), MMM (Meranti-Meranti-Meranti), UMU (Ironwood-Meranti-Ironwood), and UUU (Ironwood-Ironwood-Ironwood), using PVAc adhesive with a pressing pressure of 8-9 bar for one hour. Testing was conducted on moisture content, density, Modulus of Elasticity (MoE), and Modulus of Rupture (MoR). The results showed that the moisture content of the laminated boards ranged from 13.52–17.32% and fell within the equilibrium moisture content range for tropical wood. The density values ranged from 0.54–0.94 g/cm³, with the highest value in ironwood and the lowest in red meranti wood. The MoE values ranged from 86,180 to 179,939 kgf/cm², and all variations met the JAS (2007) standard. The MoR values ranged from 754 to 1,512 kgf/cm², which also complied with the JAS breaking strength standard (≥ 300 kgf/cm²). The combination of ironwood and red meranti wood waste produced laminated boards with good performance and potential as an alternative sustainable construction material.

ABSTRAK

Industri perikanan meningkat seiring dengan peningkatan kebutuhan bahan baku kayu. Perlunya inovasi pemanfaatan sumber daya kayu seperti metode penyambungan atau laminasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis papan lamina yang dibuat dari kombinasi limbah kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) dan kayu meranti merah (*Shorea leprosula* Miq.). Papan lamina disusun dalam empat perlakuan kombinasi, yaitu MUM (Meranti-Ulin-Meranti), MMM (Meranti-Meranti-Meranti), UMU (Ulin-Meranti-Ulin), dan UUU (Ulin-Ulin-Ulin), menggunakan perekat PVAc dengan tekanan kempa 8-9 bar selama satu jam. Pengujian dilakukan terhadap kadar air, kerapatan, Modulus of Elasticity (MoE), dan Modulus of Rupture (MoR) mengacu pada standar ASTM D143-94. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air papan lamina berkisar antara 13,52–17,32% dan termasuk dalam rentang kadar air keseimbangan kayu tropis. Nilai kerapatan berkisar antara 0,54–0,94 g/cm³, dengan nilai tertinggi pada kayu ulin dan terendah pada kayu meranti merah. Nilai MoE berkisar antara 86.180–179.939 kgf/cm² dan seluruh variasi memenuhi standar JAS (2007). Nilai MoR berada pada kisaran 754–1.512 kgf/cm², juga sesuai dengan standar keteguhan patah JAS (≥ 300 kgf/cm²). Kombinasi limbah kayu ulin dan meranti merah menghasilkan papan lamina dengan performa baik dan berpotensi sebagai alternatif bahan konstruksi berkelanjutan.

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan industri per kayu membuat kebutuhan bahan baku kayu juga meningkat. Penggunaan kayu oleh industri primer pada 2005 sekitar 37,9 juta m³ dan pada tahun 2014 meningkat menjadi 60,3 juta m³ (Kementerian Kehutanan, 2012). Namun ketersediaan kayu berbanding terbalik dengan kebutuhan akan bahan baku kayu. Sehingga perlunya inovasi dalam pemanfaatan sumber daya kayu, khususnya penggunaan limbah kayu yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah yang dihasilkan dari industri dapat dimanfaatkan menjadi material dengan nilai tambah seperti produk rekayasa berbasis papan lamina. Papan laminasi merupakan kombinasi beberapa jenis potongan kayu menjadi satu kesatuan yang utuh. Papan laminasi dapat menghasilkan ukuran papan yang lebar dan panjang sesuai dengan yang dibutuhkan karena penyambungan dilakukan sepanjang yang dibutuhkan. Keunggulan utama papan laminasi adalah kekuatannya yang hampir sama dengan kayu solid.

Kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) merupakan kayu tropis khas Kalimantan yang memiliki kelas kuat I dan kelas awet I. Namun, ketersediaan dari kayu ini mulai terbatas (Susanty, 2022; Aprilia, 2025). Di sisi lain, kayu meranti merah (*Shorea leprosula* Miq.) merupakan salah satu kayu tropis yang melimpah dan banyak dikomersilkan sehingga lebih mudah dijangkau (Attarik, et al., 2024; Alwi, et al., 2025). Namun, dari segi karakteristik fisis maupun mekanis kayu ini tidak sebaik kayu ulin. Sehingga kombinasi dari kedua kayu ini dalam teknologi berbasis papan lamina berpotensi menghasilkan material yang lebih seimbang.

Pemanfaatan limbah kayu ulin sebagai bagian dari bahan baku lamina dapat meningkatkan performa kayu lamina, sementara penggunaan limbah meranti merah sebagai bahan baku kayu lamina dapat menekan serta mengurangi biaya produksi. Dengan demikian, penelitian terkait sifat fisis dan mekanis kayu lamina berbasis kombinasi

limbah ulin dan meranti merah perlu dilakukan. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana sifat fisis seperti kadar air dan kerapatan, serta sifat mekanis seperti *Modulus of Elasticity* (MoE) dan *Modulus of Rupture* (MoR) kayu lamina yang dihasilkan. Kajian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam pengembangan bahan konstruksi berkelanjutan serta memberikan solusi pemanfaatan limbah kayu secara ekonomis dan efisien.

2. Metode Penelitian

2.1. Obyek, Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Circular saw*, mesin serut, meteran, kaliper, mesin UTM (*Universal Testing Machine*), desikator, timbangan digital, mesin *press laminating*, oven, mesin lem PUR, dan kuas. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*), limbah kayu meranti merah (*Shorea leprosula* Miq.), dan perekat PVAc (*Polivinil Acetat*).

2.2. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan Baku

Limbah kayu ulin dan meranti merah dikumpulkan dari limbah industri mebel dan toko bangunan di kawasan Jalan Harun Nafsi, Samarinda Seberang, sedangkan perekat yang digunakan diperoleh dari PT Cahaya Samtraco Utama, Samarinda.

2. Pengolahan Bahan Baku

Proses pengolahan bahan baku diawali dengan pemotongan kayu menggunakan *circular saw* dan penghasulan permukaan dengan *planer* hingga diperoleh sampel berukuran panjang 50 cm, lebar 2,5 cm, dan tebal 1 cm. Setiap jenis kayu, baik ulin maupun meranti merah disiapkan masing-masing sebanyak 30 sampel. Selanjutnya, pembuatan kayu lamina dilakukan dengan menyusun tiga lapisan lamina dalam empat variasi susunan (**Tabel 1**).

Tabel 1. Variasi susunan kayu lamina

Susunan lamina	Keterangan	Jumlah ulangan	
		Fisis	Mekanis
MUM (Meranti-Ulin-Meranti)	Lapisan luar meranti, inti ulin	10	5
MMM (Meranti-Meranti-Meranti)	Semua lapisan meranti merah	10	5
UMU (Ulin-Meranti-Ulin)	Lapisan luar ulin, inti meranti	10	5
UUU (Ulin-Ulin-Ulin)	Semua lapisan ulin	10	5

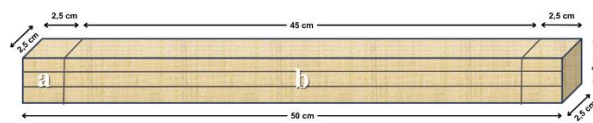
Proses pengeleman dilakukan dengan menggunakan perekat PVAc dengan berat labur sebesar 200 g/m². Setelah perekat diaplikasikan secara merata pada permukaan lamina, setiap susunan kayu dikempa menggunakan *press laminating* dengan tekanan 8-9 bar selama satu jam (**Gambar 1**). Setelah proses pengempaan selesai, kayu lamina dikeluarkan dan dikondisikan selama 24 jam untuk mencapai kestabilan dimensi serta memastikan perekat mengering sempurna sebelum dilakukan tahap pengujian berikutnya



Gambar 1. Proses pengempaan

3. Pembuatan Contoh Uji Fisis dan Mekanis

Sampel kayu lamina yang telah melalui proses pengempaan selanjutnya diolah menjadi contoh uji untuk pengujian sifat fisis dan mekanis. Sebelum pemotongan, setiap contoh uji diukur dimensinya menggunakan kaliper untuk memastikan ketepatan dimensi. Sampel untuk pengujian kadar air dan kerapatan dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 2,5 cm x 3 cm, sedangkan untuk pengujian MoE dan MoR dipotong dengan ukuran 45 cm x 2,5 cm x 3 cm. Penentuan ukuran ini mengacu pada standar ASTM D198-2018 (**Gambar 2**).



Gambar 2. Contoh uji (a) contoh uji sifat fisis; (b) contoh uji sifat mekanis

4. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis

Pengujian sifat fisis dan mekanis kayu lamina dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar material yang meliputi kadar air, kerapatan, serta sifat mekanis berupa *Modulus of Elasticity* (MoE) dan *Modulus of Rupture* (MoR). Pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang contoh uji untuk memperoleh berat awal, kemudian contoh uji dioven pada suhu 103±2 °C selama 24 jam. Setelah itu, contoh uji dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang untuk memperoleh berat kering tanur. Nilai kadar air dihitung menggunakan rumus berikut yang mengacu pada standar ASTM D143-94:

$$KA (\%) = \frac{BA - BKT}{BKT} \times 100\%$$

Keterangan:

KA (%) = kadar air

BA = berat awal (g)

BKT = berat kering tanur (g)

Selanjutnya, pengujian kerapatan membutuhkan data berat serta dimensi contoh uji pada kondisi kering tanur. Contoh uji dioven pada suhu 103±2 °C selama 24 jam lalu dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Contoh uji kemudian ditimbang untuk memperoleh berat kering tanurnya lalu diukur seluruh dimensinya (panjang, lebar, dan tebal) untuk memperoleh volumenya. Pengujian kerapatan dilakukan dengan menghitung perbandingan antara berat kering tanur dan terhadap volume kering tanur contoh uji. Perhitungan ini menggunakan rumus berikut yang juga mengacu pada standar ASTM D143-94.

$$\rho (\text{g/cm}^3) = \frac{BKT}{VKT}$$

Keterangan:

P = kerapatan (g/cm^3)

BKT = berat kering tanur (g)

VKT = volume kering tanur (cm^3)

Pada pengujian mekanis, dua parameter yang diukur adalah MoE dan MoR. Pengujian MoE dilakukan menggunakan mesin UTM dengan meletakkan contoh uji secara mendatar pada dua penyangga dan memberikan beban di bagian tengah hingga mencapai batas proporsional. Defleksi yang terjadi akibat pembebanan dicatat, kemudian nilai MoE dihitung menggunakan rumus berikut berdasarkan acuan ASTM D143-94.

$$\text{MoE (kg/cm}^2\text{)} = \frac{L^3 \Delta F}{4a^3 b \Delta f}$$

Keterangan:

MoE = elastisitas (kg/cm^2)

ΔF = beban pada batas proporsi (kgf)

L = jarak bentang (cm)

Δf = defleksi (mm)

b = lebar spesimen (cm)

a = tebal spesimen (cm)

Sementara itu, pengujian MoR juga dilakukan dengan menggunakan mesin UTM. Nilai MoR dihitung berdasarkan beban maksimum, panjang bentang, serta dimensi penampang contoh uji sebagaimana rumus berikut berdasarkan ASTM D143-94.

$$\text{MoR (kg/cm}^2\text{)} = \frac{3FL}{2a^2b}$$

Keterangan:

MoR = kekuatan patah (kg/cm^2)

F = beban maksimum (kg)

L = panjang bentang (cm)

b = lebar spesimen (cm)

a = tebal spesimen (cm)

2.3. Analisis Data

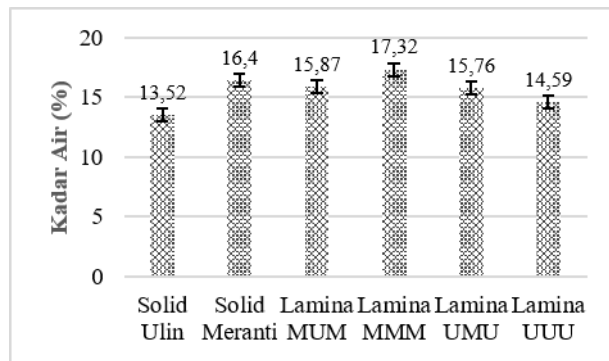
Data hasil pengujian dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap parameter yang diamati, dilakukan Analisis Sidik Ragam (ANOVA). Analisis ini digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antarperlakuan

terhadap sifat fisis maupun mekanis dari kayu lamina. Jika hasil ANOVA menunjukkan nilai Fhitung lebih besar dari Ftabel pada taraf kepercayaan 5% atau 1%, maka dilanjut dengan uji *Least Significant Difference* (LSD). Uji ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan yang memberikan pengaruh nyata terhadap parameter yang diuji (Gomez & Gomez, 2016).

3. Hasil Penelitian

3.1. Kadar Air

Pengukuran kadar air dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kandungan air yang terdapat di dalam masing-masing variasi lapisan kayu lamina. Hasil pengujian kadar air kayu solid meranti dan ulin serta seluruh variasi kayu lamina menunjukkan nilai pada kisaran 13,52-17,32% dengan rata-rata yaitu 15,58% (**Gambar 3**). Nilai tersebut masih termasuk dalam rentang kadar air keseimbangan (*Equilibrium Moisture Content/EMC*) untuk kondisi iklim tropis (Wulandari & Amin, 2022). Hal ini juga sejalan yang dilaporkan oleh Nugroho et al. (2024) bahwa kadar air di Indonesia berkisar antara 15-20%. Hasil penelitian menunjukkan kadar air kayu lamina menunjukkan variasi antarperlakuan, dengan nilai tertinggi terdapat pada lamina MMM yaitu 17,32% dan terendah pada solid ulin yaitu 13,52%. Variasi ini menunjukkan bahwa jenis kayu dan susunan laminasi berpengaruh terhadap kemampuan kayu menyerap dan mempertahankan kelembapan (Pang & Jeong, 2020; Hadi et al., 2022). Selain itu, penambahan perekat juga mempengaruhi kestabilan kayu dalam hal ini kemampuan kayu dalam menyerap dan melepaskan air (Dwiantari et al., 2024).



Gambar 3. Kadar air contoh uji

Tabel 2. Analisis sidik ragam pengaruh perlakuan terhadap nilai kadar air

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	5	90,3884	18,0777	25,59**	2,39	3,38
Galat	54	38,1458	0,7064			
Total	59	128,5342				

** = Sangat signifikan

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat signifikan terhadap kadar air kayu lamina (Fhitung > Ftabel) (Tabel 2). Uji lanjut LSD pada Tabel 3 memperlihatkan adanya perbedaan nyata antar sebagian besar perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi jenis kayu dalam struktur lamina memiliki pengaruh terhadap keseimbangan kadar air kayu (Rofii et al., 2022). Variasi nilai antarperlakuan juga disebabkan oleh struktur pori dari kedua jenis kayu. Kombinasi laminasi yang melibatkan kayu ulin memiliki struktur pori yang lebih kecil dibandingkan dengan kayu meranti. Sebagaimana yang dilaporkan Hidayat et al. (2017) bahwa ukuran pori kayu meranti merah (*S. leprosula*) yaitu 249.8 μm , yang dimana lebih besar dari ukuran pori ulin (*E. zwageri*) yaitu berada pada kisaran 100-200 μm sebagaimana yang dilaporkan Martawijaya et al. (2005).

Tabel 3. Hasil uji lanjut LSD selisih nilai kadar air kayu lamina dengan kombinasi lapisan

	Solid Ulin (13,52)	Solid Meranti (16,4)	Lamina MUM (15,87)	Lamina MMM (17,32)	Lamina UMU (15,76)	Lamina UUU (14,59)
Solid Ulin (13,52)	-	2,87**	2,34**	3,8**	2,24**	1,07**
Solid Meranti (16,4)	2,87**	-	0,53**	0,93**	0,63**	1,8**
Lamina MUM (15,87)	2,34**	0,53**	-	1,46**	0,1 ^{tn}	0,1 ^{tn}
Lamina MMM (17,32)	3,8**	0,93**	1,46**	-	1,56**	2,73**
Lamina UMU (15,76)	2,24**	0,63**	0,1 ^{tn}	1,56**	-	1,17**
Lamina UUU (14,59)	1,07**	1,8**	1,27**	2,73**	1,17**	1,17**

Keterangan:

LSD α 5% = 0,20028

α 1% = 0,26673

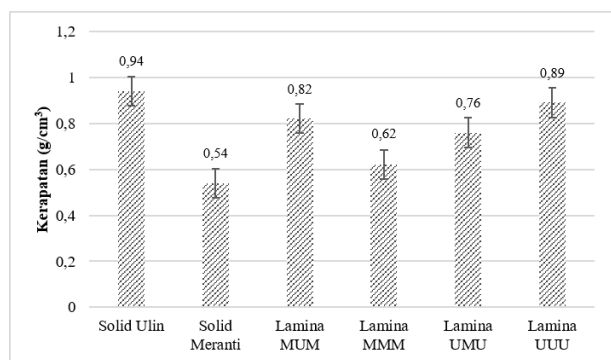
* = Signifikan pada taraf uji 5%

** = Sangat signifikan pada taraf uji 1%

tn = Tidak nyata

3.2. Kerapatan

Hasil penelitian menunjukkan nilai kerapatan kayu solid meranti dan ulin serta seluruh variasi kayu lamina berada pada kisaran 0,54-0,94 g/cm^3 (Gambar 4). Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada kayu solid ulin yaitu 0,94 g/cm^3 dan terendah pada kayu solid meranti yaitu 0,54 g/cm^3 . Hasil ini mendekati temuan Aiso-Sanada et al. (2020) yang melaporkan bahwa kayu *E. zwageri* memiliki nilai kerapatan yang tinggi sekitar 0,86 g/cm^3 . Sementara itu, meski nilai kerapatan meranti tergolong lebih rendah dari ulin, akan tetapi nilai kerapatan meranti pada penelitian ini masih tinggi dibandingkan yang dilaporkan Adi et al. (2020) yaitu berkisar 0,25 hingga 0,45 g/cm^3 . Hasil tersebut juga sejalan dengan nilai kerapatan pada kayu lamina, dimana kayu lamina yang seluruh lapisannya tersusun dari kayu meranti memiliki nilai kerapatan yang relatif rendah juga, yaitu sebesar 0,59 g/cm^3 . Sebaliknya, kayu lamina yang mengandung lapisan kayu ulin menunjukkan kerapatan yang lebih tinggi, mendekati kerapatan kayu solid ulin.



Gambar 4. Kerapatan contoh uji

Berdasarkan nilai kerapatan dari semua contoh uji, kayu solid ulin tergolong dalam kelas kuat I, sedangkan kayu solid meranti berada pada kelas kuat III. Setelah melalui proses laminasi, seluruh variasi susunan lapisan kayu lamina tergolong dalam kelas kuat II. Dengan demikian, proses laminasi dapat meningkatkan performa dan potensi pemanfaatan limbah kayu, khususnya dari jenis kayu meranti. Sementara itu, berdasarkan hasil penelitian kerapatan kayu ulin cenderung menurun ketika diolah menjadi kayu lamina dibandingkan dalam bentuk kayu solid. Sebaliknya, pada kayu meranti, nilai kerapatannya justru meningkat setelah dibentuk menjadi kayu lamina. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses laminasi dapat memengaruhi perubahan nilai kerapatan kayu. Sebagaimana yang dikemukakan Wulandari et al. (2022) bahwa proses laminasi dalam hal pengempaan, perekat, hingga jenis kayu lamina dapat memengaruhi kerapatan kayu

Tabel 4. Analisis sidik ragam pengaruh perlakuan terhadap nilai kerapatan

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	5	1,3579	0,2716	146,08**	2,39 3,38
Galat	54	0,1004	0,0019		
Total	59	1,4583			

** = Sangat signifikan

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai kerapatan kayu lamina (Fhitung > Ftabel) (Tabel 4). Uji lanjut LSD pada Tabel 5 memperlihatkan adanya perbedaan nyata hampir pada semua perlakuan, yang

menunjukkan bahwa komposisi jenis kayu dalam struktur lamina memiliki pengaruh terhadap nilai kerapatan. Sejalan yang dilaporkan Wulandari & Fahrussiam (2024) bahwa jenis kayu mempengaruhi nilai kerapatan pada papan laminasi.

Tabel 5. Hasil uji lanjut LSD selisih nilai kerapatan kayu lamina dengan kombinasi lapisan

	Solid Ulin (179939)	Solid Meranti (111074)	Lamina MUM (115854)	Lamina MMM (86180)	Lamina UMU (116616)	Lamina UUU (153882)
Solid Ulin (179939)	-	0,41**	0,12**	0,33**	0,19**	0,03**
Solid Meranti (111074)	0,41**	-	0,29**	0,08**	0,22**	0,38**
Lamina MUM (115854)	0,12**	0,29**	-	0,21**	0,07**	0,09**
Lamina MMM (86180)	0,33**	0,08**	0,21**	-	0,14**	0,3**
Lamina UMU (116616)	0,19**	0,22**	0,07**	0,14**	-	0,16**
Lamina UUU (153882)	0,03**	0,36**	0,09**	0,3**	0,16**	-

Keterangan:

LSD α 5%= 0,00054

α 1% = 0,00072

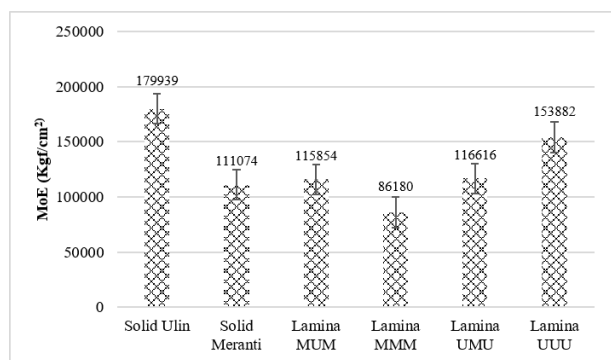
* = Signifikan pada taraf uji 5%

** = Sangat signifikan pada taraf uji 1%

tn = Tidak nyata

3.3. Modulus of Elasticity (MoE)

Modulus of Elasticity (MoE) menggambarkan kemampuan kayu dalam menahan deformasi ketika diberi beban hingga batas elastisitasnya. Ketika menerima beban melampaui batas proporsionalnya, maka kayu tersebut tidak mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan dan akan mengalami kerusakan atau patah (Priadi & Novianto, 2019). Hasil penelitian menunjukkan nilai MoE dari semua contoh uji berkisar dari 86180 hingga 179939 kgf/cm² (Gambar 5). Selain itu, nilai MoE tertinggi terdapat pada kayu solid ulin yaitu 179939 kgf/cm² dan terendah pada kayu lamina MMM (meranti-meranti-meranti) yaitu 86180 kgf/cm². Selain itu, nilai MoE pada semua perlakuan telah memenuhi persyaratan standar Jepang untuk nilai keteguhan lentur yaitu >75000 kgf/cm² (JAS, 2007).



Gambar 5. Nilai MoE contoh uji

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh signifikan terhadap nilai MoE contoh uji. Hal ini didasarkan pada hasil yang menunjukkan nilai Fhitung lebih besar dari nilai Ftabel (Tabel 6). Oleh karena itu, dilakukan uji lanjut LSD untuk mengetahui antar perlakuan yang berbeda (Tabel 7). Namun, meskipun hasil analisis sidik ragam menunjukkan adanya pengaruh perlakuan yang signifikan terhadap nilai MoE, hasil uji LSD menunjukkan bahwa hasil perlakuan tidak signifikan secara statistik yang ditunjukkan dengan hasil “tidak nyata” pada seluruh kombinasi. Secara mekanis, hasil ini dapat disebabkan oleh variasi nilai MoE yang relatif kecil dan tingkat homogenitas bahan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat tren perbedaan nilai antar jenis kayu, namun variasi tersebut masih berada dalam rentang kesalahan percobaan sehingga tidak signifikan secara statistik.

Tabel 6. Analisis sidik ragam pengaruh perlakuan terhadap nilai MoE

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	5	28383926197	5676785239	6,48**	2,62
Galat	24	20997387149	874891131		0,05
Total	29	49381313347			0,01

** = Sangat signifikan

Hasil tersebut sejalan yang dilaporkan Ismail et al. (2020) bahwa pada pengujian sifat mekanis kayu, perbedaan kerapatan dan struktur serat akan menunjukkan pengaruh signifikan terhadap nilai MoE. Sementara itu, pada penelitian ini variasi nilai kerapatan kayu pada semua perlakuan masih relatif kecil,

sehingga nilai MoE pada setiap kombinasi juga masih tergolong serupa. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa secara statistika variasi laminasi tidak menghasilkan perbedaan nilai MoE yang signifikan. Fenomena ini bisa terjadi karena nilai simpangan baku yang cukup besar antar ulangan, sehingga menimbulkan rentang kepercayaan yang tumpang tindih antar perlakuan. Selain itu, perekat dan penekanan juga dapat mengakibatkan kecilnya variasi dalam penyebaran tegangan yang membuat sifat elastisitasnya mendekati kayu solid. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Santoso et al. (2020) bahwa kayu lamina dengan kualitas perekatan yang baik dapat pula memberikan nilai MoE yang tinggi.

Berdasarkan hasil uji LSD tersebut, pengaruh jenis dan kombinasi lapisan lamina terhadap nilai MoE bersifat tidak signifikan, namun hasil tersebut menunjukkan bahwa kayu lamina pada penelitian ini memiliki potensi sebagai alternatif pengganti kayu solid. Hal tersebut dikarenakan kayu lamina mampu mempertahankan nilai MoE yang sebanding dengan kayu solid tanpa menurunkan kemampuan elastisitasnya secara nyata. Oleh karena itu, secara teknis kayu laminasi layak untuk digunakan dalam aplikasi struktural dengan beban lentur sedang hingga tinggi.

Tabel 7. Hasil uji lanjut LSD selisih nilai MoE kayu lamina dengan kombinasi lapisan

	Solid Ulin (0,94)	Solid Meranti (0,54)	Lamina MUM (0,82)	Lamina MMM (0,62)	Lamina UMU (0,76)	Lamina UUU (0,89)
Solid Ulin (0,94)	-	68865 ^{tn}	64085 ^{tn}	93759 ^{tn}	63323 ^{tn}	26057 ^{tn}
Solid Meranti (0,54)	68865 ^{tn}	-	4780 ^{tn}	24894 ^{tn}	5542 ^{tn}	42808 ^{tn}
Lamina MUM (0,82)	64085 ^{tn}	4780 ^{tn}	-	29674 ^{tn}	762 ^{tn}	38028 ^{tn}
Lamina MMM (0,62)	93759 ^{tn}	24894 ^{tn}	29674 ^{tn}	-	30436 ^{tn}	67702 ^{tn}
Lamina UMU (0,76)	63323 ^{tn}	5542 ^{tn}	762 ^{tn}	30436 ^{tn}	-	37266 ^{tn}
Lamina UUU (0,89)	26057 ^{tn}	42808 ^{tn}	38028 ^{tn}	67702 ^{tn}	37266 ^{tn}	-

Keterangan:

LSD α 5% = 510725636,72

α 1% = 692121208,57

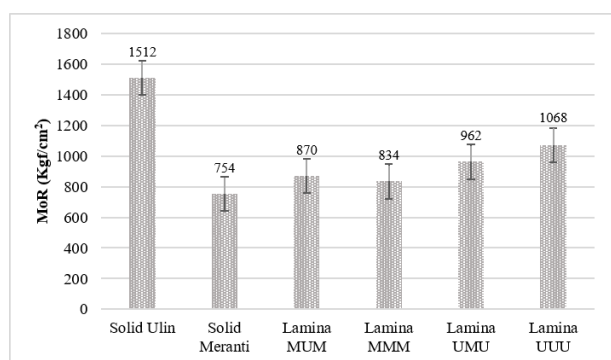
* = Signifikan pada taraf uji 5%

** = Sangat signifikan pada taraf uji 1%

tn = Tidak nyata

3.4. Modulus of Rupture (MoR)

Modulus of Elasticity (MoR) mencerminkan kapasitas menahan beban maksimum suatu komponen struktur dalam lentur dan sebanding dengan maksimum yang ditanggung oleh spesimen (Adetayo, 2023). Hasil penelitian menunjukkan nilai MoR dari semua contoh uji berkisar dari 754 hingga 1512 kgf/cm² (**Gambar 6**). Selain itu, nilai MoR tertinggi terdapat pada kayu solid ulin yaitu 1512 kgf/cm² dan terendah pada kayu solid meranti yaitu 754 kgf/cm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai MoR dipengaruhi oleh jenis kayu dan komposisi lapisan lamina. Sejalan yang dikemukakan oleh Bekhta et al. (2020) bahwa selain dipengaruhi oleh perekat, nilai MoR juga sangat dipengaruhi oleh jenis kayu. Selain itu, nilai MoR pada semua perlakuan telah memenuhi persyaratan standar Jepang untuk nilai keteguhan patah yaitu >300 kgf/cm² (JAS, 2007).



Gambar 6. Nilai MoR contoh uji

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh signifikan terhadap nilai MoR contoh uji. Hal ini didasarkan pada hasil yang menunjukkan nilai Fhitung lebih besar dari nilai Ftabel (**Tabel 8**). Hal tersebut menggambarkan bahwa keberagaman struktur kayu baik solid maupun lamina memberikan pengaruh nyata terhadap kemampuan kayu menahan beban patah. Berdasarkan hasil sidik ragam tersebut, dilakukan uji lanjut LSD untuk mengetahui antar perlakuan yang berbeda (**Tabel 9**). Pada tabel terlihat bahwa tidak semua perbedaan

antar perlakuan signifikan secara statistik. Dimana hasil menunjukkan semua perlakuan “tidak nyata” terhadap nilai MoR. Pola ini mengindikasikan bahwa meskipun nilai rata-rata nilai MoR antar perlakuan berbeda jelas, variasi antar ulangan menyebabkan sebagian selisih tersebut tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan.

Tabel 8. Analisis sidik ragam pengaruh perlakuan terhadap nilai MoR

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	5	1866219,16	373243,83	7,03**	2,62 3,9
Galat	24	1274193,94	53091,41		
Total	29	3140413,09			

** = Sangat signifikan

Pada uji lanjut LSD, hasil tersebut juga menunjukkan bahwa proses laminasi maupun kombinasi lapisan tidak menghasilkan perbedaan nilai MoR yang cukup besar dibandingkan variasi alami kayu itu sendiri. Dengan kata lain, perbedaan nilai rata-rata MoR antar perlakuan lebih dipengaruhi oleh tidak homogenan bahan, seperti kerapatan, serat, dan lain-lain. Hasil tersebut sejalan dengan beberapa penelitian yang melaporkan bahwa kemampuan kayu laminasi dipengaruhi oleh kerapatan dan serat dari kayu (Sun et al., 2020; Haftkhani & Hematabadi, 2022).

Tabel 9. Hasil uji lanjut LSD selisih nilai MoR kayu lamina dengan kombinasi lapisan

	Solid Ulin (1512)	Solid Meranti (754)	Lamina MUM (870)	Lamina MMM (834)	Lamina UMU (962)	Lamina UUU (1068)
Solid Ulin (1512)	-	758 ^m	641 ^m	677 ^m	549 ^m	443 ^m
Solid Meranti (754)	779 ^m	-	137 ^m	101 ^m	229 ^m	335 ^m
Lamina MUM (870)	641 ^m	116 ^m	-	36 ^m	91 ^m	198 ^m
Lamina MMM (834)	694 ^m	63 ^m	52 ^m	-	114 ^m	251 ^m
Lamina UMU (962)	717 ^m	40 ^m	75 ^m	39 ^m	-	273 ^m
Lamina UUU (1068)	495 ^m	262 ^m	145 ^m	182 ^m	54 ^m	-

Keterangan:

LSD α 5% = 510725636,72

α 1% = 692121208,57

* = Signifikan pada taraf uji 5%

** = Sangat signifikan pada taraf uji 1%

tn = Tidak nyata

4. Kesimpulan

Penggunaan kombinasi limbah kayu ulin dan meranti merah pada papan lamina memberikan pengaruh nyata terhadap sifat fisis, namun secara statistik tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanis. Kadar air papan lamina berada pada rentang 13,52–17,32%, sedangkan nilai kerapatan berkisar antara 0,54–0,94 g/cm³. Nilai MoE papan lamina berada dalam kisaran 86.180–179.939 kgf/cm² dan MoR 754–1.512 kgf/cm², keduanya telah memenuhi standar keteguhan lentur dan patah kayu laminasi Jepang (JAS, 2007). Secara umum, kombinasi lapisan ulin dan meranti merah mampu menghasilkan papan lamina dengan karakteristik yang stabil dan kekuatan yang setara dengan kayu solid, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan alternatif dalam industri kayu konstruksi maupun furnitur

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Cahaya Samtraco Utama, Samarinda, yang telah menyediakan bahan perekat untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada industri mebel dan toko bangunan di kawasan Jalan Harun Nafsi, Samarinda Seberang, atas bantuan dan kerja samanya dalam penyediaan limbah kayu ulin dan meranti merah sebagai bahan penelitian. Dukungan dan kontribusi berbagai pihak tersebut sangat membantu kelancaran pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Adetayo OA. 2023. Effects of moisture content on variations in the strength properties of *Pachyelasma tessmannii* and *Chrysophyllum delevayi* timbers. FUPRE Journal of Scientific and Industrial Research (FJSIR) 7 (4): 97-110.

Adi DS, Hwang S, Pramasari DA, Amin Y, Cipta H, Damayanti R, Dwianto W, Sugiyama J. 2020. Anatomical properties and near infrared spectra characteristics of four *Shorea* species from Indonesia.

HAYATI Journal of Biosciences 27 (3): 247-257.

Aiso-Sanada H, Nezu I, Ishiguri F, Jaffar ANNBM, Ambun DBA, Perumal M, Wasli ME, Ohkubo T, Abe H. 2020. Basic wood properties of Borneo ironwood (*Eusideroxylon zwageri*) planted in Sarawak, Malaysia. Tropics 28 (4): 99-103.

Alwi SA, Rudy GS, Peran SB. 2025. Pengaruh pemberian zat pengatur tumbuh terhadap pertumbuhan stek pucuk meranti merah (*Shorea leprosula*) di BPTH Banjarbaru. Jurnal Sylva Scientiae 8 (3): 529-533.

Aprilia L. 2025. Morfologi dan kearifan lokal dalam pemanfaatan pohon Ulin (*Eusideroxylon zwageri*) di desa Batu Meranti. Al Kawnu: Science and Local Wisdom Journal 4 (2): 16-29.

ASTM. 2000. ASTM D143-94. Standard Test Methods for Small Cleave Specimens of Timber. ASTM International. West Conshohocken.

ASTM. 2018. ASTM D-198. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. Annuals Books of ASTM Standard. Philadelphia.

Attarik N, Pamoengkas P, Rachmat HH, Susilowati A. 2024. Potential use of *Shorea leprosula* for rehabilitation of degraded tropical production forest ecosystems. Jurnal Sylva Lestari 12 (2): 519-531.

Bekhta P, Muller M, Hunko I. 2020. Properties of thermoplastic-bonded plywood: effects of the wood species and types of thermoplastic films. Polymers 12 (11): 2582.

Dwiantari NMM, Wulandari FT, Webliana K. 2024. Sifat fisika dan mekanika papan laminasi kombinasi kayu nangka dan mahoni. J-CEKI: Jurnal Cendekia Ilmiah 3 (4): 1946-1955.

- Gomez KA, Gomez AA. 2016. *Prosedur Statistika untuk Penelitian Pertanian (Terjemahan)*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Hadi YS, Herliyana EN, Pari G, Pari R, Abdillah IB. 2022. Furfurylation effects on discoloration and physical-mechanical properties of wood from tropical plantation forests. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* **50** (1): 46-58.
- Haftkhani AR, Hematabadi H. 2022. Effect of layer arrangement on bending strength of cross-laminated timber (CLT) manufactured from poplar (*Populus deltoides* L.). *Buildings* **12** (5): 608.
- Hidayat W, Kim YK, Jeon WS, Lee JA, Kim AR, Park SH, Maail RS, Kim NH. 2017. Qualitative and quantitative anatomical characteristics of four tropical wood species from Moluccas, Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* **45** (4): 369-381.
- Ismail N, Jomali MAM, Bakar HA, Ghing TY, Soh NMZN, Azam RMAM. Influence of varying density on the mechanical and physical properties of Medium Density Fibreboard (MDF) containing kenaf. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020* (Vol. 713, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Japanese Agricultural Standard (JAS). 2007. *Glued laminated timber (JAS 234-2007)*. Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Tokyo.
- Kementerian Kehutanan Indonesia. 2012. *Data Buku Statistik Kehutanan Indonesia*. Kementerian Kehutanan, Jakarta.
- Martawijaya A, Kartasujana I, Mandang YI, Prawira SA, Kadir K. 2005. *Atlas Kayu Indonesia Jilid II*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Departemen Kehutanan, Bogor.
- Nugroho WD, Na'iem M, Lukmandaru G, Widiyatno, Feriawan Y, Prastiwi FW, Wibowo A, Puspitasari D. 2024. Physical and mechanical properties of 20-year-old clonal teak trees in Ngawi, East Java, Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* **52** (5): 459-472.
- Pang S, Jeong GY. 2020. Swelling and shrinkage behaviors of cross-laminated timber made of different species with various lamina thickness and combinations. *Construction and Building Materials* **240**: 117924.
- Priadi T, Novianto H. 2019. Sifat fisis dan mekanis kayu dari hutan rakyat dalam uji biodeteriorasi di beberapa daerah bagian barat pulau jawa. *Jurnal Teknik Sipil* **26** (3): 231-238.
- Rofii MN, Prasetyo VE, Listyanto T, Primaningtyas A, Suranto Y, Prayitno TA, Widyorini R. 2022. Sifat papan laminasi kayu randu (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) dengan variasi pola gergajian lamina dan arah lapisan. *Jurnal Ilmu Kehutanan* **16** (1): 101-107.
- Santoso A, Basri E, Balfas J. 2020. Kualitas kayu laminasi dengan perekat tanin dari ekstrak kulit kayu mahoni. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* **38** (3): 151-160.
- Sun Y, Zhang Y, Huang Y, Wei X, Yu W. 2020. Influence of board density on the physical and mechanical properties of bamboo oriented strand lumber. *Forests* **11** (5): 567.
- Susanty FH. Analysis of growth and vitality class of Ulin (*Eusideroxylon zwageri* T. et B.) on Sempaja Arboretum East Kalimantan. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022* (Vol. 959, No. 1, p. 012071). IOP Publishing.
- Wulandari FT, Amin R. 2022. Physical and mechanical properties of laminate boards sengon wood. *Jurnal Hutan Tropika* **17** (1): 40-50.

Wulandari FT, Dewi NPEL, Ningsih RV. 2022.

Pengaruh berat labur terhadap sifat fisika dan mekanika papan laminasi limbah potongan kayu jati putih dan kayu bayur. *Journal of Forest Science Avicennia* **05** (02): 82-94.

Wulandari FT, Fahrussiam F. 2024. Analisis pengaruh berat labur, jenis kombinasi dan interaksinya terhadap sifat fisika mekanika papan laminasi kombinasi kayu kemiri bambu petung dan sengon bambu petung. *Jurnal Tengawang* **14** (1): 70-81.