



Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Lamina Sengon (*Paraserianthes falcataria*) Dengan Jumlah Lapisan dan Jenis Perekat yang Berbeda

(*Physical and Mechanical Properties of Sengon Laminated Wood (*Paraserianthes falcataria*) With Different Layer Numbers and Adhesive Types*)

Abdul Rasyid Zarta¹, Maria Anggelina Medau¹, Syafi'i¹, Andi Yusuf² & M. Fikri Hernandi^{2*}

¹ Program Studi Rekayasa Kayu Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

² Program Studi Pengolahan Hasil Hutan Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

* Corresponding Author: nandi_271170@yahoo.com

Article History

Received : April 6, 2026

Revised : April 12, 2026

Approved : April 22, 2026

Keywords:

sengon wood, laminated wood, adhesive type, number of layers, mechanical properties

© 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/>

ABSTRACT

The decreasing availability of large-diameter wood offsets the increasing demand for wood for construction and wood-based industries. *Paraserianthes falcataria*, or sengon wood, is a widely cultivated species in Indonesia that grows rapidly. However, its low density and mechanical strength prevent it from being used as a structural material. The aim of this study was to determine how the physical and mechanical properties of laminated sengon wood are affected by the number of layers and the type of adhesive. A factorial Completely Randomized Design (CRD) with two factors was used in this study. These factors include the number of layers (two, three, or four layers) and the type of adhesive (polyvinyl acetate/PVAc or polychloroprene/Fox). Moisture content, density, modulus of elasticity (MoE), modulus of rupture (MoR), and shear strength were among the parameters observed. The MoE values of laminated wood were 32,632.40–42,144.14 kgf/cm² and the MoR values were 372.90–417.99 kgf/cm². The moisture content of laminated wood ranges from 14.87% to 15.14%, according to the study. Two-layer laminated wood with PVAc adhesive has the highest shear strength (26.22 MPa). Analysis of variance results indicate that, although the number of layers and adhesive type do not significantly affect the physical properties, there is a tendency to improve mechanical performance. The results indicate that lamination technology has the potential to improve the mechanical properties of sengon wood and enable its use in lightweight construction and engineered wood products.

Sejarah Artikel

Diterima : 6 April 2026

Direvisi : 12 April 2026

Disetujui : 22 April 2026

Kata Kunci:

kayu sengon, kayu lamina, jenis perekat, jumlah lapisan, sifat mekanika

© 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/>

ABSTRAK

Menurunnya ketersediaan kayu berdiameter besar mengimbangi meningkatnya permintaan kayu untuk konstruksi dan industri berbasis kayu. *Paraserianthes falcataria*, atau kayu sengon, adalah jenis yang banyak dibudidayakan di Indonesia yang tumbuh dengan cepat. Namun, kerapatan dan kekuatan mekaniknya yang rendah menghalanginya untuk digunakan sebagai bahan struktural. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana sifat fisika dan mekanika kayu sengon laminasi dipengaruhi oleh jumlah lapisan dan jenis perekat. Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor digunakan pada penelitian ini. Faktor-faktor tersebut meliputi jumlah lapisan (dua, tiga, atau empat lapisan) dan jenis perekat (polyvinyl acetate/PVAc atau polychloroprene/Fox). Kadar air, kerapatan, modulus elastisitas (MoE), modulus patah (MoR), dan keteguhan geser adalah beberapa parameter yang diamati. Nilai MoE kayu laminasi 32.632,40–42.144,14 kgf/cm² dan nilai MoR 372,90–417,99 kgf/cm². Kadar air kayu laminasi berkisar antara 14,87%–15,14%, menurut hasil penelitian. Kayu laminasi dua lapis dengan perekat PVAc memiliki keteguhan geser tertinggi (26,22 MPa). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa, meskipun jumlah lapisan dan jenis perekat tidak benar-benar memengaruhi sifat fisika, ada kecenderungan untuk meningkatkan kinerja mekanika. Hasilnya menunjukkan bahwa teknologi laminasi memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat mekanika kayu sengon dan memungkinkannya digunakan dalam konstruksi ringan dan produk kayu rekayasa.

1. Pendahuluan

Paraserianthes falcataria atau kayu sengon, adalah salah satu spesies yang paling cepat tumbuh di Indonesia. Ada di hutan rakyat dan hutan tanaman industri. Karena daur panennya yang relatif singkat ($\pm 6-8$ tahun), sengon adalah pilihan yang tepat untuk memenuhi kebutuhan kayu nasional. Namun, sifat alaminya yang berat jenis rendah ($\pm 0,33$) dan kelas kekuatan III-IV membatasi penggunaan untuk aplikasi struktural yang membutuhkan kapasitas mekanik tinggi. Keterbatasan ini mendorong pengembangan teknologi rekayasa kayu untuk meningkatkan kinerja teknis dan nilai tambah dari kayu yang cepat tumbuh.

Salah satu teknik yang telah berkembang pesat dalam sepuluh tahun terakhir adalah teknologi *glue laminated timber*, yang melibatkan pembuatan beberapa lapisan lamina kayu yang direkatkan menjadi satu komponen komposit struktural. Jika dibandingkan dengan kayu solid, produk kayu glulam dikenal memiliki efisiensi material yang tinggi, stabilitas dimensi yang lebih baik, dan kontrol yang lebih baik terhadap penyebaran cacat kayu. Menurut penelitian terbaru, glulam kayu cepat tumbuh dapat meningkatkan modulus patah (MOR) dan modulus elastisitas (MOE) secara signifikan dibandingkan dengan kayu utuhnya. Ini terutama berlaku untuk konfigurasi lamina dan sistem perekat yang dioptimalkan (Wang et al., 2024).

Menurut penelitian oleh Liew et al. (2022) pada kayu glulam dan cross-laminated berbasis *Paraserianthes falcataria*, kualitas lamina yang ditingkatkan melalui perlakuan densifikasi dapat meningkatkan kuat geser dan kinerja mekanik secara keseluruhan produk. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaturan struktur internal lamina sangat penting untuk meningkatkan sifat mekanika kayu yang cepat tumbuh.

Jenis perekat, bersama dengan sifat lamina, sangat penting untuk kualitas ikatan dan ketahanan produk terhadap beban dan kondisi lingkungan.

Dalam kondisi kelembapan tinggi, studi oleh Rosli et al. (2025) menunjukkan bahwa perekat polyurethane (PUR) menghasilkan kekuatan rekat dan ketahanan delaminasi yang lebih baik daripada sistem perekat konvensional. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Hermawan et al. (2023) menunjukkan bahwa variasi dalam susunan dan jumlah lapisan lamina memengaruhi nilai MOE dan MOR secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa konfigurasi lapisan dan distribusi tegangan dalam elemen glulam berinteraksi secara kompleks.

Menurut penelitian internasional, meningkatkan daya saing kayu sebagai material konstruksi berkelanjutan sangat penting untuk mengoptimalkan parameter produksi glulam, yang mencakup jumlah lapisan, orientasi serat, dan tipe perekat (Wang et al., 2024). Pembangunan hijau, atau pembangunan berbasis sumber daya terbarukan, mendorong penggunaan bahan dengan emisi rendah.

Meskipun penelitian tentang glulam dari kayu telah berkembang pesat, masih ada beberapa hal yang perlu diteliti lebih lanjut. Salah satunya adalah jumlah penelitian komprehensif yang menguji berbagai jenis perekat dan jumlah lapisan pada kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) secara bersamaan, khususnya melalui pendekatan eksperimen yang terpadu. Selain itu, sebagian besar penelitian berkonsentrasi pada satu faktor, seperti jenis perekat atau konfigurasi lamina saja. Akibatnya, belum banyak penelitian yang dilakukan untuk mengevaluasi secara menyeluruh hubungan antara dua faktor tersebut dan sifat fisika (kadar air, kerapatan, stabilitas dimensi) dan mekanika (MOR, MOE, dan kuat geser rekat). Selain itu, data eksperimental yang digunakan untuk kayu sengon lokal Indonesia untuk aplikasi struktural ringan hingga menengah masih terbatas dalam literatur yang diakui secara global.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisik dan mekanika lamina sengon (*Paraserianthes falcataria*) berdasarkan jumlah lapisan dan jenis perekat. Diharapkan hasil

penelitian ini dapat menambah data ilmiah dan menjadi landasan teknis untuk mengembangkan produk kayu rekayasa berbasis kayu yang kompetitif dan berkelanjutan yang cepat berkembang.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan jenis kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), dipanen dari tegakan tanaman rakyat berumur 6–8 tahun. Jenis kayu sengon dipilih karena umum dimanfaatkan dan memiliki karakter densitas rendah yang sering dikaji dalam kayu rekayasa (Wong et al., 2017; Liew et al., 2022). Kayu dipersiapkan menjadi lamina dengan dimensi diseragamkan.

Jenis perekat yang digunakan:

1. Polyvinyl Acetate/PVAc – perekat berbasis vinil asetat yang sering digunakan untuk aplikasi interior karena sifatnya yang aman dan mudah diaplikasikan (Fibra & Rahayu, 2018).
2. Polychloroprene/CR (*Chloroprene Rubber*) – perekat sintesis dengan elastisitas tinggi dan ketahanan terhadap kelembapan relatif baik (Rosli et al., 2025).

2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1 Pembuatan Kayu Lamina

1. Persiapan Kayu

Kayu sengon dikeringkan hingga mencapai kadar air $\pm 12\text{--}15\%$ sebelum proses laminasi yang sesuai pedoman pengolahan kayu cepat tumbuh (ASTM, 2016).

2. Pemotongan dan Perataan:

Kayu dipotong menjadi lamina dengan ukuran $5 \times 5 \times 50$ cm. Permukaan lamina diratakan dengan mesin ketam agar mendapatkan bidang rekat yang halus.

3. Aplikasi Perekat:

Perekat diaplikasikan secara merata pada permukaan lamina dengan berat labur $\pm 250\text{--}300$ g/m² sesuai rekomendasi perekat *Polyvinyl Acetate/PVAc* dan *Polychloroprene/CR* (Yusof et al., 2020; Rosli et al., 2025).

4. Penyusunan dan Pengepresan:

Lamina disusun paralel sesuai jumlah lapisan yang ditentukan. Proses pengepresan dilakukan menggunakan mesin press hidrolik bertekanan 10–12 kg/cm² selama 24 jam pada suhu ruang.

5. Pengkondisian:

Balok lamina hasil press dikondisikan di ruang laboratorium pada suhu $\pm 25 \pm 2^\circ\text{C}$ dan kelembapan relatif 60–65% selama 7 hari sebelum dilakukan pengujian untuk memastikan kestabilan fisis (ASTM, 2016; Singh et al., 2022).

2.2.2 Pengujian Parameter

A. Sifat Fisika

1. Kadar Air

Pengujian kadar air mengacu mengikuti DIN 52183. Sampel ditimbang dan dikeringkan dalam oven pada suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hingga terjadi berat yang konstan. Kadar air dihitung berdasarkan massa berair dan kering oven.

2. Kerapatan

Mengacu pada DIN 52182, kerapatan dihitung melalui rasio massa kering terhadap volume akhir kayu lamina.

B. Sifat Mekanika

1. Modulus of Elasticity (MoE) & Modulus of Rupture (MoR)

Merujuk kepada standar ASTM D143-94 pada uji lentur tiga titik (*three-point bending test*). Pengujian dilakukan pada *Universal Testing Machine* dengan jarak bentang 40 cm dan laju pembebanan 5 mm/min.

2. Keteguhan Geser (*Shear Strength*)

Pengujian keteguhan geser berdasarkan ASTM D905-03, sampel dipotong membentuk bidang geser sesuai standar dan diuji di UTM hingga terjadi kerusakan pada area rekat.

2.2.3 Analisis Data dan Statistik

Analisis data menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 2×3 dengan dua faktor:

- Faktor A: Jumlah lapisan (2, 3, dan 4 lapis)
- Faktor B: Jenis perekat (*Polyvinyl Acetate/PVAc* dan *Polychloroprene/CR*)

Sehingga dalam penelitian ini terdapat terdapat 6 kombinasi perlakuan

Tabel 1. Kombinasi Perlakuan

Kombinasi	Jumlah Lapisan	Jenis Perekat
A1B1	2	PVAc
A2B1	3	PVAc
A3B1	4	PVAc
A1B2	2	Fox
A2B2	3	Fox
A3B2	4	Fox

Setiap kombinasi dibuat 3 ulangan, sehingga total unit percobaan sebanyak 18 balok lamina.

Data dianalisis menggunakan Analisis Sidik Ragam (ANOVA) faktorial RAL 2×3 untuk menguji:

- Pengaruh jumlah lapisan,
- Pengaruh jenis perekat,
- Interaksi antara jumlah lapisan dan jenis perekat.

Jika terdapat perbedaan nyata, dilakukan uji lanjutan Least Significant Difference (LSD).

Tabel 2. Rata-Rata Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Lamina Sengon

Perlakuan	KA (%)	Kerapatan (g/cm ³)	MoE (kgf/cm ²)	MoR (kgf/cm ²)	Geser (MPa)
2 Lapis – CR	15,14	0,306	37.574,63	385,68	24,99
3 Lapis – CR	14,87	0,336	34.895,07	407,76	–
4 Lapis – CR	15,11	0,364	38.708,34	417,99	–
2 Lapis – PVAc	14,89	0,307	42.144,14	411,15	26,22
3 Lapis – PVAc	14,89	0,356	36.083,93	372,90	–
4 Lapis – PVAc	14,87	0,360	32.632,40	385,89	–

PVAc : Polyvinyl Acetat, CR : Polychloroprene

3.2. Kadar Air

Hasil studi menunjukkan bahwa kadar air pada kayu lamina sengon berada dalam rentang 14,87–15,14% dan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan ($p>0,05$). Nilai ini termasuk dalam kisaran kadar air kayu untuk aplikasi interior-semi eksterior di wilayah tropis dan masih memenuhi syarat untuk produk laminasi struktural ringan. Berdasarkan Forest Products Laboratory (2010), kadar air kayu memengaruhi stabilitas dimensi dan karakteristik mekanik, tetapi pada kisaran 12–15%, perubahan sifat mekanis tidak terlalu signifikan. Grafik perubahan kadar air disajikan dalam **Gambar 1**.

Berdasarkan analisis data statistik, tidak ditemukan pengaruh signifikan antara jumlah lapisan dan jenis perekat terhadap kadar air, yang menunjukkan bahwa proses pengkondisian sebelum perekatan berlangsung

Adapun Model ANOVA yang digunakan adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan :

- Y_{ijk} = Pengamatan ke-k
- μ = Mean umum
- A_i = Efek i-th jumlah lapisan
- B_j = Efek j-th jenis perekat
- AB_{ij} = Interaksi antara jumlah lapisan dan perekat
- E_{ijk} = Error percobaan

3. Hasil dan Pembahasan

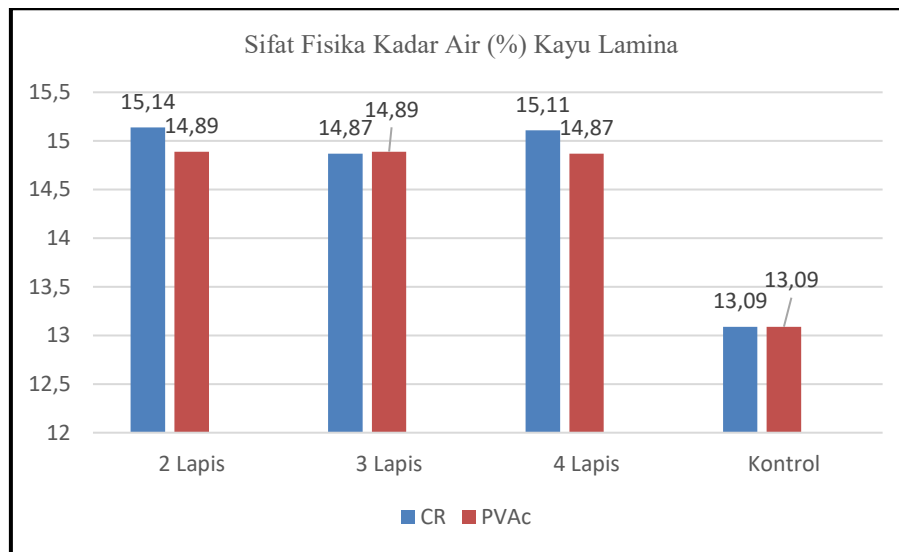
3.1. Sifat Fisika

Rekapitulasi rata-rata hasil pengujian sifat fisika dan mekanika kayu lamina jenis Sengon dengan jumlah lapisan dan jenis perekat yang berbeda disampaikan melalui **Tabel 2**.

secara homogen. Selain itu, baik perekat PVAc maupun *Polychloroprene* (CR) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kadar air akhir, karena kandungan air dalam perekat relatif kecil dibandingkan dengan total massa kayu.

Jika dibandingkan dengan standar nasional, Badan Standardisasi Nasional (BSN) melalui SNI 7973:2013 mengenai Kayu Laminasi Struktural mensyaratkan kadar air kayu umumnya berada pada kisaran sekitar ±12% (dengan toleransi tertentu tergantung pada kelas penggunaan). Untuk penggunaan struktural di dalam ruangan, kadar air yang disarankan berkisar antara 12–15%, disesuaikan dengan kondisi keseimbangan kelembaban udara tropis Indonesia (EMC sekitar 14–16%). Dengan demikian, kadar air kayu lamina sengon dalam penelitian ini masih

berada dalam batas yang diterima sesuai dengan konteks penggunaannya.



Gambar 1. Perbandingan dan Kecenderungan Sifat Fisika Kadar Air (%) Kayu Lamina Dengan Perekat dan Jumlah Lapisan Yang Berbeda

Sementara itu, standar Jepang yang dikenal sebagai Japanese Agricultural Standards (JAS) melalui JAS untuk Kayu Laminasi Terikat mengatur bahwa kadar air lamina untuk glulam struktural seharusnya tidak melebihi 15% pada saat proses perekatan. Aturan ini bertujuan untuk memastikan kualitas garis rekat (glueline) dan mengurangi risiko delaminasi akibat perubahan dimensi pada kayu. Dengan merujuk pada ketentuan tersebut, kadar air sebesar 14,87–15,14% dalam penelitian ini masih berada dalam batas maksimum yang ditetapkan oleh standar JAS, meskipun nilai 15,14% cukup dekat dengan batas atas, sehingga pengendalian proses pengeringan tetap perlu diperhatikan di skala industri.

Secara teknis, kadar air yang berada di kisaran 14–15% menunjukkan bahwa proses pengkondisian bahan telah mencapai keseimbangan dengan lingkungan tropis. Pada rentang ini, perubahan sifat mekanika seperti *Modulus of Elasticity* (MoE) dan *Modulus of Rupture* (MoR) umumnya tidak menunjukkan penurunan yang signifikan, sebagaimana diungkapkan oleh Forest Products Laboratory (2010). Namun, untuk penggunaan struktural yang menghadapi beban berat atau kondisi

lingkungan yang lebih keras, pengurangan kadar air hingga mendekati 12% akan lebih disarankan untuk meningkatkan kestabilan ukuran dan kinerja dalam jangka waktu yang lama.

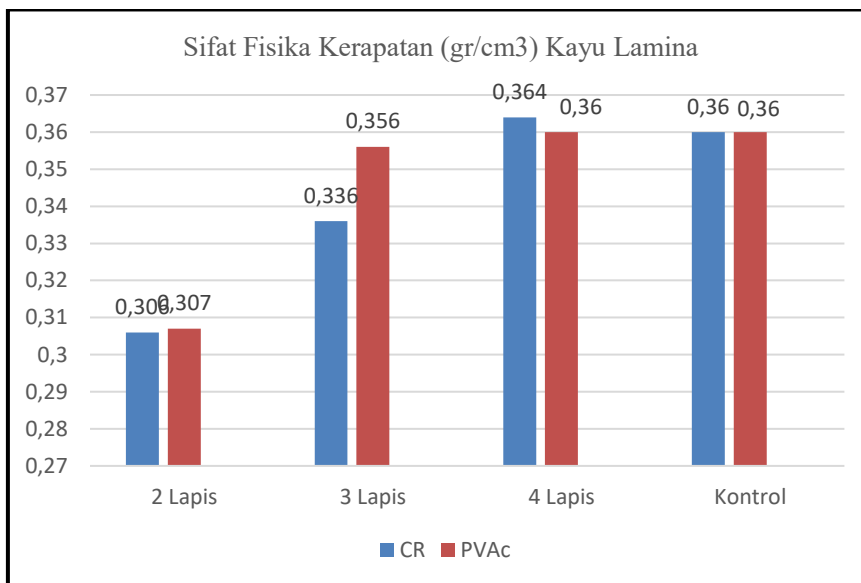
Oleh karena itu, berdasarkan perbandingan terhadap standar SNI dan JAS, kadar air pada kayu lamina sengon dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan memenuhi kriteria teknis untuk produk laminasi struktural ringan pada aplikasi di dalam ruangan hingga semi-eksterior di wilayah tropis, meskipun perbaikan proses pengeringan masih memiliki peluang untuk meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan.

3.3. Kerapatan

Kerapatan kayu lamina berkisar antara 0,306 dan 0,364 g/cm³ dan menunjukkan dampak perlakuan nyata ($p < 0,05$). Secara umum, terjadi peningkatan kerapatan ketika jumlah lapisan bertambah, terutama pada kasus empat lapis. Hal ini merupakan akibat dari bidang rekat dan tekanan kempa, yang menyebabkan kerusakan struktural dan pengurangan rongga.

Hasil pengukuran dan perhitungan kerapatan kayu lamina dengan perekat dan

jumlah lapisan yang berbeda ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 2. Perbandingan dan Kecenderungan Sifat Fisika Kerapatan (gr/cm³) Kayu Lamina Dengan Perekat dan Jumlah Lapisan Yang Berbeda

Kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) memiliki kerapatan dasar sekitar 0,26–0,40 g/cm³. Meningkatnya kerapatan pada produk lamina menunjukkan adanya pengaruh densifikasi parsial akibat proses perekatan dan pengempaan. Menurut Laboratorium Hasil Hutan (2010), kerapatan merupakan salah satu faktor utama yang berkorelasi positif dengan lentur dan kekakuan kayu. Oleh karena itu, peningkatan kerapatan pada lamina 3–4 lapis berpotensi meningkatkan kinerja mekanik, meskipun tidak selalu linier.

Menurut Badan Standardisasi Nasional (BSN) dalam SNI 7973:2013, kerapatan nilai 0,306–0,364 g/cm³ termasuk dalam kategori kayu ringan hingga sedang. Secara alami, kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) memiliki kerapatan yang relatif rendah ($\pm 0,30$ –0,40 g/cm³ di udara 12–15%). Standar SNI untuk laminasi struktural tidak menentukan kerapatan batas minimum secara spesifik; namun demikian, klasifikasi struktural biasanya sesuai dengan berat jenis dan kekuatan mekaniknya. Oleh karena itu, peningkatan kerapatan pada empat lapis perlakuan berpotensi meningkatkan mutu struktural kelas, terutama jika nilai MoE dan MoR ditingkatkan.

Namun menurut *Japanese Agricultural Standards* (JAS) dalam JAS untuk Glued Laminated Timber, penilaian mutu glulam lebih erat kaitannya dengan kelas kekuatan berdasarkan hasil uji lentur, geser, dan kekakuan daripada kerapatan. Namun secara empiris terdapat korelasi positif antara kerapatan dengan sifat mekanika kayu. Glulam dengan kerapatan rendah tetap dapat mengganggu kelas struktural saat ini selain mengganggu persyaratan kekuatan minimum. Dalam konteks ini, kerapatan 0,306–0,364 g/cm³ masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan glulam dari spesies konifer Jepang (biasanya >0,40 g/cm³), sehingga produk lamina sengon lebih cocok untuk ringan atau non-beban berat.

Secara teknis, peningkatan kerapatan akibat penambahan lapisan dan kempa tekanan menunjukkan adanya pepadatan ringan (densifikasi ringan). Fenomena ini dapat meningkatkan kualitas garis rekat (kinerja ikatan) dan meningkatkan interaksi antar lamina. Namun, kerapatan berlebih juga berpotensi meningkatkan tegangan internal jika tidak diimbangi dengan kualitas udara yang sesuai.

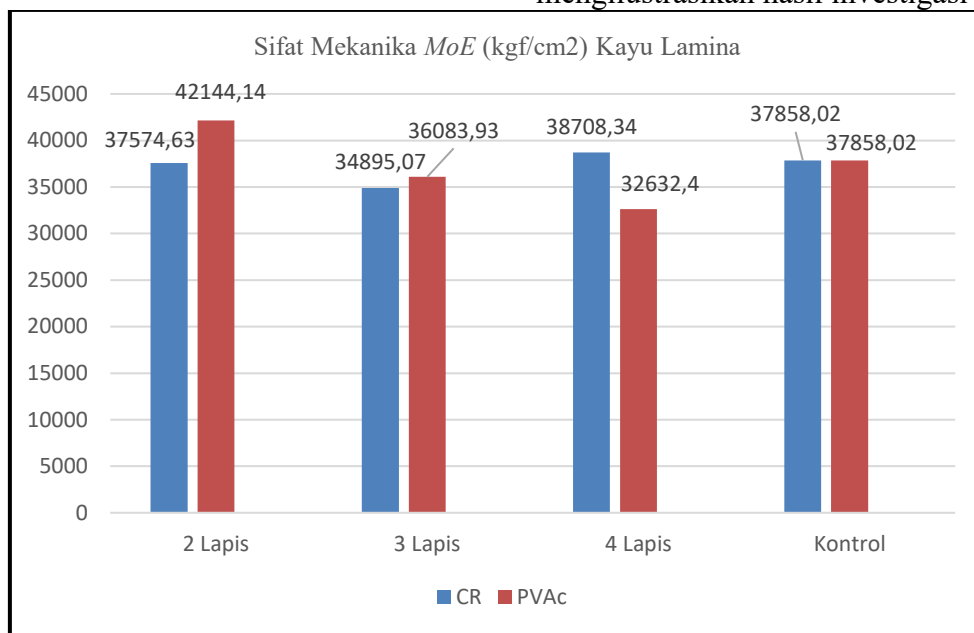
Oleh karena itu, berdasarkan perbandingan dengan standar SNI dan JAS, kerapatan kayu lamina sengon dalam penelitian ini masih termasuk dalam kategori kayu ringan yang cocok untuk aplikasi struktural ringan hingga semi-struktural. Perlakuan 4 lapis menyoroti potensi peningkatan mutu fisik yang dapat berdampak positif pada kinerja mekanik, meskipun aplikasi struktural masih

memerlukan peningkatan kualitas bahan baku atau rekayasa lanjutan.

3.4. Sifat Mekanika

3.4.1 Modulus of Elasticity (MoE)

Nilai MoE berkisar antara 32,632 hingga 42,144 kgf/cm² dan dipengaruhi oleh jumlah lapisan, jenis perekat, dan interaksi dua arah ($p < 0,05$). Nilai tertinggi diperoleh dari dua lapis dengan PVAc (42,144 kgf/cm²). Grafik ini mengilustrasikan hasil investigasi MoE.



Gambar 3. Perbandingan dan Kecenderungan Sifat Mekanika MoE (kgf/cm²) Kayu Lamina Dengan Perekat dan Jumlah Lapisan Yang Berbeda

MoE membatasi material perekat terkait produksi lentur. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan PVAc lebih efektif dalam mentransfer tegangan antar lapisan daripada penggunaan CR, terutama bila terdapat dua lapis. PVAc diketahui memiliki daya rekat yang baik pada kayu dengan porositas tinggi dan menghasilkan garis rekat yang cukup kaku (Frihart, 2013).

Dampak yang menarik adalah peningkatan jumlah lapisan tidak selalu meningkatkan MoE. Dalam kasus empat lapis dengan PVAc, MoE justru menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya potensi ketidaksempurnaan distribusi tekanan atau ketebalan garis rekat yang akan menurunkan efisiensi perpindahan tegangan. Menurut Forest Products Laboratory (2010), kualitas garis rekat

dan keseragaman tekanan sangat menentukan kinerja elastisitas pada produk laminasi.

Apabila konversi ke satuan internasional, nilai MoE tertinggi 42.144 kgf/cm² setara dengan $\pm 4,13$ GPa ($1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 0,098 \text{ MPa}$). Jika dibandingkan dengan ketentuan Badan Standardisasi Nasional (BSN) dalam SNI 7973:2013, kelas mutu kayu struktural umumnya memiliki kisaran MoE di atas $\pm 7-8$ GPa untuk penggunaan struktural utama. Dengan demikian, nilai MoE kayu lamina sengon pada penelitian ini masih berada di bawah kelas struktural berat, namun tetap relevan untuk konstruksi ringan, furnitur ringan struktural, rangka interior, atau komponen non-struktural.

Di sisi lain, menurut Standar Pertanian Jepang (JAS) dalam JAS untuk Kayu Lapis Lem, kayu lapis lem diklasifikasikan menjadi

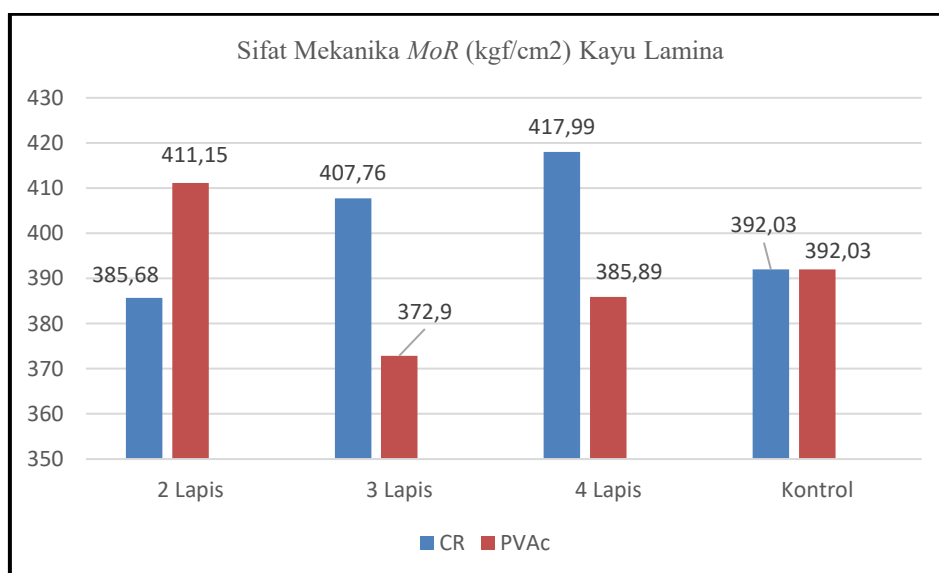
beberapa tingkatan (seperti E65, E85, E95, dan seterusnya) yang menunjukkan karakteristik MoE dalam satuan $\times 10^2$ MPa (seperti E65 $\approx 6,5$ GPa). Jika dibandingkan dengan standar yang disebutkan di atas, hasil uji MoE maksimum ($\pm 4,13$ GPa) masih di bawah tingkatan terendah kayu lapis lem struktural JAS. Hal ini menunjukkan bahwa lebih tepat menggunakan kayu lapis sengon sebagai material ringan semi-struktural atau struktural.

Meskipun demikian, MoE sebesar 3,2–4,1 GPa masih menunjukkan peningkatan jika dibandingkan dengan kayu sengon padat dengan kualitas rendah, terutama jika hal ini menunjukkan bahwa rekayasa laminasi dapat meningkatkan homogenitas dan mengurangi cacat alami kayu cepat tumbuh. Fakta bahwa jenis perekat dan perlakuan interaksi nyata menunjukkan bahwa kualitas garis rekat mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap fleksibilitas kekakuan. Dalam konfigurasi dua lapis, Perekat PVAc dapat memberikan penetrasi dan daya rekat yang lebih efektif, sehingga meningkatkan efisiensi transfer tegangan antar lamina.

Secara keseluruhan, berdasarkan perbandingan dengan SNI dan JAS, kekuatan MoE kayu lamina sengon dalam penelitian ini tidak memenuhi persyaratan struktural yang ketat, namun memiliki potensi untuk digunakan di daerah tropis. Peningkatan mutu dapat dicapai melalui pemilihan lamina dengan kerapatan yang lebih tinggi, optimasi kempa, atau penggunaan perekat dengan kinerja struktural yang lebih tinggi (misalnya, fenolik atau isosianat).

3.4.2 Modulus of Rupture (MoR)

Nilai MoR berkisar antara 372,90 hingga 417,99 kgf/cm^2 dan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar nilai ($p > 0,05$). Meskipun nilai tertinggi terlihat pada 4 lapis CR ($417,99 \text{ kgf/cm}^2$), variasi ini tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kuantitas atau jenis lapisan tidak selalu menghasilkan peningkatan kapasitas maksimum lentur secara verbal; namun, secara fisik, terjadi peningkatan konfigurasi lapisan. Grafik berikut mengilustrasikan data MoR hasil perhitungan dan pengujian.



Gambar 4. Perbandingan dan Kecenderungan Sifat Mekanika MoR (kgf/cm^2) Kayu Lamina Dengan Perekat dan Jumlah Lapisan Yang Berbeda

Kekuatan maksimum saat patah diwakili oleh Nilai MoR. Pengaruh perlakuan yang tidak signifikan menunjukkan bahwa kegagalan lentur lebih dipengaruhi oleh karakteristik kayu

dasar (sengon) jika dibandingkan dengan variasi konfigurasi lapisan atau jenis perekat. Hal ini sesuai dengan teori bahwa pada kayu ringan, kekuatan lentur lebih dipengaruhi oleh

cacat alami (mata kayu, arah serat) dibandingkan dengan faktor perekat, ketika kualitas rekat berada di bawah standar minimum (Bodig & Jayne, 1993).

Jika dikonversi ke standar internasional, MoR adalah 372,90–417,99 kgf/cm² dengan $\pm 36,6$ –41,0 MPa (1 kgf/cm² \approx 0,098 MPa). Menurut Badan Standardisasi Nasional (BSN) dalam SNI 7973:2013, kekuatan lentur untuk kayu laminasi struktural biasanya berada dalam kisaran >30 MPa untuk kelas struktural ringan hingga menengah, tergantung kelas mutu dan spesies kayu. Dengan demikian, MoR hasil penelitian ini masih dalam kisaran yang dapat digunakan untuk aplikasi struktural ringan, meskipun belum mencapai tingkat struktural yang tinggi.

Jika dibandingkan dengan Standar Pertanian Jepang (JAS) untuk Kayu Lapis Lem, kelas kuat lentur glulam biasanya berada di antara ± 24 dan 45 MPa tergantung pada kelasnya (misalnya, kelas kombinasi E65–E95). MoR maksimum 41,0 MPa pada uji CR 4 lapis mencakup cincin struktural JAS, meskipun perlu dicatat bahwa klasifikasi JAS menggunakan nilai karakteristik (bukan rata-rata laboratorium) dengan faktor reduksi spesifik. Karena itu, MoR kayu lamina sengon dapat diklasifikasikan sebagai semi-struktural hingga struktural ringan secara konservatif.

Perbedaan antara kedua jenis perlakuan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas maksimum lentur lebih dipengaruhi oleh karakteristik kayu sengon (kerapatan dan struktur anatomi) dibandingkan dengan jumlah lapisan atau jenis perekat yang digunakan. Hal ini konsisten dengan teori bahwa MoR lebih sensitif terhadap kekuatan serat kayu dibandingkan dengan perekat garis rekat, meskipun kualitas perekatan masih dalam kondisi baik (tidak ada delaminasi atau rekat prematur).

Kesimpulannya, berdasarkan perbandingan dengan SNI dan JAS, MoR kayu lamina sengon dalam penelitian ini cocok untuk aplikasi konstruksi ringan seperti rangka atap ringan, panel interior struktural, atau komponen furnitur struktural. Untuk meningkatkan kelas

mutu dalam kategori struktural menengah atau berat, perlu meningkatkan kerapatan bahan baku, memilih lamina dengan kualitas lebih tinggi, atau menggunakan sistem perekat struktural dengan kinerja lebih tinggi.

3.4.3 Keteguhan Geser

Keteguhan geser tertinggi dicapai pada dua lapis PVAc dengan 26,22 MPa. Namun, tidak ada pengaruh nyata antar perlakuan ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan kayu lamina untuk menahan tegangan geser sejajar serat belum dipengaruhi secara signifikan oleh perbedaan jumlah lapisan dan jenis perekat. Secara teknis, selama kualitas perekatan baik (tidak ada kegagalan pada garis rekat), kegagalan geser (kegagalan kayu) lebih sering terjadi pada kayu sengon, sehingga nilai yang diperoleh lebih mencerminkan kekuatan geser intrinsik kayu sengon.

Ketahanan garis rekat produk laminasi sangat penting untuk kekuatan gesernya. Pada kondisi pengujian ini, tidak ada perbedaan yang signifikan yang menunjukkan bahwa kedua jenis perekat menahan gaya geser dengan cukup baik. Menurut Frihart (2013), kegagalan geser pada produk kayu laminasi lebih sering terjadi pada kayu (kegagalan kayu) daripada pada perekat dalam kondisi kualitas perekatan yang ideal.

Parameter geser kayu laminasi struktural biasanya di antara 3 dan 5 MPa untuk kelas struktural ringan hingga menengah, tergantung pada kelas mutu dan metode pengujian, apabila dibandingkan dengan persyaratan SNI 7973:2013 yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). Oleh karena itu, nilai 26,22 MPa yang ditemukan dalam penelitian ini jauh melampaui batas minimum untuk kelas struktural ringan. Hal ini menunjukkan bahwa kayu sengon lamina memiliki kapasitas geser yang sangat baik untuk aplikasi struktural ringan.

Namun, kuat geser glulam sebagai nilai karakteristik desain (characteristic shear strength), menurut Japanese Agricultural Standards (JAS), biasanya berada pada kisaran ± 2 –4 MPa, tergantung pada grade. Perlu diingat bahwa nilai JAS ini merupakan nilai atribut

yang memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi keselamatan. Nilai penelitian ini jauh lebih besar jika dibandingkan secara langsung (26,22 MPa); namun, perbedaan ini dapat disebabkan oleh perubahan dalam metode pengujian (geser blok daripada geser lentur), kondisi kadar air, dan penggunaan nilai rata-rata laboratorium tanpa faktor reduksi.

Kualitas garis rekat pada seluruh kombinasi perlakuan relatif seragam dan memenuhi prinsip bonding performance yang baik, seperti yang ditunjukkan oleh tidak signifikannya perbedaan antar perlakuan. Fakta bahwa nilai tertinggi diperoleh pada dua lapisan PVAc menunjukkan bahwa konfigurasi lapisan lebih sederhana memungkinkan distribusi tegangan geser yang lebih merata dan penetrasi

perekat yang paling baik. Namun, dengan lebih banyak lapisan, menambahkan bidang rekat dapat meningkatkan heterogenitas distribusi tegangan, meskipun ini belum terbukti secara statistik.

Secara keseluruhan, nilai keteguhan geser kayu lamina sengon dalam penelitian ini dapat dikategorikan sangat memenuhi persyaratan struktural ringan. Ini berarti bahwa dari segi kapasitas geser, produk kayu lamina sengon dapat digunakan pada komponen struktural yang menerima beban geser, seperti balok, rangka atap, dan panel interior.

Untuk memperjelas hasil lebih lanjut, berikut adalah ringkasan analisa pengolahan data hasil *Analysis of Variance* (Anova).

Tabel 3. Ringkasan Hasil ANOVA

Parameter	Pengaruh Lapisan	Pengaruh Perekat	Interaksi	Keterangan
Kadar Air	Tidak signifikan	Tidak signifikan	Tidak signifikan	>0,05
Kerapatan	Signifikan	Signifikan	Tidak signifikan	<0,05
MoE	Signifikan	Signifikan	Signifikan	<0,05
MoR	Tidak signifikan	Tidak signifikan	Tidak signifikan	>0,05
Kekuatan Geser	Tidak signifikan	Tidak signifikan	-	>0,05

Secara umum, peningkatan jumlah lapisan cenderung meningkatkan kerapatan dan kadang-kadang sifat mekanik yang lebih baik, tetapi ini tidak selalu bersifat linier. Teori rekayasa material berorientasi serat mengatakan bahwa peningkatan kerapatan relatif meningkatkan kekakuan dan kapasitas beban lentur karena lebih banyak garis rekat dan kontak antarlamina yang aktif, yang menghasilkan distribusi tegangan yang lebih efisien (*Forest Products Laboratory*, 2010; Bekhta & Niemz, 2003). Namun demikian, meningkatkan jumlah lapisan tanpa mengontrol ketebalan garis rekat dan tekanan pengempaan dapat menyebabkan area garing yang lebih kecil.

Studi ini menunjukkan bahwa konfigurasi lapisan dan jenis perekat sangat penting untuk desain produk lamina, seperti yang ditunjukkan oleh interaksi signifikan pada *Modulus Elasticity* (MoE). Ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa kedalaman penetrasi, adhesi ke serat, dan stabilitas garis rekat pada kondisi beban lentur adalah faktor

utama yang mempengaruhi kinerja mekanik laminate (Frihart, 2013; Salim et al., 2021). Dalam beberapa situasi, perekat yang memiliki viskositas yang ideal (seperti PVAc) dapat menghasilkan jalur ikatan yang lebih konsisten pada kayu berpori tinggi seperti sengon, yang memungkinkan interaksi mekanik antara lamina dimaksimalkan (Salim et al., 2021).

Menurut kisaran nilai *Modulus of Rupture* (MoR) dan MoE yang diperoleh dalam penelitian ini, kayu lamina sengon dapat digunakan untuk aplikasi struktural ringan hingga semi-struktural. Aplikasi ini termasuk komponen furnitur, panel konstruksi ringan, partisi interior, dan elemen non-primer di bangunan. Produk kayu laminasi yang efektif harus memenuhi tiga kriteria utama: homogenitas distribusi tegangan antarlamina, stabilitas dimensi terhadap perubahan lingkungan, dan integritas garis rekat pahatan (Gao et al., 2019; Salim et al., 2021).

Konfigurasi dengan jumlah lapisan tertentu dan jenis perekat yang tepat dapat memenuhi kriteria pertama, menurut penelitian

ini. Sementara itu, kadar air yang stabil dan densifikasi moderat juga membantu kriteria kedua, yang menambah nilai praktis untuk aplikasi di dunia nyata.

Hasil ini mendukung gagasan bahwa rekayasa laminasi dapat meningkatkan nilai tambah kayu cepat tumbuh seperti sengon dengan mengatur konfigurasi lapisan dan sistem perekatan secara optimal. Dibandingkan dengan spesies kayu keras, kayu cepat tumbuh memiliki keuntungan dari segi ketersediaan pangan dan siklus produksi yang lebih singkat. Akan tetapi, untuk produk bernilai tinggi, keterbatasan kerapatan dan kekuatan mekanik sering menjadi penghalang utama untuk digunakan. Teknis kayu cepat tumbuh dapat dimaksimalkan melalui rekayasa laminasi yang tepat, yang mencakup pemilihan jumlah lapisan, jenis perekat, tekanan, dan kondisi curing. Ini memungkinkan untuk mendekati atau memenuhi standar industri untuk aplikasi struktural ringan (Bekhta & Niemz, 2003; Gao et al., 2019; Salim et al., 2021).

Oleh karena itu, metode produksi yang mempertimbangkan interaksi antara konfigurasi lapisan dan opsi perekat memungkinkan penggunaan kayu yang berkelanjutan yang cepat berkembang di industri manufaktur kayu dan konstruksi berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kadar air dan *Modulus of Rupture* (MoR) kayu lamina sengon (*Falcataria moluccana*) tidak benar-benar dipengaruhi oleh jumlah lapisan dan jenis perekat. Namun, jumlah lapisan dua lapis dengan perekat PVAc memberikan nilai MoE dan keteguhan geser tertinggi, dan jumlah MoR tertinggi diperoleh pada empat lapisan dengan perekat CR.

Daftar Pustaka

ASTM. (2016). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber* (D143-94). ASTM International, West Conshohocken, PA.

- Bekhta, P., & Niemz, P. (2003). *Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of wood*. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61(2), 102–108.
- Bodig, J., & Jayne, B. A. (1993). *Mechanics of wood and wood composites*. Van Nostrand Reinhold.
- Forest Products Laboratory. (2010). *Wood handbook: Wood as an engineering material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Frihart, C. R. (2013). Wood adhesion and adhesives. In R. M. Rowell (Ed.), *Handbook of wood chemistry and wood composites* (2nd ed.). CRC Press.
- Gao, W., Zhu, H., & Wang, X. (2019). *Performance of wood-based engineered composites: Influence of adhesive system and structure*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(5), 04019043.
- Hermawan, A., Mohamad Amini, M. H., Abu Bakar, M. B., & Mohd Zainal, M. Z. (2023). Performance of glued laminated timber with different lamina assembly patterns and adhesive spread rates. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*
- Liew, K. C., Tan, Y. F., Albert, C. M., & Raman, V. (2022). Mechanical performance of engineered wood products from low-density timber species. *Forests*, 13(10), 1540
- O'Neill, E., et al. (2020). *Interlaminar and mechanical properties of engineered wood composites: A review*. *Construction and Building Materials*, 244, 118342.
- Rosli, M. A. A., et al. (2025). Optimizing bonding parameters for glued laminated timber from fast-growing species using polyurethane adhesive. *International Journal of Integrated Engineering*.
- Salim, R., et al. (2021). *Bonding performance of adhesives on tropical fast-growing species: A comparative study*. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(12), 1312–1328.

- Singh, A., Kumar, A., & Sharma, K. (2022). Standard procedures on engineered wood composite fabrication and testing: A review. *Construction and Building Materials*, 345, 128441.
- Wang, Q., Wang, Z., Feng, X., Zhao, Y., & Li, Z. (2024). Mechanical properties and probabilistic models of engineered wood products for sustainable construction. *Construction and Building Materials*.
- Wong, A. J., Lee, S. T., & Park, J. H. (2017). Influence of lamina configuration on the mechanical performance of engineered wood composites. *Materials & Design*, 131, 456–464
- Yusof, N., Ismail, H., & Rusli, R. (2020). Effect of adhesive type and spread rate on physical and mechanical properties of glulam timber. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 5308–5316.