

KETEGUHAN REKAT GESER DAN KETEGUHAN LENGKUNG STATIS KAYU LAMINASI DARI KAYU PINUS (*Pinus merkusii* Jungh et de Vr.) dan KAYU SENGON (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) BERPEREKAT MELAMIN UREA FORMALDEHIDA (MUF)

*The Shear Bond and Bending Strength of Laminated Wood from Pine Wood (*Pinus merkusii* Jungh et de Vr.) and Sengon Wood (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Glued With Melamine Urea Formaldehyde Adhesive (MUF)*

Irvin Dayadi^{1✉}

Laboratorium Industri dan Pengujian Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur
[✉]corresponding author: irvindayadi.mp@gmail.com

ABSTRAK

Kayu laminasi sifat kekuatannya sangat dipengaruhi oleh penyusunan tiap lapisannya. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi lapisan kayu laminasi terhadap keteguhan rekat geser, modulus elastisitas (MoE) dan keteguhan patah (MoR) kayu laminasi dari jenis kayu Pinus (P) dan kayu Sengon (S) menggunakan perekat melamin urea formaldehid (MUF). Kayu lamina diuji menggunakan standar Jerman DIN, JAS 234-2007 dan SNI 7973-2013. Data pengujian 6 perlakuan variasi lapisan dianalisis keragaman dalam rancangan acak lengkap (RAL) dengan 10 ulangan. Rataan keteguhan rekat geser kayu lamina tertinggi pada perlakuan G2 (Sengon-Sengon) sebesar 6.17 N/mm² dapat memenuhi standar JAS 234-2007 (>5.4 N/mm²) sedangkan perlakuan G3 (Pinus-Sengon) sebesar 4.04 N/mm² dan G1 (Pinus-Pinus) sebesar 2.78 N/mm² tidak dapat memenuhi standar. Rataan MoE tertinggi pada A5 (P-S-S-P-P) sebesar 8584.27 N/mm² dan terendah pada A3 (P-S-P) sebesar 6210.99 N/mm² termasuk kode mutu E8 dan E6 pada Standar SNI 7973-2013. Rataan MoR tertinggi pada A4 (P-S-S-S-P) sebesar 73.23 N/mm² dan terendah pada A5 (P-S-S-P-P) sebesar 61.98 N/mm², semua perlakuan termasuk kode mutu E25 (>25 N/mm²) dan dapat memenuhi standar JAS 234-2007 (>36.0 N/mm²). Kayu laminasi dalam penelitian ini berdasarkan MoR termasuk kelas kuat III – II dan terletak diantara kelas kuat kayu Pinus (kelas kuat II) dan kayu Sengon (kelas kuat III).

Kata kunci: Kayu laminasi, Variasi lapisan, Pinus, Sengon, Melamin formaldehida.

ABSTRACT

Laminated wood's strength properties are influenced by the arrangement of each layers. This research aims to determine the effect of variations in layers of laminated wood to the shear bond strength, modulus of elasticity (MoE) and modulus of rupture (MoR) of laminated wood from Pine (P) and Sengon (S) wood using melamine urea formaldehyde adhesive (MUF). Laminated wood is tested using German standards DIN (*Deutsches Institut für Normung*), JAS 234-2007 and SNI 7973-2013. The data testing from 6 layer variation treatments were analyzed of variance in a completely randomized design (CRD) with 10 replications. The highest average value of shear bond strength for laminated wood in treatment G2 (Sengon-Sengon) was 6.17 N/mm² which can meet the JAS 234-2007 standard (>5.4 N/mm²) while treatment G3 (Pine-Sengon) was 4.04 N/mm² and G1 (Pine-Pine) of 2.78 N/mm² cannot meet the standard. The highest average MoE value was at A5 (P-S-S-P-P) at 8584.27 N/mm² and the lowest at A3 (P-S-P) at 6,210.99 N/mm² included quality codes E8 and E6 in the SNI 7973-2013 Standard. The highest average MoR value was at A4 (P-S-S-S-P) at 73.23 N/mm² and the lowest at A5 (P-S-S-P-P) at 61.98 N/mm², all treatments included quality code E25 (>25 N/mm²) and could meet JAS 234-2007 Standards (>36.0 N/mm²). The laminated wood in this study based on MoR is included to the strength class III – II and located between the strength class of Pine wood (strength class II) and Sengon wood (strength class III).

Keywords: Laminated wood, Variations in layers, Pine, Sengon, Melamine formaldehyde.

A. PENDAHULUAN

Kayu laminasi dapat dibuat dari jenis-jenis yang berbeda serta dari potongan-potongan kayu dengan berbagai ketebalan dan panjang sehingga dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti konstruksi -konstruksi bangunan (rumah, gedung, jembatan, hangar pesawat), furniture, alat olah raga, dan penggunaan struktural lainnya (tower transmisi listrik, tonggak listrik) untuk memenuhi persyaratan kekuatan, ukuran dan bentuk yang tidak dapat dicapai dengan menggunakan tiang kayu konvensional serta penerapannya kadang-kadang dikombinasikan dengan kayu lapis atau papan partikel (Utomo & Dayadi, 2023).

Kayu laminasi lebih baik sifat kekuatannya dibandingkan dengan kayu solid karena dibuat dengan perekatan potongan kayu kecil menjadi kayu berukuran lebih besar dengan menggabungkan jenis kayu berbeda kualitas lebih baik sehingga juga lebih efisiensi dari segi penggunaan bahan dalam bahan baku kayu (Wulandari & Latifah, 2022). Prinsip dalam kayu laminasi yaitu memaksimalkan dimensi dengan meminimalkan bahan material sehingga laminasi merupakan desain ekonomis dengan tetap memenuhi prinsip struktural (Jayne dan Bodig, 2003 dalam Risnasari et al., 2012).

Kayu Pinus (*Pinus merkusii* Jungh et de Vr.) sering digunakan sebagai bahan baku furnitur karena memiliki kelebihan dari segi harga yang relatif murah dibandingkan kayu komersil lainnya, berat jenis kering udara 0.56, sifat pengerjaan yang mudah, sifat pengembangan dan penyusutan yang sedang, tekstur yang halus, dan termasuk cukup kuat (kelas kuat III) walaupun termasuk kelas awet IV (kurang awet) (Kasmudjo, 2019). Kayu Pinus termasuk jarang digunakan sebagai bahan baku kayu laminasi bila dibandingkan dengan kayu Sengon walaupun memiliki kemiripan beberapa sifatnya. Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) memiliki berat jenis kering udara berkisar 0.24-0.49 (0.33), kelas kuat IV-V, dan kelas awet IV-V (R. J. P. Sari, 2011), banyak digunakan untuk konstruksi perumahan sebagai sortimen kayu (papan, balok, dan sebagainya) juga digunakan untuk pembuatan peti, finir untuk kayu lapis, papan wol semen, papan serat, papan partikel, korek api, dan kayu bakar (Apriliani et al., 2021). Sengon merupakan pohon serbaguna yang merupakan bahan baku yang sangat baik untuk industri panel dan kayu lapis (Mirza et al., 2020)

Kayu laminasi sifat kekuatannya sangat dipengaruhi oleh jenis kayu penyusunnya, perekatan (jenis perekat, proses perekatan) dan penyusunan tiap lapisannya. Penyusunan lapisan dalam kayu laminasi dibedakan menjadi kayu lamina tipe balanced dan unbalanced, dimana zona kritis kayu laminasi yang rentan mengalami kerusakan akibat pembebanan yaitu pada bagian luar papan/balok laminasi sehingga dalam pembuatan kayu laminasi pada bagian luar lapisan digunakan jenis kayu yang memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan di bagian dalam balok, sedangkan pada tipe unbalanced bagian luar balok laminasi yang mengalami gaya tarikan (tension) harus menggunakan jenis kayu dengan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan bagian lainnya (APA, 2017). Oleh sebab itu dalam penelitian ini digunakan kayu Pinus sebagai bagian luar lapisan karena memiliki kelas kuat (III) yang lebih baik dibandingkan kayu Sengon (III-IV) yang diletakkan pada lapisan dalam pada kayu laminasi.

Perekatan kayu Pinus dan Sengon menjadi kayu laminasi berdasarkan variasi lapisan ini menggunakan perekat jenis melamin urea formaldehida. Melamin urea formaldehida (MUF) dikenal sebagai perekat yang tahan terhadap air, stabilitas terhadap panas yang lebih baik, kemampuan mengikat pada suhu yang lebih rendah dan sifat impregnasi perekat yang lebih baik dibandingkan perekat urea formaldehida (Suprpto, 2014). Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi lapisan kayu laminasi terhadap keteguhan rekatan geser, modulus elastisitas (MoE) dan keteguhan patah (MoR) kayu laminasi dari jenis kayu Pinus (P) dan kayu Sengon (S) menggunakan perekat melamin urea formaldehid (MUF). Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sifat mekanika kayu laminasi yang baik, untuk kemudian dianalisis faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas perekatan kayu laminasi dari variasi lapisan kedua jenis kayu tersebut.

B. METODE

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain mesin gergaji bundar Hofmann KF800, mesin ketam Hofmann C400, Universal Testing Machine Wolpert Lestor MPDI C Series, mesin kempa Siemplekamp, mesin pengering (oven), timbangan digital, kape, kaliper dan mikrometer, komputer dan alat tulis.

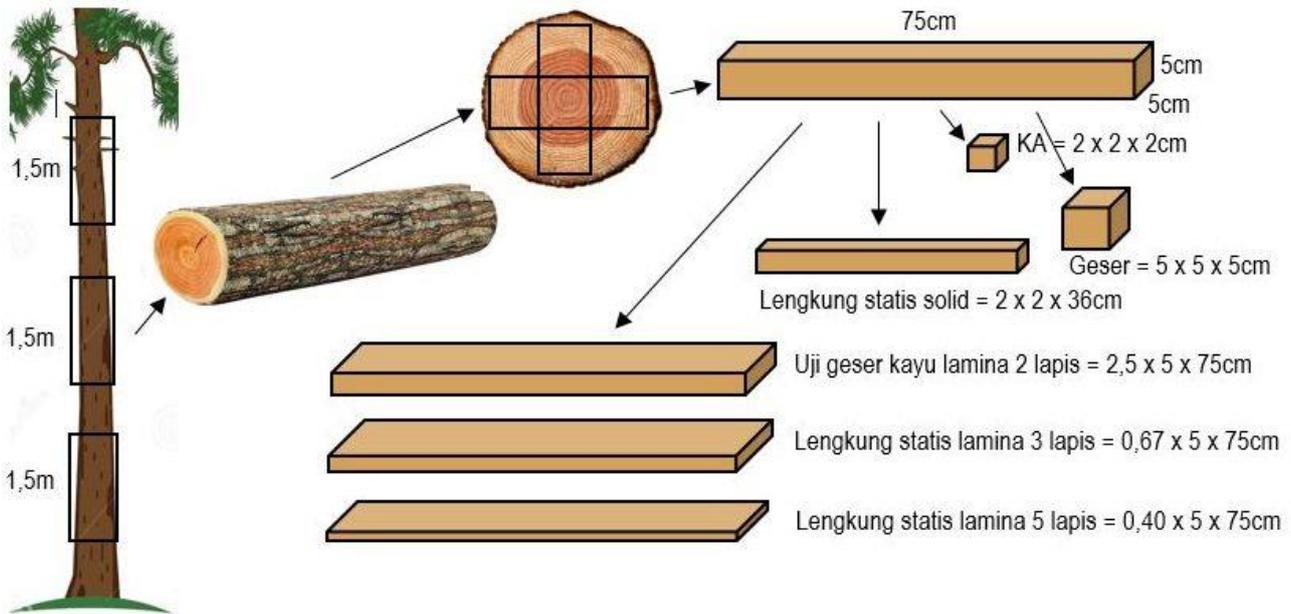
Bahan baku yang digunakan adalah kayu Pinus (*Pinus merkusii* Jungh et de Vr.) dan kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) yang diperoleh dari Komplek Perumahan Dosen Unmul Sidomulyo Jl. Rumbia, Samarinda. Bahan perekat yang digunakan adalah Melamin Urea Formaldehida (MUF) dengan campuran hardener Amonium Klorida (NH_4Cl) yang diperoleh dari industri kayu lamina PT. Cahaya Samtraco Utama (PT.CSU), Jl. Ekonomi, Kecamatan Loa Buah, Samarinda.

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan

Pemotongan log kayu Pinus (diameter 35 cm, tinggi batang ± 20 m dan kayu Sengon (diameter 60 cm, tinggi bebas cabang ± 25 m) menjadi 3 bagian untuk mewakili bagian Pangkal, Tengah, dan Ujung sepanjang masing-masing 1.5 m (agar seluruh batang mendapat kesempatan yg sama untuk menjadi contoh uji) yang kemudian dibelah menjadi 4 bagian secara menyilib dan dipotong menjadi balok berukuran 6 cm x 6 cm x 75 cm dengan tujuan untuk mendapatkan bidang radial dan tangensial yang sesuai standar pengujian, lalu dikeringudarkan sampai kadar air sekitar 12 – 15%.

Balok-balok diolah dengan mesin gergaji bundar menjadi contoh uji sesuai standar DIN dengan ukuran 2 cm x 2 cm x 2 cm sebagai contoh uji kadar air (KA) (DIN 52183-77) dan kerapatan (DIN 52182-76), 2 cm x 2 cm x 36 cm sebagai contoh uji keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR) (DIN 52186-78), 5 cm x 5 cm x 5 cm sebagai contoh uji keteguhan rekat geser (DIN 52187-79). Untuk kayu lamina dibuat papan ukuran panjang 75 cm, ukuran lebar papan 5 cm, sedangkan ukuran tebal terdiri dari tebal 0.40 cm (kayu lamina 5 lapis), tebal 0.67 cm (kayu lamina 3 lapis), dan tebal 1 cm (kayu lamina 2 lapis). Semua bahan lalu disimpan dalam ruang konstan pada suhu $20 \pm 1^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif $65 \pm 3\%$ sampai mencapai kesetimbangan kadar air normal (sesuai standar DIN sebesar $\pm 12\%$).



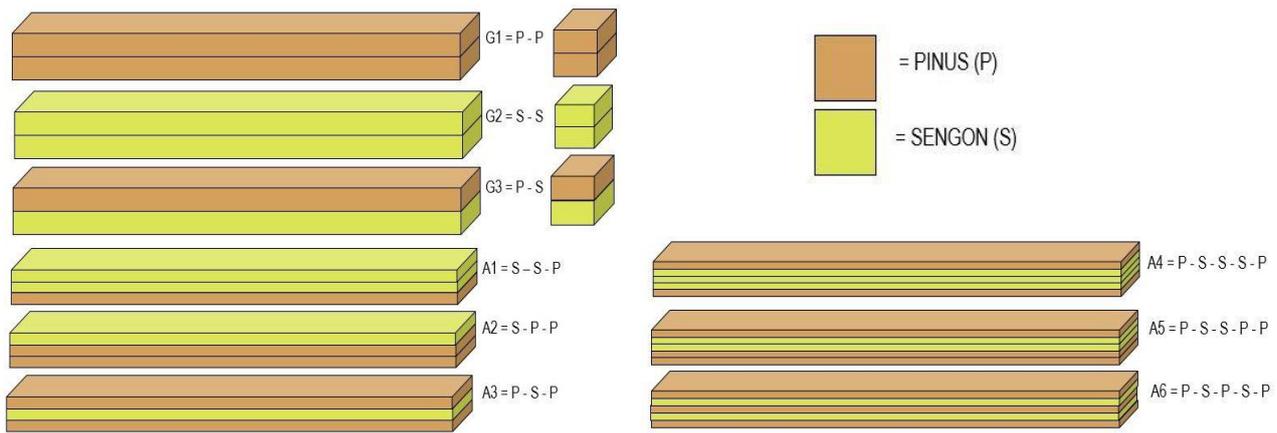
Gambar 1. Pemotongan bahan baku kayu untuk pembuatan contoh uji kayu solid dan kayu lamina

2. Pembuatan Contoh Uji

Setelah kayu mencapai kesetimbangan dalam ruang konstan (kadar air normal $\pm 12\%$) maka siap untuk dilakukan proses perekatan menjadi kayu lamina mengikuti rekomendasi dari PT. CSU. Perekat MUF dan hardener NH_4Cl dicampur dengan rasio 2: 1 kemudian dilakukan pelaburan perekat menggunakan kape pada dua bidang permukaan papan yang direkat (*double sided glue spreading*) dengan berat labur 200 g/m^2 (0.02 g/cm^2), bidang rekat yang digunakan adalah bidang tangensial. Sebelum direkat permukaan papan diketam sampai halus menggunakan mesin ketam dan dibersihkan dari kotoran.

Papan-papan yang sudah dilabur perekat tersebut digabungkan menjadi kayu lamina tipe balance dan unbalance untuk pengujian keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR), dimana kayu Pinus (P) dijadikan lapisan luar karena memiliki kelas kuat, kerapatan dan berat jenis yang lebih baik dari kayu Sengon (S) sehingga dibuat 6 (enam) variasi lapisan kayu lamina.

Proses pengempaan (pengepresan) dari perekatan kayu lamina dengan MUF dilakukan pada suhu kamar dengan tekanan kempa 8 bar selama 45 menit sesuai rekomendasi dari PT. Cahaya Samtraco Utama (Saparudin, 2010). Setelah proses perekatan dan pengempaan maka dilakukan proses pengkondisian papan lamina dengan cara disimpan dalam suhu kamar selama 7 hari agar kadar air mencapai kesetimbangan dan perekat mengeras dengan baik. Papan lamina lalu dipotong-potong menjadi contoh uji keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR) berukuran 2 cm x 2 cm x 36 cm dan contoh uji keteguhan rekat geser berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm lalu semua contoh uji dimasukkan ke dalam ruang konstan agar kembali tercapai kesetimbangan kadar air normal sebagai syarat dapat dilakukannya pengujian sifat fisika dan mekanika mengikuti standar DIN.



Gambar 2. Pembuatan kayu lamina untuk contoh uji keteguhan rekat geser (G) dan uji lengkung statis (A)

3. Pengujian Sifat Fisika Kayu Lamina

Pengujian kadar air (DIN 52183-7) dan kerapatan (DIN 52182-76) dilakukan pada contoh uji kayu solid Pinus dan Sengon sebagai kontrol, juga terhadap kayu lamina dari masing-masing perlakuan pada uji keteguhan lengkung statis (A1, A2, A3, A4, A5, A6) untuk mengetahui pengaruh perlakuan perbedaan variasi lapisan kayu lamina. Contoh uji ditimbang berat normal (B1) dan diukur dimensi normal (V1) lalu dimasukkan ke dalam oven pada suhu $103 \pm 2^\circ\text{C}$ selama 48 jam sampai tercapai kondisi kering tanur lalu ditimbang berat (B0) dan diukur kembali dimensinya (V0). Nilai kadar air normal dan kerapatan (kering normal dan kering tanur) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$KA (\%) = \frac{(B1-B0)}{B0} \times 100 \quad (1)$$

$$\rho = \frac{B}{V} (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

4. Pengujian Sifat Mekanika Kayu Lamina

Pengujian sifat mekanika dilakukan dengan uji keteguhan geser rekat dan uji keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR). Pada uji keteguhan geser rekat dibuat contoh uji yang merupakan kombinasi dari 2 jenis kayu yang digunakan (P-P, P-S, dan S-S) dengan tujuan untuk melihat interaksi perekatan secara internal (adhesi dan kohesi) yang berguna untuk melihat kecocokan antara bahan perekat dan bahan direkat (kayu) yang ditunjukkan oleh nilai keteguhan geser rekatnya, sedangkan pengujian lengkung statis walaupun menunjukkan sifat keteguhan rekat namun dipengaruhi oleh adanya lapisan kayu penyusunnya dan distribusi bebannya yang tidak sama pada tepi dan dalam kayu. Burhanuddin et al., (2016) menyatakan bahwa keteguhan reser rekat adalah parameter dari kapasitas beban yang terjadi pada suatu ikatan perekatan yang terletak pada daerah kontak antara permukaan kayu dengan perekat yang dipengaruhi oleh faktor perekat (adhesive) dan faktor bahan direkat (adheren).

Pengujian sifat-sifat mekanika menggunakan mesin uji Universal Testing Machine-Wolpert Lestor MPDI C Series buatan Jerman tahun 1985. Pengujian keteguhan geser (DIN 52187-79) dilakukan pada contoh uji kayu solid Pinus (P) dan Sengon (S) sebagai kontrol serta pada contoh uji kayu lamina 2 (dua) lapis dengan 3 (tiga) macam perlakuan variasi lapisan (G1, G2, G3) untuk mengetahui pengaruh kombinasi jenis kayu terhadap keteguhan rekatnya. Nilai keteguhan geser kayu solid dan keteguhan rekat geser dapat ditentukan dari beban maksimum (F maks) terhadap luas bidang yang digeser atau luas bidang rekat (A) dengan rumus berikut:

$$\tau = \frac{F \text{ maks}}{A} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \quad (3)$$

Pengujian keteguhan lengkung statis (standar DIN 52186-78) dilakukan terhadap contoh uji solid Pinus (P) dan Sengon (S) sebagai kontrol serta pada contoh uji kayu lamina 3 (tiga) dan (lima) lapis dengan 6 (enam) macam variasi perlakuan variasi lapisan (A1, A2, A3, A4, A5, A6) untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap sifat kekakuan (elastisitas) dan kekuatan maksimum dalam menahan beban. Nilai MoE dan MoR dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$MoE = \frac{10^3 \cdot \Delta F}{4 \cdot a^3 \cdot b \cdot \Delta f} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \quad (4)$$

$$\text{MoR} = \frac{3 \cdot F_{\text{maks}} \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot a^2} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \quad (5)$$

Keterangan:

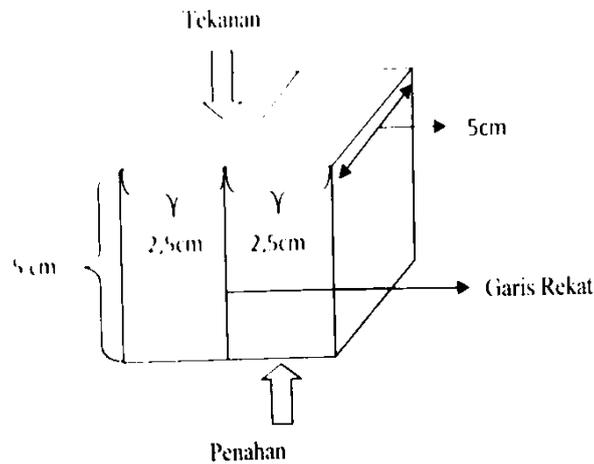
l_0 = jarak penyangga (mm)

ΔF = beban dalam daerah elastis (N)

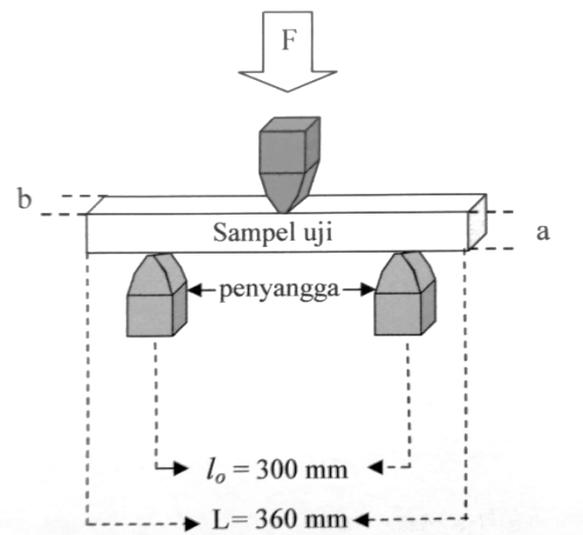
Δf = besar defleksi/lendutan (mm)

a = tebal contoh uji (mm)

b = lebar contoh uji (mm)



Gambar 3. Pengujian keteguhan rekat geser



Gambar 4. Pengujian keteguhan lengkung statis

Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah analisis keragaman (analysis of variance/ANOVA) dalam rancangan acak lengkap (RAL) sederhana untuk mengetahui pengaruh perlakuan variasi lapisan pada taraf kepercayaan 95% dan 99% pada uji kerapatan kering tanur, uji keteguhan rekat geser, dan keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR) kayu lamina, masing-masing dengan 10 ulangan.

Untuk uji keteguhan lengkung statis terdiri dari 6 (enam) macam perlakuan variasi lapisan (dari atas ke bawah) yaitu:

A1 = 3 lapis (Sengon–Sengon–Pinus / S-S-P)

A2 = 3 lapis (Sengon–Pinus–Pinus / S-P-P)

A3 = 3 lapis (Pinus-Sengon-Pinus / P-S-P)

A4 = 5 lapis (Pinus-Sengon-Sengon-Sengon-Pinus / P-S-S-S-P)

A5 = 5 lapis (Pinus-Sengon-Sengon-Pinus-Pinus / P-S-S-P-P)

A6 = 5 lapis (Pinus-Sengon-Pinus-Sengon-Pinus / P-S-P-S-P)

Untuk uji keteguhan rekat geser terdiri dari 3 (tiga) perlakuan variasi lapisan yaitu:

G1 = Pinus-Pinus (P-P)

G2 = Sengon-Sengon (S-S)

G3 = Pinus-Sengon (P-S)

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air dan Kerapatan Kayu

Nilai rata-rata pengujian kadar air normal dan kerapatan kayu (normal dan kering tanur) dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 1. Nilai Rataan dan koefisien variasi (KV) pengujian kadar air normal, kerapatan normal, dan kerapatan kering tanur kayu solid dan kayu lamina

Perlakuan	Kadar Air Normal		Kerapatan Normal		Kerapatan Kering Tanur	
	Rataan (%)	KV (%)	Rataan (g/cm ³)	KV (%)	Rataan (g/cm ³)	KV (%)
Pinus (P)	11.55	5.11	0.614	3.83	0.585	4.07
Sengon (S)	11.40	4.97	0.477	5.67	0.452	6.00
A1 (S-S-P)	11.63	6.46	0.613	10.05	0.576	10.11
A2 (S-P-P)	11.47	5.03	0.665	4.62	0.624	4.65
A3 (P-S-P)	11.62	4.14	0.643	5.25	0.604	5.30
A4 (P-S-S-S-P)	11.17	5.92	0.569	2.44	0.535	2.90
A5 (P-S-S-P-P)	11.47	5.03	0.664	4.76	0.629	4.97
A6 (P-S-P-S-P)	11.54	6.21	0.619	7.97	0.586	7.68

Nilai rata-rata kadar air normal dari kayu solid dan kayu lamina dari jenis kayu Pinus dan Sengon pada saat dilakukan pengujian cukup rendah dan seragam berkisar antara 11.17% – 11.63% menunjukkan bahwa pengondisian telah mencapai kesetimbangan dalam ruang konstan dan telah memenuhi persyaratan pada standar DIN yaitu sebesar $\pm 12\%$. Keseragaman kadar air normal juga ditunjukkan oleh nilai rata-rata koefisien variasi (KV) yang rendah dan seragam berkisar antara 4.14% – 6.46%. Kadar air yang rendah dan seragam dengan nilai KV yang rendah dan seragam menunjukkan bahwa kadar air telah terkendali, dan perbedaan nilai pada kadar air pada kayu solid dan kayu lamina yang dapat mempengaruhi nilai pengujian keteguhan rekat geser dan lengkung statis dapat diabaikan. Menurut (Somadona et al., 2020), salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas perekatan adalah kadar air kayu. Kadar air kayu yang tinggi akan menghambat ikatan cairan perekat (Nurrachmania & Sidabukke, 2020). Kadar air yang tinggi juga akan menurunkan sifat perekatan dan akan menyebabkan meningkatnya absorpsi kayu yang tinggi serta ikatan menjadi lemah (Haygreen dan Bowyer, 1996 dalam Utomo & Dayadi, (2023). Kadar air ini dalam penelitian ini telah memenuhi standar JAS 234-2007 (JAS, 2007) yang mensyaratkan kadar air pengujian sekitar 12%.

Kerapatan normal kayu Pinus sebesar 0.614 g/cm³ sedangkan kerapatan kering tanurnya sebesar 0.585 g/cm³, yang berarti kayu Pinus termasuk dalam kelompok kayu ringan (<0.6) sampai sedang (0.6 – 0.75), sedangkan kayu Sengon kerapatan normalnya sebesar 0.477 g/cm³ dan kerapatan kering tanurnya 0.452 g/cm³ yang berarti termasuk dalam kelompok kayu ringan (PIKA, 2003). Kayu lamina dari perlakuan penelitian yang dibuat berdasarkan variasi lapisan dari kayu Pinus dan kayu Sengon menunjukkan kerapatan normal terendah pada perlakuan A4 sebesar 0.569 g/cm³ dan tertinggi pada perlakuan A2 sebesar 0.665 g/cm³, sedangkan kerapatan kering tanur terendah pada perlakuan A4 sebesar 0.535 g/cm³ dan tertinggi pada perlakuan A5 sebesar 0.629 g/cm³. Nilai kerapatan kering tanur kayu lamina pada perlakuan A2, A3, A5 dan A6 juga cenderung lebih tinggi dibandingkan kerapatan kering tanur kayu solid Pinus dan Sengon, kecuali pada perlakuan A1 dan A4 yang nilainya diantara nilai kerapatan kayu Pinus dan kayu Sengon. Hal ini disebabkan oleh perlakuan variasi lapisan, dimana lapisan kayu lamina yang didominasi kayu Sengon maka nilai kerapatannya akan lebih rendah. Untuk melihat pengaruh variasi lapisan terhadap kerapatan kering tanur kayu lamina dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 2. ANOVA kerapatan kering tanur kayu lamina berdasarkan variasi lapisan

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Rataan	F Hitung	F Tabel	
					0.05	0.01
Perlakuan	0.060	5	0.012	8.515**	2.386	3.377
Galat	0.076	54	0.001	-	-	-
Total	0.136	59	-	-	-	-

Keterangan: ** = berpengaruh sangat signifikan pada taraf kepercayaan 99%.

Analisis keragaman menunjukkan ada pengaruh yang sangat signifikan dari perlakuan variasi lapisan terhadap kerapatan kering tanur kayu lamina. Perbedaan dalam nilai kerapatan kering tanur ini disebabkan oleh komposisi jenis

kayu penyusun kayu lamina, dimana semakin banyak jenis kayu Pinus yang memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan jenis kayu Sengon dalam kayu lamina maka kecenderungannya nilai kerapatan kayu lamina akan lebih tinggi. Perbedaan kerapatan kayu lamina dapat pula disebabkan oleh perbedaan jumlah lapisan kayu dimana perekat dilaburkan sesuai berat labur pada bidang rekat dalam pembuatan kayu lamina. Hal ini seperti dinyatakan oleh Bowyer et al., (2003) dalam Somadona et al., (2020) bahwa perbedaan nilai kerapatan kayu lamina dipengaruhi oleh jenis kayu penyusunnya, tebal dinding sel, kadar air dan proses perekatannya.

Keteguhan Geser, Modulus Elastisitas (MoE), dan Modulus Patah (MoR)

Pengujian keteguhan geser dan keteguhan lengkung statis (MoE dan MoR) dilakukan pada kayu solid Pinus dan Sengon sebagai kontrol dan terhadap kayu lamina. Nilai rata-rata pengujian sifat mekanika kayu lamina tersebut dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3. Nilai rata-rata pengujian keteguhan geser, modulus elastisitas (MoE), dan modulus patah (MoR) kayu solid dan kayu lamina

Perlakuan	Keteguhan Geser (N/mm ²)	MoE (N/mm ²)	MoR (N/mm ²)
Pinus (P)	12.08	13414.68	96.72
Sengon (S)	9.09	8676.76	68.90
G1 (P-P)	2.78	-	-
G2 (S-S)	6.17	-	-
G3 (P-S)	4.04	-	-
A1 (S-S-P)	-	8442.88	70.63
A2 (S-P-P)	-	6242.96	71.91
A3 (P-S-P)	-	6210.99	72.39
A4 (P-S-S-P)	-	8179.33	73.24
A5 (P-S-S-P-P)	-	8584.27	61.98
A6 (P-S-P-S-P)	-	8072.70	66.37

Note: G = Shear bond strength test of laminated wood; A = Static bending strength test of laminated wood (MoE and MoR).

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan dari kombinasi perekatan 2 (dua) jenis kayu (Pinus dan Sengon) terhadap nilai keteguhan rekat geser dilakukan analisis keragaman (ANOVA) yang dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4. ANOVA keteguhan rekat geser kayu lamina

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Rataan	F Hitung	F Tabel	
					0.05	0.01
Perlakuan	58,948	2	29,474	10.308**	3.354	5.488
Galat	77,195	27	2,859	-	-	-
Total	136,144	29	-	-	-	-

Keterangan: ** = berpengaruh sangat signifikan pada taraf kepercayaan 99%.

Pada Tabel 3 terlihat bahwa nilai rata-rata uji keteguhan rekat geser kayu lamina lebih rendah dibandingkan uji keteguhan geser kayu solid Pinus dan Sengon, sedangkan keteguhan rekat geser kayu lamina tertinggi pada perlakuan G2 sebesar 6.17 N/mm² diikuti G3 sebesar 4.04 N/mm² dan terendah pada G1 sebesar 2.78 N/mm². Tabel 4 menunjukkan bahwa ada pengaruh yang sangat signifikan dari perlakuan kombinasi perekatan jenis kayu Pinus dan Sengon terhadap keteguhan rekat geser kayu lamina. Hal ini terjadi kemungkinan disebabkan perbedaan sifat anatomis dan kimia dari jenis kayu yang digunakan. Walaupun nilai kelas kuat dan kerapatan kayu Pinus lebih tinggi daripada kayu Sengon namun struktur anatomi dan kandungan kimia berbeda antara keduanya, kecenderungan menunjukkan kualitas perekatan MUF yang tidak baik pada perekatan kayu lamina dengan adanya kombinasi menggunakan kayu Pinus. Kayu Pinus termasuk kayu daun jarum yang sebagian besar terdiri dari trakeid (90 - 95%) dan tidak memiliki pori (jaringan pembuluh). Kayu Pinus juga memiliki porositas dan permeabilitas dinding sel yang rendah (Karlinsari et al., 2010). Kayu Pinus juga memiliki kandungan zat ekstraktif yang lebih tinggi dari kayu Sengon. Pari et al., (2006) yang meneliti komponen kimia dari 10 jenis kayu tanaman menyebutkan bahwa kayu Pinus berdasarkan klasifikasi komponen kimia menurut Departemen Pertanian (1976) termasuk dalam kelas sedang (2 - 4%), sedangkan kayu Sengon termasuk kelas rendah (<2%). Jenis perekat, porositas dan permeabilitas yang rendah serta kandungan zat ekstraktif yang lebih tinggi pada kayu Pinus dapat mengganggu perekatan yang menyebabkan penetrasi dan pengerasan perekat kayu lamina dengan kombinasi menggunakan kayu Pinus (G1 dan G3) menjadi tidak optimal sehingga nilai keteguhan rekat geser cenderung lebih rendah dibandingkan kayu lamina G2 (Sengon-Sengon). Santoso & Malik, (2005) dalam penelitiannya tentang pengaruh jenis perekat (LRF, TRF, PRF) dan kombinasi jenis kayu (Pinus, Damar, dan Gmelina) menyatakan bahwa dalam keadaan kering, jenis perekat dan kombinasi jenis kayu berpengaruh sangat nyata dalam keteguhan rekat geser kayu lamina,

dimana hasil penelitiannya pada perlakuan kombinasi jenis kayu K1 (Pinus-Pinus-Pinus) juga menunjukkan keteguhan rekat yang rendah pada masa kempa 8 jam dan 15 jam serta dari 3 jenis perekat yang digunakan.

Nilai keteguhan rekat geser kayu lamina dalam penelitian ini hanya perlakuan G2 (Sengon-Sengon) sebesar 6.17 N/mm² yang dapat memenuhi standar JAS 234-2007 (JAS, 2007) sebesar 5.4 N/mm², sedangkan G1 (Pinus-Pinus) sebesar 2.78 N/mm² dan G3 (Pinus-Sengon) sebesar 4.04 N/mm² tidak dapat memenuhi standar.

Nilai MoE didapat pada kondisi pembebanan dimana kayu yang diuji masih belum mengalami kerusakan (daerah elastis) sedangkan nilai MoR didapat saat kayu yang diuji pembebanan sudah mulai mengalami kerusakan (daerah plastis). Nilai rata-rata uji modulus elastisitas (MoE) pada Tabel 3 menunjukkan nilai MoE kayu lamina tertinggi pada perlakuan A5 sebesar 8584.27 N/mm² dan terendah pada A3 sebesar 6210.99 N/mm², kisaran nilai MoE kayu lamina ini juga lebih rendah dibandingkan nilai MoE kayu solid Pinus 13414.68 N/mm² dan Sengon 8676.76 N/mm². Analisis keragaman (ANOVA) MoE pada Tabel 5 menunjukkan adanya pengaruh yang sangat signifikan dari perlakuan variasi lapisan kayu lamina terhadap nilai MoE.

Tabel 5. ANOVA modulus elastisitas (MoE) berdasarkan variasi lapisan kayu lamina

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Rataan	F Hitung	F Tabel	
					0.05	0.01
Perlakuan	60,062,456,197	5	12,012,491,239	9.790**	2.386	3.377
Galat	66,258,555,587	54	1,227,010,289	-	-	-
Total	126,321,011,784	59	-	-	-	-

Keterangan: ** = berpengaruh sangat signifikan pada taraf kepercayaan 99%.

Tabel 6. ANOVA modulus patah (MoR) berdasarkan variasi lapisan kayu lamina

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Rataan	F Hitung	F Tabel	
					0.05	0.01
Perlakuan	957,263	5	191.452	1.415ns	2.386	3.377
Galat	7,302,139	54	135.224	-	-	-
Total	8,259,403	59	-	-	-	-

Keterangan: ns= berpengaruh tidak signifikan.

Nilai MoE didapat pada kondisi pembebanan dimana kayu yang diuji masih belum mengalami kerusakan (daerah elastis) sedangkan nilai MoR didapat saat kayu yang diuji pembebanan sudah mulai mengalami kerusakan (daerah plastis). Nilai rata-rata uji modulus elastisitas (MoE) pada Tabel 3 menunjukkan nilai MoE kayu lamina tertinggi pada perlakuan A5 sebesar 8584.27 N/mm² dan terendah pada A3 sebesar 6210.99 N/mm², kisaran nilai MoE kayu lamina ini juga lebih rendah dibandingkan nilai MoE kayu solid Pinus 13414.68 N/mm² dan Sengon 8676.76 N/mm². Analisis keragaman (ANOVA) MoE pada Tabel 5 menunjukkan adanya pengaruh yang sangat signifikan dari perlakuan variasi lapisan kayu lamina terhadap nilai MoE.

Data pada Tabel 3 juga menunjukkan bahwa terjadi kecenderungan nilai MoE kayu lamina yang rendah pada kombinasi perekatan lapisan dengan kayu Pinus dan dengan semakin banyak jumlah lapisan kayu Pinus direkatkan dengan perekat MUF. Nilai MoE ini (A2, A3, A6) sesuai dengan hasil uji keteguhan rekat geser pada penelitian ini yang menunjukkan perekatan MUF dengan kayu Pinus akan memberikan nilai keteguhan rekat yang lebih rendah. Sinaga & Hadjib, (1989) dalam penelitiannya juga mendapatkan bahwa kayu lamina dengan komponen kayu Pinus memiliki nilai MoE dan MoR yang rendah. Hal ini disebabkan kayu Pinus termasuk jenis kayu daum jarum yang tidak memiliki sel pori (pembuluh) sehingga penetrasi perekat kurang sempurna dan tidak merata, juga kandungan zat ekstraktif yang lebih tinggi dibandingkan kayu Sengon yang dapat mengganggu perekatan.

Nilai MoE kayu lamina 5 lapis (A4, A5, A6) berkisar 8072.70 – 8584.27 N/mm² cenderung lebih tinggi dibandingkan kayu lamina 3 lapis (A1, A2, A3) yang berkisar 6210.99 – 8442.88 N/mm². Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Sari & Praja, (2006) yang meneliti tentang pengaruh sambungan dan jumlah lapisan dari kayu lamina Meranti Merah, serta penelitian Purwaningrum et al., (2019) yang meneliti tentang pengaruh jumlah lapisan pada kayu lamina Meranti Merah dan kayu Galam yang dalam kesimpulannya menyatakan bahwa kayu lamina dengan jumlah lapisan lebih banyak cenderung menghasilkan MoE yang lebih baik.

Nilai MoE kayu lamina berkisar antara 6210.99 N/mm² – 8584.27 N/mm² termasuk kode mutu E6 (6000N/mm²) – E8 (8000 N/mm²) lebih rendah daripada kayu solid Pinus (13414.68 N/mm²) kode mutu E13 (13000 N/mm²) dan kayu solid Sengon (8676.76 N/mm²) kode mutu E8 (8000 N/mm²) pada standar SNI 7973-2013 (BSN, 2013). Berdasarkan standar JAS 234-2007 (JAS, 2007) maka hanya perlakuan A1, A4, A5, A6 dapat memenuhi standar >8000 N/mm².

Analisis keragaman (ANOVA) MoR pada Tabel 6 menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan dari perlakuan variasi lapisan kayu lamina terhadap nilai MoR karena nilai rata-rata MoR pada semua perlakuan hampir sama. Nilai rata-rata MoR pada Tabel 3 menunjukkan nilai MoR kayu lamina tertinggi pada perlakuan A4 sebesar 73.24 N/mm² dan terendah pada

A5 sebesar 61.98 N/mm². Kisaran nilai MoR kayu lamina A1, A2, A3, A4 ini juga memiliki kecenderungan yang mirip dengan nilai MoE yaitu lebih rendah dibandingkan nilai MoR kayu solid Pinus 96.72 N/mm².

Pada perlakuan A5, A6 nilai MoR sedikit lebih rendah dari MoR kayu solid Sengon 68.90 N/mm², disebabkan oleh susunan lapisan dan jumlah lapisannya. Perlakuan A5 yang menggunakan kayu Pinus pada zona kritis (atas dan bawah) terutama pada bagian bawah yang mengalami gaya tarikan terdiri dari susunan kayu Pinus-Pinus yang pada uji keteguhan rekat geser justru menunjukkan keteguhan rekat yang rendah, menjadi penyebab rendahnya nilai MoR. Pada perlakuan A6 diantara lapisannya menggunakan kayu Pinus yang rendah kualitas perekatannya menyebabkan nilai MoR juga rendah. Sinaga & Hadjib, (1989) menyatakan pada konstruksi kayu lamina dari gabungan 2 sampai 5 lapisan serta perekat sebagai komponen pengikat, kemungkinan diantaranya terdapat komponen terlemah dan terkuat yang dapat mempengaruhi kayu lamina.

Mengacu pada klasifikasi kelas kuat kayu menurut Oey, 1990 dalam Kementerian LHK, (2020), maka nilai MoR kayu lamina dalam penelitian ini berkisar antara 61.98 N/mm² – 73.24 N/mm², dimana perlakuan A1, A5, A6 termasuk kelas kuat III (49 – 71 N/mm²), perlakuan A2, A3, A4 termasuk kelas kuat II (71 – 102 N/mm²), sedangkan nilai MoR kayu solid Pinus termasuk kelas II dan kayu solid Sengon termasuk kelas III. Nilai MoR semua perlakuan dalam penelitian ini termasuk kode mutu E25 (>26.0 N/mm²) dalam standar SNI 7973-2013 (BSN, 2013), dan semua perlakuan dapat memenuhi standar JAS 234-2007 (>36.0 N/mm²).

D. KESIMPULAN

1. Nilai rataan kadar air normal dari kayu solid dan kayu lamina dari jenis kayu Pinus dan Sengon pada saat dilakukan pengujian berkisar 11.17% – 11.63% dengan koefisien variasi (KV) berkisar 4.14% – 6.46%, nilai kadar air normal ini telah seragam dan memenuhi standar JAS 234-2007 yang mensyaratkan kadar air pengujian sekitar 12%.
2. Kerapatan normal dan kering tanur kayu Pinus masing-masing sebesar 0.614 g/cm³ dan 0.585 g/cm³, yang berarti kayu Pinus termasuk dalam kelompok kayu ringan (<0.6) sampai sedang (0.6 – 0.75), sedangkan kayu Sengon kerapatan normal dan kering tanurnya masing-masing sebesar 0.477 g/cm³ dan 0.452 g/cm³ termasuk dalam kelompok kayu ringan. Kerapatan normal kayu lamina berkisar 0.569 – 0.665 g/cm³ dan kering tanur berkisar 0.535 – 0.629 g/cm³ dimana kerapatan kering tanur A2, A3, A5, A6 lebih tinggi dibandingkan kerapatan kering tanur kayu solid Pinus dan Sengon yang dipengaruhi oleh komposisi jenis kayunya, jumlah lapisan dan berat labur perekat pada kayu lamina.
3. Keteguhan rekat geser kayu lamina tertinggi pada perlakuan G2 (Sengon-Sengon) sebesar 6.17 N/mm² dapat memenuhi standar JAS 234-2007 (>5.4 N/mm²) sedangkan perlakuan G3 (Pinus-Sengon) sebesar 4.04 N/mm² dan G1 (Pinus-Pinus) sebesar 2.78 N/mm² tidak dapat memenuhi standar, nilai ini lebih rendah dibandingkan keteguhan geser kayu solid Pinus dan Sengon yang disebabkan oleh perbedaan sifat anatomis, sifat kimia kayu, dan kurang sesuai dengan jenis perekat MUF.
4. Modulus elastisitas (MoE) tertinggi pada perlakuan A5 (8584.27 N/mm²) termasuk kode mutu E8 dan terendah pada A3 (6210.99 N/mm²) termasuk kode mutu E6 pada standar SNI 7973-2013, lebih rendah daripada nilai MoE kayu solid Pinus (13414.68 N/mm²) dan Sengon (8676.76 N/mm²) yang termasuk kode mutu E13 dan E8, hal ini disebabkan oleh variasi lapisan kayu lamina dan sifat keteguhan rekat kayu Pinus yang rendah. Ada kecenderungan MoE kayu lamina 5 lapis lebih tinggi dibanding kayu lamina 3 lapis. Berdasarkan standar JAS 234-2007 maka hanya perlakuan A1, A4, A5, A6 dapat memenuhi standar >8000 N/mm².
5. Modulus patah (MoR) pada perlakuan A1, A2, A3, A4 (70.63 - 73.23 N/mm²) lebih rendah dari MoR kayu solid Pinus (96.72 N/mm²), sedangkan A5, A6 (61.98 – 66.37 N/mm²) lebih rendah dari MoR kayu solid Sengon (68.90 N/mm²), yang disebabkan variasi lapisan yang menggunakan kayu Pinus dengan sifat perekatan yang rendah pada zona kritis (mengalami gaya tekanan dan tarikan) terutama pada lapisan bawah kayu lamina.
6. Berdasarkan nilai uji MoR maka kayu lamina dalam penelitian ini termasuk kelas kuat III (A1, A5, A6) sampai kelas kuat II (A2, A3, A4), sedangkan kayu solid Pinus termasuk kelas kuat II dan kayu solid Sengon kelas kuat III. Semua perlakuan kayu lamina dalam penelitian ini termasuk kode mutu E25 (>26 N/mm²) dalam standar SNI 7973-2013, dan semua perlakuan dapat memenuhi standar JAS 234-2007 (>36.0 N/mm²).
7. Kualitas perekatan MUF yang tidak baik (tidak optimal) dengan adanya kombinasi menggunakan kayu Pinus baik pada uji geser rekat, dan uji MoE dan MoR yang menggunakan kayu Pinus pada zona kritis (atas dan bawah) terutama pada bagian bawah yang mengalami gaya tarikan terdiri dari susunan kayu Pinus-Pinus. Nilai MoE kayu lamina 5 lapis (A4, A5, A6) berkisar 8072.70 – 8584.27 N/mm² cenderung lebih tinggi dibandingkan kayu lamina 3 lapis (A1, A2, A3) yang berkisar 6210.99 – 8442.88 N/mm².

DAFTAR PUSTAKA

APA. (2017). X440E - Glulam Product Guide. The Engineered Wood Association, Form No.X440E.

- Apriliansi, D., Fiesnanda, A., Putra, B., & Rahayu, W. W. (2021). Identifikasi Dan Inventarisasi Jenis Pohon Komersial Sebagai Investasi Jangka Panjang. February.
- BSN. (2013). SNI 7973-2013 Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu. Badan Standardisasi Nasional.
- Burhanuddin, V., Ulfah, D., & Emelya, R. (2016). Sifat Fisika dan Nilai Keteguhan Rekat Kayu Kecapi (*Sandoricum koetjape Merr*). *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 145–153.
- JAS. (2007). Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber. *Japanese Agricultural Standard (JAS 234)*, 1152, 1–45.
- Karlinasari, L., Nawawi, D., & Widyani, M. (2010). Kajian Sifat Anatomi dan Kimia Kayu Kaitannya dengan Sifat Akustik Kayu. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati Dan Fisik*, 12(3), 110–116.
- Kasmudjo. (2019). Peluang kayu mindi, pinus dan trembesi sebagai bahan mebel dan kerajinan. 182–192.
- Kementerian LHK. (2020). *Vademecum Kehutanan Indonesia 2020*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Mirza, H., Mahdie, M. F., Rahmat, G. A., Program, T., & Kehutanan, S. (2020). Sifat Fisik dan Mekanik Papan Partikel dari Serbuk Gergajian Kayu Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria*) menggunakan Perakat PVAC Physical and Mechanical Properties of Particle Board of Sea Sengon (*Paraserianthes falcataria*) Wood Sawdust Using PVAC Adhes. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 03(5), 855–867.
- Nurrachmania, M., & Sidabukke, S. (2020). Kualitas Laminasi Kayu Akasia (*Accacia mangium*) Menggunakan Perakat Isosianat. *Menara Ilmu*, 14(2), 57–67.
- Pari, G., Roliadi, H., Setiawan, D., & Saepuloh, S. (2006). Komponen Kimia Sepuluh Jenis Kayu Tanaman Dari Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24(2), 89–101. <https://doi.org/10.20886/jphh.2006.24.2.89-101>
- PIKA. (2003). *Mengenal Sifat-Sifat Kayu Di Indonesia dan Penggunaannya (Cetakan ke)*. Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Purwaningrum, T., Hamidah, S., & Yuniarti. (2019). Pengaruh Jumlah Lapisan Terhadap Sifat Fisika Mekanika Balok Laminasi Kayu Galam (*Melaleuca cajuputi*). *Jurnal Sylva Scienteeae*, 2(1), 155–163.
- Risnasari, I., Azhar, I., & Sitompul, A. (2012). Karakteristik Balok Laminasi Dari Batang Kelapa (*Cocos Nucifera L.*) Dan Kayu Kemiri (*Aleurites Moluccana Wild.*) (*Characteristics of Glued Laminated Beams of Coconut Trunk (Cocos Nucifera L.) and Candlenut Wood (Aleurites Moluccana Wild.)*). *Foresta*, 1(2), 79–87.
- Santoso, A., & Malik, J. (2005). Pengaruh Jenis Perakat dan Kombinasi Jenis Kayu Terhadap Keteguhan Rekat Kayu Lamina (pp. 375–384). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Saparudin. (2010). Laporan Pelaksanaan Kegiatan Praktek Kerja Lapang (Pkl) Di Pt. Cahaya Samtraco Utama Samarinda.
- Sari, N. M., & Praja, E. E. (2006). Pengaruh Pola Sambungan dan Banyaknya Jumlah Lapisan terhadap Sifat Fisika dan Mekanika Papan Lamina Kayu Meranti Merah (*Shorea leprosula Miq.*). *Jurnal Hutan Tropis Borneo*, 18, 33–38.
- Sari, R. J. P. (2011). Karakteristik Balok Laminasi dari Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria (L.) Nielson*), Manii (*Maesopsis eminii Willd.*), dan Akasia (*Acacia mangium Engl.*). Institut Pertanian Bogor.
- Sinaga, M., & Hadjib, N. (1989). Sifat Mekanis Kayu Lamina Gabungan dari Kayu Pinus dan Kayu Eucalyptus. *Duta Rimba*, 15.
- Somadona, S., Sribudiani, E., & Elsa Valencia, D. (2020). Karakteristik Balok Laminasi Kayu Akasia (*Acacia mangium*) Dan Meranti Merah (*Shorea leprosula*) Berdasarkan Susunan Lamina dan Berat Labur Perakat Styrofoam. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 15(2), 53–64. <https://doi.org/10.31849/forestra.v15i2.5039>
- Suprptono, B. (2014). *Perekatan Kayu, Perannya Dalam Industri Kayu (L. Y. Inayatuzzahrah (ed.); First Edit)*. Mulawarman University Press.
- Utomo, R. B., & Dayadi, I. (2023). Pengaruh Jenis Perakat dan Pengerjaan Permukaan Bidang Rekat Terhadap Keteguhan Geser Rekat Laminasi Kayu Terap (*Artocarpus elasticus Reinw. ex. Blume*). *Jurnal Atomik*, 08(2), 71–76.
- Wulandari, F. T., & Latifah, S. (2022). Karakteristik Sifat Fisika Dan Mekanika Papan Laminasi Kayu Bayur (*Pterospermum diversifolium*) Sebagai Bahan Substitusi Papan Solid. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 17(2), 177–191. <https://doi.org/10.31849/forestra.v17i2.9362>.