

Kuat Lentur Balok Laminasi Kayu Mangga Berbasis Defleksi dan Regangan dengan Sistem Pembebanan *Four Point Bending*

H.O. Baide^a dan A.P.N. Siregar^{a*}

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu, Indonesia 94118

*Corresponding author's e-mail: atur_pns@yahoo.com

Received: 10 January 2024; revised: 5 February 2024; accepted: 7 February 2024

Abstract: To meet the standard needs of low-quality wood structures, special methods are needed that can meet these needs. So the shape of the structure was developed, not whole wood but laminated components made through gluing or commonly called laminated beams. This study aims to determine the difference between laminated beams and solid blocks of mango wood through testing the bending strength of beams. The research method used in this study uses quantitative methods with an experimental method approach. The research conducted used Mango wood samples with two types of block treatment, namely laminated beams and solid blocks. The laminated beam is made using 5 layers of Mango wood with a size after lamination of 1200 x 100 x 50 mm. As for solid beams using a size of 1200 x 100 x 50 mm. Then the wood is tested by applying two centralized loads on two pedestals at a distance of 30 cm from the pedestal. The results showed that from testing mechanical properties which in this case is limited only by flexural strength testing. The flexural strength test in question is four point bending. The results of the flexural strength test obtained an average value of modulus of elasticity (MOE) of laminated beams of 6804.796 MPa while for solid beams of 9130.465 MPa. According to SNI 7973-2013. The average value of bending strength (MOE) was obtained 6804.796 MPa for laminated wood and 9130.465 MPa for solid wood. According to SNI 7973-2013, the value of laminated wood in this study is included in the E13 quality code. As for solid wood, it is included in the E18 quality code. This shows that the MOE value of solid beams is greater than the MOE of laminated beams. Then in the modulus of rupture (MOR) test, the average MOR value of laminated beams was 66.205 MPa and solid beams of 95.007 MPa. This shows that the MOR value of laminated beams is smaller than the MOR value of solid beams.

Keywords: *Manggo wooden, modulus of elasticity, modulus of rupture, four point bending*

Abstrak: Untuk memenuhi standar kebutuhan struktur kayu dengan mutu rendah diperlukan metoda khusus yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Maka dikembangkanlah bentuk struktur bukan kayu utuh melainkan komponen laminasi yang dibuat melalui perekatan atau biasa disebut dengan balok laminasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan balok laminasi dan balok solid kayu mangga melalui pengujian kuat lentur balok. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan metode eksperimen. Penelitian yang dilakukan menggunakan sampel Kayu Mangga dengan dua jenis perlakuan balok, yaitu balok laminasi dan balok *solid*. Balok laminasi dibuat menggunakan 5 lapisan Kayu Mangga dengan ukuran setelah dilaminasi sebesar 1200 x 100 x 50 mm. Sedangkan untuk balok *solid* menggunakan ukuran 1200 x 100 x 50 mm. Kemudian kayu diuji dengan memberikan dua beban terpusat pada dua tumpuan dengan jarak 30 cm dari tumpuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari pengujian sifat mekanik yang dalam hal ini hanya dibatasi oleh pengujian kuat lentur. Pengujian kuat lentur yang dimaksud adalah *four point bending*. Hasil dari pengujian kuat lentur diperoleh rata-rata nilai modulus elastisitas (MOE) balok laminasi sebesar 6804,796 MPa sedangkan untuk balok *solid* sebesar 9130,465 MPa. Menurut SNI 7973-2013. Nilai rata-rata kuat lentur (MOE) diperoleh 6804,796 MPa untuk kayu laminasi dan 9130,465 MPa untuk kayu *solid*. Menurut SNI 7973-2013 nilai kayu laminasi pada penelitian ini masuk ke dalam kode mutu E13. Sedangkan untuk kayu *solid* masuk ke dalam kode mutu E18. Hal ini menunjukkan bahwa nilai MOE balok *solid* lebih besar dibandingkan MOE balok laminasi. Kemudian pada pengujian *modulus of rupture* (MOR) diperoleh rata-rata nilai MOR balok laminasi sebesar 66,205 MPa dan balok *solid* sebesar 95,007 MPa. Hal ini menunjukkan nilai MOR balok laminasi lebih kecil dibandingkan nilai MOR balok *solid*.

Kata kunci: *Kayu Mangga, modulus elastisitas, modulus rupture, four point bending*

1. Pendahuluan

Kayu bangunan struktural adalah kayu yang digunakan dalam struktur bangunan dan memerlukan perhitungan beban. Kayu bangunan non-struktural adalah kayu bangunan yang digunakan untuk bagian bangunan dan tidak memerlukan perhitungan beban [1]. Pemilihan dan penggunaan kayu untuk suatu tujuan pemakaian memerlukan pengetahuan tentang sifat – sifat kayu dan persyaratan teknis yang diperlukan. Pengetahuan ini tidak saja dapat memilih jenis kayu yang tepat serta macam penggunaannya, akan tetapi juga dapat dipilih kemungkinan penggantian oleh jenis kayu lainnya apabila

jenis kayu yang bersangkutan terlalu mahal atau sulit diperoleh [2].

Kayu Mangga merupakan salah satu kayu endemik dari daerah Napu, Kab. Poso, Sulawesi Tengah. Umumnya kayu ini digunakan terutama untuk produk perabot, seperti kursi, lemari, bangku, meja, dan lain-lain. Kayu Mangga juga sering digunakan sebagai konstruksi perumahan masyarakat Napu.

2. Tinjauan Pustaka

Kayu mangga merupakan jenis kayu dengan kekerasan sedang, mempunyai berat jenis 0,45 – 0,58 dan dapat

dikategorikan dalam kayu ringan sampai agak ringan, kekuatan kayunya agak rendah dan termasuk dalam kelas kuat III [3]. Potensi pohon mangga di Indonesia cukup besar, pada tahun 2014 luasan tanaman mangga mencapai 268.053 ha [3]. Namun, beberapa pabrikan juga dapat menggunakan kayu mangga sebagai konstruksi untuk membangun rumah dan bagian-bagiannya, seperti lantai, veneer, dan panel. Kayu mangga merupakan kayu buah-buahan dan mempunyai potensi cukup besar tetapi belum dimanfaatkan secara optimal sebagai salah satu alternatif untuk mengatasi kekurangan pasokan atau ketersediaan kayu solid.

Pengujian sifat mekanik kayu untuk mengetahui kekuatan kayu dilakukan dalam tiga kali pengujian sesuai dengan arah pengujian serat, lingkaran tahun dan kadar air kayu [4]. Agar konstruksi kayu mendapatkan hasil yang memuaskan, maka diperlukan 2 (dua) syarat, yaitu kekuatan tekan dan kemudahan pengerjaan [5].

Jika dilihat dari sifat material, kayu memiliki sifat anisotropik yaitu sifat kayu yang berlainan jika diuji menurut tiga arah utamanya, sedangkan mortar bersifat isotropik yang memiliki kesamaan sifat ketika diberikan pembebanan dari arah yang berbeda [6].

Sifat mekanik terkait dengan kekuatan kayu yaitu kemampuan kayu untuk menahan muatan dari luar [7]. Gaya dari luar yang dimaksud adalah gaya yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah bentuk dan volume benda. Sifat mekanik kayu diperhitungkan untuk penggunaan kayu sebagai bahan bangunan, perkakas seperti furniture atau mebel dan lain-lain. Secara umum hampir semua penggunaan kayu dituntut syarat kekuatan dalam penggunaannya.

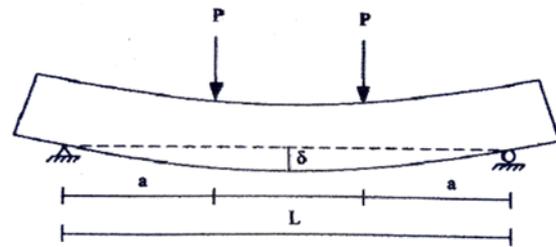
Beberapa macam kekuatan dari sifat mekanik kayu adalah: (a) kekuatan tarik; (b) kekuatan tekan; (c) kekuatan geser; (d) keteguhan lengkung. Dalam pemanfaatan sebagai material produksi, kayu digolongkan ke dalam lima kelas kuat berdasarkan berat jenis, keteguhan lengkung mutlak, dan keteguhan tekan mutlak [7]. Dalam rangka menemukan teknologi tepat guna tersebut, maka karakteristik dan sifat dasar kayu jati unggul perlu diketahui dengan pasti. Dengan mengetahui sifat dan karakteristiknya maka respon kayu saat di-treatment dapat dipahami sehingga mempermudah dalam menetapkan dan memilih perlakuan terbaik untuk memperoleh hasil yang maksimal [8].

Sifat-sifat mekanik atau kekuatan kayu ialah kemampuan kayu untuk menahan muatan dari luar. Muatan dari luar yang dimaksud dengan ialah gaya-gaya di luar benda yang mempunyai kecenderungan untuk mengubah benda dan besarnya benda dibutuhkan syarat kekuatan *Modulus of Elasticity* (MOE) [9]. MOE ialah ukuran ketahanan terhadap perpanjangan atau perpendekan akibat pembebanan dari luar, jika kayu mengalami tarik atau tekan selama pembebanan berlangsung dengan kecepatan pembebanan konstan. Pengujian lentur untuk mendapatkan nilai MoE dan MoR dapat dilakukan secara statik dan dinamik. Pengujian secara statis umumnya bersifat destruktif, yaitu melalui uji lentur tiga titik maupun empat titik di laboratorium [10].

Kekakuan dinyatakan dengan *Modulus of Elasticity* (MOE) dan kekuatan dinyatakan dalam *Modulus of*

Rupture (MOR) [11]. MOE dipengaruhi oleh berat jenis serta kerapatan kayu [12].

Karena perilaku bahan dalam diagram tegangan-regangan adalah tidak linear maka nilai modulus elastisitas dapat ditentukan sebagai rasio antara tegangan dan regangan. Hasil pengujian kekuatan lengkung statik dengan mengukur lendutan pada daerah perlengkungan saat pembebanan berlangsung akan diperoleh nilai elastisitas sejajar serat kayu. Nilai modulus elastisitas bila menggunakan dua beban terpusat dapat menggunakan Persamaan 1.

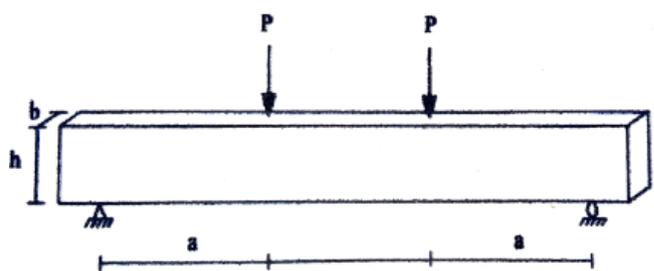


Gambar 1. Elastisitas Balok [13]

$$MOE = \frac{Pa}{24I\delta} (3L^2 - 4a^2) \quad (1)$$

MOE adalah *Modulus of Elasticity*/modulus elastisitas (MPa). Δ adalah lendutan balok (mm), P adalah beban (N), L adalah panjang tumpuan (mm), a adalah jarak beban terhadap tumpuan (mm) dan I adalah momen inersia (mm⁴)

Modulus of rupture (MOR) ialah kekuatan untuk menahan gaya-gaya yang berusaha mematahkan kayu yaitu berupa tegangan serat pada beban maksimum atau yang dikenal juga sebagai kemampuan kayu untuk menahan kejutan-kejutan dan tegangan yang berulang-ulang dan melampaui batas proposional serta mengakibatkan perubahan bentuk yang permanen dan kerusakan sebagian. Nilai MOR diperoleh dari pengujian kuat lentur balok yang diberikan dua beban terpusat.



Gambar 2. Pembebanan pada balok [13]

$$MOR = \frac{6Pa}{bh^2} \quad (2)$$

MOR adalah *modulus of rupture* (MPa). P adalah beban (N), a adalah jarak beban terhadap tumpuan (mm), b adalah lebar balok (mm) dan h adalah tinggi balok (mm).

Laminasi adalah teknologi pengolahan kayu yang sudah dikenal sejak dulu. Laminasi adalah penyatuan beberapa lapis kayu dengan lem pada kedua sisinya kemudian diberi tekanan [14]. Balok Laminasi merupakan suatu balok yang diperoleh dari perekatan kayu, dapat berbentuk lurus, melengkung atau gabungan dari keduanya, dengan arah serat sejajar atau tidak satu dengan

lainnya [15]. Bentuk-bentuk kayu laminasi mempunyai variasi dalam jenis, jumlah lapisan, ukuran, bentuk dan ketebalannya. Beberapa contoh bentuk balok laminasi dilihat dari cara penempatannya terhadap beban yaitu balok laminasi horizontal dan balok laminasi vertikal. Segi efisiensi balok laminasi lebih baik dibandingkan kayu *solid*, karena balok jenis ini dapat dibuat dari kayu bermutu rendah atau kombinasi kayu bermutu rendah dengan kayu bermutu tinggi dari kayu-kayu ukuran kecil [16].

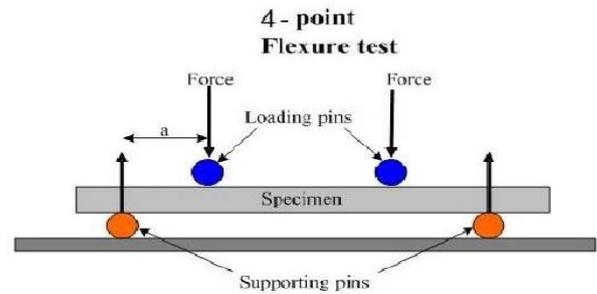
Proses pembuatan balok laminasi [17] terbagi beberapa tahap yaitu :

- 1) Pengeringan dan pemilahan laminasi. Laminasi perlu dikeringkan secara tepat untuk meminimalkan perubahan dimensi dan meningkatkan sifat-sifat struktural, biasanya dilakukan dengan pengeringan di dalam *dry kiln* [18]. Laminasi dikeringkan pada kadar air dengan kisaran 7-15%, sedangkan beberapa penelitian pembuatan balok laminasi yang dilakukan, pada umumnya menggunakan laminasi dengan kadar air kering udara berkisaran 8-18%.
- 2) Perakatan Permukaan. Penyusunan laminasi menjadi elemen dengan ukuran yang ditentukan merupakan tahap kritis yang lain dalam proses pembuatan balok laminasi

Untuk memperoleh permukaan yang bersih, sejajar dan dapat direkat, lamina harus diketam pada kedua permukaan lebarnya sebelum proses perakatan. Hal ini menjamin susunan akhir akan berbentuk persegi dan tekanan yang diberikan akan merata. Perak kemudian dilaburkan dengan menggunakan *glue* [19]. Laminasi kemudian disusun ke dalam bentuk yang ditentukan. Setelah perekat mencapai masa tunggu (*open assembly time*) yang tepat selanjutnya diberikan tekanan. Metode yang paling umum dalam memberikan tekanan adalah dengan pengempaan (*clamping beds*).

Tekanan diberikan dengan sistem mekanik atau hidrolis. Dengan proses ini, perkat dimatangkan pada suhu ruangan selama 4-24 jam. Beberapa system pengemasaan otomatis yang baru termaksud tekanan hidrolis kontinyu (*continuous hydrolic press*) dan pematangan frekuensi rasio dapat mempersingkat prosen perakatan permukaan dari beberapa jam menjadi beberapa menit. Setelah proses perakatan permukaan selesai, perekat diharapkan mencapai 90% atau lebih kekuatan ikatannya. Selama beberapa hari berikutnya, pematangan berlanjut tetapi pada tingkat yang jauh lebih rendah [20]. Pengemasaan yang dilakukan pada beberapa penelitian umumnya menggunakan pengemasaan dingin dengan besar tekanan yang diberikan 10 kg/cm² dengan lama waktu pengemasaan bervariasi antara 2-24 jam. Tekanan kempa sebesar 2,6 Mpa selama 6 jam menghasilkan kekuatan lentur dengan keteguhan rekat yang paling tinggi. Besarnya tekanan kempa dan lama waktu pengemasaan antara lain bergantung pada jenis kayu, jenis perkat, dan ketebalan balok laminasi.

Four point bending merupakan pengujian yang menggunakan empat titik point untuk menguji suatu material, dimana 2 point pada bagian bawah yang berfungsi sebagai tumpuan dan 2 poin (penekan) pada bagian atas yang berfungsi sebagai penekan.



Gambar 3. *Four point bending test* menurut ASTM-D373 [19]

Sebagai pengganti PKKI akhirnya ditetapkan, yaitu Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu yang merupakan standar bagi peraturan penggunaan kayu di Indonesia sampai saat ini. Tabel 1 menyajikan nilai desain dan modulus lentur acuan

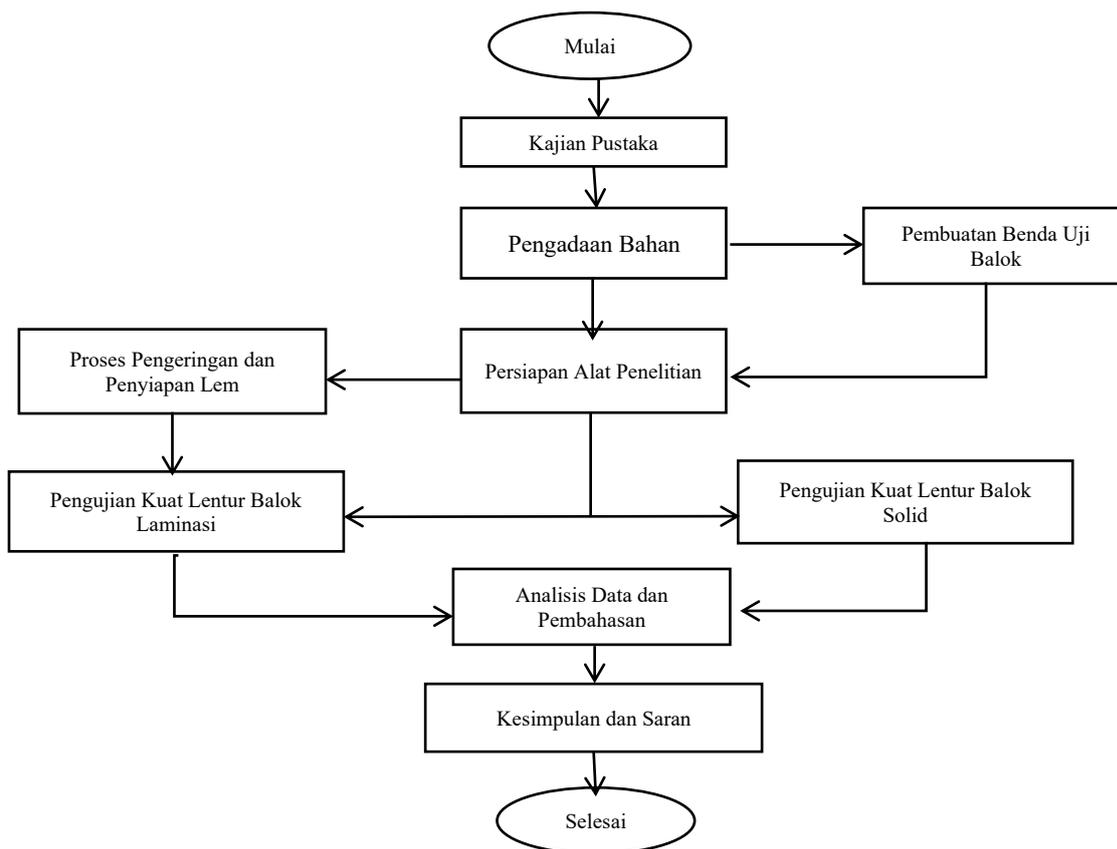
Tabel 1. Nilai desain dan modulus lentur acuan

Kode Mutu	Nilai Desain Acuan (MPa)					Modulus Elastisitas Acuan (MPa)	
	Fb	Ft	Fc	Fv	FcL	E	E _{min}
E25	26,0	22,9	22,9	3,06	6,11	25000	12500
E24	24,4	21,5	21,5	2,87	5,74	24000	12000
E23	23,2	20,5	20,5	2,73	5,46	23000	11500
E22	22,0	19,4	19,4	2,59	5,19	22000	11000
E21	21,3	18,8	18,8	2,50	5,00	21000	10500
E20	19,7	17,4	17,4	2,31	4,63	20000	10000
E19	18,5	16,3	16,3	2,18	4,35	19000	9500
E18	17,3	15,3	15,3	2,04	4,07	18000	9000
E17	16,5	14,6	14,6	1,94	3,89	17000	8500
E16	15,0	13,2	13,2	1,76	3,52	16000	8000
E15	13,8	12,2	12,2	1,62	3,24	15000	7500
E14	12,6	11,1	11,1	1,48	2,96	14000	7000
E13	11,8	10,4	10,4	1,39	2,78	13000	6500
E12	10,6	9,4	9,4	1,25	2,50	12000	6000
E11	9,1	8,0	8,0	1,06	2,13	11000	5500
E10	7,9	6,9	6,9	0,93	1,85	10000	5000
E9	7,1	6,3	6,3	0,83	1,67	9000	4500
E8	5,5	4,9	4,9	0,65	1,30	8000	4000
E7	4,3	3,8	3,8	0,51	1,02	7000	3500
E6	3,1	2,8	2,8	0,37	0,74	6000	3000
E5	2,0	1,7	1,7	0,23	0,46	5000	2500

3. Metode Penelitian

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Teknik Sipil Universitas Tadulako, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako. Urutan penelitian ini dapat dilihat dalam bagan alir untuk urutan penelitian seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka konseptual penelitian

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah balok kayu terlamniasi dari bahan Kayu Mangga. Peralatan yang digunakan untuk menguji kekuatan baloka adalah *Bending Test Machine* seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. *Bending Test Machine*

3.3. Pembuatan dan Pengeringan Lamina

Kayu mangga digergaji menjadi lembaran papan dengan ukuran panjang, lebar, dan tebalnya berturut-turut adalah 120 cm x 5 cm x 2 cm sebanyak 15 buah dan dilaminasi (Gambar 6). Papan-papan tersebut kemudian dikeringkan hingga diperoleh kadar air 10-15%. Pengeringan papan dilakukan dengan tujuan untuk mempertinggi kestabilan dimensi papan lamina, dan mempermudah proses perekatan kayu.

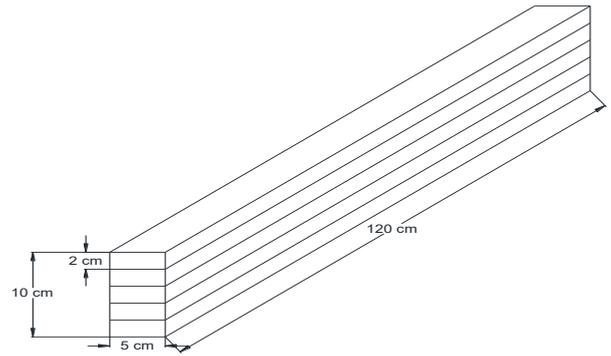


Gambar 6. Proses pembuatan benda uji laminasi

Langkah selanjutnya adalah susunan benda uji dikempa untuk menyempurnakan perekatan (Gambar 7) sehingga menjadi benda uji yang siap untuk diuji (Gambar 8).



Gambar 7. Proses pengempaan



Gambar 8. Susunan balok laminasi

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kuat Lentur Laminasi

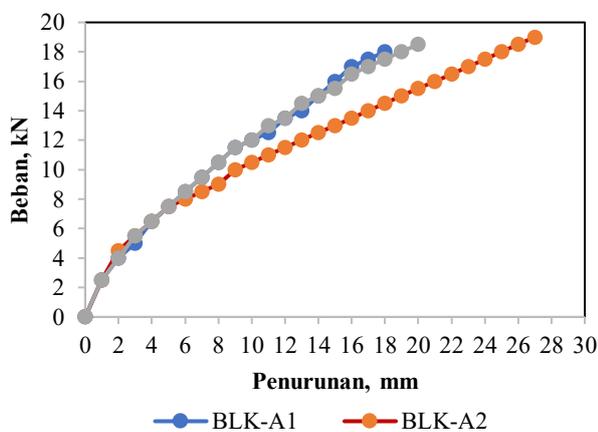
Untuk Pengujian ini, benda uji yang digunakan adalah balok kayu laminasi. Dari hasil pengujian kuat lentur laminasi diperoleh data pada Tabel 2, Tabel 3 dan Gambar 9.

Tabel 2. Hasil pengujian kuat lentur laminasi

No Sampel	Jarak Tumpuan (mm)	Dimensi		Beban Maks (N)	Kuat Lentur (N/mm ³)	MOE
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)			
BLK-A1	1000	49,80	101,20	18000	52,939	7672,3
BLK-A2	1000	49,00	101,60	19000	56,346	5422,6
BLK-A3	1000	48,00	101,40	18500	56,227	7319,5

Tabel 3. Hasil pengujian kuat lentur balok solid

No Sampel	Jarak Tumpuan (mm)	Dimensi		Beban Maks (N)	Kuat Lentur (N/mm ³)	MOE
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)			
BLK-B1	1000	50,00	100,50	32500	96,532	10565,7
BLK-B2	1000	49,00	100,20	19500	59,456	9214,7
BLK-B3	1000	50,50	101,00	28000	81,530	7611,0



Gambar 9. Grafik hubungan antara penurunan dan pembebanan balok laminasi

4.2. Pengujian Kuat Patah (Modulus of Rapture, MOR)

Pada pengujian kuat patah menggunakan pengujian yang sama dengan pengujian kuat lentur. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan benda menahan beban lentur maksimum sampai saat benda tersebut mengalami kerusakan. Hasil pengujian MOR balok laminasi dapat dilihat pada Tabel 4, sedangkan untuk pengujian MOR balok *solid* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil pengujian MOR balok laminasi

No Sampel	Jarak Tumpuan (mm)	Dimensi		Beban Maks (N)	Kuat Lentur (N/mm ³)	MOR (MPa)
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)			
BLK-B1	1000	49.80	101.20	18000	52.9	63.5
BLK-B2	1000	49.00	101.60	19000	56.3	67.6
BLK-B3	1000	48.00	101.40	18500	56.2	67.5

Tabel 5. Hasil pengujian MOR balok solid

No Sampel	Jarak Tumpuan (mm)	Dimensi		Beban Maks (N)	Kuat Lentur (N/mm ³)	MOR (MPa)
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)			
BLK-B1	1000	50.00	100.50	32500	96.532	115.84
BLK-B2	1000	49.00	100.20	19500	59.456	71.35
BLK-B3	1000	50.50	101.00	28000	81.530	97.84

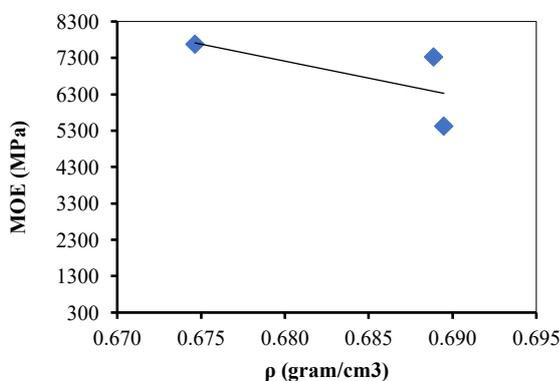
4.3. Hubungan Kerapatan dengan MOE dan MOR

Hubungan kerapatan dengan MOE dan MOR dapat dilihat pada Tabel 6, Gambar 10 dan Gambar 11. Berdasarkan Tabel 6 diketahui kerapatan rata-rata untuk balok laminasi adalah 0.684 gram/cm³ diperoleh nilai

MOE rata-rata sebesar 6804,8 MPa dan nilai MOR rata-rata sebesar 66.2 MPa. Sedangkan untuk balok solid nilai kerapatan rata-rata adalah 0.683 gram/cm³ diperoleh nilai MOE rata-rata sebesar 9130,5 MPa dan nilai rata-rata MOR sebesar 95,0 MPa.

Tabel 6. Hubungan kerapatan dengan MOE dan MOR

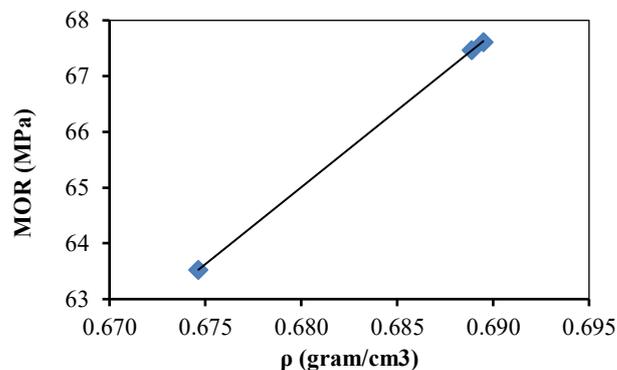
Kode Sampel	P (N)	δ (mm)	ρ (gram/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
BLK-A1	18000	18	0,675	7672,3	63,5
BLK-A2	19000	27	0,689	5422,6	67,6
BLK-A3	18500	20	0,689	7319,5	67,5
Rata-rata			0,684	6804,8	66,2
BLK-B1	32500	24	0,688	10565,7	115,8
BLK-B2	19500	17	0,679	9214,7	71,3
BLK-B3	28000	28	0,681	7611,0	97,8
Rata-rata			0,683	9130,5	95,0



Gambar 10. Grafik hubungan antara kerapatan dengan MOE balok laminasi

Berdasarkan Gambar 10 dapat disimpulkan bahwa kerapatan dan nilai MOE berbanding terbalik. Semakin

besar kerapatan maka semakin kecil pula kekuatan balok laminasi untuk menahan perubahan panjang akibat pembebanan dari luar.



Gambar 11. Grafik hubungan antara kerapatan dengan MOR balok laminasi

Berdasarkan Gambar 11 dapat disimpulkan kerapatan berbanding lurus dengan nilai MOR. Semakin besar nilai kerapatan maka semakin besar pula nilai MOR.

4.4. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) akan dianalisa menggunakan metode hukum Hooke. Hasil

analisis data tegangan lentur dan regangan balok laminasi dengan metode hukum Hooke dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Tegangan, MOE, dan regangan balok laminasi

Kode Sampel	P_{max} (MPa)	δ (mm)	ρ (gram/cm ³)	σ (MPa)	MOE (MPa)	ϵ
BLK-A1	18000	18	0,675	31,763	7672,2	0,0041
BLK-A2	19000	27	0,689	33,807	5422,6	0,0062
BLK-A3	18500	20	0,689	33,736	7319,5	0,0046
Rata-rata			0,684	33,102	6804,8	0,0050

Dengan metode hukum Hooke perhitungan balok laminasi memiliki nilai rata-rata tegangan (σ) sebesar 33,102 MPa, MOE sebesar 6804,8 MPa, dan regangan (ϵ) sebesar 0,00495

5. Kesimpulan

- 1) Nilai lendutan maksimum untuk balok laminasi terjadi pada sampel BLK-A2 dengan nilai lendutan maksimum sebesar 27 mm dan nilai beban sebesar 19000 kN. Sedangkan untuk balok *solid* terjadi pada sampel BLK-B3 dengan nilai lendutan maksimum sebesar 28 mm dengan nilai beban sebesar 28000 kN. Sehingga dapat disimpulkan balok *solid* lebih kuat dibandingkan dengan balok laminasi (BLK-A > BLK-B)
- 2) Jenis keruntuhan yang dialami kayu laminasi adalah keruntuhan akibat kegagalan geser. Pola kerusakan berupa retak pada garis perekatan, yang dimulai dari arah tumpuan dan merambat ke arah tengah bentang. Sedangkan untuk kayu *solid* terjadi keruntuhan di bagian tengah bentang
- 3) Nilai rata-rata kuat lentur (MOE) diperoleh 6804,8 MPa untuk kayu laminasi dan 9130,5 MPa untuk kayu *solid*. Menurut SNI 7973-2013 nilai kayu laminasi pada penelitian ini masuk ke dalam kode mutu E13. Sedangkan untuk kayu *solid* masuk ke dalam kode mutu E18

Daftar Pustaka

- [1] Gumilang, A. Kuncahyo, and Rusnaldy, *Sifat Mekanik Kayu Sebagai Fungsi Dari Struktur Kayu (Arah Serat, Lingkaran Tahun, Densitas dan Kadar Air)*, Semarang: Universitas Diponegoro, 2011.
- [2] A. Awaludin and I.S. Irawati, *Konstruksi Kayu*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta: Biro Penerbit UGM, 2005.
- [3] A. Martawijaya, I. Kartasujana, Y.I. Mandang, S.A. Prawira, and K. Kadir, *Atlas Kayu Indonesia*, Bogor: Balai Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor, 1989.
- [4] T.R. Mardikanto, L. Karlinasari, and E.T. Bahtiar, *Sifat Mekanis Kayu*, Bogor: Penerbit IPB Press, 2018.
- [5] M. Latif, B.A. Billahi, and H. Masvika, "Analisa Perilaku Mekanik Kayu Mangga", *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, vol. 7, no. 2, p. 137, 2023.
- [6] F.Z. Mawaddah, *Pengaruh Penanaman Kayu Ulin dan Kayu Gelam Dalam Mortar Sebagai Balok Struktur Rumah Kayu Sederhana Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Mekanik*, Balikpapan: Institut Teknologi Kalimantan, 2020.
- [7] J. Pramudito, *Studi Kuat Lentur Balok Laminasi Kayu Sengon dengan Kayu Kelapa di Daerah Gunung Pati Semarang*, Semarang: Jurusan Teknik Sipil FT UNNES, 2013.
- [8] B. Rahmat, D. Mulyosari, A.A. Purwanto, and W. Widiyanto, "Pengaruh Posisi Sambungan Konstruksi Kayu Terhadap Dedain Produk Mebel Berbahan Dasar Kayu", *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur*, vol. 11, no. 1, p. 8, 2023.
- [9] I. Wahyudi, T. Priadi, and I.S. Rahayu, "Karakteristik dan Sifat-Sifat Dasar Kayu Jati Unggul Umur 4 Dan 5 Tahun Asal Jawa Barat", *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 19, no. 1, p. 50, 2014.
- [10] L.S. Aswadi, D.S.A. Yuwana, and H. Prawenti, "Studi Eksperimental Modulus of Rupture dan Modulus of Elasticity Laminated Veneer Lumber Kayu Sengon", *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, vol. 2, no. 1, p. 9, 2021.
- [11] A. Awaludin and U. Wusqo, "Prediksi Nilai Kuat Lentur Kayu Tropis Berdasarkan Nilai Modulus Elastis", *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, vol. 18, no. 1, p. 27, 2020.

- [12] A. Apriani, *Kekuatan Sambungan Finger Joint Pada Struktur Balok Laminasi Kayu Glugu*, Malang: Universitas Negeri Malang, 2017.
- [13] J. Susanti, *Hubungan Antara Modulus Elastisitas dan Nano Struktur Kayu Akasia (Acacia Mangium Willd) Dari Berbagai Diameter*, Makassar: Universitas Hasanuddin, 2019.
- [14] T.A.Muzakkar, *Kinerja Balok Laminasi Kayu Kelapa Menurut Distribusi Kerapatan Lamina (Kajian Menurut Konsep Energi Fraktur)*. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2013.
- [15] S. Handayani, “Analisis Pengujian Struktur Balok Laminasi Kayu Sengon dan Kayu Kelapa”, *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, vol. 18, no. 1, p. 39, 2016.
- [16] A. Wijaya, *Pengaruh Variasi Kerapatan Papan Dan Jenis Perekat Terhadap Keteguhan Rekat Dan Presentase Kerusakan Papan Laminasi Kayu Kelapa (Cocos Nucifera)*, Bogor: Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. 2001.
- [17] A.A. Annaafi, I. Yasin, and M.A. Shulhan, “Analisis Kuat Lentur Balok Laminasi Lengkung dengan Perekat Epoxy”, *Agregat*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2019.
- [18] F. Arifin, P. Manik, and S. Jokosiworo, “Analisa Pengaruh Suhu Kempa dan Waktu Kempa Terhadap Kualitas Balok Laminasi Bambu Petung untuk Komponen Konstruksi Kapal Kayu”, *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 4, p. 1, 2017.
- [19] L. Tambunan, *Modulus Elastisitas dan Kekuatan Tekan Glued Laminated Timber (Glulam)*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [20] BSN, *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2013.