

PERILAKU LENTUR BALOK LAMINASI KAYU GLUGU DAN SENGON DENGAN SAMBUNGAN EPOKSI DAN PAKU

Henda Febrian Egatama^{1*}, Haryanto Yoso Wigroho¹ dan Ade Lisantono¹

¹ Program Studi Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Yogyakarta

* Corresponding authors: henda.egatama@uajy.ac.id

Abstract: Laminated wood or structural glulam wood (structural glued-laminated timber) has become a fairly developed innovation in improving the quality of wood to be used as structural elements of a building. Various studies have been carried out in an effort to optimize the method, among others by varying the type of wood, dimensions, and the number of laminates. Research to examine the effect of mechanical joints as additional joints in laminated wood is needed to expand method innovation, but the number of such studies is still rare. Therefore, this study aimed to study the effect of the distance between nails as an additional mechanical connection on the flexural behavior of laminated beams, which have been glued together with epoksi glue. In this study, the glugu-sengon-glugu laminated beams with dimensions of 5 x 7 cm and 120 cm in length were tested for one-point loading with variations in the distance between nails of 20 cm, 15 cm, 10 cm, and 5 cm. Based on the results of the study, the addition of nail joints can increase the maximum flexural strength (MOR) by 29% (47.67 MPa), 46% (54.01 MPa), 17% (43.12 MPa), and 4% (38.49 MPa) for variations in the distance between nails 20 cm, 15 cm, 10 cm, and 5 cm, compared to beams without nails or BK (36.91 MPa). The increase in the value of the modulus of elasticity (MOE) occurred at variations in the distance between nails 20 cm, 15 cm, and 10 cm by 19% (7213.22 MPa), 29% (7808.98 MPa), and 16% (7016.08 MPa), while the variation of the distance between nails 5 cm decreased by 5% (5758.97 MPa) when compared to BK (6042.20 MPa). From these results, the optimal distance between nails as a mechanical connection in laminated wood is 15 cm. A layer of wood with a higher strength class placed in the outer layer of lamina wood can provide additional strength to the lamina beam with a lower strength class placed in the inner layer.

Keywords: glued-laminated, glugu, sengon, epoksi, nail

Abstrak: Kayu laminasi atau kayu glulam struktural (*structural glued laminated timber*) telah menjadi inovasi yang cukup berkembang dalam meningkatkan mutu kayu untuk digunakan sebagai elemen struktural suatu bangunan. Berbagai penelitian telah dilakukan sebagai upaya optimasi metode, antara lain dengan memvariasikan jenis kayu, dimensi, dan jumlah lamina. Penelitian untuk memeriksa pengaruh sambungan mekanis sebagai sambungan tambahan pada kayu laminasi dibutuhkan untuk memperluas inovasi metode, tetapi jumlah penelitian tersebut masih minim. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jarak antar paku sebagai sambungan mekanis tambahan pada perilaku lentur balok laminasi, yang sudah direkatkan dengan lem epoksi. Dalam penelitian ini, balok laminasi kayu glugu-sengon-glugu berdimensi 5 x 7 cm dan panjang total 120 cm diuji lentur satu titik dengan variasi jarak antar paku sebesar 20 cm, 15 cm, 10 cm, dan 5 cm. Berdasarkan hasil penelitian, penambahan sambungan paku dapat meningkatkan kekuatan lentur maksimum (MOR) sebesar 29% (47,67 MPa), 46% (54,01 MPa), 17% (43,12 MPa), dan 4% (38,49 MPa) pada variasi jarak antar paku 20 cm, 15 cm, 10 cm, dan 5 cm, dibandingkan dengan balok tanpa sambungan paku atau BK (36,91 MPa). Peningkatan nilai modulus elastisitas (MOE) terjadi pada variasi jarak antar paku 20 cm, 15 cm, dan 10 cm sebesar 19% (7213,22 MPa), 29% (7808,98 MPa), dan 16% (7016,08 MPa), sedangkan pada variasi jarak antar paku 5 cm terjadi penurunan sebesar 5% (5758,97 MPa), jika dibandingkan dengan BK (6042,20 MPa). Dari hasil tersebut, jarak optimal antar paku sebagai sambungan mekanis pada kayu laminasi adalah 15 cm. Lapisan kayu dengan kuat kelas yang lebih tinggi yang diletakkan pada bagian luar dapat memberikan penambahan kekuatan lapisan kayu dengan kuat kelas lebih rendah yang diletakkan di tengah.

Kata kunci: : balok laminasi, kayu glugu dan sengon, lem epoksi, paku

PENDAHULUAN

Kayu sebagai material bangunan tempat tinggal sudah cukup banyak digunakan oleh masyarakat di Indonesia. Salah satu jenis kayu yang banyak dipilih sebagai material bangunan adalah kayu sengon. Menurut Riyanto & Pamungkas (2010), sengon merupakan jenis pohon yang cepat tumbuh (*fast growing*) dengan fase pertumbuhan sangat cepat dan daur hidup yang sangat pendek, yaitu kurang dari 6 tahun. Hal ini menjadikan kayu sengon lebih unggul dibandingkan dengan jenis kayu yang lain dalam hal ketersediaan material. Namun di sisi lain, kayu sengon memiliki kekuatan lentur yang relatif rendah. Kayu yang memiliki berat jenis rata-rata 0,33-0,50 gr/cm³ ini memiliki kekuatan lentur kurang dari 500 kg/cm², sehingga tidak digunakan untuk komponen struktural (Tobing, 2013). Oleh karena itu, diperlukan rekayasa untuk meningkatkan nilai manfaat dari kayu sengon sebagai elemen struktur suatu bangunan.

Salah satu rekayasa struktur kayu yang sudah cukup berkembang adalah kayu laminasi atau kayu glulam struktural (*structural glued-laminated timber*). SNI 7973:2013 mendefinisikan terminologi ini sebagai rekayasa teknik, produk pemilahan tegangan dari kilang laminasi kayu, meliputi perakitan dari kayu laminasi yang dipilih dan dipersiapkan secara khusus dan digabung menggunakan perekat. Penelitian-penelitian mengenai kayu laminasi juga sudah cukup banyak dilakukan untuk mengevaluasi perilaku dan kekuatan yang dihasilkan berdasarkan variasi rekayasa yang diterapkan, baik dari segi pemilihan material kayu penyusun dan teknik penggabungan/perekatan antar material.

Permasalahan yang diteliti di dalam penelitian ini adalah perilaku lentur dari kayu laminasi dengan susunan dari bawah glugu-sengon-glugu yang direkatkan dengan perekat epoksi, mengacu pada hasil penelitian Handayani (2016). Selain itu, fokus utama dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jarak perekat/sambungan mekanis terhadap kekuatan lentur struktur laminasi kayu. Perekat/sambungan mekanis yang digunakan dalam penelitian ini adalah paku, mengacu pada hasil penelitian Puluwulawa dkk (2018), di mana penggunaan paku meningkatkan nilai MOR (*modulus of rupture*) dibandingkan dengan

penggunaan baut yang justru menurunkan nilai MOR.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan lentur suatu produk rekayasa kayu berupa laminasi kayu. Evaluasi tersebut menjadi dasar justifikasi teknis terhadap layak atau tidaknya penggunaan material laminasi kayu sebagai komponen struktural suatu bangunan, yaitu struktur balok. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu acuan bagi para desainer bangunan kayu dalam pekerjaan perancangan elemen strukturnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Laminasi kayu

Laminasi kayu atau kayu glulam struktural mengacu pada rekayasa teknik, produk pemilahan tegangan dari kilang laminasi kayu, meliputi perakitan dari kayu laminasi yang dipilih dan dipersiapkan secara khusus dan digabung menggunakan perekat (SNI 7973:2013). Serat seluruh laminasi kira-kira sejajar dalam arah longitudinal. Ketebalan maksimum masing-masing lamina adalah 50 mm. Lamina dapat terdiri dari satu atau beberapa lamina yang disusun dengan teknik-teknik tertentu.

Kayu glugu

Kayu glugu adalah produk dari pohon kelapa (*Cocos nucifera L.*), baik yang tumbuh secara liar maupun dibudidayakan. Tumbuhan ini tersebar di berbagai wilayah di Indonesia, seperti Pulau Jawa, Sumatera, Sulawesi, dan Kalimantan, dengan tinggi 15-40 m dan diameter batang 25-40 cm. Kajian dari Kusyanto (2015) menyebutkan bahwa kayu glugu termasuk kayu ringan dengan kelas kuat III, dengan berat jenis 0,40 gr/cm³ dan kuat tekan absolut antara 300-425 kg/cm². Berdasarkan pengujian fisik oleh Mboroh dkk (2021), kayu kelapa dapat digolongkan ke dalam kode mutu E11 hingga E13.

Kayu sengon

Kayu sengon (*Albizia falcata Backer*) termasuk ke dalam salah satu produk dari Hutan Tanaman Industri (HTI). Persebaran pohon ini mencakup wilayah Jawa Tengah, Jawa Timur, Jawa Barat, Maluku, dan Irian Jaya (Iskandar, 2006). Kayu yang memiliki berat jenis rata-rata 0,33-0,50 gr/cm³ ini memiliki kekuatan lentur

kurang dari 500 kg/cm², sehingga tidak digunakan untuk komponen struktural (Tobing, 2013). Berdasarkan sifat mekanis tersebut, kayu sengon dapat digolongkan ke dalam kuat mutu E6.

Perilaku balok laminasi kayu

Handayani (2016) meneliti perilaku lentur dari balok laminasi kayu sengon dan kayu kelapa (glugu). Variasi pada pengujian ini adalah bahan perekat dan susunan kayu. Variasi bahan perekat adalah lem epoksi dan lem aibon, sedangkan variasi susunan kayu adalah glugu-sengon-glugu dan sengon-glugu-sengon. Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa balok laminasi dengan susunan glugu-sengon-glugu dan perekat lem epoksi memiliki kekuatan lentur maksimum dibandingkan dengan variasi lainnya.

Perilaku lentur balok laminasi kayu juga diteliti oleh Yoresta (2015). Kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kayu mahoni, dengan bentang 90 cm. Penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh posisi perekat kimia (dengan lem epoksi) dan mekanis (dengan paku) terhadap perilaku lenturnya. Variasi benda uji dalam penelitian ini adalah dibagi menjadi 3 tipe. Tipe A menggunakan perekat paku dengan jarak antarpaku 5 cm sepanjang 30 cm di bagian tengah bentang balok, sedangkan pada bagian yang mendekati tumpuan hanya diberi perekat kimia. Tipe B adalah kondisi sebaliknya dari tipe A. Tipe C merupakan benda uji yang direkatkan hanya dengan paku dengan jarak 5 cm di sepanjang bentangnya (tanpa perekat kimia). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa posisi penempatan paku dan perekat hanya berpengaruh signifikan pada nilai MOE balok, sedangkan pada nilai MOR pengaruhnya kurang signifikan.

Puluhulawa dkk (2018) meneliti pengaruh penambahan baut dan paku terhadap kuat lentur balok laminasi kayu mahang dan meranti. Pengujian dilakukan terhadap sampel balok laminasi berukuran 76 x 5 x 5 cm dengan pembebanan satu titik di tengah bentang. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penambahan paku sebagai perekat balok laminasi yang sebelumnya sudah direkatkan dengan lem dapat meningkatkan nilai MOR sebesar 36,90%, sedangkan penambahan baut justru menyebabkan penurunan nilai MOR sebesar 49,86%.

Wicaksono dkk (2017) melakukan pengujian untuk mengevaluasi perilaku lentur dari perkuatan balok kayu sengon dengan sistem komposit blok *sandwich* (lamina dan *plate*). Pengujian lentur dilakukan dengan mengacu pada ASTM D198-15, yaitu pengujian lentur murni terhadap balok kayu dengan 2 beban terpusat di tiap sepertiga panjang bentang. Dari hasil penelitian ini, perkuatan balok kayu sengon komposit mampu meningkatkan modulus elastisitas balok dari mutu E6 hingga mencapai mutu E11.

Kekuatan lentur kayu

Kekuatan lentur kayu dinyatakan dalam modulus keruntuhan (*modulus of rupture*) yang dirumuskan di ASTM 198-15 dalam persamaan (1):

$$S_R = \frac{3P_{max}l}{2bd^2} \quad (1)$$

Perilaku lentur kayu juga ditunjukkan dengan nilai modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) yang dirumuskan dalam persamaan (2):

$$E_{app} = \frac{Pl^3}{4bd^3\Delta} \quad (2)$$

dengan P_{max} adalah beban maksimum (N), P adalah beban (N), l adalah panjang bentang balok kayu (mm), b adalah lebar penampang kayu (mm), dan h adalah tinggi penampang kayu (mm).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah kayu glugu dan kayu sengon yang diperoleh dari toko bangunan di kota Yogyakarta. Bahan perekat yang digunakan adalah lem epoksi merk *Alf Epoksi Adhesive* untuk kayu dengan *hardener*.

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini mencakup alat-alat untuk persiapan benda uji, pengujian material, dan pengujian perilaku lentur laminasi kayu.

Metode

Material atau bahan dasar kayu diuji pendahuluan. Pengujian pendahuluan mencakup uji kadar air, berat jenis kayu, dan kekuatan lentur kayu (Sengon dan Glugu). Benda uji yang digunakan dalam pengujian pendahuluan berjumlah 3 untuk masing-masing jenis kayu

dan pengujian. Pengujian kadar air mengacu pada ASTM D4442-15.

Pengujian utama yaitu pengujian kekuatan lentur balok laminasi kayu dengan metode pembebanan 1 titik (*center-point loading*) mengacu pada ASTM D198-15. Proses pembuatan benda uji balok laminasi dimulai dengan pemotongan kayu sengon dengan dimensi 30 x 50 mm dan kayu glugu dengan dimensi 20 x 50 mm. Potongan-potongan kayu kemudian dilapisi dengan lem epoksi seperti pada Gambar 1 dan direkatkan setiap bagiannya seperti pada Gambar 2. Pada spesimen yang menggunakan sambungan paku, proses pemasangan paku diawali dengan pengeboran pada titik-titik paku dengan ukuran bor lebih kecil dari diameter paku (Gambar 3), kemudian dilakukan pemasangan paku menggunakan alat uji tekan (Gambar 4) dengan tujuan supaya kecepatan tusukan paku pada kayu konstan sehingga tidak mengakibatkan retak di sekitar lubang paku.



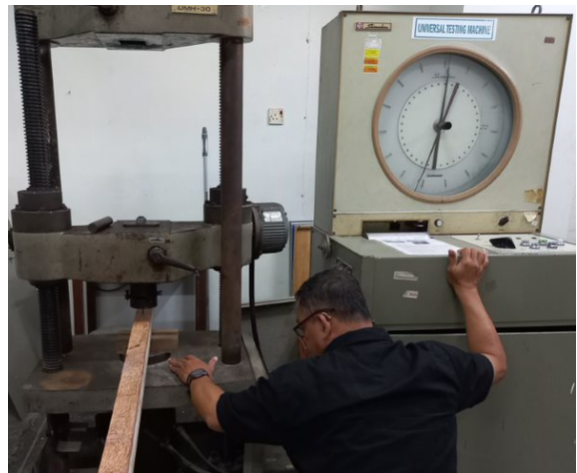
Gambar 1. Pelapisan lem epoksi pada potongan kayu



Gambar 2. Perekatan potongan-potongan kayu



Gambar 3. Pengeboran pada kayu laminasi



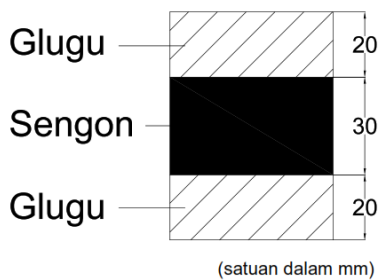
Gambar 4. Pemasangan sambungan paku

Setup pengujian kekuatan lentur ditunjukkan pada Gambar 5. Benda uji yang digunakan dalam pengujian kekuatan lentur kayu laminasi berjumlah 4 spesimen, dengan panjang total 120 cm dan dimensi 5 x 7 cm. Susunan laminasi kayu adalah kayu glugu di lapisan luar dengan tebal 2 cm dan kayu sengon di lapisan dalam dengan tebal 3 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Keempat tipe spesimen adalah sebagai berikut; Balok Kontrol (BK) yaitu spesimen yang hanya direkatkan dengan epoksi tanpa diberi sambungan baut. Balok Variasi terdiri dari balok dengan perekat epoksi dan jarak antar baut 20 cm (BV-20), balok dengan perekat epoksi dan jarak antar paku 15 cm (BV-15), balok dengan perekat epoksi dan jarak antar paku 10 cm (BV-10) dan balok dengan perekat epoksi dan jarak antar paku 5 cm (BV-5). Variasi benda uji ditunjukkan pada Tabel 1. Seluruh pengujian dilakukan di laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, FT UAJY.



Gambar 5. Setup pengujian



Gambar 6. Susunan laminasi kayu

Tabel 1. Variasi benda uji

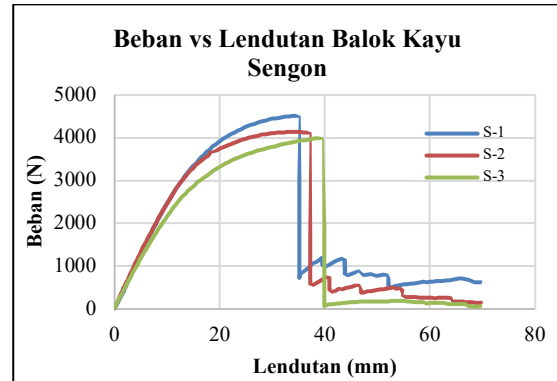
No.	Spesimen	Jarak antar paku
1	BK	-
2	BV-5	5 cm
3	BV-10	10 cm
4	BV-15	15 cm
5	BV-20	20 cm

HASIL DAN PEMBAHASAN

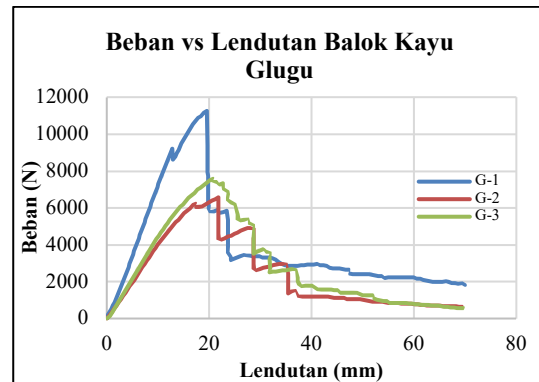
Pengujian pendahuluan

Hasil pengujian kadar air dan berat jenis kayu menunjukkan kadar air dan berat jenis kayu sengon adalah sebesar 18,13% dan 0,242, sedangkan kayu glugu memiliki kadar air dan berat jenis kayu 38,53% dan 0,479. Hasil pengujian kekuatan lentur kayu Sengon dan kayu Glugu disajikan dalam Gambar 7 dan 8. Dari data yang dihasilkan, nilai kekuatan lentur maksimum kayu sengon dan glugu berturut-turut adalah 25,84 MPa dan 51,97 MPa. Modulus elastisitas (MOE) balok kayu sengon utuh adalah

3747,26 MPa, sedangkan MOE untuk balok kayu glugu utuh adalah sebesar 7080,76 MPa.



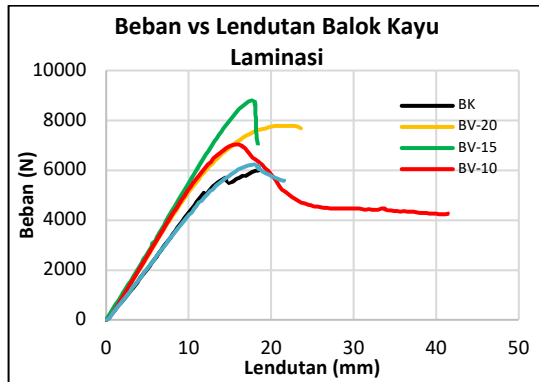
Gambar 7. Hasil pengujian lentur balok kayu sengon



Gambar 8. Hasil pengujian lentur balok kayu glugu

Pengujian utama

Pengujian lentur balok laminasi menghasilkan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Dari grafik beban-lendutan, kemiringan garis yang mengindikasikan modulus elastisitas bahan dari balok kayu laminasi dengan sambungan epoksi dan paku secara umum lebih besar dibanding balok kayu laminasi dengan sambungan epoksi saja (BK). Kondisi khusus terjadi justru pada balok kayu laminasi dengan sambungan paku paling rapat (BV-5) yang nampak berhimpit dengan BK. Beban maksimum yang dicapai oleh kedua spesimen ini juga tidak nampak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan sambungan paku dengan jarak antar paku 5 cm tidak memberi pengaruh signifikan baik kepada kekuatan lentur maupun elastisitas balik kayu laminasi.

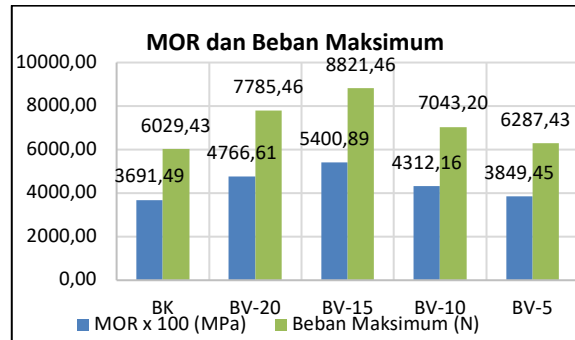


Gambar 9. Hasil pengujian lentur balok kayu laminasi

Tabel 2. Hasil pengujian lentur balok kayu laminasi

	BK	BV-20	BV-15	BV-10	BV-5
Pmax (kN)	6029,43	7785,46	8821,46	7043,20	6287,43
MOR (MPa)	36,91	47,67	54,01	43,12	38,49
Rasio MOR	0%	29%	46%	17%	4%
MOE (MPa)	6042,20	7213,22	7807,98	7016,08	5758,97
Rasio MOE	0%	19%	29%	16%	-5%

Tabel 2 dan Gambar 10 menunjukkan peningkatan beban maksimum, modulus keruntuhan (MOR), dan modulus elastisitas (MOE) balok seiring penambahan jarak antar paku, hingga mencapai puncaknya di jarak antar paku 15 cm kemudian menurun di jarak antar paku 20 cm. Penambahan sambungan paku meningkatkan MOR sebesar 29%, 46%, 17%, dan 4% pada balok laminasi dengan penambahan sambungan paku pada spesimen dengan jarak antar paku berturut-turut 20, 15, 10, dan 5 cm, dibandingkan dengan balok tanpa sambungan paku (BK). Terlihat bahwa beban maksimum terjadi pada spesimen dengan jarak antar paku 15 cm yaitu dengan MOR sebesar 54,01 MPa atau meningkatkan nilai MOR sebesar 46% dibandingkan spesimen kontrol. Sedangkan pada penelitian Puluhulawa dkk (2018) peningkatan akibat penambahan sambungan paku adalah sebesar 36,9%.



Gambar 10. Perbandingan beban maksimum dan kekuatan lentur balok laminasi kayu

Pola keruntuhan balok laminasi

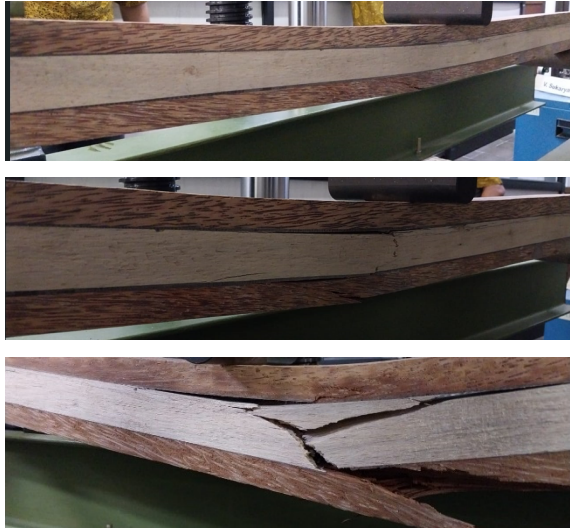
Spesimen BK mengalami retak pada lapisan paling bawah kemudian merusak lekatan bawah seiring bertambahnya beban. Kerusakan menjalar ke lapisan tengah, lalu mengakibatkan slip atau lepasnya rekatan atas. Pola keruntuhan pada BK ditunjukkan pada Gambar 11.

Pada spesimen BV-20, retak awal terjadi pada lapisan bawah. Retak tersebut semakin besar seiring bertambahnya beban, lalu kerusakan tersebut diikuti dengan retak pada lapisan tengah dan kerusakan tekan pada lapisan atas. Bentuk kerusakan berlanjut hingga beban ultimit. Gambar 12 menunjukkan pola keruntuhan spesimen BV-20.

Pola keruntuhan yang terjadi pada spesimen BV-15 bermula dari terjadinya retak pada lapisan bawah, serupa dengan spesimen-spesimen sebelumnya. Kerusakan berupa slip atau terlepasnya lekatan baik lekatan atas maupun bawah tidak terjadi pada spesimen ini. Kerusakan berlanjut dengan terjadinya retak pada lapisan tengah diikuti dengan lapisan atas. Pola keruntuhan BV-15 dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 14 menunjukkan pola keruntuhan pada spesimen BV-10. Spesimen BV-10 mengalami kerusakan pada serat lapisan bawah. Kemudian seiring bertambahnya beban, kerusakan terjadi berupa retak pada lapisan tengah, lalu disusul oleh kerusakan tekan tegak

lurus serat pada lapisan atas. Kerusakan rekatan tidak terjadi pada spesimen BV-10.



Gambar 11. Pola keruntuhan spesimen BK (urutan kerusakan: dari gambar atas ke bawah)

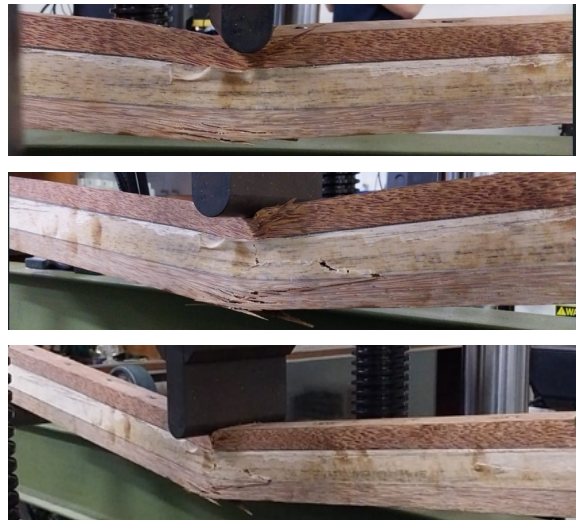


Gambar 12. Pola keruntuhan spesimen BV-20 (urutan kerusakan: dari gambar atas ke bawah)

Pada spesimen BV-5, pola kerusakan yang terjadi diawali dari retak pada lapisan bawah, lalu disusul dengan lapisan atas tanpa ada kerusakan rekatan bawah. Semakin beban bertambah, retak lapisan bawah dan tengah makin besar, seiring dengan terjadinya kerusakan pada lapisan atas berupa rusak tekan dengan arah tegak lurus serat kayu. Gambar 15 menunjukkan pola kerusakan pada BV-5.



Gambar 13. Pola keruntuhan spesimen BV-15 (urutan kerusakan: dari gambar atas ke bawah)



Gambar 14. Pola keruntuhan spesimen BV-10 (urutan kerusakan: dari gambar atas ke bawah)



Gambar 15. Pola keruntuhan spesimen BV-5 (urutan kerusakan: dari gambar atas ke bawah)

Dari pola keruntuhan yang terjadi pada balok spesimen, terlihat bahwa lapisan kayu dengan kelas kuat lebih tinggi yang diletakkan pada posisi luar (atas dan bawah) dapat menambah perkuatan lapisan kayu dengan kelas kuat yang lebih rendah. Hal ini mengkonfirmasi hasil penelitian Handayani (2016) yang menyatakan bahwa lapisan kayu dengan kelas kuat lebih tinggi yang diletakkan pada bagian luar lapisan balok dapat memberikan perkuatan pada lapisan kayu dengan kelas kuat yang lebih rendah yang diletakkan pada bagian dalam.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Perilaku Lentur Balok Laminasi Kayu Glugu dan Sengon dengan Sambungan Epoksi dan Paku adalah sebagai berikut:

1. Penambahan sambungan paku pada kayu laminasi glugu-sengon-glugu dapat meningkatkan kekuatan lentur maksimum (MOR) sebesar 29% (47,67 MPa), 46% (54,01 MPa), 17% (43,12 MPa), dan 4% (38,49 MPa), pada variasi dengan jarak antar paku berturut-turut 20 cm, 15 cm, 10 cm, dan 5 cm, dibandingkan dengan balok tanpa sambungan paku atau BK (36,91 MPa).
2. Penambahan sambungan paku juga dapat meningkatkan modulus elastisitas (MOE) sebesar 19% (7213,22 MPa), 29% (7808,98 MPa), dan 16% (7016,08 MPa) pada variasi dengan jarak antar paku 20 cm, 15 cm, dan 10 cm, sedangkan nilai MOE berkurang sebesar 5% (5758,97 MPa) pada variasi dengan jarak antar paku 5 cm, jika dibandingkan dengan BK (6042,20 MPa).
3. Jarak optimal antar paku sebagai sambungan mekanis pada kayu laminasi dengan dimensi 5 x 7 cm adalah 15 cm.
4. Lapisan kayu dengan kelas kuat yang lebih tinggi yang diletakkan pada bagian luar dapat memberikan penambahan kekuatan lapisan kayu dengan kelas kuat lebih rendah yang diletakkan di tengah.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2015). *ASTM D198-15: Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM International. (2015). *ASTM D4442-15: Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials*. West Conshohocken: ASTM International.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 7973:2013 Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Handayani, S. (2016). Analisis Pengujian Struktur Balok Laminasi Kayu Sengon dan Kayu Kelapa. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*, 18(1), 39-46.

Iskandar, M. I. (2006). Pemanfaatan Kayu Hutan Rakyat Sengon (*Paraserianthes falcata* (L) Nielsen) untuk Kayu Rakitan. *Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan*, (pp. 183-195).

Kusyanto, M. (2015). Kajian Material Kayu Glugu sebagai Bahan Bangunan. *Jurnal Teknik - UNISFAT*, 10(2), 33-44.

Mboroh, F. F., Hunggurami, E., & Utomo, S. (2021). Identifikasi Kuat Acuan Kayu Lontar dan Kayu Kelapa. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1).

Puluhulawa, I., Alamsyah, Rafika, D., & Khoirunisak. (2018). Pengaruh Penambahan Baut dan Paku terhadap Kuat Lentur Balok Laminasi Kayu Mahang dan Meranti. *INERSIA*, XIV(1), 62-74.

Riyanto, H. D., & P., P. B. (2010). Model Pertumbuhan Tegakan Hutan Tanaman Sengon untuk Pengelolaan Hutan. *Tekno Hutan Tanaman*, 3(3), 113-120.

Tobing, R. E. (2013). *Karakteristik sifat fisis dan mekanis kayu jabon (anthocephalus cadamba miq) dan sengon (falcata Moluccana miq) dari empulur ke kulit*. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB. Diambil kembali dari <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/66944>

Wicaksono, T. M., Awaludin, A., & Siswosukarto, S. (2017). Analisis Perkuatan Lentur Balok Kayu Sengon dengan Sistem Komposit Balok Sandwich (Lamina dan Plate). *INERSIA*, XIII(2), 129-140.

Yoresta, F. S. (2015). Modulus Elastisitas dan Kekuatan Lentur Balok Kayu Laminasi. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 11(1)