

PENGARUH JARAK ANTAR PAKU TERHADAP KUAT LENTUR BALOK KAYU LAMINASI-MEKANIK KAYU MERANTI DAN KAYU SENGON

Reza Bagus Aditya

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: rezaaditya@mhs.unesa.ac.id

Suprpto, S.Pd., M.T.

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: suprap_sipil@yahoo.com

Abstrak

Balok laminasi merupakan produk rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih lapisan kayu (lamina) yang saling direkat dalam arah serat longitudinal. Selain menggunakan perekat, balok laminasi juga dapat menggunakan paku atau baut maupun kombinasi antara perekat antara perekat dengan baut atau paku sebagai penghubung antar laminannya. Balok jenis ini dikenal dengan balok laminasi mekanik. Kajian penggunaan paku sebagai bahan perekat pada balok laminasi kayu meranti dan kayu sengon pada dasarnya merupakan upaya untuk mengantisipasi masalah yang timbul pada balok laminasi jika menggunakan perekat lem, sehingga proses laminasi dapat terjadi dengan sempurna dan peningkatan sifat mekanik seperti kuat lentur dan modulus elastisitas bisa tercapai serta dapat menjadi pertimbangan untuk merekomendasikan penggunaan balok laminasi kayu meranti dan kayu sengon sebagai bahan baku alternatif yang ditinjau dari aspek teknologi dan ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak paku terhadap kuat lentur balok kayu laminasi-mekanik kayu meranti dan kayu sengon

Metode pengujian lentur yang digunakan adalah *one point landing* dengan variasi jarak perekat paku 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, dan 30cm. Dimensi benda uji adalah 4cmx6cm dengan tebal masing-masing lamina adalah 2cm dengan panjang balok 150cm. Penyusunan lamina yang digunakan adalah pada daerah tekan dan tarik menggunakan kayu meranti sedangkan pada bagian tengah menggunakan kayu sengon. Selain data beban yang dapat diterima oleh benda uji, besar lendutan yang terjadi juga diukur menggunakan *dial gauge* yang diletakan di bawah benda uji pada 1/3 panjang bentang kanan dan kiri dan di tengah bentang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak paku mempengaruhi kuat lentur balok laminasi. Pengaruh jarak paku pada balok laminasi menunjukkan bahwa semakin panjang jarak paku yang digunakan maka semakin kecil kuat lenturnya. Kerusakan yang terjadi juga menunjukkan bahwa semakin panjang jarak paku yang digunakan maka kerusakan yang terjadi semakin mengarah ke geser. Ditinjau dari kekuatan lentur jarak paku yang paling optimum digunakan adalah jarak paku 10cm dengan kuat lentur sebesar 618,75 kg/cm² karena pada jarak tersebut besaran kuat lentur mendekati kekuatan bahan dasar lapis terluar balok laminasi-mekanik yaitu kayu meranti sebesar 98%.

Kata Kunci: balok laminasi-mekanik, kuat lentur, jarak paku.

Universitas Negeri Surabaya

Abstract

Laminated beams are engineering products consisting of two or more layers of wood (layers) that are reexposed in the direction of longitudinal fibers. In addition to using an adhesive, laminated beams can also use nails or bolts as well as a combination of adhesives between adhesive with bolts or nails as a liaison between them. This type of beam is known as mechanically laminated beams. The study of nail used as adhesive material on wood laminated beams meranti and sengon wood is essentially an attempt to anticipate problems arising on laminated beams if using adhesive glue, so that the lamination process can occur with perfect and improved mechanical properties such as string bending and modulus of elasticity can be achieved as well as can be a consideration to recommend the use of Meranti wood laminate beams and sengon wood as an alternative raw material reviewed from aspects of technology and economics. The purpose of this research is to figure out the influence of distance spikes against the strong bending of laminated wood beams-mechanically meranti wood and sengon wood

The Flexure testing method used is a one-point landing with a variation of the nail spacing of 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, and 30cm. The dimension of the test object is 4cmx6cm with a thick each lamina is 2cm with a beam length of 150cm. The preparation of lamina used is in the area of the press and pull

using meranti wood while in the middle using sengon wood. In addition to the load data that can be received by the test objects, large lendutan that occurs also measured using dial gauge that is placed under the test object at 1/3 the right and left side of the landscape and in the middle.

The results showed that the nail spacing affects the strong bending of the laminate beam. The effect of nail spacing on laminated beams indicates that the longer the distance the nail is used then the smaller the strength of the bending. The damage that occurred also showed that the longer the distance of the nail used then the damage that occurs increasingly leading to the shear. Reviewed from the bending power of the most optimum nail distance used is the nail spacing 10cm with a strong bending of 618.75 kg/cm² because at that distance a strong magnitude of bending approaches the base material strength of the outer layer of a laminated-mechanical beam of wood meranti by 98%.

Keywords: laminate-mechanical beam, strong bending, nail spacing

PENDAHULUAN

Kayu merupakan bahan yang paling banyak digunakan untuk keperluan konstruksi. Kayu masih banyak diminati dalam pekerjaan konstruksi karena memiliki beberapa kelebihan antara lain mempunyai kekuatan spesifik yang tinggi, ringan, mudah didapat, dan di daerah tertentu harganya relatif murah serta dalam pelaksanaannya mudah dikerjakan. Umur tebang pohon kayu cukup lama dan lahan hutan yang semakin berkurang mengakibatkan persediaan kayu untuk struktur yang berkualitas baik dan berdimensi besar semakin menipis. Perancangan yang kurang tepat dan penggunaan faktor aman yang terlalu besar mengakibatkan pemborosan kayu. Dengan pengetahuan dan penelitian-penelitian tentang kekuatan dan sistim perancangan struktur kayu maka masih dimungkinkan dilakukan penghematan penggunaan kayu.

Keberhasilan proses laminasi dipengaruhi oleh beberapa aspek antara lain : aspek bahan yang direkat, aspek bahan perekat dan aspek teknologi perekatan. Kesesuaian antara perekat, sifat bahan dan teknik perekatan sebagai landasan untuk keberhasilan dan kualitas produk laminasi. Kekuatan rekat dapat dijadikan sebagai tolak ukur keberhasilan produksi laminasi. Laminasi pada umumnya menggunakan perekat lem sebagai penghubung antar setiap lamina, namun masalah yang sering timbul adalah perekat lem kadang-kadang tidak bisa merekat dengan sempurna pada setiap lamina sehingga proses laminasi tidak terjadi.

Selain menggunakan perekat, balok laminasi juga dapat menggunakan paku atau baut maupun kombinasi antara perekat dengan baut atau paku sebagai penghubung antar laminanya. Balok jenis ini dikenal dengan balok laminasi mekanik. Kajian penggunaan paku sebagai bahan perekat pada balok laminasi kayu meranti dan kayu sengon pada dasarnya merupakan upaya untuk mengantisipasi masalah yang timbul pada balok laminasi jika menggunakan perekat lem, sehingga proses laminasi dapat terjadi dengan sempurna dan peningkatan sifat mekanik seperti kuat lentur dan modulus elastisitas bisa tercapai serta dapat menjadi pertimbangan untuk merekomendasikan penggunaan balok laminasi kayu

meranti dan kayu sengon sebagai bahan baku alternatif yang ditinjau dari aspek teknologi dan ekonomi.

Balok laminasi merupakan produk struktural yang digunakan untuk rangka, balok, kolom, dan kuda-kuda CWC (2000). Moody dan Hernandez (1997) menyatakan bahwa balok laminasi biasa digunakan pada sistem atap dari bangunan-bangunan komersial, balok laminasi juga semakin digunakan pada sistem atap dan lantai rumah. Pada umumnya beberapa penggunaan balok laminasi yang dapat dibuat antara lain: 1. Bangunan-bangunan komersial dan rumah; sebagai balok persegi, balok bubungan dan lengkung, kuda-kuda, balok untuk konstruksi rumah, bangunan kayu bertingkat, lengkungan, kubah dan tiang konstruksi. 2. Jembatan; untuk bagian-bagian dari struktur bagian atas seperti balok penopang dan decking. 3. Penggunaan struktur lain; untuk tower transmisi listrik, tonggak listrik dan penggunaan lainnya untuk memenuhi persyaratan ukuran yang tidak dapat dicapai dengan menggunakan tiang kayu konvensional.

Menurut PKKI NI-5 1961 dalam daftar kayu Indonesia, kayu meranti memiliki jenis dan variasinya yang banyak, dan termasuk dalam jenis kelas kuat II-IV dengan rata-rata berat jenis sebesar 0,55 gr/cm³. Sedangkan untuk kayu sengon memiliki jenis dan variasinya yang banyak, dan termasuk dalam jenis kelas kuat IV-V dengan rata-rata berat jenis sebesar 0,33 gr/cm³. Maka dari itu harus dilakukan penelitian karakteristik kayu meranti dan kayu sengon yang digunakan untuk mengetahui karakteristik kayu baik dari sifat fisik maupun sifat mekanik.

Pengujian utama balok laminasi-mekanik adalah dengan pengujian lentur, sehingga kuat lentur pada balok dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_{t\perp} = \frac{M}{W} = \frac{M \times y}{I} \quad (\text{Soemano, 1989})$$

Untuk tampang persegi, berukuran bh (sisi h > b, vertikal), maka:

$$I = I_x = \frac{1}{12}bh^3$$
$$y_a = y_b = \frac{1}{2}h = y$$

$$W_a = W_b = \frac{1}{6}bh^2 = W$$

Jika balok dengan tumpuan sendi-rol menerima beban terpusat di tengah bentang, maka persamaan tegangan lentur dan lendutan adalah:

$$\sigma_{ItL} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{SNI 03-3959-1995})$$

Dimana:

σ_{ItL} = Tegangan lentur (kg/cm²)

M = Momen maksimal

W = Momen penahan (cm³)

y = Jarak garis netral sumbu x ke ujung balok (cm)

I = Momen inersia (cm⁴)

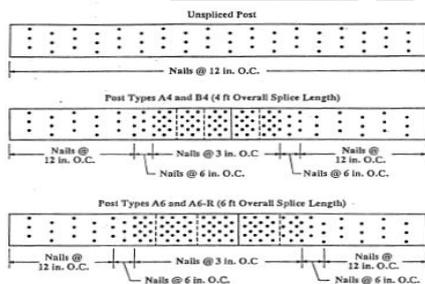
P = Beban maksimum (kg)

L = Panjang bentang balok (cm)

b = Lebar balok (cm)

h = Tinggi balok (cm)

Sambungan dengan paku memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sambungan dengan baut. Hal ini terkait antara lain dengan efisiensi paku yang lebih besar, kelemahan yang diberikan relatif kecil yaitu kira-kira 10% sehingga sering diabaikan, lebih kaku dan pengerjaannya relatif lebih mudah bila kayu yang akan dikerjakan tidak terlalu keras dan bagian yang disambung tidak terlalu tebal sehingga tidak perlu dibor terlebih dahulu (Yap, 1984). Paku yang dipasang minimal ada 2 baris paku. Kerapatan paku disamping panjang *overlap* dan *butt joint* mempengaruhi kekuatan lentur dan kekakuan elemen (Williams, 1992)



Gambar 1: Pola Pemakuan Tanpa Atau Dengan Sambungan (Sumber : Williams, 1992)

Tabel 1 – Spasi Minimum Paku (SNI 7973;2013)

	Komponen Struktur Sisi Kayu	
	Tidak dibor dahulu	Dibor dahulu
Jarak Tepi	2.5D	2.5D
Jarak Ujung		
- Beban tarik paralel serat	15D	10D
- Beban tekan paralel serat	10D	5D
Jarak antar pengencang dalam satu baris		

	Komponen Struktur Sisi Kayu	
	Tidak dibor dahulu	Dibor dahulu
- paralel serat	15D	10D
- tegak lurus serat	10D	5D
Jarak antar baris pengencang		
- paralel serat	5D	3D
- zig-zag	2.5D	2.5D

METODE

Ukuran balok kayu menggunakan skala model 1:2 untuk mengatasi bentang kayu yang terlalu panjang sehingga benda uji memiliki ukuran lebar (b) = 4 cm, tinggi balok (h) = 6 cm dengan bentang 150 cm. Untuk susunan lamina pada bagian tekan dan tarik menggunakan kayu meranti sedangkan dibagian tengah menggunakan kayu sengon. Tinggi dari masing-masing laminanya adalah 2cm. Untuk perekat antar lamina menggunakan paku dengan diameter 0.3 cm dan digunakan sebagai variabel kontrol.

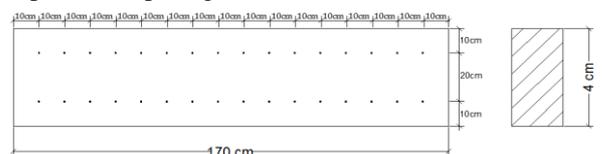


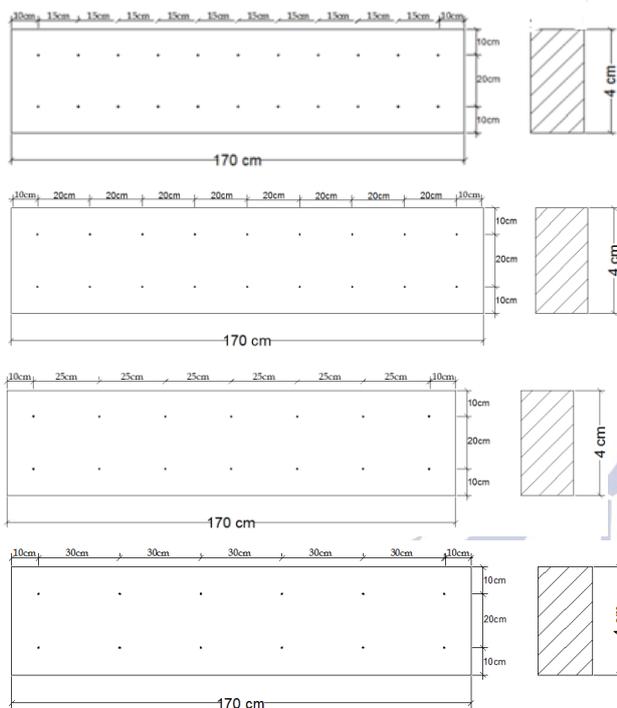
Gambar 2: Desain Susunan Lamina Balok Kayu Laminasi

Metode pengujian karakteristik kayu dan bentuk benda uji adalah mengacu berdasarkan standar sebagai berikut:

1. Pengujian Karakteristik Berat Jenis, Kadar Air dan Kadar Lemas Kayu (SNI 03-6844-2002 dan PKKI NI-5 1961)
2. Pengujian Karakteristik Kuat Tekan Kayu (SNI 03-3958-1995)
3. Pengujian Karakteristik Kuat Geser Kayu (SNI 03-3400-1994)
4. Pengujian Karakteristik Kuat Lentur Balok Kayu (SNI 03-3959-1995)

Benda uji balok laminasi dibuat dengan memvariasikan jarak perekat paku. Satu perlakuan benda uji terdiri dari tiga benda uji dengan dimensi lebar (b) = 4 cm, tinggi (h) = 6 cm dengan jarak paku bervariasi, untuk jarak antar tumpuan sendi-rol (L) = 150 cm. Masing-masing variasi jarak paku benda uji dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

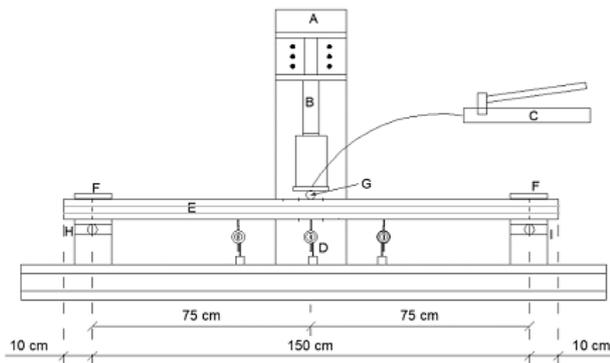




Gambar 3 : Desain Variasi Jarak Paku Benda Uji

Pengujian benda uji utama balok laminasi dilakukan dengan metode *one point landing*. Penempatan alat ukur *dial gauge* dirancang dengan penjepit serta magnet yang menempel pada *frame* agar tetap pada posisinya serta tidak bergeser pada saat diberikan pembebanan. *Dial gauge* diletakkan di bawah benda uji, penempatan 2 *dial gauge* diletakkan pada posisi 2 buah di 1/3 panjang bentang kanan dan kiri, dan 1 buah *dial gauge* diletakkan pada posisi tepat di tengah bentang untuk membaca besarnya lendutan yang terjadi pada saat pembebanan.

Benda uji balok laminasi digambar *grid-grid* sepanjang bentang sebelum dilakukan pengujian kuat lentur agar memudahkan ketika sedang menganalisis pola runtuhnya. Berikut dibawah ini adalah gambar set up pengujian lentur balok sambungan kayu kayu beserta keterangannya.



Gambar 3 : Set Up Pengujian Lentur Balok Benda Uji

Keterangan:

- A : Loading Frame F : Penjepit balok
 B : Load Cell G : Penyalur beban
 C : Hydraulic Jack H : Tumpuan sendi
 D : Dial Gauge I : Tumpuan rol
 E : Balok kayu

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Bahan Kayu

Pengujian karakteristik kayu bertujuan untuk mengetahui material kayu tersebut berdasarkan sifat fisik kayu dan sifat mekanik kayu. Kayu yang dilakukan pengujian karakteristik merupakan kayu yang digunakan untuk bahan pembuatan benda uji utama balok laminasi-mekanik dan didapatkan dari sumber yang sama. Untuk hasil uji karakteristik kayu meranti didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 2 – Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisik Kayu

No	Benda Uji	Berat Jenis	Kadar Lengas	Kadar Air
		(gr/cm ³)	(%)	(%)
Kayu Sengon				
1	A1	0.27	18.24	16.02
2	A2	0.27	14.24	12.39
3	A3	0.26	16.36	14.22
4	A4	0.26	15.53	13.50
5	A5	0.25	11.79	10.26
Rata-rata		0.26	13.28	15.27
Kayu Meranti				
1	B1	0.51	15.58	13.55
2	B2	0.52	18.17	15.80
3	B3	0.50	20.33	17.58
4	B4	0.51	19.49	16.94
5	B5	0.48	16.38	14.25
Rata-rata		0.51	18.17	15.64

Tabel 3 – Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Mekanik Kayu

No	Benda Uji	Kuat Tekan	Kuat Geser	Kuat Lentur
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
Kayu Sengon				
1	A1	159,36	40,76	330.05
2	A2	161,26	44,12	337.83
3	A3	144,56	34,22	333.94
Rata-rata		155,06	39,68	333.94

Kayu Meranti				
1	B1	409,77	71,68	674.72
2	B2	377,49	78,63	611.33
3	B3	353,38	72,42	599.11
Rata-rata		380,22	74,24	628.38

Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan bahwa menurut PKKI NI-5-1961 untuk kuat tekan kayu sengon masuk pada kategori kayu kelas kuat IV sedangkan untuk kayu meranti masuk pada kategori kayu kelas kuat II.

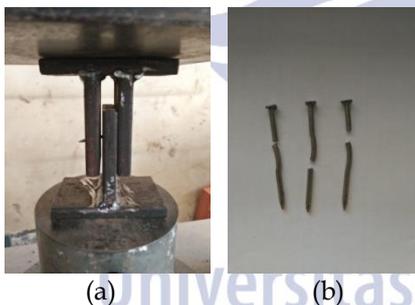
2. Karakteristik Bahan Paku

Paku yang digunakan sebagai perekat untuk menahan transfer geser antar lamina. Dalam hal ini dilakukan pengujian geser secara empiris untuk mengetahui kuat geser per bidang penampang paku.

Dari pengujian geser paku akan diperoleh beban maksimum setelah keruntuhan geser, berikut ini merupakan hasil dari perhitungan gaya geser maksimum pada paku dengan 2 bidang penampang geser :

Tabel 4 – Hasil Kuat Geser Per Bidang Penampang Paku

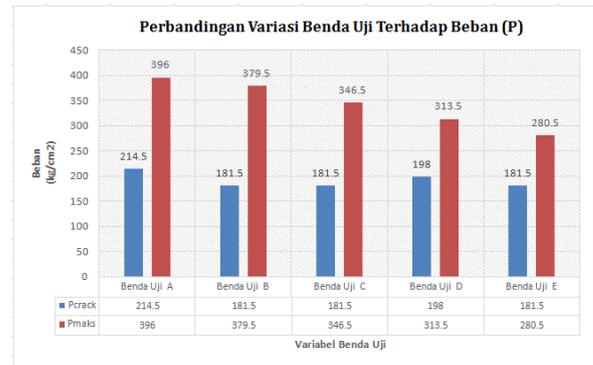
No	P	N _i	Rata-Rata
	(kg)	(kg)	
1	120	60	65.17
2	130	65	
3	135	67.5	



Gambar 4. (a) Proses Pengujian Paku Dengan Dua Bidang Geser, (b) Kondisi Paku Setelah Diuji

3. Kekuatan Lentur Balok

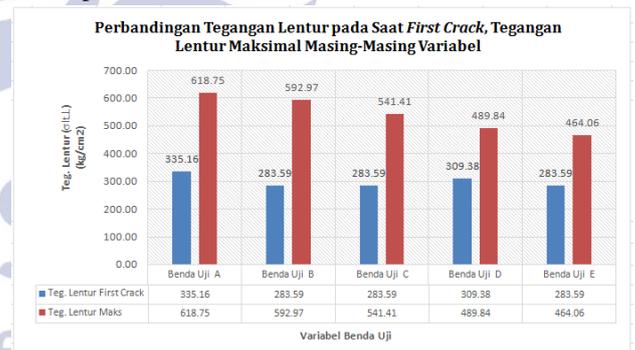
Pengujian dilakukan pada 5 jenis benda uji balok kayu laminasi-mekanik yang memiliki jarak paku yang berbeda. Data yang diambil adalah beban dengan kondisi *first crack* (P_{crack}) dan beban maksimal balok (P_{maks}) untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel terhadap pembebanan yang terjadi. Berikut diagram pembebanan balok terhadap variasi jarak paku.



Gambar 5: Diagram Perbandingan Variabel Benda Uji terhadap Pembebanan

Dari diagram pembebanan balok benda uji utama terhadap pembebanan lentur didapat besar pembebanan yaitu beban pada saat *first crack* (P_{crack}) dan pembebanan maksimal (P_{maks}). Grafik pembebanan menunjukkan bahwa Benda Uji A (Jarak Paku 10cm), Benda Uji B (Jarak Paku 15cm) dan Benda Uji C (Jarak Paku 20cm) pembebanan mengalami kenaikan yang cukup besar, sedangkan untuk Benda Uji D (Jarak Paku 25cm) dan Benda Uji E (Jarak Paku 30cm) pembebanan relatif mengalami sedikit kenaikan.

Dari hasil pembebanan yang dilakukan, maka pembebanan akan berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Mengacu dari persamaan tegangan lentur yang sudah dijelaskan diatas, hasil kuat lentur balok dapat dilihat pada Gambar 6.

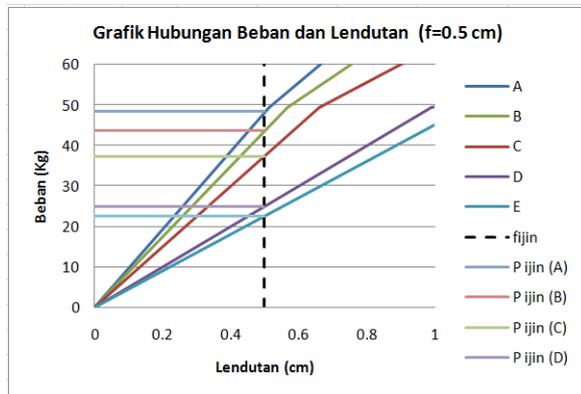


Gambar 6: Diagram Perbandingan Kuat Lentur Kondisi *First Crack* dan Beban Maksimal (P_{maks})

Tegangan lentur didapat pada kondisi beban maksimal (P_{maks}) dan kondisi *first crack*. Diagram diatas menunjukkan bahwa Benda Uji A (Jarak Paku 10cm) memiliki nilai tegangan lentur paling tinggi diantara benda uji yang lain dan mendekati kekuatan bahan dasar dari lapis kayu terluar yaitu kayu meranti. Benda uji yang lebih rendah tetapi masih mendekati adalah Benda Uji B (Jarak Paku 15cm) dan Benda Uji C (Jarak Paku 20cm). Untuk Benda Uji D (Jarak Paku 25cm) dan Benda Uji E (Jarak Paku 30cm) nilai

tegangan lentur mengalami penurunan yang cukup besar dibandingkan dengan benda uji yang lain.

Dari grafik lendutan terhadap beban, diambil tinjauan berdasarkan lendutan yang sama, yaitu lendutan ijin sebesar $1/300 L$ (PKKI NI-5 1961 ps. 12.5) untuk menunjukkan kekuatan balok dari masing-masing variasi



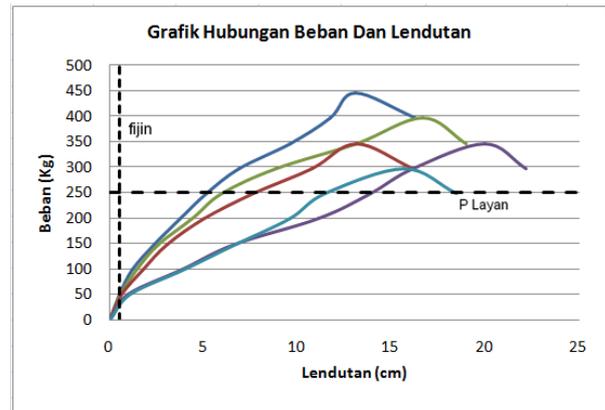
Gambar 7: Detail Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Berdasarkan Lendutan Ijin ($f = 0.5$ cm)

Peninjauan yang dilakukan berdasarkan f_{ijin} sebesar 0.5cm, maka Benda Uji A (Jarak Paku 10cm) menunjukkan pembebanan yang paling tinggi. Untuk Benda Uji B (Jarak Paku 15cm) dan Benda Uji C (Jarak Paku 20cm) memiliki nilai pembebanan yang lebih rendah namun selisihnya tidak terlalu besar dibandingkan dengan Benda Uji A (Jarak Paku 10cm). Sedangkan untuk Benda Uji D (Jarak Paku 25cm) dan Benda Uji E (Jarak Paku 30cm) selisih bebannya cukup jauh daripada benda uji yang lain.

Dalam menganalisis besar kekuatan pada masing-masing variasi, perlu diantisipasi jika material kayu dari setiap balok juga memiliki kekuatan yang berbeda walaupun didapatkan sumber yang sama, sehingga kekuatan material kayu yang dipakai juga dapat berpengaruh terhadap kukuatan lentur balok.

4. Lendutan Balok

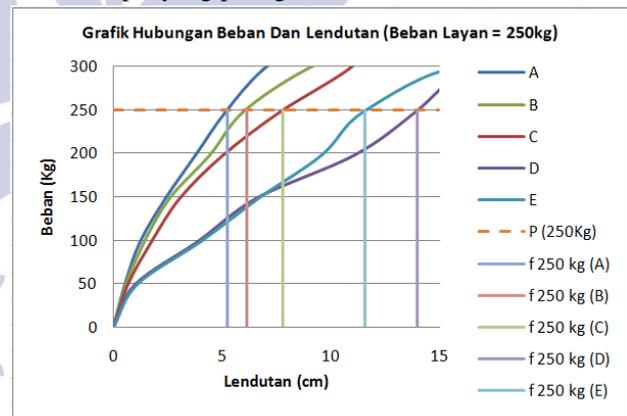
Perbedaan lendutan pada saat sebelum first crack dan sesudah first crack adalah terjadi perlonjakan lendutan, namun untuk sebelum *first crack* dan sesudah *first crack* masih memiliki lendutan yang konstan, karena balok masih bersifat elastis. Berikut hasil grafik lendutan terhadap pembebanan masing-masing variasi.



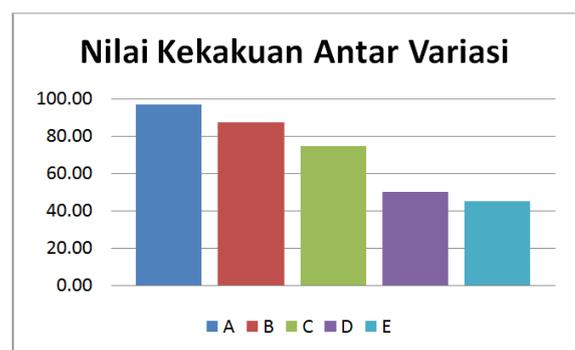
Gambar 8: Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Antar Variasi

Dari hasil lendutan benda uji pada masing-masing variabel yang didapatkan dari hasil pengujian, balok masih dalam kondisi elastis dimana grafik menunjukkan kondisi yang naik diagonal keatas. Dan pada saat balok sudah tidak mengalami elastis, beban sudah tidak dapat bertambah lagi, namun lendutan masih terus bertambah sampai balok mengalami keruntuhan total.

Dari grafik lendutan terhadap beban, diambil tinjauan berdasarkan beban yang sama sebesar 250 kg, dari peninjauan tersebut dimana akan menunjukkan angka kekakuan benda uji yang paling baik sampai yang paling rendah.



Gambar 9: Detail Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Berdasarkan Beban Layan ($P = 250$ kg)



Gambar 10 : Diagram Nilai Kekakuan Antar Variasi

Berdasarkan Gambar 9 dengan membandingkan beban yang sama ($P = 250 \text{ kg}$), maka lendutan yang paling rendah adalah benda uji yang memiliki jarak antar paku 10cm. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak paku yang digunakan maka lendutan yang terjadi semakin besar.

Dari besar lendutan maka dapat ditentukan kekakuan dari suatu balok. Jika balok mengalami lendutan yang rendah maka kekakuan balok adalah yang semakin baik. Dari diagram nilai kekakuan antar variasi dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak paku yang digunakan maka nilai kekakuannya semakin kecil.

5. Analisis Kerusakan Balok Laminasi-Mekanik

Kerusakan pada setiap benda uji memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Jenis kerusakan yang terjadi ada 2 tipe yaitu kerusakan lentur dan juga kerusakan geser. Kerusakan lentur dapat dilihat dari pola retak kayu yang terjadi adalah tegak lurus arah serat atau memutus serat kayu. Sedangkan untuk kerusakan geser dapat dilihat dengan pola retak kayu yang terjadi mengarah horizontal atau sejajar arah serat dimana serat kayu dalam kondisi terlepas

Benda Uji A (Jarak Paku 10cm) kerusakan yang terjadi adalah kerusakan lentur dimana hal tersebut bisa terlihat bahwa terjadi retak yang memutus serat didaerah tarik hingga didaerah tekan.



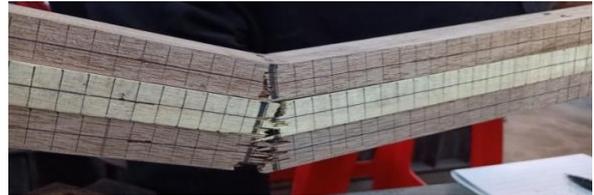
Gambar 10 : Pola Kerusakan Benda Uji Tipe A (Jarak Paku 10cm)

Benda Uji B (Jarak Paku 15cm) kerusakan yang terjadi juga merupakan kerusakan lentur dimana hal tersebut bisa terlihat bahwa terjadi retak yang memutus serat didaerah tarik hingga didaerah tekan.



Gambar 11 : Pola Kerusakan Benda Uji Tipe B (Jarak Paku 15cm)

Benda Uji C (Jarak Paku 20 cm) kerusakan yang terjadi juga merupakan kerusakan lentur dimana hal tersebut bisa terlihat bahwa terjadi retak yang memutus serat didaerah tarik hingga didaerah tekan.



Gambar 12 : Pola Kerusakan Benda Uji Tipe C (Jarak Paku 20cm)

Benda Uji D (Jarak Paku 25 cm) kerusakan yang terjadi merupakan kerusakan geser, dimana hal tersebut bisa terlihat bahwa terjadi retak dengan pola lepas serat dibagian tarik dan diikuti dengan pola retak yang memutus serat dibagian selanjutnya lalu kembali terjadi retak geser dibagian tengah balok laminasi.



Gambar 13 : Pola Kerusakan Benda Uji Tipe D (Jarak Paku 25cm)

Benda Uji E (Jarak Paku 30 cm) kerusakan yang terjadi merupakan kerusakan geser, dimana hal tersebut bisa terlihat bahwa pada bagian tarik balok mengalami retak dengan pola lepas serat. Pada balok tipe ini terjadi lepas antar laminannya sehingga menyebabkan kekuatan balok tidak bisa terjadi secara utuh namun terlepas antar laminanya.



Gambar 14 : Pola Kerusakan Benda Uji Tipe E (Jarak Paku 30cm)

Dari pola retak masing-masing benda uji dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak paku yang digunakan maka kerusakan yang terjadi adalah kerusakan geser. Hal tersebut terjadi karena beban satu paku untuk menahan gelincir horizontal semakin besar sehingga hal tersebut menyebabkan balok tidak bisa bekerja secara utuh namun terlepas disetiap laminanya dan beban yang dapat diterima balok juga semakin kecil.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan maka dapat ditarik suatu simpulan sebagai berikut:

1. Jarak paku sebagai perekat pada balok kayu laminasi-mekanik memiliki pengaruh pada kuat lentur. Semakin besar jarak paku yang digunakan semakin kecil kuat lenturnya. Hal tersebut terjadi karena gelincir horizontal yang terjadi antar lamina tidak dapat ditahan oleh perekat yaitu paku sehingga belum terlampaunya kapasitas lentur maksimum yang didapat kekuatan bahan dasar lapis terluar balok kayu laminasi-mekanik. Pada jarak paku 25cm dan 30cm balok kayu laminasi-mekanik tidak menyatu atau terlepas setiap laminanya sehingga kekuatan kayu yang bekerja hanya pada bagian lapis kayu yang paling bawah.
2. Jarak yang paling optimum digunakan pada balok laminasi-mekanik adalah jarak paku 10cm. Pada jarak tersebut balok mencapai 98% kekuatan lentur terhadap kekuatan lentur bahan dasar yaitu kayu meranti. Hal tersebut terjadi karena balok laminasi-mekanik masih menyatu sehingga balok berfungsi dengan penuh.
3. Kerusakan yang terjadi pada benda uji menunjukkan bahwa semakin besar jarak paku maka kerusakan yang terjadi semakin menuju pada kerusakan geser. Pada balok laminasi mekanik dengan jarak paku 10cm, 15cm dan 20cm kerusakan yang terjadi adalah lentur. Hal tersebut terjadi karena pada jarak tersebut balok masih menyatu sehingga balok masih bekerja penuh. Untuk jarak paku 25cm dan 30cm perekat paku tidak dapat menahan lamina sehingga kayu antar lapis lamina bekerja sendiri-sendiri dan balok laminasi-mekanik mengalami kerusakan geser.

Daftar Pustaka

Anonim, 1961. *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) NI-5 1961*. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.

....., 1994. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 3399 1994. Metode Pengujian Kuat Tarik Kayu Di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.

....., 1994. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 3400 1994. Metode Pengujian Kuat Geser Kayu Di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.

....., 1995. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 3958 1995. Metode Pengujian Kuat Tekan Kayu Di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.

..... 1995. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 3959 1995. Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu Di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.

....., 2000. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03 3959 1995. Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu Di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta, Indonesia.

....., 2002. *RSNI PKKI NI-5 2002. 2002. Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI NI-5)*.

....., 2013. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-xxx-2000. Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional (BSN), Bandung, Indonesia.

....., 2013. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7973-2013. Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).

....., 2016. *Direktorat Jenderal Bina Konstruksi. 2016. Pekerjaan Konstruksi Kayu*. Jakarta: Kementerian PUPR.

Soemono. 1989. "Tegangan 1". Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Williams,G.D., D.R. Bohnhoff and, R.C. Moody. (1992). *Bending Properties of Four Layer Nail-Laminated Posts*. The 1992 ASAE International Winter Meeting, Nashville, Tennessee. ASAE Paper No. 924543. ASAE, St Joseph, MI. (1992)

Wiryomartono, Suwarno. 1977. "*Konstruksi Kayu Jilid P*". Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Yap, K.H. (1984), *Konstruksi Kayu*, Edisi Ketiga, Penerbit Bina Cipta.