

PENGARUH VARIASI KETEBALAN LAPIS KAYU PADA BALOK KAYU LAMINASI MERANTI-SENGON-MERANTI BERDASARKAN PENYUSUNAN LAMINASI UNBALANCED TERHADAP KUAT LENTUR

Yogi Dwinanda Ramadhan

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: yogiramadhan@mhs.unesa.ac.id

Suprpto, S.Pd., M.T.

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: suprap_sipil@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan teknologi perekatan laminasi pada balok kayu sebagai bahan baku konstruksi sudah lama dipergunakan tetapi perkembangannya tidak sepesat teknologi beton dan baja. Balok kayu laminasi merupakan salah satu hasil dari rekayasa yang diciptakan untuk meningkatkan kualitas kayu serta menjawab kebutuhan dimensi dan panjang bentang kayu struktural. Berdasarkan penyusunan laminanya terbagi menjadi 2 yaitu penyusunan *Balanced* dan *Unbalanced*.

Penelitian menerapkan teknologi laminasi dengan memanfaatkan kayu sengon dan kayu meranti berupa balok laminasi (*Glued Laminated Timber*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyusunan tidak seimbang (*Unbalanced*) terhadap kuat lentur balok laminasi. Balok laminasi pada penelitian ini menggunakan 3 lapis kayu dengan susunan Meranti–Sengon–Meranti. Benda uji pada penelitian ini adalah balok berdimensi $b=4\text{cm}$, $h=6\text{cm}$, dan $l=100\text{cm}$ dengan 5 variasi ketebalan laminasi kayu sebagai berikut: LA (1cm-2cm-3cm), LB (1,5cm-2cm-2,5cm), LC (2cm-2cm-2cm), LD (2,5cm-2cm-1,5cm), dan LE (3cm-2cm-1cm).

Hasil penelitian didapatkan bahwa pengaruh penyusunan tidak seimbang (*Unbalanced*) ditinjau dari kuat lentur dan lendutannya, semakin besar ketidakseimbangan ketebalan antar lapisan laminasi mengakibatkan berkurangnya kuat lentur yang terjadi pada balok laminasi tersebut serta balok laminasi dengan penebalan pada bagian bawah menjadi lebih getas dan kaku dibandingkan dengan variasi dengan penebalan pada bagian atas. Dari hasil pengujian didapatkan ketebalan untuk mendapatkan kuat lentur yang optimal jika ditinjau dari beban layan adalah variasi LA (1cm-2cm-3cm) sedangkan jika ditinjau dari beban maksimalnya adalah penyusunan pada variasi LC (2cm-2cm-2cm) dengan kuat lentur sebesar 614.68 kg/cm^2 , nilai kuat lentur tersebut lebih baik dan tidak lebih getas dari semua variasi lainnya.

Kata Kunci: Balok Laminasi, Laminasi Kayu *Unbalanced*, Kuat Lentur Balok Laminasi

Abstract

The utilization of laminated gluing technology on wood beams as construction materials have long been used but the progress is not as much as concrete and steel technology. Laminated wood beams is one of the results of the engineering to improve the quality of wood and answer the needs of the dimensions and length of structural wood. Based on the layout of lamination that is divided into 2 layouts are Balanced and Unbalanced layout.

This research apply laminated technology by using Sengon wood and Meranti wood in the form of laminated beams (Glued Laminated Timber) which has been applied to find out the effect of unbalanced lamination to bending strength laminated beams. Laminated beams in this research using 3 layers of wood with Meranti–Sengon–Meranti compositon. The semple on this research is a beam with dimension $B = 4\text{cm}$, $H = 6\text{cm}$, and $L = 100\text{cm}$ with 5 thickness variations of wood laminate as follows: LA (1cm-2cm-3cm), LB (1,5cm-2cm -2,5cm), LC (2cm-2cm-2cm), LD (2,5cm-2cm-1,5cm), and LE (3cm-2cm-1cm).

The results of this research are the effects of unbalanced layout reviewed from bending strength and deflection, The higher unbalanced thickness among the layers causes reducement in bending strength that happens in glued laminated beams, also with the thickening at the bottom side of the glued laminated beams becomes more rigid and brittle than variatioions of thickening at the top side. The more balanced thickness among wood layers that resulted in laminated beams being more strong to bending strength. From the results of the research are the effects of thickness to get an optimal bending strength if based on service load is LA (1cm-2cm-3cm) meanwhile if based on maximal load is the variation of LC (2cm-2cm-2cm) with a result of bending strength test of 614.68 kg/cm^2 . That value of bending strength is better and not more ducked than all other variations.

Keywords: Laminated Beam, Unbalanced Laminated Timber, Bending Strength of Laminated Beam.

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal mempunyai hutan yang sangat luas yang mencapai 125.922.474 hektare menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Terdapat 4000 jenis kayu yang ada di Indonesia. Menurut (Suhendar, 2008) dari jumlah tersebut sekitar 400 jenis yang berdiameter besar dan dianggap penting, dimana 259 diantaranya sudah diketahui sifat dan kegunaannya, 120 jenis digolongkan ke dalam kelompok kayu perdagangan sedangkan sisanya digolongkan ke dalam kelompok kayu kurang dikenal. Kebutuhan kayu untuk keperluan konstruksi juga memerlukan bentang dan dimensi yang cukup besar sehingga diperlukan jumlah kayu yang banyak dan berdampak pada ketersediaan kayu yang semakin berkurang khususnya di Indonesia.

Semakin meningkatnya kebutuhan kayu dan upaya efisiensi penggunaan kayu itulah diperlukan adanya pengembangan dalam teknologi kayu untuk mengoptimalkan penggunaan kayu dari jenis lain sebagai bahan baku yang dapat digunakan untuk struktur, sebagai contoh yaitu kayu sengon yang pemanfaatannya belum optimal. Salah satu upaya pengembangan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan sistem teknologi perekatan (*Laminated*) menggunakan kayu sengon sebagai kayu pengisi.

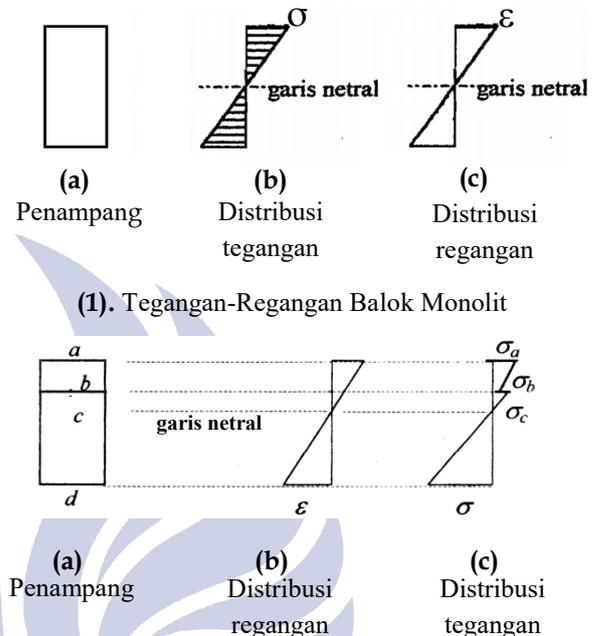
Berdasarkan penyusunan laminanya terbagi menjadi 2 yaitu *balanced* dan *unbalanced*. Untuk *unbalanced*, tingkat kekakuan pada zona tarik dan zona tekan berbeda. Untuk *balanced*, Tingkat kekakuan pada zona tarik dan zona tekan sama (American Plywood Assosiation, 2003). Kekakuan balok laminasi dapat melebihi kayu solid. Berbagai faktor seperti jenis kayu dan cara menghubungkan antar lapisan kayu akan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan balok laminasi tersebut.

Kayu Meranti merupakan kayu komersial yang selalu digunakan sebagai bahan baku konstruksi. Kayu meranti termasuk kayu keras dan mempunyai bobot ringan hingga sedang. Kelebihan kayu meranti adalah mudah dikeringkan, tergolong awet dan strukturnya keras. Kayu meranti tergolong kelas kuat kayu II-IV (Dorthe Joker, 2002).

Kayu Sengon merupakan salah satu jenis kayu yang diminati oleh pasar tetapi sangat jarang digunakan sebagai kebutuhan konstruksi tidak seperti halnya kayu meranti. Kayu Sengon unggul karena harganya murah serta tidak sulit dikeringkan, dipaku, dipotong hingga dilem. Tanaman ini tergolong tanaman cepat tumbuh. Kelas awet IV-V dan kelas kuat IV-V (Martawijaya dkk, 1989).

Balok laminasi atau dikenal sebagai glulam (*glued laminated timber*) merupakan salah satu produk kayu rekayasa tertua. Balok laminasi merupakan balok komposit karena menurut (Serrano, 2003) pada dasarnya

balok laminasi adalah produk yang dihasilkan dengan menyusun sejumlah papan atau lamina diatas satu dengan lainnya dan merekatkannya sehingga membentuk penampang balok yang diinginkan.. Pada balok komposit tegangan dan regangannya berbeda dengan balok monolit karena terdiri dari dua atau lebih material yang bekerja sama dalam memikul beban kerja.



(1). Tegangan-Regangan Balok Monolit

(2). Tegangan-Regangan Balok Komposit

Gambar 1. Distribusi tegangan-regangan balok monolit dan komposit

Kekuatan lentur merupakan ukuran kemampuan benda untuk menahan beban lentur maksimum sampai benda tersebut mengalami kerusakan yang permanen. (Tsoumis, 1991). Pengujian utama balok laminasi adalah dengan pengujian lentur, sehingga kuat lentur pada balok dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_{lt} = \frac{M}{W} = \frac{M \cdot y}{I} \quad (\text{Soemono, 1989})$$

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

$$I = I_x = \frac{1}{12} bh^3$$

$$y_a = y_b = \frac{1}{2} h = y$$

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

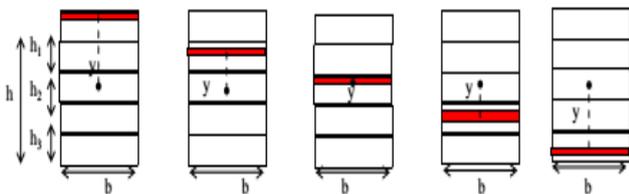
Jika balok dengan tumpuan sendi-rol menerima beban terpusat di tengah bentang, maka persamaan tegangan lentur adalah:

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

Dimana:

- σ_{ItL} = Tegangan lentur (kg/cm^2)
- M = Momen maksimal
- W = Momen penahan (cm^3)
- y = Jarak garis netral sumbu x ke ujung balok (cm)
- I = Momen inersia (cm^4)
- P = Beban maksimum (kg)
- L = Panjang bentang balok (cm)
- b = Lebar balok (cm)
- h = Tinggi balok (cm)

Untuk menganalisis distribusi tegangan lentur pada balok laminasi peninjauannya berdasarkan MOE karakteristik setiap material (E), momen inersia setiap material (I) dan jarak setiap lapis laminasinya ke garis netral (y). Dapat diambil dari rumus sebelumnya berikut:



Gambar 2. Jarak yang ditinjau (y) (Sumber: Satriawan, 2009)

$$\sigma_{ItL} = \frac{M}{W} = \frac{M \cdot y}{I} \quad (\text{Soemono, 1989})$$

$$\sigma_{ItL} = \frac{M \cdot E_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n E_i \cdot I_i}$$

Dimana:

- σ_{ItL} = Tegangan lentur (kg/cm^2)
- M = Momen maksimal
- y = Jarak garis netral sumbu x ke titik tinjau (cm)
- I_i = Momen inersia pada lapisan ke-i (cm^4)
- E_i = Modulus elastisitas pada lapisan ke-i (kg/cm^2)
- I = Momen inersia balok laminasi (cm^4)
- E = Modulus elastisitas balok laminasi (kg/cm^2)

METODE

Pada penelitian ini menggunakan skala model untuk mengatasi bentang kayu yang terlalu panjang agar memudahkan proses pengujian lenturnya, sehingga benda uji kayu laminasi memiliki ukuran lebar (b) = 4 cm, tinggi (h) = 6 cm dan bentang bersih antar tumpuan adalah 100 cm dengan tambahan 10 cm di kedua ujung balok sehingga panjang total 120 cm.

Benda uji adalah balok laminasi kayu dengan susunan meranti-sengon-meranti, susunan tersebut berdasarkan penelitian sebelumnya dalam jurnal (Sri Handayani, 2016) menyebutkan kayu dengan kelas kuat lebih tinggi diletakkan pada posisi luar untuk memberikan kekuatan pada kayu dengan kelas kuat rendah yang

terletak pada posisi dalam. Penelitian ini menggunakan 3 lapis kayu karena Penggunaan 3 lapis kayu pada penelitian ini diharapkan dapat mengurangi gaya geser yang terjadi pada daerah sumbu netral. Tegangan geser bernilai tinggi disekitar daerah sumbu netral balok sehingga memungkinkan deformasi geser yang besar di daerah ini menurut Euler-Bernoulli dan Timoshenko.

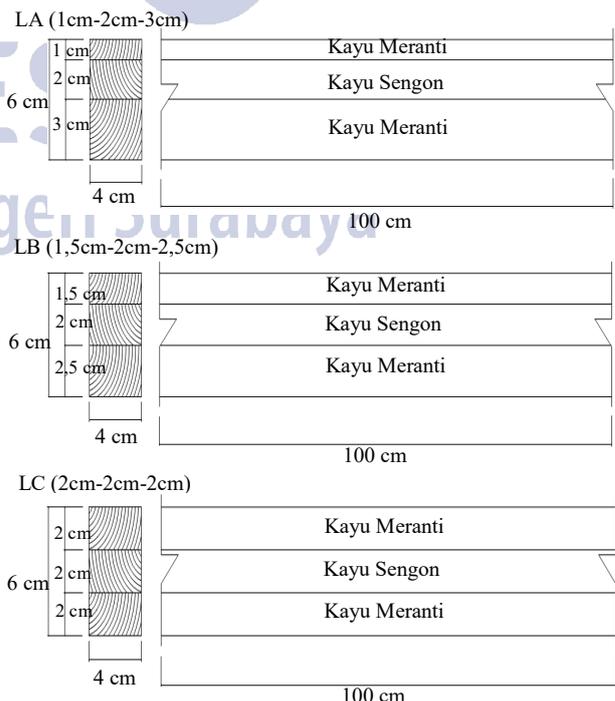


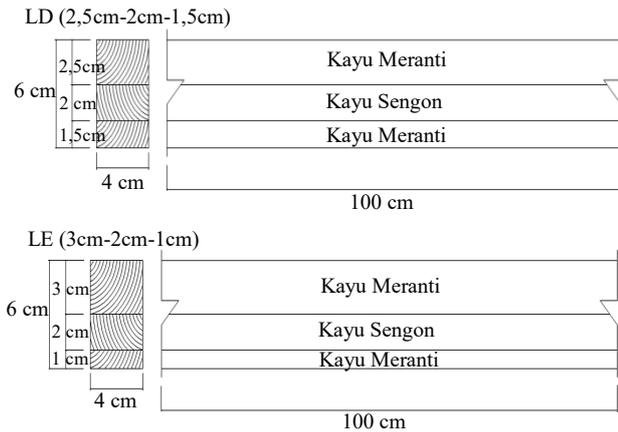
Gambar 3. Prototype Benda Uji

Untuk metode pengujian karakteristik kayu dan bentuk benda uji mengacu pada standar sebagai berikut:

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

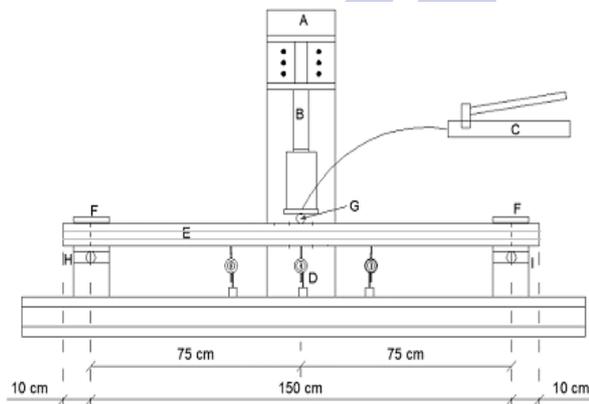
Benda uji utama pada penelitian ini adalah berupa balok laminasi kayu dengan ukuran 4 cm x 6 cm x 120 cm. Variasi balok laminasi terdiri dari 5 variasi dengan masing-masing variasi berjumlah 3 benda uji. Masing-masing variasi desain benda uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini:





Gambar 4. Desain Variasi Balok Laminasi

Berikut dibawah ini adalah gambar set up pengujian lentur balok sambungan kayu kayu beserta keterangannya.



Gambar 5. Set Up Pengujian Lentur Balok Laminasi

Keterangan:

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



Gambar 6. Foto Pengujian Lentur Balok Laminasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

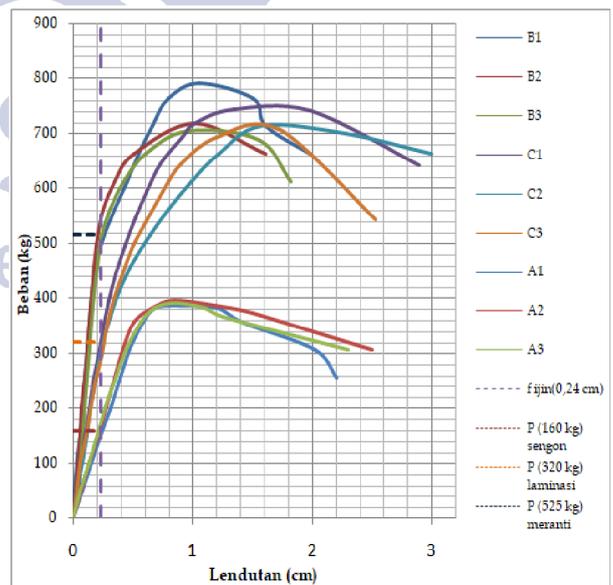
1. Karakteristik Bahan Kayu

Pengujian karakteristik kayu bertujuan untuk mengetahui material kayu tersebut berdasarkan sifat fisik kayu dan sifat mekanik kayu. Sifat fisik kayu yang diuji pada penelitian ini meliputi pengujian berat jenis kayu, kadar lengas dan kadar air kayu. Sifat mekanik yang diuji adalah kuat tekan, kuat geser dan kuat lentur. Pada uji karakteristik untuk sifat mekanik kayu digunakan material kayu digunakan benda uji yang tidak memiliki mata kayu dan retak kayu. Karena kayu yang memiliki cacat tidak bisa digunakan untuk benda uji karakteristik kayu.

Tabel 1 - Rekapitulasi Hasil Pengujian Fisik Kayu

No	Jenis kayu	Uji Karakteristik				
		Berat Jenis	Kokoh Lentur (kg/cm ²)	Kokoh Tekan (kg/cm ²)	Kadar Air (%)	E Pengujian lentur
1	Sengon	0.26	333,94	155,06	13,28	65907,24
2	Meranti	0.51	628,4	380,22	15,64	104458,75
3	Laminasi	-	614,61	-	-	-
kelas						
1	Sengon	V	V	V	A	E6
2	Meranti	III	III	III	A	E10
3	Laminasi	-	III	-	-	-

Berdasarkan keseluruhan pengujian karakteristik yang telah dilakukan pada peneliti ini dapat diambil kesimpulan yang mengacu pada PKKI NI-5-1961 dan SNI-7973-2013 bahwa kelas kuat untuk kayu pada penelitian ini termasuk kayu sengon dengan kelas kuat V dan kelas kuat meranti kelas kuat III.



Gambar 7. Grafik hubungan beban dan lendutan uji lentur kayu benda uji kayu sengon (A1,A2 dan A3) kayu meranti (B1,B2 dan B3) dan laminasi karakteristik (C1, C2 dan C3)

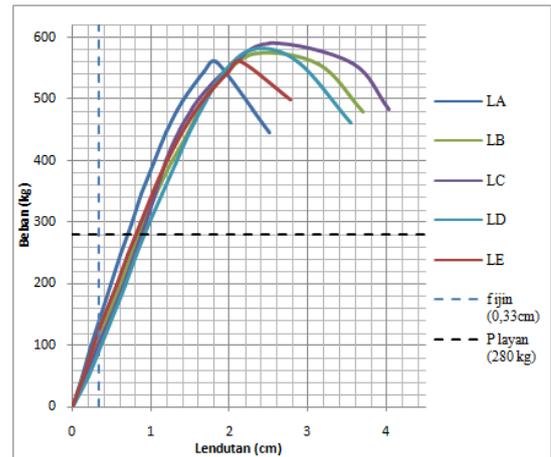
Berdasarkan hasil tabel diatas dapat dijelaskan bahwa kuat lentur laminasi karakteristik hampir sama dengan kayu meranti, menandakan bahwa lapisan terluar balok yang berperan dalam menahan beban yaitu kayu meranti dan penambahan sengon sebagai kayu pengisi tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat lentur.

2. Kuat Lentur dan Lendutan Benda Uji Utama

Pengujian dilakukan di laboratorium beton UNESA dengan 5 variasi dan setiap variasi terdiri dari 3 benda uji. Pengujian dilakukan dengan beban terpusat pada tengah bentang hingga balok patah. Diperoleh tegangan lentur pada kondisi P maks sebagai berikut:

Tabel 2 - Rekapitulasi Hasil Pengujian Benda Uji Utama

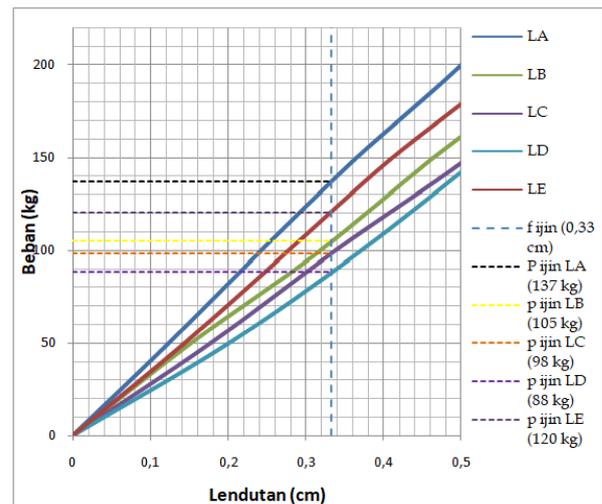
No	Sampel	Beban Maksimal	Kuat Lentur	Elastisitas
		Pmaks	σ	E
		(kg)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
LA (1cm-2cm-3cm)				
1	LA1	569,25	592,96	88080
2	LA2	544,5	567,18	90336
3	LA3	564,3	587,81	85833
Rata-rata		559,35	582,65	88083
LB (1,5cm-2cm-2,5cm)				
1	LB1	594	618.75	70070
2	LB2	633,6	660.00	83063
3	LB3	495	515.62	60489
Rata-rata		574,2	598,12	71207
LC (2cm-2cm-2cm)				
1	LC1	589,05	613.59	79422
2	LC2	612	637.50	64928
3	LC3	569,25	592.96	59170
Rata-rata		590,1	614,68	67840
LD (2,5cm-2cm-1,5cm)				
1	LD1	574,2	598.12	71759
2	LD2	574,2	598.12	66047
3	LD3	594	618.75	80522
Rata-rata		580,8	605	72776
LE (3cm-2cm-1cm)				
1	LE1	569,25	592.96	74245
2	LE2	569,25	592.96	84399
3	LE3	544,5	567.18	67342
Rata-rata		561	584,37	75328



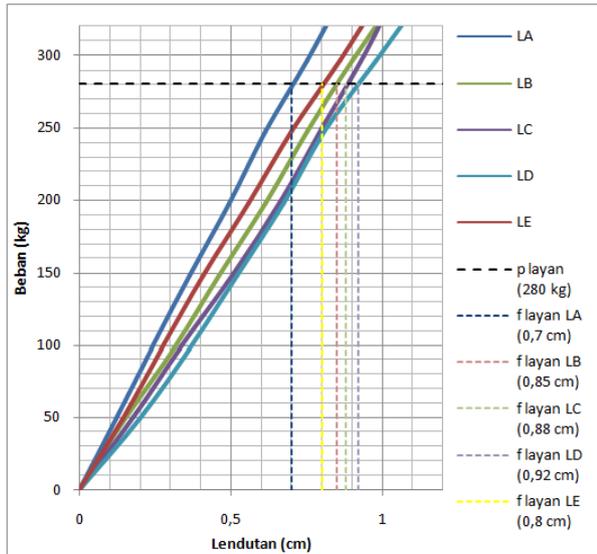
Gambar 8. Grafik Beban – Lendutan Balok Laminasi LA, LB, LC, LD dan LE

Berdasarkan hasil grafik diatas dapat dijelaskan bahwa semakin besar ketidakseimbangan ketebalan antar lapisan laminasi mengakibatkan perlemahan dalam menerima beban serta berkurangnya lendutan yang terjadi pada balok laminasi tersebut dan balok laminasi dengan penebalan pada bagian bawah lebih kaku dan getas daripada balok laminasi dengan penebalan pada bagian atas.

Berdasarkan PKKI NI-5 untuk membatasi perubahan perubahan bentuk dari suatu konstruksi, lendutan pada sesuatu konstruksi akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi. Untuk balok yang dipergunakan pada konstruksi yang terlindung, $f_{maks} \Delta_{ijin} = 1/300 L$, sehingga $f_{maks} = 1/300 \times 100 = 0.33$ cm dan berdasarkan PPIUG 1987 didapatkan struktur menerima beban layan sebesar 280 kg menggunakan kombinasi 1,2 DL + 1,6 LL. Sehingga perlu dianalisis bagaimana kekuatan pada masing-masing variasi jika mengalami lendutan ijin sebesar 0.33 cm dan pada pembebanan 280 kg:



Gambar 9. Grafik Beban – Lendutan Balok Laminasi pada f ijin (0,33cm)



Gambar 10. Grafik Beban – Lentutan Balok Laminasi pada beban 280 kg

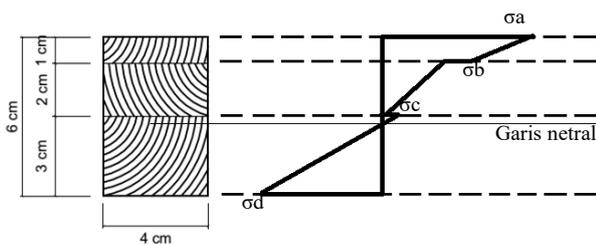
Berdasarkan grafik diatas didapatkan jika ditinjau dari lentutan ijin (0,33cm) dan beban layan (280 kg) maka variasi LA (1cm-2cm-3cm) yang memiliki penebalan pada bagian bawah lebih baik daripada variasi balok laminasi lainnya karena lebih kuat dan lebih kokoh. Jika ditinjau dari beban maksimal maka variasi LC (2cm-2cm-2cm) memiliki kuat lentur yang paling besar yaitu 614,68 kg/cm²

3. Analisis Pola Runtuh Balok Laminasi

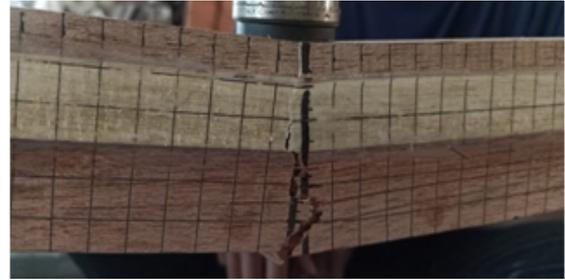
Keseluruhan benda uji utama balok laminasi yang berjumlah 5 variasi (LA, LB, LC, LD, dan LE) dianalisis tegangan dalamnya bertujuan untuk mengetahui pola runtuh. Maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3 - Hasil Tegangan Dalam Balok LA (1cm-2cm-3cm)

Lapisan	Distribusi Tegangan Dalam			
	σ_a (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	σ_d (kg/cm ²)
1 (Meranti)	726,7	499,3		
2 (Sengon)		315,0	28,0	
3 (Meranti)			44,4	-637,9



Gambar 11. Distribusi Tegangan Dalam Balok LA (1cm-2cm-3cm)

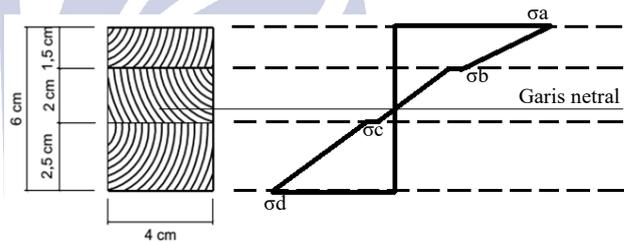


Gambar 12. Foto Kerusakan Balok Laminasi LA

Variasi LA keruntuhan yang terjadi pada LA adalah keruntuhan seketika dan getas pada saat lapisan bawah meranti hancur.

Tabel 4 - Hasil Tegangan Dalam Balok LB (1,5cm-2cm-2,5cm)

Lapisan	Distribusi Tegangan Dalam			
	σ_a (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	σ_d (kg/cm ²)
1 (Meranti)	903.1	465.8		
2 (Sengon)		293.9	-74.0	
3 (Meranti)			-117.3	-846.2



Gambar 13. Distribusi Tegangan Dalam Balok LB (1,5cm-2cm-2,5cm)

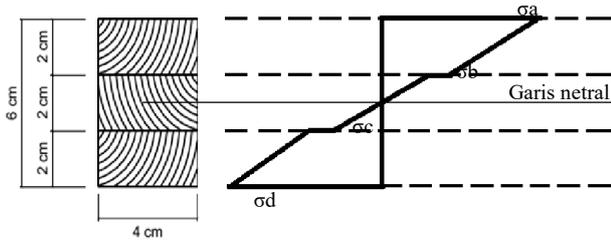


Gambar 14. Foto Kerusakan Balok Laminasi LB

Variasi LB kerusakan yang terjadi pada balok laminasi tersebut dikarenakan geser lentur pada daerah tarik kayu meranti.

Tabel 5 - Hasil Tegangan Dalam Balok LC (2cm-2cm-2cm)

Lapisan	Distribusi Tegangan Dalam			
	σ_a (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	σ_d (kg/cm ²)
1 (Meranti)	946.47	315.49		
2 (Sengon)		199.07	-199.07	
3 (Meranti)			-315.49	-946.47



Gambar 15. Distribusi Tegangan Dalam Balok LC (2cm-2cm-2cm)

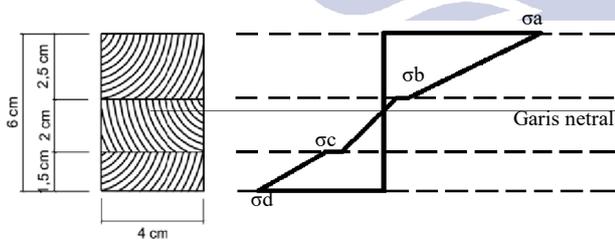


Gambar 16. Foto Kerusakan Balok Laminasi LC

Variasi LC kerusakan yang terjadi pada balok laminasi tersebut adalah dikarenakan geser lentur pada daerah tarik kayu meranti.

Tabel 6 - Hasil Tegangan Dalam Balok LD (2,5cm-2cm-1,5cm)

Lapisan	Distribusi Tegangan Dalam			
	σ_a (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	σ_d (kg/cm ²)
1 (Meranti)	837.44	116.09		
2 (Sengon)		73.25	-290.87	
3 (Meranti)			-460.99	-893.80



Gambar 17. Distribusi Tegangan Dalam Balok LD (2,5cm-2cm-1,5cm)

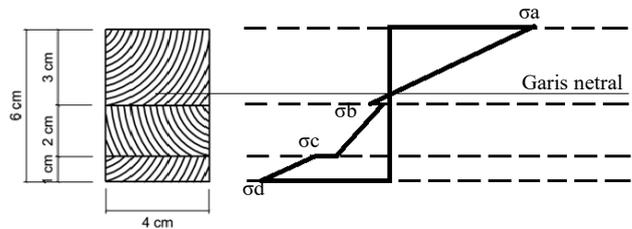


Gambar 18. Foto Kerusakan Balok Laminasi LD

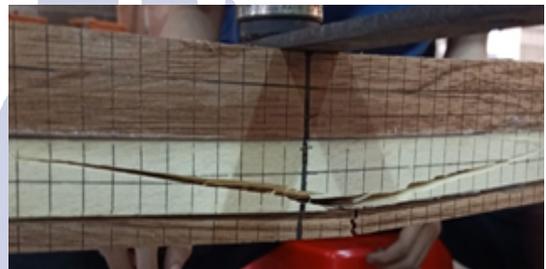
Variasi LD kerusakan yang terjadi pada balok laminasi tersebut dikarenakan geser lentur pada daerah tarik kayu meranti

Tabel 7 - Hasil Tegangan Dalam Balok LE (3cm-2cm-1cm)

Lapisan	Distribusi Tegangan Dalam			
	σ_a (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	σ_d (kg/cm ²)
1 (Meranti)	748.08	-52.10		
2 (Sengon)		-32.87	-369.47	
3 (Meranti)			-585.55	-852.27



Gambar 17. Distribusi Tegangan Dalam Balok LE (3cm-2cm-1cm)



Gambar 19. Foto Kerusakan Balok Laminasi LD

Variasi LE kerusakan yang terjadi pada balok laminasi tersebut dikarenakan daerah tarik yang tidak dapat menahan gaya yang besar.

SIMPULAN

Simpulan yang didapat berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Pengaruh pelaminasian dan penyusunan *unbalanced* terhadap kuat lentur secara keseluruhan hampir sama dengan kuat lentur balok meranti utuh, menandakan bahwa lapisan terluar dari balok laminasi yang dominan berperan dalam menahan beban yaitu kayu meranti dan penambahan sengon sebagai kayu pengisi tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat lentur. Pada variasi penyusunan *unbalanced* terdapat penurunan kekuatan tetapi masih masuk kategori kelas kuat yang sama dengan kelas kuat meranti yaitu kelas III (725– 500 kg/cm²).

Ditinjau dari kuat lentur dan lendutannya, semakin besar ketidakseimbangan ketebalan antar lapisan laminasi mengakibatkan berkurangnya kuat lentur yang terjadi pada balok laminasi tersebut dan balok laminasi dengan penebalan pada bagian bawah

menjadi lebih getas dan kaku dibandingkan dengan variasi lainnya.

2. Ketebalan untuk mendapatkan kuat lentur yang optimal ditinjau saat beban maksimal (P_{maks}) adalah pada penyusunan variasi LC (2cm-2cm-2cm) dibandingkan dengan variasi lainnya, karena pada variasi LC (2cm-2cm-2cm) mempunyai kuat lentur yang lebih baik dan tidak lebih getas dari semua variasi.

Sedangkan ketebalan optimal jika ditinjau dari beban layan dan lendutan ijin maka variasi LA (1cm-2cm-3cm) merupakan variasi yang lebih baik daripada variasi lainya karena variasi dengan penebalan di bagian bawah membuat balok menjadi lebih kokoh dan kaku pada saat menerima beban layan.

3. Keseluruhan rusak benda uji balok laminasi dimulai dari rusaknya kayu meranti pada sisi lapisan terluar. Perilaku runtuh yang terjadi pada balok kayu penyusunan *unbalanced* adalah balok laminasi dengan penebalan pada bagian bawah akan menjadi lebih getas dan lebih kaku daripada balok laminasi dengan penebalan pada bagian atas, dan semakin seimbang ketebalan antar lapisan mengakibatkan balok laminasi menjadi lebih elastis atau lebih dapat melendut daripada variasi *unbalanced* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

[APA] American Plywood Assosiation. 2003. Glulam product guide. *Tesis*. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Joker, Dorth. 2002. *Informasi Singkat Benih*. Indonesia Forest Seed Project. Bandung. *Tesis*. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

Martawijaya, A. Kartasujana, I., Mandang, Y.I., Prawira, S.A. dan Kadir, K. 1989 Atlas Kayu Indonesia Jilid II. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor, Indonesia. *Jurnal Hutan Tropis* Vol. 4 (2).

PKKI NI-5 1961. 1961. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia.

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

Satriawan, Ady. 2009. Verifikasi Empiris Persamaan Lentur Statis (*Glued Laminated Timber*). Bandung: Skripsi Departemen Hasil Hutan IPB

Serrano, E. 2003. *Mechanical performance and modelling of glulam*. didalam: thelandersson S, Larsen hj, editor. timber engineering. west Sussex: Jhon Wiley dan Sons. *Tesis*. Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

SNI 03-3399-1994. 1994. Metode Pengujian Kuat Tarik Kayu di Laboratorium.

SNI 03-3400-1994. 1994. Metode Pengujian Kuat Geser Kayu di Laboratorium.

SNI 03-3958-1995. 1995. Metode Pengujian Kuat Tekan Kayu di Laboratorium.

SNI 03-3959-1995. 1995. Metode Pengujian Kuat Lentur Kayu di Laboratorium.

SNI 03-6844-2002. 2002. Metode Pengujian Pengukuran Kadar Air Kayu dan Bahan Berkayu.

Suhendar, Sansan. 2008. Kajian Struktur Anatomi Beberapa Jenis Kayu Anggota Apocynaceae. Bandung: Skripsi Departemen Hasil Hutan IPB

Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology Wood. Structur, Properties, Utilization*. Van Vostrand Reinhold Inc. USA.