

**KEKUATAN DAN KEKAKUAN BALOK LAMINA
DARI DUA JENIS KAYU KURANG DIKENAL**
The Strength and Stiffness of Glulam made from Two Lesser Known Wood Species

Oleh/By :
Abdurachman dan Nurwati Hadjib

ABSTRACT

*Investigation was undertaken on 3-ply-glulam and 5-ply-glulam measuring 5 x 5 x 120 cm made from Kaya (*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss) and Bipa (*Pterygota alata* (Roxb.) R. Br.) using phenol resorcinol formaldehyde (PRF) adhesive. Stiffness of each laminate was determined prior to assembling. The glulam was then constructed with the stiffer laminates were positioned at the surface of the board.*

Results revealed that density of the 3-ply-glulam was higher than density of solid wood and the 5-ply-glulam. The averages of MOE, MOR, and MCS of 5-ply-glulam were higher than those of the 3-ply-glulam. MOE, MOR, and MCS of Kaya were higher than those of Bipa. Strength quality of the 3 and 5-ply-glulam were comparable with the classified strength of class III – II.

Keywords : Strength, stiffness, glulam.

ABSTRAK

Balok lamina 3 dan 5 lapis berukuran 5cm x 5cm x 120 cm yang dibuat dari kayu Kaya (*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss) dan kayu Bipa (*Pterygota alata* (Roxb.) R.Br.) dengan perekat *phenol formadehida* (PF) telah diuji sifat fisik dan mekaniknya di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan Bogor. Susunan pelaminasinya didasarkan pada nilai kekakuan (E) dari bilah penyusunnya.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa kerapatan balok lamina 3 lapis lebih besar dari balok lamina 5 lapis maupun kayu solidnya. Rata-rata MOE, MOR dan MCS kayu Kaya lebih besar dari kayu Bipa. Balok lamina 3 lapis maupun 5 lapis setara dengan kelas kuat III – II.

Kata kunci : Kekuatan, kekakuan, balok lamina.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan kayu di Indonesia sebagian besar diperoleh dari hutan produksi alam dengan luas hutan sekitar 60 juta ha. Sementara ketersediaan kayunya terus mengalami penurunan terutama dari suku Dipterocarpaceae yang merupakan jenis komersial yang paling banyak dimanfaatkan, (Bahtiar E.T, 2000). Untuk mengurangi pemakaian jenis kayu dari hutan alam produksi tersebut dan untuk menjaga kelestariannya maka dilakukan upaya untuk memanfaatkan jenis kayu andalan setempat dan jenis kayu yang berasal dari hutan rakyat. Jenis kayu andalan setempat dan kayu dari hutan rakyat pada umumnya berdiameter kecil dan berumur muda. Dalam penggunaannya diperlukan penanganan khusus guna meningkatkan sifat kekuatan dan kekakuannya. Salah satu cara dapat dilakukan dengan membuat kayu komposit atau dikenal dengan istilah balok lamina (glulam).

Balok lamina adalah balok yang diperoleh dari hasil perekatan papan tipis yang disusun sejajar serat menggunakan perekat. Balok lamina lebih efisien dibanding kayu utuh karena dapat dibuat dengan cara menggabungkan jenis kayu bermutu rendah dengan kayu bermutu tinggi. Selain itu balok lamina dapat dibuat dalam berbagai variasi bentuk, ukuran, dan jumlah lapisan, sehingga dapat menghasilkan ukuran yang relatif besar. Di Indonesia pemakaian balok lamina belum banyak berkembang karena memerlukan biaya

investasi tinggi sehingga menyebabkan harga produk lamina lebih mahal dari kayu gergajian konvensional.

Penelitian ini bertujuan menentukan kekakuan dan kekuatan balok lamina dari kayu Kaya (*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss) dan kayu Bipa (*Pterygota alata* (Roxb.) R. Br.) dengan perekat *phenol resorcinol formaldehida* (PRF) serta membandingkan dengan kayu utuh dari kedua jenis kayu tersebut. Sehingga dapat dipilih tipe balok lamina yang paling efisien dalam pemakaian bahan baku serta memenuhi syarat kekakuan dan kekuatan jika digunakan sebagai bahan konstruksi.

II. BAHAN DAN METODA

A. Bahan dan Alat

1. Bahan

Bahan kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu Kaya (*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss) dan kayu Bipa (*Pterygota alata* (Roxb.) R. Br.). Kayu tersebut dalam bentuk dolok berukuran diameter 40 cm dan panjang 125 cm diambil dari Arboretum Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor. Dolok diproses menjadi papan gergajian dengan ukuran tebal dan lebar sortimen masing-masing 1 cm x 5,5 cm dan 1,7 cm x 5,5 cm, selanjutnya dikeringkan di bawah atap sampai mencapai kadar air kering udara. Perekat yang digunakan adalah *phenol resorcinol formaldehida* (PRF). Dalam pemakaian perekat ini dicampur dengan bahan pengisi sebanyak 5% dari berat PRF.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari : 1) peralatan untuk membuat contoh uji, yaitu : mesin gergaji belah, mesin gergaji potong, mesin serut dan meteran ; 2) mesin pemilah sederhana yang dilengkapi dengan dial caliper dan deflektometer ; 3) peralatan untuk mencampur perekat yaitu : gelas ukur, *mixer* dan

timbangan dengan ketelitian 0,01 gram ; 4) peralatan untuk pengujian yaitu : oven, mesin uji universal (UTM) merek *Simadzu* berkapasitas 20 ton gaya.

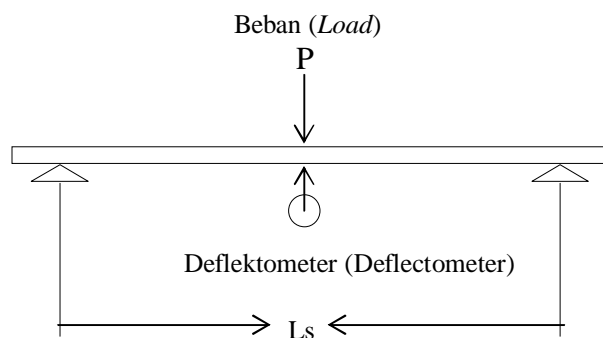
B. Metoda Penelitian

1. Pemilahan contoh

Kayu yang akan dibuat balok lamina dipilih secara visual dengan mengamati cacat pada keempat permukaan bidang serta kedua ujungnya. Cacat yang diamati meliputi cacat bentuk, cacat badan dan cacat bontos. Contoh uji dibuat dalam bentuk contoh uji kecil bebas cacat (*small clear specimen*). Setelah kadar air kayu mencapai 12 % – 18 % contoh uji diserut dan diampelas sampai mencapai ukuran tebal sesuai dengan rencana yaitu 1 cm dan 1,7 cm, sedangkan ukuran lebar sementara dibiarkan karena akan diratakan setelah balok lamina terbentuk. Pemilahan dilakukan dengan alat sederhana (Gambar 1). Hasil pemilahan dikelompokkan menjadi tiga kelompok kekakuan yaitu kelompok E1, E2 dan E3 dimana $E1 > E2 > E3$.

Parameter yang diukur meliputi jarak sangga (L_s), lebar kayu (b), tebal kayu (h), beban yang diberikan P , dan besarnya defleksi yang terjadi (y). Nilai kekakuan kayu dihitung menurut rumus :

$$E = \frac{PL_s^3}{4 y bh^3} \quad (\text{kg/cm}^2)$$



Gambar 1. Alat pemilah sederhana
Figure 1. Grading measurement

Pengelompokkan bilah kayu komponen balok lamina dilakukan berdasarkan nilai kekakuan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengelompokkan bilah kayu berdasarkan kelas kekakuan lentur

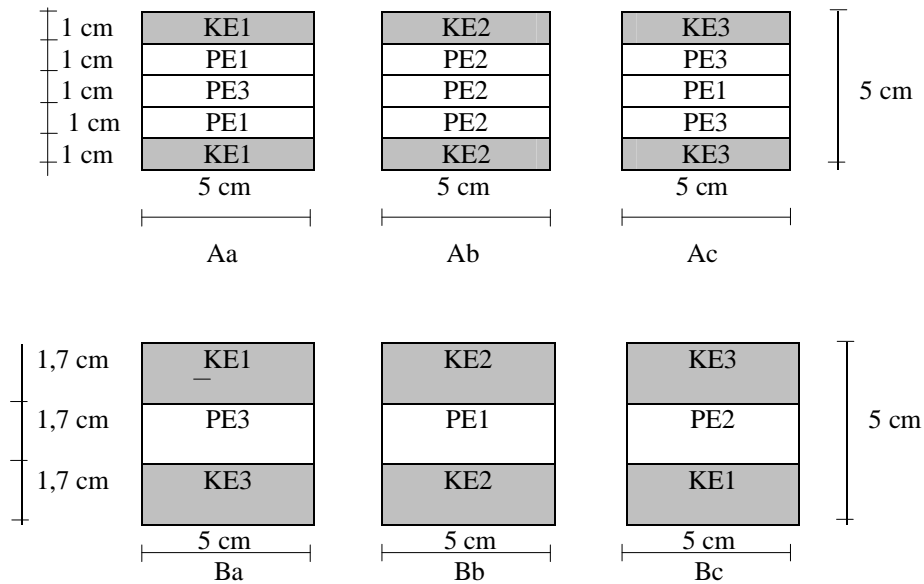
Table 1. Grouping of ply elements based on elasticity

Jenis kayu (<i>Wood species</i>)	Kelompok kekakuan lentur (<i>Group of elasticity</i>)		
	E1	E2	E3
Kaya (K)	$E < \bar{x} - 0,5 Sd$	$\bar{x} - 0,5 Sd \leq E < \bar{x} + 0,5 Sd$	$E > \bar{x} + 0,5 Sd$
Bipa (P)	$E < \bar{x} - 0,5 Sd$	$\bar{x} - 0,5 Sd \leq E < \bar{x} + 0,5 Sd$	$E > \bar{x} + 0,5 Sd$

Keterangan (*Remarks*): E = Kekakuan lentur (*Elasticity*); Sd = Simpangan baku (*Standard of deviation*)

2. Pembuatan contoh uji balok lamina

Elemen papan yang terpilih, direkat dengan menggunakan perekat *phenol resorcinol formaldehida* sebanyak 170 gram/m². Kemudian ditekan dengan menggunakan proses kempa dingin pada tekanan 10 kg/cm² selama 24 jam dan dibiarkan (*conditioning*) selama 1 minggu. Balok lamina diratakan sisinya sehingga ukuran contoh uji menjadi 5 cm x 5 cm x 130 cm. Balok lamina yang dibuat terdiri dari 2 macam, yaitu 3 lapis dan 5 lapis dengan susunan lapisan bawah dan atas dari jenis kayu Kaya dan bagian tengah dari jenis kayu Bipa. Kombinasi lapisan kedua macam balok lamina tersebut dibedakan menurut kekakuan dan tebal bilah kayu pelaminasi seperti Gambar 2. Untuk pengujian keteguhan lentur statik dan tekan sejajar serat contoh uji dibuat menurut standar ASTM-D143-94.



Gambar 2. Penampang contoh uji balok lamina
Figure 2. Cross section of glulam sample

Keterangan (*Remarks*): K = Kaya ; P = Bipa ; E = Kekakuan (*Elasticity*); A = 5 lapis (*plies*) ; B = 3 lapis (*plies*) ; 1, 2, 3 = Tingkat kekakuan (*Elasticity level*) ; a, b, c = Kombinasi kekakuan bilah kayu pelaminasi (*Combination of elaticity*)

3. Pengujian kekuatan dan kekakuan

Pengujian kekuatan dan kekakuan balok lamina meliputi tegangan patah (MOR), kekakuan lentur (MOE), dan kekuatan tekan maksimum sejajar laminasi (MCS). Disamping itu diteliti pula beberapa sifat fisik yang berhubungan dengan kekuatan antara lain kadar air, kerapatan atau berat jenis. Untuk menghitung tegangan ijin dan menetapkan kelas kuat balok lamina dipakai acuan Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI). (Anonim, 1961).

C. Analisis Data

Analisis data menggunakan rancangan faktorial A x B dimana A adalah jumlah lapisan terdiri dari 2 tingkat faktor (a1 = 5 lapis dan a2 = 3 lapis) dan B adalah kekakuan elemen terdiri dari 3 tingkat faktor (b1 = E1, b2 = E2, b3 = E3). Setiap perlakuan diulang lima kali.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemilahan Berdasarkan Kekakuan Lentur

Data hasil pemilahan elemen balok lamina berdasarkan MOE dapat dilihat pada Lampiran 1. Dari hasil pemilahan itu diperoleh interval nilai kekakuan bilah kayu sebagai elemen pelapis balok lamina seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Interval nilai kekakuan elemen pelapis

Table 2. Elasticity interval of laminates

Tingkat Kekakuan (Elasticity level)	Interval kekakuan (E) berdasarkan ketebalan papan (The interval of elasticity based on board thickness, kg/cm ²)			
	Jumlah Bilah (Number of pieces)	1 cm	Jumlah Bilah (Number of pieces)	1,7 cm
KE1	14	$E < 74.796$	11	$E < 78.274$
KE2	16	$74.796 < E < 84.228$	14	$78.274 < E < 87.854$
KE3	8	$E > 84.228$	7	$E > 87.854$
PE1	17	$E < 95.228$	5	$E < 95.230$
PE2	19	$95.228 < E < 104.708$	8	$95.230 < E < 102.636$
PE3	15	$E > 104.708$	6	$E > 102.636$

Keterangan (Remarks) : K = Kayu Kaya (Kaya wood) ; P = Kayu Bipa (Bipa wood) ;
E = Kekakuan (Elasticity)

B. Sifat Fisik Balok Lamina

Hasil penelitian sifat fisik balok lamina dan balok utuh kayu yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata, minimum dan maksimum kadar air dan kerapatan.

Table 3. Mean, minimum and maximum of density and moisture content

No.	Tipe Balok Lamina (Type of Glulam)	Kadar Air (Moisture contents) %			Kerapatan berdasarkan BKT/VKU (density based on WO/VA)		
		Rata2 (Mean)	Min. (Min.)	Maks. (Max.)	Rata2 (Mean)	Min. (Min.)	Maks. (Max.)
1.	Aa	13,6	13,2	14,0	0,531	0,525	0,537
	Ab	13,4	12,9	13,7	0,537	0,520	0,546
	Ac	13,7	13,4	14,0	0,543	0,519	0,555
	Rata2 (Mean)	13,6	13,2	13,9	0,537	0,521	0,546
2.	Ba	13,1	12,5	13,5	0,515	0,497	0,530
	Bb	12,9	12,4	13,2	0,510	0,488	0,523
	Bc	12,7	11,1	12,7	0,506	0,500	0,514
	Rata2 (Mean)	12,9	12,0	13,1	0,510	0,495	0,522
3.	Bipa	13,7	13,3	14,1	0,509	0,505	0,521
4.	Kaya	15,3	15,1	15,5	0,557	0,540	0,567

Keterangan (Remarks) : BKT = Berat kering tanur ; VKU = Volume kering udara ;
WO = Weight of oven dry ; VA = Volume of air dry ;
Ulangan (replication) : 5

Pada Tabel 3 diketahui bahwa kadar air balok lamina yang diteliti berkisar 11,1% – 14,1% dengan rata-rata 13,6 %. Nilai ini lebih rendah dari kadar air kayu pembentuknya. Menurut Hoyle (1973) dalam Soelaeman (1988), balok laminasi seharusnya memiliki kadar air rata-rata 10 % sampai 16 %, ini berarti kadar air balok lamina yang dibuat berada pada selang tersebut. Selanjutnya Wirjomartono (1958) menyatakan bahwa perbedaan kadar air antara lapisan tidak boleh lebih dari 3 %. Kadar air masing-masing lapisan dapat dilihat pada Lampiran 2.

Rata-rata kerapatan balok lamina 3 lapis yaitu 0,54. Nilai ini lebih besar dari kerapatan balok lamina 5 lapis yaitu 0,51. Demikian pula jika dibandingkan dengan kerapatan kayu utuh Kaya (0.56) maupun kayu Bipa (0.51). Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa perbandingan antar perlakuan terhadap kayu utuh Kaya dan kayu utuh Bipa relatif sama. Artinya, bahwa perbedaan kekakuan dan kekuatan lentur balok lamina yang diuji bukan disebabkan oleh faktor kadar air maupun kerapatannya.

Hasil analisis keragaman pada Tabel 4 menunjukkan bahwa jumlah lapisan berpengaruh nyata terhadap kerapatan balok lamina dalam keadaan kering udara dengan taraf nyata 5%. Artinya makin banyak lapisan maka makin tinggi kerapatannya. Hal ini karena pengaruh adanya penambahan perekat yang akan menambah berat balok lamina dengan dimensi yang sama, jadi semakin banyak lapisan, semakin tinggi penambahan beratnya.

Tabel 4. Analisa keragaman pengaruh perlakuan terhadap kerapatan balok lamina
Table 4. Analysis of variance on the effect of treatment to density of glulam

Sumber keragaman (<i>Source of variance</i>)	Db (<i>Df</i>)	JK (<i>SS</i>)	KT (<i>MS</i>)	F	Pr > F
A = Kekakuan (<i>Stiffness</i>)	2	0,0000881	0,0000440	0,28	0,757
B = Jumlah Lapisan (<i>Number of plies</i>)	1	0,0084001	0,0084001	53,83*)	0,000
A * B	2	0,0005485	0,0002742	1,76	0,194
Galat (<i>Error</i>)	24	0,0037452	0,001561		
Jumlah (<i>Grand total</i>)	29	0,0127819			

Keterangan (*Remarks*) : *) Berbeda nyata (*Significantly different*)

Sedangkan kekakuan elemen pelapis maupun interaksinya tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.

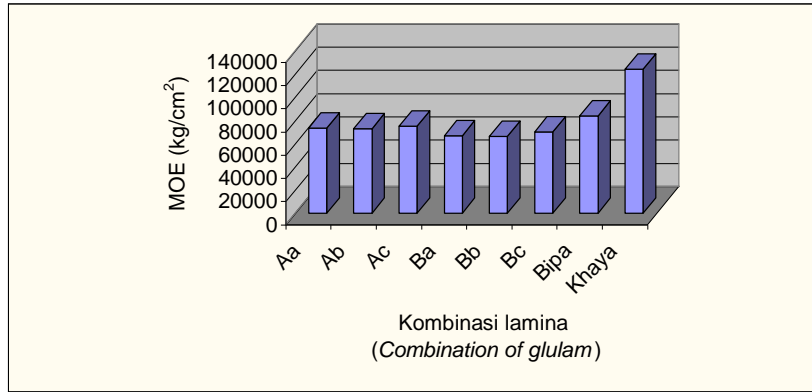
C. Sifat Mekanik Balok Lamina

Sifat mekanik balok lamina yang diteliti meliputi kekakuan lentur (MOE), kekuatan lentur (MOR), dan keteguhan tekan sejajar serat/laminasi (MCS). Rata-rata MOE, MOR dan MCS disajikan dalam Tabel 5.

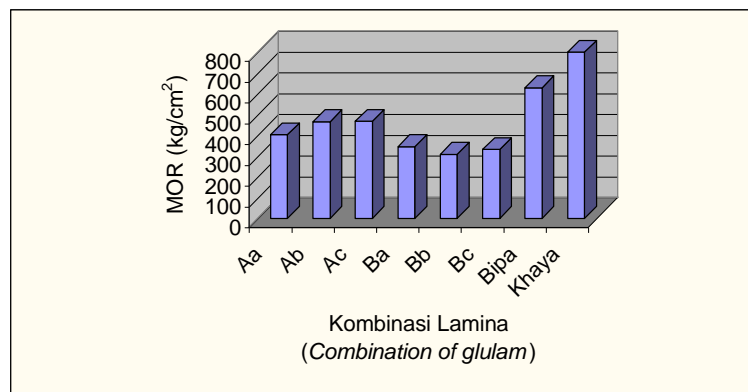
Tabel 5. Rata-rata sifat mekanik balok lamina yang diteliti
Table 5. Average mechanical properties of the tested glulam

No.	Tipe balok lamina (<i>Type of glulam</i>)	MOE	MOR	MCS
		(kg/cm ²)		
1.	Aa	72.673,7	409,8	380,8
2.	Ab	71.097,7	465,8	367,1
3.	Ac	73.725,3	467,3	371,0
	Rata-rata (<i>Mean</i>)	72.498,9	447,7	373,0
4.	Ba	66.465,4	344,7	362,8
5.	Bb	65.987,1	309,4	375,6
6.	Bc	69.847,7	331,7	377,8
	Rata-rata (<i>Mean</i>)	67.433,4	325,9	372,1
7.	Bipa	83.472,4	629,5	357,4
8.	Kaya	123.79,9	800,3	392,7

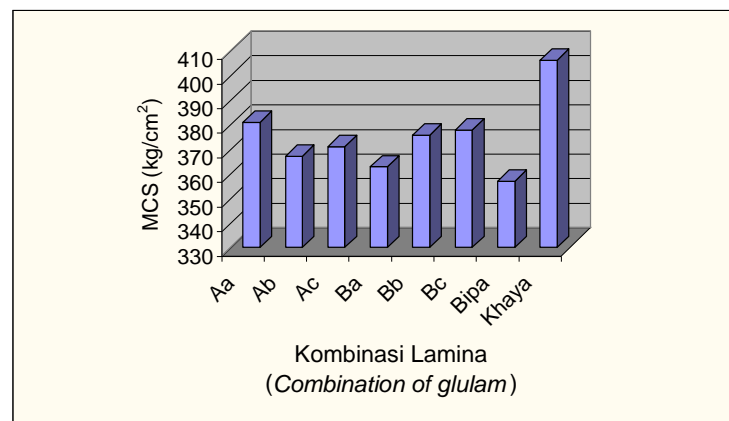
Pada Tabel 5 tampak bahwa MOE dan MOR balok lamina 5 lapis lebih tinggi dari balok lamina 3 lapis, sedangkan untuk MCS memberikan nilai yang hampir sama antara kedua macam lapisan tersebut. Hal ini disebabkan oleh sifat balok lamina yang semakin banyak elemen pelapisnya makin banyak perekat yang digunakan, semakin kaku dan kuat balok laminanya. Secara grafik dapat dilihat perbandingan MOE, MOR, serta MCS seperti pada Gambar 3, 4 dan 5.



Gambar 3. Grafik hubungan MOE dan kombinasi lamina
Figure 3. Relationship of MOE and laminated combination



Gambar 4. Grafik hubungan MOR dan kombinasi lamina
Figure 4. Relationship of MOR and laminated combination



Gambar 5. Grafik hubungan MCS dan kombinasi lamina
Figure5. Relationship of MCS and laminated combination

Hasil analisis keragaman pada Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa jumlah lapisan berpengaruh nyata terhadap kekakuan dan kekuatan balok lamina. Artinya semakin banyak lapisan semakin tinggi nilai kekakuan dan kekuatannya. Sedangkan interaksi jumlah lapisan dengan kekakuan elemen pelapis pembentuk balok lamina tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kekakuan maupun kekuatannya.

Tabel 6. Analisa keragaman perlakuan terhadap MOE

Table 6. *Analisis of variance on treatment to MOE*

Sumber keragaman (<i>Source of variance</i>)	Db (<i>Df</i>)	JK (<i>SS</i>)	KT (<i>MS</i>)	F	Pr > F
A = Kekakuan (<i>Elasticity</i>)	2	50.824.841	25.412.421	0,19	0,830
B = Jumlah Lapisan (<i>Number of plies</i>)	1	274.240.726	274.240.726	2,03*	0,167
A * B	2	3.391.848	1.695.924	0,01	0,988
Galat (<i>Error</i>)	24	3.237.807.401	134.908.642		
Jumlah (<i>Grand total</i>)	29	35.662.644.817			

Keterangan (*Remarks*) : *) Berbeda nyata (*Significantly different*)

Tabel 7. Analisa keragaman perlakuan terhadap MOR

Table 7. *Analisis of variance on treatment to MOR*

Sumber keragaman (<i>Source of variance</i>)	Db (<i>Df</i>)	JK (<i>SS</i>)	KT (<i>MS</i>)	F	Pr > F
A = Kekakuan (<i>Elasticity</i>)	2	5.453	2.726	0,48	0,625
B = Jumlah Lapisan (<i>Number of plies</i>)	1	94.005	94.005	16,53*	0,000
A * B	2	12.477	6.239	1,10	0,350
Galat (<i>Error</i>)	24	136.497	5.687		
Jumlah (<i>Grand total</i>)	29	248.432			

Keterangan (*Remarks*) : *) Berbeda nyata (*Significantly different*)

Dibandingkan dengan kekakuan dan kekuatan kayu pembentuknya, MOE tertinggi terdapat pada balok lamina 5 lapis dengan kombinasi pelapis Kaya dan Bipa pada tingkat kekakuan 3 atau perlakuan Ac (73.725 kg/cm^2), mendekati kayu utuh Bipa tetapi jauh di bawah kayu utuh Khaya, demikian pula untuk MOR, tertinggi dicapai oleh balok lamina Ac (467 kg/cm^2). Sedangkan kekuatan tekan tekan maksimum sejajar serat tertinggi adalah balok lamina 5 lapis dengan kombinasi pelapis Khaya dan Bipa pada tingkat kekakuan 1 atau perlakuan Aa (381 kg/cm^2) melebihi kayu utuh Khaya (357 kg/cm^2) dan mendekati kayu utuh Bipa (393 kg/cm^2).

Berdasarkan berat jenis balok lamina (Tabel 3 kolom 6) dapat dihitung tegangan ijin untuk kayu mutu A (PKKI, 1961) dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_{lt} &= 170 \text{ g} & \sigma_{tk \perp} &= 40 \text{ g} \\ \sigma_{tk//} = \sigma_{tr//} &= 150 \text{ g} & \tau_{//} &= 20 \text{ g} \end{aligned} \quad \text{dimana g = berat jenis kayu.}$$

Kemudian dapat ditetapkan kelas kuat balok lamina berdasarkan Tabel 8.

Tabel 8. Kelas kekuatan kayu Indonesia berdasarkan berat jenis.

Table 8. Strength class of Indonesian wood classification based on specific gravity

Kelas kuat (Strength class)	Berat jenis (Specific Gravity)	Kekuatan lentur (Bending strength) (kg/cm ²)	Kekuatan tekan (Max. Crushing Stress) (kg/cm ²)
I	> 0.90	> 1100	> 650
II	0.90 – 0.60	1.100 – 725	650 – 425
III	0.60 – 0.40	725 – 500	425 - 300
IV	0.40 – 0.30	500 – 360	300 – 215
V	< 0.30	< 360	< 215

Sumber (Source): Oey, 1964

Hasil penetapan tegangan ijin dan kelas kuat balok lamina yang diteliti dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Tegangan ijin dan kelas kuat balok lamina yang diteliti

Table 9. Permissible stress and strength class of the tested glulam

Tipe balok lamina (Type of glulam)	Berat jenis (Specific gravity)	Tegangan ijin (Permissible stress) (kg/cm ²)				Kelas kuat (Strength class)
		σ_{lt}	$\sigma_{tk//} = \sigma_{tr//}$	$\sigma_{tk \perp}$	$\tau_{//}$	
Aa	0,531	90,27	79,65	21,24	10,62	III – II
Ab	0,537	91,29	80,55	21,48	10,74	III – II
Ac	0,543	92,31	81,45	21,72	10,86	III – II
Ba	0,515	87,55	77,25	20,60	10,30	III – II
Bb	0,510	86,70	76,50	20,40	10,20	III – II
Bc	0,506	86,02	75,90	20,24	10,12	III – II
Bipa	0,509	86,53	76,35	20,36	10,18	III – II
Kaya	0,557	94,69	83,55	22,28	11,11	III - II

Pada Tabel 9 tampak bahwa tegangan ijin tertinggi terdapat pada kombinasi 5 lapis dengan bahan pelapis kayu Kaya dan kayu Bipa pada tingkat kekakuan 3 atau perlakuan Ac, nilai ini berada pada rentang nilai yang ditunjukkan oleh kayu pembentuknya (Khaya dan Bipa). Secara umum balok lamina dan kayu pembentuknya tergolong kelas kuat III –

II dan masih dapat dipergunakan sebagai bahan konstruksi bangunan terutama pada bagian bangunan non struktural.

IV. KESIMPULAN

1. Kadar air balok lamina yang diteliti berkisar antara 11,1 % sampai 14,1 % dengan rata-rata 13,6 %.
2. Kekakuan lentur (MOE) elemen pelapis kayu Khaya pada ketebalan 1 cm dan 1,7 cm masing-masing berkisar antara 74.796 kg/cm² sampai 84.228 kg/cm² dan 78.274 kg/cm² sampai 87.854 kg/cm². Untuk kayu Bipa pada ketebalan 1 cm dan 1,7 cm masing-masing berkisar antara 95.229 kg/cm² sampai 104.708 kg/cm² dan 95.230 kg/cm² sampai 102.636 kg/cm².
3. Kekakuan lentur (MOE) dan kekuatan lentur (MOR) balok lamina 5 lapis lebih tinggi dari balok lamina 3 lapis yang disebabkan oleh pengaruh jumlah lapisan penyusun balok lamina. Sedangkan untuk keteguhan tekan maksimum sejajar serat (MCS) banyaknya lapisan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Ketiga sifat mekanis balok lamina (MOE, MOR dan MCS) lebih rendah dari sifat kekuatan kayu utuh pembentuknya (Kaya dan Bipa).
4. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa jumlah lapisan berpengaruh nyata pada taraf nyata 5 % terhadap sifat fisik dan mekanis balok lamina yang diteliti. Sedangkan jenis kayu, kekakuan elemen pelapis dan interaksinya tidak berpengaruh nyata terhadap parameter yang dianalisa, kecuali MOR. Interaksi perlakuan jumlah lapisan dan kekakuan elemen pelapis menghasilkan MOR tertinggi.
5. Berdasarkan klasifikasi kelas kekuatan kayu Indonesia dan tegangan yang diperkenankan menurut PKKI 1961, baik balok lamina yang diteliti maupun kayu utuhnya tergolong kayu dengan kelas kuat III – II. Mengingat pada saat ini ke depan,

kayu yang tersedia kemungkinan berasal dari hutan tanaman dengan jenis kayu cepat tumbuh, sehingga untuk mendapatkan kayu berukuran besar diperlukan teknik laminasi dengan membuat balok lamina, maka ukuran bentangan besarpun bisa dibuat dari kayu yang berukuran kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus, 1961. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Yayasan Dana Normalisasi. Jakarta.
- Anonimus, 1964. Standard Methods of Testing Small Clear Specimen of Timber Designation (D143-64). Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia.
- Bahtiar. E.T. 2000. Penyusunan Model Penduga Kekuatan Kayu Konstruksi dalam Format ASD (Allowable Stress Design) dan LRFD (Load and Resistance Factor Design) Untuk Pemilahan Sistem Panter. Skripsi Jurusan Teknologi Hasil Hutan. Fakultas Kehutanan IPB. Tidak diterbitkan.
- Brown, H.P., A.J. Panshin and C. C. Forsaith. 1952. Text book of Wood Science and Technology. Mc.Graw Hill Book. Co. Inc. New York.
- Haygreen. J., dan J.L. Bowyer. 1982. Forest Production and Wood Sciense. An Introduction. Iowa State University Press. Iowa.
- Oey Djoen Seng, 1964. Berat jenis Kayu-kayu Indonesia dan Pengertian dari Berat Kayu Untuk Keperluan Praktek. Pengumuman LPHH No. 1. Bogor.
- Wangard. F.F. 1950. The Mechanical Properties of Wood : Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Wirjomartono. S. 1958. Konstruksi Kayu Berlapis Majemuk. Diktat Kuliah Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Lampiran 1. Hasil uji pemilahan masinal sederhana
Appedix 1. Result of stress grading test.

1. Kayu kaya (*Khaya senegalensis*)

No.	Lebar (Width), cm	Tebal (Thick), cm	Kekakuan (MOE), kg/cm ²	No.	Lebar (Width), cm	Tebal (Thick), cm	Kekakuan (MOE), kg/cm ²
1	5,90	1,72	85.133	1	5,44	1,03	73.199
2	5,38	1,79	73.533	2	5,34	1,05	75.402
3	5,42	1,77	92.156	3	5,41	1,03	78.246
4	5,53	1,75	77.144	4	5,44	1,03	78.859
5	5,21	1,72	114.060	5	5,31	1,04	71.908
6	5,23	1,76	76.280	6	5,51	1,04	72.312
7	5,56	1,75	69.065	7	5,43	1,03	98.164
8	5,41	1,76	88.023	8	5,48	1,03	81.592
9	5,35	1,73	81.010	9	5,36	1,02	98.834
10	5,61	1,77	105.462	10	5,44	1,05	84.926
11	5,58	1,74	806.661	11	5,39	1,03	73.515
12	5,43	1,75	86.500	12	5,37	1,03	80.747
13	5,24	1,73	75.646	13	5,05	1,03	82.135
14	5,32	1,78	68.250	14	4,96	1,02	90.215
15	5,56	1,74	86.660	15	5,55	1,01	83.401
16	5,39	1,77	89.644	16	5,48	1,02	105.235
17	5,51	1,74	82.537	17	4,98	1,04	85.735
18	5,26	1,78	80.701	18	5,53	1,02	71.988
19	6,35	1,75	86.629	19	5,51	0,99	76.730
20	5,29	1,73	77.326	20	5,50	1,02	82.825
21	5,37	1,73	71.715	21	4,94	1,03	80.608
22	5,54	1,75	77.459	22	5,49	1,02	76.845
23	5,19	1,75	84.510	23	5,55	1,05	79.234
24	5,28	1,76	82.367	24	5,55	1,08	97.808
25	5,46	1,75	88.623	25	5,58	1,05	74.243
26	5,51	1,74	69.982	26	5,60	1,06	81.636
27	5,57	1,73	86.375	27	5,40	0,92	90.271
28	5,56	1,71	85.213	28	5,73	1,05	71.706
29	5,66	1,70	85.673	29	5,65	1,07	72.637
30	5,62	1,70	75.312	30	5,65	1,07	77.059
31	5,63	1,73	90.174	31	5,69	1,06	75.330
32	5,60	1,72	84.155	32	5,72	1,07	64.675
			x = 83.064	33	5,53	1,05	67.223
			Std = 9.580	34	5,57	1,03	69.635
				35	5,63	1,02	71.951
				36	5,61	1,05	64.925
				37	5,50	1,03	74.505
				38	5,61	1,03	85.218
							x = 79.513
							Std = 9.433

Keterangan (*Remarks*) : x = Rata-rata (*Mean*) ; Std = Standar deviasi (*Standard of deviation*)

2. Kayu bipa (*Pterygota alata*)

No.	Lebar (Width), cm	Tebal (Thick), cm	Kekakuan (MOE), kg/cm ²	No.	Lebar (Width), cm	Tebal (Thick), cm	Kekakuan (MOE), kg/cm ²
1	5,55	1,75	113.603	19	5,55	1,01	106.066
2	5,55	1,78	88.246	20	5,50	1,02	98.413
3	5,55	1,77	98.132	21	5,52	0,99	97.730
4	5,52	1,72	103.566	22	5,53	0,99	96.855
5	5,53	1,76	106.150	23	5,52	1,00	111.166
6	5,56	1,76	95.047	24	5,53	0,99	92.130
7	5,56	1,75	98.231	25	5,53	1,00	111.152
8	5,55	1,77	93.997	26	5,53	1,00	95.062
9	5,54	1,72	108.433	27	5,55	1,00	92.112
10	5,55	1,76	89.338	28	5,55	1,01	101.252
11	5,47	1,76	100.279	29	5,54	0,98	97.313
12	5,55	1,70	104.529	30	5,51	0,99	103.161
13	5,56	1,77	101.310	31	5,50	1,02	91.168
14	5,55	1,71	96.863	32	5,48	1,00	89.679
15	5,60	1,78	81.348	33	5,57	1,01	93.243
16	5,51	1,71	100.291	34	5,48	1,00	97.759
17	5,58	1,72	99.450	35	5,50	1,03	91.672
18	6,47	1,64	102.378	36	5,51	1,00	100.718
19	6,24	1,60	98.352	37	5,05	0,99	101.850
			x = 98.923	38	5,53	1,00	112.078
			Std = 7.426	39	5,48	0,99	118.968
				40	5,52	0,99	110.488
1	5,47	0,99	96.591	41	5,52	1,01	109.515
2	5,50	1,05	93.544	42	5,56	0,97	96.116
3	5,54	1,05	89.084	43	5,55	1,00	108.117
4	5,43	1,04	91.819	44	5,81	1,03	105.157
5	5,53	1,01	103.657	45	6,27	1,08	92.117
6	5,53	1,03	91.300	46	6,05	1,01	105.935
7	5,50	1,03	132.062	47	5,48	1,06	97.045
8	5,50	0,98	114.308	48	6,50	1,06	97.623
9	5,54	1,02	92.675	49	6,21	1,07	97.377
10	5,48	0,98	96.069	50	6,27	1,05	91.048
11	5,53	1,00	109.490	51	6,50	1,07	93.039
12	5,55	1,00	86.607				
13	5,50	0,95	112.678				x = 99.973
14	5,53	0,97	97.109				Std=9.565
15	5,51	1,00	115.353				
16	5,55	0,99	101.787				
17	5,57	0,96	88.581				
18	5,53	0,99	82.798				

Keterangan (Remarks) : x = Rata-rata (Mean) ; Std = Standar deviasi (Standard of deviation)

Lampiran 2. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik
Appendix 2. Result of physical and mechanical test

No. Uji (Number of sample)	Kadar air (Moisture content), %	Kerapatan (Density), gr/cm ³	Tekan // serat (Compression // to the grain), kg/cm ²	MOE (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)
Aa.1	13,7	0,54	379,064	77.116,246	473,066
Aa.2	13,2	0,53	354,961	72.438,881	422,959
Aa.3	13,5	0,53	386,289	73.492,165	412,657
Aa.4	13,7	0,53	398,903	70.048,240	371,476
Aa.5	14,0	0,53	384,736	72.188,324	369,011
Rata-rata (Mean)	13,6	0,53	380,791	72.673,740	409,828
Ab.1	13,4	0,55	397,869	66.619,702	339,729
Ab.2	13,5	0,53	344,313	66.055,872	359,579
Ab.3	12,9	0,55	380,045	85.605,830	557,516
Ab.4	13,7	0,52	376,373	68.899,555	481,047
Ab.5	-	-	336,974	68.307,317	591,299
Rata-rata (Mean)	13,4	0,54	367,115	71.097,655	465,834
Ac.1	13,7	0,55	385,633	74.133,606	499,555
Ac.2	13,4	0,56	352,493	73.823,551	482,629
Ac.3	13,6	0,53	370,322	69.283,922	458,315
Ac.4	13,9	0,52	375,669	81.336,819	477,647
Ac.5	14,0	0,56	-	75.444,537	418,440
Rata-rata (Mean)	13,7	0,54	371,029	73.725,288	467,317
Ba.1	12,9	0,52	348,665	65.170,776	305,256
Ba.2	13,3	0,53	343,006	70.785,074	382,916
Ba.3	12,5	0,52	364,133	72.459,490	406,701
Ba.4	13,5	0,52	370,542	76.288,819	408,103
Ba.5	13,4	0,50	387,597	47.910,797	220,596
Rata-rata (Mean)	13,1	0,52	362,789	66.465,419	344,714
Bb.1	13,2	0,52	375,273	69.173,042	308,973
Bb.2	12,6	0,52	377,915	68.471,889	228,177
Bb.3	12,4	0,49	397,565	59.041,344	240,480
Bb.4	13,2	0,51	384,276	75.768,441	415,868
Bb.5	13,1	0,52	343,045	57.704,362	312,991
Rata-rata (Mean)	12,9	0,51	375,617	65.987,117	301,198
Bc.1	12,5	0,50	365,690	58.019,924	276,326
Bc.2	11,1	0,50	392,584	73.272,197	352,360
Bc.3	12,6	0,50	374,737	67.396,509	254,507
Bc.4	12,5	0,51	378,285	76.906,457	391,091
Bc.5	12,7	0,50	-	72.944,875	384,449
Rata-rata (Mean)	12,7	0,51	377,824	69.847,735	331,747
P1	13,3	0,52	411,656	120.209,253	891,177
P2	14,0	0,51	373,812	120.475,164	722,497
P3	13,6	0,51	440,917	104.341,037	711,010
P4	14,0	0,51	387,121	127.066,964	865,944
P5	14,4	0,51	416,860	14.6862,275	811,579
Rata-rata (Mean)	13,7	0,51	392,673	123.790,939	800,281
K1	15,5	0,56	265,436	78.056,421	661,071
K2	15,3	0,54	404,937	68.713,268	442,060
K3	15,3	0,56	390,806	100.767,046	812,083
K4	15,3	0,57	361,743	82.403,540	596,641
K5	15,1	0,56	364,200	87.421,945	635,593
Rata-rata (Mean)	15,3	0,56	357,424	83.472,444	629,490