KETEGUHAN LENTUR STATIS BALOK LAMINA DARI TIGA JENIS KAYU LIMBAH PEMBALAKAN HUTAN TANAMAN

(Static Bending of Laminated Wood Assembled from Logging Wood Waste of Three Species Plantation Forests)

Oleh/By:

Jamaludin Malik & Adi Santoso

ABSTRACT

This research aims to know the static bending (MOE and MOR) of glue-laminated beam assembled from plantation forest-procured wood waste using three glue types, i.e. lignin resorcinol formaldehyde (LRF), tannin resorcinol formaldehyde (TRF) and phenol resorcinol formaldehyde (PRF). The wood waste consisted of three species, i.e. pine (Pinus merkusii), agatis (Agathis sp.) and gmelina (Gmelina arborea). The wood portion (laminates) that made up three-ply laminated wood could be merely a single as well as combination of those three species.

Result indicated that compression duration for 8 hours brought about laminated wood with higher MOE value than that for 15 hours. Conversely, laminated wood with 15-hours compression duration yielded higher MOR value than the one with 8-hours duration. The best wood composition in the assembling of three-ply laminated wood based on MOE and MOR value was single species of agatis-agatis-agatis laminates, employing 8-hours compression duration. Those three wood waste species afforded satisfactory gluing characteristics and therefore were appropriately manufactured into reconstituted wood products, particularly exterior-type laminated wood for structural purposes.

Keywords: Static bending, MOE and MOR, laminated wood beam, wood waste.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat keteguhan lentur dan patah (MOE dan MOR) balok lamina dari kayu limbah pembalakan hutan tanaman dengan menggunakan tiga jenis perekat yaitu *lignin resorsinol formaldehida* (LRF), *tanin resorsinol formaldehida* (TRF) dan *phenol resorsinol formaldehida* (PRF). Kayu lamina dibuat dari komposisi tiga jenis kayu yaitu tusam (*Pinus merkusii*), damar (*Agathis sp.*) dan gmelina (*Gmelina arborea*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa masa kempa 8 jam menghasilkan nilai MOE lebih besar sedangkan masa kempa 12 jam meningkatkan MOR. Komposisi jenis terbaik dari kayu lamina berdasarkan nilai MOE dan MOR-nya adalah agatis-agatis-agatis pada masa kempa 8 jam. Ketiga

jenis kayu limbah pembalakan memiliki sifat perekatan yang baik dan cocok dibuat produk kayu rekonstitusi khususnya kayu lamina tipe eksterior untuk keperluan struktural.

Kata kunci: Keteguhan lentur, MOE dan MOR, balok lamina, kayu limbah pembalakan.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan kayu limbah pembalakan hingga saat ini dirasakan belum optimal. Penggergajian kayu limbah pembalakan menghasilkan sortimen sempit dan/atau pendek. Teknologi laminasi merupakan salah satu solusi untuk memperoleh sortimen lebih lebar dan/atau panjang. Feirer *et al.* (1997) dalam Dansoh *et al.* (2004) menyatakan bahwa dewasa ini kayu solid konvensional untuk berbagai macam balok mulai digantikan oleh kayu lamina. Menurut Moody *et al.* (1999) kayu lamina (glulam) pertama kali digunakan di Eropa pada sebuah auditorium di Basel, Swiss tahun 1893, yang sering disebut sebagai penggunaan pertama yang signifikan produk tersebut. Pada pertengahan tahun 1930 hingga tahun 1980 hampir semua produk glulam digunakan di Amerika Serikat. Selama tahun 1990-an pasar ekspor dikembangkan dan dalam jumlah signifikan material tersebut telah dipasarkan ke negara-negara lingkaran pasifik, terutama Jepang.

Berbagai teknik laminasi bisa dikembangkan, sebagai contoh laminasi ke arah lebar untuk menghasilkan papan sebagai bahan baku daun meja, dinding atau pintu. Laminasi ke arah tebal untuk menghasilkan balok, antara lain untuk komponen kusen pintu atau jendela, kaki meja, barang bubutan dan kerajinan. Laminasi ke arah panjang dilakukan untuk memperoleh papan atau balok berukuran lebih panjang. Seiring dengan semakin terbatasnya pasokan kayu untuk keperluan konstruksi, pemanfaatan kayu limbah dengan teknologi kayu lamina diharapkan dapat menjadi sumber bahan baku kayu konstruksi. Sebab kayu lamina merupakan salah satu alternatif produk yang tepat untuk pemanfaatan kayu limbah. Sinaga (1989) menjelaskan tentang beberapa keuntungan yang diperoleh dari kayu lamina, antara lain: dapat dibuat dari kayu berkualitas rendah; dapat dibuat dari kayu berukuran kecil yang dapat menghasilkan balok berukuran besar sehingga suplai bahan akan bertambah; dapat menghasilkan bahan yang lebih panjang, lebih lebar dan lebih tebal atau lebih besar; serta dapat dibuat melengkung dengan penampang yang bermacam-macam sesuai pemusatan beban, di mana pada kayu utuh hal itu sulit dilakukan. Selanjutnya Sinaga (1989) menyarankan agar dilakukan penelitian kayu lamina dari hutan tanaman industri baik dari satu jenis maupun gabungan dari beberapa jenis dalam usaha meningkatkan daya guna kayu.

Produk kayu lamina untuk penggunaan konstruksi dan eksterior pada umumnya dibuat dengan menggunakan perekat yang bersifat tahan terhadap kelembaban tinggi seperti phenol formaldehida, resorsinol formaldehida dan sejenisnya. Perekat jenis tersebut ditengarai mulai sulit diperoleh dan semakin mahal dikarenakan bahan bakunya berasal dari minyak bumi. Dengan demikian layak dicarikan alternatif perekat yang bersifat *renewable* seperti tanin yang berasal dari ekstraksi kulit kayu mangium. Karena pohon mangium dapat menghasilkan tanin dalam jumlah banyak maka memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan perekat. (Santoso dan Pari, 2001).

Penelitian pemanfaatan kayu limbah pembalakan hutan tanaman sebagai bahan kayu lamina belum banyak dilakukan. Tulisan ini mengemukakan hasil penelitian pengaruh masa kempa, jenis perekat dan komposisi jenis kayu terhadap sifat keteguhan lentur dan patah kayu lamina dari bahan kayu limbah pembalakan hutan tanaman.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang kayu tusam (*Pinus merkusii*), damar (*Agathis sp.*) dan gmelina (*Gmelina arborea*), berdiameter kecil (< 20 cm) dan panjang maksimum 2 m, berupa kayu limbah berasal dari kegiatan pembalakan hutan tanaman di Jawa Barat. Perekat yang digunakan adalah lignin resorsinol formaldehida (LRF), tanin resorsinol formaldehida (TRF) dan phenol resorsinol formaldehida (PRF) dengan karakteristik masing-masing seperti tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisis-kimia perekat LRF, TRF dan PRF

Table 1. Physical and chemical properties of LRF, TRF and PRF-glue

Sifat (Properties)	Jenis perekat (Glue types)		
	LRF	TRF	PRF
Uji visual (<i>Visual test</i>)	(+)	(+)	(+)
Bahan asing (<i>Foreign matter</i>)	(-)	(-)	(-)
Waktu tergelatin (<i>Gelatinous time</i>), menit	227	154	85
Kadar resin padat (<i>Solid content</i>), %	48,95	56,01	57,03
Viskositas (<i>Viscosity</i>), $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, poise	1,0	1,85	3,4
Keasaman (pH)	11,0	10,5	8,0
Bobot jenis (<i>Specific gravity</i>)	1,16	1,08	1,15

Keterangan (*Remarks*): (+) Cairan berwarna coklat sampai hitam, berbau khas fenolik (*Liquid with brown to black color, phenolic smelled*); (-) Tidak ada (*None*); LRF = Lignin Resorcinol Formaldehyde; TRF = Tannin Resorcinol Formaldehyde; PRF = Phenol Resorcinol Formaldehyde

Peralatan yang digunakan adalah mesin kempa dingin untuk membuat kayu lamina, oven dan timbangan untuk menentukan kadar air, mesin uji universal untuk menguji sifat keteguhan lentur dan patah kayu lamina, serta peralatan gelas kimia.

B. Metode

Dolok kayu berdiameter kecil dikonversi menjadi bilah berukuran tebal 2,5 cm, lebar 5 cm dan panjang 50 cm. Masig-masing kayu diusahakan homogen baik ukuran maupun mutunya dan secara visual bebas cacat. Selanjutnya kayu dikeringkan dalam oven hingga kadar airnya berkisar antara 8 – 12%.

Bilah kering selanjutnya dilaburi perekat dengan menggunakan kuas dengan berat labur 170 g/m² permukaan. Sebelum dilaburkan, cairan resin LRF, TRF dan PRF masing-

masing dibubuhi bahan pengeras berupa paraformaldehida teknis. Balok lamina dirakit terdiri dari 3 lapis secara vertikal (Gambar 1) dengan komposisi jenis kayu seperti pada Tabel 2. Pengempaan dilakukan secara manual pada taraf waktu 8 jam dan 15 jam. Selanjutnya kayu lamina dikondisikan pada suhu ruang selama 7 hari sebelum dilakukan pengujian. Sebelum dibuat contoh uji, kayu lamina diampelas hingga mencapai ketebalan 3 cm.

Gambar 1. Komposisi balok lamina secara vertikal
Figure 1. Flatwise laminated wood composition

Tabel 2. Komposisi jenis kayu lamina

Table 2. Wood species composition of laminated assembly

Kombinasi jenis kayu secara vertikal ¹⁾ (Flatwise wood species composition) ¹⁾	Kode (Codes)
Pinus-pinus-pinus	K ₁
Gmelina-gmelina-gmelina	K ₂
Agatis-agatis-agatis	K ₃
Pinus-gmelina-agatis	K ₄
Pinus-agatis-pinus	K ₅
Pinus-gmelina-pinus	K ₆

Keterangan (Remarks): ¹⁾ Lihat Gambar 1 (Refer to Figure 1)

Pembuatan contoh uji mengacu kepada ASTM D 143-95 (Anonim, 1994) untuk pengujian kadar air dan kerapatan. Untuk pengujian keteguhan lentur (MOE) dan keteguhan patah (MOR) mengikuti prosedur pada standar Jepang (IAS) (Anonim, 1996). Data hasil pengamatan dihitung rata-ratanya, kemudian ditabulasi. Nilai rata-rata yang diperoleh diuji statistik menggunakan rancangan acak lengkap dengan percobaan faktorial dan dilanjutkan dengan uji beda menurut Duncan (Steel dan Torrie, 1995).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kerapatan dan Kadar Air

Ikhtisar hasil pengujian kerapatan dan kadar air kayu lamina yang diteliti disajikan pada Tabel 3. Kerapatan kayu lamina rata-rata berkisar antara 0,44–0,70 g/cm³. Nilai kerapatan ini sangat bervariasi dan cenderung lebih dipengaruhi oleh faktor adanya lapisan perekat dan terjadinya pemadatan bahan kayu lamina akibat proses pengempaan.

Kecenderungan lain adalah bahwa jenis kayu penyusun juga berpengaruh terhadap kerapatan kayu lamina. Kerapatan kayu lamina yang disusun dari lebih satu jenis kayu bisa lebih besar atau lebih kecil dari yang disusun dari satu jenis saja. Sementara lamanya pengempaan antara 8 jam dan 15 jam cenderung tidak begitu besar pengaruhnya terhadap kerapatan kayu lamina.

Tabel 3. Kerapatan dan kadar air kayu lamina
Table 3. Density and moisture content of laminated wood

Masa kempa (Press duration)	Komposisi jenis kayu ¹⁾ (Wood species composition) ¹⁾	Jenis perekat (Type of glue)					
		LRF ²⁾		TRF ²⁾		PRF ²⁾	
		Kerapatan (density) g/cm	Kadar air (Moisture content), %	Kerapatan (density) g/cm ³	Kadar air (Moisture content), %	Kerapatan (density) g/cm ³	Kadar air (Moisture content), %
8 jam (hours)	K ₁	0,55	11,82	0,65	11,55	0,68	12,33
	K ₂	0,46	12,46	0,44	12,04	0,44	12,55
	K ₃	0,47	13,04	0,46	11,86	0,49	12,43
	K ₄	0,48	11,90	0,58	11,93	0,48	12,24
	K ₅	0,61	11,59	0,52	11,67	0,57	12,78
	K ₆	0,53	12,51	0,69	10,99	0,67	12,37
15 jam (hours)	K ₁	0,57	11,98	0,68	12,00	0,70	12,47
	K ₂	0,48	12,88	0,49	11,88	0,46	12,28
	K ₃	0,49	12,35	0,45	11,75	0,50	12,48
	K ₄	0,48	10,98	0,52	12,82	0,53	12,37
	K ₅	0,60	11,77	0,53	10,48	0,61	12,43
	K ₆	0,55	11,09	0,70	11,41	0,70	12,48

Keterangan (Remarks): 1) dan/and 2) lihat Tabel 2 (Refer to Table 2)

Kadar air rata-rata kayu lamina berkisar antara 10,48–13,04%. Seperti halnya kerapatan, kadar air kayu lamina yang dibuat dengan jenis perekat dan jenis kayu penyusun serta waktu kempa yang berbeda dalam penelitian ini cenderung tidak menunjukkan konsistensi dalam kadar airnya. Namun secara keseluruhan nilai tersebut memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (Anonim, 2000) karena kurang dari 14%.

B. Sifat Mekanis

Sifat mekanis kayu lamina yang dalam hal ini diwakili oleh nilai keteguhan patah (MOR) dan keteguhan lentur statis (MOE) dicantumkan pada Tabel 4.

Keteguhan patah dan keteguhan lentur statis kayu lamina yang menggunakan perekat LRF berturut-turut rata-rata berkisar antara 241,5–480,5 kg/cm² dan 32.499,1–68.574,9 kg/cm², sementara dengan TRF sekitar 238,5–445,5 kg/cm² dan 31.185,0–60.574,9 kg/cm², sedangkan dengan PRF antara 352,5–655,5 kg/cm² dan 28.124,3–448.242,2 kg/cm².

Tabel 4. Keteguhan patah (MOR) dan keteguhan lentur (MOE) kayu lamina
Table 4. Modulus of rupture (MOR) and Modulus of elasticity (MOE) of laminated wood

Masa Kempa (Press duration)	Komposisi jenis kayu (Wood species composition)	Jenis perekat (Type of glue)					
		LRF		TRF		PRF	
		MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE
		(Kg/cm ²)					
8 jam (hours)	K ₁	250,5	68.264,8	270,0	51.561,6	498,0	67.592,8
	K ₂	241,5	68.574,9	238,5	48.074,6	400,5	67.665,5
	K ₃	373,5	62.583,8	294,0	52.939,0	586,5	113.001,0
	K ₄	274,5	58.592,9	352,5	56.248,6	483,0	51.561,5
	K ₅	295,5	54.139,2	330,0	60.574,9	444,0	64.901,2
	K ₆	174,0	34.701,3	250,5	44.708,2	352,5	448.242,2
15 jam (hours)	K ₁	273,0	45.640,5	339,0	46.874,5	559,5	58.992,3
	K ₂	351,0	32.499,1	283,5	31.849,4	450,0	28.124,3
	K ₃	384,0	41.689,7	445,5	49.804,4	592,5	56.499,7
	K ₄	480,5	56.499,7	360,0	54.491,5	655,5	44.708,2
	K ₅	331,5	42.592,5	345,0	45.701,7	486,0	58.254,6
	K ₆	366,0	33.146,7	330,0	31.185,0	610,5	59.444,3

1. Pengaruh masa kempa

Secara umum keteguhan patah (MOR) kayu lamina yang dibuat dengan masa kempa 15 jam (C2) cenderung lebih tinggi daripada 8 jam (C1). Hal ini mengindikasikan bahwa masa kempa yang lebih lama memberi kesempatan bagi perekat untuk berpenetrasi lebih dalam pada pori-pori kayu dan membentuk jangkar dengan molekul-molekul kimia kayu sehingga kayu lamina menjadi lebih tahan terhadap tekanan. Akibat lain dari reaksi di atas adalah keteguhan lentur (MOE) kayu lamina pada masa kempa 15 jam cenderung menjadi lebih rendah daripada 8 jam.

Berdasarkan sidik ragam diketahui bahwa masa kempa berpengaruh nyata terhadap keteguhan patah dan lentur kayu lamina (Tabel 5).

Tabel 5. Ringkasan sidik ragam pengaruh masa kempa terhadap parameter
Table 5. Summarized analysis of variance of compression duration on the examined parameters

Parameter	Df	F _{hitung} (value)	F _{tabel(0,05)}	Rata-rata	
				C ₁	C ₂
MOE (kg/cm ²)	1	182,07*	161,4	59,708	46,521
MOR (kg/cm ²)		175,34*		339,417	423,565

Keterangan (Remarks): * = Nyata (Significant); C₁ = Masa kempa 8 jam (8-hour compression duration); C₂ = Masa kempa 15 jam (15-hour compression duration)

2. Pengaruh jenis perekat

Jenis perekat yang digunakan berpengaruh terhadap MOE dan MOR kayu lamina dari limbah pembalakan hutan tanaman. Hasil uji pengelompokan Duncan (DMRT) menunjukkan bahwa kualitas perekat LRF dan TRF relatif sama dalam hal MOE dan MOR kayu lamina, tetapi keduanya masing-masing berbeda secara signifikan dengan perekat PRF (Tabel 6). Kayu lamina dari limbah pembalakan hasil uji coba dengan perekat PRF memiliki nilai MOE dan MOR lebih besar dibanding menggunakan kedua jenis perekat lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas perekat TRF maupun LRF belum setara dengan perekat PRF berdasarkan nilai MOE dan MOR kayu lamina yang dihasilkan.

Tabel 6. Uji beda jarak duncan berganda pengaruh jenis perekat terhadap parameter
Table 6. Duncan multiple range test (DMRT) of glue effect on the examined parameter

Parameter	Nilai rata-rata yang dibandingkan (<i>Compared means</i>)			$W_{(0,05)^1}$ Df = 72
	PRF	TRF	LRF	
MOE (kg/cm ²)	62.890	<u>48.595</u>	<u>47.859</u>	25,10
MOR (kg/cm ²)	509,917	<u>319,847</u>	<u>314,708</u>	16,32

Keterangan (*Remarks*): Tanda garis bawah tidak nyata (*Figures with underline below are not significantly different*); PRF, TRF, LRF: Lihat Tabel 1 (*Refer to Table 1*)

¹⁾ Nilai kritis uji beda jarak Duncan (*Critical value of DMRT*)

3. Pengaruh komposisi jenis kayu

Berdasarkan uji wilayah berganda Duncan (DMRT) pada Tabel 6, dapat dilihat bahwa dari keenam komposisi jenis kayu (JK), yang menghasilkan nilai tertinggi, baik MOE maupun MOR adalah K3 (agatis-agatis-agatis). Demikian kesimpulan yang dapat ditarik setelah memperhatikan hasil uji wilayah berganda Duncan (DMRT) pada Tabel 7. Untuk MOE, urutan kedua ditempati oleh K1 (pinus-pinus-pinus) dengan berbeda nyata, sedangkan untuk MOR urutan keduanya ditempati oleh K4 (pinus-gmelina-agatis) yang tidak berbeda nyata dengan K3. Urutan keteguhan berdasarkan komposisi jenis kayu ditempati kombinasi jenis kayu yang berbeda-beda.

Tabel 7. Uji beda jarak duncan pengaruh komposisi jenis kayu
Table 7. DMRT of wood species composition effect

Parameter	Nilai rata-rata yang dibandingkan (<i>Compared means</i>)						$W_{(0,05)^1}$ Df = 72
	K3	K1	K5	K4	K2	K6	
MOE (kg/cm ²)	(62.788)	<u>(55.154)</u>	<u>(54.361)</u>	<u>(53.684)</u>	<u>(48.034)</u>	<u>(44.668)</u>	38,17
MOR (kg/cm ²)	<u>(442,83)</u>	<u>(434,33)</u>	<u>(372,00)</u>	<u>(364,94)</u>	<u>(347,25)</u>	<u>(327,58)</u>	24,82

Keterangan (*Remarks*): Tanda garis bawah tidak nyata (*Figure with underline below are not significantly different*); PRF, TRF, LRF : Lihat Tabel 1 (*Refer to Table 1*);

¹⁾ Lihat Tabel 6 (*Refer to Table 6*).

Komposisi K3 (agatis-agatis-agatis) memiliki keteguhan tertinggi dibandingkan dengan komposisi tiga jenis kayu limbah pembalakan (agatis, pinus dan gmelina) dengan menggunakan jenis perekat dan masa kempa sama. Berdasarkan hasil tersebut mengindikasikan bahwa kayu agatis cocok digunakan secara tunggal sebagai bahan kayu lamina dengan perekat TRF, LRF dan PRF.

4. Pengaruh masa kempa dan jenis perekat

Kombinasi perlakuan masa kempa dan jenis perekat yang menghasilkan keteguhan lentur maksimum adalah C1 (8 jam) dengan jenis perekat PRF. Dengan kata lain perekat PRF memberikan keteguhan lentur maksimum meski waktu kempa 8 jam. Sedangkan nilai keteguhan patah maksimum dihasilkan oleh kombinasi perlakuan C2 (15 jam) dengan jenis perekat yang sama. Hal ini juga menunjukkan bahwa jenis perekat PRF memberikan hasil keteguhan maksimum, dibandingkan dua jenis perekat lainnya. Uji DMRT menjelaskan perbedaan keteguhan hasil kedua perlakuan (MK + JP) seperti disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Uji beda jarak duncan pengaruh kombinasi perlakuan masa kempa dan jenis perekat

Table 8. DMRT of the combined treatment of compression duration and glue type

Parameter	Nilai rata-rata yang dibandingkan (<i>Compared means</i>)						$W_{(0,05)^1}$ Df = 102
MOE (kg/cm ²)	C1PRF (71.581)	C1LRF (55.143)	C2PRF <u>(54.200)</u>	C1TRF (52.401)	C2TRF (43.318)	C2LRF (42.047)	87,31
MOR (kg/cm ²)	C2PRF (559,08)	C1PRF (460,75)	C2LRF (361,17)	C2TRF (350,44)	C1TRF (289,25)	C1LRF (268,25)	51,17

Keterangan (*Remarks*): Tanda garis bawah tidak nyata (*Figures with underline below are not significantly different*); C1 = Masa kempa 8 jam (*Compression duration of 8 hours*); C2 = Masa kempa 15 jam (*Compression duration of 15 hours*); PRF, TRF, LRF: Lihat Tabel 1 (*Refer to Table 1*); ¹ Lihat Tabel 6 (*Refer to Table 6*).

5. Pengaruh masa kempa dan komposisi jenis kayu

Kombinasi perlakuan masa kempa dan jenis kayu memberikan pengaruh yang berbeda terhadap sifat mekanis kayu lamina. Masa kempa 8 jam (C1) cenderung menghasilkan nilai keteguhan lentur lebih besar hampir pada semua komposisi jenis kayu (Lampiran 1A).

Hal sebaliknya terjadi pada nilai MOR, di mana masa kempa 15 jam (C2) cenderung memberikan nilai MOR lebih besar. Hal ini juga masih gayut dengan pengaruh kedua perlakuan secara tunggal di mana masa kempa C1 cenderung lebih baik daripada C2 terhadap nilai MOE. Sedangkan komposisi jenis K3 (agatis-agatis-agatis) sebagaimana telah dikemukakan di atas, cenderung menjadi komposisi yang memberikan nilai MOE dan MOR maksimum.

6. Pengaruh jenis perekat dan komposisi jenis kayu

Secara tunggal, jenis perekat yang menghasilkan nilai MOE dan MOR tertinggi pada kayu lamina dari tiga jenis kayu limbah pembalakan hutan tanaman adalah perekat PRF. Sedangkan komposisi jenis yang menghasilkan nilai keteguhan tertinggi adalah K3 (agatis-agatis-agatis). Pemberian perlakuan perekat PRF terhadap komposisi susunan K3 tersebut semakin memperkuat pengaruhnya terhadap nilai keteguhan tersebut. Hal ini dapat dilihat dengan tingginya nilai MOE dan MOR akibat kombinasi kedua perlakuan tersebut (Lampiran 1B).

7. Pengaruh jenis perekat, komposisi jenis jayu dan masa kempa (JP+JK+MK)

Pengaruh JP+JK+MK terhadap nilai MOE dan MOR kayu lamina dapat dilihat pada Lampiran 1C. Kombinasi perlakuan tersebutlah yang sebenarnya terjadi. Dari Lampiran tersebut terlihat bahwa perlakuan yang memberikan nilai MOE maksimum adalah: perekat PRF + masa kempa C1 (8 jam) pada komposisi jenis K3 (agatis-agatis-agatis). Sedangkan pada MOR adalah: perekat PRF+masa kempa C2 (15 jam) pada komposisi jenis K4 dan K6. Jika faktor biaya dipertimbangkan maka dalam pembuatan kayu lamina sebaiknya menggunakan masa kempa C1.

Pengaruh jenis perekat dan masa kempa cenderung konsisten yaitu PRF memberikan nilai keteguhan lebih besar dibanding dua jenis perekat lainnya. Masa kempa C1 (8 jam) meningkatkan nilai MOE dan menurunkan nilai MOR, sedangkan masa kempa C2 (15 jam) sebaliknya yaitu meningkatkan nilai MOR dan menurunkan nilai MOE. Fenomena ini juga menunjukkan bahwa komposisi jenis kayu kurang berpengaruh terhadap nilai keteguhan tersebut.

Berdasarkan klasifikasi kekuatan kayu Indonesia (Dan Berger, 1921 dalam Hadjib, 2004), kayu lamina yang dihasilkan dari komposisi perlakuan yang memberikan nilai MOE dan MOR tertinggi, termasuk kelas kuat III – II.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Untuk meningkatkan nilai tambah, kayu limbah pembalakan hutan tanaman dapat diolah menjadi kayu lamina.
2. Masa kempa 8 jam menghasilkan kayu lamina dengan nilai MOE tertinggi, sedangkan masa kempa 15 jam menghasilkan kayu lamina dengan nilai MOR tertinggi.
3. Komposisi jenis terbaik dari kayu lamina berlapis tiga berdasarkan nilai MOE dan MOR-nya adalah agatis-agatis-agatis dengan masa kempa 8 jam.
4. Ketiga jenis kayu limbah pembalakan memiliki sifat perekatan yang baik dan cocok dibuat produk kayu rekonstitusi khususnya kayu lamina tipe eksterior untuk keperluan struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1994. Standard methods of testing small clear specimen of timber. Annula Book of ASTM Standard Vol. 4 Sec. 4. Construction. Philadelphia.
- _____. 1996. Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber. Japanes Agricultural Standard (JAS), Japan Plywood Inspection Corporation (JPIC). Tokyo.
- _____. 2000. Venir lamina. Rancangan Standar Nasional Indonesia. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. RSNI-5008.9-2000.
- Dansoh, A.B., A. Koizumi and T. Hirai. 2004. Bending strength and stiffness of glued butt-jointed glulam. *Forest Product Journal* 54(9): 40-44.
- Feirer, J.L., G.R. Hatchings and M.D. Feirer. 1997. *Carpentry and Building Construction*, 5th ed. Glence/McGraw Hill. New York, pp. 91-99.
- Hadjib, N. 2004. Sifat fisik dan mekanik kayu dan bambu. Diktat Pelatihan Kompetensi Tenaga Laboratorium Pengolahan Kayu dan Bambu. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan. Bogor.
- Moody, R.C., R. Hernandez, and J.Y. Liu. 1999. Glued structural members, *In Wood Handbook-Wood as an Engineering Material*. Gen Tech. Rep. FPL-GTR-113, USDA. Madison.
- Santoso, A. dan G. Pari. 2001. Pemanfaatan tanin dari kulit pohon mangium sebagai bahan perekat kayu lapis. *Proceeding of seminar environment conservation through efficiency utilization of forest biomass*. Kerjasama Debut Press-Jurusan Teknologi Hasil Hutan UGM-JIFPRO. Yogyakarta.
- Sinaga, M. 1989. Pengaruh jumlah lapisan terhadap sifat mekanis kayu lamina jenis hutan tanaman industri. *Prosiding Diskusi Sifat dan Kegunaan Jenis Kayu HTI*, tanggal 23 Maret 1989 di Jakarta. Hlm 215 - 223. Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Steel, R.G.D dan J.H. Torrie. 1995. *Prinsip dan Prosedur Statistika: Suatu pendekatan biometrik*. Edisi kedua. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Lampiran 1. Uji beda duncan pengaruh perlakuan**Appendix 1. Duncan multiple range test of treatment (compression duration, wood waste species, and glue types)****A. Pengaruh masa kempa dan komposisi jenis kayu (The effect of compression time and glue type)**

$W_{(0,05)}, Df = 96$			Nilai rata-rata yang dibandingkan (Compared means)		$W_{(0,05)}, Df = 96$		
13.519			MOE (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	120,3		
	A		C1K3 (76.175)	C2K4 (498,67)		A	
	B		C1K5 (59.872)	C2K3 (467,67)		A	B
	B		C1K1 (59.806)	C2K6 (435,50)	C	A	B
C	B		C1K2 (58.852)	C1K3 (418,00)	C	A	B
C	B		C1K4 (55.468)	C2K1 (390,39)	C	A	D B
C	B		C2K4 (51.900)	C2K5 (387,50)	C	A	D B
C	B		C2K1 (50.502)	C1K4 (370,00)	C	E	D B
C	B	D	C2K3 (49.402)	C2K2 (361,67)	C	E	D B
C	B	D	C2K5 (48.850)	C1K5 (356,50)	C	E	D B
	B	D	C1K6 (48.078)	C1K1 (339,50)	C	E	D
		D	C2K6 (41.259)	C1K2 (293,50)		E	D
		D	C2K2 (37.216)	C1K6 (259,00)		E	

Keterangan (Remarks): Nilai rata-rata diikuti secara mendatar dengan tanda huruf sama adalah tidak berbeda nyata (Means folowed horizontally with the same letter are not significantly different); $A > B > \dots > K$; K1, K3, K4, K5, K6 = Lihat Tabel 2 (Refer to Table 2); LRF, PRF, TRF = Lihat Tabel 1 (Refer to Table 1); C1 & C2 = Lihat Tabel 8 (Refer to Table 8).

B. Pengaruh jenis perekat dan komposisi jenis kayu (*The effect of glue type and wood species composition*)

$W_{(0,05)}, Df = 90$				Nilai rata-rata yang dibandingkan (<i>Compared means</i>)		$W_{(0,05)}, Df = 90$			
97,22				MOE (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)	15,546			
		A		PRFK3 (84.750)	PRFK3 (589,50)		A		
		B		PRFK1 (63.293)	PRFK4 (569,25)		A		
		B		PRFK6 (62.134)	PRFK1 (528,75)		A		B
C		B		PRFK5 (61.578)	PRFK6 (481,50)		C		B
C		B		LRFK4 (57.546)	PRFK5 (465,00)		C		B
C		B		PRFK2 (57.452)	PRFK2 (425,50)		C		D
C		B		TRFK4 (55.370)	LRFK4 (377,50)		E		D
C		B	D	TRFK5 (53.138)	TRFK3 (361,67)		E		D
C		B	D	LRFK1 (52.953)	LRFK3 (369,25)		E		D
C	E	B	D	LRFK3 (52.243)	TRFK4 (356,25)	F	E		D
C	E	B	D	TRFK3 (51.372)	TRFK5 (337,50)	F	E	G	D
C	E	B	D	TRFK1 (49.218)	LRFK5 (313,50)	F	E	G	
C	E	B	D	LRFK5 (48.366)	TRFK1 (304,33)	F	E	G	
C	E	B	D	PRFK4 (48.135)	LRFK2 (296,25)	F	E	G	
C	E	F	D	LRFK2 (46.537)	TRFK6 (290,25)	F	E	G	
	E	F	D	TRFK2 (40.112)	LRFK6 (270,00)	F		G	
	E	F		TRFK6 (37.947)	LRFK1 (261,75)			G	
		F		LRFK6 (33.924)	TRFK2 (261,00)			G	

Keterangan (*Remarks*): Sama seperti A (*Similar to A*)

C. Pengaruh jenis perekat, komposisi jenis jayu dan masa kempa (*The effect of glue type, wood species composition and compression duration*)

W _(0,05) , Df = 72					Nilai rata-rata yang dibandingkan (<i>Compared means</i>)		W _(0,05) , Df = 72					
10,371					MOE (kg/cm ²)		MOR (kg/cm ²)		67,44			
			A		PRFK3C1 (113.001)		PRFK4C2 (655,50)			A		
			B		PRFK2C1 (67.606)		PRFK6C2 (610,50)			A		B
			B		PRFK1C1 (67.593)		PRFK3C2 (592,50)					B
	C		B		PRFK5C1 (64.901)		PRFK3C1 (586,50)					B
	C		B		LRFK6C1 (64.824)		PRFK1C2 (559,50)					B
	C		B	D	PRFK3C1 (62.584)		PRFK1C1 (498,00)					
	C	E	B	D	LRFK2C1 (60.575)		PRFK5C2 (486,00)			C		
	C	E	B	D	TRFK5C1 (60.575)		PRFK4C1 (483,00)			C		
	C	E	B	D	LRFK1C1 (60.265)		LRFK4C2 (480,50)			C		
F	C	E	B	D	PRFK6C2 (59.444)		PRFK2C2 (450,50)			C		D
F	C	E	B	D	PRFK1C2 (58.992)		TRFK3C2 (445,50)			C		D
F	C	E	B	D	LRFK4C1 (58.593)		PRFK5C1 (444,00)			C		D
F	C	E	B	D	PRFK5C2 (58.255)		PRFK2C1 (400,50)			C		D
F	C	E	G	D	PRFK3C2 (56.500)		LRFK3C1 (373,50)			E		F
F	C	E	G	D	LRFK4C2 (56.500)		LRFK6C2 (366,00)			E		F
F	C	E	G	D	TRFK4C1 (56.249)		LRFK3C2 (365,00)			E		F
F	H	E	G	D	TRFK4C2 (54.492)		TRFK4C2 (360,00)			E		F
F	H	E	G	D	LRFK5C1 (54.139)		PRFK6C1 (352,50)		G	E		F
F	H	E	G	D	TRFK3C1 (52.939)		TRFK4C1 (351,00)		G	E		F
F	H	E	G	I	TRFK1C1 (51.562)		LRFK2C2 (351,00)		G	E		F
F	H	E	G	I	PRFK4C1 (51.562)		TRFK5C2 (345,00)		G	E	H	F
F	H		G	I	TRFK3C2 (49.804)		TRFK1C2 (338,67)		G	E	H	F
	H		G	I	TRFK2C1 (48.375)		LRFK5C2 (331,50)		G	I	H	F
	H		G	I	PRFK2C2 (47.299)		TRFK5C1 (330,00)		G	I	H	F
	H		G	I	TRFK1C2 (46.875)		TRFK6C2 (330,00)		G	I	H	F
	H			I	TRFK5C2 (45.702)		LRFK5C1 (295,50)		G	I	H	J
	H			I	LRFK1C2 (45.641)		TRFK3C1 (294,00)		G	I	H	J
	H			I	PRFK4C2 (44.708)		TRFK2C2 (283,50)			I	H	J
	H			I	TRFK6C1 (44.708)		LRFK4C1 (274,50)			I		J
			J	I	LRFK5C2 (42.593)		LRFK1C2 (273,00)			I		J
			J	I	LRFK3C2 (41.901)		TRFK1C1 (270,00)			I		J
	K		J		LRFK6C1 (34.701)		TRFK6C1 (250,50)					J
	K				LRFK6C2 (33.147)		LRFK1C1 (250,50)					J
	K				LRFK2C2 (32.499)		LRFK2C1 (241,50)					J
	K				TRFK2C2 (31.849)		TRFK2C1 (238,50)					J
	K				TRFK6C2 (33.924)		LRFK6C1 (174,00)			K		

Keterangan (*Remarks*): Sama seperti A (*Similar to A*)