

The Effect of Microwave Heating on Permeability of Bamboo

Krisdianto

Abstract

Bamboos are plants of enormous importance to the rural people in several regions of Asia. In spite of its many excellent properties; bamboo is liable to biological deterioration. Therefore, a preservative treatment is regarded as necessary. Many methods have been developed to increase the durability of bamboo. However, most of the methods take a long time and in most cases the vessels do not take enough liquid to preserve the surrounding fibres and parenchyma. This study is aimed to observe the effect of microwave heating on bamboo permeability. The study evaluates the moisture content reduction, resin uptake and saturation as well as resin distribution.

The result shows that microwave heating is able to reduce the moisture content reduction of both round and split bamboo up to 93% in about 3 minutes. The microwave heating increases the resin uptake of microwave treated bamboo up to 3 ~ 5 times. The resin saturation also improves to about 2.5 ~ 3 times (before curing) and about 4 ~ 5 times (after curing). Resin penetrates mostly through radial checks that occur during drying. Microwave heated samples shows more blackened area in ground parenchyma tissue than non-treated samples, which indicates that the resin was distributed more evenly. It is concluded that microwave heating leads to improve of bamboo permeability. It is recommended that further research be carried out to establish a microwave regime for optimal bamboo permeability.

Key words: bamboo, preservative, microwave, resin, permeability

Introduction

Bamboos are plants of enormous importance to the rural people in several regions of Asia, such as Indonesia, Vietnam, China and India. Bamboo is used for house construction, scaffolding, ladders, mats, baskets, fencing, containers, tool handles, pipes, toys, musical instruments, cooking pots, furniture and handicrafts (Lessard 1980; Recht and Wetterwald 1992). In spite of its many excellent properties, bamboo is liable to attack by fungi such as brown rot, white rot, soft rot and by insects such as beetles and termites. In general, untreated bamboo may have an average life of less than 1 ~ 3 years when it is exposed to atmosphere and soil. When used indoor, bamboo may be expected to last 4 ~ 7 years (Liese 1980b). Therefore, a preservative treatment is regarded as necessary (Farrelly 1984).

The treatability of bamboo is in general rather low (Liese 1980b). It varies according to species, age and moisture content of the culm, treatment method and type of preservative. The water absorption in bamboo is also generally slower than in wood species. Therefore the soaking period has to be considerably longer than that for wood of the same dimensions.

Many methods have been developed to increase the durability of bamboo. However, most of the methods take a long time and in most cases the vessels do not take enough liquid to preserve the surrounding fibres and parenchyma (Liese 1980b). Some other methods, such as pressure treatment, may cause cracks or collapse of round bamboo. Not only the cracks or collapse reduce the strength of the culms, but also lead to inaccurate

result when the amount of absorbed preservative is measured (Liese 1985).

In the last decade, microwave technology has been developed to improve timber treatability. Controlled application of microwave heating to green timber can directly manipulate wood density and moisture permeability (Vinden and Torgovnikov, 2000; Ximing *et al.* 2002). Microwave energy modifies the wood structure during a very short burst of intense microwave heating that blasts tiny holes through the wood, to provide better connectivity between the wood cells. This allows water to escape more quickly from the timber and the tiny holes allows preservative penetrate easily to the timber (Vinden and Torgovnikov 1996; 2000). As a ligno-cellulosic material, bamboo also has an opportunity to be treated using microwave application to improve its permeability.

This study is aimed to observe the effect of microwave heating on bamboo permeability. The study evaluates the moisture content reduction, resin uptake and saturation as well as resin distribution.

Material and Methods

Bamboo culm (*Dendrocalamus* sp.) was cut in the length of 2.5 meter. The diaphragm membrane of bamboo has been opened by knocking it down with a sharp steel stick. The samples were grouped into two batches: rounded and half split. They were dipped into water to gain more moisture for microwave treatment.

The samples were then heated by 60 kW microwave facility in Creswick Microwave Laboratory. The rounded bamboo culms were heated by 20% of power level and conveyor speed was 13.2 mm/second. While half split

bamboos were heated by 11.6% of the power as the scooping trial showed that higher power level microwave resulted in burning bamboo. The moisture content of bamboo before and after microwave heating were measured from about 1 cm thick samples in two locations of the long shoot bamboo.

All samples were then put it in cylindrical treatment plant for impregnation. Bamboo samples were evacuated using vacuum pressure for 10 minutes followed by FFA resin induction. The samples were then compressed for about 15 minutes and cured in the oven for about 24 hours. The weight before and after treatment as well as after curing were calculated.

Final resin uptake of bamboo after curing was measured using formula mentioned by Mc Quire (1975).

$$U_2 = [(M_3 - M_1) / V_1],$$

where:

U_2 = resin uptake after curing (kg/m³)

M_1 = mass of initial bamboo (before impregnation)

M_3 = mass of resin cured bamboo (kg)

V_1 = volume of bamboo after curing

The percentage of bamboo saturation with resin before and after curing was calculated as below:

Saturation of bamboo with resin (%) = $100 \times (U_1/F_r)$

Saturation of cured bamboo with resin (%) = $100 \times (U_2/F_r)$

where:

U_1 = initial resin uptake before curing (kg/m³)

F_r = Maximum resin uptake (kg/m³), $F_r = F \times d_r$

F = maximum possible absorption (kg/L)

$$= 1000 - [d_w (g + 66.7)/100]$$

d_r = density of resin kg/L

d_w = density of bamboo

For resin distribution observation, the control samples (non-microwave heated samples) were oven dried to obtain 4% moisture content. This is conducted to facilitate FFA resin to penetrate the samples.

Results and Discussions

The Effect of Microwave Heating on Moisture Content

The moisture content of samples before and after microwave heating is summarised in Table 1. The table also gives the percentage of moisture content reduction.

The average moisture content reduction of both round and split bamboo is about 93%. This provides evidence that split bamboo requires lower power of microwave to obtain equal moisture content reduction. The scooping trial also shows that heating split bamboo using higher level of microwave power caused bamboo to burn.

Wilcoxon test of moisture content before and after microwave heating shows significant differences. This indicates that microwave heating is able to significantly reduce the moisture content.

During microwave heating water is drawn from bamboo cells allowing bamboo material to dry. The microwave heating process took about 3 minutes to complete. This is much quicker than other methods which may take several weeks, such as air drying. However, the instant drying caused the cell of the soft tissue closing pack together and caused checks in cell structure of bamboo (Figure 1).

Table 1. Moisture content of bamboo heated by microwave.

Sample code	Sample condition	Microwave power (%)	Conveyor belt speed mm/sec	Moisture content (%)		Moisture reduction (%)
				Before	After	
B-1	Round	20	13.2	56.36	3.26	94.22
B-2	Round	20	13.2	66.68	4.87	92.69
B-3	Round	20	13.2	51.26	4.52	91.19
B-4	Round	20	13.2	83.83	3.88	95.37
B-5	Round	20	13.2	46.23	4.05	91.24
B-6	Round	20	13.2	57.51	3.72	93.53
B-7	Round	20	13.2	67.27	4.86	92.78
B-8	Round	20	13.2	78.69	5.07	93.56
Average						93.07
B-9	Half split	11.7	13.2	50.67	4.86	90.40
B-10	Half split	11.7	13.2	72.02	4.63	93.57
B-11	Half split	11.7	13.2	71.81	3.49	95.15
B-12	Half split	11.7	13.2	68.07	3.86	94.33
B-13	Half split	11.7	13.2	56.78	3.79	93.32
Average						93.36

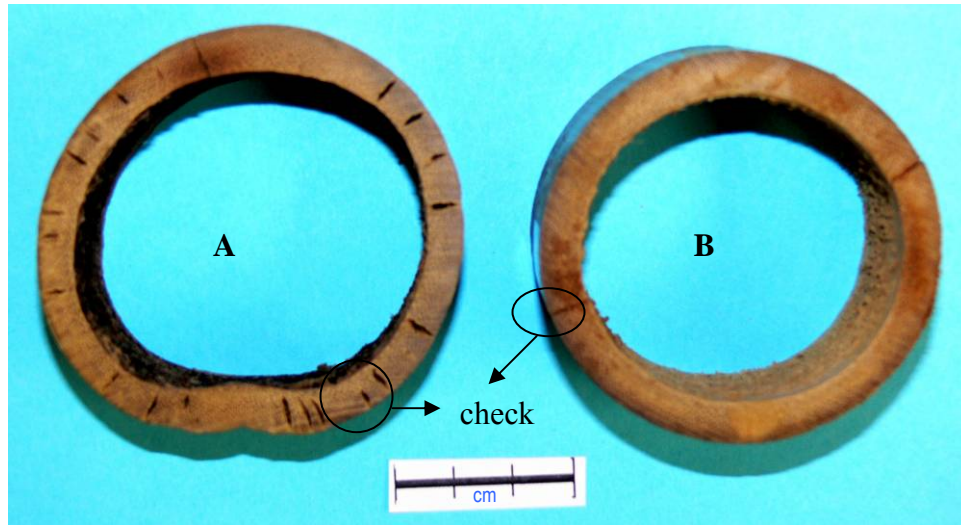


Figure 1. Microwave heated bamboo (A) and air dried bamboo (B).

Table 2. Average resin uptake and saturation of bamboo with FFA resin.

Sample Group	Resin uptake after curing (kgm^{-3})	Saturation (%)	
		before curing	after curing
Control			
Half split	0.0094	0.28	0.10
Round	0.0138	0.41	0.15
Microwave treated			
Half split	0.0521	1.16	0.56
Round	0.0638	1.27	0.69

As seen in Figure 1, checks happened more in microwave heated bamboo (A), while less check occur happened during air drying of bamboo (B).

As there are no ray cells in the bamboo tissue, the checks that occur in the bamboo tissue facilitating an easy movement of liquids in the radial direction. The micro checks of timber during drying also increases its permeability (Vinden and Torgovnikov 2000). The effect of micro checks of bamboo during microwave heating is discussed in resin distribution.

The Effect of Microwave Heating on Resin Uptake

Similar with treatment on wood, microwave heating on bamboo resulted in the improvement of resin uptake. Table 2 summaries the average resin uptake and saturation of bamboo after microwave heating.

The result shows that the resin uptake of both split and round bamboos which were heated by microwave are higher than those of non-treated bamboo samples. In split samples, after microwave treatment resin uptake was 0.0521 kgm^{-3} , while non-treated bamboo uptake was 0.0094 kgm^{-3} . In round bamboo, the uptake of microwave

treated bamboo was 0.0638 kgm^{-3} while non-treated bamboo is about 0.0138 kgm^{-3} . In general, the resin uptake of microwave treated bamboo is about 3 ~ 5 times higher than non-treated bamboo.

The resin saturation result aligns with the resin uptake. Before curing, the saturation of resin in microwave treated bamboo is about 2.5 ~ 3 times higher than non-treated bamboo. After curing, the saturation of microwave treated bamboo with is about 4 ~ 5 times higher than non-treated bamboo.

The paired t-test results between microwave treated and non-treated bamboo and between half split and round bamboo are shown in Table 3, which means there is significant differences of the resin uptake between microwaves treated samples and control samples.

Table 3. Paired samples t-test.

			Pair – 1	Pair – 2
			Treated and Non-treated	Split and Round
Pair differences	Mean		0.0459000	0.0163444
	Std. Deviation		0.0152047	0.0245256
	Std. Error Mean		0.0033179	0.0057807
	95% Confidence interval of the difference	Lower	0.0528211	0.0285407
		Upper	0.0389789	0.0041482
T			13.834	2.827
df			20	17
Sig. (2-tailed)			0.000	0.012

The Effect of Microwave Heating on Resin Distribution

As mentioned before there are special layers that covers the wall outside and inside of bamboo culm and retards penetration from both sides (Liese 1980a). The outer part of bamboo is the hardest part, as it contains more fibre bundles that mechanically erect the bamboo culm (Figure 2). The possible penetration through those layers is through the checks that occur during drying.

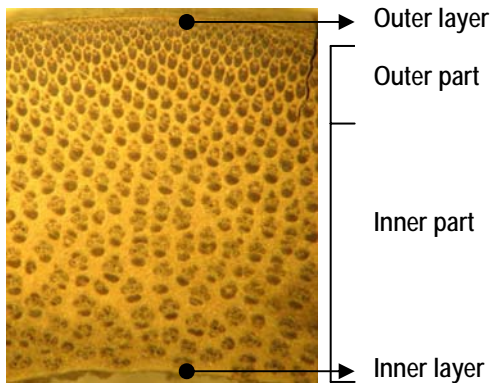


Figure 2. Anatomical structure of bamboo.

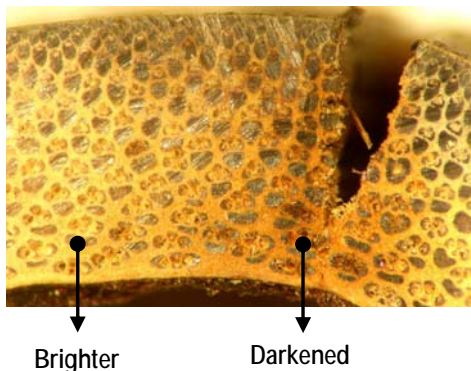


Figure 3. FFA resin penetrates through checks.

In non-microwave treated bamboo, the black darkened area concentrated around the checks (Figure 3), while brighter area means no FFA resin impregnated. It is understood that FFA resin penetrates mostly through checks that happened during oven drying.

The resin distributions differences of non-microwave heated and microwave heated samples are shown in Figure 4.

Figure 4 A shows that the black darkened mark of FFA resin mostly in ground parenchyma tissue, while non treated bamboo shows yellow bright of ground parenchyma tissue (Figure 4B). It can be concluded that FFA resin movement in bamboo samples is mostly by diffusion from parenchyma cell to the other cell, which mostly take a part on ground parenchyma tissue. In microwave heated samples, resin mostly distributed in the inner part of bamboo, which is softer than outer. Vascular bundles in inner part are less frequent than outer part (Liese 1980a).

As most of inner part of bamboo was darkened by FFA resin, it is possible that resin penetrates through micro checks that happen in the inner layer that cannot be seen by direct eyes. The micro checks break through the layers that cover the cells from inside and facilitate an easy movement of liquids in radial direction. As a result in microwave heated bamboos, the resin distributed more evenly.

Conclusions and Suggestions

Based on the results can be concluded as follows:

- Microwave heating is able to reduce the moisture content reduction of both round and split bamboo up to 93% in about 3 minutes.
- The split bamboo requires lower power of microwave to obtain equal moisture content reduction.
- The resin uptake of microwave treated bamboo is about 3 ~ 5 times higher than non-treated bamboo.
- Before curing, the saturation of resin in microwave treated bamboo is about 2.5 ~ 3 times higher than non-treated bamboo. After curing, the saturation of

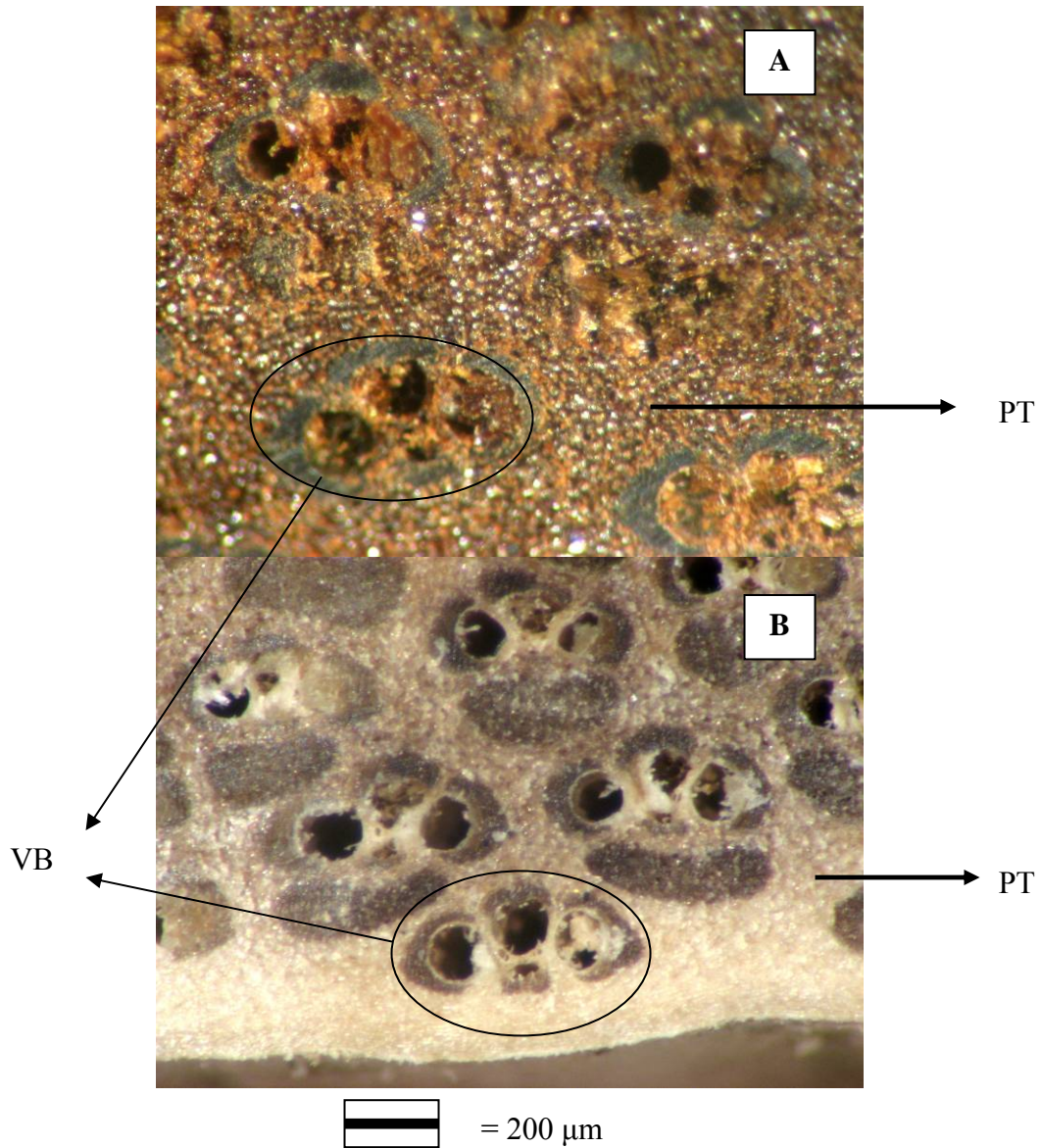


Figure 4. FFA resin treated of microwave heated (A) and control (B) of bamboo.
Remarks: VB = vascular bundle, PT = ground parenchyma tissue.

microwave treated bamboo with is about 4 ~ 5 times higher than non-treated bamboo.

- FFA resin distributed more evenly in microwave treated than control. Resin penetrates through micro checks that occur in inner layer of bamboo.
- Further research needs to be carried out :
 - To establish a microwave schedule for optimal bamboo permeability.
 - To evaluate strength reduction of microwave treated bamboo
 - To study consumer preference caused by bamboo deformation during microwave heating.

References

- Farrelly, D. 1984. *The Book of Bamboo*. Sierra Club Books, San Francisco.
- Lessard, G. 1980. Foreword. *Proceeding of a Workshop held in Singapore, 28 - 30 May*.
- Liese, W. 1980a. *Anatomy of Bamboo*. *Proceeding of a Workshop held in Singapore, 28 - 30 May*. p 161-164.
- Liese, W. 1980b. *Preservation of Bamboos*. *Proceeding of a Workshop held in Singapore, 28 - 30 May*. p 165 - 172.

- Liese, W. 1985. Bamboos: Biology, Silvics, Properties, Utilization. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- McQuire, A.J. 1975. Effect of Wood Density on Preservative Retention in Fence Posts. New Zealand Journal of Forestry 5(1):105-109.
- Recht, C. and M.F. Wetterwald. 1992. Bamboos. Timber Press, Portland, Oregon.
- Vinden, P. and G. Torgovnikov. 1996. A Method for Increasing the Permeability of Wood. Patent No. PO 0850/96. Australia.
- Vinden, P. and G. Torgovnikov. 2000. The Physical Manipulation of Wood Properties Using Microwave. IUFRO Eucalyptus Working Party Conference Proceedings, 19-24 March 2000. Launceston, Tasmania. 240 - 247.
- Ximing, W.; X. ZhengHua; S. LiHui; Z. WeiHua. 2002. Preliminary Study on Microwave Modified Wood. China Wood Industry 16(4):16 -19.

Received : 10 March 2008
Accepted : 16 Juni 2008
Final revision : 24 Juni 2008

Krisdianto
PhD student of School of Forest and Ecosystem Science,
The University of Melbourne,
Water St., Creswick, Australia.
Email : k.sugiyanto@pgrad.unimelb.edu.au

Pengaruh Faktor L/d terhadap Perilaku Mekanik Balok Kayu Kelapa (*Cocos nucifera*)

The Influence of L/d Factor on the Mechanical Behavior of Coconut Timber Beam (*Cocos nucifera*)

Kusnindar. Abd. Chauf

Abstract

The characteristic of coconut timber as anisotropic material should be known for efficiency of flexure structure application. So the influence of L/d factor and the curvature of stress-strain must be known. Based on the coconut timber response towards load, it can be determined its flexure behaviour which consists of deformation, moment, curvature, stiffness and the failure mode. By an experiment it was obtained that the coconut timber at 30 year of age have density (ρ_{15}) = 0.52 g/cm³, modulus of elasticity (MOE) = 14478 MPa, tensile strength ($\sigma_{tr //}$) = 31.01 MPa, compression strength ($\sigma_{tk //}$) = 18.80 MPa, shear strength ($\tau_{//}$) = 10.15 MPa and bending strength (MOR) = 48.96 MPa. The maximum tensile strain is 0.0021 and compressing maximum strain is 0.0108. In this case $L/d \geq 14$ represented to determinant the flexure bending failure of coconut timber beam.

Key words: L/d factor, mechanical behaviour, coconut timber beam

Pendahuluan

Luas perkebunan Kelapa (*Cocos nucifera*) di Sulawesi Tengah pada tahun 2005 mencapai 172581 ha (Biro Infokom Sulteng 2007) dan berpotensi menghasilkan kayu 45190 m³/tahun. Potensi ini cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan kayu konstruksi, sekaligus dapat menghambat laju deforestasi hutan tropis. Untuk itu diperlukan kategorisasi karakteristik mekanik kayu Kelapa. Secara faktual asumsi tegangan-regangan linier tidak relevan dalam aplikasi balok kayu, karena nonlinieritas kayu akan mempengaruhi pola tegangan regangan lentur balok. Selanjutnya dalam hal kapasitas lentur balok maka rasio bentang-tinggi (L/d) sangat berperan dalam menentukan tingkat kekakuan. Dengan demikian pengaruh nonlinieritas bahan dan faktor L/d terhadap perubahan perilaku lentur balok kayu Kelapa harus diketahui.

Khusus untuk aplikasi balok, lentur murni di daerah momen konstan akan menimbulkan kelengkungan yang dinyatakan dalam Persamaan 1. Kelengkungan

maksimum merupakan indikator kapasitas lentur balok (MOR) dan intensitas kekakuan balok sangat ditentukan oleh deformasi vertikal (Gere dan Timoshenko 1987). Dalam hal ini beban retak tergantung pada lebar penampang, modulus elastisitas (MOE) dan modulus geser (G) seperti disajikan pada Gambar 1 dan Persamaan 2 (Gustafsson 1991 dalam Blass *et.al.* 1995). Reshke *et.al.* (2002) menyatakan bahwa defleksi maksimum merupakan penjumlahan defleksi lentur dan geser (Gambar 2 dan Persamaan 3).

Beban saat tercapai defleksi maksimum dan retak awal (P_{tp}) identik dengan beban *fracture* sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan 4. Dalam hal ini tipe kegagalan struktur balok kayu dianalisis berdasarkan perilaku nonlinier bahan (Barrett 1995) secara bertahap menurut deformasi yang terjadi (Chang 1996). Faktor L/d akan menentukan tipe kegagalan struktur balok (Soltis dan Rammer 1997). Dalam hal ini (d/L)² merupakan faktor yang mempengaruhi rasio δ_{geser} dan δ_{lentur} selain faktor E/G (Sulistiyawati 2006).

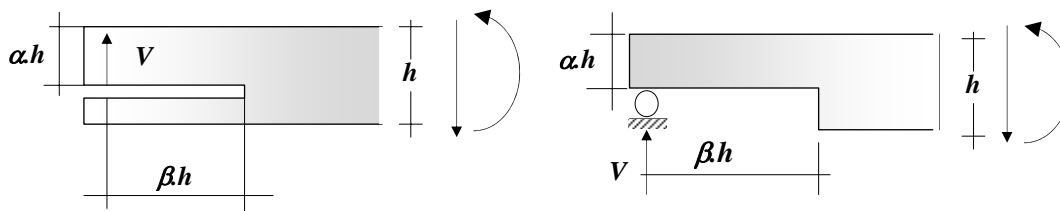


Figure 1. Simple beam with initial crack.

$$\varphi = \frac{M}{EI} = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_c = \frac{b \cdot \alpha \cdot h \cdot \left(\frac{G_c}{h}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{0,6 \cdot (\alpha - \alpha^2)}{G_v}\right)^{\frac{1}{2}} + \beta \cdot \left(\frac{6 \cdot (1/\alpha - \alpha^2)}{E_o}\right)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (2)$$

Notes: G_v = shear modulus, E_o = modulus of elasticity, βh = length of crack propagation, V_c = fracture load, G_c = critical energy (150 – 600 J/m²), φ = curvature, M = bending moment, and EI = stiffness factor

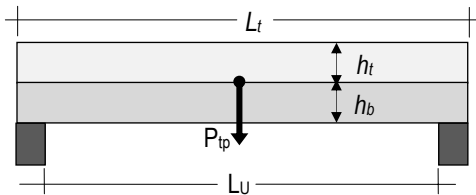


Figure 2. Simple beam with fracture loading.

$$\delta_{total} = \frac{Q_u \cdot L_u^3}{48EI} + \frac{4,8Q_u \cdot L_u}{AE} \dots\dots\dots (3)$$

$$P_{tp} = \frac{\delta_{total}}{\left(\frac{0,25L^3}{E \cdot b \cdot h} + \frac{4,8L}{E \cdot b \cdot h} \right)} \dots\dots\dots (4)$$

Notes: Q_u = ultimate load, A = cross section area dan P_{tp} = fracture load

Bahan dan Metode

Contoh uji diperoleh dari tebangan pohon Kelapa umur 30 tahun dengan membuang ¼ bagian tengah log, kemudian dibuat balok ukuran 6/10 ~ 2 meter. Balok-balok tersebut diberi perlakuan berupa pengeringan lambat untuk mencapai kadar air setimbang (12 ~ 16%). Pengujian awal dilakukan untuk menentukan *properties* bahan berdasarkan prosedur ISO. 3129 -1975 (E).

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data $P \sim \delta$ melalui pengamatan langsung deformasi balok pada eksperimen di laboratorium sebagaimana disajikan dalam Gambar 3. Berdasarkan data $P \sim \delta$ itu kemudian

dilakukan analisis tentang perilaku mekanik balok kayu Kelapa. Adapun dimensi balok uji ditentukan berdasarkan *properties* kayu Kelapa yang telah diperoleh sebelumnya. Dimensi dan jumlah sampel seperti pada Tabel 1.

L^* merupakan panjang keseluruhan balok uji (Tabel 1, kolom 6), sehingga bentang balok atau jarak antara dua tumpuan $L = L^* - 2 (1/2 d)$ karena ada *oversteak* sebesar 1/2 tinggi balok (1/2 d) pada masing-masing tumpuan (Gambar 3). Sebagai contoh; balok B6 dengan $L^* = 49$ cm, $d = 7$ cm, memiliki $L = 49 - [2 \times 1/2 (7)] = 42$ cm; sehingga $L/d = 42/7 = 6$ cm.

Table 1. Test method dan dimension of specimen.

Properties of Coconut Timber		Bending Test of Simple Beam				n
CODE	Type of Test	CODE	L/d	b/d	L* (cm)	
KR	Density	B6	6	5/7	49	20
TK	Compression parallel	B8	8	5/7	63	20
TR	Tension parallel	B10	10	5/7	77	20
GS	Shear parallel	B12	12	5/7	93	20
LT	Modulus of Rupture (MOR)	B14	14	5/7	116	20
EL	Modulus of Elasticity (MOE)	B16	16	5/7	122	20
		B18	18	5/7	134	20
		B20	20	5/7	148	20

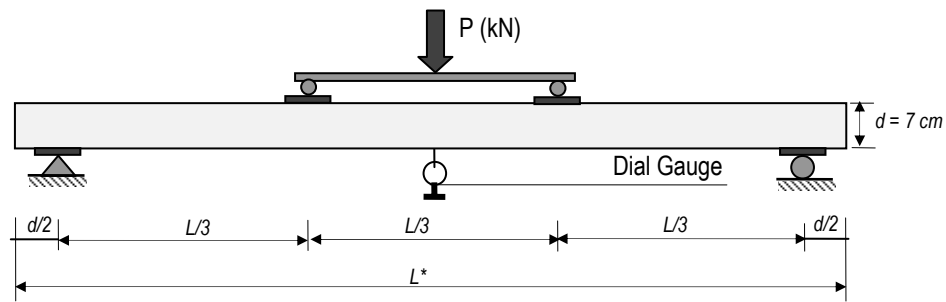


Figure 3. Setting up of simple beam test.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Kayu Kelapa

Besaran fisik dan mekanik kayu Kelapa umur 30 tahun pada kondisi kering udara ($w = 15.05\%$) disajikan dalam Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 dapat dinyatakan bahwa deformasi tarik sejajar serat bersifat linier elastis dengan regangan maksimum yang dicapai adalah 0.0021. Deformasi tekan sejajar bersifat nonlinier dengan regangan maksimum 0.0108 tanpa adanya zona plastis. Di bawah pembebanan lentur terjadi deformasi elastis linier sampai pada batas proporsional ($\epsilon_p = 0.002$), kemudian deformasi nonlinier dengan regangan maksimum (ϵ_{max}) 0.0064 dan kapasitas 48.96 MPa.

Modulus elastisitas tarik adalah 1.86 kali lebih besar dari modulus elastisitas tekan, dan modulus elastisitas lentur adalah relatif sama dengan $E_{tr//}$. Hal ini menunjukkan bahwa untuk aplikasi elemen lentur, modulus elastisitas kayu dapat diwakili oleh $E_{tr//}$. Jika

diklasifikasikan berdasarkan RSNI3-2002 maka kayu Kelapa yang berumur 30 tahun termasuk kelas E14 dengan MOE sebesar 14478 MPa dan kerapatan 0.52 g/cm³.

Perilaku Mekanik Balok Kayu Kelapa

Rasio bentang dan tinggi balok memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besaran dan pola deformasi balok kayu Kelapa. Berdasarkan Tabel 3 terdapat kecenderungan fluktuasi kekakuan balok mengikuti bertambahnya rasio L/d dengan puncak parabola pada nilai $L/d = 14$.

Pada balok dengan $L/d < 14$ tegangan lentur yang terjadi didominasi oleh gaya geser dan sebaliknya untuk balok dengan $L/d > 14$. Dalam hal ini $L/d = 14$ merupakan faktor rasio seimbang, karena kontribusi gaya geser dan momen lentur terhadap kegagalan balok adalah sama sebagaimana disajikan dalam Gambar 4.

Table 2. Physic and mechanic characteristic of coconut timber

Category	Intencity	Deformation Pattern
Moisture Content (w)	15.05 %	
Density (ρ_{15})	0.52 g/cm ³	
Tensile Strength ($\sigma_{tr//}$)	31.01 MPa	
Compression Strength ($\sigma_{tk//}$)	18.80 MPa	
Shear Strength ($\tau_{//}$)	10.15 MPa	
Bending Strength (MOR)	48.96 MPa	
Modulus of Elasticity in bending (MOE)	14478 MPa	
Modulus of Elasticity in tension parallel ($E_{tr//}$)	14355 MPa	
Modulus of Elasticity in compression parallel ($E_{tk//}$)	7722 MPa	
Maximum Bending Strain (ϵ_t)	0.0064	
Maximum Compression Parallel Strain ($\epsilon_{tk//}$)	0.0108	
Maximum Tensile Parallel Strain ($\epsilon_{tr//}$)	0.0021	

Table 3. Influence of L/d variation to strength and deformation pattern

L/d	P_{max} kN	δ_{max} mm	ϵ_{max}	σ_{tmax} MPa	M_{max} 10^5 Nmm	ϕ $10^{-6}/mm$	EI $EI (10^4 kNm^2)$							
6	13.19	11.74	0.0128	32.98	7.916	724.54	304.09							
8	10.55	12.00	0.0073	35.17	8.440	416.67	328.17							
10	12.50	22.17	0.0087	52.08	12.500	492.59	567.46							
12	10.25	29.15	0.0064	51.25	12.300	449.85	588.51							
14	10.00	26.48	0.0053	58.33	14.000	300.23	1070.87							
16	7.00	37.00	0.0035	46.67	11.200	321.18	989.25							
18	5.75	49.50	38.33	10.350	339.51	533.28	20	5.00	57.50	0.0045	33.33	10.000	319.44	336.08
20	5.00	57.50	0.0045	33.33	10.000	319.44	336.08							

Selanjutnya berdasarkan Gambar 5 dapat dinyatakan bahwa kenaikan faktor L/d menyebabkan penurunan kapasitas (P_{max}) yang disertai dengan peningkatan kemampuan berdeformasi (δ_{max}). Hal ini ditandai dengan penurunan gradien kurva $P - \delta$. Fakta yang diperoleh adalah bahwa semakin besar nilai L/d maka semakin besar pula lendutan maksimum yang dapat dicapai oleh balok.

Selanjutnya sebagai respon balok terhadap beban luar, maka penambahan L/d menyebabkan kelengkungan balok justru menurun untuk mengimbangi deformasi yang terjadi sampai terjadi kegagalan struktur secara total. Pengurangan kekakuan terjadi karena perubahan geometrik. Hal ini sangat jelas ditunjukkan pada Gambar 6 dengan regangan maksimum hancur dicapai jauh dibawah regangan maksimum bahan 0.0064.

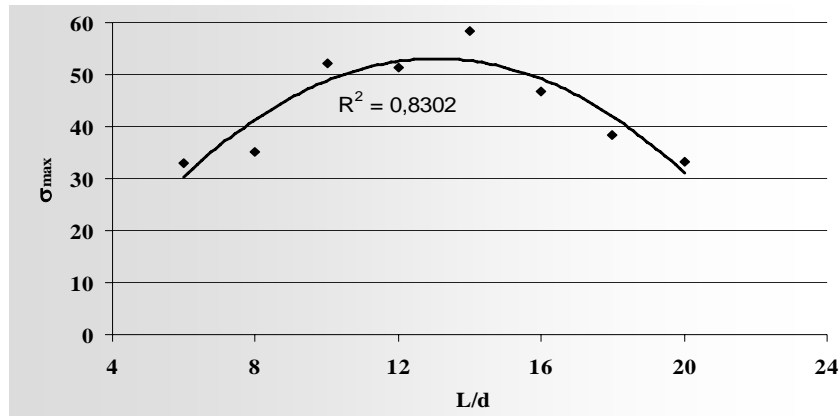


Figure 4. Influence of L/d factor to MOR.

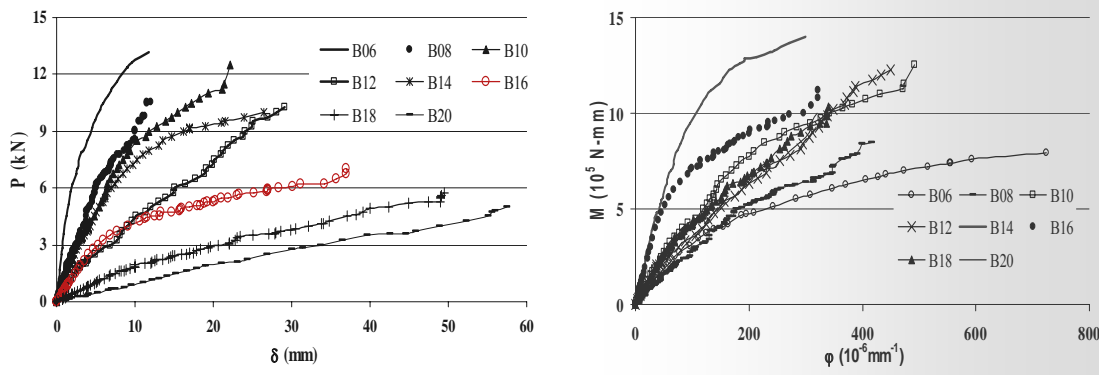


Figure 5. Deformation pattern of coconut timber beam.

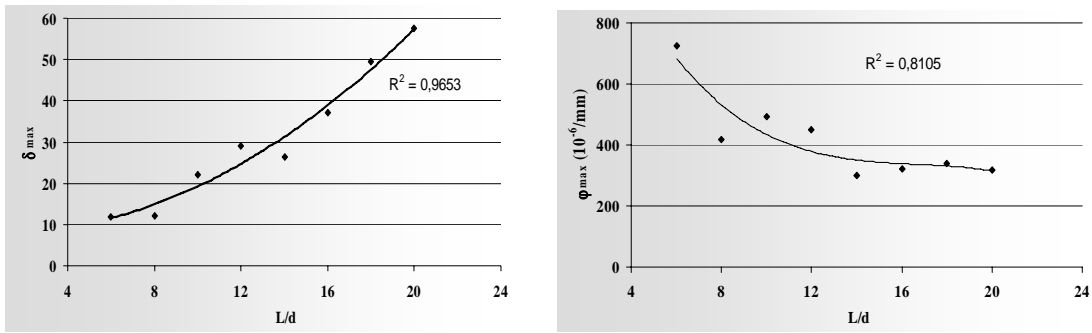


Figure 6. Influence of L/d factor to deformation of coconut timber beam.

Berdasarkan Gambar 7 terlihat pertambahan nilai L/d akan meningkatkan kekakuan balok sampai pada batas terjadinya kegagalan lentur dan geser secara bersamaan (kegagalan kombinasi). Dalam konteks ini untuk kayu Kelapa dengan kerapatan 0.52 g/cm^3 dan kadar air 15.05% kegagalan kombinasi terjadi pada $L/d = 14$ dengan kekakuan $1070.87 \times 10^4 \text{ kNm}^2$.

Selanjutnya karena pengaruh angka kekakuan itu maka terjadi keragaman pola retak balok sebagai

berikut; karena faktor cacat kayu dan pola susunan serat yang tidak sejajar sempurna, maka terjadi penyimpangan garis retakan transversal sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8. a.

Pada balok B16, B18 dan B20 terjadi kegagalan lentur sebagaimana dalam Gambar 8.b. Retak dimulai dari serat terluar dengan area retak pada 1/3 tengah bentang.

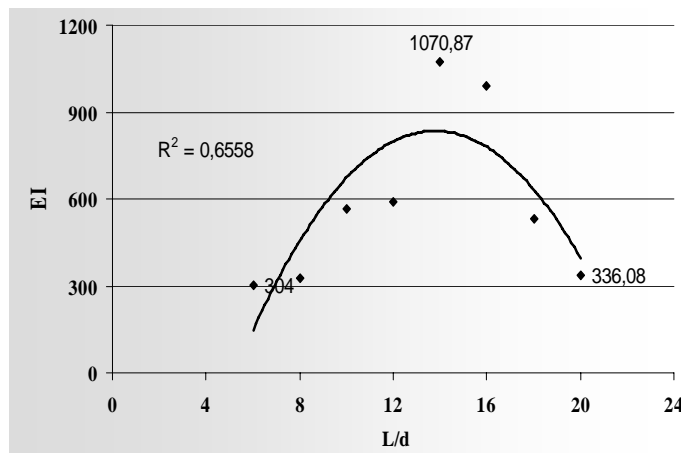


Figure 7. Influence of L/d factor to stiffness of coconut timber beam.

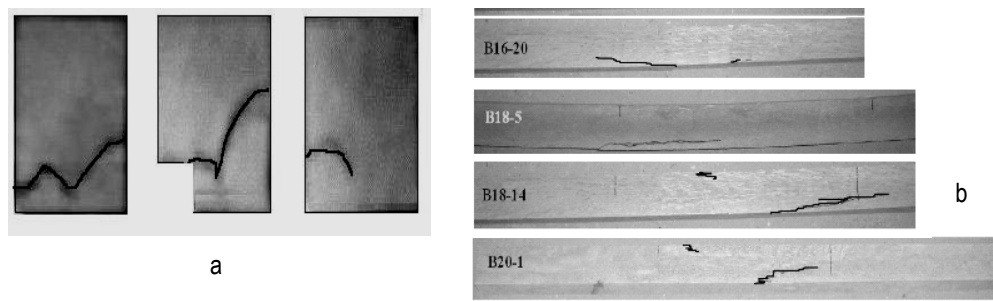


Figure 8. (a) Transversal crack pattern of flexure and shear failure area
(b) Longitudinal crack pattern of flexure failure of coconut timber beam

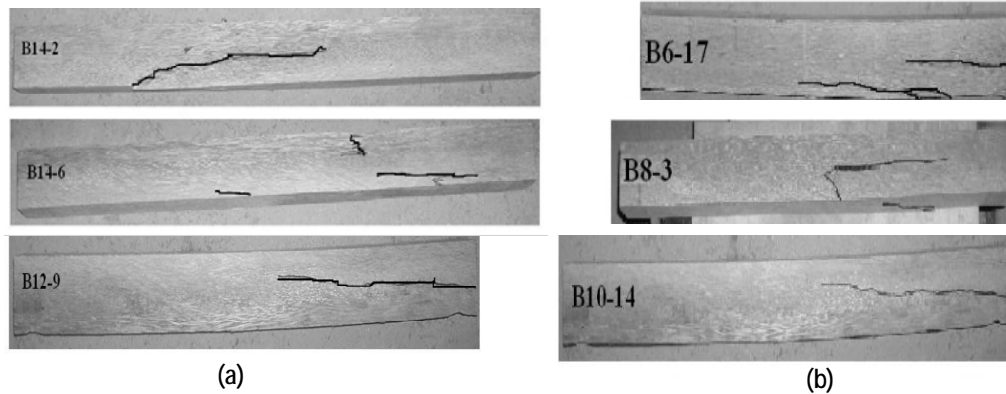


Figure 9. a. Balance failure b. Shear failure

Selanjutnya kegagalan kombinasi terjadi pada balok B12 dan B14 sebagaimana disajikan dalam Gambar 9.a. Keretakan terjadi secara bersamaan di daerah lentur dan geser. Pada balok dengan kegagalan geser, area retak yang terjadi pada daerah sekitar tumpuan yang dimulai dari sekitar sumbu netral balok sebagaimana disajikan dalam Gambar 9.b.

Kesimpulan

Karakteristik mekanik kayu Kelapa umur 30 tahun pada kondisi kering udara adalah kerapatan (ρ) = 0.52 g/cm³, modulus elastisitas (MOE) = 14.478 MPa, kuat tarik sejajar ($\sigma_{tr //}$) = 31.01 MPa, kuat tekan sejajar ($\sigma_{tk //}$) = 18.80 MPa, kuat geser ($\tau_{//}$) = 10.15 MPa dan kuat lentur (MOR) = 48.96 MPa.

Deformasi akibat beban aksial tarik sejajar serat bersifat linier dengan regangan maksimum 0.0021 dan deformasi akibat beban tekan sejajar serat bersifat nonlinier dengan regangan maksimum 0.0108.

Untuk mencapai kondisi kegagalan lentur pada aplikasi balok, maka harus digunakan faktor $L/d \geq 14$ dan sebaliknya jika dibutuhkan kondisi kegagalan geser. Dalam hal ini kenaikan faktor L/d menyebabkan penurunan kapasitas yang disertai dengan peningkatan kemampuan berdeformasi. Semakin besar nilai L/d maka semakin besar pula lendutan dan kelengkungan maksimum yang dapat dicapai oleh balok kayu Kelapa.

Daftar Pustaka

- Barrett, J.; F.Lam; W. Lau. 1995. Size Effect in Visually Graded Softwood Structural Lumber. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 7(1): 19-30.
- Biro Infokom Sulteng. 2007. Potensi Perkebunan Sulawesi Tengah. http://www.infokom_sulteng.go.id/sulteng.php. (12 Februari 2008).
- Blass, H.J.; P. Aune; B.S. Choo; R. Grolacher; D.R. Griffiths; G. Steck. 1995. *Timber Engineering Step I*. Centrum Hout, the Netherland.

- Chang, C. T.; P. Monteiro; K. Shyu. 1996. Behaviour of Marble under Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 8 (3): 157-170.
- Gere, J.M. and S.P. Timoshenko. 1987. *Mechanics of Materials*. Wadsworth Inc. California.
- ISO. 3129-1975 (E). *Pencuplikan dan Persyaratan Umum Uji Fisika dan Mekanika Kayu*.
- Reshke, R.G.; M. Mohammad; J.H.P. Quenneville. 2002. Influence of Joint-configuration Parameters on Strength of Perpendicular-to Grain-bolted Timber Connections. Thesis. Departement of civil Engineering, Royal Military College of Canada, Kingston, Ontario.
- RSNI3, 2002. *Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia*. Badan Standarisasi Nasional.
- Soltis, L.A. and D.R. Rammer 1997. Bending to Shear Ratio Approach for Beam Design. *Forest Products Journal* 47 (1): 104-108.
- Sulistiyawati, I. 2006. Ratio of Shear to Bending Deflection and Its Influence to Bending Stiffness (EI) of Timber Beam. *J. Tropical Wood Sc. & Tech* 4 (2): 44-49.

Makalah masuk (*received*) : 04 April 2008

Diterima (*accepted*) : 05 Mei 2008

Revisi terakhir (*final revision*) : 12 Mei 2008

Kusnindar Abd. Chauf

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

(Lecturer of Civil Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tadulako University)

Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu Sulawesi Tengah

Tel : 0451 22611 ext 163

HP : 081341177506

E-mail : kus_untad@yahoo.co.id

Kekuatan Lentur *Glued Laminated* (Glulam) Kayu Vertikal dan Horizontal dengan Metode "*Transformed Cross Section*"

The Bending Strength of Vertical and Horizontal Glued Laminated Timber by "Transformed Cross Section" Method

I. Sulistyawati, N. Nugroho, S. Surjokusumo, dan Y.S. Hadi

Abstract

The bending strength of glued laminated (glulam) timber whose laminas were arranged horizontally will differ from vertically arranged. The important difference was known and used as consideration in lamina arrangement of glulam beam. The determination of precise lamina arrangement will result in maximal strength of design. The aim of this research was to analyze the strength or bending stress in each layer of lamina including maximum stress or modulus of rupture (MOR) of horizontal or vertical glulam beam. The analysis was conducted by using "Transformed Cross Section Area" method. Each glulam represented lamina formation from two wood species with higher modulus of elasticity (MOE) from Kempas (*Koompassia malaccensis* Maing) and lower one from Borneo (Mixed Species). Lamina with higher level of MOE was arranged in upper and lower edge for horizontal glulam, right and left edge for vertical glulam beam. Lamina with lower MOE was arranged in the middle of the beam. The comparison of higher to lower MOE of lamina was around 1.50 up to 1.70. Epoxy EWA-120 as synthetic adhesive was used with 150 g/m² glue spread. The result of laboratory examination of both glulam types showed that the average maximum load of vertical glulam was 13.53% higher than horizontal glulam beam, and also MOR of vertical glulam was around 27% higher than horizontal glulam beam. Based on The transformed cross section area method, nominal strength of horizontal glulam has linear function at the entire height. The actual strength that happened at lamina of horizontal glulam beam with lower MOE was smaller than nominal strength. The actual strength that happened at symmetrically vertical glulam beam at its height direction was maximal at the uppers and the lowest side, while it was zero at neutral line.

Key words: modulus of elasticity, modulus of rupture, transformed cross section area, glued laminated (glulam).

Pendahuluan

Didalam perkembangan perencanaan struktur, perencana mempunyai inovasi dan daya kreatif tinggi. Perencana struktur cenderung mencari kemungkinan perencanaan yang sesuai dengan kegunaan, dan memenuhi syarat kekuatan serta ekonomis. Jenis material, bentuk dan metoda struktur merupakan hal yang perlu mendapat pertimbangan didalam suatu perencanaan. Glulam merupakan salah satu pilihan yang tepat. Glulam singkatan dari *Glued Laminated* adalah susunan beberapa lapis kayu direkatkan satu sama lain secara sempurna menjadi satu kesatuan tanpa terjadi diskontinuitas perpindahan tempat (Gurdal *et al.* 1999). Arah serat seluruh lapisan paralel terhadap panjang balok. Dua prinsip desain laminasi adalah memaksimalkan dimensi dengan meminimalkan material, apabila kedua prinsip tersebut dapat dilakukan secara simultan maka tujuan penggunaan laminasi dapat dicapai secara maksimal, sehingga laminasi merupakan desain ekonomis dengan tetap memenuhi prinsip struktural (Bodig dan Jayne 1993). Juga beberapa pernyataannya adalah kayu sebagai material alamiah berupa balok atau log mungkin belum merupakan produk yang efisien sebagai komponen struktural; sebuah balok kayu utuh

dengan adanya cacat kayu, kapasitas memikul beban menjadi lebih kecil; dengan memotong menjadi beberapa lapis lebih tipis yang biasa disebut lamina dan kemudian melekatkan kembali dengan menghilangkan cacat kayu atau mengatur posisi cacat kayu secara tepat maka sifat mekanisnya akan meningkat.

Lapisan kayu dapat diatur dengan mutu disesuaikan dengan fungsi ditinjau dari segi kemampuan struktural didalam menerima beban. Dengan susunan lapisan yang mempunyai mutu berbeda pada lapis tertentu akan meningkatkan sifat mekanis kayu antara lain kekuatan dan kekakuannya. Dengan menyusun lapisan kayu dan memberikan lapisan yang mempunyai mutu lebih tinggi pada daerah dengan tegangan besar dan mutu yang lebih rendah pada daerah lainnya, penampang laminasi akan bekerja efektif didalam menerima beban lentur sehingga akan mempengaruhi kekuatan lentur maupun kekakuan dari satu kesatuan laminasi tersebut. Ritter dan Williamson (1995), menyatakan bahwa glulam dapat dibuat secara horisontal yang disebut glulam horisontal dengan penempatan laminasi dengan kualitas tinggi pada posisi teratas dan terbawah balok; didalam perkembangan desain juga dikembangkan glulam vertikal untuk sistim dek jembatan.

Ditinjau dari segi ekonomis kelebihan laminasi adalah: mempunyai kemampuan meningkatkan dimensi, yaitu dari persediaan material yang lebih kecil atau tipis dapat disusun menjadi satu kesatuan laminasi dengan dimensi yang lebih besar; mempunyai kemampuan membuat bentuk struktural seperti lengkung, yang mana hal ini sulit apabila menggunakan material lainnya; mempunyai nilai keindahan ditinjau dari segi arsitektural. Hal-hal tersebut di atas menjadikan laminasi mempunyai nilai tambah atau nilai jual yang lebih tinggi.

Salah satu kajian dalam menganalisis kekuatan glulam adalah untuk mengetahui tegangan lentur atau sering juga dikatakan sebagai tegangan normal, yang terjadi akibat adanya pengaruh lentur. *Modulus of Rupture (MOR)* merupakan kekuatan atau tegangan lentur maksimum terjadi pada serat tepi atas dan bawah, masing-masing mengalami lentur tekan atau tarik. Lamina dimodelkan sebagai material ekuivalen homogen dengan *MOE* konstan pada seluruh penampang. Didalam analisis kekuatan glulam tidak dapat dilakukan seperti pada balok dengan kayu utuh, oleh karena glulam tersusun dari beberapa lapis material dengan *MOE* berbeda. Analisis kekuatan untuk glulam dilakukan menggunakan metoda "*Transformed Cross Section*", yaitu metoda penggunaan konversi nilai *MOE* yang bervariasi pada masing-masing lamina terhadap satu nilai *MOE*, dan metoda ini mempunyai pengaruh mengurangi lebar lamina dengan *MOE* rendah, dan menambah lebar lamina dengan *MOE* tinggi (Bodig dan Jayne 1993). "*Transformed Cross Section*" merupakan potongan melintang transformasi komponen material homogen dengan satu nilai *MOE* yang merupakan hasil perubahan dari bentuk komponen komposit (Beer dan Johnston 1992). Prediksi kekuatan glulam dilakukan dengan metoda "*Transformed Cross Section*" dibandingkan terhadap pengujian laboratorium menghasilkan nilai yang hampir sama (Lee dan Kim 2000).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kekuatan atau tegangan lentur pada setiap lapisan lamina termasuk tegangan lentur maksimum atau *modulus of rupture (MOR)* balok glulam yang disusun secara horisontal dan vertikal, dan membandingkan hasil keduanya.

Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Keteknikan Kayu Institut Pertanian Bogor Darmaga Bogor, dari persiapan bahan, pembuatan contoh uji sampai dengan pengujian laboratorium. Kayu yang dipergunakan adalah jenis kayu Kempas (*Koompassia Malaccensis* Maing) dan Borneo (*Mixed Species*) yang dibeli di pasaran dengan ukuran 6 cm x 12 cm x 400 cm pada dimensi tebal, lebar dan panjang. Bahan perekat yang digunakan didalam pembuatan glulam adalah perekat sintesis *Epoxy Bond*

EWA 120. Dari balok tersebut terlebih dahulu diadakan pemilahan kekuatan (*stress grading*) dengan uji lentur menggunakan alat *Panter*, kemudian ditentukan kelas kuat kayu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 2002) tentang "Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu". Dari kayu yang telah dikelompokkan berdasarkan kelas kuat kayu dibuat lamina ukuran 1.25 cm x 5 cm x 76 cm dengan seluruh permukaan diserut halus. Masing-masing lamina diadakan pemilahan dan dikelompokkan berdasarkan kelas kuatnya. Dari hasil pemilahan lamina menunjukkan bahwa kelas kuat kayu Kempas antara *E16-E21* dan Borneo antara *E10-E14*. Glulam terdiri dari 4 (empat) lapis lamina dengan kelas kuat tinggi yaitu dari kayu Kempas disusun masing-masing pada sisi atas dan bawah untuk glulam horizontal dan sisi kiri dan kanan untuk glulam vertikal, sedangkan pada bagian tengah merupakan lamina dari kayu Borneo dengan *MOE* lebih rendah. Susunan lamina berdasarkan kelas kuat untuk glulam horizontal dan vertikal dapat dilihat seperti pada Gambar 1. Pemberian perekat dengan berat labur 150 g/m² dilakukan pada kedua permukaan antar lapis lamina kemudian diklem selama 24 jam. Dimensi glulam adalah 5 cm x 5 cm x 76 cm. Pengujian lentur glulam dilakukan berdasarkan ketentuan yang diatur dalam *American Society for Testing and Material (ASTM) D 143*, "*Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*", *Section 8: Static Bending (ASTM 2005)*. Balok glulam diletakkan dengan bentang bersih 71 cm di atas perletakan sendi dan rol. Balok dibebani dengan 2 (dua) buah beban terpusat masing-masing terletak pada jarak 1/3 bentang bersih (*third point loading*). Pembebanan diberikan hingga terjadi keruntuhan pada balok dan diadakan pembacaan pertambahan besar beban dan defleksi yang terjadi ditengah bentang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* merk *Baldwin*. Kadar air diukur beberapa saat sebelum pengujian dengan bantuan alat *digital moisture content* dan diperoleh nilai sekitar 14 ~ 16 %.

Susunan 4 (empat) lapis lamina dengan *MOE* lebih tinggi pada sisi atas dan bawah untuk glulam horizontal dan sisi kiri dan kanan untuk glulam vertikal. Susunan lamina dengan masing-masing nilai *MOE* dapat dilihat pada Tabel 1, perbandingan *MOE* tinggi terhadap rendah sekitar 1.50 sampai dengan 1.70. Kelas Kuat (*E*) menyatakan nilai *MOE* kayu ($E_n - 1$) x 10.000 kg/cm² (SNI 2002). Sebagai contoh *E21* mempunyai nilai *MOE* = 200.000 kg/cm². Secara skematis gambar penampang glulam serta letak pembebanan pada pengujian lentur dilaboratorium dapat dilihat seperti pada Gambar 1.

Tegangan lentur yang terjadi pada setiap ketinggian penampang terlebih dahulu dihitung sebagai tegangan lentur nominal berdasarkan penampang dengan masing-masing *MOE* lapisan lamina yang telah ditransformasi pada satu lamina tertentu. Pada kasus ini ditentukan *MOE* yang tetap adalah lamina pada lapisan atas untuk glulam

horizontal dan tepi pada glulam vertikal, *MOE* terbesar ditentukan sebagai pengukur, sedangkan lainnya sebagai nilai transformasi.

Table 1. The arrangement of lamina based on the strength grade of wood.

HORIZONTAL GLULAM		VERTICAL GLULAM	
Specimen	Strength Grade	Specimen	Strength Grade
H1	21	V1	21
	14		14
	14		14
H2	21	V2	21
	20		20
	13		13
H3	13	V3	13
	20		20
	19		19
H4	13	V4	13
	19		19
	18		18
H5	11	V5	11
	11		11
	18		18
	16		16
	10		10
	10		10
	16		16

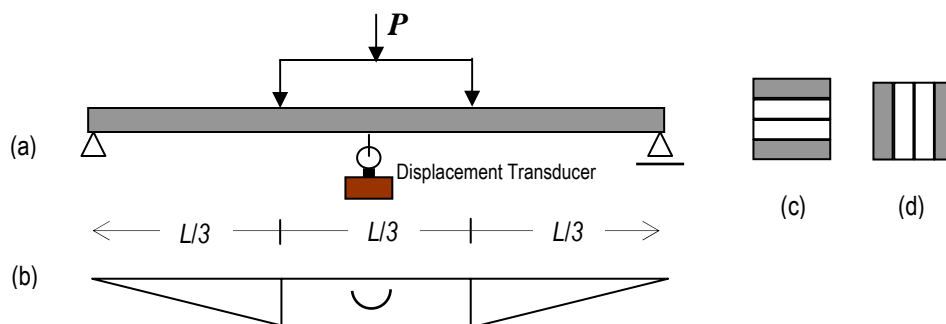


Figure 1. Schematic of bending test examination.

Notes:

- (a) Two point loading test (P = load ; L = span)
- (b) Bending moment diagram
- (c) Horizontal glulam cross section
- (d) Vertical glulam cross section

Faktor transformasi dari lapisan lamina adalah:

$$n = \frac{E_i}{E_n} \quad (1)$$

dimana:

- n = faktor transformasi
- E_n = MOE pengukur
- E_i = MOE tertransformasi pada lapisan ke i

Secara umum tegangan lentur nominal dapat dinyatakan,

$$\sigma_n = \frac{M}{I_{tr}} y \quad (2)$$

dimana:

- σ_n = tegangan lentur nominal (kg/cm²)
- M = momen = $1/6 PL$ (kgcm)
- I_{tr} = momen inersia transformasi (cm⁴)
- Y = jarak titik tinjauan terhadap garis netral penampang (cm)

Dari tegangan lentur nominal dapat ditentukan tegangan aktual yang terjadi pada setiap titik dengan memperhitungkan kembali pengaruh MOE asalnya, sehingga dapat dituliskan bahwa,

$$\sigma_a = \frac{M}{I_{tr}} y \frac{b_{tr}^i}{b_i} \quad (3)$$

dimana:

- σ_a = tegangan lentur aktual (kg/cm²)
- b_i = lebar balok pada lapis ke i
- b_{tr}^i = lebar balok transformasi pada lapis ke i

dan (4)

$$I_{tr} = 2 \sum_i^n [I_{0_{tr}}^i + A_{tr}^i (d^i)^2]$$

untuk glulam horizontal

$$I_{tr} = \sum_i^n \frac{1}{12} b_{tr}^i h^3$$

untuk glulam vertikal

dimana:

- $I_{0_{tr}}^i$ = momen inersia elemen i tertransformasi (cm⁴)
- A_{tr}^i = luas lamina lapisan i tertransformasi (cm²)
- d^i = jarak titik berat elemen i terhadap garis netral penampang (cm)
- h = tinggi penampang (cm)

Hasil dan Pembahasan

Oleh karena balok glulam yang diteliti adalah simetris pada arah ketinggiannya, maka kekuatan lentur maksimum tarik dan tekan adalah sama, tarik terjadi pada serat sisi bawah dan tekan pada sisi atas penampang glulam. Kekuatan lentur maksimum terjadi pada daerah yang mengalami momen lentur terbesar yaitu di tengah bentang di antara dua beban terpusat. Dari hasil pengamatan, akibat terjadinya leturan pada balok glulam terjadi slip di antara lapisan pada daerah tarik. Hal ini seharusnya tidak diharapkan apabila penampang glulam adalah monolit. Tidak menyatunya antar lapisan glulam disebabkan kurang sempurnanya proses perekatan, menyebabkan penurunan sifat mekanis glulam, sehingga kekuatan akan menurun, hal ini dinyatakan pula oleh Sulistyawati dan Surjokusumo (2003) dan Sulistyawati *et al.* (2008). Kerusakan (*failure*) dari glulam vertikal seperti layaknya pada kayu utuh, yaitu diawali kerusakan pada serat terpepi daerah tarik. Gaya maksimum yang dapat dipikul pada balok glulam horizontal adalah antara 1284 ~ 1729 kg dan rata-rata 1482 kg, sedangkan 1341 ~ 1934 kg untuk balok glulam vertikal dengan rata-rata 1683 kg.

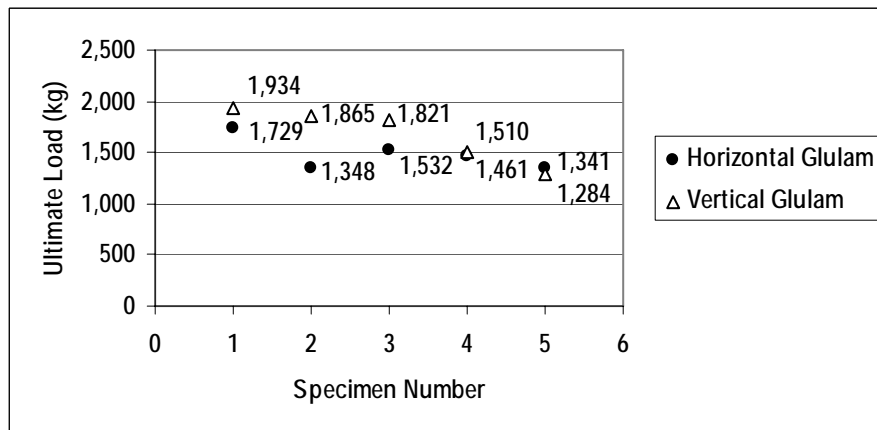


Figure 2. Ultimate load of horizontal and vertical glulam beam.

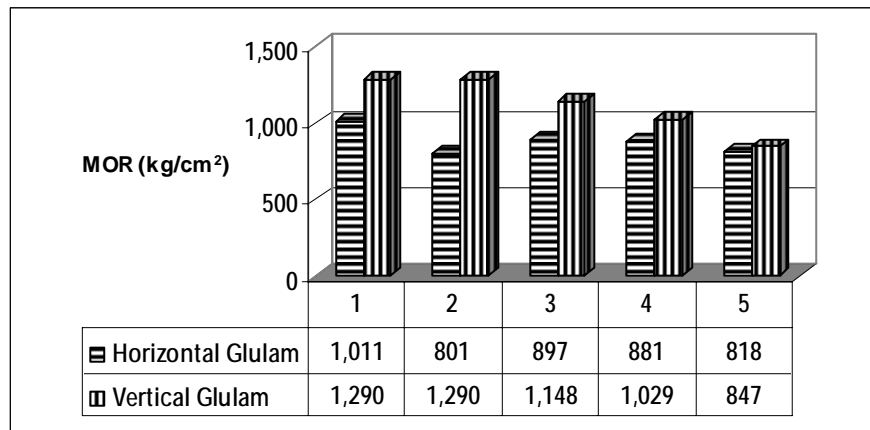


Figure 3. The Modulus of Rupture of glulam beam.

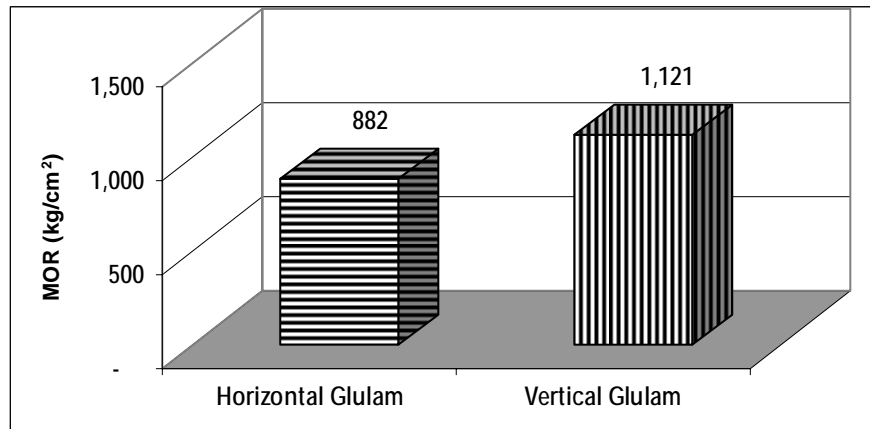


Figure 4. The average of Modulus of Rupture of glulam beam.

Dari hasil analisis untuk kedua jenis balok Glulam, diperoleh hasil bahwa seluruh MOR balok Glulam vertikal adalah lebih tinggi daripada glulam horizontal (Gambar 3). Nilai MOR contoh uji 1 (satu) sampai dengan 5 (lima) yaitu dengan kombinasi MOE yang lebih tinggi sampai dengan lebih rendah untuk balok glulam horizontal dan vertikal menurun dan dapat dinyatakan dengan persamaan masing-masing $y = 13.028 x^2 - 108.86 x + 1065$ dengan $R^2 = 0.4378$ dan $y = -24.457 x^2 + 32.113 x + 1293.6$ dengan $R^2 = 0.9893$. Rata-rata MOR balok glulam horizontal adalah 882 kg/cm² dan 1,121 kg/cm² untuk balok glulam vertikal sehingga MOR balok glulam vertikal adalah 27% lebih besar dibandingkan dengan balok glulam horizontal (Gambar 4).

Sketsa tegangan lentur nominal maupun aktual yang terjadi pada setiap lapis tinjauan dari penampang balok glulam dapat dilihat seperti pada Gambar 5. Sebagai gambaran didalam perhitungan tegangan lentur aktual balok glulam horizontal menggunakan metoda "Transformed Cross Section" diambil data pengujian lentur balok glulam nomor 1 (satu). Susunan MOE 4 lapis

lamina dari lapisan teratas sampai terbawah adalah masing-masing 200,000 kg/cm² (E21), 130,000 kg/cm² (E14), 130,000 kg/cm² (E14), dan 200,000 kg/cm² (E21). Tegangan lentur nominal yang diperoleh pada serat tepi tertekan (teratas) dan tertarik (terbawah) adalah 1,011 kg/cm². Faktor transformasi n masing-masing lapisan lamina dapat dihitung menggunakan rumus 1, dari nilai tersebut dapat diperoleh lebar lamina tertransformasi. Tegangan lentur aktual dihitung pada masing-masing ketinggian lamina berdasarkan rumus 3. Sebagai contoh tegangan lentur aktual pada tepi atas lamina dengan ketinggian 1.25 cm dibawah garis netral adalah $506 \text{ kg/cm}^2 \times ((13,000/20,000)(5)/5) = 329 \text{ kg/cm}^2$. Terlihat bahwa pada lapisan dengan MOE lebih kecil, tegangan lentur aktual juga lebih kecil dibandingkan tegangan nominalnya. Pengurangan nilai tegangan lentur aktual sebanding dengan faktor transformasi pada lapisan lamina. Secara rinci seluruh nilai tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 2.

Table 2 The Bending strength of horizontal glulam on each height.

The Section Height (cm)	Bending Strength (kg/cm ²)	
	Nominal	Actual
2.5	-1,011	-1,011
1.25	-506	-506
1.25	-506	-329
0	0	0
-1.25	506	329
-1.25	506	506
2.5	1,011	1,011

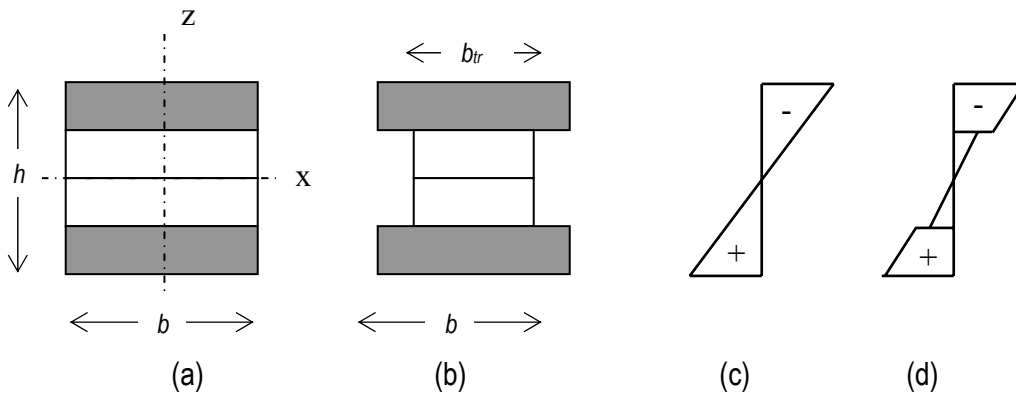


Figure 5. The Bending strength diagram of horizontal glulam.

Notes:

- (a) Horizontal glulam cross section (h = height; b = width; b_{tr} = transformation width; x = horizontal axis; y = vertical axis)
- (b) Transformed cross section
- (c) Diagram of nominal bending strength
- (d) Diagram of actual bending strength

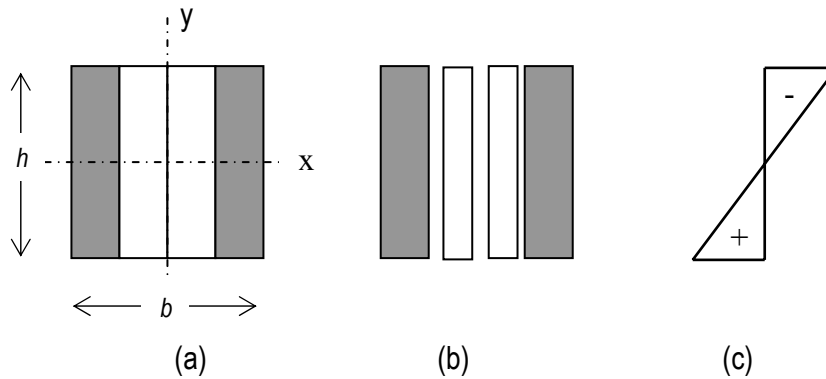


Figure 6. The bending strength diagram of vertical glulam.

Notes:

- (a) Vertical glulam cross section
- (b) Transformed cross section
- (c) Diagram of nominal bending strength (=actual bending strength)

Tegangan lentur nominal maupun aktual yang terjadi pada glulam vertikal yang simetris pada arah ketinggiannya adalah linier, maksimum pada serat sisi atas dan bawah serta nol pada garis netralnya, dapat dilihat pada Gambar 6. Hal ini terjadi oleh karena masing-masing lamina mempunyai lebar transformasi yang tetap pada seluruh ketinggiannya, tidak terjadi perubahan lebar lamina oleh karena *MOE* sama pada seluruh ketinggian laminanya. Tegangan maksimum pada serat sisi atas dan bawah merupakan nilai *MOR* dengan masing-masing nilai untuk kelima jenis benda uji glulam vertikal dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

Kesimpulan dan Saran

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa gaya maksimum balok glulam vertikal 13.5% lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok glulam horizontal; *MOR* glulam vertikal lebih tinggi 27% dari pada glulam horizontal, artinya glulam vertikal lebih kuat dari glulam horizontal; terjadi perbedaan nilai antara tegangan lentur nominal dan aktual pada lapisan lamina tertentu pada balok glulam horizontal; besar tegangan lentur nominal dan aktual pada masing-masing ketinggian lamina balok glulam vertikal adalah sama; kerusakan (*failure*) balok glulam horizontal sering diawali dengan terjadinya slip pada sambungan antara lapisan diikuti kerusakan pada serat terbawah daerah tarik, sedangkan kerusakan balok glulam vertikal terjadi hanya pada serat terbawah daerah tarik.

Disarankan mengadakan penelitian lanjutan untuk mendapatkan kekuatan lentur balok glulam horizontal dan vertikal dengan dimensi penampang melintang, jumlah lamina, dan variasi *MOE* berbeda yang dihitung dengan metoda “*Transformed Cross Section*” dibandingkan dengan cara konvensional.

Daftar Putaka

- American Society for Testing and Material (ASTM). 2005. Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.10. Wood. D 143-05 Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber. Section 8: Static Bending. USA.
- Beer, F.P. and E.R. Johnston. 1992. Mechanics of Materials. McGraw-Hill. London.
- Bodig J. and B.A. Jayne. 1993. Mechanics of Wood and Wood Composites. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA.
- Gurdal, Z.; R.T. Haftka; P. Hajela. 1998. Design and Optimization of Laminated Composite Material. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lee, J.J. and G.C. Kim. 2000. Study on the Estimation of the Strength Properties of Structural Glued Laminated Timber I: Determination of Optimum *MOE* as Input Variable. Journal of Wood Science 46(2): 115-121
- Ritter, M.A. and T.G. Williamson. 1995. Glulam Timber Bridge Design in the United States. Proceedings of 27th Meeting of International Council for Building Research Studies and Documentation. Germany: Universitat Karlsruhe, CIB-W18/27-1.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2002. Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu Indonesia. Badan Standarisasi Nasional (BSN). Indonesia.
- Sulistiyawati, I. and S. Surjokusumo. 2003. The Behavior of Horizontal and Vertical Glued Laminated Timber Under Bending Load. Proceedings of the Ninth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. 16-18 December 2003, Bali. Hal: MTS-1.
- Sulistiyawati, I.; N. Nugroho; S. Surjokusumo; Y.S. Hadi. 2008. The Performance of Lamina's Thickness for Horizontally Glued Laminated Beam. Proceedings of 10th World Conference on Timber Engineering. June 2008, Miyazaki, Japan. page 152.
- Makalah masuk (*received*) : 29 Januari 2008
 Diterima (*accepted*) : 30 Mei 2008
 Revisi terakhir (*final revision*) : 02 Juli 2008
- Indah Sulistiyawati
 Mahasiswa Program Pasca Sarjana, Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (*Graduate Student at Forest Products Department, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University*)
- dan
 Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti (*Lecturer of Civil Department, Faculty of Civil Engineering and Planning, Trisakti University*)
 Tel : 08161316634; 08131119601
 E-mail : indahusakti@yahoo.com
- Naresworo Nugroho, Surjono Surjokusumo dan Yusuf Sudo Hadi
 Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (*Forest Products Department, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University*)
 Tel : 0251-621285
 HP : 0811165232 (Surjono Surjokusumo)
 E-mail : naresworo@yahoo.com
 yshadi@indo.net.id

Sifat Fisis Mekanis Papan Partikel dari Serat Sisal atau Serat Abaka setelah Perlakuan Uap

Physical and Mechanical Properties of Particleboard Made from Steamed Treated Sisal or Abaca Fibers

Firda Aulya Syamani, Kurnia Wiji Prasetyo, Ismail Budiman, Subyacto, dan Bambang Subiyanto

Abstract

Composites made from natural fibers have several weakness, particularly on thickness swelling, due to fiber dimensional changes during swelling of fiber cell wall or changing of lumen dimension by moisture uptaken. Steam treatment on fiber had been expected could reduced fiber water absorbcancy by plasticized matrix of fiber cell walls. Fiber of Sisal and Abaca was chopped into 0.5 ~ 2.0 cm of length. Steam treament was conducted in autoclave for 30 minutes on 1.15 atm of pressure and 121°C of temperature. Chopped fiber was dried in 60°C oven to obtain 4% of moisture content. Dried fiber was mixed with 10% urea formaldehyde (UF) resin or 8% and 10% melamine urea formaldehyde (MF) resin (based on weight of fiber oven-dried). Glued fiber was formed into 25cm x 25cm x 0.8cm mat, then hot pressed at 20 kgf/cm² pressure for 10 minutes. Target density was 0.7 g/cm³. Composites conditioning was conducted at room temperature for moisture equilibrium to the enviroment. Physical dan mechanical characteristics testing was carried out based on JIS A 5908 for particle board. Steam treatment could improved physical and mechanical properties of particleboard made from sisal fiber using 8% MF.

Key words : *Sisal, Abaca, steam treatment, autoclave, composite, physical and mechanical properties*

Pendahuluan

Pemanfaatan serat alam, sebagai bahan baku produk papan partikel masih membutuhkan berbagai penelitian untuk mendapatkan sifat produk yang memenuhi standar. Produk papan partikel dari serat Abaka dan Sisal masih memiliki kelemahan yaitu sifat pengembangan tebal yang masih tinggi (Syamani *et al.* 2006). Pengembangan tebal disebabkan karena perubahan dimensi serat akibat pengembangan dinding sel serat atau perubahan ukuran rongga serat akibat menyerap air. Penyerapan uap air akan menyebabkan mengembangnya dinding sel serat. Sedangkan rongga serat yang mengecil pada saat pengempaan, mudah kembali ke ukuran semula karena perekat tidak dapat memasuki rongga serat dan mengikatnya dengan baik.

Pengembangan tebal dari produk yang terbuat dari bahan berlignoselulosa dapat diatasi dengan perlakuan uap. Sekino *et al.* (1997) menjelaskan bahwa perlakuan uap terhadap bahan berlignoselulosa dikelompokkan menjadi perlakuan uap terhadap biomassa sebelum pembentukan mat, pengempaan dengan *steam injection* (uap mengenai biomass dan perekat), dan perlakuan uap terhadap panel setelah pengempaan panas. Perekat yang digunakan pada perlakuan uap sebelum pembentukan mat adalah *urea formaldehyde* (UF) atau *melamine urea formaldehyde* (MUF). Sedangkan perekat yang digunakan pada perlakuan *steam injection pressing* dan perlakuan uap setelah pengempaan panas adalah *isocyanate* dan *phenol formaldehyde* (PF).

Menurut Sekino *et al.* (1999), alasan dari ketidakstabilan dimensi suatu panel adalah perubahan bentuk partikel karena penekanan, yang terjadi secara temporer selama pengempaan, dan akan kembali ke bentuk awal ketika partikel menyerap air atau uap air. Namun mekanisme pengembangan tebal panel lebih kompleks, karena dalam panel, sebetulnya partikel berikatan dengan adanya perekat, yang dapat mencegah terjadinya pengembangan tebal. Terjadinya pengembangan tebal panel merupakan kombinasi dari potensi *thickness recovery* dari partikel yang didensifikasi, dan kerusakan dari jaringan ikatan perekat (kekuatan ikatan antara partikel atau tekanan pada ikatan perekat).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh perlakuan uap dan jenis perekat terhadap sifat fisis dan mekanis produk papan partikel serat alam yang dihasilkan.

Bahan dan Metode

Bahan baku serat Sisal dari Blitar, Jawa Timur, berasal dari daun tanaman *Agave Sisalana*. Sedangkan serat Abaka berasal dari batang tanaman *Musa textilis* dari Subang, Jawa Barat. Serat diproses menggunakan mesin dekortikator kemudian dikeringkan di udara terbuka. Perekat urea formaldehida (UF) dan melamin formaldehida (MF) yang digunakan, diproduksi oleh PT Palmolite Adhesive Industry, Jawa Timur (Anonymous 1999).

Persiapan serat, dilakukan dengan memotong serat Sisal dan Abaka sepanjang 0.5 ~ 2.0 cm. Untuk pembuatan papan kontrol, serat dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C, sampai kadar air serat sekitar 4%. Setelah pengeringan, serat siap digunakan dalam pembuatan papan partikel. Sementara itu, serat yang mendapatkan perlakuan uap, dimasukkan ke dalam otoklaf. Di mana otoklaf (merk *Antonfield*) yang digunakan berupa tabung tertutup dengan diameter 31 cm dan tinggi 72 cm. Dalam otoklaf tersebut air dipanaskan pada suhu 121°C selama 30 menit sehingga menghasilkan uap yang bertekanan 1.15 atm. Kemudian serat dikeringkan dalam oven bersuhu 60°C sebelum digunakan dalam pembuatan papan partikel. Ukuran papan partikel berupa papan yang dibuat adalah 25cm x 25cm dengan ketebalan 0.8 cm. Target kerapatan papan adalah 0.7 g/cm³. Perekat yang digunakan adalah UF dengan kadar perekat 10% dan MF dengan kadar perekat sebesar 8% dan 10% berdasarkan berat kering serat.

Serat dan perekat dicampur dalam drum pencampur (*drum mixer*) menggunakan alat penyemprot (*spray gun*). Serat yang sudah bercampur dengan perekat, dibentuk hamparan/mat dengan tangan untuk membuat papan berukuran 25cm x 25cm. Mat serat dikempa panas pada tekanan 20 kgf/cm², suhu 130°C untuk perekat UF dan MF selama 10 menit. Untuk mendapatkan ketebalan yang diinginkan, ditempatkan batang baja setebal 0.8 cm diantara plat yang berisi serat.

Papan yang dihasilkan, dikondisikan pada suhu ruang, kemudian diuji sifat fisis dan sifat mekanisnya menurut *Japan Industrial Standard* untuk pengujian papan partikel (JIS A 5908). Sifat yang diuji antara lain, pengembangan tebal (TS), modulus elastisitas (MOE), modulus patah (MOR), keteguhan rekat (IB) dan kuat pegang sekrup (SW). Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 4 kali ulangan.

Pengukuran pengembangan tebal papan menurut cara pengujian JIS A 5908. Ukuran sampel uji TS adalah 5cm x 5cm. Ketebalan sampel uji diukur, kemudian sampel uji direndam dalam air pada suhu ruang, selama 24 jam. Setelah perendaman, sampel dikeluarkan dari air, dilap dari air yang menetes dan diukur ketebalannya. Besarnya pengembangan tebal karena penyerapan air dapat dihitung dengan membandingkan perubahan tebal

terhadap tebal awal sampel. Pengukuran TS dilakukan dengan 4 kali ulangan. Adapun rumus perhitungan TS papan partikel adalah sebagai berikut :

$$TS = (T_o - T_s) / T_o \times 100\%$$

di mana :

T_o = tebal awal papan partikel (mm)

T_s = tebal papan partikel setelah perendaman (mm)

Pengujian sifat mekanis menggunakan alat uji *Universal Testing Machine* merk Shimadzu. Hasil pengujian sifat mekanis dari setiap sampel dikonversikan berdasarkan perbandingan antara densitas sampel dengan densitas yang ditargetkan. Untuk itu dilakukan pengukuran dimensi dan berat setiap sampel.

Hasil dan Pembahasan

Serat yang diuapkan mempunyai karakteristik kimia yang berbeda dari serat sebelum diuapkan (serat kontrol). Karakteristik kimia serat dapat dilihat pada Tabel 1.

Penguapan serat dengan otoklaf menyebabkan kadar zat yang terlarut dalam air dingin, air panas, NaOH 1% maupun etanol benzen (zat ekstraktif serat) berkurang, baik pada serat Sisal maupun serat Abaka. Uap air melarutkan zat ekstraktif larut air, NaOH 1% dan etanol benzene dalam serat. Menurut Munawar (2008) penguapan serat Nenas, Ramie dan Sansevieria pada suhu 100°C selama 2 jam menghilangkan sebagian komponen (lignin, wax dan minyak) dari permukaan serat.

Selain perbedaan karakteristik kimia juga dihitung *weight loss* akibat penguapan serat, menggunakan metode yang digunakan oleh Han *et al.* (2001). Adapun *weight loss* dari serat Abaka yang diuapkan selama 30 menit adalah sebesar 0.23%. Kehilangan berat tersebut lebih kecil dibandingkan dengan kehilangan berat beberapa serat alam lainnya. Berat serat Nenas, Ramie dan Sansevieria berkurang sebesar 4.8%, 10.1% dan 6.0% setelah penguapan pada titik didih air selama 2 jam (Munawar 2008). Besaran *weight loss* menggambarkan jumlah zat yang terdegradasi pada suhu 105°C, yang berkurang karena pelarutan oleh uap panas.

Table 1. Sisal fiber and Abaca fiber characteristics

Chemistry Characteristics	Sisal Fiber		Abaca Fiber	
	Controlled	Autoclaved 30 min	Controlled	Autoclaved 30 min
Moisture Content (%)	10.79	10.79	6.81	11.48
Solubility in cold water (%)	15.82	3.95	5.45	2.57
Solubility in hot water (%)	16.76	5.51	11.74	3.10
Solubility in Ethanol Benzene (%)	4.03	2.98	2.34	0.59

Menurut Runkel and Wilke (1951), hemiselulosa terdegradasi pada suhu antara 130°C sampai 194°C, sedangkan lignin terdegradasi pada suhu di atas 170°C. Menurut Sergeeva and Valvads (1954), pemanasan antara 95°C sampai 100°C menyebabkan terjadinya penguapan air, pemanasan antara 155°C sampai 259°C belum menyebabkan terputusnya ikatan pada selulosa, pemanasan antara 259°C sampai 452°C menyebabkan terputusnya rantai makromolekul selulosa, pemanasan antara 452°C sampai 500°C menyebabkan terbentuknya material yang stabil, reaksi pemanasan selulosa berakhir pada suhu 524°C.

Dengan demikian serat yang diuapkan dalam otoklaf pada suhu 121°C selama 30 menit tidak menyebabkan terdegradasinya selulosa, hemiselulosa atau lignin. Pengurangan berat yang terjadi kemungkinan disebabkan berkurangnya pektin dan wax. Menurut Munawar (2008) Sisal mengandung 0.3% wax dan 10% pektin, sedangkan Abaka mengandung 0.2% wax dan 0.5% pektin. Menurut Donze J dalam Munawar (2008), wax dapat dihilangkan dari permukaan serat setelah penguapan pada suhu di atas 60 ~ 70°C.

Sifat Fisis Papan Partikel Abaka Sisal

Nilai pengembangan tebal papan partikel berkisar antara 48.16% sampai 87.1%, seperti yang terlihat pada Gambar 1 belum memenuhi standar yang ditetapkan JIS, yaitu maksimal 12%. Pada papan partikel Sisal dengan perekat UF 10% dan MF 8%, perlakuan uap serat dapat memperbaiki sifat pengembangan tebal papan partikel. Perlakuan uap menyebabkan dinding sel serat menjadi lebih plastis, meningkatkan *compressibility* serat, mengurangi *internal stress* sel, sehingga mengurangi pengaruh penyerapan air terhadap pengembangan dinding sel serat.

Berdasarkan analisis keragaman pada tingkat kepercayaan 95%, jenis serat ($P=0.253$) dan penguapan ($P=0.293$) tidak memberikan pengaruh yang nyata pada sifat pengembangan tebal papan, namun jenis perekat ($P=0.000$) memberikan pengaruh yang nyata. Penguapan serat menghasilkan pengembangan tebal papan yang lebih baik dengan perekat MF 8%.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Munawar *et al.* (2004), menggunakan serat Sisal atau serat Abaka dengan panjang partikel 1 ~ 2 cm, kadar air 5%, dan tanpa perlakuan pendahuluan, menyatakan bahwa nilai pengembangan tebal papan partikel Sisal dengan UF 10% sebesar 22.29% dan papan partikel Abaka dengan UF 10% sebesar 17.79%. Sementara itu Subyakto *et al.* (2005) menghasilkan papan partikel Abaka dengan perekat UF 10% memiliki nilai pengembangan tebal sebesar 53.6%.

Pada penelitian ini, pengembangan tebal papan partikel lebih besar dibandingkan dengan pengembangan tebal papan partikel yang dihasilkan oleh Munawar *et al.* (2004). Hal ini dapat disebabkan oleh perekat yang digunakan hanya menutupi permukaan terluar serat, tidak menembus ke dalam serat. Oleh karena itu pada saat direndam, air masih dapat masuk melalui ujung-ujung serat ke arah memanjang serat, sehingga menyebabkan pengembangan tebal papan yang besar.

Papan partikel dengan perekat UF mempunyai nilai pengembangan tebal yang lebih baik dibandingkan papan partikel dengan perekat MF. Hal demikian menggambarkan bahwa jaringan ikatan antara perekat UF dengan serat kontrol maupun serat yang telah diuapkan, lebih baik dibandingkan dengan jaringan antara perekat MF dengan serat.

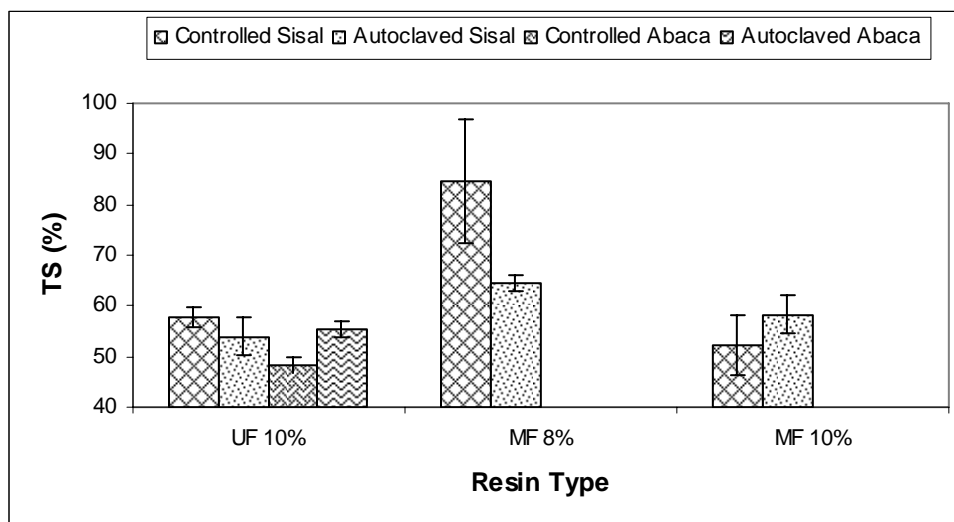


Fig 1. Thickness swelling (%) of the particleboards.

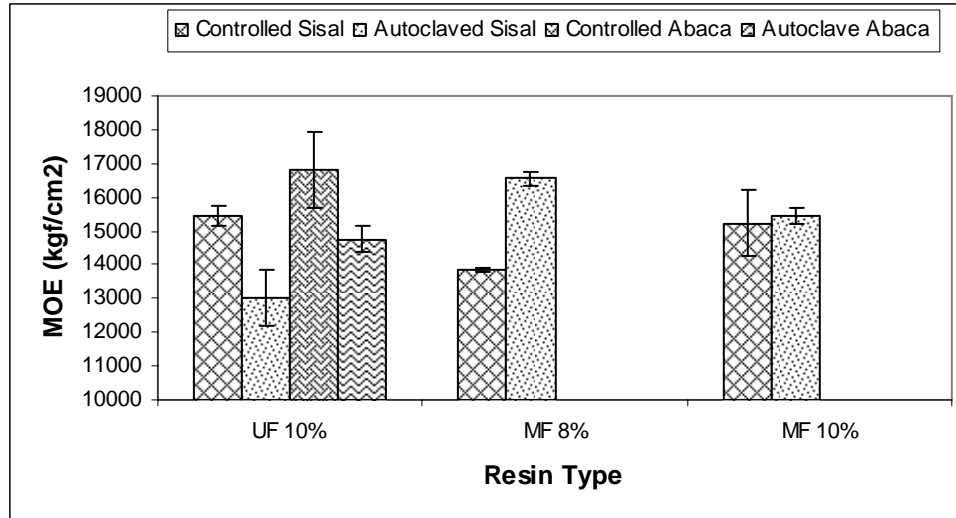


Fig 2. Modulus of elasticity (kgf/cm²) of the particleboards.

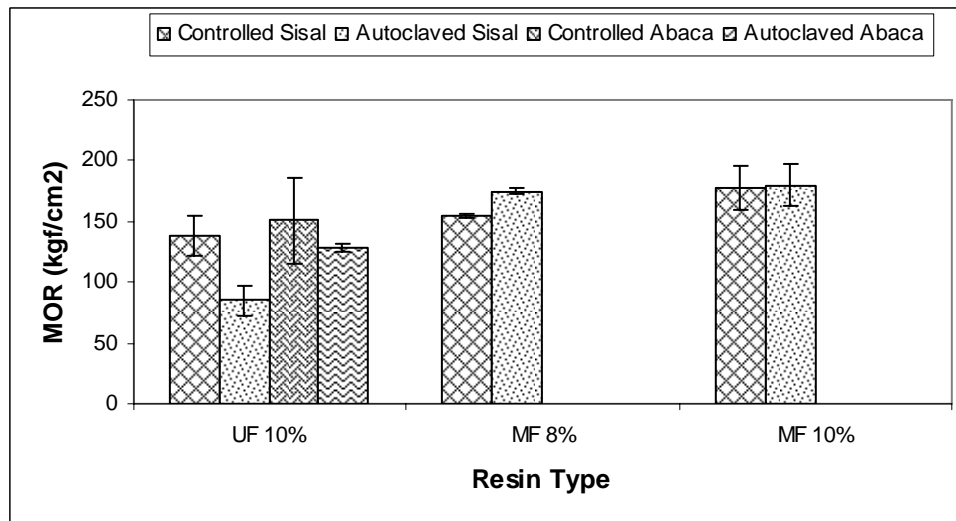


Fig 3. Modulus of rupture (kgf/cm²) of the particleboards.

Sifat Mekanis Papan Partikel Abaka Sisal.

Nilai modulus elastisitas (MOE) dari papan partikel berkisar antara 13023 kgf/cm² sampai 16831 kgf/cm², seperti yang terlihat pada Gambar 2, belum memenuhi standar yang ditetapkan JIS untuk *base particleboard* dan *decorative particleboard* tipe 8, yaitu minimal 20400 kgf/cm². Perlakuan uap meningkatkan nilai modulus elastisitas papan partikel Sisal dengan perekat MF. Perekat MF dapat membentuk ikatan yang lebih baik dengan serat Sisal yang sudah diuapkan, dibandingkan dengan serat kontrol.

Berdasarkan analisis keragaman pada tingkat kepercayaan 95%, modulus elastisitas papan tidak dipengaruhi oleh jenis perekat ($P=0.192$) dan penguapan ($P=0.175$), namun dipengaruhi oleh jenis serat ($P=0.028$).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Munawar *et al.* (2004), menyatakan bahwa nilai MOE papan partikel Sisal dengan UF 10% sebesar 21994 kgf/cm² dan papan partikel Abaka dengan UF 10% sebesar 12098 kgf/cm². Subyakto *et al.* (2005) menghasilkan papan partikel Abaka dengan perekat UF 10% memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 52933 kgf/cm². Belum diketahui penyebab dihasilkannya MOE yang lebih kecil pada penelitian ini.

Nilai modulus patah (MOR) dari papan partikel yang dihasilkan, berkisar antara 84.73 kgf/cm² sampai 179.98 kgf/cm², seperti yang terlihat pada Gambar 3, sudah memenuhi standar yang ditetapkan JIS untuk *base particleboard* dan *decorative particleboard* tipe 8, yaitu minimal 82 kgf/cm².

Perlakuan uap meningkatkan nilai MOR papan partikel Sisal dengan perekat MF. Serat yang diuapkan

dalam otoklaf membentuk papan partikel yang lebih kuat jika menggunakan perekat MF dibandingkan dengan papan partikel serat kontrol.

Berdasarkan analisis keragaman pada tingkat kepercayaan 95%, penguapan ($P=0.123$) tidak memberikan pengaruh yang nyata pada modulus patah papan, namun jenis serat ($P=0.027$) dan jenis perekat ($P=0.000$) memberikan pengaruh yang nyata

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Munawar *et al.* (2004), menyatakan bahwa nilai MOR papan partikel Sisal dengan UF 10% sebesar 174.12 kgf/cm² dan papan partikel Abaka dengan UF 10% sebesar 127.28 kgf/cm². Subyakto *et al.* (2005) menghasilkan papan partikel Abaka dengan perekat UF 10% memiliki nilai MOR sebesar 266.6 kgf/cm².

Nilai keteguhan rekat internal (IB) papan partikel berkisar antara 0.77 kgf/cm² sampai 3.84 kgf/cm², seperti yang terlihat pada Gambar 4, sebagian besar sudah memenuhi standar yang ditetapkan JIS untuk *base particleboard* dan *decorative particleboard* tipe 8, yaitu minimum 1.5 kgf/cm².

Perlakuan uap meningkatkan nilai IB papan partikel Abaka dengan perekat UF 10% dan papan partikel Sisal dengan perekat MF 8%. Dengan demikian serat Abaka yang akan direkat dengan UF sebaiknya diuapkan terlebih dulu. Sedangkan serat Sisal yang diuapkan akan menghasilkan papan partikel dengan nilai IB yang baik jika menggunakan perekat MF.

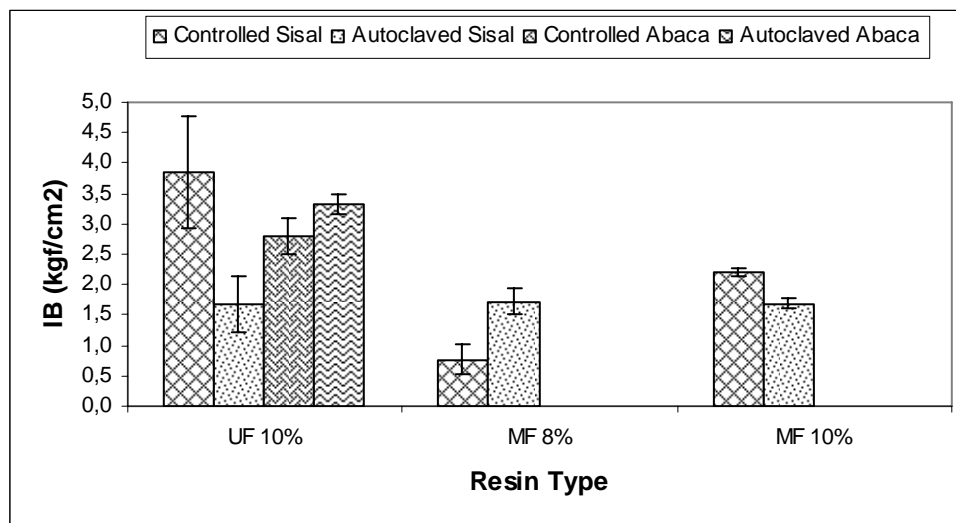


Fig 4. Internal bond (kgf/cm²) of the particleboards.

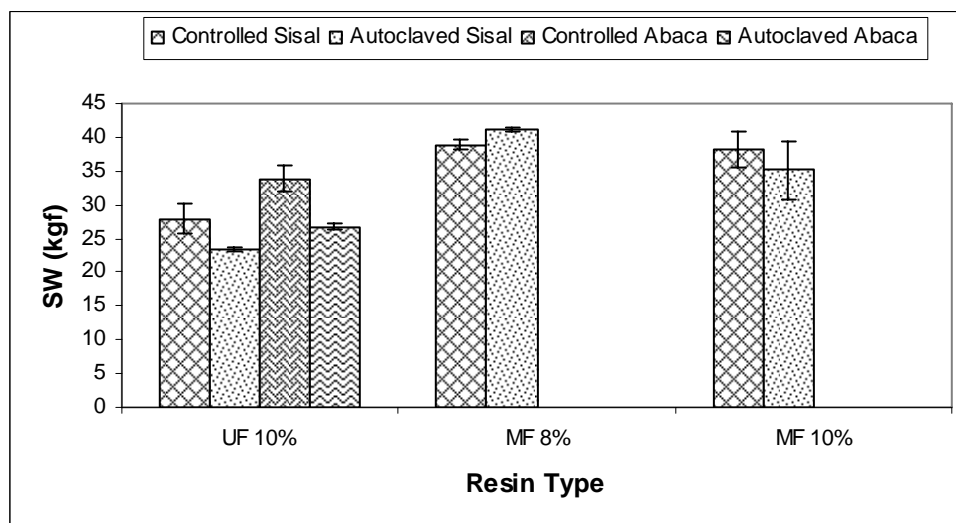


Fig 5. Screw withdrawal (kgf) of the particleboards.

Berdasarkan analisis keragaman pada tingkat kepercayaan 95%, jenis serat ($P=0.410$) dan penguapan ($P=0.249$) tidak memberikan pengaruh yang nyata pada keteguhan rekat internal papan, namun jenis perekat ($P=0.001$) memberikan pengaruh yang nyata.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Munawar *et al.* (2004), menyatakan bahwa nilai IB papan partikel Sisal dengan UF 10% sebesar 2.97 kgf/cm² dan papan partikel Abaka dengan UF 10% sebesar 5.07 kgf/cm². Subyakto *et al.* (2005) menghasilkan papan partikel Abaka dengan perekat UF 10% memiliki nilai keteguhan rekat sebesar 7.0 kgf/cm².

Menurut Munawar (2008) penguapan serat pada suhu 100°C selama 2 jam menurunkan sudut kontak antara larutan perekat dengan serat Nenas sebesar 25%, larutan perekat dengan serat *Ramie* sebesar 26%, dan larutan perekat dengan serat *Sansevieria* sebesar 10%. Penurunan sudut kontak antara larutan perekat dengan serat menyebabkan terjadinya peningkatan *wettability* serat. Peningkatan *wettability* dapat disebabkan oleh hilangnya wax dan pektin dari permukaan serat. Wax membentuk lapisan tipis pada permukaan serat yang menghalangi perekatan. Dengan hilangnya wax, permukaan serat menjadi lebih halus sehingga perekat dapat membasahi permukaan serat dengan lebih baik.

Nilai kuat pegang sekrup (SW) papan partikel berkisar antara 23.47 kgf sampai 41.11 kgf, seperti yang terlihat pada Gambar 5, sebagian sudah memenuhi standar JIS untuk *base particleboard* dan *decorative particleboard* tipe 8, yaitu 31 kgf.

Berdasarkan analisis keragaman pada tingkat kepercayaan 95%, jenis perekat ($P=0.000$) tidak memberikan pengaruh yang nyata pada kuat pegang sekrup papan, namun jenis serat ($P=0.281$) dan penguapan serat ($P=0.126$) memberikan pengaruh yang nyata.

Perlakuan uap dapat meningkatkan nilai SW pada papan partikel Sisal dengan perekat MF 8%. Perekat UF menghasilkan papan partikel dengan nilai SW yang belum memenuhi standar JIS. Sedangkan perekat MF menghasilkan papan partikel dengan nilai kuat pegang sekrup yang sudah memenuhi standar JIS.

Kesimpulan

Perlakuan uap terhadap serat Sisal dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis papan partikel Sisal dengan perekat melamin formaldehida pada kadar perekat 8%.

Peningkatan sifat papan partikel kemungkinan disebabkan oleh terlarutnya wax dan pektin dari permukaan serat sehingga memperbaiki ikatan antara serat dengan perekat.

Untuk memperbaiki sifat pengembangan tebal papan yang masih tinggi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menguraikan serat menjadi komponen yang lebih kecil.

Daftar Pustaka

- Anonymous. 1999. Catalog, PT. Palmolite Adhesive Industry.
- Han, G.; K. Umemura; M. Zhang; T. Honda; S. Kawai. 2001. Development of High-Performance UF-Bonded Reed and Wheat Straw Medium-Density Fiberboard. *Journal of Wood Science* 47: 350-355.
- JIS A 5908: Particles Boards, Japanese Standard Association, Japan, 1994.
- Munawar, S.S.; B. Subiyanto; Subyakto; L. Suryanegara. 2004. Development of Panel Product from Natural Fiber of Sisal (*Agave Sisalana*). *Proceedings of 5th IWSS*, Kyoto, Japan. p.367-369.
- Munawar, S.S. 2008. Properties of Non-Wood Plant Fiber Bundles and the Development of their Composites [Dissertation]. Departement of Forestry and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University.
- Runkel, R.O.H. and K.D. Wilke. 1951. Chemical Composition and Properties of Wood Heated at 140°C to 200°C in a Closed System without Free Space. Part II. *Holz als Roh und Werkstoff* 9:260-270. Germany.
- Seino, N.; M. Inoue; M. Irie. 1997. Thickness Swelling and Internal Bond Strength of Particleboards from Steam-Pretreated Particles. *Mokuzai Gakkaishi* 43(12): 1009-1015.
- Seino, N.; M. Inoue; M. Irie; T. Adcock. 1999. The Mechanism Behind the Improved Dimensional Stability of Particleboards Made From Steam-Pretreated Particles. *Holzforchung* 53(4).
- Sergeeva, V.N. and A. Vaivads. 1954. Thermographic Study of the Pyrolysis of Wood and Its Constituents. *Latvijas PSR Zinat. Akad. Vestis* 86(9): 103-108. Russia.
- Subyakto; F.A. Syamani; I. Budiman; S.S. Munawar; B. Subiyanto. 2005. Development of Biocomposites from Abaca Fiber Glued with Urea or Phenol Formaldehyde. *Proceeding of International Symposium on Wood Science and Technology*, Yokohama, Japan.
- Syamani, F.A.; I. Budiman; Subyakto; B. Subiyanto. 2006. Pemanfaatan Serat Abaca (*Musa textilis*) dan Serat Sisal (*Agave Sisalana*) Untuk Produk Komposit. *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI*. Banjar Baru, Kalimantan Selatan.

Makalah masuk (*received*) : 07 Desember 2007
Diterima (*accepted*) : 05 Mei 2008
Revisi terakhir (*final revision*) : 07 Juli 2008

Firda Aulya Syamani, Kurnia Wiji Prasetyo, Ismail Budiman, Subyakto, dan Bambang Subiyanto.
UPT Balai Litbang Biomaterial (*Research and Development Unit for Biomaterials*)
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (*Indonesian Institute of Sciences*)
Jl. Raya Bogor Km. 46, Komplek LIPI Cibinong
Tel. :62-21-87914511
Fax : 62-21-87914510

Campuran Lateks Karet Alam-Stirena dan Poliisosianat sebagai Perekat Kayu Lamina

Blends of Natural Rubber Latex-Styrene and Polyisocyanate for Laminated Wood Adhesive

Dede Heri Yuli Yanto dan Euis Hermiati

Abstract

Each adhesive has its own strengths and weaknesses due to its bond strength, or its resistance to stress, heat, moisture and organisms. Blending of several adhesives could combine properties of each. Besides, it might reduce adhesives prices as well. In this research Natural Rubber Latex-Styrene (NRL-St) was blended with Polyisocyanate (PI) or API (Aqueous Polymer Isocyanate) adhesive. The aim of this research was to study the effects of compositions of adhesive blends on adhesive properties, and the effects of composition of adhesive blends and pressing time on bond strength of laminated wood (*Acacia mangium*). Blending compositions of NRL-St/PI were 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80, and 0/100. Physico-chemical properties of these blends of adhesives, including solid content, pH, viscosity and mixtures homogeneity were analyzed. Blends of NRL-St with PI adhesive had total solid contents range from 42.39 to 50.58%, pH from 7.45 to 7.98, and viscosity from 3506 to 5661 cp. Results of this study showed that optimum composition of blends of NRL-St and API adhesives for producing laminated wood of *Acacia mangium* was 50/50 (w/w). At this composition the shear strength of laminated wood was 7.06 MPa, while delamination ratio in cold and boiling water were 0% and 4.89% respectively. These values could meet Japan Agriculture Standard (JAS) for laminated wood (shear strength > 5.4 MPa and delamination ratio < 10%). Optimum pressing time for producing laminated wood using API adhesive as well as blends of NRL-St/API (50/50) was two hours.

Key words : Natural Rubber Latex, Styrene, Polyisocyanate, blending, adhesive, laminated wood.

Pendahuluan

Perekat merupakan faktor yang paling menentukan dalam berbagai produk kayu olahan khususnya kayu lamina. Perekat yang biasa digunakan untuk produk kayu lamina merupakan perekat untuk kempa dingin. Selain itu, perekat yang mempunyai bahan dasar air atau dikenal dengan perekat jenis *water based* merupakan perekat yang sangat diminati saat ini. Disamping karena keamanan dalam penggunaannya, perakat *water based* juga merupakan solusi tersendiri dimana semakin mahalnya bahan-bahan organik yang bersumber dari minyak bumi.

Lateks karet alam (LKA) merupakan salah satu bahan baku perekat *water based* yang telah banyak diteliti sebagai bahan baku perekat. Penelitian LKA sebagai bahan baku perekat kayu telah dilakukan oleh Hermiati *et al.* (2000a) menggunakan reaksi kopolimerisasi dengan stirena dengan penambahan katalis kalium peroksidisulfat. Penelitian lateks karet alam-stirena (LKA-St) untuk berbagai produk kayu olahan juga telah dilakukan, seperti pada penelitian Hermiati *et al.* (2000b) untuk produk kayu lapis. Selain itu, penambahan bahan lain pada LKA-St untuk aplikasi pada produk kayu olahan lainnya juga telah dilakukan, misalnya dengan penambahan perekat fenol formaldehida untuk produk kayu lapis (Hermiati *et al.*

2000c; Prasetya *et al.* 2004), penambahan perekat melamin formaldehida untuk kayu lapis (Hermiati *et al.* 2004), penambahan serbuk kulit kayu Akasia untuk produk kayu lapis (Falah *et al.* 2005), fortifikasi dengan perekat berbasis resorsinol untuk produk kayu lamina (Hermiati *et al.* 2004 dan Yanto *et al.* 2006). Bahan-bahan yang ditambahkan ini merupakan perekat dengan kandungan formaldehida yang tinggi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pencampuran perekat konvensional yang mengandung senyawa formaldehida dengan LKA-St mampu menurunkan kandungan formalin bebas yang diemisikan oleh produk kayu olahan seperti kayu lapis dan kayu lamina.

Salah satu perekat kayu yang tidak menghasilkan emisi formaldehida adalah perekat poliisosianat atau yang lebih dikenal dengan sebutan API (*Aqueous Polymer Isocyanate*). Perekat ini dapat digunakan baik untuk proses kempa panas maupun kempa dingin. Perekat API pada dasarnya terdiri dari polimer larut air dan emulsi, yaitu poli vinil alkohol (PVOH) dan emulsi lateks seperti SBR (*Styrene Butadiene Rubber*), dll, dengan senyawa isosianat sebagai *crosslinking agent* (Taki *et al.* 1994). Perekat poliisosianat ini mempunyai sifat daya rekat yang baik pada suhu ruang dan sangat tahan terhadap air panas atau air mendidih serta bersifat ramah lingkungan (Taki 1998; Hongjiu *et al.* 2006). Hanya saja, perekat ini masih sangat mahal sehingga

berpengaruh terhadap harga kayu olahan di tingkat produksi. Penelitian pencampuran (*blending*) LKA-St dengan perekat poliisosiadat (PI) belum pernah dilakukan. Pencampuran LKA-St dan PI diduga dapat menghasilkan perekat kayu lamina yang relatif murah tetapi juga memiliki daya rekat yang baik dan memenuhi standar daya rekat untuk kayu lamina.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan komposisi campuran LKA-St/PI dan waktu pengempaan yang optimum untuk perekat kayu lamina akasia.

Bahan dan Metode

Bahan

PI-120 dan bahan pengeras (*hardener*) H-3 diperoleh dari PT Polychemie Asia Pasific Permai di Jakarta, lateks karet alam diperoleh dari PTPN 8, Perkebunan Cikumpai-Subang. Kayu Akasia (*Acacia mangium*) digunakan untuk aplikasi campuran perekat LKA-St dan PI pada pembuatan contoh kayu lamina.

Metode

Sintesa Perekat Lateks Karet Alam – Stirena (LKA – St). Metoda yang digunakan mengikuti prosedur yang telah dilaporkan dalam (Hermiati *et al.* 2006) sebagai berikut. Ke dalam 250 ml lateks karet alam dengan kandungan total padatan 25% yang telah diberi bahan penstabil emulsi ditambahkan monomer stirena sebanyak 100 *perhundred rubber* (*phr*). Campuran diaduk dengan pengaduk magnetik pada kecepatan 550 rpm selama 1 jam. Setelah itu ditambahkan *inisiator* kalium peroksidisulfat sebanyak 1.5 *phr* dan campuran dipanaskan pada suhu 65°C selama 1 jam sambil terus diaduk dengan kecepatan 550 rpm.

Pembuatan Campuran Perekat LKA-St dan PI. Perekat PI-120 diberi bahan pengeras (*hardener*) H3 dengan perbandingan 100:15. Setelah itu, LKA-St dicampurkan dengan perekat PI yang sudah diberi bahan pengeras pada komposisi 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80, 0/100. Campuran perekat diukur kadar total padatan, pH, dan viskositasnya, serta dilihat penampakan campurannya dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Pembuatan dan Pengujian Contoh Kayu Lamina. Contoh kayu lamina dibuat menggunakan kayu Akasia (60 cm x 18 cm x 1.5 cm). Perekat digunakan dengan berat labur 300 g/m² dan dikempa dingin pada tekanan 15 kg/cm² selama 24 jam. Contoh kayu lamina dikondisikan pada suhu ruang selama sekitar 3 minggu, kemudian dilakukan uji delaminasi dan keteguhan rekat menurut *Japan Agricultural Standard (JAS) for Glued Laminated Timber* (Japan Plywood Inspection Corporation 2003). Pengukuran emisi formaldehida dilakukan dengan menggunakan metode botol WKI

(*Wilhelm Klaunitz Institute*) yang dikembangkan oleh Roffael tahun 1975 (Marutzky 1989). Data yang diperoleh diuji dengan ANNOVA untuk mengetahui pengaruh komposisi campuran perekat dan jenis kayu terhadap kadar total padatan, rasio delaminasi, dan nilai keteguhan rekatnya.

Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan PI dalam campuran perekat, maka semakin tinggi kadar total padatan, dan viskositas serta semakin rendah nilai pH. Hal ini disebabkan karena nilai total padatan PI (55.13%) lebih besar dibandingkan dengan LKA-St (38.12%), demikian juga dengan nilai viskositasnya. Sedangkan pH PI lebih rendah dibandingkan dengan pH LKA-St. Perubahan nilai-nilai yang secara linier menunjukkan pencampuran antara LKA-St dengan PI diduga hanya terjadi secara fisik.

Table 1. Properties of blends of NRL-St and PI adhesive.

Compositions (LKA-St/PI)	Total solid content (%)	pH	Viscosity (cp)
100/0	38.12	9.51	68
80/20	42.39	7.98	3506
60/40	46.48	7.52	5528
50/50	46.92	7.37	1111
40/60	47.44	7.17	6203
20/80	50.58	7.45	5661
0/100	55.13	6.50	7686

Table 2. Moisture content of Acacia laminated wood adhered with NRL-St/PI adhesive.

Compositions (LKA-St/PI)	Moisture content (%)
100/0	11.34
80/20	9.40
60/40	10.54
50/50	9.90
40/60	12.26
20/80	11.20
0/100	10.70

Kadar air contoh kayu lamina yang dibuat berkisar antara 9.94% dan 12.26% (Tabel 2). Dengan demikian telah memenuhi standar kadar air kayu lamina menurut JAS yaitu < 14%. Pada Gambar 1 dapat dilihat daya rekat campuran LKA-St dan PI pada kayu lamina Akasia yang digambarkan dengan nilai *shear strength* dan rasio delaminasi. Semakin tinggi kadar PI dalam campuran perekat semakin tinggi pula nilai kekuatan geser tarik kayu

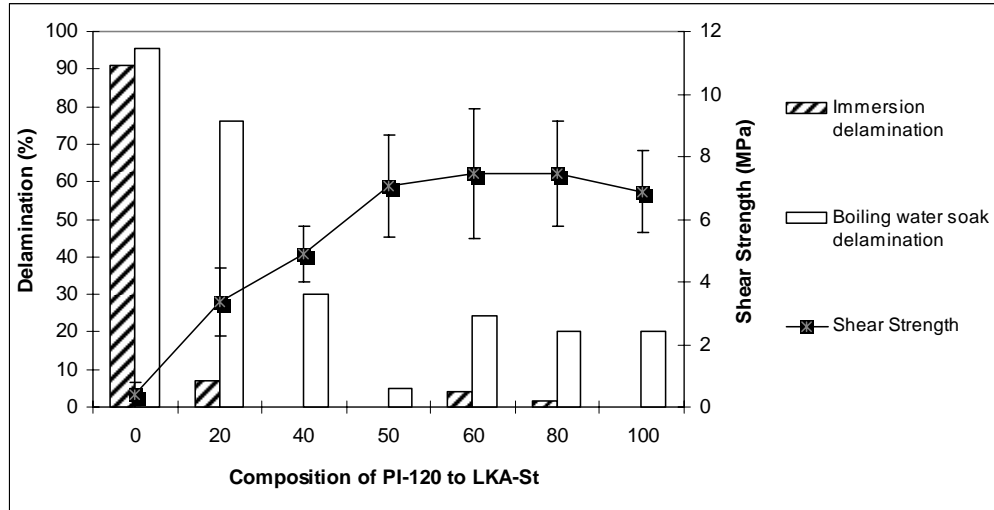


Figure 1. Bond quality of Acacia laminated wood at various compositions of NRL-St/PI
 Notes: JAS Standard Shear strength > 5.4 MPa; JAS Standard Delamination <10%

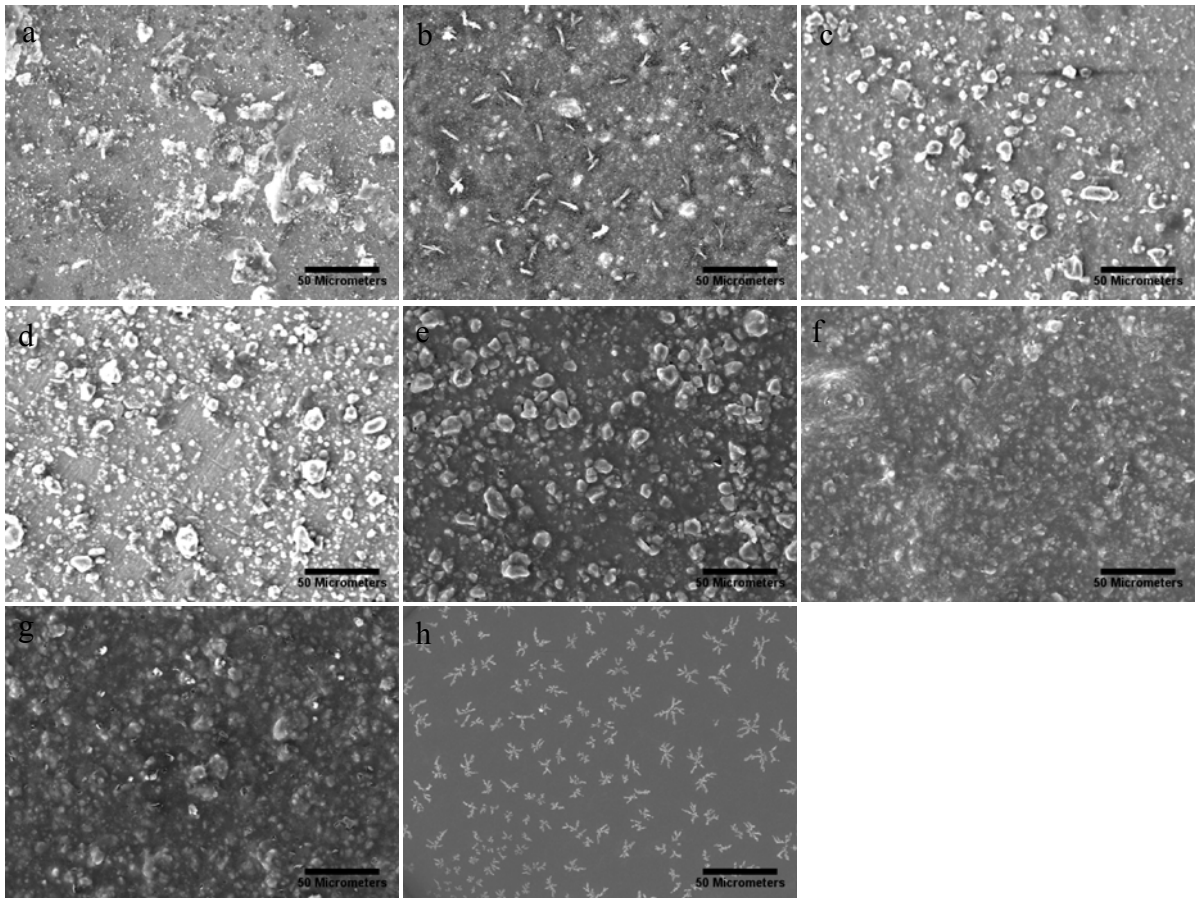


Figure 2. SEM images of the blends of Natural Rubber Latex – Styrene (NRL-St) and Polyisocyanate (PI) adhesive (a). NRL-St/PI 100/0 (b). NRL-St/PI 80/20 (c). NRL-St/PI 60/40 (d). NRL-St/PI 50/50 (e). NRL-St/PI 40/60 (f). NRL-St/PI 20/80 (g). NRL-St/PI 0/100 and (h). NRL 25%. Mag. x500.

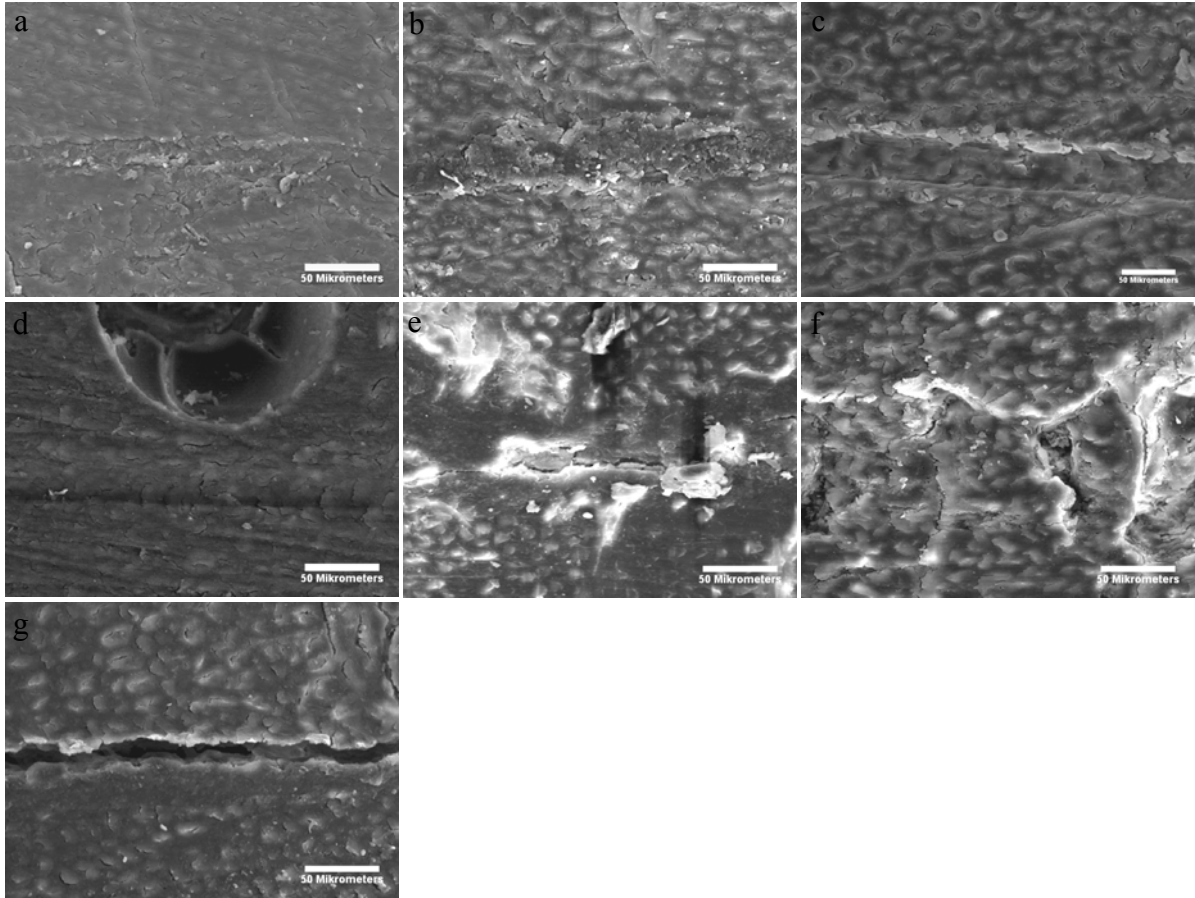


Figure 3. SEM images of glue lines of Acacia laminated wood adhered with blends of NRL-St and PI adhesive at various compositions (a) 100/0 (b). 80/20 (c). 60/40 (d). 50/50 (e). 40/60 (f). 20/80 (g) 0/100. Mag. x500.

lamina, dimana nilai optimum diperoleh pada komposisi 50/50. Pada komposisi ini kekuatan geser tarik sebesar 7.06 MPa dan telah memenuhi standar JAS untuk kayu lamina (> 5.4 MPa). Nilai rasio delaminasi air mendidih dan delaminasi air dingin semakin menurun dengan meningkatnya kadar PI. Standar JAS untuk delaminasi sebesar $< 10\%$. Komposisi 60/40 hanya memenuhi standar nilai delaminasi air dingin. Komposisi campuran LKA-St/PI yang optimum adalah 50/50.

Hasil pengujian campuran perekat dan permukaan perekatan kayu dengan SEM memperkuat dugaan bahwa komposisi LKA-St/PI 50/50 adalah komposisi optimum. Berdasarkan hasil pengujian terlihat pada komposisi 50/50, homogenitas campuran LKA-St dengan PI sangat baik, begitu pula dengan interaksi campuran perekat dengan kayu sangat baik dan homogen sehingga membentuk gaya adhesi yang kuat antara perekat dengan kayu. Gambar SEM untuk campuran perekat pada berbagai komposisi terlihat pada Gambar 2.

Hasil pengamatan pada perekatan kayu lamina dengan campuran perekat LKA-St dan PI menunjukkan

pada komposisi LKA-St/PI 50/50 partikel-partikel perekat mampu secara homogen berikatan dengan kayu Akasia. Sedangkan pada komposisi yang lain masih terlihat adanya jarak antara perekat dengan kayu Akasia. Gambar 3 menunjukkan hasil pengamatan permukaan perekatan kayu lamina dengan SEM.

Hasil pengujian optimasi waktu pengempaan dingin untuk campuran perekat dengan komposisi LKA-St/PI 50/50 menunjukkan bahwa lama pengempaan tidak berpengaruh terhadap kekuatan geser tarik, delaminasi air dingin dan delaminasi air mendidih (Gambar 4). Pada waktu pengempaan selama 2 jam kondisi optimum untuk kekuatan geser tarik, delaminasi air dingin dan delaminasi air mendidih telah tercapai dan memenuhi standar JAS untuk kayu lamina. Pada kondisi ini kekuatan geser tarik adalah 11.55 MPa, sedangkan delaminasi air dingin dan air mendidih adalah 0%. Sebaliknya, hasil pengujian optimasi waktu pengempaan dingin untuk perekat PI 100% menunjukkan bahwa lama pengempaan sangat berpengaruh terhadap kekuatan geser tarik, tetapi tidak berpengaruh pada delaminasi air dingin dan air mendidih (Gambar 5).

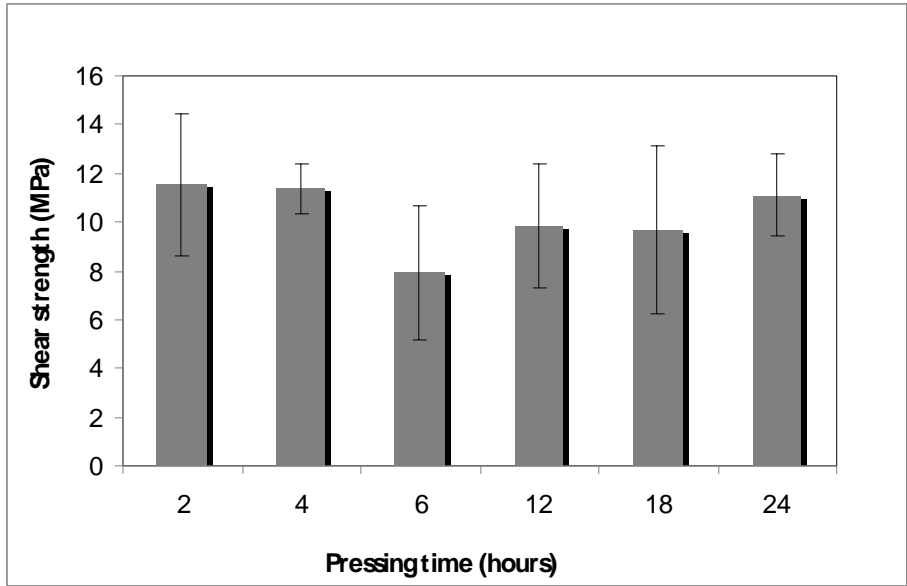


Figure 4. Shear strength of Acacia laminated wood with composition of NRL-St/PI 50/50 at various pressing time. Note: JAS Standard Shear Strength > 5.4 MPa.

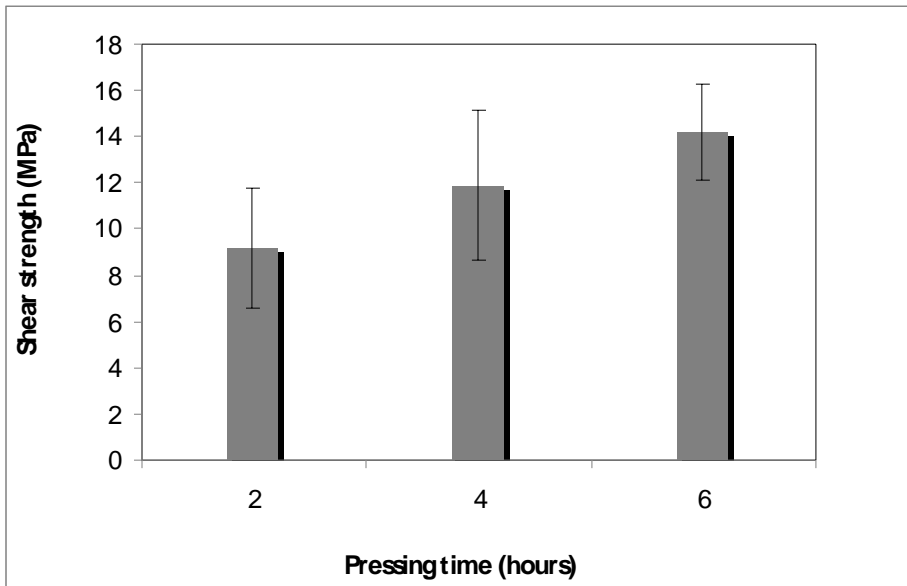


Figure 5. Shear strength of Acacia laminated wood with PI adhesive 100% at various pressing time. Note: JAS Standard Shear Strength > 5.4 MPa

Diduga kekuatan geser tarik akan terus meningkat setelah waktu pengempaan selama 6 jam, meskipun pada waktu pengempaan selama 2 jam telah tercapai kekuatan geser tarik sebesar 9.14 MPa (memenuhi standar JAS untuk kayu lamina) dengan delaminasi air dingin dan air mendidih adalah 0%.

Campuran LKA-St/PI pada komposisi 50/50 menghasilkan perekat dengan waktu pengempaan lebih singkat untuk mencapai kondisi optimum dibandingkan dengan perekat PI 100%. Hal ini diduga karena

terdapatnya LKA-St yang dapat mempercepat waktu pengikatan antara LKA-St dan PI pada permukaan kayu lamina. Homogenitas perekat campuran LKA-St/PI 50/50 yang terbentuk diduga juga mempercepat tercapainya kondisi optimum. Disamping itu, kekuatan geser tarik kayu lamina dengan perekat LKA-St/PI (50/50) pada waktu pengempaan 2 jam (11.55 MPa) jauh lebih besar daripada perekat PI 100% (9.14 MPa).

Kesimpulan

Campuran perekat LKA-St/PI mencapai kondisi optimum untuk perekat kayu lamina Akasia pada komposisi LKA-St/PI (50/50) dengan nilai kekuatan geser tarik, delaminasi air dingin dan delaminasi air mendidih berturut-turut sebesar 7.06 MPa, 0% dan 4.89%. Homogenitas campuran perekat LKA-St/PI serta campuran perekat dengan kayu lamina Akasia sangat baik pada komposisi ini. Pencampuran perekat LKA-St dan PI dengan komposisi 50/50 dapat mempercepat waktu pengempaan dingin kayu lamina Akasia daripada perekat PI. Lama pengempaan optimum dengan perekat LKA-St/PI (50/50) adalah 2 jam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *International Foundation for Science (IFS)* dan *Organization for the Prohibition of Chemical Weapons (OPCW)* yang telah bekerja sama memberikan dana untuk melakukan penelitian ini melalui *IFS Research Agreement* No. AF/3268-1. Penulis juga menyampaikan ucapan terimakasih kepada PT Polychemie Asia Pasific Permai di Jakarta atas pemberian perekat PI dan *hardener* H-3.

Daftar Pustaka

- Falah, F.; W. Fatriasari; E. Hermiati. 2005. Quality Changes of Wood Adhesive Made of Natural Rubber Latex-Styrene during Storage. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium* pp. 215 – 219.
- Hermiati, E.; M. Utama; B. Prasetya; Sudijono. 2000a. Kopolimerisasi Lateks Karet Alam dengan Monomer Stirena dan Aplikasinya sebagai Perekat Kayu Lapis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia II*, hal. E.3-1 – E.3-6.
- Hermiati, E.; B. Prasetya; Sudijono; Nurhayati. 2000b. Upgrading of Natural Rubber Latex-Styrene Copolymer as Plywood Adhesive. *Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium*, p. 120 – 125.
- Hermiati, E.; Sudijono; Nurhayati. 2000c. Substitusi Perekat Fenol Formaldehida dengan Lateks Karet Alam pada Pembuatan Kayu Lapis. *Prosiding Seminar Nasional III Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia*, hal.: 301 – 306.
- Hermiati, E.; W. Fatriasari; A.H. Priyanto. 2004. Properties and Bond Strength of Mixture of Natural Rubber Latex-Styrene and Melamine Formaldehyde as Exterior Grade Plywood Adhesive. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Peneliti Kayu*

- Indonesia VII. pp. B-64 – B-69. (in Indonesian)
- Hermiati, E.; W. Fatriasari; F. Falah. 2006. Effects of Several Synthesis Conditions on Bond Strength of Plywood Adhered with Natural Rubber Latex-Styrene Adhesive. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 4(1): 33 – 38.
- Hongjiu, H.; L. Hong; Z. Junjin; L. Jie. 2006. Investigation of Adhesive Performance of Aqueous Polymer Latex Modified by Polymeric Methylene Diisocyanate. *Journal of Adhesion* 82(1): 93 – 114.
- Japan Plywood Inspection Corporation. 2003. *Japanese Agricultural Standard for Glued Laminated Timber*.
- Marutzky, R. 1989. Release of Formaldehyde by Wood Products. In: *Wood Adhesive (Skeist, I. Ed.)*. pp. 401-407.
- Prasetya, B.; E. Hermiati; Sudijono. 2004. The Effects of Catalyst Percentage in Preparation of Wood Liquid on its Bond Strength as Phenol Formaldehyde Substitute for Plywood Adhesive. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 2(2): 95 - 98. (in Indonesian)
- Taki, K.; H. Yoshida; Y. Yamagishi; T. Inoue. 1994. Mechanical Properties and Bond Strength of Water-Based Polymer-Isocyanate Adhesives. *Proceedings of the Adhesives and Bonded Wood Symposium (Proceedings No. 4735 / FPS)*, pp. 307 – 316.
- Taki, K. 1998. Recent Development of Water-Based Polymer-Isocyanate Adhesives. *Adhesive Technology and Bonded Tropical Wood Products (Taiwan Forestry Research Institute/TFRI Extension Series No. 96)*, pp. 95 - 103.
- Yanto, D.H.Y.; E. Hermiati; W. Fatriasari. 2006. Fortifikasi Perekat Berbasis Resorsinol dan Isosianat pada Perekat Lateks Karet Alam-Stirena. *Prosiding Seminar Nasional IX Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia, Banjarbaru*.

Makalah masuk (*received*) : 11 Desember 2007
Diterima (*accepted*) : 18 Mei 2008
Revisi terakhir (*final revision*) : 24 Juni 2008

Dede Heri Yuli Yanto, Euis Hermiati
UPT Balai Litbang Biomaterial,
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
(*Research and Development Unit for Biomaterials,
Indonesian Institute of Sciences*)
Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong, Bogor 16911
Tel. : +62-21-87914511
Fax : +62-21-87914510
Email : dhyy@biomaterial-lipi.org
euis.hermiati@lipi.go.id
e_hermiati@yahoo.com

Pulp Termo Mekanis (TMP) dan Kimia Termo Mekanis (CTMP) dari Limbah Batang Kenaf

Pulps from TMP and CTMP of Kenaf Stem Residue

Wawan Kartiwa Haroen

Abstract

Pulps from thermo mechanical pulping (TMP) are produced by applying elevated temperatures and physical treatment in the process through mechanical energy. A study on the TMP and CTMP processes have been conducted on the residue of Kenaf stems wood. The general pulping conditions of CTMP process are impregnated with Sodium Hydroxide (NaOH) and steamed, while TMP are steamed both for 30 minutes at temperature 120°C, and steam pressure 1.5 atm. Average of pulp yields are TMP 91.29% and CTMP 86.16% and fractionations of fiber pulp was analyzed by using of Bauer McNett fractionators which fiber contents more than 78% at 200 mesh. Pulp bleaching with Hydrogen Peroxide or peroxide bleaching was carried out in two phase P₁ and P₂. The pulp brightness pulp in the range 70 ~ 76 % ISO and fulfil the physical strength properties for Newspaper requirements according to Indonesian National Standard (SNI .14.0091 – 1998). The energy consumption of Kenaf stem's chips refining for TMP process is 4.75 kWh/kg dry chips and for CTMP process 2.7 kWh/kg dry chip. The consumption of energy for CTMP process is 50% lower compared with the energy consumed for the TMP process.

Key words: TMP, CTMP, Kenaf stem, peroxide bleaching.

Pendahuluan

Kayu Kenaf diperoleh dari tanaman Kenaf (*Hibiscus cannabinus* Linn) tergolong ke dalam tanaman musiman, berumur pendek bisa dipanen pada umur 3.5 ~ 4 bulan. Tinggi tanaman mencapai 4 m; diameter batang 1.5 ~ 2.0 cm; serta bagian kulit mengandung serat sangat tinggi dibandingkan kayunya dengan komposisi kayu 65% dan kulit 35%. Produksi setiap hektar tanaman Kenaf menghasilkan 15 ton batang kering, setara dengan 1.5 ton pita serat Kenaf (BBS 1989; Anonymous 2000). Serat Kenaf di Indonesia merupakan bahan karung goni, karpet, *non woven*, peredam panas, dan peredam suara. Kenaf memiliki potensi untuk dikembangkan secara luas karena dapat tumbuh di berbagai jenis tanah seperti lahan kritis sampai lahan banjir. Serat Kenaf dapat dijadikan sebagai bahan kertas khusus yang memiliki nilai jual tinggi, seperti diproduksi oleh China, India, Australia, Thailand dan Pakistan (Paul 1994).

Berkaitan dengan program pembangunan industri pulp yang berkelanjutan seperti diversifikasi bahan baku pulp dari kayu ke bahan lainnya, tanaman Kenaf merupakan salah satu pilihan yang perlu dipertimbangkan oleh industri pulp kertas. Kayu Kenaf diperoleh dari proses pemisahan kulit sampai saat ini belum dimanfaatkan secara baik, kecuali sebagai kayu bakar. Kayu tersebut mengandung serat selulosa merupakan sumber serat primer yang bisa diproses menjadi pulp kertas. Proses pulping yang paling tepat adalah proses pulp mekanis seperti TMP (*Thermo*

Mechanical Pulp) atau CTMP (*Chemi Thermo Mechanical Pulp*), karena sifat kayu lunak dan ringan. Proses tersebut dapat menghemat bahan baku, bebas kimia, rendemen sangat tinggi dan pencemaran yang rendah. Air limbah proses rendemen tinggi umumnya memiliki kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) sekitar 7000 mg/l (Kudo 1991) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) 700 ~ 5000 mg/l (Vipart 1993)

Sampai akhir tahun 2007, industri pulp mekanis di Indonesia belum terwujud bahkan pulp tersebut masih impor. Hal ini kemungkinan ada beberapa alasan diantaranya pulp kimia lebih menguntungkan dan kebutuhan bahan baku pulp kayu masih melimpah dan tidak ada kebijakan dari pemerintah. Pertimbangan lainnya bahwa proses pulp mekanis memerlukan energi lebih tinggi dan harga energi pada saat ini dirasakan sangat mahal. Namun suatu saat sumber alam berupa kayu akan mengalami krisis sehingga kebijakan industri pulp lambat laun akan berubah dan mengarah kepada proses lainnya. Dipastikan usaha dan investasi untuk pembuatan bubur kertas akan beralih pada pembuatan pulp mekanis atau semi kimia mekanis dengan modifikasi teknologi terbaru hemat bahan dan energi.

Produk hilir yang bisa dibuat dari pulp mekanis diantaranya untuk kertas koran, kertas industri, tisu dan campuran peredam suara. Vipart (1993) mengemukakan bahwa *thermo mechanical pulp* (TMP) serat panjang apabila dilakukan penggilingan menggunakan *refiner* akan memperlihatkan sifat yang hampir sama dengan sifat serat pendeknya. Namun penguraian serpih yang



Figure 1. Plantation and Kenaf stem.

memiliki serat panjang pada proses TMP harus dipisah dengan serpih yang memiliki serat pendek, hal ini untuk menghindari terjadinya pemotongan serat yang berlebih. Fraksi serat panjang TMP pada lembaran kertas akan mendominasi di bagian permukaan kertas. Metoda pemutihan pulp mekanis ada dua cara yaitu pemutihan secara reduktif dan secara oksidatif; kondisi ini dapat dilakukan secara tunggal atau gabungan. Bahan kimia pemutih bersifat reduktif diantaranya bisulfit, ditonit dan boronhidrida sedangkan bahan pemutih bersifat oksidatif menggunakan peroksida, hipohlorit, asam perasetat atau ozone. Pemutihan pulp mekanis menggunakan hydrogen peroksida (H_2O_2) merupakan bahan pemutih oksidatif paling baik dan banyak digunakan di industri. Bahan kimia pemutih seperti Na_2O dan H_2O_2 atau campuran keduanya banyak digunakan dengan media alkali harus pertahankan pada pH 10 ~ 11. Adanya penambahan natrium silikat dan garam magnesium pada pemutihan peroksida sangat disarankan karena berfungsi sebagai penyangga, stabilisasi warna dan meningkatkan kecerahan pulp. Perlu diperhatikan pengaturan konsentrasi NaOH, suhu, konsentrasi Na_2SO_3 , konsistensi pulp dan konsentrasi H_2O_2 yang tepat supaya kecerahan pulp mencapai optimum dan kekuatan fisik pulp baik. Keuntungan penggunaan peroksida adalah menghasilkan derajat putih tinggi, biaya produksi hemat, mengantisipasi penurunan rendemen, warna pulp lebih stabil karena serat bisa mempertahankan sekitar 1/10 bagian peroksida yang terpakai (Stanley 1986, Stuart 1996). Penelitian ini mengungkapkan secara teknis tentang proses, kualitas pulp mekanis batang Kenaf dan kendala lainnya yang akan terjadi.

Bahan dan Metoda

Penelitian skala laboratorium dengan tahapan seperti yang tertera pada Gambar 2. Batang Kenaf kering bebas kulit memiliki panjang antara 2.5 ~ 3.0 m, diameter 1 ~ 2.5 cm berwarna putih cerah diperoleh

dari Jawa Tengah. Kayu Kenaf dipotong-potong seukuran panjang 2 ~ 3 cm disebut serpih; pemotongan diperlukan untuk mempermudah proses dan mengoptimalkan kapasitas digester terisi serpih. Sebagian serpih dipersiapkan untuk pengujian kadar air, massa jenis, morfologi serat dan pengujian kimia menggunakan metoda pengujian SNI 14. 0700-1998

Serpih kayu Kenaf dikondisikan untuk memperoleh kadar air yang homogen, serpih disimpan dalam plastik kedap air dengan berat kering 1000 gram.

Pembuatan pulp termo mekanis (TMP)

Serpih kering dimasukan ke dalam digester berbentuk bejana terbuat dari *stainless* volume 4 liter dilengkapi klep pembuang tekanan uap. *Steaming* dilakukan selama 30 menit dengan tekanan uap 1.5 atm pada suhu 120°C.

Setelah dilakukan *steaming* tekanan uap dikurangi bertahap sampai tekanan minimal (*realse*). Serpih dalam keadaan panas dimasukan ke dalam air panas 60 ~ 70°C untuk menjaga suhu serpih. Serpih dalam keadaan panas di *refining* menggunakan *disk refiner* berdiameter 200 mm terbuat dari baja tahan karat beralur. Serpih dalam *refiner* akan terurai oleh dua jenis piringan yang berputar dan satu piringan statis. Pada tahap awal jarak piringan *refiner* diatur lebih renggang (0.5 mm) supaya serpih hancur merata dan tidak terjadi kemacetan. Jarak piringan pada penguraian tahap kedua diatur lebih rapat (0.25 mm) dan penggilingan dilakukan kontinyu. Selama penggilingan dilakukan pencatatan terhadap pemakaian energi dan penggunaan air. Penguraian dilakukan 3 ~ 4 kali pengulangan sampai diperoleh serat mendekati derajat giling 10 °SR. Selanjutnya ditentukan rendemen pulp dan pengujian klasifikasi serat dengan alat uji Baur Mc.Nett (SNI 14. 1552-1989) , Kappa number (KN) pada penelitian ini tidak dilakukan karena pulp yang diperoleh memiliki *Kappa Number* (KN) yang tinggi.

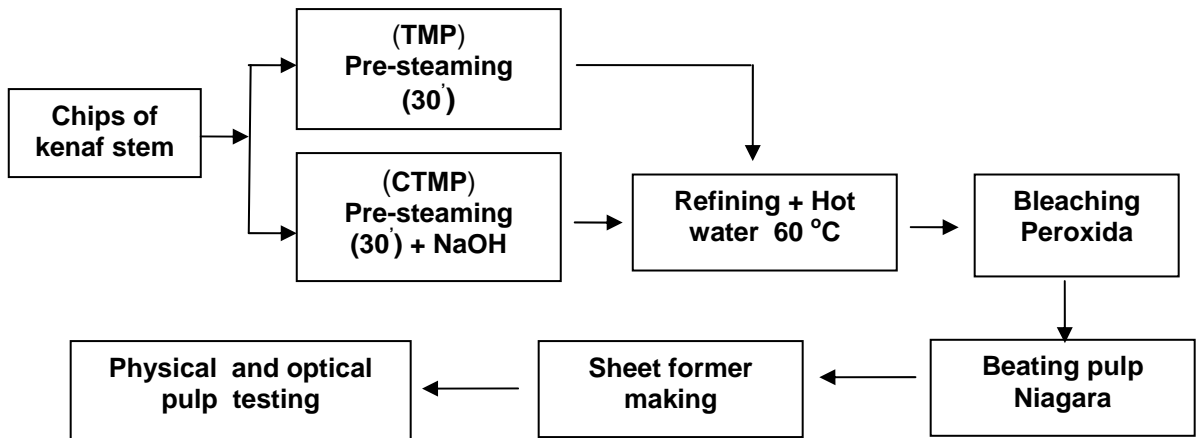


Figure 2. Flowchart of Mechanical pulping TMP/CTMP.

Pembuatan pulp semi termo mekanis (CTMP)

Tahapan proses penguraian serpih CTMP hampir sama dengan proses TMP, perbedaan hanya saat *steaming* ditambahkan larutan kimia NaOH 4% dengan perbandingan serpih dan larutan NaOH 1 : 5. Waktu dan tekanan uap dilakukan sama seperti proses TMP. Alur percobaan CTMP tertera pada Gambar 2.

Pemutihan pulp mekanis

Pulp TMP dan CTMP belum putih ditentukan derajat putihnya (*brightness*). Pulp diputihkan dengan menggunakan peroksida (H_2O_2) dalam 2 tahap yaitu: P₁ (3% atau 4% H_2O_2) dan tahap P₂ (2% H_2O_2), setiap tahap ditambahkan bahan kimia NaOH, EDTA dan Na_2SiO_3 sesuai kondisi proses yang tertera pada Tabel 1.

Table 1. Bleaching condition mechanical pulp

Variable	Stage	
	P1	P2
H_2O_2 , %	3 and 4	2
NaOH, %	1	1
EDTA, %	0.5	0.5
Na_2SiO_3 , %	4	4
Temperature, °C	70	70
Consistency, %	10	10
pH	10	10
Time, minute	180	180

Evaluasi pulp putih mekanis

Pulp putih TMP dan CTMP dilakukan penggilingan supaya serat terfibrilasi menggunakan alat *Niagara Beater*. Pulp dengan konsistensi standar digiling sesuai waktu atau derajat giling yang ditentukan. Pada derajat giling 30 dan 40 °SR dibuat lembaran dengan *sheet*

former berbentuk lingkaran bergaris tengah 15 cm dengan berat dasar 60 ~ 65 g/m. Lembaran pulp dikondisikan pada ruangan khusus dengan suhu 23°C, Rh 65% selama 24 jam. Lembaran pulp TMP atau CTMP diuji sifat fisik dan optiknya dengan metoda uji mengacu standar SNI (SNI 14.0493-1989; SNI14.0438-1989). Pengujiannya meliputi gramatur, tebal, sobek, retak, tarik, panjang putus, derajat putih dan opasitas

Hasil dan Pembahasan

Kayu Kenaf memiliki warna putih cerah bagian tengah berlubang dan bergabus dengan massa jenis sangat ringan (0.15). Sifat ini menunjukkan bahwa kayu Kenaf sangat lunak dan memiliki sifat ruah (*bulky*). Berdasarkan kriteria tersebut kayu Kenaf mudah direfiner; hal ini merupakan salah satu syarat yang diperlukan pada pemilihan bahan baku untuk pulp proses mekanis atau semi mekanis (Gullichsen dan Paulapuro 1998).

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kayu Kenaf memiliki serat yang pendek (0.87 mm) dengan sebaran panjang antara 0.47 ~ 1.20 mm, dinding serat tipis (2.52 μ) dan diameter serat sedang (16.93 μ). Berdasarkan klasifikasi mutu serat (Cassey 1980) maka kualitas pulp yang dihasilkan akan memiliki kekuatan fisik rendah sampai sedang. Kandungan kimia kayu Kenaf terdiri dari lignin (11.68%) atau hampir setengah lignin yang terdapat pada kayu daun (*hardwood*); selulosa α 39.12% tergolong baik dengan kandungan ekstraktif 3.80 % atau hampir sama dengan ekstraktif kayu jarum (Cassey 1980; Humming *et.al.* 1996).

Penambahan NaOH 4% pada serpih saat *pre-steaming* dapat membantu pelunakan serpih sehingga serpih mudah digiling dan kumpulan serat (*fiber bundle*) pada kayu cepat terurai dengan sifat serat fleksibel. Kejadian ini terlihat pada proses CTMP sedangkan pada TMP pembentukan serat halus lebih banyak; hal ini serupa dengan dikemukakan Kappel (1999) bahwa *finer*

akan terkelupas lebih banyak pada lapisan serat primer (P) dan lapisan sekunder (S1) sehingga energi yang diperlukan akan lebih besar. Kejadian tersebut dapat dipantau secara visual saat penggilingan seperti kualitas serat dan amper meter yang digunakan (Tabel 3).

Table 2. Morphology fiber and Chemical Analysis Kenaf stem.

Parameter	Value
Fiber length, mm	0.87
Fiber diameter, μ	16.93
Cell wall thickness, μ	2.52
Density	0.15
Wood color	White
α Cellulose, %	39.12
Lignin, %	11.68
Extractif (alc.benz), %	3.80

Serat CTMP berwarna gelap dibandingkan dengan serat TMP, hal ini akibat adanya NaOH turut bereaksi dengan serpih saat *presteaming* (Gambar 3). Derajat putih pulp CTMP mencapai 38.47% ISO lebih rendah 8 point dibandingkan pulp TMP 46.32% ISO; rendemen pulp CTMP 86.16%, sedangkan pulp TMP lebih tinggi yaitu 91.29%.

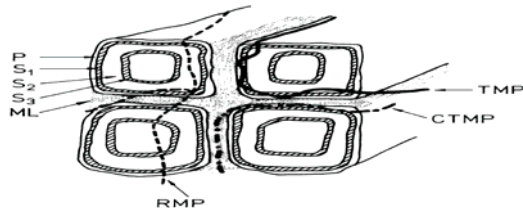


Figure 3. Fracture zones in fiber as different process (Kappel 1999).

Notes: P = primer; S = sekunder; ML = middle lamela; TMP = thermo mechanical pulping; CTMP = chemi- thermo mechanical pulping.

Penggilingan serpih kayu Kenaf dilakukan berulang sampai diperoleh serat terurai sempurna dengan perkiraan mencapai derajat giling 10 °SR. Untuk mencapai kriteria tersebut ditambahkan air panas 60 ~ 70 °C sebagai media penggilingan. Penambahan air panas dimaksudkan untuk membantu pelunakan serpih supaya kerja *refiner* tidak terlalu berat dan serat tidak banyak terpotong (Gordon *et.al.* 1996; Gavelin 1993; Stuart 1996). Kondisi ini dimodifikasi karena peralatan *refiner* yang digunakan tidak memiliki aliran *steam*. Pada saat penggilingan serpih TMP atau CTMP terjadi perbedaan sangat nyata, terutama pada penggunaan energi listrik yang terpantau pada skala amper meter. Penggilingan serpih pada proses CTMP diperlukan 3 kali

ulangan dengan pemakaian arus listrik kumulatif 7.1 Ampere sedangkan untuk serpih TMP diperlukan 4 kali penggilingan diperlukan arus listrik 12.5 Ampere. Hal ini menunjukkan bahwa proses TMP memerlukan energi lebih tinggi dibandingkan CTMP. Hal ini akibat kondisi serpih yang berbeda, serpih CTMP lebih lunak sehingga energi *refiner* yang diperlukan hanya 50% dari energi TMP. Berdasarkan data Ampere meter tersebut, dilakukan perhitungan secara empiris dengan hasil bahwa untuk 1 kg serpih kayu Kenaf, proses TMP diperlukan energi 4.75 kWh sedangkan untuk CTMP 2.6 Kwh untuk memperoleh serat pulp mendekati derajat giling 10 °SR. (Tabel 3).

Table 3. Mechanical Pulping and Energy Consumption.

Parameter	Process	
	TMP	CTMP
Yield of pulp, %	91.29	86.16
Color of pulp	Bright	Dark
Brightness, % ISO	46.32	39.53
Beating process, time	4	3
Freenes, °SR	10 ~ 15	10 ~ 15
Energy consumption / kg chips Kenaf wood		
• Ampere meter (A)	12.5	7.1
• Voltage (V)	380	380
• kWh (KVA)	4.75	2.70

Penambahan NaOH 4% pada CTMP dapat membantu terjadinya *swelling* dan delignifikasi melalui pori-pori serpih, sehingga proses pengembangan serat lebih cepat. *Middle lamella* (ML) serat pada proses CTMP akan terbuka dengan adanya panas dan kimia sehingga serat mudah terurai dan serat halus yang terbentuk lebih rendah, serat mudah terfibrilasi dan lebih fleksibel (Kappel 1999) Kondisi ini akan berpengaruh terhadap ikatan antar serat menjadi lemah dan serat mudah terurai sejalan aksi mekanis oleh *refiner*. Demikian pula halnya dengan penambahan air panas + NaOH akan menyebabkan sebagian lignin pada lapisan serat ML dan P akan larut. Akibat perlakuan mekanis yang sangat kuat oleh *refiner* menyebabkan ikatan serat terlepas dan ada sebagian serat yang hancur terbawa air (Sachs *et.al.* 1990; Yung *et.al.* 2002). Semakin tinggi jumlah serat yang hancur akan berinteraksi langsung terhadap rendemen pulpnya. Pengaruh perlakuan yang berbeda pada TMP dan CTMP, maka fraksi serat pulp yang dihasilkan juga berbeda, hal ini diperlihatkan oleh fraksionasi serat pulpnya (Tabel 4). Pengujian menggunakan alat klasifikasi serat *Baur Mc Nett* terdiri dari beberapa saringan (*screen*) dengan ukuran berbeda dan tersusun bertingkat. Hasilnya ternyata bahwa serat pulp CTMP tidak banyak terpotong sedangkan serat pulp pada TMP banyak terpotong saat

penggilingan. Semakin lama gesekan pisau *refiner* dengan serpih mengakibatkan serat banyak terpotong dan menyebabkan perbedaan waktu penggilingan karena serpih masih keras dan ikatan seratnya menimbulkan serat terpotong sebagian hancur menjadi *finer*. Perbedaan nilai klasifikasi serat tertera pada Tabel 4. Serat utuh CTMP tertahan saringan 30 ~ 200 mesh mencapai 77.84% untuk serat yang lolos saringan 200 mesh jumlahnya lebih kecil (21.18%) dibandingkan dengan TMP (27.01%).

Table 4. Bauer Mc Nett Fractination.

Screen	Process	
	TMP	CTMP
+ 30 mesh , %	32.32	31.98
+ 50 mesh , %	13.32	14.90
+ 100 mesh , %	12.02	20.03
+ 200 mesh , %	15.33	11.91
- 200 mesh , %	27.01	21.18

Sifat optik pulp TMP dan CTMP yang diputihkan dengan hidrogen peroksida menghasilkan derajat putih cukup baik (70 ~ 76% ISO). Penggunaan H₂O₂ 4% meningkatkan derajat putih lebih tinggi namun kekuatannya menurun. Sedangkan pemakaian H₂O₂ 3%, derajat putihnya lebih rendah (70% ISO) tetapi sifat fisik pulpnya lebih tinggi (Tabel 5). Secara umum kekuatan fisik pulp TMP dan CTMP yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi pulp kertas koran Indonesia (SNI 14.0091-1998, Spesifikasi Kertas Koran).

Presteaming serpih dilakukan pada alat yang terpisah dengan *refiner*nya sehingga terjadi pemutusan panas dari bejana ke *refiner*. Untuk mempertahankan

panas pada serpih digunakan media air panas suhu 60 °C kemudian digiling. Pengaruh perendaman serpih dalam air panas kemungkinan akan berpengaruh terhadap konsumsi energi *refiner* saat penggilingan serpih dan jumlah rendemen pulp yang dihasilkan. Berdasarkan pengamatan selama pembuatan pulp mekanis TMP dan CTMP, kayu Kenaf telah menunjukkan adanya suatu perbedaan dalam pemakaian energi dan kualitas pulp yang dihasilkan. Hal tersebut dapat dijadikan bahan acuan untuk mengevaluasi pengembangan pulp mekanis.

Kesimpulan

Kayu Kenaf memiliki sifat dan karakter yang memenuhi syarat sebagai bahan baku pulp mekanis diantaranya memiliki massa jenis ringan, kandungan lignin rendah, selulosa sedang, dan mudah digiling secara mekanis dengan *disk refiner*. Potensi kayu Kenaf berupa limbah dapat dimanfaatkan menjadi bahan bermanfaat melalui proses pulping mekanis.

Pembuatan pulp mekanis kayu Kenaf dengan proses CTMP diperoleh rendemen 86% dengan energi *refining* 2.7 kWh/kg serpih. Sedangkan proses TMP menghasilkan rendemen 92%, diperlukan 4.75 kWh/kg serpih kayu Kenaf.

Pemutihan peroksida 2 tahap memberikan tingkat kecerahan dengan derajat putih 70 ~ 76% ISO, kekuatan fisik pulp sedang dan sebanding dengan derajat putih yang dihasilkan. Kedua jenis pulp putih kayu Kenaf TMP dan CTMP memiliki kualitas yang memenuhi persyaratan spesifikasi mutu SNI 14. 0091 - 1998 kertas koran di Indonesia.

Table 5. Physical properties of TMP and CTMP Kenaf stem (30 °SR).

Pulp	Gramage (g/m ²)	Thickness (mm)	Tears index m ² /kg	Burst index (MN/kg)	Tensile index (kNm/kg)	Breaking length, (m)	Folding indurance (times)	Opacity Dh/Dp	Brightness % ISO
TMP-4	68.37	0.27	3.07	3.89	62.90	998	10	95.03	72
TMP-3	66.79	0.28	3.25	4.01	67.76	968	12	94.21	70
CTMP-4	68.82	0,28	4.13	4.89	70.23	1124	20	95.78	76
CTMP-3	66.37	0.26	3.89	4.38	70.01	1100	17	95.18	75
SNI 14.0091 - 1998 News paper	45 ~ 55	0,10	-	-	-	-	-	89 ~ 90	55

Daftar Pustaka

- Anonimus. 2000. Prospek Kayu Kenaf untuk Bahan Baku Pulp Industri Kertas. Kertas Leces. PT (Persero).
- Balai Besar Selulosa (BBS). 1989. Penelitian Batang, Kayu dan Serat Kenaf Grade C sebagai Bahan Baku Pulp Kertas. (Tidak dipublikasi).
- Cassey, J.P. 1980. Pulp and paper. Third ed. Vol. 2. Jhon Willey & Sons, NY.
- Gavelin, G. 1993. Pulping Technology and Requirements and Potentialities of Developing Countries. Swedish International Development Authority, Monograph on App. Industrial Tech.
- Gullichsen, J. and H. Paulapuro. 1998. Mechanical Pulping. Published in Cooperation with the Finnish Paper Engineers' Association and Tappi.
- Gordon B.; J. Paris; L.V. Jacques. 1996. Fiber Development to Refining Mechanical Pulping. Tappi Journal 79 (4): 193-210.
- Humming X.; R. Pelton; A. Hamler. 1996. Novel Retention Aid for Mechanical Pulp. Tappi Journal 79 (4): 129-141
- Kudo, A.T. 1991. An Aerobic Treatment of Pulp CTMP Waste Water and Toxicity on Granules. Water Sc. Tech. 13: 1919
- Kappel, J. 1999. Mechanical Pulps from Wood to Bleach Pulp. Book CD ROM - Video Multimedia. Tappi Press, USA.
- Paul, P.K. 1994. Thai Experience of Pulp Production using Kenaf. Paper Asia, Book 5, p. 33.
- SNI 14.1552-1989 Cara Uji Fraksionasi Serat Pulp (Metode MC Nett).
- SNI 14.04737-1998 Cara Uji Ketahanan Tarik Lembaran Pulp, Kertas dan Karton (Metoda Kecepatan Elongasi Tetap).
- SNI 14.0091-1998 Spesifikasi Kertas Koran.
- SNI 14.0493-1989 Cara Uji Ketahanan Retak Lembaran Pulp dan Kertas.
- SNI 14. 0438-1989 Cara Uji Derajat Putih Pulp, Kertas dan Karton.
- SNI 14.0495-1989 Cara Uji Opasitas Cetak Kertas.
- SNI 14.0439-1989 Cara Uji Gramatur Kertas dan Karton.
- SNI 14.0700-1998 Cara Uji Massa Jenis Kayu untuk Pulp.
- Sachs, B.; G.F. Leathman; G.C. Miyer; T.H. Wegner. 1990. Biomechanical Pulping of Aspen Chips; Fungal Growth Pattern and Effects on Cell Wall, Fiber and Pulp Morphology. Biotech. Pulp & Paper Manufacture, USA.
- Stanley, N.M. 1986. Introduction to Paper Technology University of Maine. Orono, Maine.
- Stuart R.C. 1996 Development TMP Fiber and Quality of Pulp. Appita Journal 49(5): 197-210.
- Vipart, B. 1993. Evaluating the Anaerobic Treatability of Termomechanical Pulping Waste Water. Pulp & Paper Canada 91(3): 193.
- Yung, B.S.; Y. Jeon; Y. C. Shin; D. Kim. 2002. Effect of Mechanical Impact Treatment on Fibre Morphology and Hand-sheet Properties. Appita Journal 55(6): 475-479

Makalah masuk (*received*) : 18 Januari 2008

Diterima (*accepted*) : 31 Januari 2008

Revisi terakhir (*final revision*) : 09 Mei 2008

Wawan Kartiwa Haroen

Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) Departemen Perindustrian

(Center for Pulp and Paper (CPP) Ministry of Industry)

Jl. Raya Deyeuhkolot 132 Bandung 40258

Tel : 022.5202980

Fax : 022.5202871

Email : wawankh@yahoo.com; wawankh@depperin.go.id

Biodegradasi Substrat Gergajian Kayu Sengon oleh Jamur Kelompok *Pleurotus* Asal Bogor

Biodegradation of Sengon-wood Sawdust Substrate by Pleurotus Group Fungi from Bogor

Elis Nina Herliyana, Dodi Nandika, Achmad, Lisdar I. Sudirman dan Arief B. Witarto

Abstract

White-rot fungi has been started to be developed for enhancing the mushroom based industry in many countries including in environmentally sound of bio-bleaching and bio-pulping technological process. Six isolates of wild *Pleurotus* group were isolated from various location in Bogor, namely *Pleurotus* EAB7, EB24, EB14-2, EB6, EA4 and EB9 of which were studied of their ligninolytic character. *P. ostreatus* HO was used as standard comparison.

The ligninolytic character of these six fungi isolates was measured after inoculation into Sengon (*Paraserianthes falcataria*) wood sawdust substrate inside plastic bag with substrate weight of about 400 gram; other additional substances were paddy scalp, gypsum, calcium and water. Observation was done on Sengon wood sawdust substrate since vegetative phase until reproductive phase. Samples were opened, destructed with *Hammer Mill*, and then dried with oven on temperature of 40°C in 4 ~ 6 days until water content reach 15%, and weigh about 30 gram for analyses. Analyses were done by measuring water soluble extractive substance (TAPPI T 207 om-88 Standard), NaOH (sodium hydroxide) 1% soluble extractive substance (TAPPI T 212 om-88 Standard), alkohol-benzena soluble extractive substance (TAPPI T 204 om-88 Standard), lignin content (TAPPI T 13 os-54 Standard), holocellulose content with method *browning* (TAPPI T 211 m Standard), and cellulose content with method Cross and Bevan (Meulenhoff *et al.* 1977; TAPPI 1996).

Having applied of each wild *Pleurotus* group isolates resulted in increasing of extractives total compounds both in vegetative and reproductive phases. Each wild *Pleurotus* group isolates shows variation in decreasing average of lignin content (10.7 ~ 89.7%) and cellulose (18.9 ~ 87.4%). *Pleurotus* EB9 are able to decrease the highest lignin (89.7%) and cellulose (87.4%) content of substrate. Classification based on ligninolytic character is different with classification based on morphological and physiological characters. *Pleurotus* EB9 seems to be separated from other isolates. This shows that there was different ligninolytic character among the isolates. The best isolate for bio-pulping and bio-bleaching agent is *Pleurotus* EB9 on vegetative phase.

Key words: *Pleurotus* group, ligninolytic characters, Sengon sawdust substrate

Pendahuluan

Penerapan bioteknologi yaitu dengan memanfaatkan proses biologi menggunakan jamur pendegradasi lignin dalam proses teknologi *biobleaching* dan *biopulping*, merupakan salah satu alternatif dan terobosan besar yang perlu dikaji. Beberapa spesies pleurotoid adalah jamur pelapuk kayu yang dapat mendegradasi substrat kayu menjadi bahan-bahan organik sederhana melalui proses hidrolisis enzimatis, sehingga dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme lain termasuk tumbuh-tumbuhan dan tanaman kehutanan. Diketahui beberapa spesiesnya bersifat *edible*, diantaranya yang terkenal adalah kelompok *Pleurotus* yang telah diketahui berpotensi mendegradasi lignin.

Enzim yang berperan dalam proses degradasi adalah enzim ekstraseluler. Jamur yang hidup pada bahan lignoselulosa, mengeluarkan enzim yang dapat mendegradasi bahan tersebut sebagai nutrisinya. Bahan lignoselulosa yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin merupakan bahan polimer sehingga enzim

yang disekresikan jamur akan mengubah bahan lignoselulosa menjadi monomernya agar mudah masuk ke dalam sel. Ligninolitik berhubungan dengan produksi enzim ekstraseluler pendegradasi lignin yang dihasilkan oleh jamur pelapuk putih. Dua enzim yang berperan dalam proses tersebut adalah fenol oksidase (lakase) dan peroksidase (lignin peroksidase/LiP dan manganese peroksidase/MnP). Mekanisme degradasi lignin oleh *Pleurotus* belum banyak dipelajari seperti pada *P. chrysosporium*. Namun dari beberapa studi yang dilakukan, terlihat enzim yang bertanggungjawab untuk degradasi lignin dalam *Pleurotus* cukup bervariasi.

Terdapat lebih kurang 67 spesies kelompok *Pleurotus* yang berhasil dikumpulkan dan dilaporkan oleh para peneliti seluruh dunia, sejak Roussel pada tahun 1805 pertama kali memberi nama *Pleurotus* (LR 2004). Sampai saat ini penelitian mengenai jamur pleurotoid kelompok *Pleurotus* asal Indonesia masih sangat terbatas meskipun jamur ini sudah dikenal dan dikumpulkan serta dimanfaatkan masyarakat untuk berbagai keperluan (Gunawan 1997).

Hasil karakterisasi fisiologis terhadap isolat kelompok *Pleurotus* asal Bogor yaitu *Pleurotus* EB9 dan *Pleurotus* EA4 menunjukkan reaksi oksidasi yang positif pada media AAG dan AAT. Berdasarkan hal-hal tersebut di atas maka perlu dilakukan penelitian karakterisasi secara ligninolitik isolat kelompok *Pleurotus* tersebut berdasarkan tingkat degradasi dan laju dekomposisi pada kayu bahan pulp. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat/kemampuan biodegradasi melalui kadar zat ekstraktif larut dalam air, kadar zat ekstraktif larut dalam NaOH 1%, kadar zat ekstraktif larut dalam alkohol-benzena, kadar lignin, kadar holoselulosa dan kadar selulosa pada fase vegetatif dan reproduktif.

Bahan dan Metode

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2004 sampai Januari 2006 di (1) Laboratorium Patologi Hutan, Departemen Silvikultur dan (2) Laboratorium Kimia Kayu, Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan; (3) Laboratorium Mikrobiologi dan Biokimia, Pusat Studi Ilmu Hayat; (4) Laboratorium Mikologi, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian; dan di (5) Rumah Jamur Departemen Biologi FMIPA, IPB; (6) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Cibinong dan (7) Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI), Bogor.

Degradasi Media Serbuk Gergajian Kayu Sengon

Karakter ligninolitik keenam isolat kelompok *Pleurotus* asal Bogor yaitu *Pleurotus* EB14-2, EB24, EA4, EAB7, EB6 dan EB9, dengan *P. ostreatus* HO sebagai pembanding standar pada media serbuk gergajian kayu Sengon dalam kantong dengan bobot sekitar 400 gram (kultivasi dengan media serbuk gergajian kayu Sengon). Kultur agar ketujuh isolat kelompok *Pleurotus* selanjutnya dibuat bibit dengan cara menumbuhkan miselium ukuran 100 mm² pada media bibit dalam botol (jewawut 23%, dedak 3%, kapur 0.4% dan serbuk gergajian 73.6% serta air secukupnya), kemudian diinkubasi di tempat gelap pada suhu kamar. Jika miselium telah tumbuh memenuhi media bibit dalam botol dengan baik, baru kemudian sebanyak satu sendok teh bibit (\pm 10 gram) tersebut diinokulasikan pada media serbuk gergajian kayu Sengon dalam kantong.

Media serbuk gergajian kayu Sengon dalam kantong terdiri atas 82.5% serbuk gergajian yang ditambah 15% dedak (bekatul padi), 1.5% gips, dan 1.0% kapur serta air secukupnya, tiap kantong plastik diisi sekitar 400 gram media dan kemudian disterilisasi dalam drum kukus selama 7 jam. Media serbuk gergajian kayu Sengon yang sudah diinokulasi dengan bibit disimpan di ruang inkubasi, kemudian yang sudah penuh dengan miselium disimpan di ruang pemeliharaan

atau ruang produksi sampai keluar tubuh buah. Uji ini dilakukan dengan 4 ~ 10 ulangan. Pengamatan dilakukan pada fase vegetatif dan pada fase reproduktif. Fase vegetatif adalah waktu inkubasi dari awal inokulasi sampai kantong penuh dengan miselium. Fase reproduktif adalah dimulai setelah fase vegetatif sampai membentuk tubuh buah dan berlanjut sampai beberapa kali panen tubuh buah sampai bahan substrat habis dan tidak terbentuk lagi tubuh buah, hal tersebut bisa sampai 8 kali panen bahkan lebih. Dalam penelitian ini yang diamati biodegradasinya dibatasi hanya sampai 4 kali panen tubuh buah.

Prosedur Penetapan Contoh Uji dan Analisis Data

Contoh uji, yaitu media serbuk gergajian kayu Sengon dalam kantong tersebut, dibuka dan dihancurkan dengan menggunakan blender khusus (*Hammer Mill*), kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 40°C selama 4 ~ 6 hari sampai kadar air sekitar 15%. Contoh uji tersebut kemudian ditimbang sekitar 30 gram untuk bahan analisis.

Analisis dilakukan dengan mengukur kadar zat ekstraktif larut dalam air (Standar TAPPI T 207 om-88), kadar zat ekstraktif larut dalam NaOH 1% (Standar TAPPI T 212 om-88), kadar zat ekstraktif larut dalam alkohol-benzena (Standar TAPPI T 204 om-88), analisis kadar lignin (Standar TAPPI T 13 os-54), dan analisis kadar holoselulosa dengan metoda *browning* (Standar TAPPI T 211 m) dan analisis kadar selulosa Cross dan Bevan. Analisis dengan menggunakan metode yang diacu dari Meulenhoff *et al.* (1977) dan TAPPI (1996).

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL). Pengolahan data analisis ragam menggunakan SAS9 dan analisis kelompok menggunakan aplikasi SPSS13.

Hasil

Degradasi Media Serbuk Gergajian Kayu Sengon

Hasil penelitian menunjukkan kelarutan ekstraktif substrat baik: kelarutan dalam air dingin (KDAD), kelarutan dalam air panas (KDAP), kelarutan dalam NaOH 1% (KDNaOH1) dan kelarutan dalam alkohol-benzena (KDEB) cenderung meningkat setelah diinokulasi oleh masing-masing isolat kelompok *Pleurotus* baik pada fase vegetatif maupun reproduktif. KDNaOH1 yang meningkat mengindikasikan adanya sejumlah polisakarida yang juga degradasi oleh jamur (Standar TAPPI T 212 om-88). Kelarutan zat ekstraktif tampak menurun seiring masa inkubasi (Tabel 1).

KDAD terbesar diperoleh setelah diinokulasi oleh *Pleurotus* EB7 pada saat fase vegetatif. KDAP terbesar diperoleh setelah diinokulasi oleh *Pleurotus* EB9 pada saat fase vegetatif. KDNaOH1 terbesar diperoleh setelah diinokulasi oleh *P. ostreatus* HO pada saat panen ke-1. KDEB terbesar diperoleh setelah diinokulasi *Pleurotus*

Table 1. Water content and extractives substance of substrate (%) having applied of each wild *Pleurotus* group isolates.

Isolate	Observation time	Dryweight	KA	KDAD	KDAP	KDNaOH1	KDEB
	control ¹⁾	119.6	9.0	5.4	10.0	24.1	3.8
<i>Pleurotus</i> EAB7	vegetative phase	109.1	8.9	12.1	12.5	31.5	6.0
	harvest 1	85.9	8.1	8.1	10.5	24.6	3.2
	harvest 2	85.4	7.3	10.0	12.4	26.4	3.9
	harvest 3	83.1	7.6	12.0	13.3	29.9	3.3
	harvest 4	87.9	7.9	11.5	12.7	30.9	2.2
<i>Pleurotus</i> EB24	vegetative phase	77.3	7.2	7.9	10.8	27.0	4.4
	harvest 1	76.8	6.2	8.7	11.6	30.7	4.7
	harvest 2	68.6	5.9	9.3	12.0	23.7	3.0
	harvest 3	²⁾	-	-	-	-	-
	harvest 4	64.7	5.5	9.1	11.1	22.0	3.8
<i>Pleurotus</i> EB14-2	vegetative phase	74.3	7.2	11.4	12.1	28.7	2.2
	harvest 1	85.9	6.0	10.3	13.6	29.1	4.3
	harvest 2	94.6	8.7	9.8	12.4	29.8	4.1
	harvest 3	64.2	7.0	8.1	8.7	21.2	3.0
	harvest 4	60.5	5.7	6.9	8.7	18.2	2.0
<i>Pleurotus</i> EB6	vegetative phase	91.6	7.9	7.0	8.6	23.0	3.4
	harvest 1	87.5	7.4	9.4	11.6	23.2	4.7
	harvest 2	86.7	6.6	8.8	12.5	23.7	4.7
	harvest 3	78.4	7.3	5.6	8.6	20.6	2.9
	harvest 4	60.4	4.0	6.7	7.3	16.1	2.4
<i>Pleurotus</i> EA4	vegetative phase	97.3	8.4	9.4	11.8	27.8	3.3
	harvest 1	78.3	5.5	7.6	10.1	24.3	3.7
	harvest 2	53.9	4.5	5.3	6.8	17.8	1.9
	harvest 3	69.2	6.0	9.3	11.5	23.4	2.8
	harvest 4	77.1	7.2	9.3	10.0	23.4	2.6
<i>P. ostreatus</i> HO	vegetative phase	81.3	6.6	9.8	12.9	27.1	3.6
	harvest 1	97.1	8.4	11.6	13.5	34.3	4.0
	harvest 2	78.8	5.8	11.2	13.3	28.3	4.3
	harvest 3	69.1	5.0	10.1	11.9	23.6	2.6
	harvest 4	80.3	6.1	10.7	12.7	20.0	3.1
<i>Pleurotus</i> EB9	vegetative phase	118.4	9.0	11.0	13.6	30.0	4.1
	harvest 1	70.7	5.1	5.6	7.3	19.0	3.1
	harvest 2	114.5	9.4	9.6	11.9	32.2	3.6
	harvest 3	68.1	6.5	6.5	7.3	15.5	1.6
	harvest 4	18.4	1.8	2.0	2.2	5.3	0.5

Notes: KA: Water content; KDAD: cold water soluble extractive substance; KDAP: hot water soluble extractive substance; KDNaOH1: NaOH (sodium hydroxide) 1% soluble extractive substance; KDEB: alkohol-benzena soluble extractive substance; ¹⁾ Control: Substrate which are uninoculated of each wild *Pleurotus* group isolates; ²⁾ not observed.

EB7 pada saat fase vegetatif. Jenis isolat, fase pertumbuhan dan interaksi antara jenis isolat dan fase pertumbuhan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar zat-zat ekstraktif substrat.

Hasil penelitian menunjukkan kandungan polimer kayu baik lignin, selulosa dan hemiselulosa substrat cenderung menurun setelah diinokulasi oleh masing-

masing isolat kelompok *Pleurotus* baik pada fase vegetatif maupun reproduktif. Hemiselulosa yang meningkat mengindikasikan adanya sejumlah bahan penyusun kayu yang tidak terukur terdegradasi oleh jamur (Tabel 2). Kadar lignin, selulosa dan hemiselulosa terkecil diperoleh setelah diinokulasi oleh *Pleurotus* EB9 pada saat panen ke-4. Jenis isolat, fase pertumbuhan

Table 2 Lignin content, holocellulose, cellulose and hemicellulose of substrate (%) having applied of each wild *Pleurotus* group isolates

Isolate	Observation time	Lignin	Holocellulose	Cellulose	Hemicellulose
	control ¹⁾	23.0	64.6	47.4	17.2
<i>Pleurotus</i> EAB7	vegetative phase	20.5	62.1	38.5	23.6
	harvest 1	17.8	47.8	29.4	18.3
	harvest 2	18.9	45.9	28.1	17.8
	harvest 3	13.4	45.1	27.0	18.1
	harvest 4	14.9	44.9	27.5	17.5
<i>Pleurotus</i> EB24	vegetative phase	11.9	37.9	19.5	18.4
	harvest 1	13.4	37.5	20.5	17.0
	harvest 2	13.2	36.1	24.6	11.5
	harvest 3	- ²⁾	-	-	-
	harvest 4	12.6	34.3	23.5	10.8
<i>Pleurotus</i> EB14-2	vegetative phase	14.6	35.7	24.8	10.9
	harvest 1	12.3	42.4	23.9	18.5
	harvest 2	20.5	54.0	31.4	22.6
	harvest 3	9.7	32.5	20.8	11.7
	harvest 4	12.0	33.1	20.1	13.0
<i>Pleurotus</i> EB6	vegetative phase	12.7	46.0	27.4	18.6
	harvest 1	13.3	44.1	27.6	16.5
	harvest 2	13.8	44.1	26.1	18.0
	harvest 3	17.0	45.1	26.7	18.5
	harvest 4	10.4	31.3	20.7	10.7
<i>Pleurotus</i> EA4	vegetative phase	14.6	51.3	28.7	22.6
	harvest 1	12.6	42.4	23.7	18.7
	harvest 2	9.2	28.1	16.7	11.4
	harvest 3	14.2	37.9	23.8	14.1
	harvest 4	10.4	38.7	22.7	16.0
<i>P.ostreatus</i> HO	vegetative phase	13.2	40.3	23.8	16.5
	harvest 1	17.2	48.1	28.8	19.3
	harvest 2	13.5	39.1	22.2	16.9
	harvest 3	10.5	34.6	20.0	14.5
	harvest 4	13.1	42.1	25.7	16.3
<i>Pleurotus</i> EB9	vegetative phase	18.2	67.2	37.9	29.3
	harvest 1	10.3	36.0	21.7	14.3
	harvest 2	19.1	57.9	33.6	24.3
	harvest 3	9.3	37.4	23.9	13.5
	harvest 4	2.4	8.8	6.0	2.8

¹⁾ Control: Substrate which are uninoculated of each wild *Pleurotus* group isolates ;

²⁾ not observed.

dan interaksi antara jenis isolat dan fase pertumbuhan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar lignin substrat.

Fase pertumbuhan berpengaruh nyata terhadap kadar selulosa dan hemiselulosa substrat, namun jenis isolat dan interaksi antara jenis isolat dan fase pertumbuhan tidak berpengaruh secara nyata.

Penurunan kandungan polimer kayu yang cukup besar juga ditunjukkan oleh adanya penurunan bobot kering substrat setelah diinokulasi isolat kelompok

Pleurotus. Bobot kering substrat terkecil juga diperoleh setelah diinokulasi oleh *Pleurotus* EB9 pada saat panen ke-4 (Gambar 1).

Kadar zat-zat ekstraktif total secara umum meningkat setelah diinokulasi oleh masing-masing isolat kelompok *Pleurotus* baik pada fase vegetatif maupun reproduktif (Gambar 2).

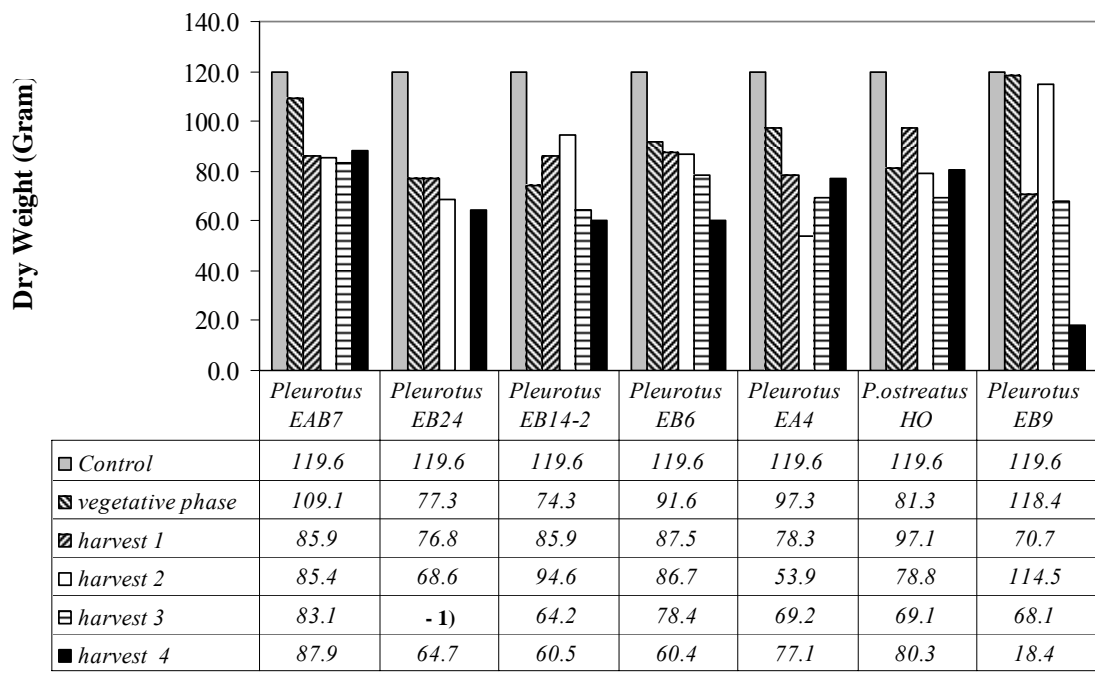


Figure 1. Dry weight of substrate having applied of each wild *Pleurotus* group isolates.
 Note: 1) not observed.

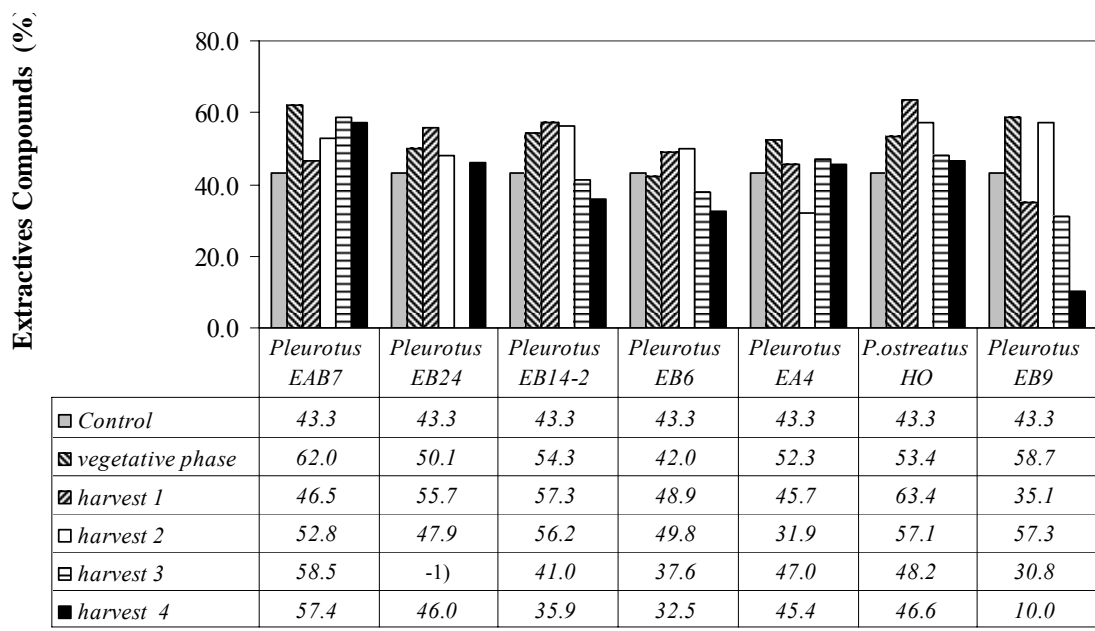


Figure 2. Extractives total compounds of substrate having applied of each wild *Pleurotus* group isolates.
 Note: 1) not observed.

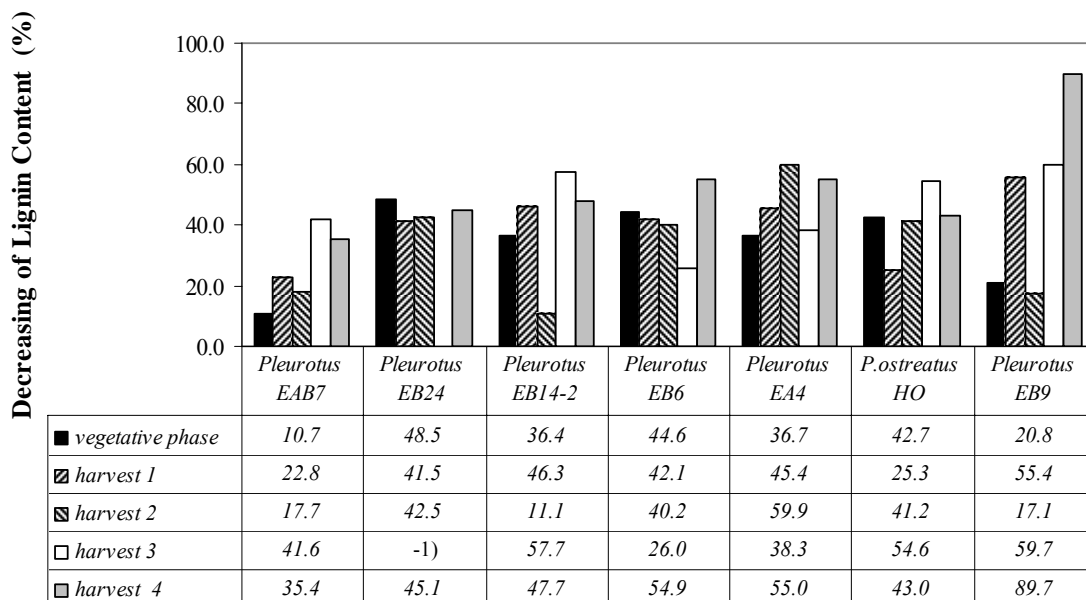


Figure 3. Decreasing of lignin content of substrate having applied of each wild *Pleurotus* group isolates.
Note: ¹⁾ not observed.

Kadar lignin substrat yang rendah setelah diinokulasi isolat-isolat jamur tersebut, menunjukkan isolat-isolat mempunyai potensi ligninolitik yang cukup besar. Penurunan kadar lignin substrat terbesar juga diperoleh setelah diinokulasi oleh *Pleurotus* EB9 pada saat panen ke-4 (Gambar 3).

Penurunan kadar lignin oleh isolat-isolat jamur tersebut berkisar antara 10.7 sampai dengan 89.7%. *Pleurotus* EB9 mempunyai kemampuan menurunkan kadar lignin sampai 89.7%. Penurunan kadar selulosa oleh isolat-isolat jamur tersebut berkisar antara 18.9 sampai dengan 87.4%. *Pleurotus* EB9 juga dapat menurunkan kadar selulosa tertinggi yaitu 87.4%. Kadar hemiselulosa tampak menunjukkan fluktuatif, ada yang meningkat ada yang menurun. Hal ini diduga disebabkan adanya sejumlah bahan penyusun kayu yang tidak terukur terdegradasi oleh jamur seperti kadar zat ekstraktif (Tabel 3).

Analisis Kelompok Berdasarkan Karakter Ligninolitik Biodegradasi Substrat oleh Kelompok *Pleurotus*

Hasil analisis kelompok berdasarkan penurunan kadar lignin, selulosa dan hemiselulosa pada fase vegetatif memperlihatkan *Pleurotus* EB9 dan *Pleurotus* EAB7 (EB7) sangat dekat dengan persamaan 94% dan membentuk kelompok sendiri. *P. ostreatus* HO berada dengan isolat lainnya dalam kelompok yang berbeda (Gambar 4A). Hasil analisis kelompok berdasarkan pada fase reproduktif memperlihatkan *Pleurotus* EB9 dan *Pleurotus* EA4 sangat dekat dengan persamaan 95% dan dengan *Pleurotus* EB24 membentuk kelompok besar kedua, sedangkan *P. ostreatus* HO berada

dengan isolat lainnya dalam kelompok yang berbeda (Gambar 4B).

Pembahasan

Dari sisi pandangan untuk proses *biopulping* dan *bleaching*, isolat jamur yang diharapkan adalah yang dapat meningkatkan kelarutan zat ekstraktif dan menurunkan kadar lignin, namun sedikit menurunkan kadar selulosa dan hemiselulosa (rendemen). Rendemen dapat ditunjukkan secara praktis dengan melihat bobot kering sisa degradasi. Lama fase vegetatif dan reproduktif dapat dilihat pada penelitian 2 tentang karakter fisiologi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada fase vegetatif, *Pleurotus* EB9 merupakan isolat yang mempunyai kemampuan meningkatkan kelarutan zat ekstraktif cukup tinggi (26.2%) dan menurunkan kadar lignin cukup besar (20.8%), dan menurunkan kadar selulosa (20.1%) serta tampak ada peningkatan kadar hemiselulosa (70.6%). Isolat *Pleurotus* EB9 tersebut mempunyai fase vegetatif yang sangat singkat yaitu 14 hari dan menyebabkan penurunan bobot kering sisa degradasi yang paling kecil yaitu 1.0%.

Isolat *Pleurotus* EAB7, pada fase vegetatif meningkatkan kelarutan zat ekstraktif cukup tinggi (30.2%) dan menurunkan kadar lignin (10.7%), dan menurunkan kadar selulosa (18.9%) dan tampak ada peningkatan kadar hemiselulosa (37.55%). Namun isolat tersebut mempunyai fase vegetatif yang cukup panjang (73.7 hari) dengan menyebabkan penurunan bobot kering sisa degradasi sebesar 8.8%.

Isolat *Pleurotus* EA4, pada fase vegetatif mempunyai kemampuan meningkatkan kelarutan zat ekstraktif (17.2%) dan menurunkan kadar lignin cukup tinggi (36.7%), dan menurunkan kadar selulosa cukup besar (39.4%) dan tampak ada peningkatan kadar

hemiselulosa (31.2%). Namun isolat tersebut mempunyai fase vegetatif yang cukup panjang (78.6 hari) dengan menyebabkan penurunan bobot kering sisa degradasi sebesar 18.7%.

Table 3. Increasing of extractives total compounds, decreasing of dry weight, lignin content, cellulose and hemicellulose both in vegetative and reproductive phases having applied of each wild *Pleurotus* group isolates

Isolate	Observation time	Increasing of Extractives (%)	Decreasing (%)			
			Dry weight	Lignin content	Cellulose content	Hemicellulose content
<i>Pleurotus</i> EB7	vegetative phase	30.2	8.8	10.7	18.9	-37.5 ³⁾
	harvest 1	6.8	28.2	22.8	37.9	-6.6
	harvest 2	18.0	28.6	17.7	40.7	-3.4
	harvest 3	26.0	30.5	41.6	43.0	-5.4
	harvest 4	24.6	26.5	35.4	42.1	-1.5
<i>Pleurotus</i> EB24	vegetative phase	13.7	35.4	48.5	58.9	-7.1
	harvest 1	22.3	35.8	41.5	56.7	1.1
	harvest 2	9.7	42.6	42.5	48.1	32.9
	harvest 3	-1)	-	-	-	-
	harvest 4	5.8	45.9	45.1	50.4	37.1
<i>Pleurotus</i> EB14-2	vegetative phase	20.3	37.9	36.4	47.8	36.3
	harvest 1	24.4	28.2	46.3	49.6	-7.8
	harvest 2	23.0	20.9	11.1	33.7	-31.2
	harvest 3	-5.6 ²⁾	46.3	57.7	56.2	31.9
	harvest 4	-20.5	49.4	47.7	57.6	24.5
<i>Pleurotus</i> EB6	vegetative phase	-3.0	23.4	44.6	42.3	-8.4
	harvest 1	11.5	26.8	42.1	41.8	4.0
	harvest 2	13.0	27.5	40.2	44.9	-4.5
	harvest 3	-15.0	34.5	26.0	43.8	-7.4
	harvest 4	-33.4	49.5	54.9	56.4	38.1
<i>Pleurotus</i> EA4	vegetative phase	17.2	18.7	36.7	39.4	-31.2
	harvest 1	5.2	34.5	45.4	50.0	-8.9
	harvest 2	-35.6	54.9	59.9	64.7	33.8
	harvest 3	7.8	42.1	38.3	49.9	18.0
	harvest 4	4.6	35.5	55.0	52.1	6.8
<i>P.ostreatus</i> HO	vegetative phase	18.9	32.0	42.7	49.7	4.3
	harvest 1	31.8	18.9	25.3	39.1	-12.0
	harvest 2	24.2	34.1	41.2	53.2	1.5
	harvest 3	10.2	42.2	54.6	57.7	15.4
	harvest 4	7.0	32.8	43.0	45.7	5.1
<i>Pleurotus</i> EB9	vegetative phase	26.2	1.0	20.8	20.1	-70.6
	harvest 1	-23.2	40.9	55.4	54.2	17.0
	harvest 2	24.4	4.3	17.1	29.1	-41.1
	harvest 3	-40.4	43.1	59.7	49.7	21.4
	harvest 4	-334.3	84.7	89.7	87.4	83.5

Notes: Value of Increasing of extractives total compounds as compared to extractives total compounds of control (43.3%); value of decreasing of dry weight, lignin content, cellulose and hemicellulose as compared to each control : dry weight (119.6 g), lignin content (23.0%), cellulose (47.4%) and hemicellulose (17.2%); ¹⁾ not observed ²⁾ Negative value in this column meaning there are decreasing; ³⁾ Negative value in this column meaning there are increasing.

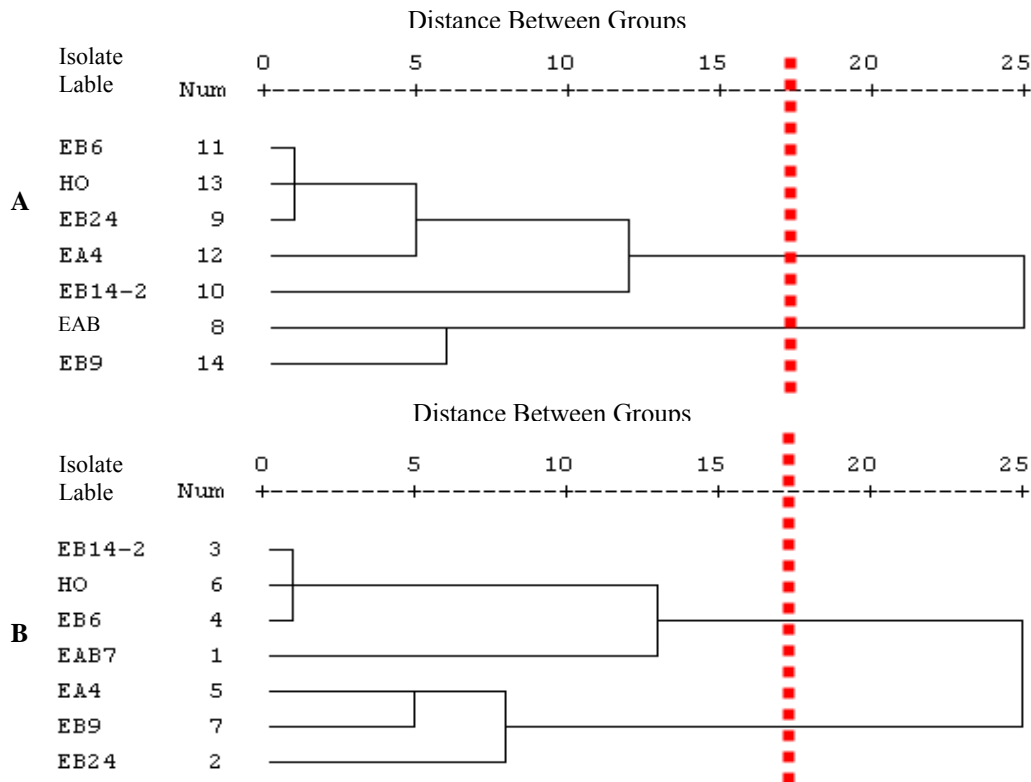


Figure 4. A. Dendrograme of the ligninolytic character on vegetative phase of these six fungi isolates *Pleurotus* group *Fungi* from Bogor, namely *Pleurotus* EB6, *P. ostreatus* HO, *Pleurotus* EB24, *Pleurotus* EA4, *Pleurotus* EB14-2, *Pleurotus* EAB7 dan *Pleurotus* EB9. B. Dendrograme of the ligninolytic character on reproductive phase of these six fungi isolates *Pleurotus* group *Fungi* from Bogor, namely *Pleurotus* EB14-2, *P. ostreatus* HO, *Pleurotus* EB6, *Pleurotus* EAB7, *Pleurotus* EA4, *Pleurotus* EB9 dan *Pleurotus* EB24.

Isolat *P. ostreatus* HO mempunyai kemampuan meningkatkan kelarutan zat ekstraktif (18.9%) dan menurunkan kadar lignin cukup tinggi (42.7%), dan menurunkan kadar selulosa cukup besar (49,7%) dan tampak ada peningkatan kadar hemiselulosa (4.3%). Isolat tersebut mempunyai fase vegetatif yang cukup pendek (19.5 hari) dengan menyebabkan penurunan bobot kering sisa degradasi sebesar 32.0%. Padahal *P. ostreatus* diketahui merupakan jamur pelapuk putih yang lebih selektif terhadap lignin dibanding *P. chrysosporium* (Kerem *et al.* 1992).

Isolat *Pleurotus* EB24, EB14-2 dan EB6, pada fase vegetatif mempunyai kemampuan menurunkan kadar lignin yang cukup tinggi, namun pada aspek-aspek lain dalam kriteria sebagai agens *biopulping* dan *biobleaching* mempunyai kelemahan seperti sedikit menurunkan kelarutan zat ekstraktif, menurunkan juga rendemen bahan pulp serta mempunyai fase vegetatif yang cukup lama. Hal ini menunjukkan bahwa isolat spesies jamur yang berbeda memiliki kemampuan yang berbeda dalam mendegradasi satu jenis media (substrat gergajian kayu Sengon).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat yang paling baik untuk agens *biopulping* dan *biobleaching* adalah *Pleurotus* EB9 pada fase vegetatif. Walaupun isolat tersebut pada fase reproduktif, mempunyai kemampuan menurunkan kadar lignin sampai 89.7%, namun mempunyai kelemahan terutama masa inkubasi yang cukup lama dan juga rendemen berupa selulosa dan hemiselulosa yang rendah karena semakin besar terdegradasi. Menurut Chang dan Hayes (1978), setelah terbentuk tubuh buah (basidiokarp) fraksi holoselulosa, α -selulosa dan lignin direduksi kira-kira mencapai 80%. Zadrzil (1975 dalam Chang dan Hayes 1978) mengatakan bahwa hasil dekomposisi kompleks lignoselulosa oleh *P. osteratus* adalah 50% menjadi substrat yang dibebaskan sebagai gas CO₂, 20% sebagai air, 20% sebagai residu kompos, dan 10% menjadi tubuh buah. Hasil akhir menunjukkan kandungan nitrogen dan mineral meningkat selama pertumbuhan. Menurut Herliyana (1997), setelah 6 minggu inkubasi pada kultivasi media padat dengan kondisi diberi aerasi, pemberian *Schizophillum commune* dapat menurunkan kadar lignin pada pulp kayu *Acacia*

mangium (69.3%) dan pada pulp kayu *Pinus merkusii* (10%), dan pemberian *P. chrysosporium* dapat menurunkan kadar lignin pada pulp kayu *A. mangium* (41.8%) dan pada pulp kayu *P. merkusii* (75.9%).

Kelompok ekstraktif pada substrat kayu mempunyai kadar yang sedikit, namun terdiri atas pelbagai senyawa kimia. Komponen utama yang larut air adalah terdiri atas karbohidrat, protein, dan garam-garam anorganik. Ekstraksi pelarut dapat dilakukan dengan berbagai pelarut organik seperti eter, aseton, benzena, etanol, diklorometana atau campuran pelarut tersebut. Asam lemak, asam resin, lilin, tanin dan zat warna adalah bahan penting yang dapat diekstrak dengan pelarut organik. Dalam kasus manapun tidak ada perbedaan yang tegas antara komponen ekstraktif yang dipisahkan dengan pelarut yang berbeda, misalnya, tanin larut dalam air panas, tetapi juga ditemukan dalam ekstrak alkohol (Achmadi 1988).

Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kelarutan dalam NaOH 1% (KDNaOH1) yang mengindikasikan adanya polisakarida yang terdegradasi. Isolat *Pleurotus* EB9 pada fase vegetatif mempunyai peningkatan KDNaOH1 yang cukup rendah (19,7%), hal tersebut menunjukkan rendahnya degradasi pada selulosa maupun hemiselulosa. Peningkatan KDNaOH1 tertinggi diperoleh pada masa panen ke-4 oleh *Pleurotus* EB9. Pada kondisi ini ternyata menunjukkan adanya penurunan kadar selulosa dan juga hemiselulosa yang tertinggi. Untuk kepentingan *biopulping* dan *biobleaching*, maka dapat direkomendasikan untuk memanfaatkan isolat *Pleurotus* EB9 pada fase vegetatif yang mempunyai peningkatan KDNaOH1 yang cukup rendah (19.7%), hal tersebut menunjukkan rendahnya degradasi pada selulosa maupun hemiselulosa.

Kelompok *Pleurotus* merupakan dekomposer bahan organik utama yang dapat secara efisien dan selektif menguraikan lignoselulosa tanpa perlakuan pendahuluan secara kimia atau biologi, dan dapat menggunakan variasi besar dalam bahan lignoselulosa. Beberapa contoh bahan lignoselulosa adalah jerami padi, ampas tebu, sisa gergajian, kulit coklat, pulp kopi dan batang-batang kapas. Hadar *et al.* (1993) menemukan bahwa selama 4 minggu proses kultivasi padat, kadar lignin menurun secara nyata. *Pleurotus* spp., diketahui mempunyai daya delignifikasi yang selektif dibanding *P. chrysosporium* (Kerem *et al.* 1992).

Analisis kelompok karakter ligninolitik menunjukkan pengelompokan berdasarkan karakter ligninolitik berbeda dengan pengelompokan berdasarkan karakter fisiologis. Hal tersebut menunjukkan, antar isolat mempunyai karakter ligninolitik yang berbeda.

Penurunan kadar zat ekstraktif, lignin, selulosa dan peningkatan hemiselulosa substrat oleh isolat jamur kelompok *Pleurotus* secara statistik tidak berbeda nyata. Padahal *P. ostreatus* diketahui merupakan jamur pelapuk putih yang lebih selektif terhadap lignin

dibanding *P. chrysosporium* (Kerem *et al.* 1992). Penelitian ini menunjukkan bahwa masing-masing isolat mempunyai kemampuan mendegradasi substrat berbeda.

Peningkatan kadar hemiselulosa pada substrat diduga disebabkan oleh terjadinya degradasi lignin dan selulosa atau bahan penyusun kayu yang lain oleh satu isolat jamur pada satu masa inkubasi yang lebih cepat sehingga kadar hemiselulosa relatif meningkat dan rasio holoselulosa/lignin (H/L) substrat serbuk gergajian kayu meningkat. Selain mendegradasi lignin, jamur kelompok *Pleurotus* juga menghasilkan enzim lain, diantaranya selulase dan protease (Hong dan Namgung 1975 dalam Chang dan Quimio 1982), hemiselulase (Hong dalam Chang dan Quimio 1982), aminopeptidase (Blaich 1973 dalam Chang dan Quimio 1982).

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada fase vegetatif, *Pleurotus* EB9 merupakan isolat yang mempunyai kemampuan meningkatkan kelarutan zat ekstraktif cukup tinggi (26.2%) dan menurunkan kadar lignin cukup besar (20.8%), dan menurunkan kadar selulosa (20.1%) serta tampak ada peningkatan kadar hemiselulosa (70.6%). Isolat *Pleurotus* EB9 tersebut mempunyai fase vegetatif yang sangat singkat yaitu 14 hari dan menyebabkan penurunan bobot kering sisa degradasi yang paling kecil yaitu 1.0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat yang paling baik untuk agens *biopulping* dan *biobleaching* adalah *Pleurotus* EB9 pada fase vegetatif. Isolat *Pleurotus* EB9 pada fase vegetatif juga yang mempunyai peningkatan KDNaOH1 yang cukup rendah (19.7%), hal tersebut menunjukkan rendahnya degradasi pada selulosa maupun hemiselulosa.

Analisis kelompok menunjukkan pengelompokan berdasarkan karakter ligninolitik yang berbeda dengan pengelompokan berdasarkan karakter fisiologis. Hal tersebut menunjukkan isolat spesies jamur yang berbeda memiliki kemampuan yang berbeda dalam mendegradasi satu jenis media.

Isolat *Pleurotus* EB24, EB14-2 dan EB6, pada fase vegetatif mempunyai kemampuan menurunkan kadar lignin yang cukup tinggi, namun pada aspek-aspek lain dalam kriteria sebagai agens *biopulping* dan *biobleaching* mempunyai kelemahan seperti sedikit menurunkan kelarutan zat ekstraktif, menurunkan juga rendemen bahan pulp serta mempunyai fase vegetatif yang cukup lama.

Penelitian biodegradasi substrat pada jenis kayu lainnya disarankan dapat menjadi topik penelitian dengan menganalisa polisakarida hasil kelarutan dalam NaOH 1% dianjurkan untuk melihat jenis polisakarida apa yang terdegradasi sehingga dapat diketahui enzim-enzim yang dihasilkannya.

Daftar Pustaka

- Achmadi, S.S. 1988. Diktat Kimia Kayu. Bogor: Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor.
- Chang, S.T. and W.A. Hayes, editor. 1978. The Biology and Cultivation of Edible Mushrooms. New York: Academic Press.
- Chang, S.T. and T.H. Quimio, editor. 1982. Tropical Mushrooms Biological Nature and Cultivation Methods. Hong Kong: The Chinese University Press of Hong Kong.
- Gunawan, A.W. 1997. Status Penelitian Biologi dan Budi Daya Jamur di Indonesia. J. Hayati 12: 80-84.
- Hadar, Y.; Z. Kerem; B. Gorodecki. 1993. Biodegradation of Lignocellulotic Agricultural Wastes by *Pleurotus ostreatus*. J. Biotechnol 30: 133-139.
- Herliyana, E.N. 1997. Potensi *Schizophyllum commune* dan *Phanerochaete chrysosporium* untuk Pemutihan Pulp Kayu *Acacia mangium* dan *Pinus merkusii* [Thesis]. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Kerem Z; D. Friesem; Y. Hadar. 1992. Lignocellulose Degradation during Solid State Fermentation *Pleurotus ostreatus* versus *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl Environ Microbiol* 4: 1121-1127.
- [LR] Landcare Research. 2004. *Pleurotus* spp. in Research. <http://nzfungi.landcareresearch.co.nz>. [2 Oktober 2006]
- Meulenhoff, I.W.M.; K. Sofyan; S.S. Achmadi. 1977. Penuntun Praktikum Kimia Kayu. Fakultas Kehutanan, IPB.
- [TAPPI] Technical Association of The Pulp and Paper Industry. 1996. Metered Size Press Forum, Proceeding of The Tappi 1996 Metered Size Press Forum. Atlanta: Tappi Press.
- Makalah masuk (*received*) : 12 Februari 2008
Diterima (*accepted*) : 05 Mei 2008
Revisi terakhir (*final revision*) : 12 Juni 2008
- Elis Nina Herliyana dan Achmad
Dept Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (*Siviculture Dept., Faculty of Forestry, Bogor Agriculture University*)
Fax : 0251626806,
E-mail : elisherliana@yahoo.com
- Dodi Nandika
Dept Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor (*Forest Product Dept., Faculty of Forestry, Bogor Agriculture University*)
Fax : 0251621285
- Lisdar I. Sudirman
Departemen Biologi, Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor (*Biology Dept., Faculty of MIPA, Bogor Agriculture University*)
E-mail : lsd@indo.net.id
- Arief B. Witarto
Pusat Penelitian Bioteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (*Biotechnology Research Center, Indonesian Institute of Sciences*), Cibinong
Fax : 02177835140
E-mail : witarto@yahoo.com.

Tinjauan Hasil-hasil Penelitian Faktor-faktor Alam yang Mempengaruhi Sifat Fisik dan Mekanik Kayu Indonesia

Review of Researches on Natural Factors Affecting the Physical and Mechanical Properties of Indonesian Wood

Wahyu Dwianto dan Sri Nugroho Marsoem

Abstract

This review deals with several topics concerning natural factors affecting physical and mechanical properties of wood, i.e. (1) wood species; (2) age and location of growing; (3) position of wood sample in the stem; (4) diameter; (5) humidity, moisture content, and temperature; (6) weathering and fungi; (7) forest fire; that have been done by researchers who are members of Indonesian Wood Research Society. The purposes of this review are (1) to evaluate the research results that have been done, (2) to promote the applicable and feasible utilization of research results to the users, (3) to provide information concerning previous researches that might be useful for further researches.

More than 60 wood species have been reported in this review. Besides the major and minor commercial wood species; lesser known species, i.e. Balsa (*Ochroma spp.*), Randu (*Ceiba pentandra* Gaertn.), Merabung (*Macaranga sp.*), Cengkeh (*Eugenia aromatica* L.), Afrika (*Maesopsis eminii*), Kisereh (*Cinnamomum porrectum* (Roxb) Kosterm), Kibawang (*Melia excelsa* Jack.), Pulau Konggo (*Alstonia kongoensis* Engl.), Sengon Buto (*Enterolobium cyclocarpum* Griseb.), Salamander (*Grevillea robusta* A.Cunn.), Kilemo (*Litsea cubeba* Pers.), Tahongai (*Kleinhovia hospita* Linn.), Sukun (*Artocarpus altilis*), Arang (*Diospyros borneensis*), Berumbung (*Adina minutifolia*), Tisuk/Waru (*Hibiscus macrophyllus*), Urograndis (*Eucalyptus urograndis*), Kelapa (*Cocos nucifera* L.), Kelapa Sawit (*Eleais guineensis* Jacq.), Laban (*Vitex Pubescens* Vahl.), Rambai (*Baccaurea motleyana* Muell.), Ki Sampang (*Evodia latifolia* DC.), Nangka (*Artocarpus integra* Merr.), Kalapi (*Kalappia celebica*), Gofasa (*Vitex coffasus*), Ketileng (*Vitex glabrata*), Cemara (*Gymnostoma sp.*), and Lamtoro (*Leucaena glauca* (Willd) Benth). have also been observed. The researches were generally done in relation to the utilization prospect of lesser known species, crops estate species, fast growing species, timber estate species, rural forest species, commercial species, for construction/structural materials, handycraft, musical instruments, or out-door exposures.

Wood properties were interaction between specific gravity or density, moisture content, shrinkage and mechanical properties of wood. However, the values of those physical and mechanical properties in the papers could not directly compared to each other, because there were various testing standard and strength classification used. And unfortunately, researches on acoustic, thermal, electrical, creep, relaxation, and fatigue behaviour of Indonesian wood species were very rare or almost none.

Key words: lesser known species, physical and mechanical properties, testing standard and strength classification.

Pendahuluan

Makalah ini menguraikan hasil-hasil penelitian sifat fisik dan mekanik jenis-jenis kayu Indonesia yang telah dilakukan oleh para peneliti anggota Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (Mapeki). Seluruh makalah yang akan dibahas telah dipresentasikan di Seminar Nasional Mapeki ke I s/d VIII (1998 ~ 2005). Tujuan tinjauan makalah ini adalah untuk (1) mengevaluasi hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan; (2) mempromosikan hasil penelitian yang bersifat aplikatif sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan oleh pihak pengguna; (3) agar penelitian yang telah dilakukan menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

Lebih kurang 60 makalah yang berhubungan dengan penelitian sifat fisik dan mekanik kayu telah diterbitkan di Prosiding Seminar Nasional Mapeki. Tinjauan hasil-hasil penelitian pada makalah ini

didasarkan pada faktor-faktor alam yang mempengaruhi sifat fisik dan mekanik kayu. Faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi (1) jenis kayu; (2) umur dan tempat tumbuh; (3) letak dalam batang; (4) diameter; (5) kelembaban, kadar air dan suhu; (6) cuaca dan jamur; serta (7) kebakaran hutan.

Jenis Kayu

Penelitian sifat fisik dan mekanik yang telah dilakukan sehubungan dengan prospek pemanfaatan jenis-jenis kayu kurang dikenal (*lesser known species*), kayu dari tanaman perkebunan (*crops estate species*), kayu cepat tumbuh (*fast-growing species*), kayu Hutan Tanaman Industri/HTI (*timber estate species*), kayu dari areal *agro-forestry*, kayu andalan/unggulan setempat (JAS), kayu dari hutan rakyat (*rural forest species*), kayu perdagangan (*commercial species*), kayu langka

terancam punah, dan kayu alternatif untuk bahan bangunan konstruksi/struktural, kayu perkakas/pertukangan, mebel, kerajinan/ukiran, alat musik, atau penggunaan di luar ruangan.

Jenis Kayu Kurang Dikenal

Menurut Badan Inventarisasi dan Tata Guna Hutan, Departemen Kehutanan, di Indonesia terdapat 3124 jenis kayu yang terdiri dari kayu komersial, non komersial, tak dikenal, maupun jenis kayu budidaya (Anonim 1986). Jenis kayu non komersial maupun tak dikenal biasanya memiliki berat jenis (BJ) rendah, tidak kuat dan tidak awet, sehingga membatasi penggunaannya. Sebagai contoh kayu Balsa dengan BJ 0.15 ~ 0.28 termasuk kelas kuat dan kelas awet V (Anonim 1979). Prayitno (1998) melaporkan struktur anatomi, sifat-sifat fisik, mekanik, penyebaran dan kegunaan kayu Balsa (*Ochroma spp.*), Randu (*Ceiba pentandra* Gaertn.), Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.), dan Merabung (*Macaranga sp.*). Sifat fisik dan mekanik yang diteliti meliputi BJ, kadar air (KA), kembang-susut, warna kayu teras, tekstur, arah serat, kekerasan, keteguhan lentur (MOE), keteguhan patah (MOR), keteguhan tekan sejajar dan tegak lurus serat, serta tarik tegak lurus serat.

Widiati (2002) meneliti kayu Tahongai (*Kleinhovia hospita* Linn.) dan melaporkan bahwa kayu ini mempunyai rasio penyusutan arah tangensial dan radial (T/R rasio) sebesar 1.47, sedangkan berdasarkan BJ-nya maka termasuk kelas kuat III. Sifat mekanik kayu ini termasuk kelas kuat II untuk keteguhan tekan sejajar serat; kelas kuat IV untuk nilai MOE; dan kelas kuat II untuk nilai MORnya. Berdasarkan sifat-sifat tersebut maka kayu ini dapat dimanfaatkan untuk bahan baku kayu lapis, mebel dan konstruksi ringan.

Jenis Kayu dari Tanaman Perkebunan

Salah satu upaya untuk mengatasi menurunnya bahan baku kayu adalah dengan memanfaatkan jenis kayu yang berasal dari tanaman perkebunan. Beberapa jenis kayu perkebunan yang telah dimanfaatkan adalah kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muel. Arg.), kayu Kelapa (*Cocos nucifera* L.) dan kayu Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Rachman dan Malik (1999) meneliti BJ, kekerasan dan sifat permesinan kayu Cengkeh (*Eugenia aromatica* L.) berumur 20 tahun (diameter 10 ~ 30 cm) yang berasal dari kebun rakyat dan petak percobaan Institut Pertanian Bogor di Sukamantri. BJ rata-rata kayu Cengkeh adalah 0.79 (0.74 ~ 0.84), sedangkan kekerasan rata-rata adalah 575.25 (473.75 ~ 698.70) kg/cm². Berdasarkan hasil tersebut maka kayu Cengkeh termasuk kelas kuat II; sekelas dengan kayu Jati yang memiliki BJ 0.70, bahkan lebih keras dari kayu Jati yang memiliki kekerasan 440 kg/cm².

Jenis Kayu Cepat Tumbuh, Kayu HTI dan Kayu dari Areal Agro-forestry

Dimasa depan, kayu-kayu cepat tumbuh akan menggantikan kayu-kayu dari hutan alam; oleh karena itu sangat diperlukan data-data karakterisasinya. Firmanti *et al.* (2000) meneliti sifat kekuatan kayu Akasia (*Acacia mangium* Willd.), kayu Afrika (*Maesopsis emini*), Tusam (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vr.) dan Gmelina (*Gmelina arborea*) contoh uji skala penuh (6 cm x 12 cm x 300 cm). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa BJ kayu-kayu tersebut berkisar antara 0.35 ~ 0.70; MOR antara 15 ~ 90 MPa; dan MOE antara 3.5 ~ 21 GPa. Dengan rentang sifat kekuatan yang tinggi, maka jenis-jenis kayu cepat tumbuh tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan struktural.

Sutapa mengadakan penelitian-penelitian mengenai kualitas batang dan sifat fisik kayu Mindi (*Melia azedarach* L.) dari areal agro-forestry tradisional di Cankringan, Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan terhadap pohon Mindi dengan umur rata-rata 18 tahun dan diameter rata-rata 34.4 cm. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa jumlah rata-rata mata kayu pada batang bagian bawah sampai ketinggian 3 m sebanyak 0.36/m, sedangkan pada batang bagian tengah dari ketinggian 3 ~ 6 m sebanyak 0.96/m. Ukuran diameter mata kayu tersebut antara 18 ~ 40 mm. Perbedaan KA antara kayu gubal dan kayu teras dari pohon yang baru ditebang sebesar 15.8%. Perbedaan KA yang relatif kecil ini memperkecil kemungkinan terjadinya retak akibat pengeringan (Sutapa 2002). Rata-rata BJ kayu ini adalah 0.53 dengan perbedaan nyata antara bagian dalam (0.52) dan bagian luar batang (0.55). Besarnya penyusutan tangensial (T) = 7.5%, dan penyusutan radial (R) = 4.5%, sehingga didapatkan T/R rasio sebesar 1.7 (Sutapa 2004).

Kholik dan Prabawa (2004) meneliti mengenai sifat dan kualitas kayu Sukun (*Arthocarpus altilis*) berumur 21 tahun di lahan agro-forestry Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya dilakukan berdasarkan standar DIN (*Deutsche Institut Fuer Normung*) pada bagian pangkal, tengah, ujung batang, serta bagian cabang. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan kering tanur = 0.31 gr/cm³; T/R rasio batang = 1.82; T/R rasio cabang = 1.97; MOE = 50.05 ton/cm²; MOR = 318.28 kg/cm²; keteguhan tekan sejajar serat = 95.86 kg/cm²; keteguhan geser = 6.27 kg/cm²; kekerasan samping = 91.09 kg/cm²; kekerasan ujung = 205.98 kg/cm²; dan keteguhan pukul = 18.95 x 10⁻³ J/mm². Berdasarkan klasifikasi berat kayu (Soenardi 2001), dengan kerapatan kering udara 0.31 gr/cm³ maka kayu Sukun termasuk jenis kayu ringan (< 0.36 gr/cm³). Stabilitas dimensi kayu ini tergolong rendah. Martawijaya (1990) menyebutkan bahwa dengan rasio penyusutan yang besar akan cenderung lebih mudah pecah atau berubah bentuk yang mengakibatkan cacat. Menurut

klasifikasi kelas kekuatan kayu yang didasarkan atas hubungan nilai kerapatan kering udara, MOR dan keteguhan tekan sejajar serat (Anonim 1976), maka kayu Sukun termasuk kelas kuat IV; sehingga tidak dapat digunakan sebagai bahan bangunan konstruksi.

Jenis Kayu Andalan Setempat

Dalam upaya memberdayakan jenis-jenis kayu di daerah Jawa Barat sebagai Jenis kayu Andalan Setempat (JAS), Abdurachman dan Hadjib (2001) melakukan penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik kayu Kisereh (*Cinnamomum porrectum* (Roxb) Kosterm.) BJ = 0.627; Surian atau Suren (*Toona sureni* Merr.) BJ = 0.465; Kibawang (*Melia excelsa* Jack.) BJ = 0.492; Pulai Konggo (*Alstonia kongoensis* Engl.) BJ = 0.412; Tusam (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vr.) BJ = 0.734; Sengon Buto (*Enterolobium cyclocarpum* Griseb.) BJ = 0.486; Kapur (*Dyobalanops aromatica* Burck.) BJ = 0.788; Salamander (*Grevillea robusta* A.Cunn.) BJ = 0.614; Mahoni (*Swietenia macrophylla* King.) BJ = 0.577; dan Kilemo (*Litsea cubeba* Pers.) BJ = 0.460. Sifat fisik dan mekanik yang diuji meliputi KA, penyusutan, keteguhan pada batas proporsi, MOE, MOR, keteguhan tekan dan geser sejajar dan tegak lurus serat, keteguhan pukul, kekerasan, serta keteguhan tarik tegak lurus serat, berdasarkan standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) D 143-94. Dari jenis-jenis kayu yang diteliti, Kisereh, Kibawang, Pulai Konggo, Kapur, Salamander, dan Kilemo mempunyai kestabilan dimensi rendah (T/R rasio > 2), sedangkan kayu lainnya mempunyai kestabilan dimensi tinggi. Sebagai bahan baku konstruksi, selain dilihat berdasarkan kelas kuatnya, perlu juga dipertimbangkan rasio kekuatan terhadap berat kayunya (*strength to weight ratio*), karena semakin tinggi rasio tersebut maka semakin sesuai untuk bahan baku konstruksi. Berdasarkan nilai BJ, MOR, dan keteguhan tekan sejajar seratnya maka kayu Kisereh, Tusam, Salamander, dan Kapur termasuk dalam kelas kuat II, sedangkan lainnya kelas kuat III. Jenis-jenis kayu dengan kelas kuat II dan mempunyai rasio kekuatan terhadap berat yang cukup tinggi dapat dimanfaatkan untuk bahan baku konstruksi.

Jenis Kayu Perdagangan

Kholik dan Gunawan (2004) melaporkan sifat dan kegunaan 6 jenis kayu Kalimantan Timur. Jenis-jenis kayu yang digunakan adalah kayu Sungkai (*Peronema canescens* Jack.), Pulai (*Alstonia scholaris* R. Br.), Terap (*Artocarpus elasticus*), kayu Arang (*Diospyros borneensis*), Balau (*Dipterocarpus verrucosus*) dan Bintangur (*Calophyllum depressinervosum*). Contoh kayu diambil dari pohon dengan diameter minimal 20 cm (dbh), tinggi bebas cabang minimal 5 m dan bebas cacat. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya berdasarkan standar DIN 52182, 52184, 52185 dan 52186. Berdasarkan klasifikasi berat kayu (Soenardi 2001),

kayu Pulai termasuk jenis kayu ringan (kerapatan kering udara < 0.36 gr/cm³); kayu Sungkai, Terap, Arang dan Bintangur termasuk jenis kayu sedang (kerapatan kering udara antara 0.36 ~ 0.56 gr/cm³); kayu Balau termasuk jenis kayu berat (kerapatan kering udara > 0.56 gr/cm³). Dibandingkan dengan jenis-jenis kayu yang diteliti lainnya, kayu Balau memiliki kestabilan dimensi paling tinggi (T/R rasio = 1.19). Berdasarkan hasil pengujian sifat mekaniknya (MOE, MOR dan keteguhan tekan sejajar serat) dan klasifikasi menurut Anonim (1979) maka kayu Balau termasuk kelas kuat II, dapat digunakan sebagai bahan konstruksi dan pertukangan; kayu Terap, Arang dan Bintangur, termasuk kelas kuat III, masih dapat digunakan sebagai bahan konstruksi dan pertukangan namun terbatas pada beban yang lebih ringan; kayu Sungkai dan Pulai termasuk kelas kuat IV, dapat digunakan sebagai komponen mebel.

Hadjib dan Sarwono (2004) meneliti mengenai sifat akustik kayu. Salah satu jenis kayu yang digunakan untuk alat musik kolintang adalah Berumbung (*Adina minutifolia*). Kayu ini berasal dari hutan alam dan jumlahnya semakin berkurang, sehingga perlu ditemukan jenis kayu lain yang memiliki sifat akustik yang sama dengan kayu tersebut. Sebagai bahan baku untuk alat musik, sifat akustik yang dibutuhkan adalah *damping factor* ($\tan \delta$), *specific dynamic Young's modulus* (E/ρ), kerapatan (ρ), kestabilan dimensi dan sifat mekanik yang tinggi. Selain Berumbung, jenis kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah Merawan (*Hopea mengarawan* Mig.) dan Tisuk/Waru (*Hibiscus macrophyllus*). E/ρ dan $\tan \delta$ dideteksi dengan metode *free-free flexural vibration*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kayu Berumbung mempunyai nilai ρ tinggi (0.85), E/ρ sedang (19.81 GPa) dan $\tan \delta$ rendah (0.00684). Nilai ρ dan $\tan \delta$ kayu Merawan dan Tisuk lebih rendah dari kayu Berumbung, sehingga tidak dapat menggantikan kayu Berumbung sebagai bahan baku alat musik kolintang. Kayu Merawan dapat digunakan sebagai *soundboards* gitar dan piano karena mempunyai nilai ρ sedang (0.57), E/ρ tinggi (29.43 GPa) dan $\tan \delta$ sangat rendah (0.00413). Sedangkan kayu Tisuk mempunyai nilai ρ rendah (0.39) dan $\tan \delta$ rendah (0.00666) dapat digunakan sebagai plat gitar bagian atas.

Fernandes *et al.* (2004) melaporkan perambatan panas 4 jenis kayu perdagangan Indonesia. Nilai konduktivitas termal kayu merupakan faktor penting pada proses perekatan yang menggunakan kempa panas. Konduktivitas termal adalah bilangan yang disetarakan dengan besarnya panas yang mengalir pada suatu balok dengan panjang 1 m dan selisih suhu 1°C (Siau 1995). Jenis kayu yang digunakan adalah kayu (*Tectona grandis* L.f.), Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen), Meranti (*Shorea spp.*), dan Keruing (*Dipterocarpus cornutus* Dyer.). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap jenis kayu memiliki nilai

konduktivitas termal yang berbeda nyata pada taraf uji 1%.

Jenis Kayu Langka dan Terancam Punah

Pohon Gadog/Gintung (*Bischofia javanica* Blume) atau dengan nama perdagangan *Bishop wood* merupakan salah satu jenis pohon di Jawa Barat yang mulai langka. Sehingga diperlukan suatu kajian penelitian mengenai penyebaran serta pengujian sifat-sifat kayunya. Suwandhi *et al.* (2004) mengadakan penelitian mengenai morfologis dan silvikultur, data dan pola penyebaran, tingkat kerapatan, tingkat asosiasinya dengan jenis-jenis pohon lain dan habitat pohon ini di hutan alam Gunung Tampomas dan Gunung Kareumbi Masigit, serta hutan rakyat di beberapa wilayah Kab. Sumedang. Contoh uji kayu untuk karakterisasi diperoleh dari Kec. Sukasari, berumur 30 tahun dengan diameter 33 cm dan tinggi 20 m. Nilai kerapatan kering udaranya berkisar antara 0.41 ~ 1.13 gr/cm³ dengan rata-rata 0.56 gr/cm³.

Pada tahun 2004, kayu Ramin (*Gonystylus bancanus* Kurz.) telah disetujui untuk masuk dalam Konvensi Perdagangan Internasional Species Flora dan Fauna (CITES) *appendix* II yang mengatur dan mengawasi perdagangan jenis-jenis kayu yang akan terancam punah. Kayu Ramin mempunyai BJ 0.63 (0.48 ~ 0.84), berwarna putih kekuning-kuningan atau kuning gading dengan arah serat lurus, tekstur halus dan merata, serta permukaan kayu mengkilat dan licin. Untuk memenuhi kebutuhan beberapa industri kayu yang selama ini menggunakan bahan baku kayu Ramin, maka perlu dicari jenis kayu alternatif sebagai pengganti

Ramin dari jenis-jenis kayu yang kurang dikenal. Rulliaty (2005) melakukan pengamatan beberapa jenis kayu pengganti Ramin. Pengamatan dilakukan terhadap jenis-jenis kayu koleksi yang terdapat di Laboratorium Anatomi Kayu, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor yang memiliki kesamaan, terutama dalam hal warna, BJ, arah serat dan tekstur kayu. Berdasarkan hasil pengamatan, terdapat 25 jenis kayu yang memiliki kesamaan dengan kayu Ramin.

Jenis Kayu Alternatif

Damar Mata Kucing (*Shorea javanica* K. et V.) merupakan pohon penghasil resin damar. Sarwono (2004) melakukan penelitian mengenai kayu ini dengan tujuan untuk menganalisis alternatif pemanfaatan paska produksi getahnya dengan mengamati sifat fisik dan mekanik kayu hasil tebangan. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya berdasarkan standar ASTM D 143-94. Hasil pengujian sifat fisik dan mekaniknya dapat dilihat pada Tabel 1.

Umur dan Tempat Tumbuh

Penelitian-penelitian mengenai faktor umur dan tempat tumbuh terhadap sifat fisik dan mekanik telah dilakukan terhadap jenis-jenis kayu kurang dikenal, yaitu Urograndis (*Eucalyptus urograndis*); kayu cepat tumbuh dan kayu HTI, yaitu Mindi (*Melia azedarach* L.), Akasia (*Acacia mangium* Willd.) dan Gmelina (*Gmelina arborea*); serta kayu perdagangan, yaitu Jati (*Tectona grandis* L.f.).

Table 1. Physical and mechanical properties of Damar Mata Kucing (*Shorea javanica* K. et V.) wood.

Physical and Mechanical Properties	Average	Radial	Tangential
Density (gr/cm ³)	0.78		
Air-dry moisture content (%)	9.23		
Shrinkage (%)		4.074	8.149
Stress at proportional limit (kg/cm ²)	367.07		
Stress at rupture limit (kg/cm ²)	520.38		
MOE (kg/cm ²)	96010		
Impact bending (kgm/dm ³)		16.71	17.75
Compression parallel to grain (kg/cm ²)	336.34		
Compression perpendicular to grain (kg/cm ²)	63.60		
Edge hardness (kg)	521.66		
Surface hardness (kg)	320		
Shear strength (kg/cm ²)		106.91	96.94
Tears strength (kg/cm ²)		53.30	46.68
Tensile strength perpendicular to grain (kg/cm ²)		34.49	38.23

Source: Sarwono (2004).

Jenis Kayu Kurang Dikenal

Penelitian sifat fisik dan mekanik jenis kayu Urograndis (*Eucalyptus urograndis*) dilakukan terhadap tanaman berumur 2 dan 3 tahun (Hadjib 2000). Hasil pengujiannya dirangkum pada Tabel 2. Dari hasil pengamatan, belum terdapat perbedaan yang nyata pada BJ berdasarkan jarak empulur ke arah kulit dan dari pangkal ke ujung batang bebas cabang. Menurut klasifikasi kekuatan kayu Indonesia, kayu tersebut tergolong kelas kuat III sehingga dapat digunakan untuk bahan baku mebel atau konstruksi ringan.

Wulandari *et al.* (2002) meneliti variabilitas sifat fisik dan mekanik kayu Urograndis dari beberapa klon. Kayu Urograndis merupakan hasil persilangan antara *E. urophylla* S.T. Blake dan *E. grandis* W. Hill ex Maiden. Kayu yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 4 klon, yaitu klon 1837; 382.01 No.15; 1841 No.1; dan 1841 No.20 berasal dari Kalimantan Timur dan berusia 3 tahun 6 bulan. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya berdasarkan ASTM D143-94 contoh uji bebas cacat. Berdasarkan klasifikasi Den Berger (1923), kayu Urograndis dari 4 klon tersebut termasuk kelas kuat III-IV. Klon 1837 memiliki nilai keteguhan tekan sejajar serat, keteguhan geser sejajar serat (R dan T), kekerasan sisi, nilai MOE dan MOR yang lebih tinggi dibandingkan dengan klon lainnya; sehingga dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan sebagai salah satu tanaman pada HTI.

Jenis Kayu Cepat Tumbuh dan Kayu HTI

Kayu Mindi (*Melia azedarach* L.) merupakan jenis kayu cepat tumbuh dengan riap sekitar 20 m³/ha/tahun dan mulai dikembangkan sebagai salah satu jenis kayu HTI. Penelitian yang dilakukan oleh Kasmudjo dan Sunarto (1999) bertujuan membandingkan sifat-sifat kayu Mindi pada umur 12 dan 18 tahun. Pengujian sifat

fisik dan mekaniknya dilakukan berdasarkan standar ASTM D 143-94. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 3. BJ dan sifat mekanik yang diuji meningkat dengan bertambahnya umur pohon, sedangkan KA dan penyusutan tidak berbeda nyata. Dengan T/R rasio yang sedang, kayu ini cenderung mudah retak dan pecah pada proses pengeringan awal. Dari sifat mekanik yang menengah, kayu ini kurang memadai untuk penggunaan yang memerlukan prioritas kekuatan.

Gunawan *et al.* (2001a) telah melakukan penelitian mengenai variasi sifat kayu HTI berdasarkan umur dan lokasi tanaman terhadap kayu Akasia (*Acacia mangium* Willd.) dan Gmelina (*Gmelina arborea*) dengan umur 2, 3, 4, 5, dan 6 tahun yang tumbuh di areal HPHTI PT Sumalindo Lestari Jaya di Sebulu dan Menamang. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya menggunakan standar DIN, meliputi kerapatan, penyusutan, MOE, MOR, keteguhan geser, keteguhan tekan sejajar serat dan kekerasan. Dari uji statistik menunjukkan bahwa sifat kayu Akasia yang berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5% terhadap umur tanaman adalah penyusutan T, MOR dan kekerasan bidang R; sedangkan terhadap lokasi tempat tumbuh adalah penyusutan T, MOR dan keteguhan tekan sejajar serat. Penyusutan T dan MOR kayu Akasia yang ditanam di Sebulu lebih rendah dibandingkan dengan di Menamang. Untuk kayu Gmelina, hampir seluruh sifat kayu yang diamati berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 5% terhadap umur tanaman dan lokasi tempat tumbuh, kecuali penyusutan T dan MOE. Kerapatan, MOR dan keteguhan geser arah radial kayu Gmelina yang tumbuh di Sebulu lebih tinggi dibandingkan dengan di Menamang pada umur 2 tahun, sedangkan pada umur 6 tahun kerapatan, MOR dan keteguhan tekan sejajar seratnya menjadi lebih rendah, tetapi keteguhan geser dan kekerasannya lebih tinggi.

Table 2. Physical and mechanical properties of 2 and 3 years-old Urograndis (*Eucalyptus urograndis*) wood.

Physical and Mechanical Properties	2 years-old	3 years-old
Specific gravity	0.451 ~ 0.612	0.521 ~ 0.700
MOR in wet (kg/cm ²)	454.10 ~ 713.50	502.54 ~ 872.78
MOR in dry (kg/cm ²)	548.16 ~ 953.28	702.15 ~ 1074.07

Source: Hadjib (2000)

Table 3. Physical and mechanical properties of 12 and 18 years-old Mindi (*Melia azedarach* L.) wood.

Physical and Mechanical Properties	12 years-old	18 years-old
Specific gravity	0.47	0.55
Air-dry moisture content (%)	13.8	12.8
T/R ratio	1.59	1.58
Compression parallel to grain (kg/cm ²)	312.3	326.8
Compression perpendicular to grain (kg/cm ²)	76.5	88.0
Hardness (kg/cm ²)	337.2	369.1

Source: Kasmudjo and Sunarto (1999)

Jenis Kayu Perdagangan

Daur kayu Jati (*Tectona grandis* L.f) yang ditanam Perum Perhutani berdasarkan kriteria silvikultur dan sifat kayu (fisik, mekanik, kimia, pengerjaan) yang bertujuan menghasilkan kayu perkakas, ditetapkan antara 60 ~ 80 tahun. Namun berdasarkan pertimbangan finansial, daur yang sesuai berkisar antara 40 ~ 60 tahun. Penerapan daur yang lebih pendek perlu melihat pengaruhnya terhadap sifat-sifat kayu. Menurut Bhat (1991) kerapatan dan kekuatan kayu Jati yang berumur lebih muda tidak selalu lebih rendah dari yang berumur lebih tua. Sulisty dan Marsoem (1999) meneliti mengenai pengaruh umur terhadap sifat fisik dan mekanik kayu Jati. Bahan penelitian ini berasal dari hutan tanaman bonita IV di KPH Madiun, BKPH Dungus, Perum perhutani Unit II Jawa Timur; dengan kelas umur (KU) VIII (tahun tanam 1917), KU VI (tahun tanam 1942) dan KU IV (tahun tanam 1958). Pengambilan contoh uji kayu dilakukan secara aksial (vertikal), yaitu pangkal, tengah dan ujung batang; dan secara radial (horizontal), yaitu dekat hati/empulur, tengah dan dekat kulit; berdasarkan standar BS (*British Standard*) 373 (1957). Hasil pengukuran pada arah vertikal menunjukkan bahwa KA rata-rata bagian pangkal lebih tinggi; sedangkan pada arah horizontal tidak ada kecenderungan tertentu untuk ketiga KU tersebut. KA rata-rata keseluruhan menunjukkan bahwa semakin tinggi KU maka KA-nya semakin rendah (KU IV = 94.79%; KU VI = 82.45%; KU VIII = 44.90%). Kemungkinan faktor-faktor yang mempengaruhi variasi perbedaan KA adalah: (1) KU VIII telah mengalami terasan selama 2 tahun; (2) kandungan ekstraktif kayu Jati KU VI lebih tinggi daripada KU IV (Ismariana 1993); (3) kandungan ekstraktif pada kayu teras lebih tinggi (Panshin dan de Zeeuw 1980); (4) BJ kayu cenderung semakin besar ke arah kulit dan menyebabkan kandungan kadar airnya semakin rendah (Wangaard 1950; Koch 1972). Pada penelitian ini tidak terlihat perbedaan BJ yang disebabkan oleh KU. BJ KU IV = 0.675; KU VI = 0.556; dan KU VIII = 0.604. Tetapi nilai MOE dan MOR menurun dengan semakin tingginya KU. Meningkatnya BJ ke arah pangkal-kulit menyebabkan meningkatnya nilai MOR pada arah yang sama. Tetapi penyusutan arah R dan T semakin rendah ke arah kulit dan semakin tingginya KU.

Pandit (2000) melakukan pengamatan sifat makroskopis kayu Jati dengan tujuan untuk mengetahui rasio kayu teras dan gubal, rasio kayu juvenil dan kayu dewasa, serta mutu tekstur kayu Jati dari berbagai kelas umur. Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa

persentase kayu teras dari KU I ke KU V rata-rata meningkat secara nyata. Persentase kayu juvenil dari sekitar 88.05% pada KU I turun menjadi sekitar 22.24% pada KU IV. Mutu tekstur pada KU yang rendah lebih kasar dibandingkan dengan KU yang lebih tinggi.

Letak dalam Batang

Penelitian-penelitian mengenai pengaruh letak dalam batang terhadap sifat fisik dan mekanik telah dilakukan terhadap jenis-jenis kayu kurang dikenal, yaitu kayu Laban (*Vitex Pubescens* Vahl.) dan kayu Rambai (*Baccaurea motleyana* Muell); kayu dari tanaman perkebunan, yaitu kayu Kelapa Sawit (*Eleais guineensis* Jacq) dan kayu Kelapa (*Cocos nucifera* L.); kayu cepat tumbuh dan kayu HTI, yaitu kayu Gmelina (*Gmelina arborea*); serta kayu andalan setempat, yaitu kayu Surian (*Toona sureni* Merr.).

Jenis Kayu Kurang Dikenal

Widiati dan Susanto (2005) melaporkan sifat fisik dan mekanik kayu Laban (*Vitex Pubescens* Vahl.) berdasarkan letak ketinggian dalam batang. Sifat fisik dan mekanik yang diteliti adalah KA, kerapatan, perubahan dimensi, keteguhan tekan sejajar serat, keteguhan pukul, MOE, MOR, keteguhan geser sejajar serat dan kekerasan dengan menggunakan standar DIN. Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanik kayu ini dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil pengujian tersebut kayu Laban termasuk kelas kuat I dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi.

Penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik kayu Rambai (*Baccaurea motleyana* Muell) berdasarkan letak ketinggian dalam batang dilakukan oleh Torambung dan Dayadi (2005). Contoh uji diambil dari pohon berdiameter antara 38 ~ 44 cm dan tinggi bebas cabang antara 3.2 ~ 4.0 m. Sifat fisik dan mekanik yang diteliti adalah KA (DIN 52183-77), kerapatan (DIN 52182-76), perubahan dimensi, keteguhan tekan sejajar serat (DIN 52185-76), keteguhan pukul (DIN 52189-48), keteguhan lentur statis (MOE dan MOR, DIN 52186-78), keteguhan geser sejajar serat (DIN 52187-79) dan kekerasan. Hasil pengujian sifat fisik dan mekaniknya dapat dilihat pada Tabel 5. Secara keseluruhan, sifat fisik dan mekanik kayu tersebut menurun dari bagian pangkal menuju ujung batang. Berdasarkan nilai-nilai sifat mekaniknya, kayu Rambai termasuk ke dalam kelas kuat II-III.

Table 4. Physical and mechanical properties of Laban (*Vitex Pubescens* Vahl.) wood based on the bottom and upper parts of stem.

Physical and Mechanical Properties	Bottom	Upper	Average
Green moisture content (%)	89.72	82.23	86.03
Air-dry moisture content (%)	12.89	12.55	12.70
Air-dry density (gr/cm ³)	0.939	0.898	0.916
Oven-dry density (gr/cm ³)	0.893	0.850	0.872
Compression parallel to grain (N/mm ²)	85.17	80.70	82.99
Impact bending (N/mm ²)	0.095	0.087	0.091
MOE (N/mm ²)	15529.02	14074.16	14803.18
MOR (N/mm ²)	124.79	115.96	120.39
Radial shear strength (N/mm ²)	15.30	14.19	14.70
Tangential shear strength (N/mm ²)	15.66	14.51	15.03
	Radial	Tangential	Longitudinal
Swelling (%)	5.68	9.41	0.20
Shrinkage (%)	5.37	8.59	0.20
Hardness (N)	7990.74	9033.33	10079.63

Source: Widiati and Susanto (2005)

Table 5. Physical and mechanical properties of Rambai (*Baccaurea motleyana* Muell) wood based on the bottom, middle and upper parts of stem.

Physical and Mechanical Properties	Bottom	Middle	Upper	Average
Air-dry moisture content (%)	12.83	12.45	12.43	12.57
Oven-dry density (gr/cm ³)	0.601	0.592	0.587	0.593
Compression parallel to grain (N/mm ²)	53.79	51.89	49.38	51.69
Impact bending (J/mm ²)	0.0790	0.0707	0.0681	0.0726
MOE (N/mm ²)	10071.96	9337.61	9141.30	9516.96
MOR (N/mm ²)	89.00	85.19	81.28	85.16
Shear strength parallel to grain (N/mm ²)	12.45	11.70	11.29	11.81

Source: Torambung dan Dayadi (2005)

Widiastuti (1999) melaporkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanik kayu Kelapa (*Cocos nucifera* L.) dengan membandingkan bagian pangkal, tengah dan ujung batang. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa ada perbedaan yang sangat nyata dari BJ, KA, keteguhan tekan dan MOR; sedangkan keteguhan geser tidak ada

perbedaan nyata. Hasil keteguhan tekan dan MOR tersebut dikelompokkan kelas kekuatannya berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (1982) dan SII 0458-81 (Tabel 7). Berdasarkan kriteria tersebut maka kayu Kelapa bagian ujung termasuk kelas kuat V, bagian tengah kelas kuat II-III, dan bagian pangkal kelas kuat II.

Table 6. Physical and mechanical properties of Kelapa (*Cocos nucifera* L.) wood based on the bottom, middle and upper parts of stem.

Part of Stem	Specific gravity	Moisture content (%)	Shear strength (kg/cm ²)	Compression strength (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)
Upper	0.603	81.77	41.10	188.81	233.38
Middle	0.733	68.01	45.91	315.00	749.16
Bottom	0.803	46.36	89.64	453.97	838.80

Source: Widiastuti (1999)

Table 7. Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia and SII 0458-81 standard.

Class	Compression strength (kg/cm ²)	MOR (kg/cm ²)
I	650	1100
II	425 ~ 650	725 ~ 1100
III	300 ~ 425	500 ~ 725
IV	215 ~ 300	360 ~ 500
V	< 215	< 360

Penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik kayu Kelapa Hibrida untuk mengetahui BJ, KA, stabilitas dimensi, keteguhan lentur dan kekerasan pada berbagai ketinggian dan kedalaman batang dilakukan oleh Coto dan Rahayu (2005). Hasil penelitian menunjukkan BJ bervariasi dari 0.72 pada bagian tepi bawah sampai 0.20 pada bagian pusat atas batang. KA keseimbangan bervariasi antara 13.1% pada bagian BJ tinggi dan 21.2% pada bagian BJ rendah. Laju stabilitas dimensi terbesar terjadi pada bagian BJ tinggi, yaitu 0.79% dan terkecil terjadi pada bagian BJ rendah, yaitu 0.19%. Sifat mekanik sangat tergantung pada BJ yang sangat bervariasi terutama dari bagian luar ke dalam batang.

Jenis Kayu Cepat Tumbuh dan Kayu HTI

Gmelina (*Gmelina arborea*) merupakan salah satu jenis kayu yang mulai banyak ditanam dalam rangka pembangunan HTI. Menurut Mandang dan Pandit (1997), BJ kayu Gmelina berkisar antara 0.42 ~ 0.61; termasuk kelas kuat II-IV dan kelas awet IV-V. Riap kayu Gmelina bervariasi dari 8.4 m³/ha/tahun pada tanah tandus dan iklim kering, sampai 45 m³/ha/tahun pada tanah yang subur (Alrasjid dan Widiarti 1992).

Kasim *et al.* (2003) melaporkan penelitian mengenai kayu Gmelina yang berasal dari daerah sekitar kampus Jatinangor, Sumedang dengan diameter 30 cm. Pengujian sifat fisik dan mekanik pada berbagai variasi ketinggian dan bagian kayu dilakukan berdasarkan standar BS 373 (1957). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa BJ pada bagian pangkal batang adalah sekitar 0.50 ~ 0.53, sedangkan pada bagian ujung batang adalah sekitar 0.38 ~ 0.43. BJ semakin menurun ke arah kulit, baik pada bagian pangkal maupun ujung batang. Hal ini kemungkinan disebabkan karena masih adanya kayu juvenil. Kayu juvenil mempunyai ciri-ciri BJ dan kekuatan yang rendah karena memiliki dinding sel yang tipis; lingkaran tumbuh yang lebih besar dan sel-sel kayu akhir yang sedikit (Haygreen dan Bowyer 1996). Tidak ada perbedaan nyata antara penyusutan pada bagian pangkal maupun ujung batang, tetapi penyusutan semakin besar ke arah empulur. KA kayu segar pada bagian ujung batang lebih tinggi (158.24 ~ 174.72%) daripada bagian pangkal batang (140.16 ~ 151.83%), namun KA kering udaranya relatif seragam (13.43 ~ 13.68%). Tingginya KA berhubungan dengan proporsi kayu gubal dan juvenil. Sel-sel kayu gubal mempunyai fungsi fisiologis, yaitu

menyalurkan air dan unsur hara dari akar ke daun untuk proses fotosintesis, sehingga banyak mengandung air. Nilai MOR pada bagian pangkal batang lebih tinggi (716.43 ~ 726.10 kg/cm²) daripada bagian ujung batang (655.17 ~ 714.13 kg/cm²). Demikian pula dengan kekerasan kayunya.

Jenis Kayu Andalan Setempat

Yunianti dan Bakri (2004) melakukan penelitian kualitas kayu Surian (*Toona sureni* Merr.) sebagai kayu unggulan di Lahan Uji Coba KPHP Kab. Tana Toraja. Pembuatan contoh uji dilakukan berdasarkan standar ISO 3130-1975. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa KA kering udara meningkat (18.22 ~ 21.24%); kerapatan kering udara menurun (0.49 ~ 0.43 g/cm³), penyusutan T (7.66 ~ 6.06%) dan R (3.80 ~ 2.47%) menurun dari pangkal ke ujung batang. Sedangkan nilai MOR (509.05 ~ 507.78 kg/cm²) dan keteguhan tekan sejajar serat (253.77 ~ 252.52 kg/cm²) tidak berbeda nyata. Berdasarkan SNI 01-6244 (Badan Standar Nasional 2000) mengenai Kayu Gergajian untuk Komponen Mebel, kayu Surian ini tidak memenuhi syarat untuk mebel karena KA kering udara maksimum yang dipersyaratkan adalah 14%. Dengan kerapatan kering udara rata-rata 0.47 g/cm³, maka kayu ini tergolong jenis kayu sedang (Soenardi 2001). T/R rasio sebesar 2.24 menunjukkan bahwa kayu ini memiliki kestabilan dimensi yang rendah. Berdasarkan SNI 01-3527 (Badan Standar Nasional 1994) mengenai Mutu Kayu Bangunan, maka kayu ini tergolong kelas kuat III dan IV. Dari hasil pengujian-pengujian tersebut, kayu Surian dapat dimanfaatkan untuk bahan konstruksi ringan.

Diameter

Penelitian-penelitian mengenai pengaruh diameter terhadap sifat fisik dan mekanik telah dilakukan terhadap jenis kayu Hopea (*Hopea cernua*) dan Basswood (*Ochroma bicolor* Rowlee). Dalam penggunaan kayu sebagai bahan bangunan, kayu teras lebih disukai daripada kayu gubal karena mengandung ekstraktif yang bersifat racun terhadap organisme perusak kayu, sehingga lebih awet (Haygreen dan Bowyer 1996). Keberadaan cadangan makanan di dalam sel kayu gubal dapat mempengaruhi peningkatan kerusakan akibat serangan serangga dan jamur (Panshin dan de

Zeeuw 1980).

Gunawan *et al.* (2001b) melakukan penelitian perkembangan kayu teras pada jenis kayu Hopea. Bahan penelitian yang digunakan berasal dari areal HPH PT. Inhutani I Unit Berau, Kalimantan Timur, dengan kelas diameter 10, 20, 30, 40 dan 50 cm (dbh). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa persentase kayu teras meningkat dengan bertambahnya kelas diameter, yaitu dari 30% pada diameter 10 cm menjadi 80% pada diameter 50 cm. Pada penelitian ini dikemukakan bahwa model regresi hubungan antara diameter (X) dengan prosentase kayu teras (Y) adalah $Y = -45.38 + 30.44 \ln(X)$. Berdasarkan persamaan ini diperkirakan pembentukan kayu teras pada jenis kayu *Hopea cernua* terjadi setelah diameter pohon sekitar 4.4 cm. Peningkatan kayu teras untuk penambahan diameter setiap 1 cm adalah 1.58%. Sebagai pembandingan, pembentukan kayu teras pada jenis kayu *Rasamala (Altingia excelsa)* Noronhoa terjadi setelah diameter pohon sekitar 15 cm (Sukartana 1989); *Shorea ovalis* setelah 7.4 cm, *Shorea parvifolia* setelah 8.3 cm, dan *Koompassia malaccensis* setelah 6.4 cm (Rahmanto 1997).

Wahyudi (2005) melaporkan pengaruh diameter batang terhadap kualitas kayu Basswood berumur 8 tahun yang ditanam di kawasan Darmaga, Bogor. Diameter yang diamati adalah 28 cm, 38 cm, dan 51 cm (dbh). Kerapatan, keteguhan lentur statis (MOE dan MOR) secara vertikal dan horizontal diuji berdasarkan standar BS 373 (1957). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kerapatan dan MOR dipengaruhi oleh diameter batang, tetapi nilai MOE tidak. Nilai kerapatan dan keteguhan lentur statis bervariasi secara vertikal maupun horizontal, tetapi variasi vertikal lebih kecil dari variasi horizontal. Nilai-nilai tersebut menurun dari pangkal ke ujung batang dan dari kayu teras ke kayu gubal.

Kelembaban, Kadar Air dan Suhu

Perubahan kelembaban nisbi akan menyebabkan perubahan KA kayu yang bersifat higroskopis. Perubahan KA kayu akan mengakibatkan perubahan dimensi kayu. Coto (2005) melakukan penelitian mengenai kepekaan kayu terhadap perubahan kelembaban. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju perubahan KA jenis kayu Kamper (*Dyobalanops aromatica* Gaertn.), Keruing (*Dipterocarpus comutus* Dyer.), Karet (*Hevea brasiliensis* Muel. Arg.), Jati (*Tectona grandis* L.f.), Mangium (*Acacia mangium* Willd.), Gmelina (*Gmelina moluccana* (Blume) Backer) dan Lamtoro (*Leucaena glauca* (Willd) Benth) pada arah R, T dan L, serta 3 variasi ketebalan (1 cm, 2 cm dan 3 cm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perubahan KA dipengaruhi oleh jenis, arah serat dan ketebalan kayu. Laju perubahan KA tercepat terjadi

pada contoh uji kayu Kamper arah T ketebalan 1 cm dan terlambat pada kayu Keruing arah R ketebalan 3 cm.

Basri *et al.* (2000) melaporkan ketergantungan Kadar Air Keseimbangan (KAK) terhadap jenis kayu dan suhu lingkungan. Jenis kayu yang digunakan adalah kayu Kalapi (*Kalappia celebica*), Gofasa (*Vitex coffasus*) dan Ketileng (*Vitex glabrata*). Kayu tersebut dikeringkan hingga 9%, kemudian dikondisikan pada 4 lingkungan dengan suhu dan kelembaban berbeda. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi pada suhu kamar atau lebih rendah, sebaliknya proses desorpsi terjadi di atas suhu kamar. Perbedaan besarnya KAK pada setiap jenis kayu terutama terjadi pada proses adsorpsi.

Selanjutnya Sadiyo dan Daniyati (2005) mengajukan model regresi linier sederhana hubungan antara susut dengan berat kayu 10 jenis kayu Indonesia: Jenis-jenis kayu yang digunakan antara lain adalah kayu Afrika (*Maesopsis emini*), Kapur (*Dyobalanops aromatica* Gaertn.), Jati plus (*Tectona grandis* L.f.), Meranti Merah (*Shorea spp.*), Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen), dan Tusam (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vr.). Pengukuran berat dan susut dilakukan dari kondisi basah/segar, titik jenuh serat (TJS), kering udara (KU), sampai kering tanur (KT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa KA rata-rata 10 jenis kayu tersebut menurun dari kondisi basah (58.67%) ke kondisi TJS (25.72%) dan menurun lagi pada kondisi KU (18.35%). Kayu yang berkerapatan rendah memiliki KA basah yang lebih tinggi karena memiliki ukuran rongga sel yang lebar sehingga lebih banyak menampung air. Sedangkan KA pada TJS dan KU relatif seragam. Penurunan KA kayu di bawah TJS menyebabkan penurunan berat dan susut. Berat kayu dipengaruhi oleh KA dalam rongga sel, sedangkan kembang susut kayu lebih dipengaruhi oleh perubahan KA pada dinding sel. Susut dan penurunan berat kayu mempunyai hubungan linear sehingga dapat dinyatakan dengan model matematika. Tetapi model matematika untuk ke 10 jenis kayu yang diteliti berbeda-beda akibat adanya karakteristik pada masing-masing jenis, sehingga tidak dapat dibuat satu model. Penggunaan model matematika ini hanya berlaku untuk setiap jenis kayu menurut ukuran contoh uji tertentu.

Cuaca dan Jamur

Cuaca

Proses pelapukan oleh cuaca (*weathering*) akan menyebabkan kerusakan pada permukaan kayu. Faktor terpenting dari proses pelapukan adalah radiasi sinar matahari walaupun kemampuan penetrasinya pada kayu sangat terbatas. Penetrasinya sinar ultraviolet (UV) yang paling merusak tidak lebih dari 75 μm , sedangkan penetrasi sinar yang dapat dilihat oleh mata manusia

dengan panjang gelombang 400 ~ 700 nm hanya sampai 200 μm (Feist dan Hon 1984).

Sudiyani *et al.* (1998) melaporkan perubahan dimensi dan penampilan 3 jenis kayu tropis setelah pelapukan oleh cuaca. Jenis kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah Ki Sampang (*Evodia latifolia* DC.), Puspa (*Schima noronhae* Reinw.) dan kayu Nangka (*Artocarpus integra* Merr.) berumur lebih dari 20 tahun. Contoh uji diletakkan dengan kemiringan 5° menghadap sinar matahari dengan posisi $6^\circ 54'$ lintang selatan dan $106^\circ 42'$ bujur timur di Pusat Penelitian Fisika, Serpong. Periode pengamatan dilakukan dari 2 sampai 24 minggu. Hasil pengukuran setelah 24 minggu penjemuran menunjukkan bahwa kayu Ki Sampang mengalami kehilangan berat 5.81%, sedangkan kayu Puspa dan Nangka hanya 2.30%. Kayu Ki Sampang mengalami penurunan KA dari 9.03% menjadi 8.60%, sedangkan kayu Puspa dan Nangka terjadi peningkatan sekitar 0.5 ~ 2.0%. Pada minggu ke 24 penyusutan yang terjadi masing-masing untuk kayu Ki Sampang, Puspa dan Nangka adalah 5.76%, 3.50%, dan 3.52%. Perubahan warna mulai terlihat setelah minggu ke 2 penjemuran. Selain perubahan warna, permukaan kayu menjadi kasar dan muncul guratan-guratan kecil yang semakin memanjang dan mengakibatkan retak. Hal ini lebih cepat terjadi pada kayu Ki Sampang, yaitu setelah 8 minggu penjemuran. Selain itu kedua sisi permukaan kayunya telah ditumbuhi jamur.

Informasi hasil penelitian tentang penggunaan kayu untuk luar ruangan di Indonesia masih terbatas dan jenis yang populer di masyarakat untuk fungsi luar ruangan (pagar, pintu, mebel taman) adalah kayu Jati. Malik (2004) menguraikan hasil penelitian sifat pengembangan (*swelling*), pengujian siklus kering-basah (*wetting and drying cyclic test*) dan kondisi 3 jenis kayu Pasang setelah mengalami pencuciaan (*weathering*). Jenis-jenis kayu yang digunakan adalah kayu Pasang-1 (*Quercus* sp.), Pasang-2 (*Lithocarpus* sp.) dan Cemara (*Gymnostoma* sp.) dari Sumatera Utara. Pembuatan contoh uji mengacu pada penelitian sebelumnya (Malik dan Balfas 2002). Pengukuran sifat pengembangan dilakukan pada menit ke 5, 10, 15, 30, 1 jam, 4 jam, 8 jam, dan 24 jam menggunakan alat *Swallow-meter*. Pengujian siklus kering dan basah dilakukan 4 siklus pada kondisi ruangan/suhu kamar, oven, pembasahan dengan perendaman, dan *freezing* masing-masing 24 jam. Sedangkan pencuciaan dilakukan selama 2 bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan kering udara (gr/cm^3) kayu Pasang-1 adalah 0.92 (T) ~ 0.98 (R), kayu Pasang-2 adalah 0.69 (T) ~ 0.64 (R), dan kayu Cemara adalah 0.81 (T) ~ 0.77 (R). Tingkat absorpsi (%) kayu Pasang-1 adalah 37.41 (T) ~ 31.44 (R), kayu Pasang-2 adalah 55.65 (T) ~ 55.55 (R), dan kayu Cemara adalah 35.54 (T) ~ 45.60 (R). Kerapatan berpengaruh terhadap besarnya absorpsi air dan stabilitas kayu. Semakin tinggi kerapatan kayu

maka tingkat absorpsinya semakin rendah, karena kayu dengan kerapatan tinggi cenderung memiliki tempat penampung air lebih sedikit daripada kayu berkerapatan lebih rendah (Panshin dan de Zeeuw 1980). Laju pengembangan kedua jenis kayu Pasang tersebut lebih lambat dibandingkan dengan kayu Cemara; hal ini kemungkinan disebabkan oleh ukuran diameter pembuluh kayu Cemara yang lebih besar, serta banyaknya tylosis pada kayu Pasang. Adanya tylosis dapat mengganggu sifat absorpsi kayu terhadap cairan karena komponen tylosis menempati gugus ikatan cairan pada kayu (Gallagher 1989). Karena respon pengembangan yang lebih lambat maka kayu Pasang akan mengalami perubahan dimensi secara perlahan dibandingkan kayu Cemara. Menurut Rowell (1983) kayu yang memiliki sifat pengembangan awal yang cepat akan menimbulkan kerusakan fisik pada permukaan kayu, seperti retak atau pecah. Hasil pengujian siklus kering-basah menunjukkan bahwa tingkat absorpsi air dan perubahan bentuk/cacat mengalami peningkatan; hal ini akibat adanya pelarutan komponen ekstraktif polar dalam proses perendaman sehingga memberikan tempat ikatan yang lebih besar pada siklus berikutnya. Kayu Pasang sedikit mengalami cacat retak dan pecah, tetapi mengalami perubahan bentuk (mencawan) dibanding kayu Cemara. Hasil pengamatan pencuciaan menunjukkan bahwa kayu Cemara mengalami retak dan pecah, Kayu Pasang-2 mengalami retak, sedangkan kayu Pasang-1 tidak mengalami retak atau pecah. Seluruh kayu mengalami perubahan warna, tetapi secara makroskopis belum dijumpai adanya serangan jamur maupun serangga. Disimpulkan bahwa kedua jenis kayu Pasang memiliki ketahanan terhadap pencuciaan yang lebih baik dari kayu Cemara, tetapi ketiga jenis kayu tersebut relatif mudah mengalami kerusakan fisik dan perubahan bentuk bila digunakan untuk luar ruangan. Untuk mengatasi hal itu sortimen kayu dapat dibuat lebih tipis dan direkatkan sehingga menghasilkan sortimen yang lebih tebal.

Jamur

Budi *et al.* (1998) melaporkan pengaruh serangan jamur Upas (*Curticium salmonicolor* Berk. & Br.) terhadap sifat anatomi, fisik dan mekanik batang *Acacia mangium* Wild. Jamur ini menyerang batang bagian atas tanaman Akasia dari berbagai umur di berbagai tempat di Indonesia, melalui luka pada kulit atau kulit kayu yang tipis. Akibatnya kulit kayu menjadi pecah-pecah dan terkelupas; matinya jaringan kulit bagian dalam; gangguan terhadap kambium dalam menghasilkan phloem; bahkan dapat terbentuk kallus atau kanker. Setelah menginfeksi, jamur ini lebih dominan menyerang kayu teras karena terdapat rongga-rongga sel yang berisi udara (O_2), dibandingkan dengan kayu gubal yang rongga-rongga selnya terisi air. Selain Akasia, hifa jamur

ini juga menyerang tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muel. Arg.), Cokelat (*Theobroma cacao*) dan *Eucalyptus spp.* Contoh uji yang digunakan didapat dari tanaman Akasia di hutan tanaman Bukit Suharto Samarinda berumur 10 tahun dengan diameter 15 cm. Pengujian sifat fisik dan mekaniknya meliputi KA, kerapatan, MOE, MOR, keteguhan pukul, keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan geser berdasarkan standar DIN. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jamur ini mengakibatkan perubahan warna, tekstur, dan penurunan kekerasan pada kayu. Warna bagian kayu yang terserang menjadi coklat kehitaman. Perubahan warna ini disebabkan oleh zat ekstraktif dari sel-sel parenkimatis di sekitar luka dan masuk ke dalam bagian kayu melalui noktah. Sedangkan tekstur menjadi kasar akibat penebalan dinding sel dan penyempitan diameter lumen. Prosentase kerusakan pada bidang radial (horizontal) lebih besar daripada bidang transversal (vertikal) dan bagian kayu yang terserang menjadi melunak. Seluruh sifat mekanik yang diuji menunjukkan penurunan drastis. MOE turun dari 6977.75 N/mm² menjadi 5894.92 N/mm²; MOR dari 52.67 N/mm² menjadi 43.42 N/mm²; keteguhan pukul dari 0.059 N/mm² menjadi 0.030 N/mm²; keteguhan tekan sejajar serat dari 28.08 N/mm² menjadi 23.32 N/mm²; dan keteguhan geser dari 8.14 N/mm² menjadi N/mm².

Selanjutnya penelitian mengenai pengaruh serangan jamur Biru terhadap perubahan sifat fisik dan kekuatan kayu dilaporkan oleh Sarwono *et al.* (2005). Jamur ini merupakan salah satu jamur yang menyebabkan pewarnaan dan hanya menyerang kayu yang masih basah. Pada umumnya kayu gubal lebih banyak terserang dibandingkan kayu teras. Boyce (1965) berpendapat bahwa jamur ini hanya mengisi rongga sel, tetapi menurut Baldwin dan Streisel (1985) jamur ini berperan menghancurkan lignin. Jenis kayu yang diamati pada penelitian ini adalah Perupuk (*Lophopetalum sp.*), Karet (*Hevea brasiliensis* Muel. Arg.), *Agathis borneensis* dan Ramin (*Gonystylus bancanus* Kurz.) yang diperoleh dari industri pengolahan kayu di PT Inhutani I Jawa Timur yang telah terserang jamur Biru dengan berbagai tingkat intensitas serangan. Sifat yang diuji meliputi KA, BJ, keteguhan lentur statis, keteguhan tekan sejajar serat dan keteguhan geser dengan menggunakan standar BS 373 (1957). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jamur Biru yang menyerang ke 4 jenis kayu tersebut adalah dari jenis *Ceratocystis* dan *Penicillium*, dengan serangan antara 0% ~ 100%. Intensitas serangan pada KA kayu antara 11% ~ 20% mengakibatkan luas pewarnaan noda pada kayu Ramin mencapai 100%, Karet 90%, *Agathis* 80% dan Perupuk 20%. Pada intensitas serangan 75%, MOR kayu Ramin dan Karet cenderung mengalami kenaikan. Hal ini kemungkinan sebagai akibat dari aktivitas enzim jamur Biru yang mempengaruhi pematangan polimer pada dinding sel

kayu. Keadaan tersebut ditunjukkan pada bekas patahan saat pengujian lentur yang rapuh (*brittle*). Tetapi secara umum serangan jamur ini menyebabkan penurunan kualitas kayu dan setelah serangan jamur ini, kayu akan mudah diserang jamur pelapuk yang akan merusak komponen dinding selnya sehingga akan menurunkan sifat fisik dan mekaniknya.

Kebakaran Hutan

Liansyah (2000) melakukan penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik kayu pasca kebakaran jenis Meranti Merah (*Shorea smithiana* Sym.), Keruing (*Dipterocarpus cornutus* Dyer) dan Bangkirai (*Shorea laevis* Ridl.). Pengujian sifat fisik dan mekaniknya berdasarkan standar DIN. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kebakaran hutan berpengaruh sangat nyata terhadap penurunan KA basah; BJ; pengembangan/ penyusutan R, T dan L; keteguhan geser; keteguhan patah sejajar serat; keteguhan lentur pada batas proporsi dan maksimum; kekerasan radial dan transversal; dan keteguhan pukul pada ketiga jenis kayu tersebut. Hasil pengujiannya dipengaruhi juga oleh pengambilan contoh uji berdasarkan letak vertikal dan horizontal batang.

Selanjutnya Torambung (2001) melaporkan sifat fisik mekanik kayu pasca kebakaran dari jenis Jabon (*Anthocephalus chinensis* Lamk.), Medang (*Litsea spp*) dan Simpur (*Dillenia grandifolia* Wall.): Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sifat fisik dan mekanik (1) kayu terbakar yang masih hidup, (2) kayu terbakar yang telah mati dan (3) kayu yang tidak terbakar (kayu normal). Pengujian sifat fisik dan mekaniknya menggunakan standar DIN, meliputi KA, kerapatan, kembang susut, MOE, MOR, keteguhan geser, keteguhan tekan, keteguhan pukul dan kekerasan. Dari ke 3 jenis kayu yang dibandingkan tersebut, KA kering udara antara kayu terbakar yang telah mati dan kayu normal masih berkisar antara 11 ~ 12%. Sedangkan kerapatan kering udara kayu Jabon (0.56 g/cm³), Medang (0.63 g/cm³) dan Simpur (0.80 g/cm³) mengalami penurunan antara 6 ~ 9%. Hasil pengukuran kembang susut R, T dan L menunjukkan bahwa kayu terbakar yang masih hidup maupun kayu terbakar yang telah mati mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan kayu normalnya. Sifat mekanik kayu terbakar yang masih hidup dan yang telah mati mengalami penurunan MOE sebesar 12 ~ 25%, MOR 20 ~ 25%, keteguhan geser 6 ~ 20%, keteguhan tekan 3 ~ 15%, keteguhan pukul 20 ~ 45%, dan kekerasan 10 ~ 20% dibandingkan dengan kayu normal untuk ke 3 jenis kayu tersebut. Suhu pada saat kebakaran hutan kemungkinan mengubah struktur sel dan komponen kimia dari kayu yang terbakar, sehingga menyebabkan menurunnya sifat fisik dan mekanik kayu. Tetapi kisaran nilai sifat fisik dan mekanik pasca kebakaran tersebut masih di dalam

kisaran kelas kuat kayu normalnya, yaitu kelas kuat III untuk kayu Jabon dan Medang, serta kelas kuat II untuk kayu Simpur (Anonim 1979), sehingga masih layak digunakan sebagai bahan baku kayu konstruksi.

Pembahasan

Tidak diketahui secara pasti jumlah dan potensi keanekaragaman jenis-jenis kayu di Indonesia saat ini mengingat semakin maraknya penebangan liar. Menurut Badan Inventarisasi dan Tata Guna Hutan, Departemen Kehutanan, di Indonesia terdapat 3124 jenis kayu yang terdiri dari kayu komersial, non komersial, tak dikenal, maupun jenis kayu budidaya (Anonim 1986). Menurut klasifikasi Prosea, di Indonesia terdapat 51 genera yang tergolong *major-commercial timbers*, 64 genera *minor-commercial timbers* dan 309 genera *lesser-known timbers* (Soerianegara dan Lemmens 1994; Lemmens *et al.* 1995; Sosef *et al.* 1998). Atlas Kayu Indonesia telah merangkum sebanyak 92 jenis kayu dari berbagai hasil penelitian, meliputi sifat fisik dan mekaniknya (Martawijaya *et al.* 1986; Martawijaya *et al.* 1989; Abdurrohman *et al.* 2004).

Belum ada kata baku mengenai sifat fisik, sifat fisika atau sifat fisis; demikian pula dengan sifat mekanik, sifat mekanika atau sifat mekanis. Namun pada tinjauan makalah ini digunakan istilah sifat fisik dan mekanik untuk mewakili kata-kata tersebut dengan pengertian yang sama.

Pada tinjauan capaian hasil-hasil penelitian sifat fisik dan mekanik ini telah diteliti lebih dari 60 jenis kayu. Dari jumlah tersebut tercatat 28 jenis telah dilaporkan di Atlas Kayu Indonesia. Jenis-jenis tersebut adalah Kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd.), Tusam (*Pinus merkusii* Jungh. *et de Vr.*), Gmelina (*Gmelina moluccana* (Blume) Backer), Surian atau Suren (*Toona sureni* Merr.), Kapur/Kampur (*Dyobalanops aromatica* Gaertn.), Mahoni (*Swietenia macrophylla* King.), Mindi (*Melia azedarach* L.), Sungkai (*Peronema canescens* Jack.), Pulai (*Alstonia scholaris* R. Br.), Terap (*Artocarpus gomezianus* Wall. *ex Trecul*), Balau (*Shorea spp.*), Bintangur (*Calophyllum spp.*), Merawan (*Hopea mengarawan* Mig.), Jati (*Tectona grandis* L.f.), Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen), Meranti Merah (*Shorea spp.*), Keruing (*Dipterocarpus cornutus* Dyer.), Gadog (*Bischofia javanica* Blume), Ramin (*Gonystylus bancanus* Kurz.), Puspa (*Schima noronhae* Bloemb.), kayu Pasang-1 (*Quercus spp.*), kayu Pasang-2 (*Lithocarpus spp.*), Perupuk (*Lophopetalum spp.*), Agathis (*Agathis borneensis* Warb.), Bangkirai (*Shorea laevis* Ridl.), Jabon (*Anthocephalus chinensis* (Lamk.) A. Rich. *ex Walp.*), Medang (*Litsea spp.*) dan Simpup (*Dillenia grandifolia* Wall. *ex Hk.f.*). Dalam pemilihan jenis kayu untuk penelitian sebaiknya dilakukan studi pustaka terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, sehingga dapat dijadikan sebagai pembandingan.

Sedangkan jenis-jenis kayu yang belum ada di Atlas Kayu Indonesia adalah kayu Balsa (*Ochroma spp.*), Randu (*Ceiba pentandra* Gaertn.), Merakbung (*Makranga sp.*), kayu Cengkeh (*Eugenia aromatica* L.), Akasia (*Acacia mangium* Willd.), kayu Afrika (*Maesopsis eminii*), Hopea (*Hopea cernua*), Kisereh (*Cinnamomum porrectum* (Roxb) Kosterm), Kibawang (*Melia excelsa* Jack.), Pulai Konggo (*Alstonia kongoensis* Engl.), Sengon Buto (*Enterolobium cyclocarpum* Griseb.), Salamander (*Grevillea robusta* A.Cunn.), Kilemo (*Litsea cubeba* Pers.), Tahongai (*Kleinhovia hospita* Linn.), Sukun (*Artocarpus altilis*), kayu Arang (*Diospyros borneensis*), Berumbung (*Adina minutifolia*), Tisuk/Waru (*Hibiscus macrophyllus*), Damar Mata Kucing (*Shorea javanica* K. *et Vr.*), Urograndis (*Eucalyptus urograndis*), kayu Kelapa (*Cocos nucifera* L.), kayu Kelapa Sawit (*Eleais guineensis* Jacq.), Laban (*Vitex Pubescens* Vahl.), Basswood (*Ochroma bicolor* Rowlee), Rambai (*Baccaurea motleyana* Muell.), Ki Sampang (*Evodia latifolia* DC.), kayu Nangka (*Artocarpus integra* Merr.), Kalapi (*Kalappia celebica*), Gofasa (*Vitex coffasus*), Ketileng (*Vitex glabrata*), Cemara (*Gymnostoma sp.*), kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muel. Arg.) dan Lamtoro (*Leucaena glauca* (Willd) Benth). Dengan ditelitinya jenis-jenis ini maka diharapkan akan menambah pustaka diversifikasi pemanfaatan kayu.

Informasi yang perlu disertakan pada setiap penelitian mengenai sifat fisik dan mekanik kayu adalah faktor (1) umur/diameter pohon, (2) tempat tumbuh, (3) jumlah dan cara pengambilan contoh uji, (4) standar pengujian yang digunakan, dan (5) acuan yang digunakan untuk mengklasifikasikan kelas kuat kayu. Pengambilan contoh uji dari pohon yang berumur muda kemungkinan masih terdapat kayu juvenil. Sedangkan tempat tumbuh berhubungan dengan riap tumbuh yang akan mempengaruhi kecepatan pembentukan struktur kayu. Umur/diameter dan letak dalam batang berhubungan dengan persentase kayu teras dan kayu gubal dimana keduanya memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda. Kayu Kelapa (*Cocos nucifera* L.) dan Kelapa Sawit (*Eleais guineensis* Jacq) memiliki sifat fisik dan mekanik yang sangat berbeda berdasarkan letak pada batang karena memiliki struktur batang yang berbeda dengan struktur kayu pada umumnya.

Standar pengujian pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sangat beragam, demikian pula dengan acuan yang digunakan untuk mengklasifikasikan kelas kuat kayu. Selain itu standar pengujian dan acuan klasifikasi kelas kuat tersebut banyak yang tidak mencantumkan di daftar pustaka, sehingga nilai-nilai sifat fisik dan mekanik yang telah diteliti tidak dapat serta-merta dibandingkan satu dengan lainnya.

Tiga parameter sifat fisik yang banyak diteliti adalah Bj atau kerapatan, KA dan penyusutan; selain warna, arah serat dan tekstur kayu yang berhubungan dengan penampilan kayu. BJ atau kerapatan merupakan salah

satu sifat fisik kayu yang sangat penting, karena tinggi-rendahnya akan mempengaruhi sifat fisik lainnya dan sifat mekanik, serta pemanfaatan kayu yang bersangkutan. BJ atau kerapatan menunjukkan rasio antara volume dinding sel terhadap pori-pori setiap jenis kayu. Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan, BJ ditulis tanpa satuan unit sedangkan kerapatan ditulis dengan satuan gr/cm^3 . BJ diterjemahkan sebagai *specific gravity* dimana perhitungannya berdasarkan berat dan volume kering tanur, sedangkan kerapatan diterjemahkan sebagai *density* dimana berat dan volumenya dihitung pada kadar air tertentu. Klasifikasi berat kayu masih banyak mengacu pada tinggi-rendahnya kerapatan kayu (Soenardi 2001).

Selain dipengaruhi oleh faktor eksternal, yaitu kelembaban dan suhu; tinggi-rendahnya KA kayu juga dipengaruhi oleh BJ atau kerapatan, umur pohon dan letak dalam batang yang berhubungan dengan proporsi kayu gubal dan juvenil sebagai faktor internal. Sel-sel kayu gubal mempunyai fungsi fisiologis, yaitu menyalurkan air dan unsur hara dari akar ke daun untuk proses fotosintesis, sehingga banyak mengandung air.

Penyusutan kayu disebabkan oleh perubahan KA di bawah titik jenuh serat (TJS). Jika kayu kehilangan air di bawah TJS atau air terikat di dalam dinding sel maka akan terjadi penyusutan, sedangkan jika air masuk ke dalam dinding sel maka akan terjadi pengembangan (Haygreen dan Bowyer 1996). Rasio penyusutan tangensial dan radial (T/R rasio) menunjukkan stabilitas dimensi kayu. Semakin rendah perubahan dimensi absolutnya dan T/R rasionya maka kayu tersebut semakin stabil (Panshin dan de Zeeuw 1980). Apabila nilai tersebut lebih dari 2 maka dikatakan sebagai kayu yang mempunyai kestabilan dimensi rendah (Abdurachman dan Hadjib 2001). Martawijaya (1990) menyebutkan bahwa dengan rasio penyusutan yang besar akan cenderung lebih mudah pecah atau berubah bentuk yang mengakibatkan cacat.

Sifat mekanik sangat dipengaruhi oleh BJ atau kerapatan kayu, sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi BJ atau kerapatan (jenis kayu, umur/diameter pohon, tempat tumbuh, letak dalam batang, kelembaban, kadar air dan suhu) akan berpengaruh pula terhadap sifat mekanik kayu. Dari beberapa hasil penelitian, nilai-nilai sifat mekanik kayu pada umumnya meningkat dengan bertambahnya umur pohon; serta menurun dari pangkal ke ujung batang (secara vertikal) dan dari kayu teras ke kayu gubal (secara horizontal). Namun pengaruh ini berlaku hanya jika contoh uji yang digunakan bebas cacat. Hasil pengujian sifat mekanik ini dapat menjadi bias dengan adanya faktor-faktor mata kayu yang tidak terlihat, orientasi lingkaran tumbuh, arah serat atau adanya kayu reaksi. Sebagai bahan baku konstruksi, selain dilihat berdasarkan kelas kuatnya, perlu juga dipertimbangkan rasio kekuatan terhadap berat kayunya (*strength to*

weight ratio), karena semakin tinggi rasio tersebut maka semakin sesuai untuk bahan baku konstruksi (Abdurachman dan Hadjib 2001).

Selain tempat tumbuh, faktor eksternal yang mempengaruhi sifat fisik dan mekanik kayu adalah kelembaban dan suhu udara lingkungan, pelapukan oleh cuaca, serangan jamur dan kebakaran hutan. Semakin tinggi BJ atau kerapatan maka tingkat absorpsi kayu semakin rendah, karena kayu dengan BJ atau kerapatan tinggi cenderung memiliki tempat penampung air lebih sedikit daripada kayu dengan BJ atau kerapatan lebih rendah (Panshin dan de Zeeuw 1980); oleh karena itu kayu dengan BJ atau kerapatan rendah memiliki KA basah yang lebih tinggi karena memiliki ukuran rongga sel yang lebar sehingga lebih banyak menampung air.

Faktor terpenting dari proses pelapukan adalah radiasi sinar matahari. Proses pelapukan oleh cuaca akan menyebabkan perubahan warna; penyusutan; kehilangan berat; kerusakan pada permukaan kayu, ditunjukkan oleh munculnya guratan-guratan kecil yang semakin memanjang dan mengakibatkan retak/pecah; dan berpotensi tumbuhnya jamur (Sudiyani *et al.* 1998; Malik 2004).

Serangan jamur termasuk faktor yang mempengaruhi sifat fisik dan mekanik kayu. Serangan jamur Upas (*Curticium salmonicolor* Berk. & Br.) mengakibatkan perubahan warna, tekstur, dan penurunan kekerasan pada kayu dan sifat mekanik lainnya (Budi *et al.* 1998). Sedangkan jamur biru menyebabkan pewarnaan dan hanya menyerang kayu yang masih basah. Tetapi setelah serangan jamur biru, kayu akan mudah diserang jamur pelapuk yang akan merusak komponen dinding selnya sehingga akan menurunkan sifat fisik dan mekaniknya (Sarwono *et al.* 2005).

Kebakaran hutan berpengaruh sangat nyata terhadap penurunan sifat fisik dan mekanik kayu pada arah vertikal maupun horizontal batang (Liansyah 2000). Suhu pada saat kebakaran hutan kemungkinan mengubah struktur sel dan komponen kimia dari kayu yang terbakar, sehingga menyebabkan menurunnya sifat fisik dan mekanik kayu (Torambung 2001).

Dari tinjauan ini hanya ada dua makalah yang meneliti sifat akustik (Hadjib dan Sarwono 2004) dan sifat termal kayu (Fernandes *et al.* 2004). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan peralatan atau kurangnya daya tarik terhadap tema penelitian ini. Selain sifat akustik dan sifat termal kayu, sifat fisik kayu yang belum banyak diteliti adalah sifat kelistrikan kayu (*electrical properties*). Sedangkan sifat-sifat mekanik yang belum banyak diteliti adalah perilaku *creep*, *relaxation* dan *fatigue* terhadap jenis-jenis kayu Indonesia.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Euis Hermiati, UPT BPP Biomaterial LIPI atas koreksiannya terhadap abstrak dalam bahasa Inggris; dan kepada Nurwati Hajib, Puslitbang Teknologi Hasil Hutan atas saran-sarannya terhadap substansi makalah.

Daftar Pustaka

- Abdurachman dan N. Hadjib. Sifat Fisis dan Mekanis Jenis Kayu Andalan Setempat Jawa Barat. Prosiding Seminar Nasional IV Mapeki. Samarinda, 6-9 Agustus 2001. pp II125-II135.
- Abdurrohim, S; Y.I. Mandang; U. Sutisna. 2004. Atlas Kayu Indonesia Jilid III. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan, Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan.
- Alrasjid, H. dan A. Widiarti. 1992. Teknik Penanaman dan Pemungutan *Gmelina arborea* (Yamane). Informasi Teknis No. 36, Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Bogor.
- Anonim. 1976. Vademecum Kehutanan Indonesia. Direktorat Jenderal Kehutanan. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Anonim. 1979. Mengenal Sifat-sifat Kayu Indonesia dan Penggunaannya. PIKA. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Anonim. 1986. Jenis-jenis Pohon Disusun Berdasarkan Nama Daerah dan Nama Botaninya Di Seluruh Indonesia. Badan Inventarisasi dan Tata Guna Hutan. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 1994. SNI No. 01-3527-1994. Mutu Kayu Bangunan. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2000. SNI No. 01-6244-2000. Kayu Gergajian untuk Komponen Mebel. Jakarta.
- Baldwin, R.G. and R.C. Streisel. 1985. Detection of Fungal Degradation of Low Weight Loss by Differential Scanning Colorimetry. *Wood and Fiber Science* 17 (3). Journal of the Society of Wood Science and Technology. Wisconsin. USA.
- Basri, E.; E.M. Alamsyah; E. Rasyid; Jarkasih. Ketergantungan Kadar Air Keseimbangan terhadap Jenis Kayu dan Suhu Lingkungan. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional III Mapeki. Jatinangor, 22-23 Agustus 2000. pp. 77.
- Bhat, K.M. Managing Teak Plantations for Super Quality Timber. International Teak Symposium. Department of Forest, Kerala, India, 2-4 December 1991. pp 377.
- Boyce, J.S. 1961. Forest Pathology. Mc Graw Hill Book Company Inc. N. Y. 436-507. pp. British Standard Institute, 1957.
- British Standard 373. 1957. Methods of Testing Small Clear Specimen of Timber. London.
- Budi, A.S.; S. Hariyanto; M. Samani; D. Mardji. Pengaruh Serangan Jamur Upas (*Curticium salmonic*) terhadap Sifat Anatomi, Fisik dan Mekanik Batang *Acacia mangium* Wild. Prosiding Seminar Nasional I Mapeki. Bogor, 24 September 1998. pp 39-47.
- Coto, Z. Kepekaan Kayu terhadap Perubahan Kelembaban. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A53.
- Coto, Z. dan I.S. Rahayu. Sifat Fisis dan Mekanis Kayu Kelapa Hibrida. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A88.
- Den Berger, L.G. 1923. De Grondslagen voor de Classificatie van Nederlansch Indische Timmerhout-soorten. Tectona Vol. XVI.
- Feist, W.C. and D.N.S. Hon. 1984. Chemistry of Weathering and Protection of Wood in Rowell, R. (ed): The Chemistry of Solid Wood. Amer. Chem. Soc. P 401-451.
- Fernandes, A.; V.E. Prasetyo; T.A. Prayitno. Perambatan Panas pada Empat Jenis Kayu Perdagangan di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004.
- Firmanti, A.; U. Dirgantara; N. Aini. Penurunan Nilai Karakteristik Kayu-kayu Cepat Tumbuh. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional III Mapeki. Jatinangor, 22-23 Agustus 2000. pp. 11.
- Gallagher, L. 1989. Moisture in Wood, Part 2, Principles of Moisture Movement. Asean Mobile Workshop on Wood Drying – Asean Timber Technology Center, Malaysia.
- Gunawan, R.H.R.; I.F. Dodi; A. Iskandar. Variasi Sifat Kayu HTI karena Umur dan Lokasi Tanaman. Prosiding Seminar Nasional IV Mapeki. Samarinda, 6-9 Agustus 2001a. pp II41-II50.
- Gunawan, R.H.R.; I.F. Dodi; A. Iskandar. Perkembangan Kayu Teras pada Jenis *Hopea cernua*. Prosiding Seminar Nasional IV Mapeki. Samarinda, 6-9 Agustus 2001b. pp II51-II55.
- Hadjib, N. Sifat Fisis dan Mekanis Kayu *Urograndis* (*Eucalyptus urograndis*) serta Kemungkinan Pemanfaatannya. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional III Mapeki. Jatinangor, 22-23 Agustus 2000. pp. 12.
- Hadjib, N. dan E. Sarwono. *The Acoustical Properties of Berumbung, Merawan and Tisuk Wood*. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A118-A120.
- Haygreen, J.G. and J.L. Bowyer. 1996. Forest Products and Wood Science, An Introduction. Third Edition. Iowa University Press. Iowa, USA.
- Ismariana. E. 1993. Pengaruh Umur dan Arah Aksial terhadap Titik Jenuh Serat Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f). Fakultas Kehutanan, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. Skripsi. Tidak dipublikasikan.
- Kasim, F.; G. Bachtiar; Z. Coto. Sifat Fisis dan Mekanis Kayu *Gmelina* (*Gmelina arborea*) pada Berbagai

- Variasi Ketinggian dan Bagian Kayu. Prosiding Seminar Nasional VI Mapeki. Bukittinggi, 1-3 Agustus 2003. pp 98-110.
- Kasmudjo dan S. Sunarto. Sifat-sifat Kayu Mindi dan Peluang Penggunaannya. Prosiding Seminar Nasional II Mapeki. Yogyakarta, 2-3 September 1999. pp 8-18.
- Kholik, A. dan S.B. Prabawa. Sifat dan Kualitas Kayu Sukun (*Artocarpus altilis*) Asal Kalimantan Timur. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A1-A7.
- Kholik, A. dan R.H.R. Gunawan. Sifat dan Kegunaan Enam Jenis Kayu Kalimantan Timur. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A25-A30.
- Koch, P. 1972. Utilization of Southern Pines Vol I: The Raw Material. U.S. Department of Agriculture. Forest Service.
- Liansyah, E. Sifat Fisik dan Mekanik Kayu Pasca Kebakaran Jenis Meranti Merah (*Shorea smithiana* Sym), Keruing (*Dipterocarpus cornutus* Dyer) dan Bangkirai (*Shorea laevis* Ridl). Kumpulan Abstrak Seminar Nasional III Mapeki. Jatinangor, 22-23 Agustus 2000. pp. 27.
- Lemmens, R.M.H.J.; I. Soerianegara; W.C. Wong. 1995. Plant Resources of South-East Asia No. 5 (2). Timber trees: Minor Commercial Timber. Prosea Publisher, Bogor Indonesia.
- Mandang, Y.I. dan I.K.N. Pandit. 1997. Pedoman Identifikasi Jenis Kayu di Lapangan. Yayasan Prosea Bogor.
- Malik, J. dan J. Balfas. 2002. Modifikasi Kayu Mangium (*Acacia mangium* Willd.) dan Kemungkinannya untuk Penggunaan Eksterior Dibandingkan dengan Kayu Jati dan Bangkirai. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Teknologi Hasil Hutan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan, Bogor.
- Malik, J. Sifat Pengembangan dan Pencuacaan Tiga Jenis Kayu Pasang. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A70-A75.
- Martawijaya, A; I. Kartasujana; K. Kadir; S.A. Prawira. 1986. Indonesian Wood Atlas Volume I. Forest Products Research and Development Centre, Agency for Forestry Research and Development, Department of Forestry.
- Martawijaya, A; I. Kartasujana; Y.I. Mandang; S.A. Prawira; K. Kadir. 1989. Atlas Kayu Indonesia Jilid II. Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan.
- Martawijaya, A. 1990. Sifat Dasar Beberapa Jenis Kayu yang Berasal dari Hutan Alam dan Hutan Tanaman. Prosiding Diskusi Hutan Tanaman Industri. Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Pandit, I.K.N. Sifat Makroskopis Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f) pada Berbagai Kelas Umur. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional III Mapeki. Jatinangor, 22-23 Agustus 2000. pp. 16.
- Panshin, A.J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. Volume I. Mc Graw-Hill Book Co. New York, USA.
- Prayitno, T.A. Penggunaan Kayu Tak Dikenal, Bermutu Rendah. Prosiding Seminar Nasional I Mapeki. Bogor, 24 September 1998. pp 57-73.
- Rachman, O. dan J. Malik. Prospek Pemanfaatan Kayu Cengkeh (*Eugenia aromatica* L.) sebagai Bahan Baku Mebel dan Barang Kerajinan. Prosiding Seminar Nasional II Mapeki. Yogyakarta, 2-3 September 1999. pp 118-131.
- Rahmanto, R.G.H. 1997. Studi tentang Perkembangan Kayu Teras untuk Jenis Dominan di Hutan Alam. Buletin Penelitian Kehutanan BPK Samarinda 10 (3).
- Rowell, R.M. 1983. Chemical Modification of Wood. Forest Product Abstract 6 (12): 363-382.
- Rulliaty, S. Beberapa Jenis Kayu Alternatif Pengganti Ramin. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A41-A45.
- Sadiyo, S dan E. Daniyati. Model Regresi Linier Sederhana Hubungan antara Susut dengan Berat Kayu Sepuluh Jenis Kayu Indonesia. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A46.
- Santoso, A. dan P. Sutigno. 1998. Sifat Papan Partikel dari Limbah Sawit. Laporan Proyek Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan dan Sosial Ekonomi Kehutanan, Bogor.
- Sarwono, E. Kayu Damar Mata Kucing (*Shorea javanica* K. et V.) sebagai Bahan Baku Kayu Permebelan dan Aspek Kemasyarakatan di Sekitar Wilayah Hutannya. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp C28-C33.
- Sarwono, E.; D. Martono; N. Hadjib. Pengaruh Serangan Jamur Biru terhadap Perubahan Sifat Fisis dan Kekuatan Kayu. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A96-A100.
- Siau. 1995. Wood Influence of Moisture on Physical Properties. Department of Wood Science and Forest Product, Virginia Polytechnique Institute, Keene, New York.
- Soenardi, P. 2001. Sifat-sifat Fisika Kayu. Bagian Penerbitan Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta.
- Soerianegara I. and R.H.M.J. Lemmens. 1994. Plant Resources of South – East Asia No. 5 (1). Timber Trees: Major Commercial Timber. Prosea Publisher, Bogor Indonesia.
- Sosef, M.S.M.; L.T. Hong; Prawirohatmodjo. 1998. Plant Resources of South – East Asia No. 5 (3). Timber Trees: Lesser Known Timber. Prosea Publisher, Bogor Indonesia.
- Sudiyani, Y.; W.S. Subowo; M. Gopar; R. Yusiasih; A.

- Syampurwadi. Perubahan Dimensi dan Penampilan Tiga Jenis Kayu Tropis setelah Pelapukan oleh Cuaca. Prosiding Seminar Nasional I Mapeki. Bogor, 24 September 1998. pp 49-55.
- Sukartana, P. 1989. Pendugaan Ukuran Kayu Teras Pohon Rasamala. Duta Rimba XV: 103-104.
- Sulistyo, J. dan S.N. Marsoem. Pengaruh Umur terhadap Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Jati (*Tectona grandis* L.F). Prosiding Seminar Nasional II Mapeki. Yogyakarta, 2-3 September 1999. pp 49-63.
- Supriadi, A.; O. Rachman; E. Sarwono. 1999. Karakteristik Dolok dan Sifat Penggajian Kayu Sawit (*Eleais guineensis* Jacq.). Buletin Penelitian Hasil Hutan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Supriadi, A. Potensi Kayu Sawit sebagai Sumber Kayu Alternatif. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp D114 - 118.
- Sutapa, J.P.G. Kualitas Batang Kayu Mindi (*Melia azedarach* L.) dari Areal Agro-forestry. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional V Mapeki. Bogor, 30 Agustus – 1 September 2002. pp. 48.
- Sutapa, J.P.G. Penelitian Beberapa Sifat Fisika Kayu Mindi (*Melia azedarach* L.) dari Areal Agro-forestry Tradisional. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A76.
- Suwandhi, I.; E. Rasyid; A. Darwis; Rosmiati. Penyebaran Pohon Gadog (*Bischofia javanica* Blume) di Jawa Barat dan Uji Karakteristik Kayunya (Seri Eksplorasi Pohon Khas dan Langka Jawa Barat). Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A210-214.
- Torambung, A.K. Sifat Fisika Mekanika Kayu Pasca Kebakaran dari Jenis Jabon (*Anthocephalus chinensis* Lamk.), Medang (*Litsea spp.*) dan Simpurn (*Dillenia grandifolia* Wall.). Prosiding Seminar Nasional IV Mapeki. Samarinda, 6-9 Agustus 2001. pp II15-II18.
- Torambung, A.K. dan I. Dayadi. Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Rambai (*Baccaurea motleyana* Muell) Berdasarkan Letak Ketinggian dalam Batang. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A131-A138.
- Wahyudi, I. *Effect of Stem Diameter Size on Qualities of Eight Year-Old Basswood Planted in Darmaga Area.* Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A115.
- Wangaard, F.F. 1950. The Mechanical Properties of Wood. John Wiley and Sons. New York.
- Widiastuti, R. Prospek Pemanfaatan Kayu Kelapa sebagai Bahan Baku Industri Mebel. Prosiding Seminar Nasional II Mapeki. Yogyakarta, 2-3 September 1999. pp 103-115.
- Widiati, K.Y. Pemanfaatan Kayu Tahongai (*Kleinhovia hospita* Linn.) Berdasarkan Sifat Fisika dan Mekanika serta Nilai Turunan Serat. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional V Mapeki. Bogor, 30 Agustus – 1 September 2002. pp. 6.
- Widiati, K.Y. dan A. Susanto. Sifat Fisika dan Mekanika Kayu Laban (*Vitex Pubescens* Vahl) Berdasarkan Letak Ketinggian dalam Batang. Prosiding Seminar Nasional VIII Mapeki. Tenggarong, 3-5 September 2005. pp A83-A87.
- Wulandari, F.; N. Hajib; N. Nugroho. Variabilitas Sifat Fisis dan Mekanis Kayu Urograndis (*Eucalyptus urograndis*) dari Beberapa Klon. Kumpulan Abstrak Seminar Nasional V Mapeki. Bogor, 30 Agustus – 1 September 2002. pp. 5.
- Yunianti, A.D. dan Bakri. Kualitas Kayu Surian sebagai Kayu Unggulan di Lahan Uji Coba KPHP Kab. Tana Toraja. Prosiding Seminar Nasional VII Mapeki. Makassar, 5-6 Agustus 2004. pp A31-A33.

Wahyu Dwianto

UPT Balai Penelitian dan Pengembangan Biomaterial
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
(Research and Development Unit for Biomaterials
Indonesian Institute of Sciences)
Tel : 021-87914509
Fax : 021-87914510
E-mail : wahyudwianto@yahoo.com

Sri Nugroho Marsoem

Fakultas Kehutanan, Universitas Gajah Mada
(Faculty of Forestry, Gadjah Mada University)
Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia
Tel. : 274-901420 / 901428
Fax. : 274-566171
E-mail : nugroho@idola.net.id