

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).

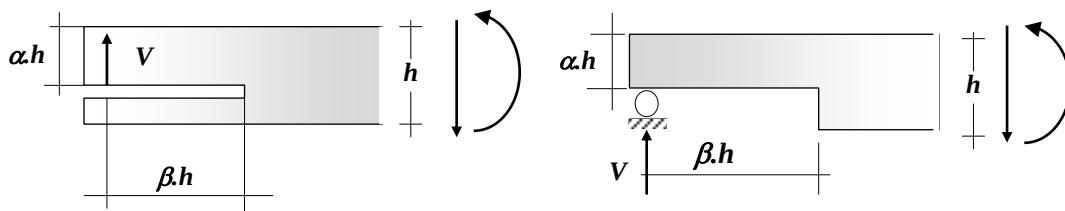


Figure 1. Simple beam with initial crack.

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

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

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

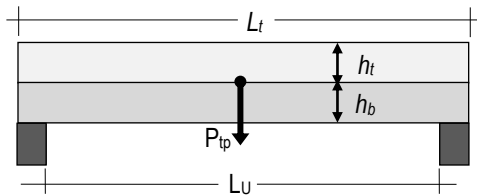


Figure 2. Simple beam with fracture loading.

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

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

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 $\frac{1}{4}$ 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 $L = 49 - [2 \times \frac{1}{2} (7)] = 42$ 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

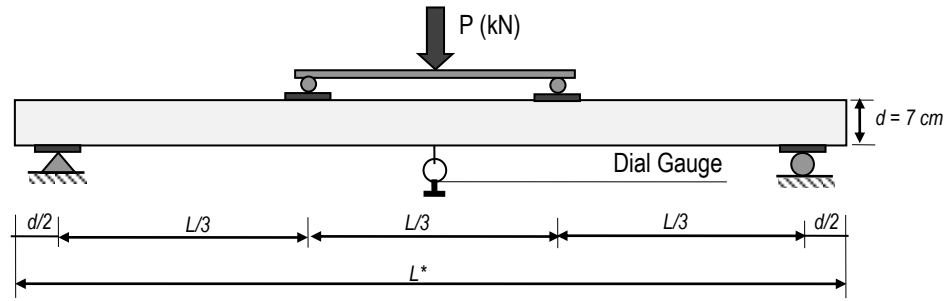


Figure 3. Setting up of simple beam test.

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	$\delta_{\max}$ mm	$\varepsilon_{\max}$	$\sigma_{lt\max}$ MPa	$M_{\max}$ 10^5 Nmm	ϕ $10^{-6}/\text{mm}$	El 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	0.0029	38.33	10.350	339.51	533.28
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 ($\delta_{\max}$). 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 pertambahan 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.

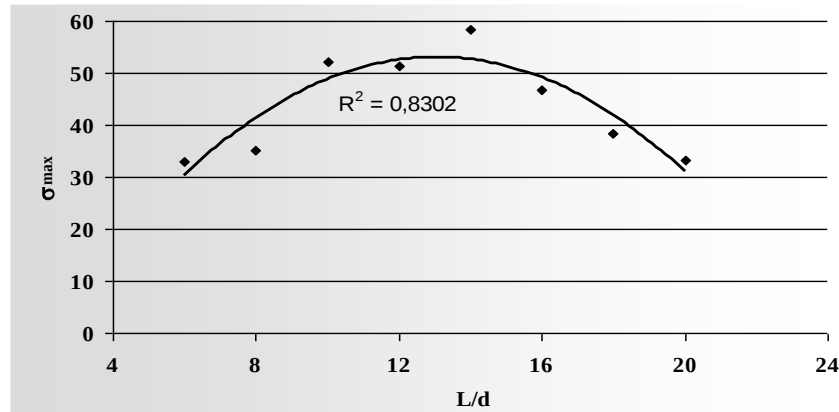


Figure 4. Influence of L/d factor to MOR.

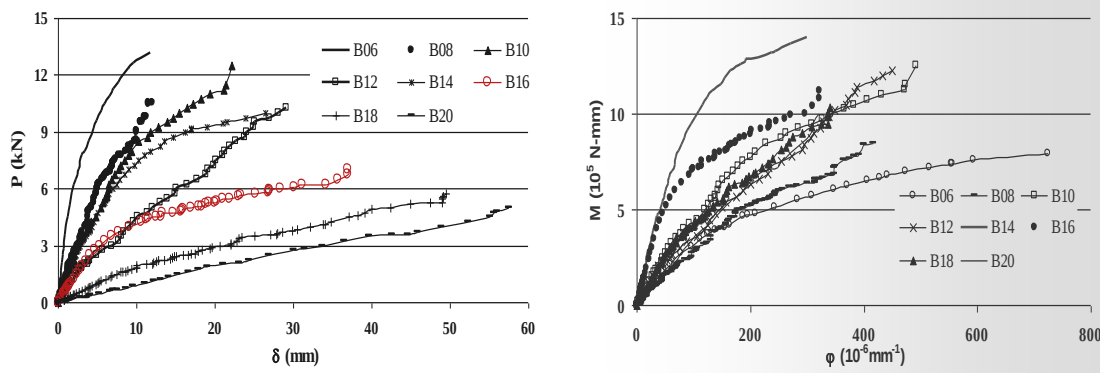


Figure 5. Deformation pattern of coconut timber beam.

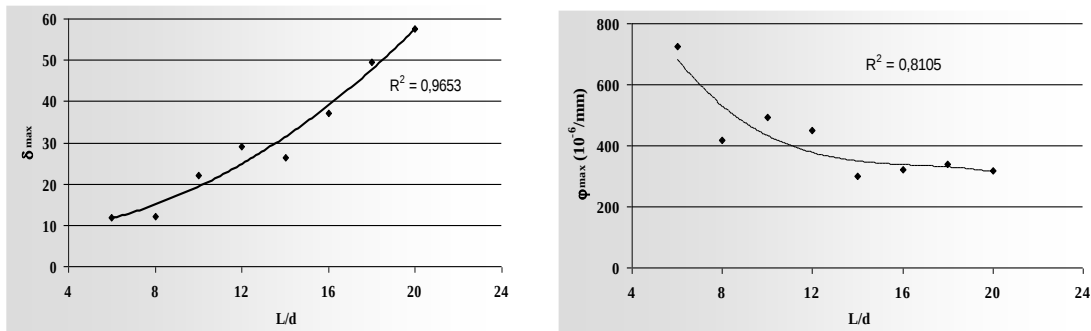


Figure 6. Influence of L/d factor to deformation of coconut timber beam.

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.

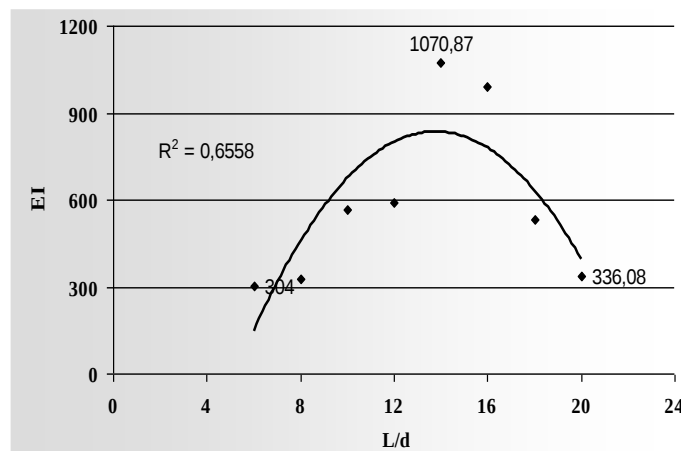


Figure 7. Influence of L/d factor to stiffness of coconut timber beam.

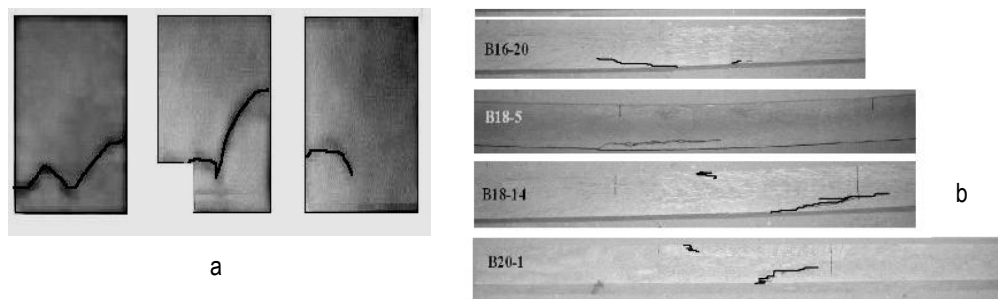


Figure 8. (a) Transversal crack pattern of flexure and shear failure area
(b) Longitudinal crack pattern of flexure failure of coconut timber beam

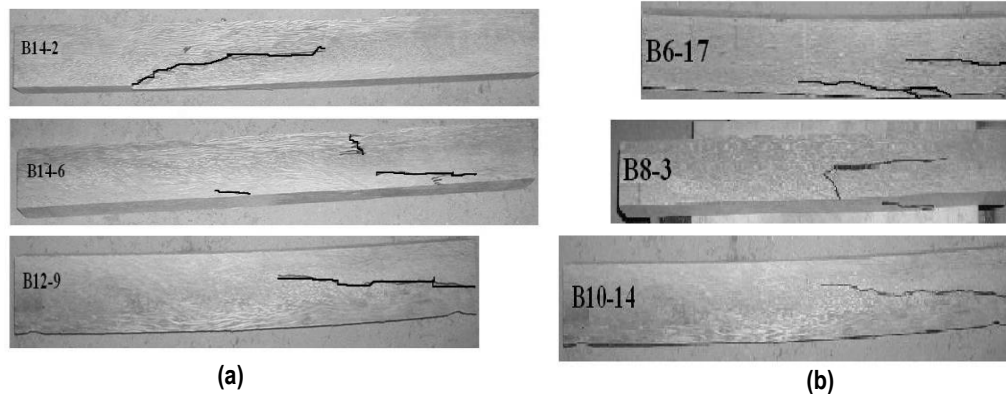


Figure 9. a. Balance failure b. Shear failure

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 Netherlands.

- 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. Department 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.
- Sulistyawati, 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