

KAJIAN KEKUATAN BAMBU LAMINASI SEBAGAI BAHAN BANGUNAN DI INDONESIA

Agung Sumarno¹, Eko Widodo¹
¹Pusat Penelitian Biomaterial, LIPI
Jl. Raya Bogor Km. 46 Cibinong, Bogor 16911, Indonesia
agun010@lipi.go.id

ABSTRACT

Nowadays a lot of research on laminated bamboo as a alternative raw material for building materials, but there is not standard calculation for the construction of bamboo as a structural component. The result of calculation using a standard design specifications for wood construction were then compare with a literature review of experimental laminated bamboo research. The scope of comparison are tensile strength and compressive strength. And also, using distributed load to compare bending strength, shear strength, and deformation. The result is the strength of bamboo laminated from a literature always higher than the result of calculation using a standard design specifications for wood construction. So, standard design specifications for wood construction can be used for the calculation of laminated bamboo construction. In addition, *Dendrocalamus asper* bamboo which are common in Indonesia is very potential to be developed into a mass-produced laminated bamboo to replace *Guadua agustifolia* Kunt bamboo.

Keywords : Structure Analysis, Laminated Bamboo, Building Material.

ABSTRAK

Saat ini telah banyak penelitian mengenai bambu laminasi sebagai bahan baku alternatif pengganti kayu untuk bahan bangunan, namun belum ada standar perhitungan untuk konstruksi bambu sebagai komponen struktur. Hasil perhitungan menggunakan standar konstruksi kayu tersebut kemudian dibandingkan dengan kajian pustaka penelitian bambu laminasi secara eksperimental. Ruang lingkup perbandingan meliputi kekuatan tarik dan kekuatan tekan. Selain itu, menggunakan beban merata dibandingkan pula kekuatan terhadap lentur dan geser serta lendutan. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa kekuatan bambu pada pustaka yang digunakan selalu melebihi perhitungan menggunakan standar konstruksi kayu. Hal ini menunjukkan standar konstruksi kayu boleh digunakan untuk perhitungan konstruksi bambu laminasi. Selain itu, bambu *Dendrocalamus asper* yang umum dijumpai di Indonesia sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi bambu laminasi yang diproduksi massal menggantikan bambu *Guadua agustifolia* Kunt.

Kata Kunci : Analisis struktur, Bambu laminasi, Bahan bangunan.

I. PENDAHULUAN

Kayu merupakan bahan bangunan yang ramah lingkungan berbasis biomaterial, namun dengan meningkatnya kebutuhan tempat tinggal akibat meningkatnya populasi penduduk disuatu daerah ketersediaan kayu sebagai bahan bangunan semakin menipis baik secara kuantitas maupun kualitas sedangkan kebutuhan kayu untuk bahan bangunan semakin meningkat. Hal inilah yang menyebabkan eksplorasi kayu sebagai hasil hutan melampaui batas sehingga terjadi deforestasi (Putri R, 2012).

Untuk mengatasi hal tersebut bambu merupakan bahan baku alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan pengganti kayu, karena bambu memiliki beberapa keunggulan seperti cepat tumbuh, mudah dalam pengerjaan, mudah didapat, ringan serta memiliki sifat mekanis yang baik (Suryana, 2011).

Saat ini telah banyak penelitian mengenai bambu laminasi sebagai bahan baku alternatif pengganti kayu untuk bahan bangunan. Bambu laminasi ini diharapkan menjadi solusi untuk memperbaiki sifat mekanika bambu sehingga menjadi

seragam bila dibanding bambu alami. Selain itu, bambu laminasi memiliki kelebihan dapat dibentuk dalam berbagai ukuran (Setyo H, 2014). Ide dasar dalam pembuatan bambu laminasi adalah adalah teknologi laminasi yang telah lama diterapkan pada kayu yaitu glulam (*glued laminated timber*) (Agus, 2011). Dengan teknologi ini kayu dipilih dan dipersiapkan secara khusus dan digabung menggunakan perekat (SNI 7973, 2013).

Bambu laminasi dibuat dengan cara membuat bambu menjadi bilah bambu yang dipilah berdasarkan ukuran yang sama untuk mempermudah pengerjaan, kemudian direkatkan dengan sistem kempa dan membentuk balok-balok yang ukuran dan dimensinya dapat disesuaikan dengan kebutuhan (Putri R, 2012).

Penelitian bambu laminasi di Indonesia telah memberikan informasi berupa sifat mekanik bambu laminasi yang meliputi modulus elastisitas, modulus lentur, kuat tarik, kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, serta kuat geser. Sifat mekanik bambu laminasi sangat dipengaruhi oleh jumlah ruas yang ada pada satu batang, jumlah dan jenis perekat terlabur yang digunakan serta faktor tekanan kempa yang diberikan (Setyo H, 2014).

Konstruksi bambu saat ini menjadi salah satu pilihan bagi arsitek dan insinyur sipil karena bersifat material terbarukan (Nurdiah, 2016), Namun sejauh ini belum ada standar perhitungan untuk konstruksi bambu sebagai komponen struktur, sehingga dalam analisis ini dicoba menggunakan standar spesifikasi desain untuk konstruksi kayu (SNI 7973, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kekuatan bambu laminasi dengan ukuran sebenarnya agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan.

II. TINJAUAN PENELITIAN

Analisis kapasitas tekan

Batang tekan adalah elemen struktur yang menerima gaya aksial tekan sehingga mengalami perpendekan. Dalam

sistem struktur rangka (*truss*), batang tekan biasanya adalah elemen struktur yang letaknya di tepi, vertikal, elemen struktur pengaku (*bracing*) ataupun elemen kolom (tiang). Berikut ini akan diuraikan langkah analisis batang tekan (SNI 7973, 2013).

1. Menentukan panjang efektif kolom

$$L_e = K_e \times L \quad (1)$$

dengan :

$$\begin{aligned} L_e &= \text{Panjang efektif kolom} \\ K_e &= \text{Koefisien panjang tekuk} \\ L &= \text{Panjang kolom} \end{aligned}$$

2. Menentukan rasio kelangsingan L_e/d dengan kontrol $L_e/d < 50$, dengan d = sisi terpanjang penampang

3. Menentukan faktor-faktor koreksi antara lain $C_M, C_t, C_f, C_I, K_f, \phi_c, \lambda$

dengan :

$$\begin{aligned} C_M &= \text{Faktor layan basah} \\ C_t &= \text{Faktor temperatur} \\ C_f &= \text{Faktor ukuran} \\ C_I &= \text{Faktor tusukan} \\ K_f &= \text{Faktor konfersi format} \\ \phi_c &= \text{Faktor ketahanan} \\ \lambda &= \text{Faktor efek waktu} \end{aligned}$$

4. Menghitung kuat tekan F_c^*

$$F_c = 0,8 \times F_c^* \quad (2)$$

dengan :

F_c = Kuat tekan sejajar serat dari data sekunder

$$F_c^* = F_c \times C_M \times C_t \times C_f \times C_I \quad (3)$$

5. Menghitung faktor stabilitas kolom

$$F_{cE} = \frac{0,822 E_{min}'}{\left(\frac{L_e}{d}\right)^2} \quad (4)$$

$$C_p = \frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c}\right]^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}} \quad (5)$$

6. Menentukan kapasitas tekan terkoreksi

$$F_c' = F_c \times C_M \times C_t \times C_f \times C_I \times C_p \times K_f \times \phi_c \times \lambda \quad (6)$$

$$P_u = F_c' \times A_g \quad (7)$$

dengan :

A_g = luas penampang

Analisis kapasitas tarik

Batang tarik merupakan elemen struktur yang menerima gaya aksial tarik sehingga mengalami pertambahan panjang. Dalam struktur rangka (*truss*), batang tarik terletak pada elemen horizontal paling bawah. Berikut ini akan diuraikan langkah analisis batang tarik (SNI 7973, 2013).

1. Menghitung kuat tarik F_t

$$F_t = 0,8 \times F_t' \quad (8)$$

dengan :

F_t' = kuat tarik sejajar serat dari data sekunder

$$F_t' = F_t \times C_M \times C_t \times C_f \times C_l \times K_f \times \phi_c \times \lambda \quad (9)$$

3. Menghitung kapasitas tarik terkoreksi

$$T' = F_t' \times A_n \quad (10)$$

dengan :

A_n : luas penampang bersih $A_g / 1,25$

Analisis kapasitas beban merata

Momen lentur, gaya geser dan lendutan timbul pada sistem struktur balok sehingga kekuatan balok dalam menerima beban harus memenuhi syarat terhadap kuat lentur, kuat geser dan lendutan. Berikut ini akan diuraikan langkah analisisnya (SNI 7973, 2013).

1. Syarat terhadap kuat lentur

$$S_x = bd^2/6 \quad (11)$$

dengan S_x adalah statis momen

$$M' = \lambda \times \phi_b \times C_L \times C_M \times C_F \times S_x \times K_f \times F_b \quad (12)$$

$$q_u = (M' \times 8)/L^2 \quad (13)$$

2. Syarat terhadap kuat geser

$$V' = \lambda \times \phi_v \times \frac{2}{3} \times C_L \times C_M \times C_F \times S_x \times K_f \times F_v \times b \times d \quad (14)$$

$$q_u = (V' \times 2)/L \quad (15)$$

3. Syarat terhadap lendutan

$$I_x = (b \times d^3)/12 \quad (16)$$

$$\Delta_{ijin} = L/300$$

$$q_u = (\Delta_{ijin} \times 384 \times E \times I_x)/(5 \times L^4) \quad (17)$$

nilai q_u diambil yang terkecil

III. METODE

Tulisan ini mengkaji kekuatan bambu laminasi terhadap kuat tarik, tekan, lentur dan geser. Selain itu, dilakukan pula kajian kekakuan dengan mengukur lendutan yang terjadi akibat pembebanan merata. Seluruh pembebanan dilakukan mengikuti standar konstruksi kayu, yaitu SNI 7973, 2013.

Batasan yang digunakan dalam kajian ini adalah panjang balok dan ukuran penampang, panjang balok yang digunakan antara lain 1 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m, 4 m, 4,5 m, 5 m dan ukuran penampang yang di gunakan 6 cm x 12 cm untuk balok, 5 cm x 7 cm untuk kaso, 3 cm x 4 cm untuk reng (SNI 03-2445, 1991).

Data penelitian bambu laminasi yang digunakan adalah penelitian bambu laminasi yang sudah bersifat komersial menggunakan bambu *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014). Selain itu, digunakan juga hasil penelitian bambu laminasi di Indonesia yang menggunakan bambu *Dendrocalamus Asper* atau yang dikenal dengan nama bambu betung (Setyo H, 2014). Berdasarkan penelitian Suryana (2011) bambu lapis dengan menggunakan bambu betung (*Dendrocalamus asper* Backer ex Heyne) memiliki sifat fisis dan mekanis yang lebih baik bila dibandingkan dengan bambu tali (*Gigantochloa apus Kurz*) dan juga bambu andong (*Gigantochloa verticillata Munro*).

Sifat mekanik bambu laminasi yang dikaji disajikan pada Tabel 1 dan properti dari bambu laminasi yang dikaji disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat mekanik bambu laminasi hasil penelitian yang dikaji

Jenis Bambu	(1)	(2)
Modulus Elastisitas, E (MPa)	13260	12420
Kuat lentur, F_b (MPa)	122,4	130,98
Kuat tarik, F_t (MPa)	143,1	139,09
Kuat tekan sejajar serat, F_c (MPa)	62,0	55,03

Kuat geser, F_v (MPa)	9,5	8,46
Kuat tekan tegak lurus serat, $F_{c\perp}$ (MPa)	5,3	17,65
(1) <i>Guadua agustifolia Kunt</i> (Correal et al, 2014)		
(2) <i>Dendrocalamus asper</i> (Setyo H et al, 2014)		

Tabel 2. Properti bambu laminasi yang dikaji

Jenis Bambu	(1)	(2)
Jenis Perekat	50% urea formaldehid + 50% Melamine formaldehyde	urea formaldehid + 50% yde
Kadar Air (%)	11,9	15,3
Densitas Bambu (g/cm^3)	0,741	0,72
Pengempaan (MPa)	2	2
(1) <i>Guadua agustifolia Kunt</i> (Correal et al, 2014)		
(2) <i>Dendrocalamus asper</i> (Setyo H et al, 2014)		

IV. HASIL DAN DISKUSI

Analisis kapasitas tekan

Analisis kapasitas tekan dilakukan untuk mencari panjang batang maksimum yang direkomendasikan dan kekuatan yang mampu diterima. Hasil analisis kapasitas tekan disajikan pada Tabel 3 dibawah ini .

Tabel 3. Hasil analisis kapasitas tekan

Jenis Bambu	(1)	(2)	
Elemen	Panjang (mm)	P_u (ton)	
Balok (60 x 120) mm	1000	28,51	25,37
	1500	26,07	23,40
	2000	20,66	18,94
	2500	14,79	13,74
	3000	10,69	9,98
	3500	8,01	7,48
	4000	6,19	5,79
	4500	4,92	4,61
	5000	4,01	3,75

	>5000	Le/d > 50	Le/d > 50
Kaso (50 x 70) mm	1000	11,71	10,60
	1500	6,85	6,37
	2000	4,05	3,78
	2500	2,63	2,46
	>2500	Le/d > 50	Le/d > 50
Reng (30 x 40) mm	1000	1,78	1,66
	1500	0,82	0,77
	>1500	Le/d > 50	Le/d > 50

- (1) *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014)
 (2) *Dendrocalamus asper* (Setyo H et al, 2014)

Dari hasil analisis diperoleh panjang batang maksimum yang direkomendasikan untuk elemen balok (60 mm x 120 mm), kaso (50 mm x 70 mm), reng (30 mm x 40 mm), berturut-turut $L \leq 5000$ mm, $L \leq 2500$ mm, $L \leq 1500$ mm, serta kekuatan yang mampu diterima berturut-turut 4,01 ton, 2,63 ton, 0,82 ton untuk bambu laminasi *Guadua agustifolia kunt* dan 3,75 ton, 2,46 ton, 0,77 ton untuk bambu laminasi *Dendrocalamus asper*.

Analisis kapasitas tarik

Analisis kapasitas tarik dilakukan untuk mencari kekuatan tarik dari penampang. Hasil analisis batang tekan disajikan pada Tabel 4 dibawah ini .

Tabel 4. Hasil analisis kapasitas tarik

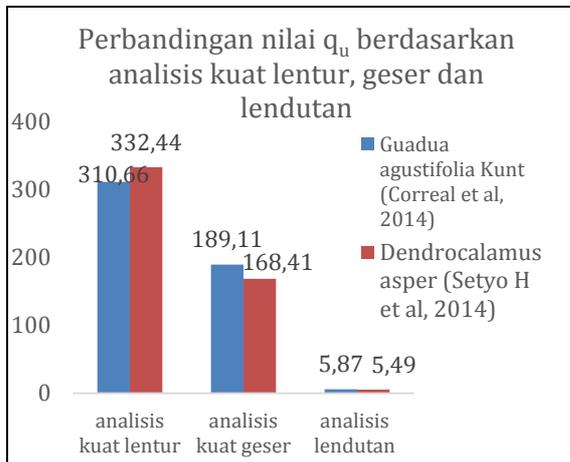
Jenis Bambu	(1)	(2)
Elemen	T_u (ton)	
Balok (60 x 120) mm	68,37	66,45
Kaso (50 x 70) mm	33,23	32,30
Reng (30 x 40) mm	11,39	11,08

- (1) *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014)
 (2) *Dendrocalamus asper* (Setyo H et al, 2014)

Dari hasil analisis diperoleh kapasitas tarik yang direkomendasikan untuk elemen balok (60 mm x 120 mm), kaso (50 mm x 70 mm), reng (30 mm x 40 mm), berturut-turut 68,37 ton, 33,23 ton, 11,39 ton untuk bambu laminasi *Guadua agustifolia kunt* dan 66,45 ton, 32,30 ton, 11,08 ton untuk bambu laminasi *Dendrocalamus asper*.

Analisis kapasitas beban merata

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui beban merata yang dapat bekerja pada sistem struktur balok. Nilai q_u diambil yang terkecil dari analisis kuat lentur, kuat geser dan lendutan yang timbul pada sistem struktur balok.



Gambar 1. Perbandingan nilai q_u

Pada Gambar 1 terlihat bahwa nilai q_u terkecil berdasarkan lendutan untuk elemen balok (60 mm x 120 mm) dengan panjang 1000 mm. Selanjutnya, diperoleh nilai q_u berdasarkan variasi dimensi dan panjang balok yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis kapasitas beban merata

Jenis Bambu		(1)	(2)
Elemen	Panjang (mm)	q_u (ton)	
Balok (60 x 120) mm	1000	5,87	5,49
	1500	1,74	1,63
	2000	0,73	0,69
	2500	0,38	0,35
	3000	0,22	0,20
	3500	0,14	0,13
	4000	0,09	0,08

	4500	0,06	0,06
	5000	0,04	0,04
	>5000	Le/d > 50	Le/d > 50
Kaso (50 x 70) mm	1000	0,68	0,64
	1500	0,20	0,19
	2000	0,08	0,08
	2500	0,04	0,04
	>2500	Le/d > 50	Le/d > 50
Reng (30 x 40) mm	1000	0,07	0,07
	1500	0,02	0,02
	>1500	Le/d > 50	Le/d > 50

- (1) *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014)
- (2) *Dendrocalamus asper* (Setyo H et al, 2014)

Dari hasil analisis diperoleh kapasitas beban merata yang direkomendasikan untuk elemen balok (60 mm x 120 mm) dengan panjang 5000 mm, kaso (50 mm x 70 mm) dengan panjang 2500 mm, dan reng (30 mm x 40 mm) dengan panjang 1500 mm, berturut-turut 0,04 ton/m, 0,04 ton/m, 0,02 ton/m untuk bambu laminasi *Guadua agustifolia kunt* dan bambu laminasi *Dendrocalamus asper*.

Verifikasi

Verifikasi dalam kajian ini dilakukan dengan membandingkan nilai hasil uji eksperimental bambu laminasi yang dilakukan oleh Correal et al, 2014 dan Setyo H et al, 2014 dengan nilai hasil analisis. Dari hasil verifikasi terlihat bahwa nilai analisis yang dilakukan dengan SNI 7973: 2013 lebih rendah dari nilai hasil uji eksperimental. Hasil verifikasi disajikan pada Tabel 6, Tabel 7, dan Tabel 8.

Tabel 6. Verifikasi kapasitas tekan

Ukuran Elemen (50 x 50 x 200) mm	Pu (Ton)	
	(1)	(2)
SNI	10,21	9,07
Ekperimental	15,5	13,05

- (1) *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014)
- (2) *Dendrocalamus asper* (Setyo H et al, 2014)

Dari hasil verifikasi kapasitas tekan diperoleh nilai analisis yang dilakukan dengan SNI lebih rendah dari nilai hasil uji eksperimental, dengan selisih 34,13 % untuk bambu *Guadua agustifolia Kunt* dan 30,5 % untuk bambu *Dendrocalamus asper*. Hal ini dikarenakan pada SNI 7973 : 2013 telah memperhitungkan faktor- faktor koreksi antara lain faktor layan basah, faktor temperatur, faktor ukuran, faktor tusukan, faktor konfersi format, faktor ketahanan dan faktor efek waktu.

Tabel 7. Verifikasi kapasitas tarik.

Ukuran Elemen (10 x 25 x 460) mm	Tu (Ton)	
	(1)	(2)
SNI	2,37	2,31
Ekperimental	3,58	3,48

- (1) *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014)
- (2) *Dendrocalamus asper* (Setyo H et al, 2014)

Dari hasil verifikasi kapasitas tarik diperoleh nilai analisis yang dilakukan dengan SNI lebih rendah dari nilai hasil uji eksperimental, dengan selisih 33,80 % untuk bambu *Guadua agustifolia Kunt* dan 33,62 % untuk bambu *Dendrocalamus asper*. Hal ini dikarenakan faktor- faktor koreksi yang sama dengan analisis kuat tekan.

Tabel 8. Verifikasi kapasitas beban merata.

Ukuran Elemen (50 x 50 x 760) mm	q _u (Ton/m)	
	(1)	(2)
SNI	0,40	0,38
Ekperimental	3,58	1,62

- (1) *Guadua agustifolia Kunt* (Correal et al, 2014)
- (2) *Dendrocalamus asper* (Setyo H et al, 2014)

Dari hasil verifikasi kapasitas beban merata diperoleh nilai analisis yang dilakukan dengan SNI lebih rendah dari nilai hasil uji eksperimental, dengan selisih 88,83 % untuk bambu *Guadua agustifolia Kunt* dan 76,54 % untuk bambu *Dendrocalamus asper*. Hal ini dikarenakan

pada SNI 7973: 2013 nilai q_u diambil yang terkecil dari analisis kuat lentur, kuat geser dan lendutan.

V. KESIMPULAN

Analisis bambu laminasi yang dilakukan dengan SNI 7973:2013 menghasilkan nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai hasil uji eksperimental oleh Correal et al, 2014 dan Setyo H et al, 2014. Hal ini dikarenakan faktor- faktor koreksi seperti faktor layan basah, faktor temperatur, faktor ukuran, faktor tusukan, faktor konfersi format, faktor ketahanan dan faktor efek waktu yang telah diperhitungkan. Sehingga, perhitungan bambu laminasi sebagai pengganti struktur kayu dapat dilakukan dengan SNI 7973:2013.

Namun, perlu ditambahkan perhitungan tersendiri pada SNI 7973:2013 tentang bambu laminasi karena belum adanya faktor-faktor koreksi untuk bambu pada SNI 7973:2013, agar nilai yang dihasilkan lebih konservatif.

Bambu *Dendrocalamus asper* di Indonesia sangat berpotensi untuk dijadikan bambu laminasi yang diproduksi secara masal. Hal ini ditunjukkan dengan nilai kapasitas yang setara dengan bambu laminasi *Guadua agustifolia kunt* yang telah diproduksi masal. Namun, informasi mengenai potensi bambu *Dendrocalamus asper* untuk dijadikan bambu laminasi masih kurang menyebar baik dimasyarakat maupun para pelaku bisnis, sehingga hal ini yang menghambat laminasi bambu *Dendrocalamus asper* belum juga dibuat secara masal di Indonesia.

REFERENSI

Agus., Suzanna, Ayu Karunia. 2011. Pengaruh Pengempaan Terhadap Kuat Lentur Balok Laminasi Bambu Betung. *Poli Rekayasa Volume.6 Nomor.2 :89-94.*

Badan Standarisasi Nasional. 2013. Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu. SNI 7973:2013.

Correal, Juan F., Echeverry, Juan S.,

- Ramírez, Fernando., Yamín, Luis E. 2014. Experimental Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Glued Laminated Guadua Angustifolia Kunth. *Construction and Building Materials* 73. Elsevier Ltd: 105–12.
- Departemen Pekerjaan Umum.1991. Spesifikasi ukuran kayu untuk bangunan rumah dan gedung. SNI 03-2445-1991
- Nurdiah, Esti Asih. 2016. The Potential of Bamboo as Building Material in Organic Shaped Buildings. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 216 (2016) : 30–38.
- Putri R, Ratih. 2012. *Keberterimaan Masyarakat Terhadap Inovasi Teknologi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Pengganti Kayu Konstruksi. Jurnal Sosek Pekerjaan Umum, Vol.4 No.1, April 2012 : 15–22.*
- Setyo H, Nor Intang ., Satyarno, Iman., Sulistyono, Djoko., and Prayitno, T A. 2014. Sifat Mekanika Bambu Petung Laminasi. *Dinamika Rekayasa Vol.10 No.1 : 6–13.*
- Suryana, Jajang., Massijaya, Muhammad Y., Hadi ,Yusuf S., Hermawan, Dede. 2011. Sifat-Sifat Dasar Bambu Lapis. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis Vol.9 No.2 Juli 2011 : 153–165.*