

SIFAT BALOK KOMPOSIT KOMBINASI BAMBU DAN KAYU (*The Properties of Combination Bamboo and Wood Composite Beam*)

Abdurachman, Nurwati Hadjib, Jasni & Jamal Balfas

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5. Bogor 16610. Telp./Fax : 0251 8633413, 8633378
e-mail : man_p3hh@yahoo.com

Diterima 25 Juli 2014, Disetujui 21 April 2015

ABSTRACT

Combination of bamboo and wood composite beam is one possible laminated product to be developed. Generally, the composite product of solid wood meet the strength requirement for construction. However, composite beam combination of bamboo and wood has not been studied intensively. This paper observes the properties of composite combination of three bamboo species: andong, petung and ori with jabon wood species using isocyanate glue and merbau extracts. In order to improve composite's durability, bamboo and jabon wood were preserved using 7% of boric acid and borax. Result shows composite beam combination of bamboo and jabon wood bonded with isocyanate is found to be the best composition in term of physical and mechanical properties. The density of the composite beam is 0.64 g/cm^3 in 9.70% moisture content. Modulus of Elasticity (MOE) $78,168 \text{ kg/cm}^2$, Modulus of Rupture (MOR) 384 kg/cm^2 and compression parallel to the glue line is 378 kg/cm^2 .

Keywords: Composite beam, combination, bamboo, wood, isocyanate

ABSTRAK

Balok komposit yang terbuat dari kombinasi bambu dan kayu adalah sebuah produk yang memungkinkan untuk dikembangkan. Pada umumnya, produk komposit dari kayu solid memenuhi persyaratan untuk konstruksi, namun sifat balok komposit kombinasi bambu dan kayu belum dipelajari secara intensif. Tulisan ini mempelajari sifat-sifat balok komposit kombinasi dari tiga jenis bambu: andong, petung dan ori dengan kayu jabon menggunakan perekat isosianat dan ekstrak kayu merbau. Untuk meningkatkan keawetan balok komposit bambu dan kayu jabon diawetkan menggunakan larutan asam borik dan borax pada konsentrasi 7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat fisik dan mekanik balok komposit bambu dan kayu jabon yang direkat dengan perekat isosianat lebih baik dari balok komposit tanpa kayu jabon. Kerapatan balok komposit terbaik ialah $0,64 \text{ g/cm}^3$ pada kadar air 9,7%. Modulus elastisitas (MOE) 78.168 kg/cm^2 , modulus patah (MOR) 384 kg/cm^2 dan tekan sejajar garis rekat 378 kg/cm^2 .

Kata kunci : Balok komposit, kombinasi, bambu, kayu, isosianat

I. PENDAHULUAN

Penggunaan bambu sebagai bahan konstruksi bangunan sipil seperti rumah, gedung, jembatan dan bangunan pelabuhan harus memenuhi persyaratan standar tertentu agar dapat berfungsi secara optimal dan aman. Bambu memiliki sifat

elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu atau kekakuannya lebih rendah dari kayu, tetapi memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi sehingga mendukung untuk dibuat sebagai bahan konstruksi bangunan. Penggunaan bambu dalam bentuk solid seringkali menemui masalah, antara lain bentuk dan ukuran penampang tidak sama

antara bagian pangkal dengan ujung batang (Frick, 2004). Salah satu pemanfaatan bambu sebagai bahan konstruksi berat adalah balok komposit, yakni balok yang disusun secara berlapis ke arah memanjang dan direkat dengan perekat sintetis jenis *thermosetting*. Susunan lapisan dapat terdiri atas bilah atau pelupuh bambu sejenis ataupun beberapa jenis. Pelupuh bambu (*zephyr*) adalah bambu yang dibuat seperti papan dengan cara direntangkan ke arah lebar, bisa dengan cara manual seperti dijelaskan pada metodologi penelitian ini atau dengan mesin *bamboo crusher* (Cahyadi et al., 2012). Untuk menambah kekakuan balok komposit dapat ditambah kayu berkualitas setara atau sama dengan kualitas bambu yang ditempatkan pada bagian tengah (*core*). Berkaitan dengan penggunaan bambu sebagai bahan struktur bangunan baik bambu solid maupun komposit tidak dapat dihindari adanya sambungan, baik sambungan mekanis maupun kimia (perekatan). Daya lekat bambu dengan bahan perekat semen atau perekat sintetis ditentukan oleh komponen kimia yang ada di dalam bambu, salah satunya adalah pati dan gula (Kusumaningsih, 1997). Tulisan ini mempelajari karakteristik balok laminasi kombinasi dari pelupuh dan kayu sebagai komponen struktur bangunan menggunakan bambu andong, petung dan ori serta kayu jabon.

II. BAHAN DAN METODE

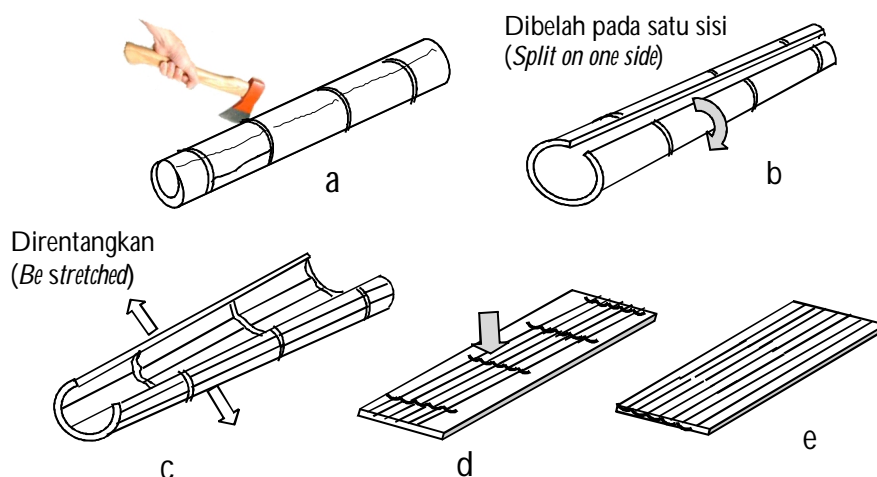
A. Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan adalah bambu petung (*Dendrocalamus asper* (Schult. F.) Backer ex Heyne), bambu andong (*Gigantochloa pseudo arundinaceae* (Steud) Widjaja), dan bambu ori (*Bambusa arundinaceae* (Retz.) Wild.). Bambu petung dan andong diperoleh dari tanaman rakyat di Jawa Barat, sedangkan bambu ori di Jawa Tengah. Kayu jabon (*Antocephalus cadamba*) diperoleh dari hutan rakyat di Jawa Barat. Bahan kimia yang digunakan adalah perekat isosianat dan ekstrak kayu merbau, pengawet asam borik dan borak serta bahan *aditif*. Bahan gelas/kaca yang diperlukan adalah *beaker glass*, pengaduk, cawan petri dan lain-lain serta bahan penunjang meliputi ampelas rol, klem, baut, mur dan lain-lain. Peralatan yang dipergunakan adalah: golok, kapak, gergaji tangan dan gergaji mesin, pisau raut, kunci pas, mesin serut, mesin ampelas, timbangan *digital*, oven dan mesin uji universal (UTM).

B. Metode

1. Pembuatan pelupuh.

Bambu sepanjang 3 m dibelah ruasnya dengan kapak atau parang, dibelah pada satu sisi dan direntangkan, kemudian sekat rongga pada ruas dan kulit dalam dihilangkan sehingga membentuk pelupuh (*zephyr*). Proses pembuatan pelupuh secara manual dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembuatan pelupuh
Figure 1. Manufacturing process of pelupuh (zephyr)

Pelupuh bambu diawetkan menggunakan bahan pengawet asam borik dan boraks dengan perbandingan 1,52 : 1 (b/b) pada konsentrasi 7%. Metode pengawetan adalah rendaman dingin selama 24 jam.

2. Pembuatan balok komposit

a. Balok yang dibuat berukuran penampang 6/12 cm dan panjang 200 cm. Jumlah lapisan terdiri atas 12 lapis pelupuh dan dua lapis kayu jabon dengan dua bentuk penempatan kayu (Tipe, T1) dan (Tipe, T2) serta satu bentuk laminasi tanpa kayu (Tipe, T3) yang digunakan sebagai kontrol seperti Gambar 2.

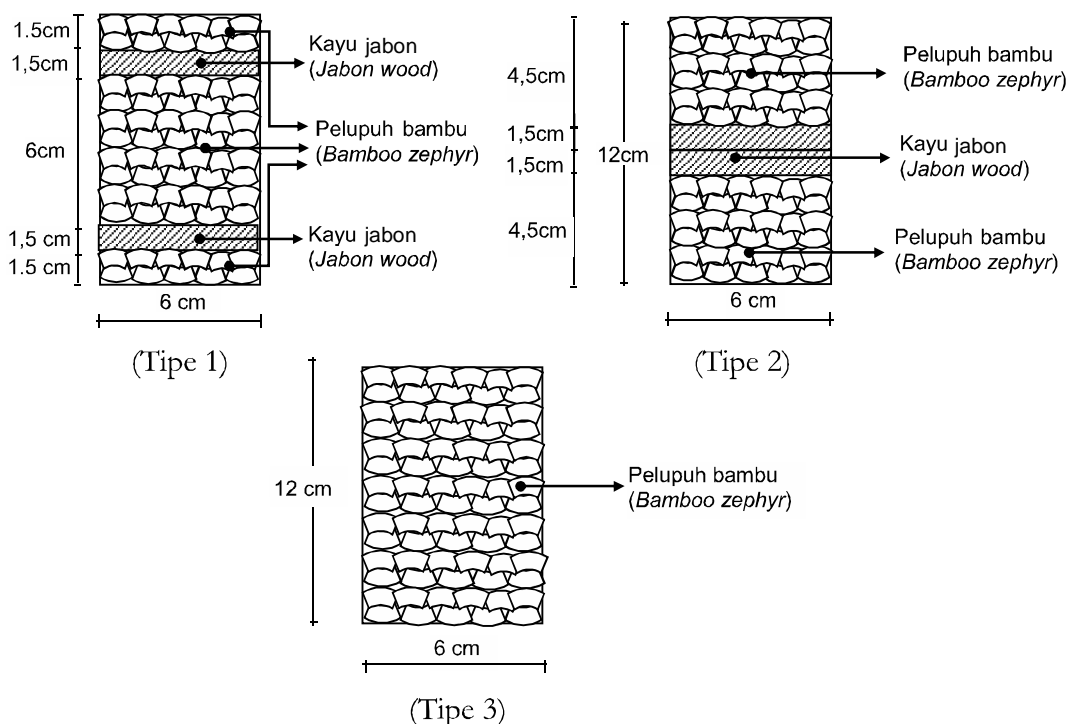
b. Perekatan pelupuh

Pada pembuatan balok laminasi, dua lembar pelupuh dengan ketebalan 0,75-1,0 cm digabung menjadi setangkup dengan perekat sehingga membentuk papan lamina dua lapis. Perekat yang digunakan adalah perekat sintesis isosianat dengan berat labur 200 g/m²

dan ekstrak kayu merbau dengan berat labur 170 g/m². Untuk menambah kekakuan balok ditambahkan papan kayu jabon berukuran tebal sama dengan tebal pelupuh. Jadi jumlah perbandingan antara pelupuh dan kayu 6:2. Pengempaan lamina dilakukan dengan cara kempa dingin (*cold press*) pada suhu ruangan (28°C), tekanan kempa 10 kg/cm² selama empat jam. Selanjutnya balok-balok laminasi dibiarkan (*conditioning*) selama tujuh hari.

3. Pengujian bahan dan produk komposit

Pengujian bahan pelaminasi yaitu pelupuh bambu dan kayu jabon meliputi pengujian efektivitas bahan pengawet, kadar air, dan kerapatan. Sedangkan pengujian produk laminasi meliputi pengujian delaminasi, lentur statik, tekan sejajar serat dan geser rekat sejajar arah lamina. Metode pengujian mengacu pada standar JAS (1996).



Gambar 2. Penampang balok laminasi dari campuran pelupuh bambu dan kayu
Figure 2. Cross section of laminated beam from combination of bamboo zephyr and wood

4. Analisis data

Data hasil pengujian produk laminasi pelupuh bambu disajikan dalam bentuk tabel dan diagram. Selanjutnya untuk melihat pengaruh-pengaruh variabel, dianalisis menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan percobaan faktorial (A x B x C) dengan tiga ulangan. Faktor A adalah jenis bambu (andong, petung dan ori), faktor B adalah tipe laminasi (Tipe 1, Tipe 2 dan Tipe 3 sebagai kontrol), dan faktor C adalah jenis perekat (isosianat, ekstrak kayu merbau).

Parameter yang diuji meliputi :

- a. Sifat fisis: kerapatan dan kadar air, efektivitas bahan pengawet, dan delaminasi.
- b. Kekuatan mekanis: kekuatan lentur (MOE dan MOR), kekuatan tekan sejajar laminasi, dan kekuatan geser rekat.
- c. Model yang digunakan adalah:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (BC)_{jk} + (AC)_{ik} + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Keterangan:

- Y_{ijkl} = Pengamatan pengaruh faktor A (jenis bambu) ke-i, faktor B (tipe laminasi) ke-j, faktor C (jenis perekat) ke-k.
- μ = Rata-rata harapan
- A_i = Pengaruh jenis bambu ke-i
- B_j = Pengaruh tipe laminasi ke-j
- C_k = Jenis perekat ke-k
- $(AB)_{ij}$ = Interaksi antara faktor A ke-i dan faktor B ke-j
- $(BC)_{jk}$ = Interaksi antara faktor B ke-j dan faktor C ke-k
- $(AC)_{ik}$ = Interaksi antara faktor A ke-i dan faktor C ke-k

$(BC)_{jk}$ = Interaksi antara faktor B ke-j dan faktor C ke-k

ϵ_{ijkl} = Pengaruh galat percobaan faktor A (jenis bambu) ke-i, faktor B (tipe laminasi) ke-j, faktor C (jenis perekat) ke-k pada ulangan ke-l

Bila $F_{hitung} > F_{tabel}$, yang berarti pengaruh perlakuan terhadap setiap respon yang diuji memberikan pengaruh nyata, maka selanjutnya dilakukan uji beda dengan metode uji beda Tukey (Steel & Torrie, 1990).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Hasil penelitian meliputi sifat pengawetan, fisik dan mekanik balok komposit pelupuh bambu.

1. Retensi dan penetrasi bahan pengawet

Nilai rata-rata retensi penetrasi bahan pengawet ditampilkan pada Tabel 1.

Retensi bahan pengawet tertinggi adalah bambu ori sebesar 47,73 kg/m³ dan terendah adalah kayu jabon sebesar 18,85 kg/m³. Bambu ori mempunyai jumlah dan diameter rata-rata pembuluh metaxylem yang lebih besar dari bambu petung dan andong. Selain itu besarnya retensi bahan pengawet dipengaruhi pula oleh konsentrasi larutan, tekanan dan teknik perendaman (Sutikno, 1986).

2. Sifat fisik balok komposit

Hasil pengujian sifat fisik balok komposit pelupuh disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Retensi dan penetrasi bahan pengawet
Table 1. Retention and penetration of preservatives

Jenis bambu/kayu (<i>Bamboo species/wood</i>)	Retensi (<i>Retention</i>) kg/m ³	Penetrasi (<i>Penetration</i>) %
Andong	20,63	100
Petung	23,11	100
Ori	47,73	100
Jabon	18,85	98

Tabel 2. Rata-rata sifat fisik balok komposit pelupuh bambu dan kayu
Table 2. The average of physical properties of composite beam bamboo zephyr and wood

Balok komposit (Composite beam)	Sifat fisik (Physical properties)	
	Kerapatan (Density) gram/cm ³	Kadar air (Moisture content) %
J1T1P1	0,61	9,55
J1T1P2	0,61	9,34
J1T2P1	0,58	9,70
J1T2P2	0,60	6,65
J1T3P1	0,73	9,43
J1T3P2	0,77	12,35
J2T1P1	0,58	10,59
J2T1P2	0,59	10,47
J2T2P1	0,63	10,45
J2T2P2	0,57	9,94
J2T3P1	0,76	10,83
J2T3P2	0,77	13,00
J3T1P1	0,57	11,16
J3T1P2	0,48	12,40
J3T2P1	0,58	8,85
J3T2P2	0,48	12,56
J3T3P1	0,67	12,07
J3T3P2	0,63	11,05
Bambu (Bamboo) andong	0,69	13,00
Bambu (Bamboo) petung	0,74	13,54
Bambu (Bamboo) ori	0,66	16,81
Kayu jabon (Jabon wood)	0,55	16,00

Keterangan (Remarks): J1 = Bambu (Bamboo) andong, J2 = Bambu (Bamboo) petung, J3 = Bambu (Bamboo) ori, T1= Tipe (Type) 1, T2 = Tipe (Type) 2, T3 = Tipe (Type) 3 (kontrol, tanpa kayu/control, without wood), P1= Perekat isosianat (Glue isocyanate), P2 = Perekat ekstrak merbau (Merbau extract glue).

Secara keseluruhan kerapatan balok komposit berkisar 0,48–0,63 g/cm³ dengan rata-rata 0,57 g/cm³. Nilai kerapatan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan ketiga jenis bambu solid, tetapi lebih tinggi dari kerapatan kayu jabon. Hal ini disebabkan oleh adanya kontribusi perekat yang mengisi celah memanjang yang terdapat pada setiap lapisan pelupuh bambu dan menyebabkan pematangan perekat menjadi terhambat (Oka, 2005). Berdasarkan analisis keragaman (Tabel 4), jenis bambu, tipe laminasi, jenis perekat, interaksi antara jenis bambu dan tipe laminasi, jenis bambu dan jenis perekat dan tipe laminasi dan jenis

perekat menunjukkan pengaruh yang nyata pada taraf 5% terhadap kerapatan. Jika dibandingkan dengan kerapatan balok komposit bambu tanpa kayu berperekat isosianat untuk bambu andong (0,73), petung (0,76) dan ori (0,67) mengalami penurunan sekitar 20%. Hal ini mungkin disebabkan oleh kerapatan kayu jabon yang lebih rendah dari ketiga jenis bambu tersebut. Kadar air bambu komposit memenuhi Standar Jepang (JAS, 1996) karena kurang dari 14%.

3. Delaminasi

Hasil pengujian sifat delaminasi total bambu komposit disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian delaminasi total bambu komposit
Table 3. Result of total delamination of composite beam

Balok komposit (Composite beam)	Delaminasi (Delamination) %	Balok komposit (Composite beam)	Delaminasi (Delamination) %	Balok komposit (Composite beam)	Delaminasi (Delamination) %
J1T1P1	7,80	J2T1P1	7,76	J3T1P1	9,77
J1T1P2	6,28	J2T1P2	3,49	J3T1P2	5,42
J1T2P1	6,93	J2T2P1	9,60	J3T2P1	5,52
J1T2P2	6,29	J2T2P2	8,53	J3T2P2	4,93
J1T3P1	10,15	J2T3P1	9,77	J3T3P1	7,33
J1T3P1	6,28	J2T3P2	8,06	J3T3P1	4,29

Keterangan (Remarks): J1 = Bambu (*Bamboo*) andong, J2 = Bambu (*Bamboo*) petung, J3 = Bambu (*Bamboo*) ori, T1 = Tipe (Type) 1, T2 = Tipe (Type) 2, T3 = Tipe (Type) 3 (kontrol, tanpa kayu/ *control, without wood*), P1 = Perikat isosianat (*Glue isocyanate*), P2 = Perikat ekstrak merbau (*Merbau extract glue*).

Tabel 4. Rata-rata sifat mekanik balok komposit pelupuh bambu dan kayu
Table 4. Average of mechanical properties of composite beam bamboo zephyr and wood.

Balok komposit (Composite beam)	Sifat mekanik (<i>Mechanical properties</i>), kg/cm ²		
	MOE	MOR	Tekan/laminasi (Compression/lamination)
J1T1P1	48.127,41	169,81	230,57
J1T1P2	52.275,40	148,21	339,82
J1T2P1	49.518,37	216,60	263,20
J1T2P2	65.573,00	235,09	274,39
J1T3P1	23.184,95	88,93	345,77
J1T3P2	51.884,43	124,90	289,73
J2T1P1	69.319,86	302,51	322,96
J2T1P2	54.083,32	224,32	342,15
J2T2P1	60.051,66	273,29	349,40
J2T2P2	64.656,72	262,96	291,56
J2T3P1	29.297,80	104,61	330,47
J2T3P2	41.608,05	94,89	436,29
J3T2P2	64.656,72	262,96	291,56
J3T1P1	17.361,23	106,92	176,86
J3T1P2	28.958,71	73,36	191,48
J3T2P1	32.590,67	149,96	318,33
J3T3P1	27.433,23	86,57	196,94
J3T3P2	22.023,49	60,19	314,39

Keterangan(Remarks) : Nilai rata-rata dari 3 ulangan (*Average value of 3 replication*)

Delaminasi tertinggi 10,15% terjadi pada balok komposit bambu andong, tipe 3 perekat isosianat (J1T3P1) dan terendah 3,49% terjadi pada balok komposit bambu petung, tipe 1 dan perekat ekstrak merbau (J2T1P2). Nilai delaminasi yang relatif besar ini disebabkan antara lain oleh permukaan kulit bambu yang sulit ditembus oleh perekat, sedangkan Standar Jepang (JAS, 1996)

mensyaratkan delaminasi total sebesar 5%. Menurut Liese (1985), secara anatomis, bambu sulit dilalui cairan karena struktur dinding selnya berlapis-lapis serta hanya terdiri dari serat aksial pada bagian ruas. Bagian terluar batang bambu terbentuk dari lapisan tunggal sel epidermis, dan sedikit ke bagian dalamnya ditutupi oleh lapisan sel sklerenkim.

4. Sifat Mekanik

Hasil pengujian sifat MOE, MOR dan tekan sejajar laminasi disajikan pada Tabel 4, sedangkan hasil keragaman masing-masing faktor terhadap sifat mekanis ditampilkan dalam Tabel 5.

a. Kekakuan lentur

Kekakuan lentur (MOE) balok komposit pelupuh bambu tertinggi dicapai oleh komposisi J2T1P1 (pelupuh bambu petung, tipe 1, perekat isosianat) sebesar 69.320 kg/cm². Sedangkan yang terendah adalah komposisi J3T1P1 (pelupuh bambu ori, tipe 1, perekat isosianat) sebesar 17.361 kg/cm². Nilai kekakuan (MOE) menunjukkan sifat elastis bahan, semakin besar nilai MOE semakin kecil lenturan yang terjadi apabila balok dibebani secara statis, sebaliknya semakin rendah MOE maka semakin besar lenturan yang terjadi, Soemono (1982).

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa tipe 2 (kayu jabon terletak di lapis paling tengah) memiliki nilai MOE lebih tinggi dari tipe 1. Hal ini menunjukkan bahwa pada tipe 2 kayu jabon tidak berkontribusi untuk menahan lenturan karena terletak pada garis netral (Canonica, 1991), sedangkan yang

bekerja menahan tegangan tarik dan tekan adalah bambu yang kerapatannya lebih tinggi dari kayu jabon. Hasil uji beda jarak nyata ditampilkan pada Tabel 6.

Hasil analisis keragaman (Tabel 5) menunjukkan bahwa jenis bambu dan tipe laminasi berpengaruh nyata terhadap kekakuan lentur (MOE), hal ini juga mendukung pernyataan di atas bahwa lapisan kayu jabon berbeda apabila diletakkan pada bagian luar maupun bagian dalam.

Pada uji beda jarak nyata (Tabel 6), jenis bambu ori dan bentuk laminasi tipe 3 (kontrol) berbeda dengan kedua jenis bambu dan tipe laminasi lainnya, namun perekat secara umum tidak mempengaruhi sifat-sifat yang diteliti. Demikian pula dengan interaksi antara jenis bambu, jenis perekat dan tipe laminasi. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa MOE terbesar adalah 69.319,86 kg/cm² (J2T1P1) dan terendah adalah 17.361,23 kg/cm² (J3T1P1). Dapat dinyatakan bahwa MOE kedua tipe laminasi lebih baik dari kontrolnya dan meningkat 27,33% untuk T1 dan 36,76% untuk T2.

Tabel 5. Nilai F hitung pengaruh perlakuan terhadap sifat bambu laminasi

Table 5. Value of F calculated treatments to bamboo laminated beam

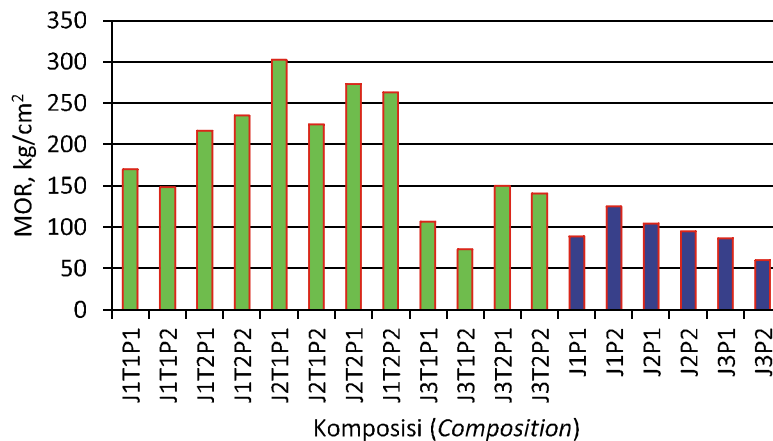
Sumber (Sources)	Db (Df)	F _{hitung} (F _{calculated})			
		Kerapatan (Density)	MOE	MOR	Tekan/laminasi (Compression/to lami- nation)
Jenis bambu (<i>Bamboo species</i>), B	2	70,84**	23,58**	23,77**	16,91**
Tipe laminasi (<i>Type of lamination</i>), T	2	222,51**	7,60**	30,24**	3,98*
Jenis perekat (<i>Kind of glue</i>), P	1	13,85**	3,38	1,37	2,94
B*T	4	3,38*	1,13	4,23*	23,71**
B*P	2	19,35**	0,96	1,08	14,77**
T*P	2	4,63*	0,68	1,34	2,36
B*T*P	4	1,35	1,48	0,21	9,93**

Keterangan (Remarks): * Berbeda nyata pada taraf 5% (Significant at 5%), ** Sangat berbeda nyata pada taraf 5% (Very significant at 5%)

Tabel 6. Hasil uji beda jarak nyata pengaruh perlakuan terhadap sifat bambu komposit
Table 6. Honestly Significant Difference test for effect of bamboo composite treatments

Jenis bambu/Tipe laminasi/Jenis perekat (<i>Bamboo species/ Type of lamination/ Kind of glue</i>)	Sifat yang diamati (<i>tested Properties</i>)			
	MOE	MOR	C/serat	Kerapatan (<i>Density</i>) (gram/cm ³)
J1	45.004,92 ^b	163,92 ^b	295,51 ^{bc}	0,651 ^a
J2	50.189,17 ^b	210,43 ^c	318,93 ^{bc}	0,651 ^b
J3	23.352,86 ^a	103,02 ^a	318,93 ^{bc}	0,567 ^a
T1	39.824,47 ^b	170,85 ^b	307,81 ^c	0,573 ^a
T2	45.765,69 ^b	213,17 ^c	278,78 ^{ab}	0,573 ^a
T3	28.942,10 ^a	93,35 ^a	281,95 ^{ab}	0,722 ^b
P1	34.261,00 ^a	166,58 ^a	281,61 ^a	0,635 ^b
P2	34.261,00 ^a	151,67 ^a	297,42 ^a	0,610 ^a

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%
 (Number followed by the same letter within the same column means not significantly different on 5% level)



Keterangan (*Remarks*): J1 = Bambu (*Bamboo*) andong, J2 = Bambu (*Bamboo*) petung, J3 = Bambu (*Bamboo*) ori, T1 = Tipe (*Type*) 1, T2 = Tipe (*Type*) 2, P1 = Perekat isosianat (*Glue isocyanate*), P2 = Perekat ekstrak merbau (*Merbau extract glue*)

Gambar 3. Diagram kekuatan lentur balok komposit pelupuh bambu
Figure 3. Bending strength diagram of bamboo zephyr composite beam

b. Kekuatan lentur (MOR)

Kekuatan lentur statis suatu balok menunjukkan kemampuan bahan menahan beban lentur yang menyebabkan perubahan bentuk (deformasi) pada struktur tersebut. Nilai MOR balok komposit pelupuh bambu juga dipengaruhi oleh kerapatan dan kadar air bahan. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa MOR tertinggi dicapai oleh komposisi J2T1P1 sebesar

302,51 kg/cm² dan terendah komposisi J3T1P2 sebesar 73,36 kg/cm². Untuk melihat perbedaan kekuatan lentur (MOR) antara balok komposit pelupuh bambu dengan kayu jabon dan tanpa kayu jabon dapat dilihat pada Gambar 3. Sama halnya dengan MOE, jenis bambu dan tipe laminasi berpengaruh nyata terhadap MOR dan masing-masing berbeda satu sama lain.

c. Keteguhan rekat (*Block shear test*)

Rata-rata hasil pengujian keteguhan rekat dengan cara *block shear test* dari produk yang menggunakan perekat isosianat dan ekstrak kayu merbau tercantum dalam Tabel 7.

Kekuatan geser blok menggunakan perekat isosianat paling tinggi dicapai oleh bambu petung dan jabon sebesar 7,47 kg/cm² pada uji basah dan 35,05 kg/cm² pada uji kering. Sedangkan balok komposit menggunakan perekat ekstrak kayu merbau paling tinggi dicapai oleh bambu ori, yaitu sebesar 16,63 kg/cm² pada uji basah dan 31,34 kg/cm² pada uji kering. Berdasarkan kerusakan kayu yang terjadi, paling tinggi sebesar 67,67% pada garis rekat bambu andong dan kayu jabon menggunakan perekat isosianat. Balok komposit yang menggunakan perekat ekstrak kayu merbau pada uji basah maupun kering tidak terjadi kerusakan kayu meskipun nilai kekuatan geser rekatnya mendekati perekat isosianat. Bidang rekat dan jenis perekat berpengaruh nyata terhadap keteguhan rekat baik pada uji basah maupun kering.

Bidang rekat terbaik pada uji basah dan kering adalah bidang rekat antara jenis bambu petung dengan petung dengan nilai keteguhan masing-masing 11,17 kg/cm² pada uji basah dan 28,50 kg/cm² pada uji kering. Terdapat keterkaitan antara kekuatan geser rekat dengan delaminasi, di mana uji delaminasi menunjukkan kontribusi perekat terhadap kekuatannya.

Persentase delaminasi seperti ditunjukkan pada Tabel 3, hanya tiga tipe laminasi yang memenuhi Standar Jepang karena nilainya

kurang 5% yaitu (3,49%) balok komposit bambu petung, tipe 1, perekat ekstrak merbau (J2T1P2), (4,93%) balok komposit bambu ori, tipe 2, perekat ekstrak merbau (J3T2P2) dan (4,29%) balok komposit bambu ori, tipe 3, perekat isosianat (J3T3P1).

Secara keseluruhan, berdasarkan interaksi antara jenis bambu, tipe laminasi dan jenis perekat, bambu komposit J1T2P1 (bambu petung, T2 dan perekat isosianat) merupakan komposisi terbaik dengan nilai kerapatan, MOE, MOR dan tekan sejajar laminasi berturut-turut 0,64 gram/cm³, 78.168,18 kg/cm², 383,85 kg/cm² dan 377,73 kg/cm² pada kadar air 9,70%.

5. Kesetaraan nilai-nilai kekakuan dan kekuatan dengan mutu kayu laminasi dan kayu solid

Berdasarkan klasifikasi kekuatan kayu menurut Den Berger (1923) dalam (Martawijaya et al., 2005), balok bambu komposit yang diteliti setara dengan kayu kelas kuat II – III menurut angka Berat Jenis (kerapatan) dan kelas kuat III – IV menurut angka kekuatan tekan mutlak. Sedangkan berdasarkan Standar Jepang (JAS, 1996) untuk mutu kayu laminasi struktural menurut angka MOE dan MOR, balok komposit bambu andong, tipe 2, perekat ekstrak merbau (J1T2P2) setara E65-F220 ~ E75-F240, balok komposit bambu petung, tipe 1, perekat isosianat (J2T1P1) setara E65-F225 ~ E105-F300, balok komposit bambu petung, tipe 2, perekat isosianat (J2T2P1) setara E55-F200 ~ E95-F270 dan balok komposit bambu petung, tipe 2, perekat ekstrak merbau (J2T2P2) setara E65-F220 ~ E95-F270.

Tabel 7. Rata-rata hasil pengujian keteguhan geser rekat
Table 7. Average of block shear test result

Bidang rekat (<i>glue surface</i>)	Basah (<i>Wet</i>)	Kering (<i>Dry</i>)
Andong-andong	12,4017 ^a	26,3100 ^a
Andong-jabon	10,1717 ^b	24,1033 ^{ab}
Petung-petung	11,1717 ^{ab}	28,7933 ^a
Petung-jabon	9,7483 ^b	27,6633 ^a
Jabon-jabon	10,0883 ^b	20,6267 ^b
Ori-jabon	10,6367 ^{ab}	28,4967 ^a
Ori-ori	10,6833 ^{ab}	25,5717 ^a

Keterangan (*Remarks*): Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%
(*Number followed by the same letter within the same column means not significantly different on 5% level*)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Teknik pembuatan balok laminasi dari pelupuh bambu lebih baik dengan kombinasi menggunakan papan kayu jabon dan perekat eksterior isosianat. Uji coba yang dilakukan dengan kombinasi kayu pada posisi di garis netral penampang balok berdasarkan nilai berat jenis (kerapatan) setara dengan kayu kelas kuat II-III, dan berdasarkan keteguhan tekan mutlak setara dengan kelas kuat III-IV. Balok laminasi dari pelupuh bambu yang dikombinasikan dengan papan kayu jabon untuk kegunaan laminasi struktural, berdasarkan nilai MOE dan MOR telah memenuhi Standar Jepang untuk kayu lamina struktural.

B. Saran

Berdasarkan kesetaraan dengan klasifikasi kekuatan kayu Indonesia dan standar Jepang untuk kayu lamina struktural maka balok komposit yang diteliti dapat digunakan sebagai komponen struktur bangunan. Namun pada pemakaiannya harus disesuaikan dengan fungsi struktur yang dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Canonica L. (1991). *Memahami mekanika teknik 2*. Bandung: Angkasa.
- JAS (1996). *Japanese Agricultural Standard for Structural Glued Laminated Timber*. Japan Plywood Inspection Corporation.

- Martawijaya A., Kartasudjana, I. & Prawira, S.A. (2005). *Atlas Kayu Indonesia Jilid 1*. Reprint. Bogor. Badan Penelitian dan pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan.
- Cahyadi D., Firmanti A. & Subiyanto B. (2012). Sifat fisis dan mekanis bambu laminasi bahan berbentuk pelupuh (*Zephyr*) dengan penambahan metanol sebagai pengencer perekat, *Jurnal Peremukiman*, 7(1): 1-4.
- Frick H. (2004). *Ilmu konstruksi bangunan bambu*. Yogyakarta: Kanisius.
- Kusumaningsih, K.R. (1997). *Pengaruh perendaman empat jenis bambu dalam air terhadap sifat fisika, sifat mekanika dan ketahanannya terhadap kumbang bubuk*. (Skripsi, Sarjana) Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Liese, W. (1985). Anatomy and properties of bamboos. *Proceeding of the International Bamboo Workshop Tahun 1985*, 196-208. Hangzhou: People's Republic of China.
- Oka, G.M. (2005). Analisis perekat terlabur pada pembuatan balok laminasi bambu petung, *Jurnal SMARTek*, 3(2), 93 – 100.
- Soemono. (1982). *Ilmu gaya, bangunan-bangunan statis tak tentu*. Bandung: Djambatan.
- Steel, R.G.D. & Torrie, J.H. (1990). *Principles and procedure of statistic*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Sutikno (1986). *Struktur anatomi empat jenis bambu dan retensinya terhadap bahan pengawet*. (Skripsi, Sarjana), Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.