

KARAKTERISTIK BALOK BAMBU LAMINA SUSUN TEGAK DARI BILAH BAMBU ANDONG (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steud.) Widjaja) (*Characteristic of Vertically Glued Laminated Bamboo Beam Made of Andong (Gigantochloa pseudoarundinacea (Steud.) Widjaja) Bamboo Strips*)

I.M. Sulastiningsih, Adi Santoso, & Krisdianto

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan,
Jl. Gunung Batu No 5. Bogor 16610 Telp 0251-8633378, Fax 0251-8633413
E-mail: tsulastiningsih@yahoo.co.id

Diterima 18 Agustus 2015, Direvisi 28 Januari 2016, Disetujui 18 Februari 2016

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the effect of various layer compositions on the properties of 3-layer vertically glued laminated bamboo beam (LBB). Bamboo strips for LBB fabrication were prepared from mature culms (± 4 years old) of andong bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steud.) Widjaja) collected from private gardens in West Java. The strips were pre-treated by soaking them in 7% boron solution for four hours. Three-layer LBBs were manufactured with six different layer compositions, including bamboo combination with wood planks of manii (*Maesopsis eminii* Engl.) or sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & J.W. Grimes) as the core layer. The LBB was manufactured using Water Based Polymer-Isocyanate (WBPI) adhesive. The glue spread and cold pressing time applied were 250 g/m^2 and one hour, respectively. Results showed that the average density, moisture content, thickness swelling, and width expansion of LBB were 0.65 g/cm^3 ; 11.1%; 2.09%; and 1.99%, respectively. No delamination occurred in all samples using WBPI adhesive, which indicates high bonding quality. The average bonding strength and percentage bamboo failure (dry test) of LBB were 61.6 kg/cm^2 and 90%, respectively. The physical and mechanical properties of LBB were significantly affected by the layer composition. The presence of wood laminates as the core layer of LBB and the cross wide orientation of the core layer decreased mechanical properties of LBB. On the contrary, the presence of cross-layer in LBB structure increased dimensional stability of the produced LBB. Three-layer thick laminated bamboo beam made of vertically glued andong bamboo strips with various constituted layer composition and all constituted layers laminated together in parallel grain direction had strength values comparable to those of class II of solid wood strength, even though the core layer was made of sengon or manii planks.

Keywords: Laminated bamboo beam, vertically glued strips, andong, manii, sengon, isocyanate

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi lapisan terhadap sifat balok bambu lamina (BBL) tiga lapis susun tegak. Jenis bambu yang digunakan adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steud.) Widjaja) berumur sekitar empat tahun yang diperoleh dari tanaman rakyat di Jawa Barat. Bilah bambu andong yang digunakan untuk membuat BBL diberi perlakuan pendahuluan dengan jalan direndam dalam larutan boron 7% selama empat jam. Lapisan dalam atau lapisan inti BBL dikombinasikan dengan kayu manii (*Maesopsis eminii* Engl.) atau sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & J.W. Grimes). Lapisan inti BBL direkat sejajar dan tegak lurus terhadap lapisan luar sehingga diperoleh enam macam komposisi lapisan. Balok bambu lamina dibuat dengan menggunakan perekat isosianat (*water based polymer-isocyanate*, WBPI) dengan berat labur perekat 250 g/m^2 permukaan, dikempa dingin dengan lama pengempaan satu jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan, kadar air, pengembangan tebal, dan pengembangan lebar BBL berturut-turut adalah $0,65 \text{ g/cm}^3$; 11,1%; 2,09%; dan 1,99%. Kualitas perekatan BBL yang dibuat dengan perekat isosianat (WBPI) cukup baik yang ditunjukkan oleh tidak terjadinya delaminasi pada semua contoh uji delaminasi. Nilai rata-rata

keteguhan rekat dan persentase kerusakan bambu (uji kering) berturut-turut adalah 61,6 kg/cm² dan 90%. Sifat fisis dan mekanis BBL sangat dipengaruhi oleh komposisi lapisan penyusun BBL. Penggunaan kayu dan lapisan silang sebagai lapisan tengah atau inti BBL menurunkan sifat mekanis BBL tetapi meningkatkan kestabilan dimensi BBL yang dihasilkan khususnya pengembangan lebar. BBL tiga lapis yang dibuat dari susunan bilah bambu andong secara tegak dengan berbagai komposisi lapisan penyusun dan semua lapisan penyusunnya direkat sejajar serat memiliki kekuatan setara dengan kayu kelas kuat II meskipun lapisan intinya kayu manii atau sengon.

Kata kunci: Balok bambu lamina, bilah bambu susun tegak, andong, manii, sengon, isosianat

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan bambu secara tradisional memiliki nilai tambah yang rendah, karena umumnya dilakukan dengan teknologi sederhana dan digunakan oleh masyarakat lokal setempat (Recht & Wetterwald, 1992). Pemanfaatan bambu dengan teknologi modern seperti campuran tekstil, alkaloid, makanan, obat-obatan dan teknologi lamina telah dilakukan oleh beberapa negara seperti Tiongkok, Korea Selatan, Jepang, dan India (Zehui, 2007). Macam produk pengolahan bambu yang telah dikembangkan dengan menerapkan teknologi laminasi antara lain berupa bambu lapis (*ply-bamboo*), papan bambu lamina untuk lantai, panel dinding, mebel dan barang kerajinan dari bambu lamina (Recht & Wetterwald, 1992; Nugroho & Ando, 2001).

Bambu lamina dapat dijadikan substitusi bahan pembuat mebel dan konstruksi dalam ruangan. Tiongkok merupakan salah satu negara yang mengembangkan berbagai variasi mebel dari bambu lamina (Zehui, 2007). Penggunaan bambu lamina untuk bahan mebel juga dapat diperkenalkan di sentra kerajinan mebel di Indonesia, namun penggunaan bambu lamina belum mendapat pasar dalam perdagangan mebel di Indonesia karena harganya masih relatif mahal. Salah satu strategi untuk mengurangi biaya produksi pembuatan bambu lamina adalah dengan memanfaatkan kayu cepat tumbuh sebagai kombinasi lapisan penyusun bambu lamina. Penggunaan lapisan bambu sebagai lapisan luar papan atau balok dari kayu cepat tumbuh dapat meningkatkan kualitas kayu tersebut baik kekuatan maupun penampilannya karena lapisan bambu memiliki kekuatan yang tinggi dan corak penampilan serat yang bagus dan unik dengan adanya buku pada bilah bambu penyusun lapisan bambu komposit (Sulastiningsih & Santoso, 2014).

Penelitian pemanfaatan bambu sebagai bahan alternatif untuk substitusi kayu telah banyak dilakukan dengan berbagai macam produk bambu komposit. Penelitian penggunaan kayu sebagai lapisan bagian tengah bambu lamina telah dilakukan oleh Sulastiningsih, Nurwati, dan Santoso (2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa papan bambu lamina dengan lapisan tengah kayu mangium atau kayu tusam setara dengan kayu kelas kuat II (dua). Di samping itu produk bambu lamina kombinasi kayu dapat meningkatkan penggunaan kayu yang memiliki sifat inferior sebagai sumber bahan baku kayu pertukangan berkualitas karena pada produk komposit tersebut lapisan yang memerlukan kekuatan tinggi adalah lapisan luar yaitu lapisan bambu, sedangkan kayu yang berfungsi sebagai lapisan tengah kurang menyangga beban pada titik tengah netral.

Bambu lamina adalah suatu produk yang dibuat dari beberapa bilah bambu atau pelupuh bambu yang direkat dengan arah serat sejajar (Qisheng, Shenxue, & Yongyu 2002). Hasil perakatan bilah atau pelupuh bambu tersebut berupa papan atau balok bambu yang dapat diatur ukuran tebal, lebar dan panjangnya. Dalam pemanfaatan bambu lamina sebagai komponen mebel dan konstruksi bangunan, diperlukan bambu lamina dengan ketebalan lebih dari 4 cm berupa balok lamina. Dimensi lamina dengan ketebalan lebih dari 4 cm diperlukan untuk pembuatan komponen mebel yang memerlukan pembubutan seperti kaki untuk meja, kursi, lemari atau tempat tidur yang berbentuk bundar, serta komponen bangunan antara lain kusen, rangka daun pintu, dan tiang utama yang memerlukan dimensi bahan yang cukup tebal seperti balok kayu. Tujuan penelitian adalah mengetahui karakteristik balok bambu lamina susun tegak kombinasi dari bilah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steud.) Widjaja) dan kayu cepat tumbuh jenis sengon (*Falcatoria moluccana* (Miq.) Barneby & J.W. Grimes) dan manii (*Maesopsis eminii* Engl.).

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steud.) Widjaja), kayu sengon (*Falcatoria mollucana* (Miq.) Barneby & J.W. Grimes) dan kayu manii (*Maesopsis eminii* Engl.) yang dikumpulkan dari daerah Jawa Barat. Perekat yang digunakan adalah perekat komersial isosianat yang termasuk *Water Based Polymeric Isocyanate* (WBPI) untuk kempa dingin. Bahan lain adalah bahan pengawet berupa larutan boron (boraks dan asam borat).

B. Metode Penelitian

1. Penyiapan bilah bambu

Batang bambu yang lurus dan tidak bercacat dipotong-potong menjadi beberapa bagian dengan panjang 1,25 m. Bambu kemudian dibelah dengan bagian ujung (bagian yang diameternya lebih kecil) sebagai acuan lintasan pembelahan dengan menggunakan alat belah bambu. Bilah bambu hasil pembelahan selanjutnya diserut pada bagian atas dan bawah sehingga diperoleh permukaan bilah yang rata. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada bilah bambu akibat serangan bubuk maka dilakukan pengawetan bilah bambu menggunakan larutan boron 7% dengan cara rendaman dingin selama empat jam dengan target retensi 6 kg/m^3 . Cara membuat larutan bahan pengawet dan penetapan retensi bahan pengawet mengikuti Martawijaya dan Barly (2010). Larutan boron 7% dibuat dengan cara melarutkan 700 gram campuran boraks (420 gram) dan asam borat (280 gram) ke dalam air sebanyak 9300 gram atau setara dengan 9,3 liter. Bilah yang sudah diawetkan kemudian dikeringkan dengan sinar matahari hingga kadar airnya mencapai $\pm 12\%$.

2. Pembuatan papan bambu

Pembuatan papan bambu sebagai lapisan penyusun balok bambu lamina dilakukan dengan merekatkan bilah bambu secara tegak. Bilah bambu yang digunakan untuk menyusun papan bambu yang berfungsi sebagai lapisan silang memiliki panjang 16 cm. Tebal papan bambu yang diperoleh dengan merekatkan beberapa bilah bambu secara tegak sama dengan lebar bilah bambu penyusunnya, sehingga ukuran papan bambu yang diperoleh adalah 125 cm x 16 cm x

2 cm. Perekatan beberapa bilah bambu menjadi papan bambu dilakukan dengan menggunakan perekat isosianat dengan berat labur 250 g/m^2 dan waktu kempa selama satu jam dengan tekanan 50 *foot pounds* atau 67,8 Nm. Proses pengempaan dilakukan dengan menggunakan klem dan besarnya tekanan diukur dengan menggunakan torsimeter.

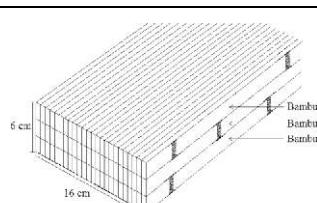
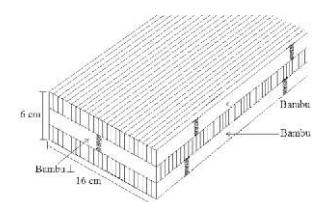
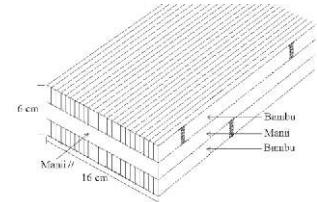
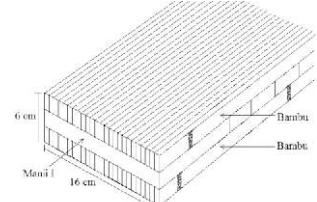
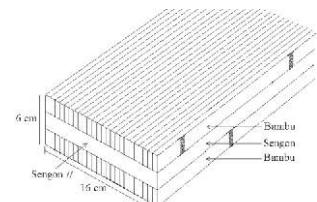
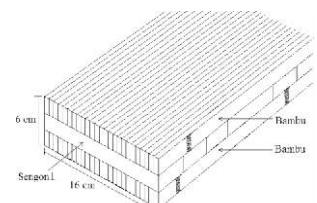
3. Pembuatan papan kayu

Dolok kayu manii dan sengon berumur lebih dari 5 tahun dengan diameter lebih dari 30 cm dan panjang 260 cm dibelah dengan menggunakan gergaji pita untuk mendapatkan papan dengan ketebalan 3 cm. Papan yang dihasilkan kemudian dikeringudarakan hingga kadar airnya mencapai $\pm 15\%$, selanjutnya dibelah dengan lebar ± 16 cm kemudian diserut dan diampelas hingga diperoleh ketebalan yang ditargetkan ± 2 cm. Untuk meningkatkan keawetan kayu manii dan sengon maka selanjutnya papan kayu sengon dan kayu manii masing-masing diawetkan dengan larutan boron 7% dengan cara rendaman dingin dengan target retensi 6 kg/m^3 dan lama perendaman bervariasi antara 24 jam sampai 48 jam tergantung dari waktu pencapaian target retensi. Cara membuat larutan bahan pengawet dan penetapan retensi bahan pengawet mengikuti Martawijaya dan Barly (2010). Penetapan retensi bahan pengawet dilakukan dengan cara mengukur volume kayu yang diawetkan dan menimbang berat contoh uji sebelum dan sesudah diawetkan. Papan yang sudah diawetkan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kadar airnya mencapai $\pm 12\%$. Papan yang sudah kering kemudian dipotong dengan ukuran panjang 125 cm dan 16 cm.

4. Pembuatan balok bambu lamina (BBL)

BBL yang dibuat memiliki target dimensi 125 cm x 16 cm x 6 cm (p x l x t). Kayu manii dan sengon sebagai kombinasi lapisan penyusun BBL digunakan secara tunggal atau tidak ada campuran jenis kayu. BBL dibuat dengan 6 variasi komposisi lapisan (K) yaitu: BBL 3 lapis, semua lapisan berupa papan bambu dan disusun sejajar serat (K1); BBL seperti K1 tetapi lapisan dalam disusun menyilang terhadap lapisan luar (K2); BBL 3 lapis seperti K1 tetapi lapisan dalam dari kayu manii (K3); BBL 3 lapis seperti K3 tetapi lapisan dalam disusun menyilang terhadap lapisan luar (K4); BBL 3 lapis seperti K1 tetapi lapisan dalam dari

Tabel 1. Komposisi lapisan balok bambu lamina
Table 1. Layer compositions of laminated bamboo beams

Kode (Code)	Komposisi lapisan (Layers composition)	Skema (Scheme)
K1	Semua lapisan papan bambu dan direkat sejajar serat <i>(All layers are consisted of bamboo boards and glued in parallel grain direction)</i>	
K2	Semua lapisan papan bambu, akan tetapi lapisan tengah direkat tegak lurus terhadap lapisan luar <i>(All layers are bamboo boards but the core layer is glued perpendicular to the outer layers)</i>	
K3	Semua lapisan direkat sejajar serat, lapisan luar papan bambu dan lapisan tengah kayu manii <i>(All layers are glued in parallel grain direction, the outer layers are bamboo boards and the core layer is manii board or plank)</i>	
K4	Lapisan luar adalah papan bambu direkat sejajar serat, sedangkan lapisan tengah kayu manii direkat tegak lurus terhadap lapisan luar <i>(Outer layers are bamboo boards while the core layer is made of manii boards or planks glued perpendicular to the outer layers)</i>	
K5	Semua lapisan direkat sejajar serat, lapisan luar papan bambu dan lapisan tengah kayu sengon <i>(All layers glued in parallel grain direction, the outer layers are bamboo boards and the core layer is made of sengon board or plank)</i>	
K6	Lapisan luar adalah papan bambu direkat sejajar serat, sedangkan lapisan tengah kayu sengon direkat tegak lurus terhadap lapisan luar <i>(Outer layers are bamboo boards while the core layer is made of sengon boards or planks glued perpendicular to the outer layers)</i>	

kayu sengon (K5); BBL 3 lapis seperti K5 tetapi lapisan dalam disusun menyilang terhadap lapisan luar (K6). BBL dibuat dengan menggunakan perekat isosianat dengan berat labur 250 g/m² dan dikempa dingin selama satu jam dengan tekanan 50 foot pounds atau 67,8 Nm. BBL yang sudah jadi kemudian dikondisikan dalam ruangan

dengan suhu dan kelembaban sama dengan kondisi lingkungan sekitarnya selama minimum 1 minggu sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanisnya. Komposisi lapisan penyusun BBL disajikan pada Tabel 1. Untuk masing-masing perlakuan dibuat BBL sebanyak 3 buah.

5. Pengujian sifat fisis dan mekanis

Pengujian sifat fisis BBL meliputi kadar air, kerapatan, pengembangan tebal dan pengembangan lebar dilakukan menurut Standar Amerika (ASTM D 1037-93, ASTM 1995a) dengan beberapa modifikasi, sedangkan pengujian keteguhan tekan BBL dilakukan menurut Standar Amerika (ASTM D 3501-94, ASTM 1995b). Pengujian delaminasi, keteguhan rekat dengan uji geser blok dan keteguhan lentur dilakukan menurut Standar Jepang untuk kayu lamina (JAS, MAFF, Notification No. 234, JPIC 2003). Pengujian keteguhan rekat BBL dilakukan dalam kondisi kering. Hasil pengujian sifat mekanis BBL dibandingkan dengan klasifikasi kelas kuat kayu Indonesia (Oey, 1990) untuk mengetahui kelas kekuatan BBL yang dihasilkan.

C. Analisis Data

Data hasil pengujian sifat fisis dan mekanis BBL dianalisis secara statistik dengan menggunakan rancangan percobaan acak lengkap (Sudjana, 1980). Sebagai perlakuan adalah komposisi lapisan penyusun BBL (6 macam). Banyaknya ulangan 3 buah papan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis BBL dengan berbagai komposisi lapisan disajikan pada Tabel 2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi lapisan terhadap sifat fisis dan mekanis BBL dilakukan analisa keragaman dan hasilnya disajikan pada Tabel 3, sedangkan hasil uji bedanya tercantum dalam Tabel 4.

Kadar air rata-rata BBL yang dibuat dari bambu andong dengan berbagai komposisi lapisan adalah 11,13% (Tabel 2). Kadar air BBL ini memenuhi persyaratan kadar air untuk produk panel kayu pada umumnya, karena nilainya kurang dari kadar air maksimum yang diperkenankan untuk produk panel kayu di Indonesia yaitu 14%. Tabel 2 juga menunjukkan kerapatan BBL yang dibuat dengan berbagai perlakuan berkisar antara 0,58 g/cm³ hingga 0,75 g/cm³ dengan rata-rata 0,65 g/cm³. Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi lapisan penyusun BBL sangat mempengaruhi kerapatan BBL yang dihasilkan. Kerapatan rata-rata BBL dengan lapisan tengah kayu lebih rendah dibanding dengan kerapatan BBL yang semua lapisannya bambu, tetapi lebih tinggi dibanding dengan

Tabel 2. Nilai rata-rata sifat fisis dan mekanis balok bambu lamina

Table 2. Average values of physical and mechanical properties of laminated bamboo beam

No.	Sifat (<i>Properties</i>)	Komposisi lapisan (<i>Layer compositions</i>)					
		K1	K2	K3	K4	K5	K6
1.	Kadar air (<i>Moisture content, %</i>)	11,1	10,9	11,1	11,2	11,3	11,2
2.	Kerapatan (<i>Density, g/cm³</i>)	0,75	0,75	0,61	0,61	0,58	0,58
3.	Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling, %</i>)	1,98	2,64	1,77	2,13	1,79	2,25
4.	Pengembangan lebar (<i>Width expansion, %</i>)	2,40	1,28	2,48	1,62	2,58	1,56
5.	Keteguhan rekat uji kering (<i>Dry test bonding strength, kg/cm²</i>)	91,9 (80)*	46,4 (100)*	75,2 (100)*	45,4 (100)*	80,5 (90)*	30,2 (90)*
6.	Delaminasi (<i>Delamination, %</i>)	0	0	0	0	0	0
7.	Modulus patah (<i>Modulus of rupture, kg/cm²</i>)	958,3	684,9	805,6	432,5	806,8	429,1
8.	Keteguhan tekan (<i>Compression strength, kg/cm²</i>)	646,8	547,7	483,3	427,6	522,6	437,9

Keterangan (*Remarks*): Keterangan K1-K6 mengacu pada Tabel 1 (*Descriptions for K1-K6 are related to those in Table 1*), * = Angka dalam kurung adalah kerusakan bambu (*Numbers in parentheses represent bamboo failure*)

kerapatan kayu utuh yang digunakan sebagai lapisan tengah BBL. Hal ini terjadi karena dalam produk komposit, kerapatan bahan penyusun, perekat dan proses pengempaan sangat menentukan kerapatan produk akhir komposit yang dihasilkan.

Hasil penelitian Permatasari (2011) menunjukkan bahwa kerapatan rata-rata balok laminasi kayu sengon 6 lapis dengan tebal 12 cm adalah $0,29 \text{ g/cm}^3$, sedangkan kerapatan rata-rata balok laminasi kayu manii 6 lapis dengan tebal 12 cm adalah $0,57 \text{ g/cm}^3$. Sementara itu hasil penelitian Supartini (2012) menunjukkan bahwa balok laminasi kayu manii tebal 5 cm dengan jumlah lapisan 3 sampai 5 memiliki kerapatan rata-rata $0,42 - 0,43 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan uraian tersebut maka dapat diketahui bahwa kerapatan bambu komposit dengan lapisan tengah kayu sengon atau kayu manii dalam penelitian ini memiliki kerapatan yang jauh lebih tinggi dibanding dengan balok laminasi melulu kayu sengon atau melulu kayu manii.

Pengembangan tebal BBL dengan berbagai komposisi lapisan berkisar antara 1,77 - 2,64%. Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi lapisan sangat berpengaruh nyata terhadap pengembangan tebal BBL. BBL yang lapisan tengahnya disusun tegak lurus terhadap lapisan luar memiliki nilai pengembangan tebal yang lebih tinggi dibanding dengan yang lapisan tengahnya disusun sejajar dengan lapisan luar. Pengembangan tebal rata-rata BBL dari bambu andong adalah 2,09%.

Sementara itu hasil penelitian sebelumnya (Sulastiningsih et al., 2005) menunjukkan bahwa papan bambu lamina 3 lapis yang dibuat dari bilah bambu andong dengan perekat tanin resorsinol formaldehida dan perekatan bilah bambu dilakukan secara mendatar memiliki nilai pengembangan tebal rata-rata 1,03%. Hasil penelitian Supartini (2012) yang mempelajari karakteristik balok kayu laminasi bersilang (*Cross Laminated Timber* atau CLT) dari kayu cepat tumbuh menunjukkan bahwa pengembangan tebal balok CLT dari kayu manii yang dibuat menggunakan perekat isosianat, masing masing untuk balok CLT 3 lapis, 5 lapis, dan 7 lapis berturut-turut adalah 3,74%, 4,68%, dan 4,97%.

Pengembangan tebal produk bambu komposit lainnya seperti *Parallel Strand Lumber* (PSL) 7 lapis yang dibuat dari bambu *Dendrocalamus strictus* dengan perekat fenol formaldehida adalah 2,85% (Ahmad & Kamke, 2011). Produk bambu komposit berupa papan untai dari bambu moso (*Phyllostachys pubescens*) memiliki nilai pengembangan tebal sebesar 10% setelah contoh uji direndam dalam air dingin selama 24 jam (Sumardi, Suzuki, & Ono, 2006). Pengembangan tebal bambu komposit 4 lapis yang dibuat dari pelupuh (*zephyr*) bambu moso dan direkat dengan perekat berbahan dasar resorsinol bervariasi antara 11,90% – 12,40% (Nugroho & Ando, 2001). Berdasarkan informasi di atas maka BBL dari bambu andong hasil penelitian ini baik yang semua lapisannya dari bambu maupun yang lapisan tengahnya kayu dan direkat dengan

Tabel 3. Nilai F hitung pengaruh komposisi lapisan terhadap sifat balok bambu lamina
Table 3. Calculated F values of the effect of layer compositions on laminated bamboo beam properties

No.	Sifat (Properties)	F hitung (F _{calculated})	F Tabel (F _{Table})	
			$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
1.	Kadar air (<i>Moisture content, %</i>)	0,30 ^{tn}	3,11	5,06
2.	Kerapatan (<i>Density, g/cm³</i>)	104,95**	3,11	5,06
3.	Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling, %</i>)	6,95*	3,11	5,06
4.	Pengembangan lebar (<i>Width expansion, %</i>)	14,53**	3,11	5,06
5.	Modulus patah (<i>Modulus of rupture, kg/cm²</i>)	88,97*	3,11	5,06
6.	Keteguhan tekan (<i>Compression strength, kg/cm²</i>)	18,24**	3,11	5,06
7.	Keteguhan rekat uji kering (<i>Dry test bonding strength, kg/cm²</i>)	29,1**	3,11	5,06

Keterangan (Remarks): * = nyata (*Significant*); ** = sangat nyata (*Highly significant*); tn = tidak nyata (*Not significant*)

Tabel 4. Hasil uji beda nyata jujur (BNJ) sifat balok bambu lamina

Table 4. Honestly significant difference (HSD) result on the properties of laminated bamboo beam

Sifat (Properties)	Nilai rata-rata yang dibandingkan (Comparison of mean values)					
	K5	K6	K3	K4	K2	K1
Kerapatan (Density, g/cm ³)	0,58	0,58	0,61	0,61	0,75	0,75
Pengembangan tebal (Thickness swelling, %)	K3 1,77	K5 1,79	K1 1,98	K4 2,13	K6 2,25	K2 2,60
Pengembangan lebar (Width expansion, %)	K2 1,28	K6 1,56	K4 1,62	K1 2,40	K3 2,48	K5 2,58
Keteguhan rekat uji kering (Dry test bonding strength, kg/cm ²)	K6 30,2	K4 45,4	K2 46,4	K3 75,2	K5 80,5	K1 91,9
Modulus patah (Modulus of rupture, MOR, kg/cm ²)	K6 429,1	K4 432,5	K2 684,9	K3 805,6	K5 806,8	K1 958,3
Keteguhan tekan (Compression strength, kg/cm ²)	K4 427,6	K6 437,9	K2 547,7	K3 483,3	K5 522,6	K1 646,8

Keterangan (Remark): _____ = Tidak berbeda nyata (Not significant difference)

perekat isosianat mempunyai sifat kestabilan dimensi yang cukup baik karena nilainya sekitar 2%, sementara itu persyaratan pengembangan tebal maksimum untuk produk komposit lainnya seperti papan partikel dan papan serat adalah 12%.

Nilai pengembangan lebar BBL dengan perekat isosianat berkisar antara 1,28 - 2,58% dengan rata-rata 2,0%. Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi lapisan sangat berpengaruh nyata terhadap pengembangan lebar BBL yang dihasilkan. Nilai pengembangan lebar BBL yang lapisan tengahnya disusun tegak lurus terhadap lapisan luar lebih kecil dibanding dengan yang lapisan tengahnya disusun sejajar dengan lapisan luar. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Sulastiningsih, Ruhendi, Massijaya, Darmawan, & Santoso, 2014).

Hasil uji beda pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengembangan lebar BBL yang lapisan tengahnya disusun tegak lurus terhadap lapisan luar berbeda nyata dengan BBL yang semua lapisannya disusun sejajar. Pengembangan lebar

rata-rata BBL dengan lapisan tengah disusun tegak lurus terhadap lapisan luar adalah 1,49% sedangkan yang lapisan tengahnya disusun sejajar terhadap lapisan luar adalah 2,49%. Secara keseluruhan pengembangan lebar rata-rata BBL dari bambu andong adalah 1,99%. Sementara itu Sulastiningsih dan Santoso (2012) mengemukakan bahwa papan bambu lamina tiga lapis yang dibuat dari bilah bambu andong yang direkat secara mendatar menggunakan perekat urea formaldehida memiliki pengembangan lebar bervariasi antara 2,04 - 2,70% dengan rata-rata 2,38%. Hasil penelitian Irmon (2005) menunjukkan bahwa pengembangan lebar balok kayu sengon dengan laminasi bambu betung adalah 1,8% (2 lapis bambu dengan pasak) dan 3,54% (2 lapis bambu tanpa pasak).

Keteguhan rekat BBL yang dibuat dengan berbagai komposisi lapisan serta direkat dengan perekat isosianat berkisar antara 30,2 kg/cm² sampai 91,9 kg/cm² dengan rata-rata 61,6 kg/cm². Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi lapisan sangat berpengaruh terhadap keteguhan rekat BBL yang

dihadarkan. BBL yang semua lapisannya direkat sejajar serat memiliki keteguhan rekat yang lebih tinggi dibandingkan dengan BBL yang lapisan tengahnya disusun tegak lurus terhadap lapisan luar. Di samping itu BBL dengan lapisan tengah kayu memiliki keteguhan rekat yang lebih rendah dibandingkan BBL yang semua lapisannya bambu. Hal ini dapat dilihat dengan jelas dari hasil uji beda pada Tabel 4. Keteguhan rekat BBL yang semua lapisannya disusun sejajar serat memenuhi persyaratan kualitas perekatan kayu lamina menurut Standar Jepang (JAS. MAFF. *Notification No. 234 Glued Laminated Timber JPIC 2003*) karena nilai keteguhan geser tekan dan persentase kerusakan bambunya berturut-turut tidak kurang dari 55 kg/cm^2 dan 70%.

Kualitas perekatan BBL tidak hanya dilihat dari nilai keteguhan rekat atau keteguhan geser saja tetapi dilihat juga besarnya persentase kerusakan bambu. Keteguhan rekat BBL dengan lapisan tengah tegak lurus terhadap lapisan luar juga cukup baik karena meskipun nilai keteguhan rekatnya kurang dari 55 kg/cm^2 tetapi nilai kerusakan bambunya cukup tinggi yaitu berkisar antara 80% hingga 100%. Di samping itu kualitas perekatan BBL dapat dinilai dari hasil uji delaminasi. Berdasarkan hasil uji delaminasi pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa BBL hasil penelitian ini yang dibuat dengan berbagai komposisi lapisan, semuanya memiliki kualitas perekatan yang baik karena tidak ada bagian yang mengelupas pada seluruh garis rekat contoh uji delaminasi BBL tersebut, yang ditunjukkan oleh nilai delaminasi = 0 cm atau 0%.

Modulus patah (MOR) BBL yang dibuat dengan berbagai perlakuan berkisar antara $429,1 \text{ kg/cm}^2$ hingga $958,3 \text{ kg/cm}^2$ dengan rata-rata $686,2 \text{ kg/cm}^2$. Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa komposisi lapisan penyusun BBL berpengaruh nyata terhadap keteguhan lentur BBL yang dihasilkan. BBL dengan lapisan tengah disusun tegak lurus terhadap lapisan luar memiliki nilai MOR lebih rendah dibanding dengan BBL yang lapisan tengahnya disusun sejajar terhadap lapisan luar. Hal ini dapat dilihat dengan jelas dari hasil uji beda pada Tabel 4.

Jika dibandingkan dengan klasifikasi kelas kuat kayu Indonesia (Oey, 1990), berdasarkan nilai keteguhan lenturnya maka BBL 3 lapis hasil penelitian ini yang semua lapisannya disusun

sejajar serat, baik yang semua lapisannya bambu maupun yang lapisan tengahnya kayu, setara dengan kayu kelas kuat II ($725 - 1100 \text{ kg/cm}^2$), sedangkan BBL yang lapisan tengahnya disusun tegak lurus terhadap lapisan luar setara dengan kayu kelas kuat IV ($360 - 500 \text{ kg/cm}^2$) untuk yang lapisan tengahnya kayu, hingga kelas kuat III ($500 - 725 \text{ kg/cm}^2$) untuk BBL yang semua lapisannya bambu. Keteguhan lentur balok bambu lamina dengan lapisan tengah disusun tegak lurus terhadap lapisan luar lebih rendah dibanding balok bambu lamina dengan semua lapisan disusun sejajar berturut-turut sebesar 29% (semua lapisan papan bilah bambu andong susun tegak), 46% (lapisan tengah kayu manii), dan 47% (lapisan tengah kayu sengon). Penggunaan kayu manii atau kayu sengon sebagai lapisan tengah balok bambu lamina menurunkan keteguhan lentur balok bambu lamina tersebut sebesar 16% (semua lapisan sejajar) dan 37% (lapisan tengah tegak lurus lapisan luar) dibanding balok bambu lamina dengan semua lapisan papan bilah bambu andong susun tegak.

Hasil pengujian keteguhan lentur rata-rata kayu utuh (*solid wood*) manii, sengon dan bilah bambu andong yang sudah diawetkan dan yang digunakan dalam penelitian ini berturut-turut adalah 445 kg/cm^2 ; $326,4 \text{ kg/cm}^2$; dan $1163,7 \text{ kg/cm}^2$. Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa keteguhan lentur balok bambu lamina 3 lapis dengan semua lapisan bilah bambu andong susun tegak dan semua lapisan direkat sejajar serat nilainya ($958,3 \text{ kg/cm}^2$) lebih rendah 18% dibanding keteguhan lentur bilah bambu andong ($1163,7 \text{ kg/cm}^2$) yang digunakan sebagai elemen penyusun balok bambu lamina. Hal ini terjadi karena kekuatan balok bambu lamina dipengaruhi oleh kualitas hasil perekatan antar bilah bambu. Ketidak sempurnaan hasil perekatan antar bilah bambu dan antar lapisan dapat menurunkan kekuatan balok bambu lamina yang dihasilkan. Sementara itu penggunaan lapisan bambu sebagai lapisan luar balok bambu lamina kombinasi dengan kayu, menaikkan keteguhan lentur kayu utuh yang digunakan sebagai penyusun balok bambu lamina sebesar 81% (sengon) dan 141% (manii).

Hasil penelitian Yoresta (2014) menunjukkan bahwa balok glulam kayu pinus tebal 5 cm dengan jumlah lapisan berbeda memiliki rata-rata MOR berturut-turut sebesar 41,29 MPa atau 420,75

kg/cm² (2 lapis); 47,06 MPa atau 479,54 kg/cm² (3 lapis); 60,25 MPa atau 613,95 kg/cm² (4 lapis); dan 50,96 MPa atau 519,28 kg/cm² (5 lapis). Sementara itu Supartini (2012) mengemukakan bahwa *cross laminated timber* dari kayu manii dengan jumlah lapisan 3 sampai 5 memiliki modulus patah (MOR) berkisar antara 343,31 - 393,59 kg/cm².

Correal dan Lopez (2008) menyatakan bahwa MOR bambu lamina yang dibuat dari bilah bambu *Guadua angustifolia* Kunt. dan direkat dengan perekat polivinil asetat (PVA) adalah 81,9 MPa atau 835 kg/cm² setara dengan kayu kelas kuat II. Sementara itu hasil penelitian Nordin et al. (2005) menunjukkan bahwa bambu lamina 3 lapis yang dibuat dari bilah bambu samantan (*Gigantochloa scorchediana*) umur 4 tahun menggunakan perekat PVAc dengan berat labur perekat 250 g/m² memiliki nilai MOR sebesar 78,56 MPa atau 800,9 kg/cm², setara dengan kayu kelas kuat II. Papan bambu lamina 3 lapis yang dibuat dari bilah bambu andong dan direkat dengan perekat tanin resorsinol formaldehida memiliki nilai MOR sebesar 1241 kg/cm² (Sulastiningsih et al., 2005), sedangkan yang direkat dengan perekat urea formaldehida adalah 1236 kg/cm², setara dengan kayu kelas kuat I (Sulastiningsih & Santoso, 2012).

Keteguhan tekan BBL yang dibuat dengan berbagai komposisi lapisan berkisar antara 427,6 kg/cm² hingga 646,8 kg/cm² dengan rata-rata 496 kg/cm². Hasil analisa keragaman pada Tabel 3 menunjukkan bahwa keteguhan tekan BBL sangat dipengaruhi oleh komposisi lapisan penyusunnya. BBL 3 lapis yang dibuat dari bilah bambu andong dengan perekatan bilah dilakukan secara tegak, dan semua papan penyusunnya (3 lapis) direkat sejajar serat memiliki keteguhan tekan lebih tinggi (546,1 kg/cm²) dibanding BBL 3 lapis dengan lapisan tengahnya disusun tegak lurus atau menyilang terhadap lapisan luar (418,4 kg/cm²). Penggunaan kayu manii atau kayu sengon sebagai lapisan tengah balok bambu lamina menurunkan keteguhan tekan balok bambu lamina tersebut sebesar 22 - 25% jika menggunakan kayu manii sebagai lapisan tengah, dan sebesar 19 - 20% jika menggunakan kayu sengon sebagai lapisan tengah, dibanding balok bambu lamina dengan semua lapisan (3 lapis) papan bilah bambu andong susun tegak.

Hasil penelitian Sulastiningsih dan Nurwati (2009) menunjukkan bahwa keteguhan tekan papan bambu lamina (PBL) 3 lapis dan 5 lapis yang dibuat dari bilah bambu tali (*Gigantochloa apus*), direkat dengan tanin resorsinol formaldehida dan dicampur ekstender 20%, berat labur 170 g/m² serta dikempa dingin selama 4 jam, memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 564,8 kg/cm² (3 lapis) dan 518,8 kg/cm² (5 lapis), sedangkan yang dibuat dari bilah bambu mayan (*Gigantochloa robusta*) memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 572 kg/cm² (3 lapis) dan 503,2 kg/cm² (5 lapis). Papan bambu lamina tersebut setara dengan kayu kelas kuat II.

Irmon (2005) melaporkan bahwa keteguhan tekan sejajar serat balok laminasi kayu sengon dengan jarak pasak 5 cm berturut-turut adalah 185 kg/cm² (tanpa laminasi bambu), dan 234 kg/cm² (dengan laminasi bambu 2 lapis). Berdasarkan informasi tersebut maka dapat diketahui bahwa penggunaan lapisan bambu sebagai lapisan luar balok laminasi kombinasi bambu dan kayu meningkatkan keteguhan tekan balok laminasi dari kayu yang digunakan.

Supartini (2012) mengemukakan bahwa *cross laminated timber* dari kayu manii dengan jumlah lapisan 3, 4 dan 5 memiliki nilai keteguhan tekan sejajar serat sebesar 154,08 - 169,52 kg/cm². Sementara itu hasil penelitian ini menunjukkan bahwa BBL 3 lapis dari bilah bambu andong dengan lapisan tengah kayu manii memiliki nilai keteguhan tekan sejajar serat sebesar 427,6 - 483,3 kg/cm² sedangkan yang menggunakan lapisan tengah kayu sengon memiliki nilai keteguhan tekan sejajar serat sebesar 437,9 - 522,6 kg/cm². Dengan demikian BBL 3 lapis dari bambu andong hasil penelitian ini yang dibuat dengan berbagai komposisi lapisan penyusun, semuanya setara dengan kayu kelas kuat II (dua) karena nilai keteguhan tekannya lebih dari 425 kg/cm². Rittironk dan Elnieiri (2008) mengemukakan bahwa papan bambu lamina (*Laminated bamboo lumber*, LBL) yang dibuat dari susunan bilah bambu secara mendatar atau horizontal memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 87,9 MPa atau 896,1 kg/cm², sedangkan yang bilahnya disusun secara tegak atau vertikal memiliki nilai keteguhan tekan sebesar 84,17 MPa atau 863,5 kg/cm²; kedua macam LBL tersebut setara dengan kayu kelas kuat I (satu) karena nilai keteguhan tekannya lebih dari 650 kg/cm².

IV. KESIMPULAN

Balok bambu lamina (BBL) 3 lapis yang dibuat dari susunan bilah bambu andong secara tegak dan direkat menggunakan perekat isosianat dengan berbagai komposisi lapisan penyusun kombinasi dengan kayu, memiliki nilai rata-rata kadar air 11,1%, kerapatan $0,65 \text{ g/cm}^3$, kualitas perekatan cukup baik dengan nilai rata-rata keteguhan rekat dan persentase kerusakan bambu berturut-turut $61,6 \text{ kg/cm}^2$ dan 90%, serta kestabilan dimensi yang cukup baik dengan nilai pengembangan tebal 2,09% dan pengembangan lebar 1,99%.

Penggunaan lapisan silang pada lapisan dalam BBL menurunkan nilai keteguhan lentur dan keteguhan tekan BBL akan tetapi meningkatkan kestabilan dimensi BBL yang dihasilkan. Berdasarkan nilai keteguhan lentur, secara keseluruhan BBL 3 lapis yang dibuat dari susunan bilah bambu andong secara tegak dan direkat menggunakan perekat isosianat dengan berbagai komposisi lapisan penyusun kombinasi dengan kayu dan semua lapisan penyusunnya direkat sejajar serat, setara dengan kayu kelas kuat II, sedangkan yang lapisan tengahnya direkat tegak lurus terhadap lapisan luar, setara dengan kayu kelas kuat III (lapisan tengah bambu andong) dan kelas kuat IV (lapisan tengah kayu manii atau sengon).

Keteguhan tekan BBL 3 lapis yang dibuat dari susunan bilah bambu andong secara tegak dan direkat menggunakan perekat isosianat dengan berbagai komposisi lapisan penyusun kombinasi dengan kayu, baik yang semua lapisannya direkat sejajar maupun yang lapisan tengahnya direkat tegak lurus terhadap lapisan luar, setara dengan kayu kelas kuat II (dua).

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, M., & Kamke, F.A. (2011). Properties of parallel strand lumber from Calcutta bamboo (*Dendrocalamus strictus*). *Wood Science Technology*, 45, 63-72.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (1995a). *Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials*. (ASTM D 1037-93).

American Society for Testing Materials (ASTM). (1995b). *Standard test methods for wood-based structural panels in compression*. (ASTM D 3501-94).

Correal, J., & Lopez, L. (2008). Mechanical properties of Colombian glued laminated bamboo. Dalam Xiao et al. (Eds.) Modern bamboo structures. *Conference proceedings of the first International Conference on Modern Bamboo Structures* (ICBS-2007) (pp.121-127), Changsa, China.

Irmon. (2005). *Pengaruh jumlah lamina bambu betung terhadap sifat fisik mekanis balok laminasi kayu sengon dengan sambungan pasak*. (Skripsi Sarjana). Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Japan Plywood Inspection Corporation (JPIC). (2003). *Japanese agricultural standard for glued laminated timber*. JAS, MAFF. (Notification No. 234: 2003). Tokyo: Japan Plywood Inspection Corporation.

Martawijaya, A. & Barly. (2010). *Pedoman pengawetan kayu untuk mengatasi jamur dan rayap pada bangunan rumah dan gedung*. Bogor: IPB Press.

Nugroho, N., & Ando, N. (2001). Development of structural composite products made from bamboo II: fundamental properties of laminated bamboo board. *Journal of Wood Science*, 47(3), 237-242.

Nordin K., Wahab R., Jamaludin M.A., Bahari S.A., Zakaria M.N. (2005). Strength properties of glued laminated bamboo (*Gigantochloa scortechinii*) strips for furniture. Dalam J.E. Winandy, R.W. Wellwood & S. Hiziroglu (Eds.). *Using Wood Composites as a Tool for Sustainable Forestry. Proceedings of Scientific Session 90*. XXII IUFRO World Congress "Forests in the Balance". August 8-13. 2005. hlm.83 – 85. Brisbane, Australia.

Oey, D.S. (1990). Berat jenis dari jenis-jenis kayu Indonesia dan pengertian beratnya kayu untuk keperluan praktik. *Pengumuman Nr. 13*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.

Permatasari, R.J. (2011). *Karakteristik balok laminasi dari kayu sengon* (*Paraserianthes falcataria* (L.)

- Nielson), *manii* (*Maesopsis eminii* Engl.) dan *akasia* (*Acacia mangium* Willd.) (Skripsi Sarjana). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Qisheng, Z., Shenxue, J., & Yongyu, T. (2002). Industrial utilization on bamboo. *Technical Report 26*, International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), China.
- Recht, C. & Wetterwald, M.F. (1992). *Bamboos*. Portland Oregon: Timber Press.
- Rittironk, S. & Elnieiri, M. (2008). Investigating laminated bamboo lumber as an alternate to wood lumber in residential construction in the United States. Dalam Xiao et al. (Eds.) *Modern Bamboo Structures. Conference proceedings of the first International Conference on Modern Bamboo Structures* (ICBS-2007) (pp.83-96), Changsa, China.
- Sulastiningsih, I.M., Nurwati, & Santoso, A. (2005). Pengaruh lapisan kayu terhadap sifat bambu lamina. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23 (1), 15-22.
- Sulastiningsih, I.M., & Nurwati (2009). Physical and mechanical properties of laminated bamboo board. *Journal of Tropical Forest Science*, 21(3), 246-251.
- Sulastiningsih, I.M., & Santoso, A. (2012). Pengaruh jenis bambu, waktu kempa dan perlakuan pendahuluan bilah bambu terhadap sifat papan bambu lamina. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(3), 198-206.
- Sulastiningsih, I.M., Ruhendi, S., Massijaya, M.Y., Darmawan, I.W., & Santoso, A. (2014). Pengaruh komposisi arah lapisan terhadap sifat papan bambu komposit. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(3), 221-232.
- Sulastiningsih, I.M., & Santoso, A. (2014). Bambu komposit sebagai material alternatif pensubstitusi kayu pertukangan berkualitas. *Prosiding Eksposisi Hasil Penelitian Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan 2013*. Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan (hal. 57-74). Bogor.
- Sumardi, I., Suzuki, S., & Ono, K. (2006). Some important properties of strandboard manufactured from bamboo. *Forest Products Journal*, 56(6), 59-63.
- Supartini. (2012). *Karakteristik cross laminated timber dari kayu cepat tumbuh dengan jumlah lapisan yang berbeda*. (Master Thesis). Sekolah Pascasarjana: Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Yoresta, F.S. (2014). Studi eksperimental perilaku lentur balok glulam kayu pinus (*Pinus merkusii*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 12(1), 33-38.
- Zehui, J. (2007). *Bamboo and rattan in the world*. China: China Forestry Publishing House.