

KARAKTERISTIK PAPAN SANDWICH DENGAN INTI PAPAN PARTIKEL (*Characteristics of Sandwich Panel with Particleboard Core*)

Ignasia Maria Sulastiningsih, Dian Anggraini Indrawan, & Jamal Balfas

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor 16610
Telp. (0251) 8633378, Faks. (0251) 8633413
E-mail: ignasiasulastin@gmail.com

Diterima 10 Juli 2020, direvisi 23 September 2020, disetujui 18 Oktober 2020

ABSTRACT

Bamboo has been recognized as wood substitute materials by converting them into engineered bamboo products. To increase bamboo utilization efficiency, the waste generated from bamboo processing can be used further as raw materials for particleboard manufacture. Besides to get relatively thick and strong material, the bamboo particleboard can be used as a core layer for sandwich panel. The objective of this research was to determine characteristics of sandwich panel with particleboard as the core layer. There were four types of particleboard used as the core layer of sandwich panel i.e bamboo particleboard with density of 0.45 g/cm^3 (A1) and 0.55 g/cm^3 (A2), and the mixture of bamboo-jabon particleboards with density of 0.45 g/cm^3 (A3) and 0.55 g/cm^3 (A4). There were three types of outer layer of sandwich panel i.e. bamboo strips (B1), jabon plywood (B2), and mahoni plywood (B3). Sandwich panels were produced using urea formaldehyde adhesive. The results showed that bamboo-jabon particleboard used as core layer produced stronger sandwich panels than those using only bamboo particleboards. Bamboo strips as the outer layer produced stronger sandwich panels than those of using mahoni and jabon plywood. All sandwich panels produced in this research conform to both the Indonesian Standard and the Japanese Standard requirements for particleboard with veneer overlay.

Keywords: Particleboard, bamboo strips, jabon plywood, mahoni plywood, veneer

ABSTRAK

Bambu sudah dikenal sebagai bahan substitusi kayu dengan mengolahnya menjadi produk rekayasa bambu. Untuk meningkatkan efisiensi pengolahan bambu maka limbah hasil pengolahan bambu diolah kembali menjadi produk berupa papan partikel. Di samping itu, untuk mendapatkan bahan yang relatif tebal dan ringan tetapi memiliki kekuatan yang tinggi dapat dibuat produk bambu komposit berupa papan *sandwich* bambu. Tulisan ini mempelajari karakteristik papan *sandwich* dengan inti yang terbuat dari papan partikel. Papan partikel yang digunakan sebagai inti papan *sandwich* ada empat macam, yaitu papan partikel bambu berkerapatan $0,45 \text{ g/cm}^3$ (A1) dan $0,55 \text{ g/cm}^3$ (A2), dan papan partikel campuran bambu dan jabon berkerapatan $0,45 \text{ g/cm}^3$ (A3) dan $0,55 \text{ g/cm}^3$ (A4). Terdapat tiga lapisan luar papan *sandwich* yang diuji yaitu bilah bambu (B1), kayu lapis jabon (B2), dan kayu lapis mahoni (B3). Papan *sandwich* dibuat dengan menggunakan perekat urea formaldehida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan papan partikel campuran bambu dan jabon sebagai inti menghasilkan papan *sandwich* dengan kekuatan yang lebih tinggi dibanding penggunaan papan partikel bambu. Penggunaan bilah bambu sebagai lapisan luar papan *sandwich* menghasilkan papan *sandwich* dengan kekuatan yang lebih tinggi dibanding penggunaan kayu lapis mahoni dan kayu lapis jabon. Semua papan *sandwich* tersebut memenuhi persyaratan produk papan partikel berlapis venir menurut Standar Nasional Indonesia dan Standar Jepang.

Kata kunci: Papan partikel, bilah bambu, kayu lapis jabon, kayu lapis mahoni, venir

I. PENDAHULUAN

Bahan untuk produk mebel dan bangunan yang saat ini disukai adalah yang ringan tetapi kuat. Salah satu teknologi yang bisa diterapkan untuk memperoleh produk dimaksud adalah teknologi kayu komposit. Menurut Stark, Cai, dan Carll (2010), istilah komposit merupakan suatu produk hasil penggabungan bersama-sama dari beberapa bahan kayu dengan menggunakan perekat. Kayu komposit mencakup macam produk mulai dari papan serat sampai balok laminasi. Elemen yang digunakan dapat bervariasi dalam ukuran dan bentuknya seperti serat, partikel, selumbar, venir, lamina, atau papan. Teknologi komposit juga merupakan salah satu alternatif dalam penggunaan limbah bahan berlignoselulosa kayu maupun non kayu untuk menghasilkan produk yang memiliki nilai tambah yang tinggi. Seperti yang diungkapkan oleh Berglund dan Rowell (2005), pengembangan produk komposit memberi beberapa keuntungan, antara lain pemanfaatan kayu berdiameter kecil, pemanfaatan limbah dari industri pengolahan kayu, komponen yang seragam, menghasilkan produk komposit yang lebih kuat dibanding kayu aslinya, dan produk komposit dibuat dalam berbagai bentuk.

Papan *sandwich* merupakan salah satu produk komposit yang terdiri dari dua bahan lapisan luar yang kuat dan tipis, dengan inti papan yang memiliki kerapatan rendah. Papan *sandwich* digunakan tidak hanya kelebihanannya dalam hal penghematan berat dan kinerja struktural, tetapi juga sebagai sarana efektif untuk mengurangi biaya (Vitale, Francucci, Xiong, & Stocchi, 2017). Permukaan yang tipis biasanya dibuat dari bahan yang kuat dan padat karena harus menahan hampir semua beban yang diterapkan dalam posisi tegak (*edgewise-loads*) dan momen lentur (*flatwise-bending moments*) pada posisi mendatar (Moody, Hernandez, & Liu, 1999).

Dalam industri produk kayu, keragaman produk panel berbasis kayu meningkat dari hari ke hari, dan bahan komposit (*sandwich*) memiliki peran yang penting. Sifat ringan, lentur dan awet di lokasi penggunaan menjadi keuntungan utama dari produk ini. Menurut Ayrilmiş, Ulay, Bagli, Özkan (2015) papan *sandwich* 40–70%

lebih ringan, tahan terhadap kelembapan, mudah dalam pengangkutan, dapat didaur ulang dan ramah lingkungan, dibandingkan dengan produk panel tradisional berbasis kayu seperti papan serat berkerapatan sedang (*medium density fiberboard*), papan untai berarah (*oriented strand board*), dan kayu lapis. Struktur *sandwich* banyak digunakan diantaranya dalam bidang penerbangan, bagian kendaraan, lambung kapal, dan sistem radar karena memiliki berbagai keuntungan yaitu ringan, memiliki kekakuan yang tinggi, tahan karat, daya tahan yang tinggi, serta isolasi panas dan akustik yang baik dibandingkan struktur konvensional (Fang, Sun, Liu, Wang, Bai, & Hui, 2015; Mohamed, Anandan, Huo, Birman, Volz, & Chandrasekhara, 2015 dalam Meekum & Wangkheeree, 2016; Umer, Waggy, Haq, & Loos, 2012; Vaikhanski & Nutt, 2003).

Papan dan balok ringan dalam industri konstruksi dan mebel berbasis kayu bukanlah topik baru. Pengurangan kerapatan panel menggunakan struktur *sandwich* dengan penggunaan bahan inti yang ringan seperti untuk pintu atau rumah mobil, telah ada lebih dari tiga dekade yang lalu. Saat ini, banyak cara yang ditawarkan untuk mendapatkan struktur kayu yang lebih ringan. Cara pertama adalah penggunaan kayu-kayu ringan seperti balsa, pinus akan tetapi terbatas dalam ketersediaan, sifat kekuatan dan keterekatan. Cara kedua adalah struktur *sandwich* yang dibuat dari lapisan permukaan yang keras seperti venir, kayu lapis tipis, papan partikel atau papan serat tipis berkerapatan tinggi, serta bahan inti yang terbuat dari kertas *honeycomb*, jenis kayu yang sangat ringan atau busa. Cara ketiga adalah dengan mengurangi bahan inti secara drastis menggunakan kerangka pre-desain dengan bentuk dan hubungan khusus dengan bagian permukaan (Barbu, 2015).

Pada penelitian ini, untuk mendapatkan bahan yang relatif tebal dan ringan tetapi memiliki kekuatan yang tinggi, dibuat produk bambu komposit berupa papan *sandwich* dengan lapisan luar masing-masing berupa bilah bambu dan kayu lapis dari jenis kayu yang berasal dari hutan rakyat dengan inti papan partikel berkerapatan rendah. Penggunaan bilah bambu sebagai bahan lapisan luar papan *sandwich* disebabkan adanya

kesenjangan antara pasokan dan permintaan terhadap kayu pertukangan berkualitas di Indonesia masih terus terjadi hingga saat ini.

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai substitusi kayu adalah bambu. Papan partikel sebagai inti papan *sandwich* juga dibuat dari partikel bambu, yaitu dengan memanfaatkan limbah yang dihasilkan dari pembuatan bambu lamina. Pengolahan bambu menjadi produk bambu lamina masih menyisakan limbah berupa tatal hasil serutan bilah bambu dan beberapa bagian batang bambu yang tidak dimanfaatkan karena produk tersebut hanya memanfaatkan bambu yang berdiameter besar, dindingnya tebal dan batangnya lurus. Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi pengolahan bambu maka limbah yang dihasilkan diolah lebih lanjut menjadi produk panel berupa papan partikel berbasis bambu. Menurut Maloney (1993), papan partikel adalah panel yang dibuat dari bahan berlignoselulosa (terutama kayu) dalam bentuk potongan atau partikel kayu dikombinasikan dengan resin sintetis atau pengikat lain yang sesuai dan terikat bersama di bawah panas dan tekanan. Bahan lainnya (*additives*) bisa ditambahkan selama proses pembuatan untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu, seperti tahan api, lebih awet, dan lebih tahan air.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steud.) Widjaja), kayu mahoni (*Swietenia macrophylla* King.), dan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.) yang dikumpulkan dari daerah Jawa Barat. Bahan kimia yang digunakan antara lain perekat urea formaldehida (UF) cair, boraks, asam borat, parafin, dan lain-lain.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan pembuat partikel (mesin serut), mesin kupas, blender, cetakan, mesin kempa panas, mesin kempa dingin, klem kayu, mesin uji universal, oven, timbangan, kaliper, desikator, peralatan gelas lainnya, dan peralatan keselamatan kerja.

B. Metode Penelitian

1. Penyiapan Partikel Bambu

Partikel bambu yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah yang dihasilkan dari proses penyerutan bilah bambu. Partikel bambu (tatal) hasil serutan bilah bambu diayak untuk mendapatkan partikel dengan ukuran yang relatif sama. Partikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang lolos ayakan ukuran 5 mm x 5 mm dan tertahan pada ayakan ukuran 2 mm x 2 mm. Partikel yang dihasilkan selanjutnya dikeringkan dalam oven hingga kadar airnya mencapai $\pm 5\%$.

2. Penyiapan Partikel Kayu

Partikel kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah partikel kayu jabon berupa tatal yang dihasilkan dari proses penyerutan papan atau balok kayu jabon. Tatal kayu jabon hasil serutan papan atau balok diayak untuk mendapatkan partikel dengan ukuran yang relatif sama. Partikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah yang lolos ayakan ukuran 5 mm x 5 mm dan tertahan pada ayakan ukuran 2 mm x 2 mm. Partikel yang dihasilkan selanjutnya dikeringkan dalam oven hingga kadar airnya mencapai $\pm 5\%$.

3. Pembuatan Papan Partikel

Papan partikel yang dibuat adalah papan partikel homogen dengan ukuran 35 cm x 35 cm x 1,2 cm dengan target kerapatan 0,45 g/cm³ dan 0,55 g/cm³. Komposisi partikel yang digunakan dua macam, yaitu 100% partikel bambu dan campuran antara partikel bambu 50% dengan partikel kayu jabon 50%, sehingga diperoleh empat macam papan partikel. Papan partikel dibuat dengan menggunakan perekat urea formaldehida cair (kadar padat 48%) dengan kadar perekat 10% dari berat kering partikel. Emulsi parafin sebanyak 0,5% dari berat kering partikel ditambahkan ke dalam perekat urea formaldehida. Bahan papan partikel dikempa panas pada suhu 130°C dengan tekanan spesifik 25 kg/cm² selama 10 menit. Untuk setiap macam papan partikel dibuat tiga buah papan sebagai ulangan. Papan partikel yang dihasilkan selanjutnya dikondisikan pada suhu ruangan sebelum dibuat papan *sandwich*.

4. Pembuatan Kayu Lapis

Kayu lapis yang digunakan sebagai lapisan luar papan *sandwich* dibuat dari venir kayu jabon dan mahoni. Kayu lapis (tripleks) berukuran 35 cm x 35 cm x 0,35 cm dari masing-masing jenis kayu dibuat dari tiga lembar venir dengan tebal venir luar (muka dan belakang) 1 mm dan venir inti 1,5 mm menggunakan perekat urea formaldehida cair dengan berat labur perekat 170 g/m² permukaan, tekanan spesifik 10 kg/cm², suhu 110°C dan lama pengempaan 3 menit. Kayu lapis yang dihasilkan selanjutnya dikondisikan pada suhu ruangan sebelum dibuat papan *sandwich*.

5. Penyiapan Bilah Bambu

Bambu andong yang digunakan untuk penelitian dipotong bagian pangkalnya untuk menghilangkan bagian batang bambu dengan ruas yang tidak beraturan. Batang bambu tersebut selanjutnya dipotong-potong menjadi beberapa bagian dengan panjang $\pm 1,2$ m, 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 untuk menghilangkan bagian kulitnya dan mendapatkan permukaan bilah yang rata. Bilah bambu yang telah diserut kedua permukaannya kemudian diawetkan dengan larutan boron 7% dengan cara rendaman dingin selama 4 jam kemudian dikeringkan dengan sinar matahari hingga kadar airnya mencapai $\pm 12\%$. Bilah bambu dengan ketebalan 5 mm dipotong sepanjang 35 cm sebelum direkat ke arah lebar sebagai lapisan luar papan *sandwich*.

6. Pembuatan Papan *Sandwich*

Papan *sandwich* dibuat dengan inti papan partikel. Bahan inti papan *sandwich* terdiri atas empat macam papan partikel, yaitu papan partikel bambu dengan dua macam kerapatan dan papan partikel bambu dan jabon dengan dua macam kerapatan, sedangkan lapisan luar terdiri atas tiga macam bahan, yaitu bilah bambu, kayu lapis jabon, dan kayu lapis mahoni. Papan *sandwich* dibuat menggunakan perekat urea formaldehida dengan berat labur perekat 170 g/m² permukaan,

dikempa panas pada suhu 110°C dengan tekanan spesifik 10 kg/cm² dalam waktu 5 menit. Untuk masing-masing perlakuan dibuat tiga buah papan *sandwich*. Papan yang dihasilkan selanjutnya dikondisikan dalam ruangan dengan suhu dan kelembapan sama dengan kondisi lingkungan sekitarnya selama minimum tujuh hari sebelum dilakukan pembuatan contoh uji untuk menguji sifat fisis dan mekanisnya.

7. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis

Pengujian sifat fisis dan mekanis papan *sandwich* meliputi kadar air, kerapatan, penyerapan air, pengembangan tebal, keteguhan rekat internal, keteguhan lentur, dan keteguhan tekan dilakukan menurut Standar Amerika (ASTM, 1995) dengan beberapa modifikasi. Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis papan *sandwich* dibandingkan dengan standar papan partikel berlapis venir (SNI, 2006; JIS, 2003) untuk mengetahui kualitasnya.

C. Analisis Data

Data hasil pengujian sifat fisis dan mekanis papan *sandwich* dengan inti papan partikel dianalisis secara statistik dengan menggunakan rancangan percobaan faktorial 4 x 3. Faktor pertama adalah macam bahan inti terdiri atas empat taraf, yaitu papan partikel bambu berkerapatan 0,45 g/cm³ (A₁), papan partikel bambu berkerapatan 0,55 g/cm³ (A₂), papan partikel bambu dan jabon berkerapatan 0,45 g/cm³ (A₃), papan partikel bambu dan jabon berkerapatan 0,55 g/cm³ (A₄). Faktor kedua adalah macam lapisan luar terdiri atas tiga taraf yaitu bilah bambu (B₁), kayu lapis jabon (B₂), dan kayu lapis mahoni (B₃). Banyaknya ulangan tiga buah papan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisis

Nilai rata-rata hasil pengujian sifat fisis papan *sandwich* dengan inti papan partikel tercantum dalam Tabel 1, sedangkan ringkasan hasil analisis keragamannya tercantum dalam Tabel 2. Kadar air dan kerapatan rata-rata papan *sandwich* dengan inti papan partikel (PSPP) yang dibuat dengan berbagai perlakuan adalah 10,9% dan 0,57 g/cm³.

Secara keseluruhan, kadar air dan kerapatan PSPP ini telah memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006 untuk papan partikel berlapis veneir (SNI, 2006), dan memenuhi persyaratan JIS A 5908:2003 (JIS, 2003), karena nilai kadar airnya tidak lebih dari 13%, dan nilai kerapatannya berada dalam kisaran 0,40–0,90 g/cm³.

Hasil analisis keragaman pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar air PSPP tidak dipengaruhi oleh faktor macam inti serta macam lapisan luar papan *sandwich*, sedangkan kerapatan PSPP sangat dipengaruhi oleh kedua faktor tersebut. Produk PSPP yang memiliki kerapatan terendah (0,47 g/cm³) adalah A3B2 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon dengan kerapatan 0,45 g/cm³ dan lapisan luar kayu lapis jabon, sedangkan yang memiliki kerapatan tertinggi adalah A4B1 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon dengan kerapatan 0,55 g/cm³ dan lapisan luar bilah bambu (0,67 g/cm³).

Secara keseluruhan PSPP dengan lapisan luar bilah bambu memiliki kerapatan rata-rata yang lebih tinggi (0,63 g/cm³) dibanding PSPP dengan lapisan luar kayu lapis mahoni (0,57 g/cm³), dan

PSPP dengan lapisan luar kayu lapis jabon (0,51 g/cm³). Hal ini dikarenakan kerapatan produk komposit sangat ditentukan oleh kerapatan bahan penyusunnya dimana bilah bambu andong memiliki kerapatan yang lebih tinggi (0,70 g/cm³) dibanding kayu lapis mahoni (0,58 g/cm³) dan kayu lapis jabon (0,40 g/cm³). Berat jenis bambu andong pada bagian ruas berkisar 0,5–0,7 sedangkan berat jenis bagian berbuku berkisar 0,6–0,8 (Dransfield & Widjaja, 1995). Berat jenis kayu mahoni berkisar 0,53–0,67 (Martawijaya, Kartasujana, Kadir, & Prawira, 2005), sedangkan berat jenis kayu jabon berkisar 0,29–0,56 (Martawijaya, Kartasujana, Mandang, Prawira, & Kadir, 2014).

Penyerapan air PSPP hasil penelitian ini berkisar antara 33,95% sampai 71,11% dengan rata-rata 51,23%. Nilai penyerapan air ini lebih rendah dibanding nilai penyerapan air papan *sandwich* yang dibuat dari inti batang kayu sawit dan direkat menggunakan MUF dengan lapisan luar veneir kayu karet yaitu berkisar 71% sampai 82% (Srivaro, Chaowana, Matan & Kyokong, 2014), dan penyerapan air papan *sandwich* dengan inti batang kayu sawit dengan lapisan luar tiga macam bilah bambu betung berkisar 68% sampai 114% (Srivaro, 2016).

Tabel 1. Sifat fisis papan sandwich
Table 1. Physical properties of sandwich panel

Sifat (Properties)	Lapisan luar (Outer layers)	Macam papan partikel (Type of particleboards)			
		A1	A2	A3	A4
Kadar air (Moisture content, %)	B1	10,89 (0,27)	10,89 (0,30)	10,88 (0,16)	10,91 (0,10)
	B2	10,81 (0,64)	10,96 (0,20)	11,31 (0,06)	11,09 (0,14)
	B3	11,10 (0,26)	10,44 (0,43)	11,20 (0,15)	10,54 (0,23)
Kerapatan (Density, g/cm ³)	B1	0,615 (0,030)	0,649 (0,011)	0,601 (0,006)	0,670 (0,003)
	B2	0,486 (0,025)	0,546 (0,014)	0,467 (0,033)	0,541 (0,007)
	B3	0,554 (0,008)	0,606 (0,003)	0,548 (0,013)	0,594 (0,035)
Penyerapan air (Water absorption, %)	B1	39,15 (4,40)	41,06 (2,14)	62,87 (3,46)	49,90 (1,85)
	B2	54,66 (2,95)	33,95 (2,86)	71,11 (2,34)	65,84 (1,71)
	B3	43,02 (4,61)	36,26 (5,07)	63,02 (6,33)	53,97 (4,09)
Pengembangan tebal (Thickness swelling, %)	B1	5,13 (0,07)	3,80 (0,48)	5,83 (0,23)	4,93 (0,29)
	B2	3,75 (0,24)	3,55 (0,13)	4,64 (0,31)	4,20 (0,25)
	B3	4,42 (0,33)	4,32 (0,45)	4,22 (0,18)	4,86 (0,58)

Keterangan (Remarks): Angka dalam kurung adalah standar deviasi (Numbers in parentheses represent one standard deviation); A = A1= Kerapatan papan partikel bambu (Density of bamboo particleboard) 0,45 g/cm³; A2 = Kerapatan papan partikel bambu (Density of bamboo particleboard) 0,55 g/cm³; A3 = Kerapatan papan partikel bambu dan jabon (Density of bamboo jabon particleboard) 0,45 g/cm³; A4 = Kerapatan papan partikel bambu dan jabon (Density of bamboo jabon particleboard) 0,55 g/cm³; B1= Bilah bambu (Bamboo strips); B2= Kayu lapis jabon (Jabon plywood); B3= Kayu lapis mahoni (Mahogany plywood)

Tabel 2. Nilai F hitung pengaruh perlakuan terhadap sifat fisis papan *sandwich*
Table 2. Calculated F values of treatment effects on the physical properties of sandwich panel

Sifat (<i>Properties</i>)	F _{hitung} (F _{calculated})		
	Sumber keragaman (<i>Source of variation</i>)		
	A	B	AB
Kadar air (<i>Moisture content</i> , %)	2,62 ^{tn}	1,83 ^{tn}	2,14 ^{tn}
Kerapatan (<i>Density</i> , g/cm ³)	26,00 ^{**}	123,64 ^{**}	0,71 ^{tn}
Penyerapan air (<i>Water absorption</i> , %)	100,17 ^{**}	17,19 ^{**}	6,32 ^{**}
Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling</i> , %)	15,70 ^{**}	22,22 ^{**}	6,53 ^{**}

Keterangan (*Remarks*): A = Macam papan partikel (*Type of particleboards*); B = Macam lapisan (*Type of outer layers*); tn = Tidak berpengaruh nyata (*Not significant*); ** = Sangat nyata (*Highly significant*)

Hasil analisis keragaman pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pengaruh macam bahan inti (A) dan lapisan luar (B) terhadap sifat penyerapan air papan *sandwich* tidak berdiri sendiri melainkan saling berinteraksi. Dengan demikian kedua faktor tersebut harus diperhatikan dalam menilai kualitas PSPP yang dihasilkan. Penyerapan air tidak dipersyaratkan dalam Standar Nasional Indonesia dan Standar Jepang untuk papan partikel berlapis venir. Papan sandwich yang dibuat dari kayu dan bambu merupakan bahan berlignoselulosa yang memiliki sifat higroskopis yaitu mudah menyerap dan mengeluarkan air dengan adanya perubahan suhu dan kelembapan lingkungan sehingga mengakibatkan terjadinya pengembangan dan penyusutan dimensi dari produk tersebut. Oleh karena itu, sifat pengembangan tebal papan sandwich sangat penting untuk diketahui karena berpengaruh terhadap kestabilan dimensinya pada saat digunakan.

Hasil pengujian pengembangan tebal papan *sandwich* dengan berbagai perlakuan tercantum dalam Tabel 1. Nilai rata-rata pengembangan tebal papan *sandwich* hasil penelitian ini (4,47%) lebih tinggi dibanding nilai pengembangan tebal rata-rata (3,07%) papan *sandwich* yang dibuat menggunakan perekat MUF dengan berat labur perekat 150 g/m², 250 g/m² dan 350 g/m² dengan inti batang kayu sawit dengan lapisan luar venir kayu karet (Srivaro et al. 2014), dan nilai pengembangan tebal (3,37%) untuk papan *sandwich* dengan inti batang kayu sawit dengan lapisan luar bilah bambu (*bamboo slats*) yang dibuat menggunakan perekat MUF dengan berat labur perekat 250 g/m² (Srivaro, 2016).

Hasil analisis keragaman pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pengaruh macam inti dan lapisan luar PSPP terhadap sifat pengembangan tebal PSPP tidak berdiri sendiri melainkan saling berinteraksi. Hal serupa terjadi pada sifat penyerapan air. Seperti telah diuraikan di atas bahwa perubahan dimensi papan *sandwich* terjadi akibat adanya perubahan suhu dan kelembapan lingkungan. Papan *sandwich* yang direndam dalam air dingin selama 24 jam akan menyerap air dan terjadi perubahan dimensi dalam hal ini yang diuji adalah sifat pengembangan tebal. Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat dianalisis hubungan antara nilai penyerapan air dengan nilai pengembangan tebal papan *sandwich*. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan antara penyerapan air dan pengembangan tebal papan *sandwich* sangat kecil meskipun ada kecenderungan terjadi peningkatan nilai pengembangan tebal dengan meningkatnya nilai penyerapan air. Hal ini ditunjukkan oleh nilai koefisien regresi dan F hitung regresi yang sangat kecil dan tidak nyata yaitu berturut-turut R² = 0,095, R = 0,308 dan F hitung = 1,04. Adapun persamaan regresi hubungan antara nilai pengembangan tebal dengan nilai penyerapan air adalah $Y = 3,657 + 0,01589 X$.

Produk PSPP yang memiliki nilai pengembangan tebal terendah (3,55%) adalah A2B2, yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu dengan kerapatan 0,55 g/cm³ dengan lapisan luar kayu lapis jabon, sedangkan yang memiliki pengembangan tebal tertinggi (5,83%) adalah A3B1, yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu dan jabon berkerapatan 0,45 g/cm³ dengan lapisan luar bilah bambu.

Tabel 3. Sifat mekanis papan *sandwich*
Table 3. Mechanical properties of sandwich panel

Sifat (Properties)	Lapisan luar (Outer layers)	Macam papan partikel (Particleboard types)			
		A1	A2	A3	A4
Modulus patah (MOR, kg/cm ²)	B1	261,8 (16,6)	307,1 (19,1)	379,7 (21,6)	530,0 (11,8)
	B2	225,8 (10,1)	306,5 (4,1)	279,5 (15,9)	365,7 (8,7)
	B3	288,9 (23,6)	355,4 (14,3)	306,4 (10,0)	407,6 (5,3)
Modulus elastisitas (MOE, kg/cm ²)	B1	66.138 (8.618)	85.991 (2.755)	75.416 (4.354)	95.762 (3.981)
	B2	32.140 (2.187)	34.385 (1.645)	33.018 (1.175)	37.052 (5.079)
	B3	34.429 (823)	39.506 (3.993)	35.401 (3.541)	38.996 (3.959)
Keteguhan rekat internal (Internal bond, kg/cm ²)	B1	2,83 (0,5)	3,95 (0,2)	2,59 (0,4)	6,00 (0,3)
	B2	3,53 (0,8)	4,08 (0,5)	2,36 (0,1)	4,31 (0,4)
	B3	2,39 (0,5)	2,80 (0,2)	2,74 (0,4)	4,83 (0,4)
Keteguhan tekan (Compression strength, kg/cm ²)	B1	278,3 (10,8)	342,1 (8,4)	323,6 (5,9)	368,6 (10,4)
	B2	106,9 (4,0)	127,1 (11,9)	111,5 (0,5)	143,7 (4,7)
	B3	133,1 (3,8)	145,8 (6,5)	155,5 (11,2)	163,1 (0,4)

Keterangan (Remarks): Angka dalam kurung adalah standar deviasi (Numbers in parentheses represent one standard deviation);
A = A1= Kerapatan papan partikel bambu (Density of bamboo particleboard) 0,45 g/cm³; A2 = Kerapatan papan partikel bambu (Density of bamboo particleboard) 0,55 g/cm³; A3 = Kerapatan papan partikel bambu dan jabon (Density of bamboo jabon particleboard) 0,45 g/cm³; A4 = Kerapatan papan partikel bambu dan jabon (Density of bamboo jabon particleboard) 0,55 g/cm³; B1= Bilah bambu (Bamboo strips); B2= Kayu lapis jabon (Jabon plywood); B3= Kayu lapis mahoni (Mahogany plywood)

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa PSPP dengan lapisan luar bilah bambu memiliki nilai pengembangan tebal yang lebih tinggi dibanding PSPP dengan lapisan luar kayu lapis jabon dan kayu lapis mahoni. Hal ini dikarenakan konstruksi yang saling bersilangan tegak lurus dari tiga lembar venir utuh pada kayu lapis jabon dan kayu lapis mahoni, sehingga menghasilkan produk kayu lapis yang stabil. Sedangkan konstruksi lapisan luar dari bilah bambu untuk menjadi satu lapisan atau lembaran yang utuh, menjadikan sejumlah bilah bambu harus direkat sejajar ke arah lebar, sehingga ada kemungkinan terdapat celah karena ketidaksempurnaan perekatan antar bilah yang memudahkan air masuk ke dalam papan *sandwich*.

Secara keseluruhan papan *sandwich* dengan inti papan partikel yang dibuat dengan berbagai perlakuan memiliki kestabilan dimensi yang sangat baik karena nilai pengembangan tebalnya berkisar antara 3,55% sampai 5,83% dengan rata-rata 4,47%. Nilai tersebut semuanya memenuhi persyaratan pengembangan tebal papan partikel berlapis venir menurut Standar Nasional Indonesia (SNI, 2006) dan *Japanese Industrial Standard* (JIS, 2003) karena nilainya tidak lebih

dari 12%. Sifat pengembangan tebal PSPP sangat penting untuk diketahui karena dapat digunakan sebagai indikator kestabilan dimensi produk tersebut pada saat digunakan.

B. Sifat Mekanis

Nilai rata-rata hasil pengujian sifat mekanis papan *sandwich* dengan inti papan partikel tercantum dalam Tabel 3 dan ringkasan hasil analisis keragamannya tercantum dalam Tabel 4. Salah satu sifat mekanis papan *sandwich* dengan inti papan partikel (PSPP) yang sangat penting untuk diuji adalah keteguhan lentur dalam hal ini modulus patah (MOR) dan modulus elastisitas (MOE).

Nilai MOR rata-rata PSPP dengan berbagai perlakuan adalah 332,6 kg/cm². Nilai MOR papan *sandwich* dengan inti papan partikel bambu berkerapatan 0,45 g/cm³ (A1) dengan berbagai macam lapisan luar (bilah bambu, kayu lapis jabon, dan kayu lapis mahoni) dan papan *sandwich* dengan lapisan luar kayu lapis jabon dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon berkerapatan 0,45 g/cm³ (A3) tidak memenuhi persyaratan produk papan partikel berlapis venir

Tabel 4. Nilai F hitung pengaruh perlakuan terhadap sifat fisis papan *sandwich*
Table 4. Calculated F values of treatment effects on the mechanical properties of sandwich panel

Sifat (<i>Properties</i>)	F _{hitung} (F _{calculated})		
	Sumber keragaman (<i>Sources of variation</i>)		
	A	B	AB
Modulus patah (MOR, kg/cm ²)	222,82**	79,92**	27,95**
Modulus elastisitas (MOE, kg/cm ²)	18,22**	501,74**	7,04**
Keteguhan rekat internal (<i>Internal bond</i> , kg/cm ²)	58,57**	7,27**	6,29**
Keteguhan tekan (<i>Compression strength</i> , kg/cm ²)	72,83**	2618,23**	12,83**

Keterangan (*Remarks*): A = Macam papan partikel (*Types of particleboard*); B = Macam lapisan luar (*Types of outer layer*); ** = Sangat nyata (*Highly significant*)

menurut SNI 03-2105-2006 (SNI, 2006) dan JIS A 5908:2003 (JIS, 2003), karena nilainya kurang dari 306 kg/cm².

Papan *sandwich* dengan inti papan partikel berkerapatan 0,55 g/cm³ (A2) dan (A4) dengan berbagai macam lapisan luar (bilah bambu, kayu lapis jabon, dan kayu lapis mahoni) dan papan *sandwich* dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon berkerapatan 0,45 g/cm³ (A3) dengan lapisan luar bilah bambu dan kayu lapis mahoni memiliki nilai modulus patah yang memenuhi persyaratan produk papan partikel berlapis venir menurut SNI 03-2105-2006 (SNI, 2006) dan JIS A 5908:2003 (JIS, 2003), karena nilainya tidak kurang dari 306 kg/cm².

Hasil analisis keragaman pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh kedua faktor terhadap MOR PSPP tidak berdiri sendiri melainkan saling berinteraksi. PSPP yang memiliki nilai MOR terendah (225,8 kg/cm²) adalah A1B2 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu dengan kerapatan 0,45 g/cm³ dengan lapisan luar kayu lapis jabon, sedangkan yang memiliki MOR tertinggi (530 kg/cm²) adalah A4B1 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon dengan kerapatan 0,55 g/cm³ dengan lapisan luar bilah bambu.

Produk PSPP dengan lapisan luar bilah bambu memiliki MOR rata-rata yang lebih tinggi (369,7 kg/cm²) dibanding PSPP dengan lapisan luar kayu lapis mahoni (339,6 kg/cm²), dan PSPP dengan lapisan luar kayu lapis jabon (294,4 kg/cm²). Kecenderungan ini sama seperti pada kerapatan PSPP. Di samping itu pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa MOR rata-rata (374,6 kg/cm²) papan *sandwich* dengan inti papan

partikel dari campuran bambu dan jabon lebih tinggi dibanding MOR papan *sandwich* dengan inti papan partikel dari bambu (290,9 kg/cm²). Hal ini dikarenakan nisbah tekanan pada papan partikel campuran bambu dan jabon lebih tinggi dibanding pada papan partikel bambu. Pada papan partikel dengan nisbah tekanan yang lebih tinggi terjadi ikatan antar partikel yang lebih intim dan lebih kuat, sehingga menghasilkan papan partikel yang lebih kuat. Nisbah tekanan adalah perbandingan antara kerapatan papan partikel yang dibuat dengan kerapatan bahan bakunya (Maloney, 1993).

Nilai MOR PSPP hasil penelitian ini berkisar antara 225,8–530 kg/cm² dengan rata-rata 332,6 kg/cm². Nilai MOR ini lebih tinggi dibanding nilai MOR panel *sandwich* dari bambu hasil penelitian Nugroho, Suryana, Febriyani, dan Ikhsan (2009) yang melaporkan nilai MOR panel *sandwich* dari bambu hitam, bambu ampel, dan bambu tali berturut-turut berkisar 19,58–48,63 kg/cm², 30,19–50,05 kg/cm², dan 20,21–37,14 kg/cm². Panel *sandwich* dari bambu tersebut dibuat dengan bahan inti berupa potongan bambu bulat dari tiga jenis bambu yaitu bambu tali (*Gigantochloa apus*), bambu hitam (*Gigantochloa atrovioleacea*), dan bambu ampel (*Bambusa vulgaris*) dengan lapisan luar kayu lapis meranti tebal 8 mm.

Pada penelitian tersebut dipelajari pengaruh jenis bambu dan pola peletakan. Sebagai bahan inti panel, bambu bulat dipotong dengan panjang 4 cm tanpa memperhatikan keberadaan buku. Penempatan ketiga jenis bambu dilakukan dalam 3 pola yaitu; pola bambu bulat utuh, pola bambu belah dan pola campuran utuh dan belah. Perekatan bahan inti panel dengan lapisan luar dilakukan dengan menggunakan perekat epoxy

dengan berat labur 175 g/m². Sementara itu nilai MOR panel *sandwich* yang dibuat dari lapisan inti batang kelapa sawit dan direkat menggunakan melamin urea formaldehida (MUF) dengan lapisan luar venir kayu karet berkisar 48–52 MPa atau 489–530 kg/cm² (Srivaro et al., 2014), sedangkan yang menggunakan lapisan luar tiga macam bilah bambu betung berkisar 33,6–42,8 MPa atau 342–436 kg/cm² (Srivaro, 2016)

Nilai MOE rata-rata papan *sandwich* dengan inti papan partikel hasil penelitian ini adalah 50.686 kg/cm². Papan *sandwich* dengan inti papan partikel yang memenuhi persyaratan MOE untuk produk papan partikel berlapis venir menurut SNI 03-2105-2006 (SNI, 2006) dan JIS A 5908:2003 (JIS, 2003) adalah papan *sandwich* dengan lapisan luar bilah bambu karena nilainya tidak kurang dari 45.900 kg/cm², sedangkan papan *sandwich* dengan lapisan luar kayu lapis jabon dan kayu lapis mahoni memiliki nilai MOE yang memenuhi persyaratan produk papan partikel dekoratif tipe 18 karena nilainya tidak kurang dari 30.600 kg/cm².

Hasil analisis keragaman pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh kedua faktor terhadap MOE PSPP tidak berdiri sendiri melainkan saling berinteraksi. Produk PSPP yang memiliki nilai MOE terendah (32.140 kg/cm²) adalah A1B2 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu dengan kerapatan 0,45 g/cm³ dengan lapisan luar kayu lapis jabon, sedangkan yang memiliki MOE tertinggi (95.762 kg/cm²) adalah A4B1 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon dengan kerapatan 0,55 g/cm³ dengan lapisan luar bilah bambu.

Papan *sandwich* dengan inti papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini memiliki nilai MOE lebih tinggi dibanding papan *sandwich* dari bambu (Nugroho et al., 2009) yang melaporkan nilai MOE panel *sandwich* dengan bahan inti berupa potongan bambu bulat dari bambu hitam, bambu ampel dan bambu tali yang direkatkan dengan lapisan luar berupa kayu lapis meranti 8 mm menggunakan perekat epoxy dengan berat labur perekat 175 g/m² berkisar 12614–20574 kg/cm². Hasil penelitian Srivaro et al. (2014) menunjukkan bahwa nilai MOE panel *sandwich* yang dibuat

dengan lapisan inti batang kelapa sawit dengan lapisan luar venir kayu karet dengan variasi berat labur perekat MUF (150, 250, dan 350 g/m²) dan orientasi serat lapisan inti terhadap lapisan luar (sejajar dan tegak lurus) berkisar antara 6.538 MPa (66.646 kg/cm²)– 8.458 MPa (86.218 kg/cm²). Panel *sandwich* dengan lapisan inti batang kelapa sawit dan lapisan luar tiga macam bilah bambu betung yang dibuat menggunakan perekat MUF dengan berat labur perekat 250 g/m² memiliki nilai MOE berkisar antara 6.415–11.019 MPa atau berkisar 65.392–11.2324 kg/cm² (Srivaro, 2016).

Salah satu sifat yang sangat menentukan kualitas papan *sandwich* dengan inti papan partikel adalah keteguhan rekat internal atau *internal bond*. Keteguhan rekat internal merupakan indikator baik tidaknya ikatan antar partikel dalam produk papan partikel. Semakin tinggi nilai *internal bond* semakin bagus dan kuat ikatan antar partikel yang terjadi dalam produk papan partikel yang dihasilkan. Keteguhan rekat internal rata-rata papan *sandwich* dengan inti papan partikel (PSPP) dengan berbagai perlakuan adalah 3,5 kg/cm².

Hasil analisis keragaman pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh kedua faktor terhadap keteguhan rekat internal PSPP tidak berdiri sendiri melainkan saling berinteraksi. PSPP yang memiliki nilai keteguhan rekat internal (2,39 kg/cm²) terendah adalah A1B3 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu dengan kerapatan 0,45 g/cm³ dengan lapisan luar kayu lapis mahoni, sedangkan yang memiliki nilai keteguhan rekat internal (6 kg/cm²) tertinggi adalah A4B1 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon dengan kerapatan 0,55 g/cm³ dengan lapisan luar bilah bambu. Hal ini dikarenakan nisbah tekanan pada papan partikel bambu (A1) lebih rendah dibanding pada papan partikel bambu dan jabon.(A4). Pada papan partikel dengan nisbah tekanan yang lebih tinggi terjadi ikatan antar partikel yang lebih intim dan lebih kuat sehingga keteguhan rekat internalnya lebih tinggi.

Papan *sandwich* dengan inti papan partikel berkerapatan 0,55 g/cm³ dengan berbagai lapisan luar memiliki nilai keteguhan rekat internal yang memenuhi persyaratan produk papan partikel

berlapis venir menurut SNI 03-2105-2006 (SNI, 2006) dan JIS A 5908:2003 (JIS, 2003), karena nilainya tidak kurang dari $3,1 \text{ kg/cm}^2$, kecuali papan *sandwich* dengan inti papan partikel bambu berkerapatan $0,55 \text{ g/cm}^3$ dengan lapisan luar kayu lapis mahoni. Keteguhan rekat internal papan *sandwich* lainnya memenuhi persyaratan produk papan partikel dekoratif menurut SNI 03-2105-2006 (SNI, 2006) dan JIS A 5908:2003 (JIS, 2003), karena nilainya tidak kurang dari 2 kg/cm^2 .

Keteguhan tekan papan *sandwich* dengan inti papan partikel hasil penelitian ini berkisar antara $106,9 \text{ kg/cm}^2$ hingga $368,6 \text{ kg/cm}^2$ dengan rata-rata 200 kg/cm^2 . Nilai keteguhan tekan ini lebih tinggi dibanding keteguhan tekan rata-rata ($2,1 \text{ MPa}$ atau $21,8 \text{ kg/cm}^2$) empat macam panel *sandwich* yang dibuat dari lapisan inti papan partikel gabus (*cork agglomerates*) dengan empat macam ketebalan (10, 15, 20 dan 40 mm) dengan venir dari *Pinus halepensis* tebal 1,5 mm sebagai lapisan luar dan beberapa lapisan dalam untuk panel *sandwich* dengan banyak lapisan (*multilayered sandwich panel*) tergantung dari tebal papan partikel gabus yang digunakan. Terdapat empat macam komposisi lapisan venir dan inti papan partikel gabus pada panel *sandwich* yang dibuat. Perekat yang digunakan dalam pembuatan panel *sandwich* tersebut adalah urea formaldehida (Lakreb, Bezzazi, & Pereira, 2015). Nilai keteguhan tekan yang rendah dari panel *sandwich* dengan inti papan partikel gabus disebabkan oleh kerapatan *cork agglomerates* yang menjadi inti papan *sandwich* sangat rendah yaitu 280 kg/m^3 atau $0,28 \text{ g/cm}^3$ sehingga kekuatan papan *sandwich* yang dihasilkan juga rendah. Sifat keteguhan tekan tidak dipersyaratkan dalam Standar Nasional Indonesia dan Standar Jepang untuk produk papan partikel berlapis venir maupun papan partikel dekoratif.

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat diketahui ada kecenderungan yang sama pada keteguhan tekan dengan MOR dan MOE. Papan *sandwich* dengan inti papan partikel dengan lapisan luar bilah bambu memiliki keteguhan tekan rata-rata yang lebih tinggi (328 kg/cm^2) dibanding PSPP dengan lapisan luar kayu lapis mahoni (149 kg/cm^2) dan PSPP dengan lapisan luar kayu lapis

jabon (122 kg/cm^2). Di samping itu keteguhan tekan rata-rata (211 kg/cm^2) papan *sandwich* dengan inti papan partikel dari campuran bambu dan jabon lebih tinggi dibanding keteguhan tekan rata-rata (189 kg/cm^2) papan *sandwich* dengan inti papan partikel dari bambu. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan nisbah tekanan papan partikel bambu yang lebih rendah dibanding nisbah tekanan papan partikel campuran bambu dan jabon.

Hasil analisis keragaman pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengaruh kedua faktor terhadap keteguhan tekan PSPP tidak berdiri sendiri melainkan saling berinteraksi. Produk PSPP yang memiliki nilai keteguhan tekan terendah ($106,9 \text{ kg/cm}^2$) adalah A1B2 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu berkerapatan $0,45 \text{ g/cm}^3$ dengan lapisan luar kayu lapis jabon, sedangkan yang memiliki nilai keteguhan tekan tertinggi ($368,6 \text{ kg/cm}^2$) adalah A4B1 yaitu papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel campuran bambu dan jabon berkerapatan $0,55 \text{ g/cm}^3$ dengan lapisan luar bilah bambu.

IV. KESIMPULAN

Sifat fisis dan mekanis papan *sandwich* dengan inti papan partikel (PSPP) sangat dipengaruhi oleh macam papan partikel yang digunakan sebagai bahan inti papan *sandwich* serta macam bahan yang digunakan sebagai lapisan luar. Penggunaan papan partikel campuran bambu dan jabon berkerapatan $0,55 \text{ g/cm}^3$ sebagai inti papan *sandwich* menghasilkan papan *sandwich* dengan kekuatan yang lebih tinggi dibanding penggunaan papan partikel bambu berkerapatan $0,55 \text{ g/cm}^3$ sebagai inti papan *sandwich*. Penggunaan bilah bambu sebagai lapisan luar papan *sandwich* menghasilkan papan *sandwich* dengan kekuatan yang lebih tinggi dibanding penggunaan kayu lapis mahoni dan kayu lapis jabon sebagai lapisan luar papan *sandwich*.

Nilai PSPP terbaik diperoleh dari papan *sandwich* dengan inti papan partikel bambu dan jabon berkerapatan $0,55 \text{ g/cm}^3$ (A4) dengan lapisan luar bilah bambu, diikuti oleh papan *sandwich* dengan inti yang sama (A4) dengan

lapisan luar kayu lapis mahoni, urutan ketiga papan *sandwich* dengan inti papan partikel bambu dan jabon berkerapatan 0,45 g/cm³ (A3) dengan lapisan luar bilah bambu, urutan keempat papan *sandwich* dengan inti papan partikel bambu dan jabon berkerapatan 0,55 g/cm³ (A4) dengan lapisan luar kayu lapis jabon dan urutan kelima papan *sandwich* yang dibuat dengan inti papan partikel bambu berkerapatan 0,55 g/cm³ (A2) dengan lapisan luar kayu lapis mahoni.. Semua papan *sandwich* tersebut memenuhi persyaratan produk papan partikel berlapis venir menurut Standar Nasional Indonesia dan Standar Jepang.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh IMS; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh IMS dan DAI; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh IMS; penulisan manuskrip oleh IMS, DAI, dan JB; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh IMS, DAI, dan JB.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1995). *Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials*. (ASTM D 1037-93). ASTM International, Philadelphia.
- Ayrilmiş, N., Ulay, G., Bagli, E. F., & Özkan, İ. (2015). Ahşap sandviç kompozit levhaların yapısı ve mobilya endüstrisinde kullanımı (*Properties of sandwich wood-based composite panels and their use in furniture industry*). *Journal of Forestry Faculty*, 15(1), 37–48.
- Barbu, M. C. (2015). Evolution of lightweight wood composites. *Pro Ligno*, 11(4), 21–26.
- Berglund, R. & Rowell, R. (2005). *Wood composites in Rowell (Editor): Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Dransfield, S. & Widjaja, E. A. (1995). *Plant resources of South-East Asia No. 7: Bamboos*. Leyden: Backhuys Publisher.
- Japanese Industrial Standard (JIS). (2003). *Particleboards* (JIS A 5908:2003). Japanese Standards Association.
- Lakreb, N., Bezzazi, B., & Pereira, H. (2015). Mechanical behavior of multilayered sandwich panels of wood veneer and a core of cork agglomerates. *Materials and Design*, 65(January), 627–636. doi: 10.1016/j.matdes.2014.09.059
- Maloney, T. M. (1993). *Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing*. San Francisco: Miller Freeman.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Kadir, K., & Prawira, S. A. (2005). *Atlas kayu Indonesia Jilid I*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Mandang, Y. I., Prawira, S. A., & Kadir, K. (2014). *Atlas kayu Indonesia Jilid II*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Bogor.
- Meekum, U. & Wangkheeree, W. (2016). Manufacturing of lightweight sandwich structure engineered wood reinforced with fiber glass: Selection of core materials using hybridized natural/engineered fibers. *BioResources*, 11(3), 7608–7623.
- Moody, R. C., Hernandez, R., & Liu, J. Y. (1999). *Glued structural members in wood handbook—Wood as an engineering material, Chapter 11. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Nugroho, N., Suryana, J., Febriyani, & Ikhsan, H. (2009). Pengembangan produk panel sandwich dari bambu. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 19(2), 71–77.
- Srivaro, S. (2016). Utilization of bamboo as lightweight sandwich panels. *Medziagotyra*, 22(1), 60–64. doi: 10.5755/j01.ms.22.1.8887.
- Srivaro, S., Chaowana, P., Matan, N., & Kyokong, B. (2014). Lightweight sandwich panel from oil palm wood core and rubberwood veneer face. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(1), 50–57.

- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2006). *Papan partikel* (SNI 03-2105-2006). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Stark, N. M., Cai, Z., & Carll, C. (2010). Wood-based composite materials panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials. In *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, Chapter 11*. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Umer, R., Waggy, E. M., Haq, M., & Loos, A. C. (2012). Experimental and numerical characterizations of flexural behavior of VARTM-infused composite sandwich structures. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(2), 67–76. doi: 10.1177/0731684411431357.
- Vitale, J. P., Francucci, G., Xiong, J., & Stocchi, A. (2017). Failure mode maps of natural and synthetic fiber reinforced composite sandwich panels. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 94, 217–225. doi: 10.1016/j.compositesa.2016.12.021.