

SIFAT PAPAN PARTIKEL DARI CAMPURAN KAYU JABON DAN BAMBU ANDONG (*Properties of Particleboard Made from Mixture of Jabon Wood and Andong Bamboo*)

Deazy Rachmi Trisatya* & Ignasia Maria Sulastiningsih

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor, Jawa Barat, Indonesia
Telp.(0251) 8633378; Fax. (0251) 8633413
*E-mail : deazy.trisatya@menlhk.go.id

Diterima 15 Februari 2019, direvisi 4 Juli 2019, disetujui 29 Juli 2019

ABSTRACT

Wastes generated from processing of jabon wood (*Antocephalus cadamba* Miq.) and andong bamboo (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) were used as raw material for particleboard manufacture. The aim of this research was to investigate the effect of particle weight ratio of jabon wood and andong bamboo on physical and mechanical properties of particleboard. Laboratory scale particleboards with the dimension of 35 cm x 35 cm x 1.2 cm were fabricated using liquid phenol formaldehyde adhesive with six different compositions of particle weight ratio of jabon wood and andong bamboo (100:0, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, and 30:70). Results showed that the physical and mechanical properties of these particleboards were significantly affected by particle weight ratio compositions. Thickness swelling of jabon wood particleboard decreased by 11.19–40% resulted from the addition of andong bamboo particles in particleboard manufacture. The addition of 40% andong bamboo particles improved the MOR value of jabon wood particleboard by 11.49%. All particleboards studied meet the Indonesian and Japanese Standard requirements of particleboard except MOE value.

Keywords: Andong bamboo, jabon wood, phenol formaldehyde, particleboard, physical and mechanical properties

ABSTRAK

Limbah pengolahan kayu jabon (*Antocephalus cadamba* Miq.) dan bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan papan partikel. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh perbandingan berat partikel kayu jabon dan bambu andong terhadap sifat fisis dan mekanis papan partikel. Papan partikel skala laboratorium berukuran 35 cm x 35 cm x 1,2 cm dibuat menggunakan perekat phenol formaldehida cair dengan enam macam komposisi campuran partikel kayu jabon dan bambu andong (100:0, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, dan 30:70). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong sangat dipengaruhi oleh komposisi material penyusunnya. Penggunaan partikel bambu andong dalam pembuatan papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dapat menurunkan nilai pengembangan tebal papan partikel kayu jabon sebesar 11,19–40%. Penggunaan 40% partikel bambu andong dalam pembuatan papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dapat meningkatkan nilai MOR sebesar 11,49%. Papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dalam penelitian ini memenuhi Standar Nasional Indonesia dan Standar Jepang untuk papan partikel kecuali untuk nilai MOE.

Kata kunci: Bambu andong, kayu jabon, phenol formaldehida, papan partikel, sifat fisis dan mekanis

I. PENDAHULUAN

Tingginya kebutuhan kayu pertukangan, maraknya perambahan hutan, degradasi lahan, dan deforestasi menyebabkan kelangkaan bahan baku industri perkayuan dari hutan alam (Laemlaksakul, 2010; Chaowana, 2013). Jabon yang merupakan komoditas kehutanan unggulan pada hutan tanaman rakyat menjadi salah satu alternatif untuk digunakan sebagai kayu pertukangan. Selain mempunyai daur hidup yang singkat dan teknik budidaya yang mudah, jabon memiliki nilai non kayu dan ekologis yang tinggi (Mansur & Tuheteru, 2010) serta sifat pengerjaan dan pemesinan yang mudah (Krisnawati, Kallio, & Kanninen, 2011).

Bentuk pemanfaatan jabon beragam, mulai dari pensil, sumpit, sepatu kayu, mainan, peti kemas, *flooring*, kertas sampai kayu lapis (Krisnawati et al., 2011). Setiap proses pemanfaatan kayu selalu menghasilkan limbah kayu dalam jumlah yang cukup besar (Bufalino et al., 2012). Untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan kayu jabon, limbah dari pengolahan kayu jabon dapat dimanfaatkan sebagai material penyusun produk komposit. Limbah kayu jabon dapat dimanfaatkan sebagai material penyusun papan partikel tanpa mempersyaratkan bentuk, ukuran dan umur pohon (Widiyanto, 2011).

Bahan alternatif lain yang dapat digunakan sebagai substitusi kayu pertukangan adalah bambu dengan cara mengolah bambu bulat menjadi produk bambu lamina. Konversi bambu menjadi papan dan balok bambu telah dilakukan dengan membuat produk pengolahan bambu berupa bambu lamina dimana elemen penyusunnya berupa bilah bambu. Pengolahan bambu menjadi produk bambu lamina hanya memanfaatkan bambu berdiameter besar, berdinding tebal dan berbatang lurus. Dalam proses pembuatan bilah bambu dihasilkan limbah berupa bilah dengan ukuran yang tidak teratur sehingga tidak bisa digunakan untuk pembuatan bambu lamina (Sulastiningsih, Indrawan, Balfas, Santoso, & Iskandar, 2017). Di samping itu, dari proses penyerutan bilah bambu dihasilkan limbah berupa partikel bambu dengan volume yang cukup besar. Pengolahan bambu menjadi bambu lamina

memiliki rendemen sebesar 34,3% (Laemlaksakul & Kaewkuekool, 2006). Pengolahan bambu selain menghasilkan limbah, juga dapat dihitung sebagai kehilangan yang tinggi akan sumberdaya alam ((Zaia, Cortez-Barbosa, Morale, Lahr, Do Nascimento, & De Araujo, 2015). Limbah yang dihasilkan dari pengolahan bambu ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku papan partikel (Laemlaksakul, 2010). Untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan bambu, maka limbah berupa partikel bambu hasil pengolahan bambu untuk bambu lamina tersebut dapat diolah lebih lanjut menjadi produk komposit berupa papan partikel bambu yang lebih fleksibel dalam penggunaannya.

Pengembangan produk komposit memberi beberapa keuntungan, antara lain memanfaatkan kayu berdiameter kecil, memanfaatkan limbah dari industri pengolahan kayu, mendapatkan komponen yang lebih beragam, menghasilkan produk yang lebih kuat dibandingkan dengan kayu aslinya dan produk yang lebih beragam bentuknya (Berglund & Rowell, 2005; Stark, Cai, & Carll, 2010). Produk komposit merupakan produk hasil penggabungan beberapa unsur atau elemen dengan menggunakan perekat. Elemen penyusun produk komposit bervariasi dalam ukuran dan bentuk, meliputi serat, partikel, selumbar, venir, lamina atau papan (Stark et al., 2010). Produk komposit yang menggunakan partikel sebagai elemen penyusunnya disebut papan partikel.

Limbah dari pengolahan kayu jabon dan bambu andong berupa partikel kayu jabon dan bambu andong yang dihasilkan dari proses penyerutan papan kayu jabon dan bilah bambu andong masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan papan partikel. Penelitian pembuatan papan partikel bambu dan papan partikel campuran kayu dan bambu sudah banyak dilakukan (Papadopoulos, Hill, Gkaraveli, Ntalos, & Karastergiou, 2004; Laemlaksakul, 2010; Widiyanto, 2011; Valarelli, Battistelle, Rosane, Bueno, Bezzera, de Campos, & Alves, 2014; Yang, Fei, Wu, Peng, & Yu, 2014; Zaia et al., 2015; Nurhazwani, Jawaid, Paridah, Juliana, & Hamid, 2016; Widyorini, Umemura, Isnain, Putra, Awaludin, & Prayitno, 2016; De Almeida, De

Araujo, Morales, Gava, Munis, & Cortez-barbosa, 2017). Hasil pengujian sifat fisis dan mekanis dari beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut belum memenuhi standar (Laemlaksakul, 2010; Valarelli et al., 2014; Widiyanto, 2011; Yang et al., 2014). Beberapa di antaranya membuat papan partikel campuran bambu dan kayu (De Almeida et al., 2017; Nurhazwani et al., 2016; Widiyanto, 2011), namun belum ada yang melakukan penelitian pembuatan papan partikel campuran bambu andong dan kayu jabon. Mengingat besarnya potensi limbah bambu andong dan kayu jabon dari industri pengolahan kayu dan masih terbatasnya pemanfaatan material tersebut, maka penelitian pembuatan papan partikel bambu andong dengan campuran kayu jabon masih perlu dilakukan.

Tulisan ini menyajikan hasil penelitian pembuatan papan partikel campuran limbah kayu jabon dan bambu andong dengan perekat phenol formaldehida (PF). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis yang dimiliki papan partikel dari campuran limbah kayu jabon dan bambu andong dengan variasi campuran 100:0, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, dan 70:30. Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pengaruh perbandingan komposisi bahan campuran papan partikel dari limbah kayu jabon dan bambu andong yang menghasilkan sifat fisis dan mekanis terbaik pada papan partikel.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah berupa tatal hasil dari proses penyerutan papan jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.) dan bilah bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea* (Steudel) Widjaja) di Laboratorium Produk Majemuk Pusat Litbang Hasil Hutan. Kayu jabon dan bambu andong diperoleh dari tanaman rakyat di daerah Jawa Barat. Bahan kimia yang digunakan adalah emulsi parafin, para formaldehida, dan perekat phenol formaldehida cair.

B. Metode

1. Persiapan Bahan

Partikel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah yang dihasilkan dari pengolahan kayu jabon menjadi papan. Partikel kayu jabon dihasilkan dari proses penyerutan papan jabon. Partikel bambu andong yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penyerutan bilah bambu andong. Masing-masing jenis partikel yang diperoleh dari proses penyerutan tersebut kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam. Partikel yang digunakan adalah partikel yang lolos ayakan dengan ukuran lubang 5 mm x 5 mm dan tertahan pada ayakan berukuran 2 mm x 2 mm. Masing-masing hasil pengayakan partikel kayu jabon dan bambu andong dalam kondisi kering udara kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam hingga mencapai kadar air sekitar 4%. Partikel yang sudah kering dimasukkan dalam kantong plastik dan diikat rapat untuk mencegah peningkatan kadar air.

2. Pembuatan Papan Partikel

Papan partikel yang dibuat adalah papan partikel homogen berukuran 35 cm x 35 cm x 1,2 cm dengan target kerapatan 0,7 g/cm³. Papan partikel dibuat dengan enam macam komposisi campuran partikel kayu jabon dan bambu andong sebagai material penyusun papan partikel yaitu: 100:0 (J1), 70:30 (J2), 60:40 (J3), 50:50 (J4), 40:60 (J5), dan 30:70 (J6). Papan partikel dibuat dengan menggunakan perekat phenol formaldehida (PF) cair dengan kadar perekat sebesar 10% dari berat kering partikel. Sejumlah partikel kayu jabon dan bambu andong yang sudah kering dan ditimbang sesuai dengan perlakuan yang diberikan dicampur secara merata dengan perekat phenol formaldehida cair sebesar 10% (perekat padat) dari berat kering partikel. Ke dalam perekat phenol formaldehida cair tersebut ditambahkan paraformaldehida sebesar 0,5% dari berat perekat yang digunakan dan emulsi parafin sebesar 0,5% dari berat kering partikel.

Partikel yang telah dicampur dengan perekat phenol formaldehida cair secara merata kemudian dimasukkan ke dalam cetakan sehingga diperoleh hamparan bahan papan partikel. Hamparan tersebut dikeluarkan dari cetakan dan selanjutnya dikempa panas pada suhu 150°C dengan tekanan spesifik sebesar 25 kg/cm^2 dengan lama pengempaan 10 menit. Papan partikel yang dihasilkan selanjutnya dikondisikan dalam suhu ruangan selama sepuluh (10) hari sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanisnya. Untuk setiap perlakuan dibuat papan partikel sebanyak empat papan.

3. Pengujian

Pengujian sifat fisis dan mekanis papan partikel meliputi kadar air, kerapatan, pengembangan tebal setelah perendaman 24 jam dalam air dingin, keteguhan rekat internal, kuat pegang sekrup, MOR, dan MOE menurut Standar Nasional Indonesia SNI 03-2105:2006 (Standar Nasional Indonesia (SNI), 2006).

4. Analisis Data

Data hasil pengujian sifat fisis dan mekanis papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dianalisis secara statistik menggunakan rancangan acak lengkap dengan empat kali ulangan. Faktor yang diteliti adalah komposisi partikel kayu jabon dan bambu andong sebagai material penyusun papan partikel, dengan perbandingan 100:0 (J1), 70:30 (J2), 60:40 (J3), 50:50 (J4), 40:60 (J5), dan 30:70 (J6).

Jika hasil analisis keragaman menunjukkan adanya pengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan terhadap sifat fisis dan mekanis papan partikel, maka dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) atau uji Tukey (Steel & Torrie, 1995). Data dianalisis secara statistik menggunakan Minitab 17.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisis

Hasil pengujian sifat fisis papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dan analisis keragamannya (F hitung) disajikan pada Tabel 1.

1. Kadar Air

Kadar air papan partikel yang dibuat dari campuran kayu jabon dan bambu andong dalam penelitian ini berkisar antara 9,34–10,57%. Nilai ini memenuhi persyaratan kadar air dalam SNI 03-2105-2006 dan JIS A 5908:2015, yang mempersyaratkan kadar air papan partikel kurang dari 14% dan 13%. Kadar air terendah dan tertinggi terdapat pada papan partikel dengan komposisi 60% kayu jabon dan 50% kayu jabon. Hasil sidik ragam (F hitung) pada Tabel 1 menunjukkan bahwa komposisi campuran partikel memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar air papan partikel yang dihasilkan walaupun perbedaan kadar air tersebut kurang dari 1%. Kadar air papan partikel cenderung meningkat dengan penambahan komposisi partikel bambu andong, di mana penambahan 70% partikel bambu andong memberikan nilai kadar air yang tinggi (10,29%) dibandingkan dengan papan partikel jabon tanpa campuran bambu andong (9,73%). Kadar air tertinggi diperoleh dari papan partikel dengan komposisi yang seimbang antara partikel jabon dan partikel bambu andong. Stabilitas dimensi kayu dan higroskopisitasnya dipengaruhi oleh kadar selulosa (Fengel & Wegener, 1995). Hasil uji beda pada Tabel 3 menunjukkan bahwa hanya papan partikel dengan perlakuan J4 (50% kayu jabon) yang memiliki kadar air berbeda nyata dengan papan partikel perlakuan J3 (60% jabon), sedangkan perlakuan lainnya tidak berbeda nyata. Analisis kimia lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh zat ekstraktif dan kandungan kimia lainnya terhadap kadar air papan partikel.

2. Kerapatan

Kerapatan papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006 dan JIS A 5908:2015. Kerapatan papan partikel tertinggi, yaitu sebesar $0,71 \text{ g/cm}^3$ diperoleh pada papan partikel dengan komposisi 40% kayu jabon. Komposisi seimbang antara kayu jabon dan bambu andong memberikan nilai kerapatan papan partikel terendah, yaitu sebesar $0,67 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan hasil sidik ragam (Tabel 1), komposisi material penyusun papan partikel

tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kerapatan papan partikel yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan target kerapatan papan partikel yang telah ditentukan dalam penelitian ini, yaitu 0,7 g/cm³. Papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini termasuk papan partikel berkerapatan sedang.

Kerapatan kayu jabon dan bambu andong yang digunakan dalam penelitian ini berturut-turut 0,31 ± 0,02 g/cm³ dan 0,66 ± 0,08 g/cm³. Kerapatan bambu andong dalam penelitian ini berada dalam rentang yang sama dengan kerapatan bambu andong dalam penelitian sebelumnya (Sulastiningsih, 2014), yaitu 0,72 g/cm³ dan 0,68 g/cm³ untuk kerapatan bagian buku dan bagian ruas. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa berat jenis kayu jabon berkisar antara 0,29–0,56 dengan rerata 0,42 (Martawijaya, Kartasujana, Mandang, Prawira, & Kadir, 2005), sedangkan berat jenis bambu andong tanpa buku antara 0,5–0,7 dan dengan buku antara 0,6–0,8 (Dransfield & Widjaja, 1995).

3. Pengembangan Tebal

Papan partikel yang telah direndam selama 24 jam di dalam air dingin mengalami pengembangan tebal sebesar 6,85–11,44%, di mana secara berurutan rerata terkecil dan tertinggi terdapat pada papan partikel dengan komposisi 30% kayu jabon dan 100% kayu jabon (Tabel 1). Pengembangan tebal keseluruhan papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini telah memenuhi syarat SNI 03-2105-2006, yaitu tidak lebih dari 12%.

Sifat pengembangan tebal papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dalam penelitian ini lebih baik dibandingkan dengan papan partikel yang dibuat dari partikel bambu tali (26,27%), papan partikel campuran bambu tali dan kayu karet (19,36%), papan partikel kayu karet (17,45%) (Widiyanto, 2011), partikel bambu raksasa yang direkat dengan 6% urea formaldehida (17,24%) (Valarelli et al., 2014), dan papan partikel campuran kayu karet dan bambu betung (12,8–20,14%) (Nurhazwani et al., 2016).

Berdasarkan hasil sidik ragam pada Tabel 1, komposisi campuran partikel kayu jabon dan bambu andong sebagai bahan penyusun papan partikel memiliki pengaruh yang sangat nyata terhadap pengembangan tebal papan partikel. Dari hasil uji beda pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa pencampuran partikel bambu andong sebesar 50–70% menghasilkan papan partikel dengan sifat pengembangan tebal yang berbeda nyata dengan papan partikel kayu jabon. Pencampuran partikel bambu andong dengan partikel kayu jabon meningkatkan kestabilan dimensi papan partikel kayu jabon. Partikel bambu andong dan partikel kayu jabon yang dicampur dan dikempa saling tumpang tindih (*overlap*) dan masih menghasilkan rongga-rongga kosong di antara partikel. Rongga kosong ini dapat meningkatkan penyerapan air dan mengurangi kekuatan ikatan antar partikel sehingga meningkatkan daya serap air. Pencampuran partikel bambu andong dengan partikel kayu jabon meningkatkan

Tabel 1. Sifat fisis papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dan hasil ANOVA

Table 1. Physical properties of particleboard made from jabon wood and andong bamboo mixture and ANOVA results

Sifat (<i>Properties</i>)	Komposisi bahan (<i>Material compositions</i>)						F hitung (<i>F calculated</i>)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
Kadar air (<i>Moisture content, %</i>)	9,73 (0,32)	9,90 (0,22)	9,34 (0,62)	10,57 (0,18)	10,05 (0,23)	10,29 (0,17)	6,82**
Kerapatan (<i>Density, g/cm³</i>)	0,67 (0,18)	0,68 (0,03)	0,69 (0,02)	0,67 (0,01)	0,71 (0,02)	0,68 (0,03)	1,83 ^{tn}
Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling, %</i>)	11,44 (0,92)	7,90 (0,85)	10,16 (0,63)	8,50 (0,34)	8,55 (0,93)	6,85 (0,63)	17,81**

Keterangan (*Remarks*): Angka dalam kurung adalah standar deviasi (*Numbers in parentheses represent one standard deviation*). J = rasio berat komposisi partikel jabon dan bambu andong (*weight ratio compositions of jabon and andong bamboo particles*). J1=100:0; J2=70:30; J3=60:40; J4=50:50; J5=40:60; J6= 30:70. tn = Tidak berpengaruh nyata (*Not significant*); **=Berpengaruh sangat nyata (*Highly significant*)

kestabilan dimensi papan partikel kayu jabon. Hal ini dapat disebabkan oleh partikel bambu andong memiliki kemampuan mengisi rongga kosong yang lebih baik dibandingkan partikel kayu jabon karena partikel bambu andong lebih kecil dibandingkan partikel kayu jabon. Sifat ini menghasilkan kekompakan campuran partikel dan meningkatkan ikatan antar partikel yang dapat mengurangi pengembangan tebal dan penyerapan air (Nurhazwani et al., 2016).

Penggunaan partikel bambu andong 30% dalam pembuatan papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dapat menurunkan nilai pengembangan tebal papan partikel kayu jabon sebesar 11,19%, sedangkan penggunaan partikel bambu andong 70% dapat menurunkan nilai pengembangan tebal papan partikel kayu jabon sebesar 40%. Papan partikel dengan komposisi 100% partikel kayu jabon memiliki nilai pengembangan tebal yang paling besar dibandingkan papan partikel dengan komposisi lainnya. Partikel kayu jabon memiliki kerapatan yang rendah ($0,32-0,39 \text{ g/cm}^3$) sehingga untuk membuat papan partikel dengan target kerapatan $0,7 \text{ g/cm}^3$ diperlukan partikel yang lebih banyak dalam segi volume dibanding dengan penggunaan partikel bambu andong yang memiliki kerapatan lebih tinggi ($0,66-0,72 \text{ g/cm}^3$) sehingga papan partikel yang dibuat dari partikel jabon kurang stabil setelah direndam dalam air dingin selama

24 jam karena jumlah massa yang menyerap air lebih banyak.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa papan partikel yang dibuat dari 100% partikel jabon dengan perekat urea formaldehida memiliki stabilitas dimensi paling rendah dengan nilai pengembangan tebal sebesar 17% (Ismawati et al., 2011). Dalam penelitian tersebut, stabilitas dimensi papan diperoleh dengan memperpendek waktu kempa papan, di mana papan yang dikempa panas dengan suhu 165°C selama 3 menit lebih stabil dimensinya dibandingkan papan yang dikempa panas selama 5 dan 8 menit (Ismawati et al., 2011). Selain pengaruh komposisi material penyusun, pengembangan tebal papan partikel dapat dipengaruhi oleh ukuran partikel penyusun papan (Abdurachman & Hadjib, 2011; De Melo, Stangerlin, Santana, & Pedrosa, 2014), dan jenis perekat yang digunakan (Valarelli et al., 2014; Widyorini et al., 2014).

Papan partikel kayu manis yang dibuat dengan partikel berukuran halus memiliki nilai pengembangan tebal yang lebih tinggi dibandingkan papan partikel yang dibuat dari partikel berukuran kasar, yaitu 21,81% dan 16,26% (Abdurachman & Hadjib, 2011). Luas permukaan papan partikel yang dibuat dari partikel halus lebih besar daripada luas permukaan papan partikel dari partikel kasar. Hal ini menyebabkan besarnya singgungan air

Tabel 2. Sifat mekanis papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dan hasil ANOVA

Table 2. Mechanical properties of particleboard made from jabon wood and andong bamboo mixture and ANOVA results

Sifat (<i>Properties</i>)	Komposisi bahan (<i>Material compositions</i>)						F hitung (<i>F calculated</i>)
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	
Keteguhan rekat internal (<i>Internal bond</i>), kgf/cm ²	4,62 (0,75)	5,40 (0,77)	5,27 (0,47)	3,47 (0,15)	4,39 (0,83)	4,84 (0,65)	4,62**
Kuat pegang sekrup (<i>Screw holding power</i>), kgf	47,60 (2,67)	50,00 (8,20)	44,70 (6,05)	42,85 (2,52)	53,20 (9,84)	50,20 (5,90)	1,41 ^{tn}
Modulus patah (<i>MOR</i>), kgf/cm ²	143,38 (4,75)	151,2 (7,98)	159,86 (4,91)	115,09 (8,35)	125,02 (2,25)	114,98 (3,85)	44,40**
Modulus elastisitas (<i>MOE</i>), kgf/cm ²	16071 (3328)	18116 (4420)	18905 (1717)	13649 (2188)	16105 (1578)	16639 (1709)	1,85 ^{tn}

Keterangan (*Remarks*): Angka dalam kurung adalah standar deviasi (*Numbers in parentheses represent one standard deviation*). J= rasio berat komposisi partikel jabon dan bambu andong (*weight ratio compositions of jabon and andong bamboo particles*). J1=100:0; J2=70:30; J3=60:40; J4=50:50; J5=40:60; J6= 30:70. ^{tn} = Tidak berpengaruh nyata (*Not significant*); ** = Berpengaruh sangat nyata (*Highly significant*)

dengan papan partikel dan penyerapan air ke dalam struktur partikel sehingga papan partikel mengalami pengembangan tebal (Abdurachman & Hadjib, 2011). Hal sama terjadi pada papan partikel campuran partikel sekam padi. Papan partikel yang dibuat dengan campuran partikel sekam padi dan *Eucalyptus grandis* mengalami pengembangan tebal yang lebih besar dibandingkan papan partikel yang dibuat dari campuran partikel sekam padi dan bambu (De Melo et al., 2014).

Hasil penelitian Widyorini et al. (2014) menunjukkan bahwa penambahan 10% asam sitrat dalam campuran partikel bambu dapat mengurangi pengembangan tebal panel sampai 47%. Ikatan ester yang terjadi menunjukkan bahwa asam sitrat dapat bereaksi dengan kayu dan memberikan sifat perekatan yang baik (Umemura, Ueda, & Kawai, 2012). Papan partikel bambu yang direkat dengan 12% urea formaldehida memiliki nilai pengembangan tebal dua kali lebih kecil daripada papan yang direkat dengan 6% urea formaldehida (Valarelli et al., 2014). Penambahan jumlah perekat dalam jumlah tertentu menyebabkan rongga-rongga dalam kayu menjadi lebih kecil sehingga menyebabkan papan lebih stabil. Kombinasi kadar perekat dan impregnasi partikel dengan perekat yang tepat dapat dilakukan untuk meningkatkan kestabilan dimensi papan partikel (Halligan, 1970).

B. Sifat Mekanis

1. Keteguhan rekat internal

Hasil pengujian sifat mekanis papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dan analisis keragamannya (F hitung) disajikan pada Tabel 2. Keteguhan rekat internal papan partikel terendah terdapat pada papan partikel dengan komposisi 50% kayu jabon dan 50% bambu andong, yaitu sebesar 3,45 kgf/cm². Komposisi partikel kayu jabon sebesar 70% dan bambu andong 30% dari campuran partikel yang digunakan dalam pembuatan papan partikel memiliki nilai keteguhan rekat internal tertinggi, yaitu sebesar 5,4 kgf/cm² (Tabel 2).

Nilai keteguhan rekat internal papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini semuanya memenuhi standar SNI 03-2105-2006 untuk papan partikel tipe 13 dan 18, yang mempersyaratkan nilai minimal keteguhan rekat internal berturut-turut sebesar 2 kgf/cm² dan 3,1 kgf/cm². Hasil sidik ragam pada Tabel 2 menunjukkan komposisi material penyusun papan partikel berpengaruh nyata terhadap keteguhan rekat internal papan partikel. Hasil uji beda pada Tabel 3 menunjukkan bahwa papan partikel dengan perlakuan J4 (60% partikel bambu) memiliki nilai keteguhan rekat internal yang berbeda nyata dengan semua papan partikel yang dibuat dengan berbagai komposisi partikel bambu dan andong (J1, J2, J3, J5 dan J6). Proporsi partikel kayu jabon yang cukup besar

Tabel 3. Hasil uji beda nyata jujur (BNJ) sifat papan partikel dari campuran kayu jabon dan bambu andong

Table 3. Honestly significant different (HSD) result on the properties of particleboard made from jabon wood and andong bamboo mixture

No	Sifat (<i>Properties</i>)	Nilai rata-rata yang dibandingkan (<i>Comparison of mean values</i>)					
		J4	J6	J5	J2	J1	J3
1	Kadar air (<i>Moisture content, %</i>)	10,57a	10,29ab	10,05 abc	9,90abc	9,73bc	9,34c
2	Pengembangan tebal (<i>Thickness swelling, %</i>)	J1	J3	J2	J5	J4	J6
		11,41a	10,16ab	8,90b	8,55b	8,50bc	6,85c
3	Keteguhan rekat internal (<i>Internal bond, kgf/cm²</i>)	J2	J3	J1	J5	J6	J4
		5,40a	5,27a	4,84ab	4,62ab	4,38ab	3,47b
4	Modulus patah (<i>Modulus of rupture, kgf/cm²</i>)	J3	J2	J1	J5	J4	J6
		159,9a	151,3ab	143,4b	125,0c	115,1c	115,0c

Keterangan (*Remark*): J= rasio berat komposisi partikel jabon dan bambu andong (*Weight ratio compositions of jabon and andong bamboo particles*). J1=100:0; J2=70:30; J3=60:40; J4=50:50; J5=40:60; J6= 30:70.
Nilai rata-rata diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata (*Mean values followed by the same letter were not significantly different*)

(70%) dalam papan partikel dapat meningkatkan keteguhan rekat internal papan partikel karena meningkatnya ikatan antara perekat dan partikel. Hal ini erat hubungannya dengan rasio kompresi papan partikel, di mana semakin tinggi rasio kompresi semakin kuat ikatan antar partikel. Menurut Kelly (1977), rasio kompresi minimum 1,2 untuk menghasilkan papan partikel dengan kualitas baik, sedangkan menurut Malloney (1993) rasio kompresi minimum untuk papan partikel adalah sebesar 1,3. Kerapatan kayu jabon dan bambu andong yang digunakan dalam penelitian ini berturut-turut sebesar 0,31 g/cm³ dan 0,66 g/cm³, target kerapatan papan partikel yang dibuat sebesar 0,7 g/cm³, sehingga rasio kompresi papan partikel yang dibuat dengan komposisi 70% jabon dan 30% bambu andong sebesar 1,9. Nilai rasio kompresi ini lebih tinggi dari standar minimal rasio kompresi yang dilaporkan oleh Kelly (1977) dan Malloney (1993). Dengan demikian, papan partikel campuran 70% kayu jabon dan 30% bambu andong yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki sifat yang baik.

Nurhazwani et al. (2016) melaporkan bahwa papan hybrid yang terbuat dari 100% kayu karet memiliki nilai keteguhan rekat internal tertinggi dibandingkan dengan campuran 30-100% partikel bambu, yaitu 12,34 kgf/cm². Hal ini dikarenakan partikel kayu karet terikat dengan kompak dan membentuk struktur yang kuat sehingga meningkatkan sifat mekanisnya (Nurhazwani et al., 2016)

Papan partikel yang terbuat dari campuran komposisi kayu karet dan bambu tali memiliki keteguhan rekat internal yang lebih rendah dibandingkan papan partikel dalam penelitian ini (2,05 kgf/cm²), namun sudah memenuhi nilai standar dalam SNI 03-2105-2006 (Widiyanto, 2011). Keteguhan rekat internal papan partikel dapat ditingkatkan dengan meningkatkan rasio kelangsingan partikel/*slenderness ratio*, kerapatan papan, kadar perekat (Arabi, Faezipour, & Gholizadeh, 2011; Widyorini et al., 2016), memperkecil ukuran partikel penyusun papan (Abdurachman & Hadjib, 2011; Yang et al., 2014; Nurhazwani et al., 2016), dan mengoptimalkan suhu kempa (Widyorini et al., 2016). Ukuran dan sifat geometris partikel berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan panel yang terbentuk

(Stark et al., 2010). Partikel yang lebih pipih dan panjang memiliki sifat mekanis yang lebih baik karena dapat menambah luas kontak permukaan antar partikel yang direkat (Lykidis, Grigoriou, & Barboutis, 2014).

Penambahan 20% asam sitrat dalam campuran partikel dapat meningkatkan keteguhan rekat papan partikel bambu petung hingga 3,67 kgf/cm² (Widyorini et al., 2016). Hal ini sejalan dengan Umemura, Ueda, dan Kawai (2012) yang menyatakan bahwa penggunaan resin alami asam sitrat dapat meningkatkan keteguhan rekat papan partikel hingga 30%.

2. Kuat pegang sekrup

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kuat pegang sekrup papan partikel terendah dan tertinggi terdapat pada papan partikel dengan komposisi 50% kayu jabon (42,85 kgf) dan 60% kayu jabon (53,20 kgf). Nilai kuat pegang sekrup yang tinggi menunjukkan kuatnya ikatan antar partikel (Nurhazwani et al., 2016) dan ikatan partikel dengan perekat (De Melo et al., 2014). Secara keseluruhan, papan partikel dalam penelitian ini memiliki nilai kuat pegang sekrup yang memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006 karena nilainya tidak kurang dari 41 kgf. Hasil analisis sidik ragam pada Tabel 2 menunjukkan bahwa komposisi material penyusun papan partikel tidak berpengaruh nyata terhadap kuat pegang sekrup papan partikel yang dihasilkan.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, komposisi material penyusun papan partikel berpengaruh terhadap kuat pegang sekrup (Nurhazwani et al., 2016). Nilai kuat pegang sekrup papan partikel hybrid bambu dan kayu karet dengan komposisi 30% bambu dan 70% kayu karet lebih tinggi dibandingkan papan partikel yang dibuat dari 100% bambu atau 100% kayu karet, yaitu 710,81 N (72,48 kgf), 499,9 N (50,97 kgf), atau 637,06 N (64,96 kgf) (Nurhazwani et al., 2016). Partikel kayu karet yang lebih halus daripada partikel bambu mampu mengisi ruang kosong antara partikel bambu sehingga papan partikel hybrid yang terbentuk lebih kompak dibandingkan papan partikel yang terbuat dari 100% partikel bambu atau 100% kayu karet (Nurhazwani et al., 2016).

Hasil yang sama didapatkan oleh De Melo et al. (2014) dalam penelitiannya tentang sifat fisis dan mekanis papan partikel yang terbuat dari *Eucalyptus grandis*, *Bambusa vulgaris* dan sekam padi. Papan partikel yang dibuat dengan campuran sekam padi memiliki nilai pegang sekrup yang paling rendah. Hal ini disebabkan struktur sekam padi yang silindris dan berongga serta nilai permeabilitas sekam yang rendah (De Melo et al., 2014). Menurut Semple, Xian, Haghdan, & Smith (2014), sifat kuat pegang sekrup papan partikel dapat ditingkatkan dengan membuat papan partikel dimana bagian inti papan terdiri dari partikel berbentuk untai (*strand*) sedangkan bagian luar papan (lapisan atas dan bawah) terdiri dari partikel berbentuk selumbar (*flake*).

4. Modulus patah (MOR)

Modulus patah (MOR) papan partikel terendah terdapat pada papan partikel yang dibuat dari campuran 30% kayu jabon dan 70% bambu andong, yaitu sebesar 114,98 kgf/cm² (Tabel 2). Papan partikel yang memiliki nilai modulus patah tertinggi adalah papan partikel dengan komposisi 60% kayu jabon dan 40% bambu andong, yaitu 159,86 kgf/cm². Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa komposisi partikel penyusun papan memberikan pengaruh yang nyata terhadap modulus patah papan partikel yang dihasilkan (Tabel 2). Dari hasil uji beda pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa papan partikel kayu jabon memiliki nilai modulus patah yang berbeda dengan papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong. Penggunaan 30% dan 40% partikel bambu andong dalam pembuatan papan partikel meningkatkan nilai MOR sebesar 5,5% dan 11,5% dibanding MOR papan partikel kayu jabon. Namun, peningkatan lebih lanjut penggunaan partikel bambu sebesar 50–70% dalam pembuatan papan partikel menurunkan nilai MOR sebesar 12,8–19,7% dibanding MOR papan partikel kayu jabon. Nilai modulus patah semua papan partikel kayu jabon dan bambu andong yang dibuat dalam penelitian ini memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006 untuk papan partikel tipe 13 dengan nilai MOR tidak kurang dari 133 kgf/cm². Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, nilai MOR

papan partikel dalam penelitian ini lebih kecil daripada papan partikel yang dibuat dari partikel kayu karet dan bambu tali dengan perekat urea formaldehida, yaitu 208,71 kgf/cm² (Widiyanto, 2011). Sementara itu, hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa rasio seimbang antara partikel bambu betung dan *Eucalyptus urophylla* pada papan partikel yang direkat dengan *castor-oil based polyurethane* meningkatkan nilai modulus patah papan partikel sampai dengan 18% (De Almeida et al., 2017). Papan partikel bambu raksasa dengan 12% perekat urea formaldehida memiliki nilai MOR yang lebih tinggi dibandingkan papan partikel yang direkat dengan 12% resin berbahan dasar minyak kastor, yaitu 100,57 kgf/cm² dan 57,53 kgf/cm² (Valarelli et al., 2014).

Sifat mekanis dan kestabilan dimensi papan partikel dipengaruhi oleh jumlah perekat dalam papan partikel tersebut (Haygreen & Bowyer, 1986) dan ukuran partikel perekat (*droplet*) yang disemprotkan dalam proses pencampuran partikel dengan perekat (Kelly, 1977). Pengaruh perekat sangat signifikan terhadap modulus patah panel bambu yang dibuat dengan perekat alami asam sitrat. Penggunaan 40% asam sitrat dalam papan partikel meningkatkan nilai MOR sampai 142,8 kgf/cm² (Widyorini et al., 2014).

Perlakuan pendahuluan berupa perendaman selama 20 jam dan pengeringan dengan suhu 100°C menurunkan nilai MOR papan partikel bambu raksasa dari 153 kgf/cm² menjadi 132,6 kgf/cm² (Zaia et al., 2015). Perlakuan pendahuluan ini mengakibatkan modifikasi kimiawi pada papan partikel yang menyebabkan menurunnya sifat mekanis panel. Sementara itu hasil penelitian lain menunjukkan bahwa kenaikan suhu kempa papan partikel bambu bergelombang dari 150°C menjadi 180°C menaikkan nilai MOR dari 170,34 kgf/cm² menjadi 217,26 kgf/cm², namun nilai MOR ini menurun saat suhu kempa dinaikkan hingga 200°C menjadi 213,18 kgf/cm² (Yang et al., 2014). Ikatan antar partikel dan perekat bertambah kuat seiring dengan menurunnya viskositas perekat dan melunaknya partikel sehingga memperluas permukaan perekatan. Namun, suhu kempa yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan degradasi material penyusun dan permukaan panel yang rapuh (Yang et al., 2014).

5. Modulus elastisitas (MOE)

Modulus elastisitas (MOE) papan partikel yang dibuat dengan komposisi partikel kayu jabon dan bambu andong yang seimbang memiliki nilai MOE terendah, yaitu 13.649 kgf/cm², sedangkan campuran 60% kayu jabon dan 40% bambu andong memiliki nilai MOE tertinggi, yaitu 18.905 kgf/cm² (Tabel 2). Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa komposisi campuran partikel penyusun tidak berpengaruh nyata terhadap modulus elastisitas papan partikel yang dihasilkan (Tabel 2).

Sifat kelenturan papan partikel dipengaruhi oleh ukuran partikel penyusunnya, di mana papan partikel yang dibuat dari partikel kasar memiliki nilai kelenturan yang lebih tinggi daripada partikel halus (Abdurachman & Hadjib, 2011; Valarelli et al., 2014). Hal ini dikarenakan partikel kasar memiliki luas kontak antar partikel yang terlaburi perekat lebih tinggi dibanding partikel halus (Abdurachman & Hadjib, 2011).

Penambahan partikel bambu betung dalam pembuatan papan partikel *Eucalyptus urophylla* memberikan kecenderungan nilai MOE papan partikel yang meningkat (De Almeida et al., 2017). Selain dipengaruhi oleh komposisi dan ukuran partikel penyusun panel, nilai MOE papan partikel dipengaruhi pula oleh jenis perekat yang digunakan (Valarelli et al., 2014; Widyorini et al. 2014) serta ukuran partikel perekat (*droplet*) yang disemprotkan dalam proses pencampuran partikel dengan perekat (Kelly, 1977).

Papan partikel bambu raksasa yang direkat dengan urea formaldehida memiliki nilai MOE yang lebih baik dibandingkan papan partikel yang direkat dengan resin berbahan dasar minyak kastor (Valarelli et al., 2014). Kelenturan papan partikel yang dibuat dengan penambahan 10% asam sitrat lebih tinggi daripada papan partikel tanpa penambahan asam sitrat (Widyorini et al., 2014). Nilai MOE dalam penelitian tersebut melebihi standar papan partikel tipe 8 berdasarkan JIS A 5908.

Nilai MOE papan partikel yang dibuat dengan berbagai komposisi campuran kayu jabon dan bambu andong dalam penelitian ini belum memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006, karena nilainya kurang dari 20.400 kgf/cm². Nilai MOE papan partikel dapat ditingkatkan dengan

memperkecil ukuran partikel perekat (*droplet*) yang disemprotkan dalam proses pencampuran partikel dengan perekat (Kelly, 1977), dan meningkatkan ukuran partikel penyusun panel, meningkatkan kadar perekat serta rasio kelangsingan partikel (Arabi et al., 2011). Sementara itu menurut Semple et al. (2014) nilai MOE papan partikel dapat ditingkatkan dengan membuat papan partikel dimana bagian inti papan terdiri dari partikel berbentuk untai atau *strand* sedangkan bagian luar papan (lapisan atas dan bawah) terdiri dari partikel berbentuk selumbar atau *flake*.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Limbah pengolahan kayu jabon dan bambu andong dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan papan partikel. Komposisi perbandingan partikel kayu jabon dan bambu andong berpengaruh terhadap sifat papan partikel yang dihasilkan. Penambahan partikel bambu andong dalam pembuatan papan partikel dapat memperbaiki stabilitas dimensi dan sifat mekanis papan partikel kayu jabon. Penggunaan partikel bambu andong dalam pembuatan papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dapat menurunkan nilai pengembangan tebal papan partikel kayu jabon sebesar 11,19% sampai 40%. Penggunaan partikel bambu andong sampai 40% dalam pembuatan papan partikel campuran kayu jabon dan bambu andong dapat meningkatkan nilai MOR papan partikel kayu jabon sebesar 11,49%, peningkatan lebih lanjut penggunaan partikel bambu sebesar 50–70% dalam pembuatan papan partikel menurunkan nilai MOR papan partikel kayu jabon sebesar 12,8–19,7%. Kecuali nilai MOE, papan partikel yang dibuat dalam penelitian ini pada umumnya telah memenuhi persyaratan SNI untuk papan partikel tipe 13 menurut Standar Indonesia SNI 03-2105-2006 dan Standar Jepang JIS A 5908:2015.

B. Saran

Pemanfaatan limbah kayu jabon dan bambu andong sebagai material penyusun papan partikel perlu mempertimbangkan variabel proses lainnya yang dapat menghasilkan papan partikel dengan sifat fisis dan mekanis yang

memenuhi standar penggunaannya. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk meningkatkan nilai MOE sehingga dapat memenuhi nilai yang dipersyaratkan dalam SNI 03-2105-2006 dan JIS A 5908:2015.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pendanaan kegiatan penelitian ini bersumber dari DIPA Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kuswandi, Eman Suherman, Alit Prio Utomo dan Nuryani yang memberikan bantuan teknis selama penelitian berlangsung.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain dan rancangan percobaan dilakukan oleh DRT sebagai kontributor utama dan IMS. Pengambilan data dilakukan oleh DRT dan IMS. Analisis data dan penulisan manuskrip dilakukan oleh DRT dan IMS. Perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh DRT dan IMS.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, & Hadjib, N. (2011). Sifat papan partikel dari kayu kulit manis (*Cinnamomum burnamii* BL). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(2):128-141.
- Ahmad, Z., Chen, L. W., Hua, L. S., & Mahyiddin, W. F. W. M. (2018). Behaviour of walls constructed using Kelempayan (*Neolamarckia cadamba*) wood wool reinforced cement board. *Sains Malaysiana*, 47(8), 1897–1906. doi: 10.17576/jsm-2018-4708-31.
- Arabi, M., Faezipour, M., & Gholizadeh, H. (2011). Reducing resin content and board density without adversely affecting the mechanical properties of particleboard through controlling particle size. *Journal of Forestry Research*, 22(4), 659–664. doi: 10.1007/s11676-011-0207-3.
- Berglund, L., & Rowell, R. M. (2005). Wood composites. *Handbook of wood chemistry and wood composite*, 279–302.

- Bufalino, L., Albino, V. C. S., De Sá, V. A., Corrêa, A. A. R., Mendes, L. M., & Almeida, N. A. (2012). Particleboards made from Australian red cedar: Processing variables and evaluation of mixed-species. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(2), 162–172.
- Chaowana, P. (2013). Bamboo: An alternative raw material for wood and wood-based composites. *Journal of Materials Science Research*, 2(2), 90–102. doi: 10.5539/jmsr.v2n2p90.
- De Almeida, A. C., De Araujo, V. A., Morales, E. A. M., Gava, M., Munis, R. A., & Cortez-barbosa, J. (2017). Wood-bamboo particleboard: mechanical properties, *BioResources*, 12(4), 7784–7792.
- De Melo, R. R., Stangerlin, D. M., Santana, R. R. C., & Pedrosa, T. D. (2014). Physical and mechanical properties of particleboard manufactured from wood, bamboo and rice husk. *Materials Research*, 17(3), 682–686.
- Dransfield, S., & Widjaja, E. A. (1995). *Plant resource of South-East Asia: Bamboos*. PROSEA, Bogor.
- Emil, N. (2014). *Analisis komponen kimia dan dimensi serat kayu jabon*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Fazita, M. R. N., Jayaraman, K., Bhattacharyya, D., Mohamad Haafiz, M. K., Saurabh, C. K., Hazwan Hussin, M., & Abdul Khalil, H. P. S. (2016). Green composites made of bamboo fabric and poly (lactic) acid for packaging applications-a review. *Materials*, 9(6), 435–464. doi: 10.3390/ma9060435.
- Fengel, D., & Wegener, G. (1995). *Kayu: Kimia, ultrastruktur. Reaksi-reaksi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Halligan, A. F. (1970). A review of thickness swelling in particleboard. *Wood Science and Technology*, 4(4), 301–312. doi: 10.1007/BF00386406.
- Haygreen, J. G., & Bowyer, J. L. (1986). *Hasil hutan dan ilmu kayu: Suatu pengantar (Terjemahan)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Ismawati, P., Hoe, Y. C., Goh, K. H., Tang, C. C., Roziela Hanim, A., Rafidah, S., & A.R., Khairunnisaa. (2011). Particleboard made from laran (*Neolamarckia cadamba*): The effect of pressing time.
- Kelly, M. W. (1977). *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard*. Gen. Tech. Rep. FPL-10. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 65 p. (Vol. 010). Madison. Diakses dari <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/9820> pada tanggal 14 Februari 2018.
- Krisnawati, H., Kallio, M. H., & Kanninen, M. (2011). *Anthocephalus cadamba* Miq.: Ecology, silviculture and productivity. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR). doi: 10.17528/cifor/003396.
- Laemlaksakul, V. (2010). Physical and mechanical properties of particleboard from bamboo waste. *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, 4(4), 276–280. Diakses dari <https://waset.org/publications/10061/physical-and-mechanical-properties-of-particleboard-from-bamboo-waste> pada tanggal 14 Februari 2018.
- Laemlaksakul, V., & Kaewkuekool, S. (2006). Laminatedbamboomaterialsforfurniture-A systematic approach to innovative product design. *WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education*, 3(5), 424-430.
- Lykidis, C., Grigoriou, A., & Barboutis, I. (2014). Utilisation of wood biomass residues from fruit tree branches, evergreen hardwood shrubs and Greek fir wood as raw materials for particleboard production. Part A. Mechanical properties. *Wood Material Science and Engineering*, 9(4), 202–208. doi: 10.1080/17480272.2013.875589.
- Mansur, I., & Tuheteru, F. D. (2010). *Kayu jabon*. Jakarta: PT Niaga Swadaya.
- Martawijaya, A., Kartasujana, I., Mandang, Y., Prawira, S. A., & Kadir, K. (2005). *Atlas kayu Indonesia Jilid II*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor.
- Nurhazwani, O., Jawaid, M., Paridah, M. T., Juliana, A. H., & Hamid, S. A. (2016). Hybrid particleboard made from bamboo (*Dendrocalamus asper*) veneer waste and rubberwood (*Hevea brasiliensis*). *BioResources*, 11(1), 306–323. doi: 10.15376/biores.11.1.306-323.
- Papadopoulos, A. N., Hill, C. A. S., Gkaraveli, A., Ntalos, G. A., & Karastergiou, S. P. (2004). Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 62, 36–39. doi: 10.007/s00107-003-0447-9.
- Semple, K. E., Xian, D., Haghdan, S., & Smith, G. D. (2014). Reinforced-core particleboard for improved screw-holding ability. *Wood and Fiber Science*, 46(1), 48–64.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2006). *Papan Partikel* (SNI 03-2105-2006). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Stark, N. M., Cai, Z., & Carll, C. (2010). Chapter 11 - Wood-Based Composite Materials Panel Products , Glued-Laminated Timber , Structural Materials. *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material*, 1–28.
- Steel, R. G., & Torrie, J. H. (1995). *Prinsip dan prosedur statistika: Suatu pendekatan biometrik* (2nd ed.). Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Suharjo, A. A. C. (2018). *Sifat fisis kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) dan jabon (*Neolamarckia cadamba* Roxb.) hasil modifikasi panas*. (Skripsi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sulastiningsih, I. M. (2014). *Pengembangan papan laminasi bersilang dari bambu andong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*)*. (Disertasi). Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sulastiningsih, I. M., Indrawan, D. A., Balfas, J., Santoso, A., & Iskandar, M. I. (2017). Sifat fisis dan mekanis papan untai berarah dari bambu tali (*Gigantochloa apus* (J.A. & J.H. Schultes) Kurz). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(3), 197–209. doi: 10.20886/jphh.2017.35.3.197-209.

- Umemura, K., Ueda, T., & Kawai, S. (2012). Characterization of wood-based molding bonded with citric acid. *Journal of Wood Science*, 58, 38–45.
- Valarelli, I. D., Battistelle, Rosane, A. G., Bueno, M. An. P., Bezzera, B. S., de Campos, C. I., & Alves, Manoel, C. D. (2014). Physical and mechanical properties of particleboard bamboo waste bonded with urea formaldehyde and castor oil based adhesive. *Materia (Rio de Janeiro)*, 19(1), 1–6.
- Widiyanto, A. (2011). Kualitas papan partikel kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) dan bambu tali (*Gigantochloa apus* Kurz) dengan perekat likuida kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(4), 301–311. doi: 10.20886/jphh.2011.29.4.301-311.
- Widyorini, R., Puspa Yudha, A., Isnani, R., Awaluddin, A., Agus Prayitno, T., Ngadianto, A., & Umemura, K. (2014). Improving the physico-mechanical properties of eco-friendly composite made from bamboo. *Advanced Materials Research*, 896, 562–565. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.896.562.
- Widyorini, R., Umemura, K., Isnani, R., Putra, D. R., Awaludin, A., & Prayitno, T. A. (2016). Manufacture and properties of citric acid-bonded particleboard made from bamboo materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(1), 57–65. doi: 10.1007/s00107-015-0967-0.
- Widyorini, R., Yudha, A. P., Isnani, R., Awaluddin, A., Prayitno, T. A., Ngadianto, A., & Umemura, K. (2014). Improving the physico-mechanical properties of eco-friendly composite made from bamboo. *Advanced Materials Research*, 896, 562–565.
- Widyorini, R., Yudha, A. P., Lukmandaru, G., & Prayitno, T. A. (2015). Sifat fisika mekanika dan ketahanan papan partikel bambu dengan perekat asam sitrat terhadap serangan rayap kayu kering. *Jurnal Ilmu Kebutanan*, 9(1), 12–22.
- Yang, F., Fei, B., Wu, Z., Peng, L., & Yu, Y. (2014). Selected properties of corrugated particleboards made from bamboo waste (*Phyllostachys edulis*) laminated with medium-density fiberboard panels. *BioResources*, 9(1), 1085–1096. doi: 10.15376/biores.9.1.1085-1096.
- Zaia, U. J., Cortez-Barbosa, J., Morales, E. A. M., Lahr, F. A. R., Do Nascimento, M. F., & De Araujo, V. A. (2015). Production of particleboards with bamboo (*Dendrocalamus giganteus*) reinforcement. *BioResources*, 10(1), 1424–1433.